



ACADEMIC
PLATFORM



ISSN: 2147-4575

APJES

Journal of Engineering and Science

Volume: 8

Issue : 2

Year : 2020

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
<http://apjes.com/>

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

Asst. Prof. Dr. İsmet KANDİLLİ
kandilli@kocaeli.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
<http://apjes.com/>

Contents

Apatite - Wollastonite Glass Ceramic Production by Sintering Method (Research Paper)	217 - 221
Influence of Dry-Wet Machining Conditions on Surface Roughness of 6082-T6 Aluminum Alloy in Milling Process (Research Paper)	222 - 229
Re-Use of Water Returning from Agricultural Irrigation (Research Paper)	230 - 236
Fuzzy-Based Intelligent Controller Design for Robust Speed Control of PMDC Motor in Unstable Conditions (Research Paper)	237 - 248
Modelling Routing Attacks on Collection Tree Protocol and Designing an Intrusion Detection System on Real-Time Wireless Sensor Networks (Research Paper)	249 - 257
Sectoral Classification with TOPSIS Method in the Context of Industry 4.0 – Digital Transformation (Research Paper)	258 - 265
Investigation of Amplification Factor for Adapazarı Soil with High Liquefaction Potential (Research Paper)	266- 273
The influence of particle size on efficiency of quartz flotation (Research Paper)	274 - 278
Comparing The Effect of Under-Sampling and Over-Sampling on Traditional Machine Learning Algorithms for Epileptic Seizure Detection (Research Paper)	279 - 285
Strengthening of a Reinforced Concrete Frame Using Centric Steel Braces with Different Configurations (Research Paper)	286 - 294
Determination of Biogas Potential of Livestock Manure: A Case Study from Mersin Province (Research Paper)	295 - 303
Prototyping an Industrial Robot Arm for Deburring in Machining (Research Paper)	304 - 309
Optimization of Cutting Parameters for Sustainable Machining of Titanium Ti-5553 Alloy using Genetic Algorithm (Research Paper)	310 - 315
An Investigation of the Deformation Patterns Due to the High-Speed Micro-Laser Drilling Process for Ti-6Al-4V Used in Aerospace Applications (Research Paper)	316 - 325
Effects of Different Row Spacings and Different Fertilization Doses on the Seed Yield and Some Agronomic Characteristics of the Tall Fescue (Research Paper)	326 - 331

Contents

Forecasting of Greenhouse Gas Emissions in Turkey using Machine Learning Methods (Research Paper)	332 - 348
The Effect Of Spectrum Curves Defined By The Turkish Building Code 2018 On Multi-Storey Reinforced Concrete Buildings (Research Paper)	349 - 354
The Solution of 0-1 Multidimensional Knapsack Problem with Pheromonal Artificial Bee Colony (pABC) Algorithm (Research Paper)	355 - 364
Characterization and Mechanical Properties of Iron Matrix Materials Coated with ZnO Nanoparticles (Research Paper)	365 - 370
Application of Machine Learning Methods with Dimension Reduction Techniques for Fault Prediction in Molding Process (Research Paper)	371 - 378
Architectural Acoustic Evaluation Of Classrooms Educational Buildings: KTÜ Case (Research Paper)	379 - 387
Investigation of the Usability of Travertine Wastes in Alaşehir (Manisa) Region on Road Subbase and Base Layers (Research Paper)	388 - 395
The Effects of Curing Condition on Geopolymers Incorporating Zeolit (Research Paper)	396 - 402
Calibration of Standard Platinum Resistance Thermometers in Triple Point of Water Cell and Evaluation of Measurement Uncertainty (Research Paper)	403 - 406
Analysis of The Electrodermal Activity Signals for Different Stressors Using Empirical Mode Decomposition (Research Paper)	407 - 414
Investigation of Contribution of Design to the High Fracture Rate of Long Neck Ceramic Femoral Head Prosthesis by Finite Element Analysis (Research Paper)	415 - 422

İçindekiler

Sinterleme Yöntemiyle Apatit – Wollastonit Cam Seramik Üretimi (Araştırma Makalesi)	217 - 221
Influence of Dry-Wet Machining Conditions on Surface Roughness of 6082-T6 Aluminum Alloy in Milling Process (Araştırma Makalesi)	222 - 229
Tarımsal Sulamadan Dönen Suların Yeniden Kullanımı (Research Paper)	230 - 236
Kararsız Koşullarda SMDA Motorun Dayanıklı Hız Kontrolü İçin Bulanık-Tabanlı Akıllı Denetleyici Tasarımı (Araştırma Makalesi)	237 - 248
Gerçek-Zamanlı Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Toplama Ağacı Protokolünün Yönlendirme Saldırılarına Karşı Dayanıklılığının Analizi ve Saldırı Tespit Sistemi Tasarımı (Araştırma Makalesi)	249 - 257
Türkiye’de Dijital Dönüşüme Başlangıç için AHP ve TOPSIS Yöntemleri ile Sektörel Sıralama (Araştırma Makalesi)	258 - 265
Sıvılaşma Potansiyeli Yüksek Adapazarı Bölgesi İçin Zemin Büyütme Faktörünün Araştırılması (Araştırma Makalesi)	266- 273
The influence of particle size on efficiency of quartz flotation (Araştırma Makalesi)	274 - 278
Comparing The Effect of Under-Sampling and Over-Sampling on Traditional Machine Learning Algorithms for Epileptic Seizure Detection (Araştırma Makalesi)	279 - 285
Betonarme Bir Çerçevenin Farklı Yerleşim Düzenlerine Sahip Merkezi Çelik Çaprazlarla Güçlendirilmesi (Araştırma Makalesi)	286 - 294
Hayvan Atıklarının Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi: Mersin İli Örneği (Araştırma Makalesi)	295 - 303
Talaşlı İmalatta Çapakların Giderilmesi için Endüstriyel Robot Kol Prototiplemesi (Araştırma Makalesi)	304 - 309
Optimization of Cutting Parameters for Sustainable Machining of Titanium Ti-5553 Alloy using Genetic Algorithm (Araştırma Makalesi)	310 - 315
An Investigation of the Deformation Patterns Due to the High-Speed Micro-Laser Drilling Process for Ti-6Al-4V Used in Aerospace Applications (Araştırma Makalesi)	316 - 325
Effects of Different Row Spacings and Different Fertilization Doses on the Seed Yield and Some Agronomic Characteristics of the Tall Fescue (Araştırma Makalesi)	326 - 331

İçindekiler

Makine Öğrenimi Yöntemleri ile Türkiye için Sera Gazı Emisyonu Tahmini (Araştırma Makalesi)	332 - 348
Çok Katlı Betonarme Binalarda 2018 Deprem Yönetmeliği İle Tanımlanan Spektrum Eğrilerinin Etkisi (Araştırma Makalesi)	349 - 354
0-1 Çok Boyutlu Sırt Çantası Probleminin Feromonol Yapay Arı Koloni (fYAK) Algoritması ile Çözümü (Araştırma Makalesi)	355 - 364
Yüzeyi ZnO Nanopartikülleri ile Kaplanmış Demir Matrisli Malzemelerin Karakterizasyonu ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi (Araştırma Makalesi)	365 - 370
Application of Machine Learning Methods with Dimension Reduction Techniques for Fault Prediction in Molding Process (Araştırma Makalesi)	371 - 378
Eğitim Yapılarındaki Dersliklerin Mimari Akustik Açından Simülasyon Yöntemi ile Değerlendirilmesi: KTÜ Örneği (Araştırma Makalesi)	379 - 387
Alaşehir (Manisa) Bölgesi Traverten Atıklarının Yol Alttemel ve Temel Tabakalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması (Araştırma Makalesi)	388 - 395
Zeolit İkameli Geopolimer Betonlarda Kür Şartlarının Etkileri (Araştırma Makalesi)	396 - 402
Standart Platin Direnç Termometrelerin Suyun Üçlü Noktası Hücresinde Kalibrasyonu ve Ölçüm Belirsizliği Hesabı (Araştırma Makalesi)	403 - 406
Analysis of The Electrodermal Activity Signals for Different Stressors Using Empirical Mode Decomposition (Araştırma Makalesi)	407 - 414
Tasarımın Uzun Boyun Seramik Femoral Baş Protezinin Yüksek Kırılma Oranına Katkısının Sonlu Elemanlar Analizi ile Araştırılması (Araştırma Makalesi)	415 - 422

Sinterleme Yöntemiyle Apatit – Wollastonit Cam Seramik Üretimi

*¹Mine Kırkbnar, ²Erhan İbrahimoglu, ³Fatih Çalışkan,

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fak., Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Esentepe Kampüsü, Sakarya, Türkiye, mnekrkbnr@hotmail.com

²Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fak., Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Esentepe Kampüsü, Sakarya, Türkiye, erhanibrahimoglu@subu.edu.tr

³Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fak., Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Esentepe Kampüsü, Sakarya, Türkiye, fcaliskan@subu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 06.12.2019

Kabul Tarihi: 30.01.2020

Öz

Bu çalışmada, apatit - wollastonit cam-seramik üretilmiş ve karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. AW cam seramik üretimi için CaO, SiO₂, P₂O₅, MgO, Al₂O₃ ve CaF₂ bileşikleri kullanılmış ve ağırlıkça oranları hesaplanarak toz kompozisyonu hazırlanmıştır. Hazırlanan karışım yaklaşık 1400°C'nin üzerinde 1 saat boyunca alümina pota içinde ergitilmiştir. Camlaşmış ergiyiğin amorf yapısını oda sıcaklığında korumak için aşırı soğuma şartlarında (suya dökülerek) kritik soğuma hızının üzerine çıkılarak soğutulmuştur. Elde edilen frit tozları öğütülüp kalıpta şekillendirilerek peletler üretilmiş ve 1000°C'nin üzerinde sinterlenerek hem kristalize yapı elde edilmiş hem de istenilen formda bulk malzeme elde edilmiştir. Ürünlerin kimyasal içeriğini belirlemek amacıyla X-ışını floresans spektrometre (XRF) analizi yapılmıştır. Ayrıca numunelerin mikroyapı incelemesi için taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve boyutsal değişimlerinin belirlenmesi için dilatometre analizi gerçekleştirilmiştir. Nihai ürünün faz içeriğinin belirlenmesi için X-ışını kırınım analizi (XRD) gerçekleştirilerek yapıda oluşan kristalin fazlar ve amorf fazlar tespit edilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen AW tozlarının ve bulk malzemenin kimyasal içeriklerinin ve mikroyapılarının literatür ve referans ürünlerle uyumlu olduğu ortaya konulmuştur. Yapılan SEM analizi ile mikroyapının çok düşük miktarda poroziteye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bioaktif, cam seramik, apatit-wollastonit, kemik

Apatite - Wollastonite Glass Ceramic Production by Sintering Method

*¹Mine Kırkbnar, ²Erhan İbrahimoglu, ³Fatih Çalışkan,

¹Sakarya University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Metallurgical Engineering, Esentepe Campus, Sakarya, Turkey, mnekrkbnr@hotmail.com

²Sakarya University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Metallurgical Engineering, Esentepe Campus, Sakarya, Turkey, erhanibrahimoglu@subu.edu.tr

³Sakarya University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Metallurgical Engineering, Esentepe Campus, Sakarya, Turkey, fcaliskan@subu.edu.tr

Abstract

In this study Apatite - wollastonite glass - ceramic production was made and characterization studies were carried out. For the production of A-W glass ceramics, CaO, SiO₂, P₂O₅, MgO, Al₂O₃ and CaF₂ compounds were used and powder composition was prepared by calculating the weight ratios. The mixture was melted in an alumina crucible for 1 hour at a temperature above 1400°C. To maintain the amorphous structure of the glass melt at room temperature, it was cooled over critical cooling rate by pouring into water. The resulting frit powders were ball milled and pressed into a steel die to produce pellets. After all, the pellets were sintered above 1000°C to obtain a stiff bulk material with crystalline structure as desired. X-ray fluorescence spectrometry (XRF) analysis was performed to determine the chemical composition of the product. In addition, scanning electron microscopy (SEM) was used for the microstructure analysis of the samples and dilatometer analysis was carried out to find dimensional expansion or shrinkage value. To detect the phase content of the final product, X-ray diffraction analysis (XRD) was performed to determine the main phases and secondary phases formed in the structure. The final bulk materials had the chemical composition and microstructure of A-W when compared with previous works (reference products). SEM analysis revealed that the microstructure had very low porosity level.

*Sorumlu Yazar: Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fak., Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Esentepe Kampüsü, Sakarya, Türkiye, mnekrkbnr@hotmail.com, 05068232524

Doi: 10.21541/apjes.656253

Keywords: Bioactivity, glass ceramic, apatite wollastonite, cortical bone

1. GİRİŞ

Camlar, kristal düzeni olmayan ve düzensiz yapı sergileyen amorf katılar olarak tanımlanmaktadır [1]. Biyoaktif camlar ise ilk olarak Larry Hench tarafından ticari ismi "Bioglass® 45S5" olarak adlandırılmıştır [2].

Biyoaktif camlar, yüksek biyouyumlulukları ve biyoaktiviteleri nedeniyle klinik uygulamalar için oldukça iyi malzemelerdir. Biyoaktif camlar ve ayrıca hidroksiapatit (HA) ve trikalsiyum fosfat (TCP) gibi bazı kristalli seramikler içerisinde kemiğin gelişimine izin vermekte ve kemiğe sıkı bir şekilde bağlanmaktadır [3].

Biyoaktif camların kusur bölgesine yerleştirilmesinden sonra cam yüzeyi ve çevresindeki biyolojik sıvı arasında iyon değiştirme reaksiyonları gerçekleşmekte ve implant yüzeyi üzerinde kemik benzeri bir apatit tabakasının oluşmasına yol açmaktadır. Bu durum da kemik ile implant malzemesi arasında bağ oluşmasını sağlamaktadır [4].

İyi bir biyo uyumluluk göstermesine rağmen, biyoaktif camların ve seramiklerin en büyük handikapı düşük darbe dayanımı ve kırılma tokluklarıdır. Bu özellikler seramik olmasının gerektirdiği karakteristik bir özelliktir. Bununla birlikte, bu özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla kompozit yapıda üretilmesi için polimerler veya farklı katkıları ve fazlarla kombinasyon gibi yeni stratejilerin geliştirilmesi bu dezavantajların kısmen üstesinden gelinmesine izin vermektedir. Tablo 1'de farklı biyomalzemelere ait mekanik değerler verilmiştir. [5]

Tablo 1. Bazı biyoseramiklerin özellikleri

Malzeme	Basma Mukavemeti (MPa)	Kırılma Tokluğu (MPa.m ^{1/2})	Eğme Mukavemeti (MPa)	Vickers Sertliği (Hv)
HA	100-150	0,8-1,2	60-120	90-140
Bioglass® 45S5	-	0,6	40	-
Cerabone AW	1080	2	215	680
Cortical Bone	100-135	2-12	50-150	60-75

Bu özelliklerinin yanı sıra, kompozit olarak üretilmeye çalışılan bu biyomalzemelerin, farklı katkıları ve oluşturulmak istenen fazlar ile biyoaktivitesinin azaltılıp azaltılmadığının hala endişe konusudur. Yani bu katkı ve fazların mekanik özellikleri geliştirirken biyouyumluluğu nasıl etkilediği çözüme kavuşturulması gereken bir başka konudur. [6]. Biyoaktif seramikler arasında, apatit wollastonit optimum bileşimi Kokubo ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş CaO, SiO₂, P₂O₅, MgO, CaF₂ bileşimidir [7].

1980'lerde Kokubo tarafından geliştirilen apatit wollastonit cam seramik, diğer cam ve cam seramiklere kıyasla yüksek

mekanik mukavemet göstermektedir. Böyle bir yüksek mekanik mukavemet apatite ek olarak wollastonitin çökmesinden dolayı nispeten yüksek kırılma tokluğuna bağlanmaktadır [8].

Ayrıca, apatit wollastonit cam-seramiklerinin en biyoaktif malzemelerden biri olduğu ve apatit wollastonit cam seramiğin biyoaktivite endeksinin, yoğun sinter hidroksiapatitinkinden biraz daha yüksek olduğu literatürde bildirilmiştir. Gerçekte apatit wollastonit cam seramiğin biyoaktivite endeksi 3.2, hidroksiapatitin biyoaktivite endeksi ise 3'tür. Bu veriler, apatit wollastonit cam seramiğin daha biyoaktif olduğunun ve hidroksiapatit ile karşılaştırıldığında daha kısa sürede kemik ile bağ yaptığı anlamına gelmektedir [9,10]

Bu çalışmada, insan vücuduna uyumlu bir yapı olan apatit fazını içeren bir cam seramik yapı elde edilmesi hedeflenmektedir. Wollastonit cam tozunun kontrollü kristalizasyonu ve ısı işlemler sonunda bulk formda AW cam seramik ürünler elde edilecektir. Ürünlerin toz boyut analizi, XRF analizi, XRD analizi ve SEM incelemesi ile karakterizasyonu gerçekleştirilerek hedeflenen yapıya kavuşulma durumu ortaya konulacaktır.

2. MATERYAL VE METOT

A-W üretiminde hammadde olarak %99 saflıkta (Alfa Aesar, ABD) olan CaO, SiO₂, P₂O₅, MgO, Al₂O₃ ve CaF₂ bileşikleri kullanılmıştır. Üretim iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada frit üretilmiş ikinci aşamada ise bulk malzeme üretilerek karakteriz edilmiştir.

2.1. AW Toz Üretimi

Elimizdeki hammaddelerin (CaO, SiO₂, P₂O₅, MgO, Al₂O₃ ve CaF₂) yüzde oranlarına göre tartım hesapları yapılarak karışım hazırlanmıştır [11]. Hazırlanan karışım homojenleştirildikten sonra alümina pota içerisinde alınmıştır. Apatit-Wollastonit cam seramiği, Tablo 2'deki gerçek oksidik kompozisyona göre hazırlanmıştır.

Tablo 2. A-W referans malzemenin kompozisyonu.

Kompozisyon (%)	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	CaF ₂	Al ₂ O ₃	MgO
Referans	33,75	13,48	48,86	0,03	1,9	1,94

Pota 1380°C'ye ayarlanan fırın içerisine yerleştirilmiştir. Fırın sıcaklığı kademeli olarak (her 15 dakikada 5-10°C) artırılıp yaklaşık 1400°C'ye çıkılmıştır ve 1 saat ergitme işlemi yapılmıştır. Ergime tüm malzemedeki homojen olarak gerçekleştiğinde pota fırından çıkarılmıştır. Ergiyik, suya dökülerek frit (camsı yapı) haline getirilmiştir. Süzülen numune kurutma fırınında kurutulduktan sonra alümina değirmende öğütülmüştür. Daha sonra 1 inç çaplı çelik kalıpta preslenerek peletler elde edilmiştir. Isıl işlem fırınında 500°C'nin üzerinde çekirdeklenme, 1100°C

üzerinde ise sinterleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Nihai ürünler fiziksel, kimyasal ve termal analizlerle incelenmiştir.

3.BULGULAR VE TARTIŞMA

Karakterizasyon için üretilen toz şeklindeki AW numuneleri kullanılmıştır.

3.1. X-ışını Floresans Spektrometresi (XRF) Analizi

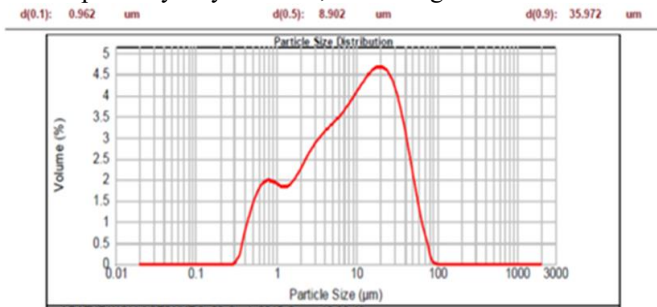
Üretilen malzemenin ilk olarak X ışını kırınımı ile içerisinde bulunan oksitler ve bulunan miktarları karakterize edilmiştir. Literatürde çalışmalarında AW kompozisyonu ile üretilen numunelerin toz halde yapılan XRF sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo 3'de verilen XRF sonuçları incelendiğinde orijinal değerlerle karşılaştırıldığında yakın sonuçlar elde edilmiştir. AW tozunun CaO, SiO₂ ve P₂O₅ temel bileşenlerdir. X ışını kırınım (XRF) analizi için üretilen numune hazırlama aşamasında 9 gr A-W tozu ile 1 gr wax bağlayıcı kullanılmıştır.

Tablo 3. A-W referans kompozisyonu ile üretilen malzemenin kompozisyonu

Kompozisyon (%)	CaO	SiO ₂	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	MgO	CaF ₂
Referans	48,86	33,75	13,48	1,9	1,94	0,03
XRF sonucu	48,44	33,45	13,67	2,00	1,93	0,06

3.2. Tane Boyut Analizi

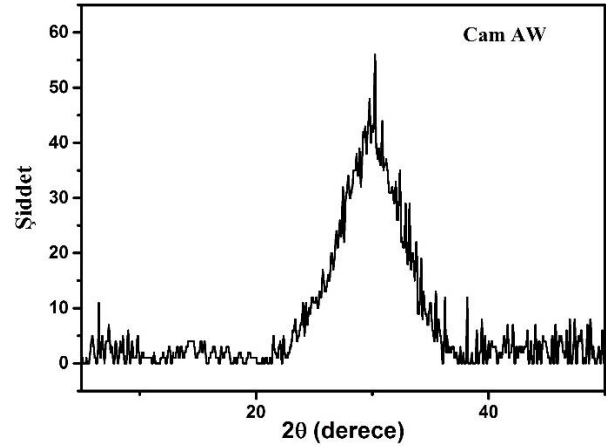
A-W tozuna ait grafik incelendiğinde öğütülen tozların %90'ı 36µm'nin altındadır. %50'si ise 8µm'den küçüktür. Eğriden de görüleceği üzere toz boyut dağılımı 2 noktada pik yaparak bimodal dağılım göstermiştir. İki noktadaki toz boyut yoğunlaşması daha uzun süre öğütülmesi durumunda tozun dominant şekilde mikron altı seviyeye inebileceğini göstermektedir. Ancak bu çalışma kapsamında toz boyutu yeterli görülmektedir. Likitvanichkul ve ark. yapmış olduğu çalışmada sinterleme için öğütülen A-W toz boyutunun 45 mikron altı seviyede olup bu çalışmada üretilen toz spesifikasyonlarıyla uyumlu olduğu görülmüştür [12]. Tozun spesifik yüzey alanı ise; 1.99 m²/g'dır.



Şekil 1. AW tozlarına ait tane boyut analiz sonuçları.

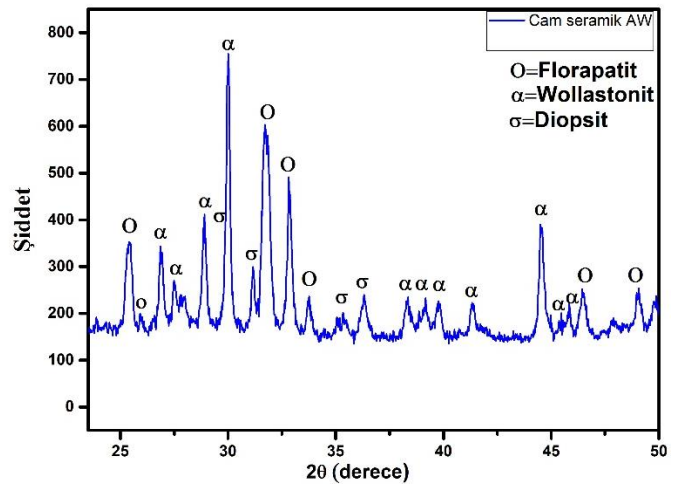
3.3. XRD Sonuçları

Apatit wollastonite ait XRD paternleri iki farklı numune için de incelenmiştir. Bunlardan ilki üretimi tamamlandıktan sonra toz haline getirilmiş cam AW numunesi içindir. Diğerisi ise Şekil 3'te verilen kristalizasyon ısıl işlemine tabi tutulmuş numuneler içindir. Şekil 2'de cam AW numunesine ait XRD verileri görünmektedir.



Şekil 2. Cam AW numunelerine ait XRD analiz sonucu. Cam AW numunesinin XRD verileri incelendiğinde kristal yapıda bir faz tespiti yapılamamıştır. Bu durum malzemenin %100 cam olarak üretildiğinin kanıtıdır.

Kristalize numunelere ait XRD verileri ise Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde florapatit, wollastonit ve diopsit fazları elde edildiği görülmüştür. Elde edilen pikler literatür ile kıyaslandığında cam ve kristalin AW tozları başarılı bir şekilde sentezlenmiştir. AW cam seramiğinin yapısı %28 kalıntı cam, %38 apatit [Ca₁₀(PO₄)₆(O, F₂)], ve %34 wollastonit (SiO₂•CaO) olarak tanımlanmıştır (XRD grafiği alan hesaplama metoduyla hesaplanmıştır).

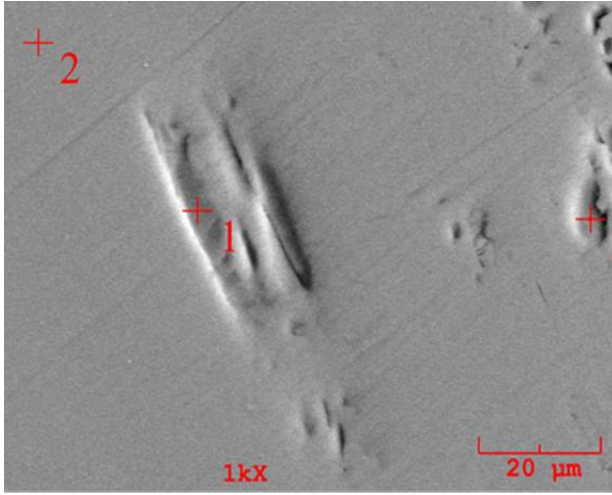


Şekil 3. Kristalize AW tozlarına ait XRD görüntüsü

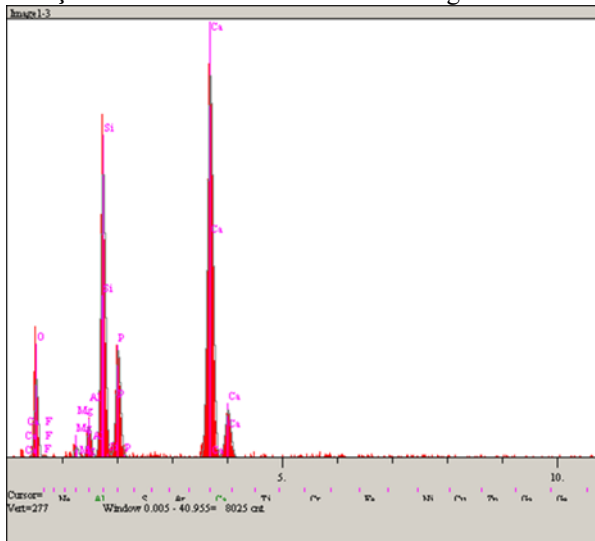
3.4. SEM Sonuçları

Kritik soğuma hızının üzerinde soğutma gerçekleştirerek, kristalizasyon oluşmadan elde edilen numunelerin mikro yapılarını görüntülemek için taramalı elektron mikroskobu görüntüsü alınmıştır. Numuneler metalografik işlemlerle

hazırlanarak mikroyapı incelemesine uygun hale getirilmiştir. Şekil 4'te A-W biyoaktif cam malzemenin taramalı elektron mikroskobu görüntüsü ve Şekil 5'te EDS sonuçları verilmiştir.



Şekil 4. Cam AW tozlarına ait SEM görüntüsü



Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	Units
O	Ka	42.91	4.142	36.630	wt.%
F	Ka	0.97	0.624	0.704	wt.%
Mg	Ka	6.51	1.614	0.807	wt.%
Al	Ka	20.09	2.835	2.105	wt.%
Si	Ka	190.04	8.718	17.740	wt.%
P	Ka	72.95	5.401	8.241	wt.%
Ca	Ka	308.10	11.100	33.772	wt.%
				100.000	wt.% Total

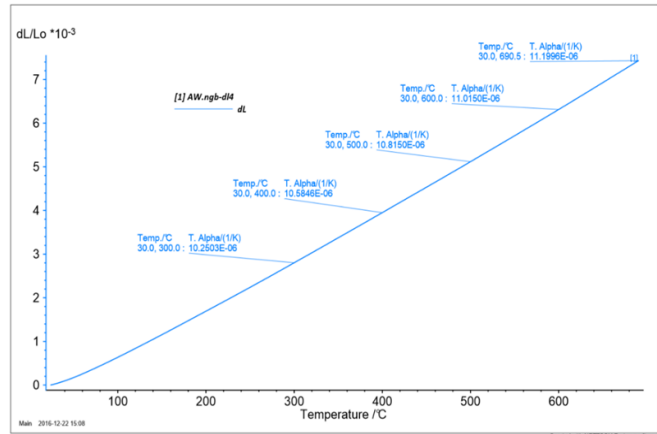
Şekil 5. AW tozlarına ait EDS sonuçları

Görüntü incelendiğinde küçük aşınmaların dışında belirgin bir faz ayrışması ve habbe izlenmemiştir. Literatürde üretilen A-W camları incelendiğinde, genelde cam yapısında prosesin hassas kontrol edilememesinden kaynaklı kontrolsüz kristalizasyon izlenmekte olup ayrıca habbe de gözlenebilmektedir [13]. Ancak mevcut çalışmada prosesin hassas kontrolü sonucu bu tür istenmeyen sonuçlar minimize

edildiği Şekil 4'te açıkça görülmektedir. Yüzeydeki izler dökümün yapıldığı grafit kalıp yüzeyindeki pürüzlülüğün kaynaklanmaktadır. EDS sonuçlarına bakıldığında, hakim elementlerin oksijen, silisyum, kalsiyum ve fosfor olduğu görülmektedir. Bu durum hakim fazın apatit ve wollastonit olduğuna kanıt oluşturabilir. Bunun yanında bileşimde kullanılan flor, alüminyum, magnezyum elementleri de olması gerektiği gibi yapıda tespit edilmiştir.

3.5. Dilatometre Sonuçları

Şekil 6'da ölçümler sonucunda; numunenin termal genişleme katsayısı, hacimsel genişleme, cam geçiş sıcaklığı ve yumuşama noktası tespit edilmiştir. Elde edilen grafikten görüleceği gibi A-W sert bir malzemedir. Normal bir sertliğe sahip malzemeler 700°C civarlarında genişleme göstermektedir. Fakat elde edilen grafikten de görüleceği gibi A-W genişlemeye henüz başlamamıştır. Genleşme özelliği yüksek sıcaklıklardaki servis şartlarında çalışması açısından önem arz etmektedir. Ancak vücutta kullanılması hedeflenen durumlarda önem arz etmemektedir.



Şekil 6. AW tozlarına ait dilatometre sonucu

3.6. Nem Tayin Cihazı

Elde edilen AW cam seramik tozlarının nem oranlarının tayini toz hazırlama ve pelet elde etme işlemlerinden proses parametrelerini etkileyen bir faktördür. Bu sebepten dolayı üretilen numunelerin nem miktarları kritik seviyenin altında olmalıdır. Elde edilen veriler incelendiğinde numunenin nem oranı kritik miktarın altındadır. Fazla nem ise sinterleme işleminde ısınma esnasında hızlıca buharlaşmaya çalışarak oluşturacağı buhar basıncı sebebiyle pelet bünyesinin dağılmasına sebep olabilir.

Tablo 4. AW ait nem tayini sonuçları

Numune Kodu	Nem Oranı (%)
1	0,15
2	0,17
3	0,20

3.7. Spektrofotometre (Colormeter)

Numunenin ortodontik aplikasyonlarda kullanılabilme potansiyeli sebebiyle estetik kaygı oluşturmaması için

spektrofotometre analizi yapılmıştır. İlk olarak üretilen fritler, %5 kaolen + 30 ml su + %95 frit olacak şekilde bir kompozisyonlar tartımı yapılarak hazırlanmış ve bilyalı değirmende 10 dakika süreyle öğütülür. Daha sonra seramik karo yüzeyi, yüzeydeki kirlilikleri uzaklaştırmak için ve yüzeyde hidroksil bağları oluşturmak için yüzeye ince bir film halinde nem uygulanır. Yeterli viskoz kıvama getirilen solüsyon özel bir aparat yardımıyla standart numunenin yanına eklenir. Daha sonra seramik fırınına şarj edilen seramik karo çifti kademeli olarak ısıtılarak ısıl çevrim uygulanır. Fırından çıkarılan soğumuş numune spektrofotometre cihazıyla standarttan ölçüm alınır. L,A,B değerleri renkleri ifade etmektedir.

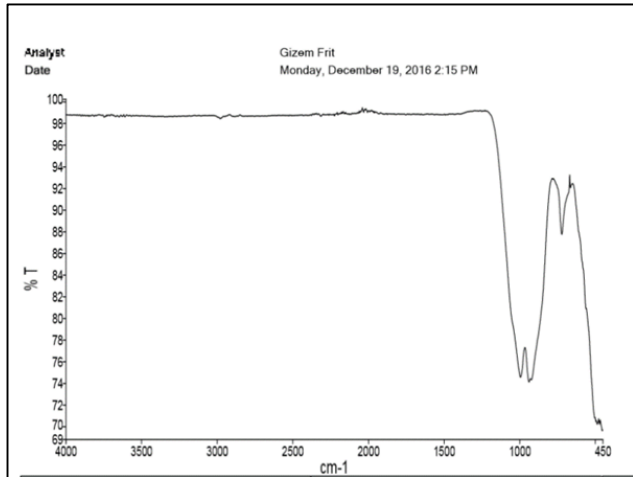
Tablo 5. AW ait Spektrofotometre Sonuçları

	L	A	B	DL	DA	DB	DE/ AB
Standart	82,06	3,27	8,06	0,13	-0,06	-0,08	0,17
Deney Numunesi	81,61	3,34	8,57	-0,32	0,01	0,44	0,54

Standart numunemizden üretilen numunelerimizin farkı çok düşüktür. Renk verileri olarak standart numuneye yakın değerler elde edilmiştir.

3.8. F-TIR Sonuçları

Şekil 7’de verilen AW cam numunenin F-TIR spektrumu incelendiğinde elde edilen pikler ve bulunduğu aralıklar literatürle karşılaştırıldığından standart AW cam numuneleriyle bire bir örtüşmektedir. 900cm^{-1} ile 450cm^{-1} aralığından içerdiği bağlarla ait karakteristik eğriler vermiştir.



Şekil 7. AW’ye ait F-TIR sonuçları

3. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada cam ergitme metodu kullanılarak literatürde AW cam seramik üretimi için kullanılan kompozisyon ile AW bileşenlerini içeren amorf yapıda cam ürünlerin üretimi başarılmıştır [14]. AW cam üretimi sırasında prosesin hassas bir şekilde kontrolü oldukça zor olması sebebiyle bu çalışmada monolitik olarak AW camının eldesi oldukça önemlidir. Tamamen cam yapısından başlayarak elde edilen


kristalizasyon mikroyapının daha homojen olmasına ve mekanik özelliklerin daha da geliştirilmesini sağlayacaktır. Genellikle kontrolsüz çekirdeklenme ve kristallenme geniş aralıkta tane oluşumlarına ve farklı boyutlarda kristallenmelere sebep olmaktadır. Sonuç olarak, yapılan analiz sonuçları ele alındığından bu çalışma kapsamında üretilen AW cam seramik malzemenin literatürle uyumlu bir bileşimde ve kontrollü kristalizasyon ile başarılı bir şekilde üretilmiştir.


KAYNAKÇA

- [1]. Williams, D.F., “Definitions in biomaterials”, Progress in Biomedical Engineering, Elsevier, Amsterdam, 1987.
- [2]. Hench, L.L., West, J.K., “The sol-gel process”, Chem. Rev. 90 (1990) 33–72. - Hench, L.L., Wilson, J., “Introduction to Bioceramics”, World Scientific, Singapore, 1993.
- [3]. [Hench, L.L., “Biomaterials: a forecast for the future”, Biomaterials 19, 1419–1423, 1991.
- [4]. ALBREKTSSON, T., “Osteoinduction, osteoconduction and osseointegration”, Euro. Spine Journal 10 S96–101, 2001.
- [5]. KAUR, G., “Mechanical properties of bioactive glasses, ceramics, glass-ceramics and composites: State-of-the-art review and future challenges”, Materials Science & Engineering C 104, 109895, 2019.
- [6]. Thompson, I.D., Hench, L.L., “Mechanical properties of bioactive glasses, glass-ceramics and composites”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine, 212: 127, 1998.
- [7]. KOKUBO, T., SHIGEMATZU, T., “Apatite-Wollastonite Containing Glass Ceramics for Prosthetic Application”, Bull. Inst. Chem. Res., Kyoto Univ., Vol.60, No. 3-4, 1982.
- [8]. Cannillo, V., Pierli, F., Sampath, S., Siligardi, C., “Thermal and physical characterisation of apatite/wollastonite bioactive glass-ceramics”, Journal of the European Ceramic Society 29 (2009) 611–619.
- [9]. Ratner, B. D., Hoffman, A. S., Schoen, F. J. and Lemons, J. E., Biomaterials science. An Introduction to Materials in Medicine. Elsevier Academic Press, 2004.
- [10]. R.Tejido-Rastilla, G.Baldi, A.R. Boccaccini” Ag containing polydopamine coating on a melt-derived bioactive glass-ceramic: Effect on surface reactivity” Ceramic Internationals, 44-13, 2018.
- [11]. Timuçin, M. Öztürk, A. Korkusuz, F. et al., Apatit – Wollastonit Biyoaktif Seramiklerin Üretimi ve Karakterizasyonu, Proje No: 104M400, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Mayıs 2008.
- [12]. Likitvanichkul and W.C.lacourse Apatite-Wolastonite glass-ceramics, J. of Materials Scienc, 33 - 5901-5904, 1998.
- [13]. Chawla, K.K., “Ceramic Matris Composites, Kluwer Academic Publishers”, USA, 2003.
- [14]. Murugan, K., and Ramakrishna, S., “Development of Nanocomposites for Bone Grafting Composites Science and Technology”, 2385-2406, 2005.

Influence of Dry-Wet Machining Conditions on Surface Roughness of 6082-T6 Aluminum Alloy in Milling Process

*¹Neslihan Ozsoy, ²Murat Ozsoy

¹ Sakarya University, Department of Mechanical Engineering, Sakarya, Turkey, nerken@sakarya.edu.tr, 

² Sakarya University, Department of Mechanical Engineering, Sakarya, Turkey, ozsoy@sakarya.edu.tr, 

Research Paper

Arrival Date: 19.07.2019

Accepted Date: 11.12.2019

Abstract

In present study the optimum processing conditions were detected by exploring the surface roughness of the 6082-T6 aluminum alloy during milling, depending on the feed per tooth (0.03, 0.05, 0.07, 0.09 mm/tooth), spindle speed (1000, 1500, 2000, 2500 rpm) and cooling type (air, liquid) parameters. Experiments designed according to Taguchi's L16 orthogonal array. With the help of Signal/Noise ratios, the appropriate levels of the parameters have been determined to reduce the surface roughness value to the smallest value. The optimized machining conditions for surface roughness were observed 0.03 mm/tooth of feed per tooth and 2500 rpm of spindle speed and cooling by liquid. Variance and regression analysis were also made in the study. It was obtained that feed per tooth was the dominant parameter on surface roughness according to the analysis results. As last step, confirmation tests were carried out to check the success of the study.

Keywords: Optimization, Surface roughness, Taguchi method, ANOVA, Milling of Aluminum Alloy

1. INTRODUCTION

Due to the demand for more precise and complex products in the areas of volume molding, automotive and aerospace, machinability becomes even more important. Especially the high speed CNC machine tools, the flexibility of CAD/CAM software and the developments in cutting tool technology show that the studies in this area are distributed in a wide range.

Aluminum alloys with high strength/weight ratios, good corrosion/fatigue resistance and high metal removal rates constitute a large part of the workability of milling operations. Surface roughness is one of the most important quality components seen after the machining process. Therefore, researchers focus on this issue. The effects of variables such as cutting parameters (axial cutting depth, cutting speed, feed rate and radial depth), cutting tool geometry or material, tool temperature, vibration and workpiece material, tool wear on surface roughness are investigated [1-7].

When examining the quality of a product, many factors are looked at. Surface roughness is very important in terms of technological quality. It is also a factor affecting the production cost [8]. The basis for the formation of surface

roughness is a complex mechanism. Therefore, it is quite difficult to calculate with theoretical analyzes. The trial plan is produced in the Taguchi method using standard orthogonal arrays. The experimental results are then analyzed using the mean analysis of the influencing factors and variance analysis (ANOVA).

Researchers' interest in the Taguchi method is increasing day by day, especially due to the low number of experiments, ease of application and easy evaluation of qualitative variables [9].

Experimental working needs to spend too much time so it is hard. Taguchi method is useful to avoid this. Many researchers have used this method [10-15].

Researches in literature show that many factors affect the surface roughness, such as the type of material, cutting tool, cutting speed and progress, cutting depth, coolant and machine construction [16-19]. However, the effects of the factors causing change can be different and independent or they may be related to each other. In this study, the surface roughness was evaluated statistically by using ANOVA in the milling of 6082-T6 aluminum alloy with uncoated cemented carbide by using the Taguchi method, which has gained considerable importance in the last 10 years.

Unlike the literature, the Taguchi method was used to select the parameters and levels that were not previously used together and their effects on surface roughness were investigated.

2. MATERIALS AND METHODS

This section provides information about the work piece material, machine, cutting tool, method and experimental plan used in the study.

2.1. Taguchi Method

Experiments are used by researchers to identify and understand a system or a specific process [20].

The Taguchi design method used in this study is a design process developed by Genichi Taguchi. It is a set of methodologies that take account of the difference in material and production processes at the design stage. Taguchi design lets researchers more factors to take into consider easily. In this method, not only control factors but also noise factors are taken into consideration. The Taguchi design, as compared to the experimental design (DOE), executes only

combinations of balanced (orthogonal) experiments. This makes the Taguchi design more effective than the fractional factor design. Thanks to the Taguchi technique, the product development cycle for both design and production can be greatly reduced in the industry, thus increasing costs and profits. In addition, Taguchi design considers ignored noise factors in the traditional experimental approach [9].

With the orthogonal sequences used in this method, the number of tests is significantly reduced and the effects of uncontrollable factors are minimized. On the other hand, it creates an easy, efficient and systematic method to identify the most appropriate parameters in production [21-25].

2.2. Work Piece Material, Machine and Cutting Tool

The work piece material selected for investigation is 6082-T6 aluminum alloy with the compositions as shown in Table 1. The alloy has 95 HB hardness, yield strength of 250 Mpa, tensile strength of 310 MPa and elongation of 10%. The dimensions of the work piece used in experimentation are 20x150x70 mm³.

Table 1. Chemical components of the workpiece

Element	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Other	Al
Weight (%)	0.5	0.7-1.3	0.1	0.4-0.1	0.6-1.2	0.2	0.15	0.15	Rest

All experiments were carried out at dry and wet conditions in TAKSAN vertical machining center which has three axis machining capability in Sakarya University laboratory. Three flute uncoated cementitious carbide end mill cutter with a 45° helix angle manufactured by ISCAR, was used for trajectory milling with a 1 mm depth of cut the specimen AA6082 T6 at 150x70x20 mm³. Each test was repeated three times at dry and wet machining conditions, then surface roughness was measured and averaged.

The diameter of the end mill was selected as 10 mm. The cutting tool used during the test is mainly used for aluminum and high temperature alloys at low and medium cutting speeds. The image of the cutting tool is shown in Figure 1 and trajectory milling process applied specimens are shown in Figure 2.

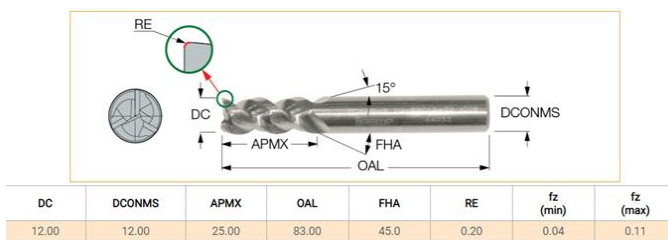


Figure 1. ECA-B-3 10-22C-72 Item numbered cutting tool

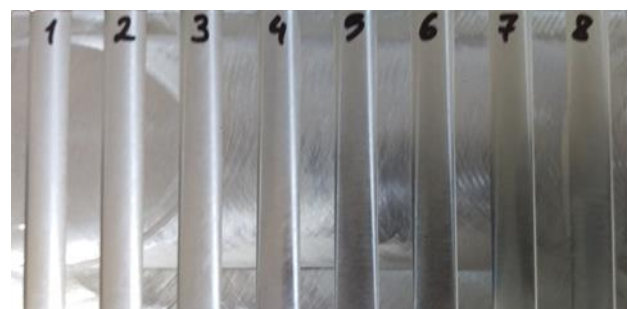


Figure 2. Machined part of 1 to 8 experiments

2.3. Experimental Plan and Procedure

Three different parameters as feed per tooth, spindle speed cooling type were chosen in the experiment design. Selected parameters and levels are specified in Table 2. According to full factorial experiment design 4x4x2=32 experiments were required. In Taguchi method orthogonal array is used to decrease experiment numbers. The most suitable

orthogonal array L16 (mixed level) was selected to determine optimum conditions and analyze the parameters [26]. Thus Taguchi method reduced the experiment number to 16. All statistical analyses were performed using the Minitab 17 statistical package program at 95% confidence level.

MAHR-MARSURF PS1 model desktop roughness measurement instrument was used to measure surface roughness values. Measurements were taken at room temperature. The instrument measures according to DIN EN ISO 3274 standards. Measurements were taken from the

workpiece on the same axis at one point. The cutting length (Lc) was chosen as 0.8 mm and the sampling length (Lt) as 5.6 mm for the measurement of the surface roughness values which occurred during machining on the workpiece.

Table 2. Selected parameters and levels

Symbol	Parameters	Level1	Level2	Level3	Level4
A	Feed per tooth, mm/tooth	0.03	0.05	0.07	0.09
B	Spindle speed, rpm	1000	1500	2000	2500
C	Cooling type	Air	Liquid		

3.RESULTS AND DISCUSSIONS

In this section, signal/noise analysis, variance analysis, regression analysis, surface graphs, probability analysis and confirmation tests are given.

3.1. S/N Ratio Results

The average surface roughness (µm) measurements made and their average values are given in Table 3. Optimization was done with the help of the results obtained. In this optimization process, there are three different convenient functions known as the Taguchi loss function, also referred to as the signal to noise ratio (S/N-Signal/Noise) function. These are “the higher the better”, “the nominal is the best”,

“the lower the better”. We want to decrease surface roughness. So “the lower the better” approach was used and shown in equation (1) below.

$$\eta = S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \tag{1}$$

where: y_i =observed data at the i_{th} experiment, n =the number of observations of the experiment [11].

“S/N response table” shows the effect of each parameter on the surface roughness in Table 4. S/N analysis made by Taguchi method provides to find out optimal levels for the optimal surface roughness.

Table 3. The results of the experiments

Experiment no	Feed per tooth, mm/tooth	Spindle speed, rpm	Cooling type	Surface Roughness, R_a , µm	S/N ratio for R_a , dB
1	0.03	1000	Liquid	0.37725	8.4674
2	0.03	1500	Liquid	0.26250	11.6174
3	0.03	2000	Air	0.32100	9.8699
4	0.03	2500	Air	0.31350	10.0752
5	0.05	1000	Liquid	0.39100	8.1565
6	0.05	1500	Liquid	0.36325	8.7959
7	0.05	2000	Air	0.52925	5.5268
8	0.05	2500	Air	0.48775	6.2361
9	0.07	1000	Air	0.81350	1.7928
10	0.07	1500	Air	0.67000	3.4785
11	0.07	2000	Liquid	0.50750	5.8913
12	0.07	2500	Liquid	0.52450	5.6051
13	0.09	1000	Air	0.89200	0.9927
14	0.09	1500	Air	0.81675	1.7582
15	0.09	2000	Liquid	0.64450	3.8155
16	0.09	2500	Liquid	0.59300	4.5389

Table 4. S/N response table

Level	A	B	C
1	10.007	4.852	4.966
2	7.179	6.413	7.111
3	4.192	6.276	-
4	2.776	6.614	-
Delta	7.231	1.761	2.145
Rank	1	3	2

Mean of S/N ratio graphs are shown in Figure 3. The optimum level of each parameter was determined according to the highest signal to noise ratio of these control factor levels. Hence, the levels for the parameters giving the best R_a value were detected as factor A (Level 1, S/N=10.007), factor B (Level 4, S/N=6.614) and factor C (Level 2, S/N=7.111). That means an optimum R_a value can be measured with these levels of factors [11].

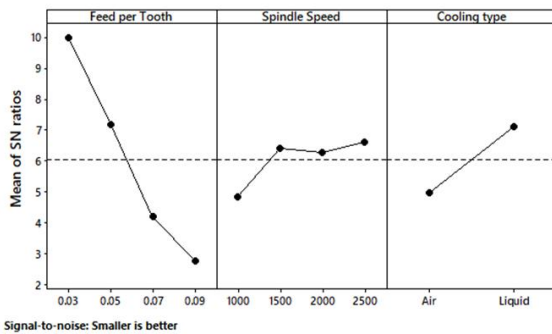


Figure 3. S/N graphs for surface roughness

Table 5. Analysis of variance results for surface roughness

Source	Degree of freedom	Sum of squares	Mean square	F ratio	Contribution rate (%)
A	3	0.418961	0.139654	78.14	74.13
B	3	0.044844	0.014948	8.36	7.93
C	1	0.087062	0.087062	48.71	15.4
Error	8	0.014299	0.001787	-	2.53
Total	15	0.565165	-	-	100

3.3. Regression Analysis of Surface Roughness

Regression analysis is the analysis method used to measure the relationship between two or more variables [29]. Because of the different parameters in the study, regression analysis can be performed for surface roughness [30]. In this study, the dependent variable is surface roughness, whereas the independent variables are feed per tooth (ft), spindle speed (ss) and cooling type (ct). For the surface roughness, the estimated equations (2) and (3) given below are obtained by regression analysis.

3.2. ANOVA Results

With Variance Analysis (ANOVA), the effects of which factors are effective on the process are determined statistically. In the analysis of variance, the aim is to determine the extent to which the factors examined affect the output values selected in order to measure the quality and how the different levels effect the results.

In addition, the statistical reliability of the results obtained is also tested. With the help of ANOVA the effects of feed per tooth, spindle speed and cooling type on surface roughness were found. Table 5 shows the ANOVA results for the surface roughness. In the variance analysis (ANOVA) performed in this study, the confidence interval was 95% and significance level was 5%.

The effects of parameters in ANOVA is calculated by comparing the F ratio of each parameter. The last column of the table gives the contribution rate of each parameter, defining the degree of impact on measurements.

The contribution rates of the A, B and C factors on the surface roughness were found to be 74.13%, 7.93% and 15.4% respectively. From these results effective parameter on the surface roughness were feed per tooth (factor A, 74.13%). This results are in consistency with literature [27, 28].

$$R_a = 0.1813 + 7.200 f/t - 0.000089 ss \text{ (ct=liquid)} \quad (2)$$

$$R_a = 0.3288 + 7.200 f/t - 0.000089 ss \text{ (ct=air)} \quad (3)$$

$$R\text{-sq}=95.76\% \quad R\text{-sq (adj)}=94.70\%$$

where: R_a =surface roughness, f/t =feed per tooth, ss =spindle speed and ct =cooling type.

Equation (2) was used when the cooling type had been liquid and equation (3) was used when the cooling type had been air. The actual test results obtained with the linear regression model and the estimated values are compared in Figure 4. R^2

for the linear regression model for R_a was calculated as 95.76%.

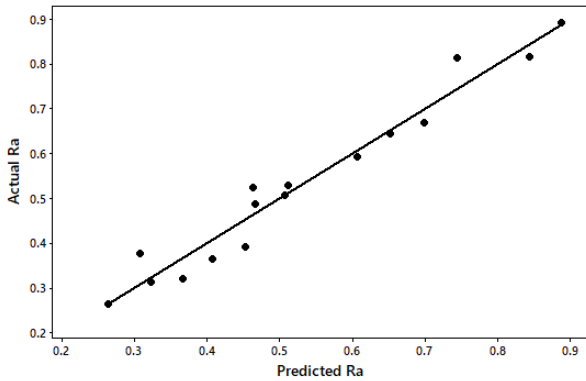


Figure 4. Comparison of predicted R_a found by linear regression model with actual R_a

3.4. Surface Graphs

3D surface graphics are used to see a response variable in relation to two predictive variables. A 3D surface plot is a three-dimensional graph that is used for investigating desired response values and operating conditions. Surface graphics serve to see the optimum junction point between two data sets.

In Figure 5 plot shows the relationship between the spindle speed and feed per tooth over the surface roughness. As the spindle speed increased, surface roughness decreased. Moreover, when feed per tooth increased, surface roughness increased too.

This is because, at a higher feed rate, the surface quality decreases as the tool passes through the workpiece too rapidly, while at the higher cutting speed, the temperature during the cutting increases, resulting in a softening of the material, leading to a reduction in surface roughness. These graphs indicate that the minimum surface roughness is obtained at low feed level, high speed and high nose radius [31].

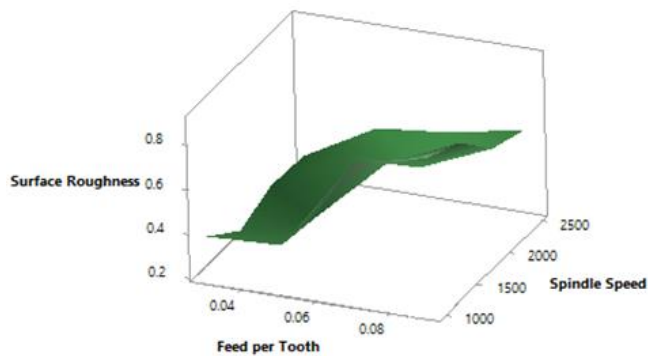


Figure 5. Surface plot of surface roughness vs feed per tooth, spindle speed

In Figure 6 plot shows the relationship between the cooling type and feed per tooth over the surface roughness. Process with liquid as cooling type created lower surface roughness. As the feed per tooth increased, surface roughness measured higher.

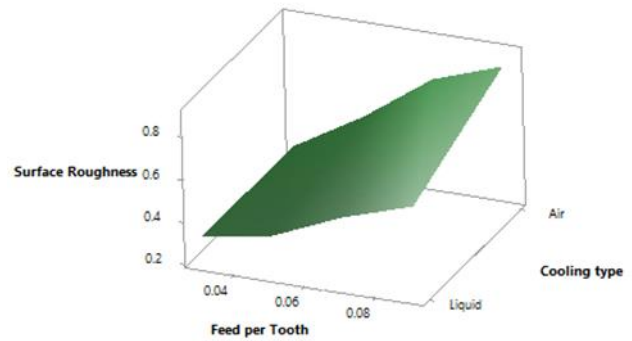


Figure 6. Surface plot of surface roughness vs cooling type, feed per tooth

In Figure 7 plot indicates the correlation between the spindle speed and cooling type over the surface roughness. A rise in the spindle speed caused surface roughness to be lower. When air used as liquid type resulted as rougher surfaces.

All these comments support the S/N ratio results.

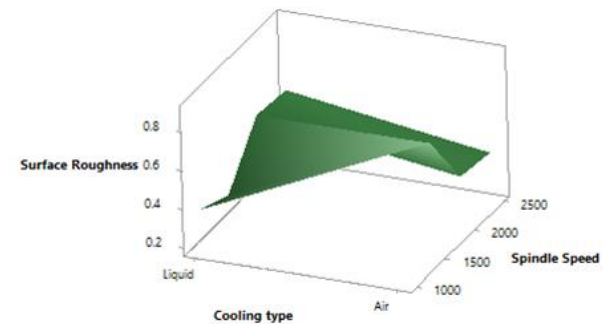


Figure 7. Surface plot of surface roughness vs cooling type, spindle speed

3.5. Confirmation Tests

The last step in Taguchi method is verification tests. Accuracy of the optimization is confirmed by this tests. Therefore, confirmation tests were performed at optimum levels of parameters. In the optimization of ideal surface roughness equation (4) was used.

$$R_{aopt} = (\bar{A}_1 - \bar{T}_{Ra}) + (\bar{B}_4 - \bar{T}_{Ra}) + (\bar{C}_2 - \bar{T}_{Ra}) + \bar{T}_{Ra} \tag{4}$$

Here, $(\bar{A}_1, \bar{B}_4, \bar{C}_2)$ are the optimal level mean values of surface roughness (R_{aopt}) and \bar{T}_{Ra} states the mean of all of the R_a values gained from the experiments. The calculated values are: $\bar{A}_1 = 0.3185 \mu m, \bar{B}_4 = 0.480 \mu m, \bar{C}_2 =$

0.458 μm and $\overline{T_{Ra}} = 0.5317 \mu\text{m}$. By giving them in equation (4), the mean optimum value of the surface roughness has been predicted as $R_{aopt} = 0.1931$.

Finally, a validation test was required to confirm the optimized state. When the reliability of the situation is 95%, the confidence interval (CI) is calculated by equations (5) and (6) [32]:

$$CI_{Ra} = \sqrt{F_{\alpha,1,f_e} V_e \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{R} \right]} \tag{5}$$

and

$$n_{eff} = \frac{N}{1+T_{dof}} \tag{6}$$

Here $F(\alpha, 1, f_e)$ is the F-ratio at 95% confidence interval, $f_e=8$ DOF for error, $V_e=1.787E^{-03}$ the error variance from Table 5, $R=3$ the number of replications and N_{eff} is effective number of replication, $N=48$ (16 \times 3) total number of experiments and $T_{dof}=7$ the total degrees of freedom associated with the mean optimum, from standard statistical table, the required F ratio for $\alpha = 0.05$ is found $F(0.05,1,8)=5.32$

By substituting equations (5) and (6), $n_{eff}=6$ and $CI=\pm 0.0688$. So, 95% confidence level range predicts optimum surface roughness $=0.0688\pm 0.1931 \mu\text{m}$ so the verification result should be $0.1243\mu\text{m} < R_{aexp} < 0.2619 \mu\text{m}$ [30].

The R_a obtained from confirmation experiment was $R_{aexp}=0.231 \mu\text{m}$ remained within the confidence interval. We can say that, system optimization for surface roughness was achieved at a significant level by using the Taguchi method.

3.6. Probability Analysis

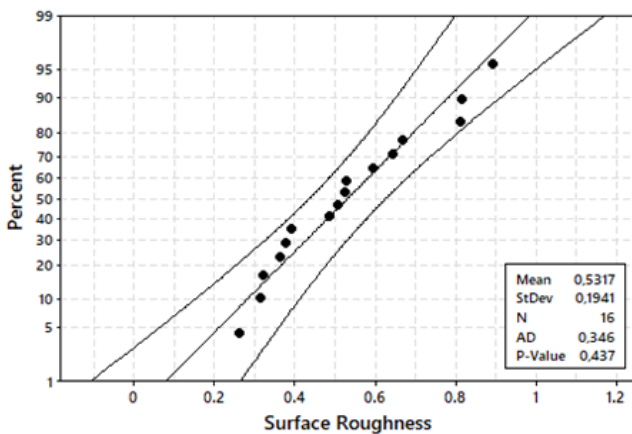


Figure 8. Probability plot of surface roughness

In order to check the distribution of the measured/calculated values of the results, the values given in Table 4 were confirmed by the probability graph in Figure 8. The plots were drawn for a confidence interval (CI) of 95%. It is proved that the data points are roughly aligned with the middle straight line, P value is greater than 0.05 and AD

statistics are low, so the drawn data is distributed normally [33]. Therefore, these data can be used for optimization and experimental research.

4. CONCLUSION

In this paper, the effects on the average surface roughness of the feed per tooth, spindle speed, cooling type parameters in the milling of the AA6082-T6 aluminum alloy were evaluated by the Taguchi test design method. Accordingly, the following results were obtained:

The optimum levels of the parameters were found by using S/N ratios. The optimum status of surface roughness were occurred at A1B4C2 (feed per tooth:0.03, spindle speed:2500, cooling type:liquid).

From the results of analyses of variance, it was discovered that feed per tooth was the dominant factor for surface roughness with a contribution rate of 74.13% and t the cooling type was the second factor with a contribution rate of 15.4% and spindle speed was the third parameter with a percentage contribution of 7.93%

The improved linear regression model showed a very good relationship. R^2 for the linear regression model for R_a was calculated as 95.76%. The measured values remained within the 95% confidence interval according to the validation test results.

From these results we can say that the Taguchi method is a confidential technique for surface quality optimization in milling of the 6082-T6 aluminum alloy. These results can be applied in literature and industry.

Acknowledgment

The author would like to express their gratitude Secil Yildirar for experimental help and ISCAR Turkey for cutting tools.

REFERENCES

[1].I. Asilturk, S. Neseli, M.A. Ince, "Optimization of parameters affecting surface roughness of Co28Cr6Mo medical material during CNC lathe machining by using the taguchi and RSM methods", Measurement, vol.78, pp. 120-128, 2016.
 [2].S. Ozturk, "Application of theTaguchi method for surface roughness predictions in the turning process", Materials Testing, vol. 58, no.3, pp. 782-787, 2016.
 [3].A. Uysal, "Surface roughness in nano fluid minimum quantity lubrication milling of AISI 430 ferritic stainless steel", Journal of Testing and Evaluation, vol. 45, pp. 933-939, 2017.
 [4]. F. A. Akhavan, S. Safian, A. S. Alizadeh, I. M. Hasbullah, "Statistical analysis, modeling and optimization of thrust force and surface roughness in high-speed drilling


- of Al-Si alloy”, Proc IMechE, Part B: J Engineering Manufacture, vol. 227, no.6, pp. 808-820, 2013.
- [5].R. Junxue, Z. Jinhua, Z. Jingwen, “Analysis and optimization of cutter geometric parameters for surface integrity in milling titanium alloy using a modified grey-Taguchi method” Proc IMechE, Part B: J Engineering Manufacture, vol. 230, no.11, pp. 2114-2128, 2016.
- [6].M. Jebaraj, M. P. Kumar, N. Yuvaraj, G. M. Rahman, “Experimental study of the influence of the process parameters in the milling of Al6082-T6 alloy” Materials and Manufacturing Processes, vol. 34, no. 12, 1411-1427, 2019.
- [7].J. U. Pillai, I. Sanghrajka, M. Shunmugavel, T. Muthuramalingam, M. Goldberg, G. Littlefair, “Optimisation of multiple response characteristics on end milling of aluminium alloy using Taguchi-Grey relational approach”, Measurement, 124, 291-298, 2018.
- [8].T. Somkiat, T. Prae, R. Suthas, “A wavelet approach to predict surface roughness in ball-end milling”, Proc IMechE, Part B: J Engineering Manufacture, vol.231, no.14, pp. 2468-2478, 2017.
- [9].Z. Zhang, C. Chen, D. Kirby, “Surface roughness optimization in an end-milling operation using the Taguchi design method”, Journal of Materials Processing Technology, vol.184, pp.233-239, 2007.
- [10]. M. Nalbant, H. Gokkaya, G. Sur, “Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning”, Materials and Design, vol. 28, pp.1379-1385, 2007.
- [11]. T. Kıvak, “Optimization of surface roughness and flank wear using the taguchi method in milling of hadfield steel with PVD and CVD coated inserts”, Measurement, vol.50, pp.19-28, 2014.
- [12].M. Gunay, “Optimization with Taguchi method of cutting parameters and tool nose radius in machining of AISI 316L Steel”, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, vol.28, no.3, pp.437-444, 2013.
- [13].R. Cakiroglu, A. Acir, “Taguchi optimization method of tool chip interface temperature depending on the cutting parameters in drilling operations” Electronic Journal of Machine Technologies, vol.10, pp.73-86, 2013.
- [14].N. Tosun, C. Kuru, E. Altintas, O. E. Erdin, “Investigation of surface roughness in milling with air and conventional cooling method” Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, vol. 25, no.1, pp. 141-146, 2010.
- [15]. G. Basmacı, “Optimization of Processing Parameters of AISI 316 Ti Stainless Steels”, Academic Platform Journal of Engineering and Science 6-3, 01-07, 2018.
- [16]. F. Kahraman, “Optimization of cutting parameters for surface roughness in turning of studs manufactured from AISI 5140 steel using the Taguchi method”, Materials Testing, vol.59, no.1, pp.77-80, 2017.
- [17]. Ö. Asal, “Optimization of Surface roughness in turning of AZ31 Magnesium Alloys with Taguchi method”, Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation, vol:6(1), pp.25-32, 2019.
- [18].A. V. Vishnu, M. V. Ramana, K.B.G. Tilak, “Experimental investigations of process parameters influence on surface roughness in turning of EN-353 alloy steel under different machining environments”, Materials Today: Proceedings, vol.5, pp.4192-4200, 2018.
- [19].D. Behnam, T. Ahmadreza Hosseini, “Cutting forces and surface roughness in wet machining of inconel alloy 738 with coated carbide tool” Proc IMechE, Part B: J Engineering Manufacture, vol.230, no.2, pp. 215-226, 2016.
- [20].K. Emel, B. Ozcelik, “Optimization of machining parameters during micro-milling of Ti6Al4V titanium alloy and inconel 718 materials using Taguchi method”, Proc IMechE, Part B: J Engineering Manufacture, vol.230, no.2, pp.228-242, 2017.
- [21]. A. M. Pinar, S. Filiz, B. S. Unlu, “A Comparison of cooling methods in the pocket milling of AA5083-H36 alloy via Taguchi method”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol.83, pp.1431-1440, 2016.
- [22]. D. C. Montgomery, Design and analysis of experiments, 5th. Arizona: John Wiley & Sons, 2001.
- [23]. K. Palanikumar, “Experimental investigation and optimization in drilling GFRP composites”, Measurement, vol. 44, pp. 2138-2148, 2011.
- [24]. I. Asilturk, H. Akkus, “Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the Taguchi method”, Measurement, vol.44, pp.1697-1704, 2011.
- [25]. K. R. Roy, A primer on the Taguchi method. 1th. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.
- [26]. ISO 1302:2002. Geometrical Product Specifications (GPS)-Indication of surface texture in technical product documentation.
- [27]. A. M.Pinar., E. Atik,U. Çavdar, “AA 7075 Alaşımının Frezelenmesinde Kesme Hızı, İlerleme Oranı, İşleme Deseni Ve Talaş Derinliği İşlem Parametrelerinin Yüzey Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi”, 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir, 11-12 Kasım 2010.
- [28]. Ö. Erkan, E. Yücel, “Optimization of the surface roughness of the end milled AA 7075 material with respect to cutting parameters and tool geometry”, International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech 2018), Ankara, Turkey, November 22-23 2018.
- [29].M.H. Cetin, B. Ozcelik, E. Kuram, E. Demirbas, “Evaluation of vegetable based cutting fluids with extreme pressure and cutting parameters in turning of AISI 304L by Taguchi method”, Journal of Cleaner Production, vol.19, pp.2049-2056, 2011.
- [30]. F. Kara, “Taguchi optimization of surface roughness and flank wear during the turning of DIN 1.2344 tool steel”, Materials Testing, vol.59, no.10, pp.903-908, 2017.
- [31]. B. Bhuvnesh, R. Kumar, K. S. Pradeep, “Effect of machining parameters on surface roughness in end milling of AISI 1019 steel”, Proc IMechE, Part B: J Engineering Manufacture, vol.228, no.5, pp.704-714, 2014.
- [32]. N. Mandal, B. Doloi, B. Mondal, R. Das, “Optimization of flank wear using zirconia toughened alumina (ZTA) cutting tool Taguchi method and regression analysis”, Measurement, vol.44, pp.2149-2155, 2011.
- [33]. G.H. V. Babu, K. Venkatarao, C.H. Ratnam, “Multi-response optimization in orthogonal turn milling by

analyzing tool vibration and surface roughness using
response surface methodology” Proc IMechE, Part B: J

Engineering Manufacture, vol.231, no.12, pp.2084-2093,
2017.

Tarımsal Sulamadan Dönen Suların Yeniden Kullanımı

*¹Yakup Karaaslan

¹Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Genel Müdür Yardımcısı, Ankara.
yakup.karaaslan@tarimorman.gov.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 03.09.2019

Kabul Tarihi: 24.12.2019

Öz

Tarımsal sulamadan dönen suların yönetimi, önemli bir su yönetimi konusudur. Ülkemizde kullanılan su kaynaklarının büyük bir bölümünün tarımsal sulamada kullanılması ve sulama sistemlerinin halen en verimsiz olan, yüzey sulama sistemlerinden oluşması göz önüne alındığında, bu alandaki su yönetimi ihtiyacının varlığı ön plana çıkmaktadır. Sulamada kullanılacak suyun kalitesi, bitki verimi açısından önemli bir unsurdur. Sulama sularının kalitesi değerlendirildiğinde en öne çıkan parametre tuzluluk olup, tuzluluğu 3 dS/m üzerinde olan sular yüksek kullanım kısıtlaması gerektiren sular olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışma kapsamında, ülkemizde halihazırda işletmede olan en büyük sulama alanı olan Harran ovasında, sulamadan dönen suların tuzluluk parametreleri olan, İletkenlik, SAR ve Klorür parametreleri, bir sulama dönemi boyunca takip edilmiş ve aylık değişimler haritalarla gösterilmiştir. Tuzluluk sonuçları değerlendirildiğinde, dönen suların tarımsal sulama için ovanın genelinde, özellikle üst kısımlarında doğrudan kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir. Ovanın orta ve alt kısımlarında, doğrudan kullanımı sorun olan kısımlarda, temiz sulama kanallarına karıştırılarak, seyreltilerek kullanıma uygun olacağı veya tuzluluğa toleranslı bitki yetiştirilmesinde kullanılabileceği görülmektedir. Bundan da önemlisi, Harran ovasında sulamadan dönen suların yönetimi için bir yönetim piramidi geliştirilerek, yapısal olmayan ve yapısal çözümlere ait bir hiyerarşik sıra önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Su Yönetimi, Sulamadan Dönen Sular, Yeniden Kullanım, Harran Ovası, Tuzluluk.

Re-Use of Water Returning from Agricultural Irrigation

*¹Yakup Karaaslan

¹Deputy Director General, General Directorate of Water Management, Ministry of Agriculture and Forestry, Ankara.
yakup.karaaslan@tarimorman.gov.tr

Abstract

The management of water returning from agricultural irrigation is an important water management issue. Considering the fact that most of the water resources used in our country are used in agricultural irrigation and irrigation systems are still the most inefficient surface irrigation systems, the need for water management in this area comes to the forefront. The quality of water to be used in irrigation is an important element in terms of plant yield. When the quality of irrigation water is evaluated, the most prominent parameter is salinity, and water with a salinity above 3 dS/m is considered as water requiring high usage restriction. In this study, conductivity, SAR and chloride parameters, which are the salinity parameters of the water returning from irrigation, are monitored during an irrigation period and monthly changes are shown in maps in Harran plain, which is the largest irrigation area in operation in our country. When the salinity results were evaluated, it was determined that the returning waters were suitable for direct use in agricultural areas, especially in the upper parts of the plain. It can be seen that in the middle and lower parts of the plain, where direct use is a problem, drainage water can be used by mixing, diluting into clean irrigation channels, or it can be used for growing salinity tolerant plants. More importantly, a management pram was developed for the management of waters returning from irrigation in the Harran plain and a hierarchical sequence of non-structural and structural solutions was proposed.

Keywords: Water Management, Water Returning from Irrigation, Reuse, Harran Plain, Salinity.

1. GİRİŞ

Tarımsal sulamada kullanılan sulama sularından istenilen verimin alınabilmesi için, uygun sulama ve drenaj yöntemlerini içeren projelendirme, teknik usullere riayet edilen bir yapım süreci yanında, kurulan bu altyapının iyi işletilmesini içeren etkin bir su yönetimi gereklidir. Ülkemizde kullanılabilir yerüstü su kaynaklarının (54 milyar m³), büyük bir kısmı (yaklaşık %74) tarımsal sulamada kullanıldığı ve ülkemizdeki sulama sistemlerinin %80 inin vahşi sulama olarak da adlandırılan yüzey sulama sistemlerinden oluştuğu düşünüldüğünde, su kaynaklarının korunmasında, tarımsal sulama ve sulama yöntemlerinin önemi görülmektedir. Sulu tarım uygulamalarında, drenaj yapılarının oluşturulması hem sulama verimi hem de buna bağlı olarak ürün üretim verimi açısından önemli bir konudur. Drene edilen suların kalitesi, deşarj edildikleri alıcı ortamlarda tuzluluk, nütrient, pestisit, sediment ve organik madde kirlilik sorunlarını ortaya çıkarabilir. Bu kirleticilerden kısmen veya tamamen arındırılan drenaj sularının tarımsal sulamada yeniden kullanımı, tarımsal alanlarda su yönetiminin ana konularından birisidir. Bir sulama suyu kaynağının bir toprak bitki sistemini nasıl etkileyebileceğini anlamadaki ilk adım, suyun içerdiği kirleticileri bilmekten geçer [1].

Drenaj sularında bulunabilecek kirleticiler 5 ana sınıfta toplanabilir.

- Mikroirleticiler (ağır metaller, pestisitler, toksik kirleticiler v.b.),
- Sediment,
- Organik kirleticiler ve besi maddeleri (BOİ, KOİ, TOK, N ve P),
- Patojenler (E.coli, helminth eggs v.b.),
- Tuzluluk ve iyonlar (SAR, Na, Ca, Mg, Cl, SO₄²⁻, HCO₃, ve CO₃).

Bu parametrelerin uygun olması durumunda (aşağıda verilen her bir kullanım alanı için farklı gereksinimler mevcuttur), tarımdan dönen suların potansiyel kullanım alanları şunlardır:

- Yüzeysel ve yer altı içme ve kullanma sularının beslenmesinde,
- Su ürünleri yetiştiriciliğinde,
- Endüstriyel amaçlı kullanım (soğutma suyu v.b.),
- Rekreasyonel amaçlı kullanım (yapay ve doğal göletlerin beslenmesinde),
- Tarımsal üretim amaçlı yeniden kullanım.

Sulamadan dönen suların (drenaj suları) tarımda tekrar kullanılması drenaj suyunun kalitesine bağlı olarak üç ana strateji ile belirlenebilir.

- Drenaj suyunun kalitesi iyi ise; tüm tarımsal üretim ve farklı kullanımlar için direk kullanım,
- Drenaj suyunun kalitesi orta ise;
 - Seyreltme yöntemi ile tarımsal üretimde kullanım,
 - Döngülü kullanım,

- Tuzluluk ve kirliliğe toleranslı tarımsal üretim için direk kullanım.
- Drenaj suyunun kalitesi kötü ise; kirlilik parametrelerine bağlı olarak bir arıtım teknolojisinin uygulanmasından sonra tarımsal üretimde direk veya kısmi kullanım mümkündür.

Ülkemizin en büyük tarımsal alanlarından biri ve su yönetimin en başarısız olduğu alan Şanlıurfa Harran Ovası olup, ovada karık ve tavalarda kontrolsüz su uygulamalarının gerçekleştirildiği ve vahşi sulamalarla arazilerin sulandığı bilinmektedir. Sistem ve yöntemin sulama birlikleri ve çiftçiler tarafından düzgün işletilememesinden dolayı, gerek kanal ve kanalet sonlarından ve gerekse vatandaşlar tarafından alıcı ortama-drenaj kanallarına bırakılan yüzey akış veya derin drenajın hacmi ve kütlesi çok büyük rakamlara ulaşmaktadır. Yapılan ölçümlerde, yaz mevsiminde dönen suların debisi Arıcan tahliye-köprüsünde 60 m³/s debiyi aşmaktadır. Ovanın mansap kısmında su kısıntısı çekildiği bilinmektedir. Bunun nedeni membaya yakın olan sulama birlikleri, sulama suyunu yüksek miktarlarda kullanmaktadırlar. Bu nedenle mansap tarafında kalan sulama birliklerine su iletilmemektedir. Bu durum karşısında üreticilerin su taleplerinin karşılanması amacıyla, özellikle ovanın son kısımlarında yer altı sulamaları (YAS) pompaj tesislerinin kurulumuyla, su taleplerin karşılanması amaçlanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, Harran ovasında membaa ve mansaptaki su kullanım dengesizliği nedeniyle ortaya çıkan bu sorunu, ovanın üst kısımlarında açığa çıkan dönen suların yeniden kullanımı ile giderilebileceği düşünülmektedir. Bu suların yeniden kullanıma uygun olup olmadığı bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Bu amaçla Harran ovası drenaj ağı üzerinde, 38 noktada dönen suların, fiziko-kimyasal, bakteriyolojik, mikro kirleticiler dahil tüm bileşenleri analiz edilmiştir. Bütün verilerin bu yayın kapsamında sunulmasının imkansız olması nedeniyle, sulama sularının en önemli parametrelerinden biri olan tuzluluk parametresine ait veriler paylaşılacaktır.

2. MATERYAL VE METOD

Sulamadan dönen sularının yeniden kullanılması imkanlarının araştırıldığı bu yayında pilot bölge olarak Harran ovası aşağıdaki gerekçelerden dolayı seçilmiştir.

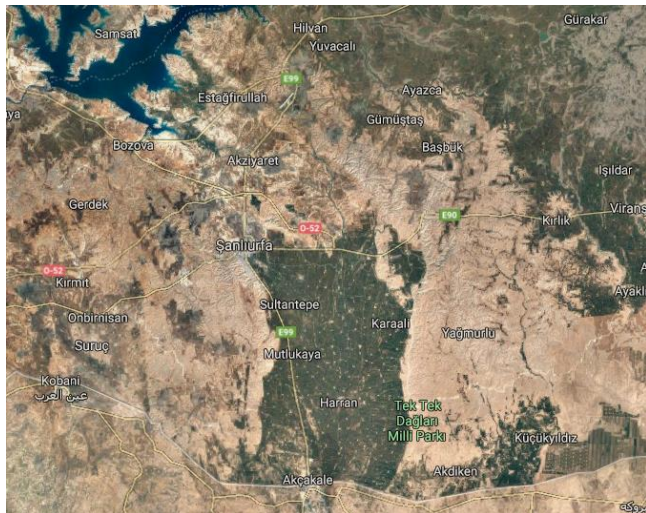
- Harran Ovası, GAP sulamalarının yaklaşık olarak %35'ine karşılık gelmekte olup, dolayısıyla tüm proje sahasını temsil edebilme kabiliyetine sahiptir.
- Açık ve cazibe sulamaların yapıldığı en büyük alandır.
- En fazla sulamadan dönen su, bu alandadır.
- Su ve toprak kaynakları açısından en riskli bölgedir. (Ortalama yağış 350-365 mm bandında ve ortalama yüzey buharlaşması 1,848 mm) olup çoraklaşma ve tuzlanmanın en çok görüldüğü yerdir.
- Sınır aşan su kapsamında bir niteliğe sahiptir.
- Harran Ovası, hâlihazırda işletmede olan en büyük sulama alanıdır. Sulama sistemi hem cazibe hem de pompaj sulamalarını içermektedir. Hem yer altı hem de

yüzeysel su kaynakları ile sulamanın yapıldığı bir bölgedir. Bitki/ürün deseni/paterni açısından zengindir. Büyük ölçüde yüzeysel sulama yapıldığından sulamadan dönen suyun debisi yüksektir ve tuzlanma/çoraklaşma riski yüksektir. Uzun süredir sulama sistemi işletmede olması nedeniyle sulamadan kaynaklanan muhtemel bütün sorunların (su kirliliği, tuzlanma, çoraklaşma, toprak kirliliği, drenaj, mansaptaki komşularla ilişkiler, çiftçi-kamu-sulama birlikleri ilişkileri v.s.) Harran Ovası'nda görülmesi mümkündür. Proje alanının eğimi düşük olup, gerek toprak yapısı, gerek topografyası açısından drenaj sorunu mevcuttur

Şanlıurfa Harran Ovalarında sulama sistemi, açık kanal ve 24 saat akış rejimine göre projelendirilen şebekeden oluşmaktadır. Sulama suyu kaynağı Fırat Nehri ve Atatürk Barajı' dır. Barajdan iki tünel ile alınan 328 m³/s debi kapasitesinin 124 m³/s'i Harran Ovası'na, 204 m³/s'si Mardin Ceylanpınar isale kanalına derive edilmektedir. Şanlıurfa-Harran Ovaları Sulaması net sulama alanı 134,366 hektardır. Ovadaki Akçakale YAS sulaması ile birlikte (net 13,983 ha) yaklaşık sulama alanı 150,000 ha'a erişmektedir. Sulama Şebekesi Plan ve Projeleri karık ve tava sulama yöntemine göre yapılmış, modül: 1.0 l/s/ha kullanılmıştır.

DSİ Genel Müdürlüğü, 1994-2001 yılları arasında sulama sistemlerini işletmiş ancak 2011 yılında yayınlanan 6172 sayılı yasaya bağlı olarak sulama sistemlerinin işletilmesini sulama birliklerine devretmiştir [2]. Harran Ovası'nda hâlihazırda 23 sulama birliği bulunmaktadır.

Tarımsal sulamadan dönen suların yeniden kullanım imkanlarının araştırıldığı bu çalışma Harran Ovasında gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).

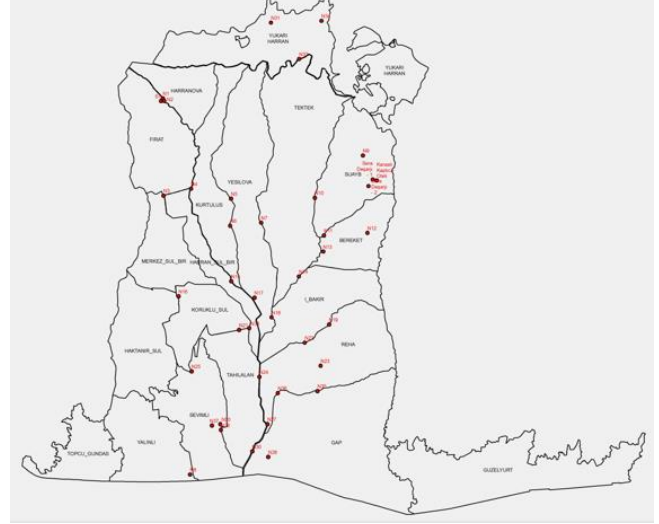


Şekil 1. Harran ovası yerbulduru haritası

2.1. Örnekleme Noktaları

Harran ovasında drenaj kanalları üzerinde, 2016 yılı içerisinde, 38 noktada, sulama döneminde her 15 günde bir

örnekleme yapılmıştır. Mart 2016 (sulama başlamadan önce), Nisan-Eylül 2016 (sulama dönemi içerisinde), Temmuz 2016 (pik sulama dönemi) ve Ekim 2016 (sulama sonrası) dönemlere ait örnekleme sonuçları değerlendirilmiştir.



Şekil 2. Harran ovası örnekleme noktaları

2.2. Analizler

Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Tekrar Kullanılması Hakkında Yönetmelik Taslağı ekindeki tüm analizler bu çalışmada yapılmış olmasına rağmen, sonuçları tartışılan parametreler için analiz yöntemleri aşağıdaki tabloda (Tablo 1) verilmiştir.

Tablo 1. İncelenen Su Kalitesi Parametreleri ve Uygulanan Analiz Metotları [3].

Parametre	Metod No	Kullanılan Cihaz
İletkenlik	SM 2510 B	Hach Lange Multimetre
Klorür	SM-4110 B	DIONEX ICS-1000
SAR Hesabında Kullanılan İyonlar	İyon Kromatografi	DIONEX ICS-1000

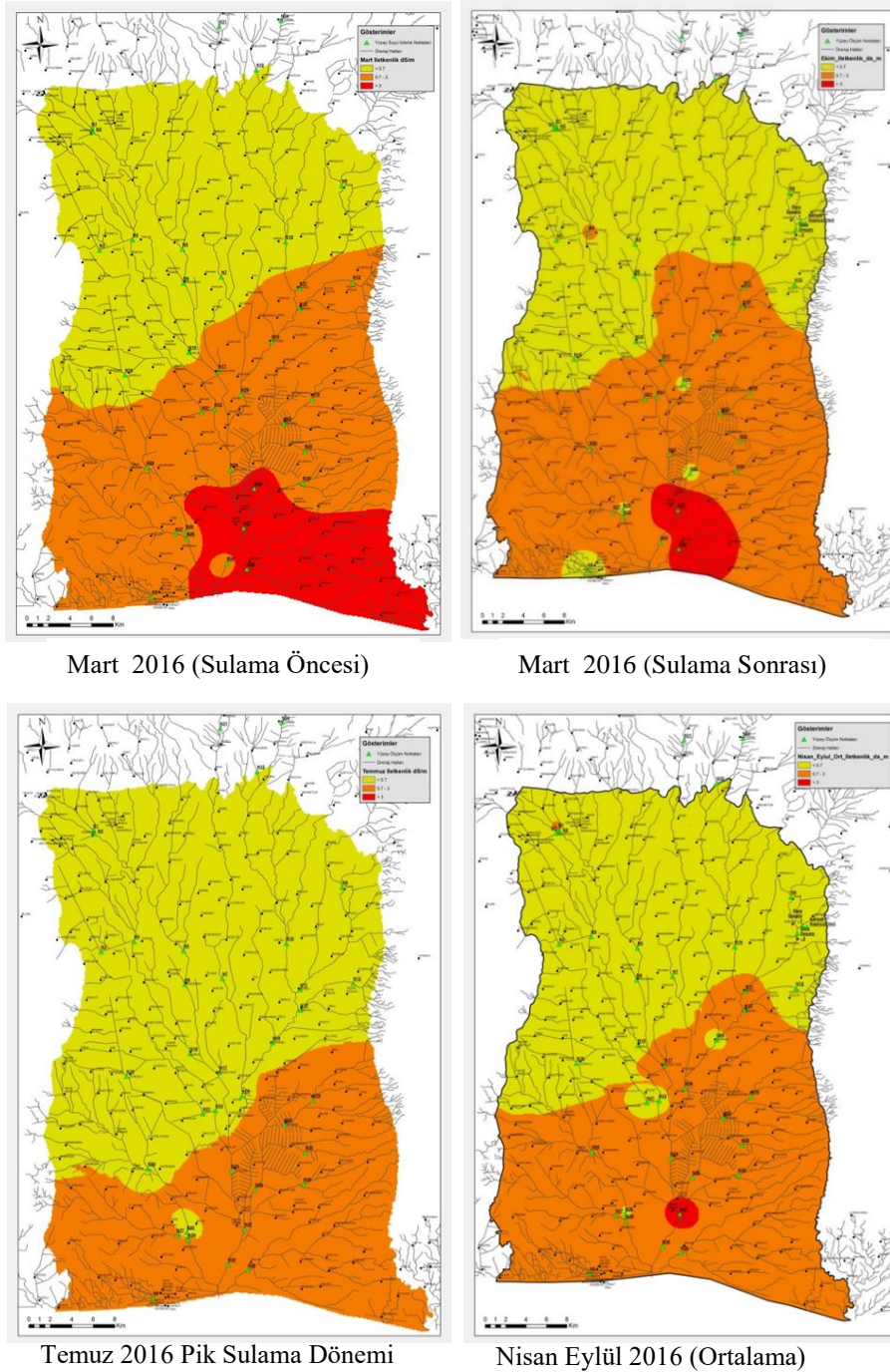
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tuzlu su ile tarımsal sulama yapmak, toprağa tuz eklenmesine ve bitki kök bölgesinden geçen tuzları süzmek için daha fazla sulama suyu uygulamaya ihtiyacı arttıran, istenilmeyen bir durumdur.

Tuzlulukla ilgili drenaj kanallarında iletkenlik, SAR, ve iyonlardan klorür (Cl⁻) parametrelerinin sulama döneminde aylar içerisinde ovada değişimi, alınan örneklerdeki analiz

neticelerine göre elde edilen veriler, GIS yardımıyla haritalandırılarak sunulacaktır.

ifade edilir. Eğer ki sulama suyunun iletkenliği 0.7 dS/m den düşükse bitki gelişimine hiçbir olumsuz etkisi olmaz



Şekil 3. Harran Ovasında iletkenlik değerlerinin sulama sezonu boyunca değişimi

3.1. İletkenlik

Elektriksel iletkenlik, suyun içerisindeki toplam iyonize bileşenlerini belirtmek için yaygın olarak kullanılır. Kimyasal olarak katyonların (veya anyonların) toplamıyla doğrudan ilişkilidir ve genel olarak toplam tuz konsantrasyonu ile yakından ilişkilidir. Elektriksel iletkenlik birimi metre başına desibeldir (dS/m) veya eşdeğeri olarak mmho/cm ile

İletkenlik 0.7 ile 3 dS/m arasında ise; tuzluluğa toleranssız bitkilerden tam verim potansiyeli hala mümkündür, ancak toprak tuzluluğunun yetiştirilen bitkinin toleransı içinde tutulması için, gerekli drenaj sisteminin kurulmasına özen gösterilmelidir. Eğer ki, sulama suyunun iletkenlik değeri 3

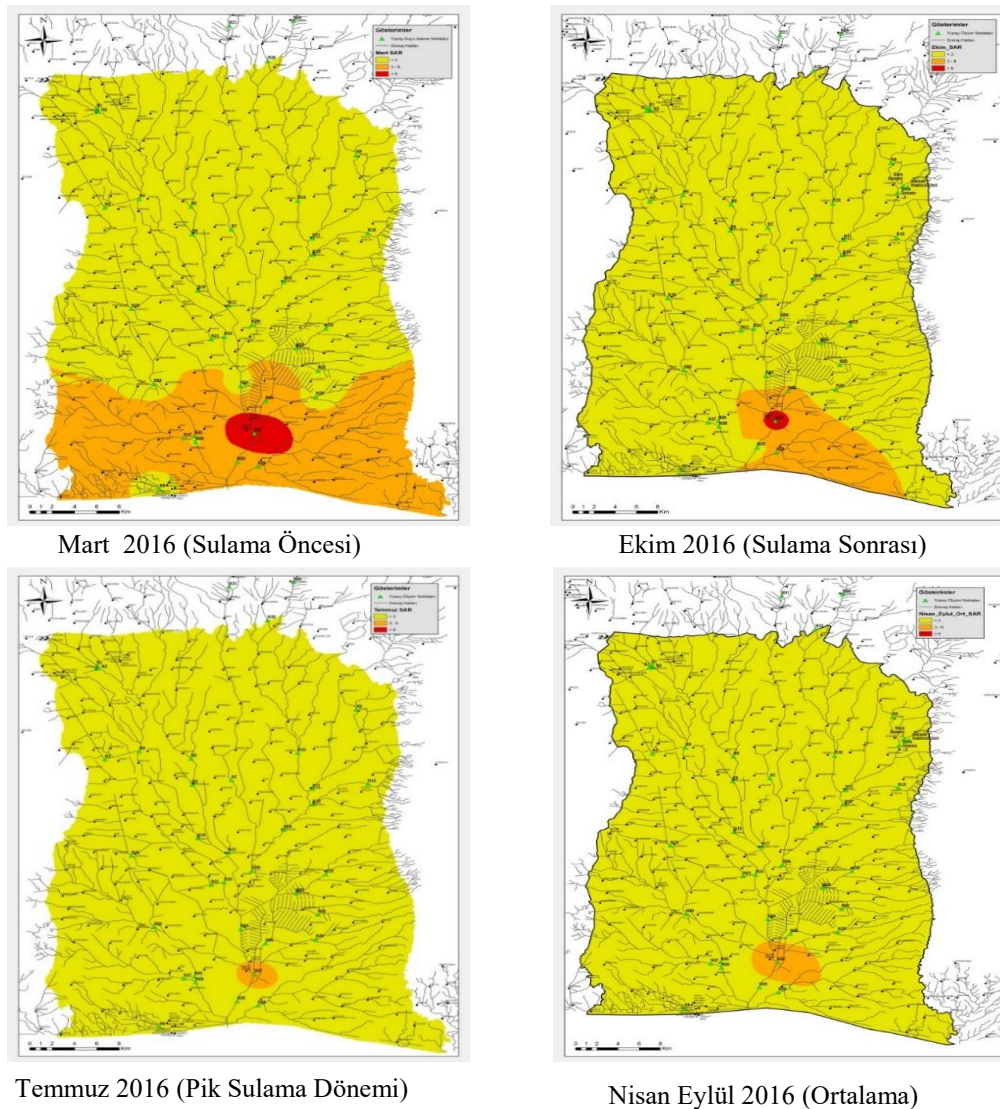
dS/m den büyük olursa, tuzluluğa toleranslı bitkiler ancak yetiştirilebilir [4].

Sulamanın artması ile elektriksel iletkenliğin örnekleme noktalarında azaldığı görülmektedir (Şekil 3). Harran Ovası'ndaki drenaj kanallarında oluşan sulamadan dönen suların elektriksel iletkenlik değerlerinin, tarımsal sulama amaçlı tekrar kullanıma ovanın üst ve orta kısımlarında sulama sezonu boyunca uygun olduğu, alt kısımlarda sulama başlangıcında orta sınırdaki kullanım kısıtlaması gerektiği görülmektedir.

tehlikesi, katyonların mutlak ve bağlı konsantrasyonları ile belirlenir ve sodyum adsorpsiyon oranı olarak ifade edilir.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{+2} + Mg^{+2})/2}} \dots\dots\dots(1)$$

Suda sodyum oranı yüksek ise alkalilik tehlikesi artmakta; bunun tersine kalsiyum ve magnezyum baskın ise tehlike daha azdır. Sulama sularındaki SAR değerleri ile sodyumun toprak tarafından emilimi arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır.



Şekil 4. Harran Ovasında SAR değerlerinin sulama sezonu boyunca değişimi

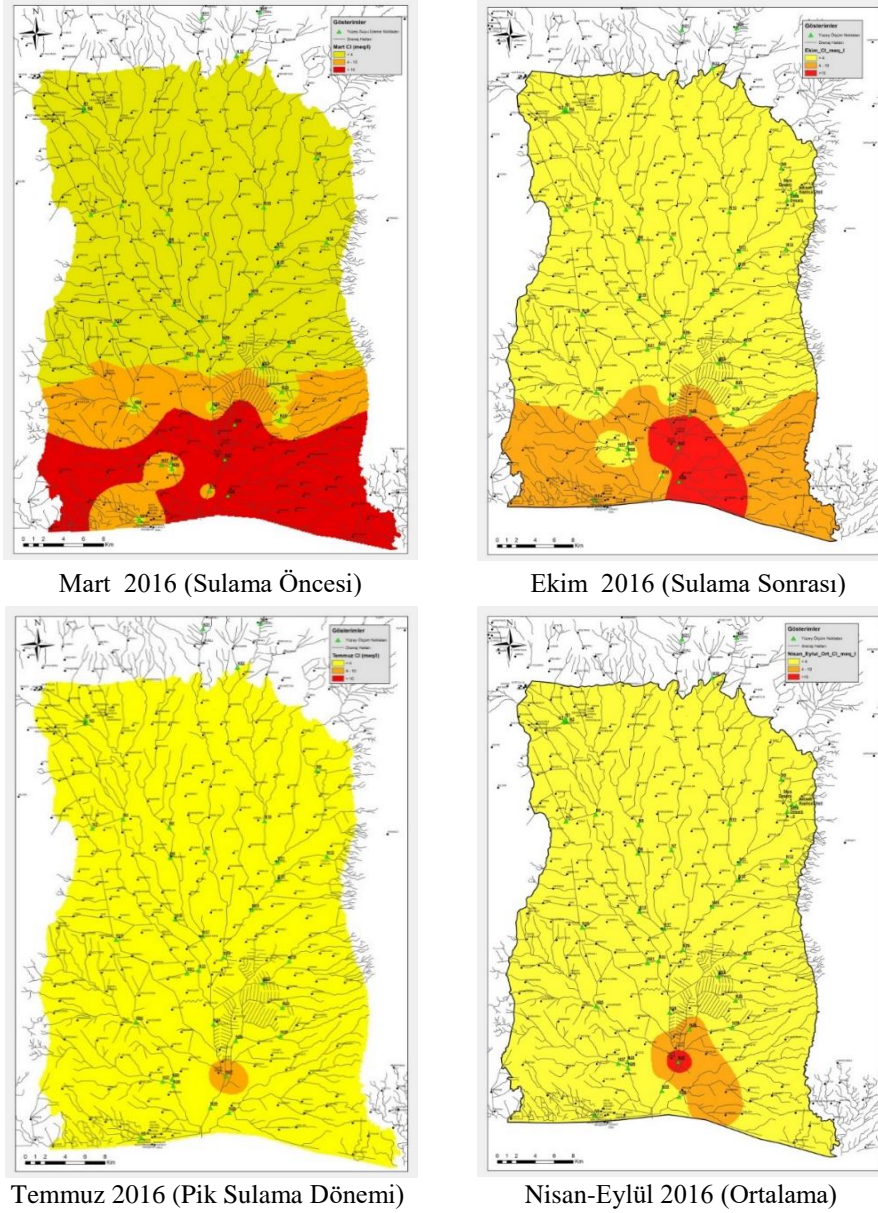
3.2. SAR

Sulama sularında yüksek tuz konsantrasyonu tuzlu toprakların oluşumuna ve yüksek sodyum konsantrasyonu da alkali toprak oluşumuna yol açabilir. Suyun sulama suyu olarak kullanımı kapsamında sodyum veya alkalilik

Eğer sulama suyunda sodyum oranı yüksek ve kalsiyum oranı düşük ise katyon değişim kompleksi sodyum bakımından doymuş olabilir. Bu da topraktaki kil parçacıklarının dispersiyonuna bağlı olarak toprak yapısını bozabilir. Ayrıca, sulama suyunun iletkenliği düşüğe sodyum tehlikesi artmaktadır [5].

Sulama öncesi Harran ovası drenaj kanallarında SAR değerlerinin daha yüksek, özellikle ovanın alt kısımlarında yüksek tehlike potansiyeli olan değerlere rastlanmaktadır (Şekil 4).

Sulamanın başlaması ile yüzeysel akışla sulamadan dönen fazla miktarda temiz sularla seyrelmenin başladığı görülmektedir. Buna rağmen halen bazı noktalarda SAR değerlerinin riskli oldukları görülmektedir.



Şekil 5. Harran Ovasında klorür değerlerinin sulama sezonu boyunca değişimi

3.3. Korür İyonu

Sulama suyundaki en yaygın toksisite klorürden gelmektedir. Klorür toprak tarafından adsorbe edilmediği veya tutulmadığı için, toprak-su katmanında hareket ederek bitki tarafından alınır ve transpirasyonla yapraklara çıkarak bu bölgede birikir. Eğer yapraklardaki klorür konsantrasyonu bitkinin tolere edebileceği seviyeyi aşarsa yaprak yanığı veya yaprak dokunun kuruması şeklinde semptomlara sebebiyet verir. Normalde, zarar ilk olarak

yaprak uçlarında ortaya çıkar ve boyutu arttıkça uçlardan geriye doğru semptomlar yayılır [6].

Elektriksel iletkenlik değerlerindeki değişimlere benzer değişimlerin klorür anyonunda da olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5). Sulamanın artması ile klorür konsantrasyonlarının örnekleme noktalarında azaldığı görülmektedir. Ovanın alt kısımlarında klorür konsantrasyonlarında daha yüksek değerlerin bulunduğu görülmektedir.

Harran Ovası'ndaki drenaj kanallarında oluşan sulamadan dönen suların klorür değerlerinin, tarımsal sulama amaçlı tekrar kullanıma alınacak önlemlerle uygun olduğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Harran ovasında sulamadan dönen sulara yapılan kapsamlı çalışmanın, yukarıda sonuçları verilen tuzluluk kısmı değerlendirildiğinde, dönen suların tarımsal sulama için ovanın genelinde, özellikle üst kısımlarında doğrudan kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir. Ovanın orta ve alt kısımlarında, doğrudan kullanımı sorun olan kısımlarda, temiz sulama kanallarına karıştırılarak, seyreltilerek kullanıma uygun olacağı veya tuzluluğa toleranslı bitki yetiştirilmesinde kullanılabileceği görülmektedir. Dünyada, tuzlu yeraltı sularının (3 ila 11 dS/m arasında değişen EC ile) bazı sıcak ve kuru bölgelerde, yıllardır sulama için başarıyla kullanıldığı bazı araştırmacılarca bildirilmiştir (Dutt ve ark. 1984). Bu örnekler dikkate alındığında, Harran ovasında sulamadan dönen suların, yapılacak regülatör, pompa istasyonları gibi bazı teknik uygulamalarla, yeniden kullanılması, böylelikle su sorunu yaşayan ovanın alt kısmındaki alanların sulanması ve su kaynaklarımızın kullanılmadan, sınırı aşarak ülkemizi terk etmesi engellenmelidir.

Sonuç olarak, sulamadan dönen suların yeniden sulamada kullanılması ve alıcı ortamların sulamadan dönen suların kalitesinin korunması için yapısal olmayan ve yapısal çözüm önerileri sunulmuştur. Yapısal olmayan alternatifler; yasal ve idari çözümler (su yönetimindeki çok başlılık, tek bir idari yapı tarafından çözülmesi), çiftçi eğitimi, su fiyatlandırma alternatif sulama yönetim ve işletim sistemleri alternatiflerinden oluşmaktadır. Yapısal çözüm önerileri ise önerildiği sırası ile sulama sistemlerinin iyileştirilmesi, drenaj sularının kalitesinin kontrolü, oluşan dönüş sularının yönetimi ve arıtmadır.

Su yönetimi, tarımsal sulamadan elde edilen verimde en önemli etkilerdendir. Tarımsal sulamadan dönen suların yeniden kullanılmasında önerilen yönetim piramidi aşağıdaki gibi olmalıdır (Şekil 6). Tercih sıralaması üstten alta doğru olmalıdır. Altta üç seçenek yapısal alternatiflerdir.

Yapısal olmayan basit bazı çözümler, (çiftçi eğitimi gibi) meseleyi tümüyle ortadan kaldırabilirken, bunların yapılamaması durumunda, pahalı yapısal çözüm (arıtma gibi) alternatiflerini gündeme gelebilmektedir.

Bu çalışma, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı "Su Yönetimi Genel Müdürlüğü" nün GAP Bölgesi'nde Sulamadan Dönen [7].nı; Ağustos, 30, 2019).

Suların Kontrolü Ve Yeniden Kullanımı İçin İyileştirilmesinin Araştırılması Projesi çalışmasından elde edilen verileri içermektedir.



Şekil 6. Tarımsal sulamadan dönen suların yönetimi için alternatiflerin sıralanması

5. KAYNAKÇA

- [1].T.A. Bauder, R.M. Waskom, P.L. Sutherland and J. G. Davis, "Irrigation Water Quality Criteria", Colorado State University, Crop Series, Irrigation Fact Sheet No. 0.506.
- [2].M. H. Aydoğdu, B. Karlı, K. Yenigün, A. R. Mancı, M. Aydoğdu, " Harran Ovasındaki Sulama Birliklerinin Yapısal Sorunları ve Çözüm Önerileri GAP", The Journal of Academic Social Science Studies, vol. 8, no. 28, pp. 179–196, Oct. 2014.
- [3].APHA, "Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 23nd edition" American Public Health Association, Washington, DC, 2017.
- [4].Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), "Agricultural Drainage Water Management in Arid and Semi-Arid Areas", FAO Irrigation And Drainage Paper 61, Rome, 2002.
- [5]. L.A. Richard, "Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.", Agric. Handbook 60, USDA, Washington DC, 1954.
- [6].URL: <https://www.agric.wa.gov.au/fruit/water-salinity-and-plant-irrigation>, (Erişim zama



Kararsız Koşullarda SMDA Motorun Dayanıklı Hız Kontrolü için Bulanık-Tabanlı Akıllı Denetleyici Tasarımı

*¹Murat Tuna

¹Kırklareli Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Kırklareli, murat.tuna@klu.edu.tr,

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 11.12.2019

Kabul Tarihi: 27.02.2020

Öz

Bu çalışmada, sabit ve değişken yükler altında doğrusal olmayan referans hızlarda çalışan SMDA motorun bulanık mantık tabanlı akıllı ve dayanıklı hız kontrolör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Akıllı kontrol, insanın bulucu ve uyarlayıcı davranışlarını taklit edebilecek niteliğe sahip sistemler geliştirmeyi hedeflemektedir. Tasarlanan akıllı kontrol teknikleri; Bulanık Mantık denetleyici (BMD), oransal-integral (PI) tipli BMD ve Kendini Ayarlayan (Öz uyarlamalı) Bulanık PI (KABPI) denetleyicidir. Kontrol algoritmasının amacı, rotor hızının istenen referans hızını her zaman güçlükle takip etmeye zorlamaktır. Bu amaca, yükte bozulma ve parametre değişikliklerinden bağımsız olarak farklı hız/zaman değişimleri içinde ulaşılmalıdır. Tasarlanan denetleyicilerin kararsız çalışma koşulları altında dayanıklı hız denetimi üzerindeki performansları karşılaştırılmış ve alınan sonuçlar tartışılmıştır. Elde edilen karşılaştırma ve benzetim sonuçlarına göre, KABPI kontrol yöntemi istenen kontrol kriterlerini karşılamada diğerlerine nazaran daha iyi sonuçlar göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: SMDA motor, PI, bulanık mantık denetleyici, hız kontrol, akıllı kontrol tasarımı

Fuzzy-Based Intelligent Controller Design for Robust Speed Control of PMDC Motor in Unstable Conditions

*¹Murat Tuna

¹Kırklareli University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Electricity and Energy, Kırklareli, murat.tuna@klu.edu.tr

Abstract

In this study, the Fuzzy Logic based smart and durable speed controller design of PMDC motor at non-linear reference speeds under constant and variable loads are realized. Intelligent control methods aim to develop systems capable of imitating human's intuitive and conscious behavior. The designed control methods are: Fuzzy Logic controller (FLC), proportional-integral (PI) type FLC (FLCPI) and Self-Tuning Fuzzy PI (STFPI) controllers. The purpose of the control algorithm is to force the speed of the motor to always follow the desired reference speed. The designed controller must meet this request for different speed / time changes, regardless of load failure and parameter changes. The performances of the controllers on durable speed control under unstable operating conditions have compared and the results obtained have discussed. According to the comparison and simulation results obtained, the STFPI control method showed better results than others in meeting the desired control criteria.

Keywords: PMDC motor, PI, fuzzy logic controller, speed control, intelligent control design

1. GİRİŞ

Sabit mknatsız DA motorlar (SMDA) yüksek verim, yüksek moment ve düşük ses seviyeleri sayesinde güvenli ve dayanıklı kontrol sistemlerinin en önemli parçasıdır [1],

[2]. Bu motorlar yüksek moment/akım ve moment/eylemsizlik oranı, sağlam yapı, yüksek verim, sürekli kontrol özellikleri ve güvenilirlik gibi üstünlüklerinden dolayı endüstride ani yük bozulmasına maruz kalan PV pompalama sistemleri [3], tekerlekli

*Sorumlu Yazar: Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, 39100, Türkiye, murat.tuna@klu.edu.tr, +90288 214 18 45

sandalye [4], elektrikli otomobiller [5], robot manipulatörleri [6], robotik tutucu [7] ve güneş izleyicileri [8] gibi uygulamalarda kullanılmaktadır [9], [10]. Motor kontrolünde karşılaşılan problemler çalışma koşulları altında motor parametrelerinin zamanla değişen doğası ve sistem döngüsü içindeki gürültünün varlığıdır. Motorun elektriksel parametreleri sıcaklık, akım ve gerilim dalgalanmaları, zamana göre değişen yüklem koşulları, sürüş ve çalışma koşullarına göre değişmekte ve buda rotor hızında dalgalanmalar meydana getirmektedir [11]. Geleneksel PI metotlar farklı atalet, yük ve hız referanslarında beklenen optimum cevabı veremeyip dayanıklı hız kontrolü için istenen kriterleri karşılayamamaktadır [12]. Bu nedenledir ki kompleks, lineer olmayan ve/veya zamanla değişen sistemlerin analiz ve kontrolünde geleneksel metotların belirsizliğinden dolayı endüstrideki kullanımın yoğunluğu değiştirmiştir [13].

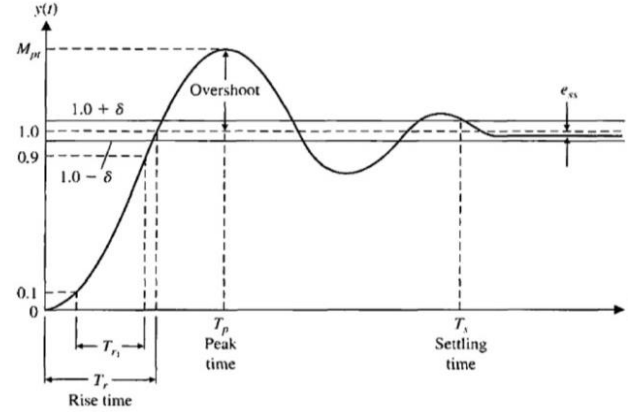
Dayanıklı hız kontrolünden beklenen;

- Birim değerde ölçülen motor hız eğrisinin maksimum aşma değeri (Maximum overshoot ($M_p < 10\%$)),
- Referans hız ile motor çıkış hızı arasında hata (No steady-state-error ($ess < 1\%$)),
- Motor hız eğrisinin sabit durum değerinin mutlak yüzdesiyle belirtilen son büyüklük değeri civarında olması ve bu aralıkta kalması için gereken süre (Setting time ($ts < 2s$)),
- Motor hızının ilk defa sabit değerinin yarısına ulaşması için gereken süre (Delay time (td)),
- Motor hızının sabit durum değerinin %10'dan %90'a yükselmesi için gereken süre (rising time ($tr < 1s$)),

olarak tanımlanan performans kriterlerine uygun olarak doğrusal olmayan çalışma ve yük koşulları altında istenen referans hıza en iyi cevabı vermesidir [14]. İkinci dereceden doğrusal zamanla değişmeyen bir sistemin M_p , ess , ts , td ve tr değerlerini gösteren tipik bir adım cevabı Şekil 1'de gösterilmiştir. İstenen bu kriterleri farklı referans hızlarda ve değişken yük koşullarında sağlamak ve hız cevabını geliştirmek için geleneksel PID denetleyicinin yerine bulanık tabanlı akıllı denetleyiciler kullanmak gereklidir [15]. Bulanık mantık kontrolü, birçok mühendislik alanındaki geleneksel kontrol stratejilerine alternatif veya tamamlayıcı olarak ortaya çıkmıştır [16].

Sistem belirsizliklerinin üstesinden gelen ve Bulanık Kontrol olarak adlandırılan bu yöntemi ilk defa 1965'te Zadeh tarafından ileri sürülmüştür [17]. Bulanık tabanlı kontrolün en önemli avantajlarından biri, sistemin herhangi bir matematiksel modeli olmaksızın kontrol mühendisliği bilgisi veya uzman deneyimleri kullanılarak doğrusal olmayan kompleks sistemlerin kontrolünü başarılı bir şekilde gerçekleştirmesidir [18], [19]. Doğrusal olmayan sistemlerin tanımlanması ve kontrolünde sistem teorisi ve kararlılık şartları yeterince geliştirilmemiştir. Bununla birlikte kontrol edilecek sistemlerdeki belirsizlikleri ve dinamik davranışlarındaki değişiklikleri tanımlamak için akıllı kontrol yöntemlerine yönelik çalışmalar artmıştır [20], [21].

Akıllı kontrol insanın uyarlayıcı davranışlarını taklit edebilecek niteliğe sahip sistemler geliştirmeyi hedeflemektedir. Akıllı kontrol zamanla değişen, iyi tanımlanmamış ortamlarda çalışan, ortamda ve sistem dinamiklerindeki değişimlere kendini uyarlayan ve sistem dinamikleri üzerine çok az kısıtlama gerektiren algoritmalara ihtiyaç duyarlar.



Şekil 1. İkinci dereceden bir sistemin doğrusal zamanla değişmeyen adım tepkisindeki kontrol parametreleri.

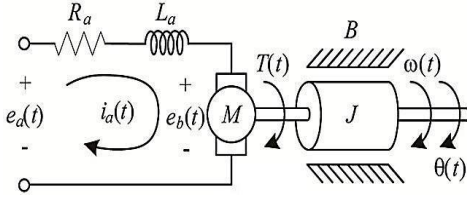
DA motor kontrolünde Bulanık mantık tabanlı sistemlerle yapılan akıllı kontrol uygulamaları gün geçtikçe artmaktadır [22]. Babu ve diğerleri yaptıkları çalışmada, DA motorun hız kontrolünde kullanılan P-I, I-P, PID ve Bulanık tabanlı yöntemlerin performans karşılaştırmalarını yaparak BMD yönteminin aşma miktarını bitirdiğini ve oturma zamanını çok daha azalttığını göstermişlerdir [23]. Khuntia ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında DA motor hız kontrolü için P-I, I-P, Bulanık ve Yapay-Bulanık kontrol yöntemlerini karşılaştırarak Bulanık-tabanlı kontrol yöntemlerinin daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir [24]. Varshney ve arkadaşları ise fırçasız DA motorun değişen yük koşulları altındaki hız kontrolü için geleneksel PID ve Bulanık PID kontrol yöntemlerinin karşılaştırmasını yapmışlardır [25]. Premkumar ve diğerleri yaptıkları çalışmada, fırçasız DA motorun hız kontrolü için bulanık orantılı türev denetleyici ve bulanık orantılı türev bütünleşik denetleyici tasarımını sunmuşlardır. Ayrıca denetleyicilerin tasarım optimizasyonunda parçacık sürüşü, guguklu arama ve yarasa algoritmaları gibi doğadan ilham alan optimizasyon algoritmalarını kullanarak gerçekleştirmişlerdir [26]. Diğer bir çalışmada Arulmozhiyal gömülü entegre sistemler üzerinde değişen yük koşulları altında fırçasız DA motor hız denetimi için gömülü sistem tabanlı Bulanık-PID kontrolör tasarımını gerçekleştirmiştir [27]. Ayrıca geleneksel PID ile karşılaştırarak Bulanık-PID denetleyicinin daha iyi kontrol performansı sergilediğini göstermiştir. Bu çalışmada, farklı çalışma koşullarında dayanıklı hız denetleyici tasarlamak amacıyla motor kontrolünde kullanılan geleneksel PI ve BMD tabanlı akıllı kontrol tekniklerinin performansları karşılaştırılmıştır. Ayrıca BMD kontrolünde durulama kısmında kullanılacak olan en uygun duruluma yöntemi farklı referans hızlarda karşılaştırma yapılarak sunulmuştur.

SMDA motorun modeli Matlab/Simulink programında simule edilerek, sabit ve doğrusal olmayan referans değerler uygulanmış ve motor çıkış hızının giriş referansına yaklaşımı incelenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. SMDA Motorun Dinamik Analizi

SMDA motoru bir motorda arzu edilen birçok özelliğe sahiptir. Bunlardan bazıları güvenli, dayanıklı, maliyetinin düşük olması, kolay kontrol edilebilmesi ve bunların yanında düşük gerilimlerde çalışabilmesidir. Bu nedenle DA motorlar birçok uygulamada tercih edilirler. SMDA motor, DA motor türlerinden biri olup gerilim kaynağından sağlanan elektrik enerjisini manyetik eşleme yöntemi ile dönen rotor vasıtasıyla mekanik enerjiye dönüştürür.



Şekil 2. SMDA motor şeması [28].

Şekil 2’de gösterilen motorun matematiksel ifadesi kontrol sisteminin değişkenleri olan endüvi akımı i_a ve açısal hız w_m için durum uzayı biçiminde,

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ w_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_a} & -\frac{k}{L_a} \\ \frac{k}{Jm} & -\frac{B}{Jm} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} i_a \\ w_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} * V_a - \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ Jm \end{bmatrix} * T_L \quad (1)$$

(1) deki gibi ifade edilmektedir. Burada;

- V_a = Armatür gerilimi (V)
- R_a = Armatür direnci (Ω)
- i_a = Armatür akımı (A)
- L_a = Armatür indüktansı (H)
- e_b = Zıt emk (V)
- w_m = Açısal hız (rad/s)
- K_t = Moment sabiti (Nm/A)
- K_b = Zıt emk sabiti (Vs/rad)
- J_m = Rotor ataleti (kgm^2)

- B = Viskoz sürtünme katsayısı (Nms/rad)
- T_L = Yük momenti (Nm)
- T = Motor momenti (Nm)

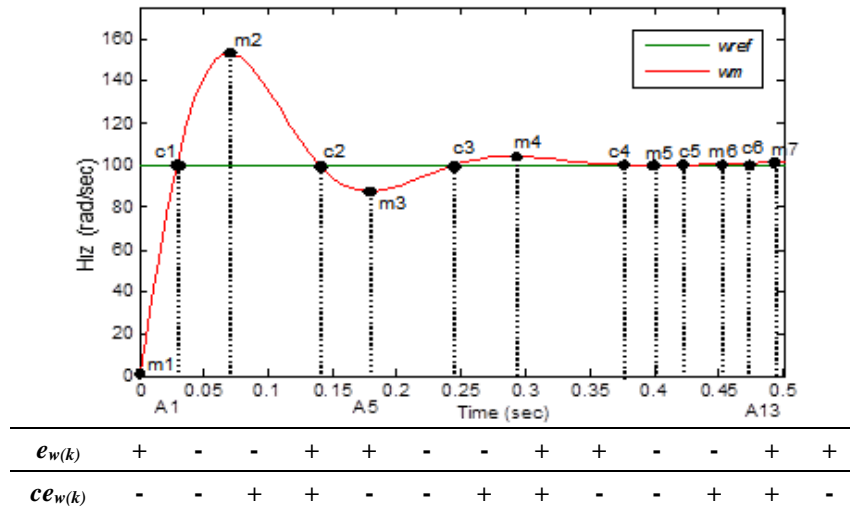
2.2. Bulanık Mantık Denetleyici

Son yıllarda, bulanık denetleyiciler endüstriyel uygulamalarda oldukça yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Bulanık denetleyicinin en önemli özelliği, uzman bilgisine dayalı dilsel denetimleri IF-THEN kuralları ile otomatik denetim sistemine aktarmasıdır. Bulanık kontrol, operatörün sistem üzerindeki deneyimlerini de göz önünde bulundurarak, dilsel ifadeleri ile bulanıklaştırma, kural tabanı ve durulaştırma mekanizmalarını kullanarak kontrol işlemini yerine getirir [29], [30]. Bulanık kuralları belirleyebilmek için sistemin çıkış cevabı değişik noktalarda analize tabi tutularak elde edilir. Bu tür sistemler, “Kural tabanlı bulanık sistemler” olarak adlandırılır [31]. Bulanık sistemler, modelleme, veri çözümlenmesi, kestirim ve kontrol gibi farklı amaçlar için kullanılabilirler. En basit bulanık sistemin ana yapıları bulanık kural tabanı ve çıkarım mekanizmasıdır. Kural tabanında, bulanık IF-THEN kuralları bulunur. Kural tabanı ve çıkarım mekanizmasından oluşan temel bulanık sistemi, ayrıca bulandırıcı ve durulayıcı adı verilen iki birim daha içermektedir. Bulandırıcı gerçel değerli sistem girişini bulanık kümelerle dönüştürürken, durulayıcı ise tersine, çıkarım mekanizmasının ürettiği bulanık kümeleri gerçel değerli sistem çıkışına dönüştürmektedir. Sezgi ve tecrübeyi bulanık denetim algoritmasında uygun bir şekilde birleştirip kullanmak için hata işaretinin dinamik davranışının önceden bilinmesi gerekmektedir. Analizi daha da kolaylaştıran genel rotor hız tepkisi Şekil 3’te verilmiştir. Motorun dinamik işaret analizinde kullanılan formüller,

$$e_{(k)} = w_r - w_{(r-1)} \quad (2)$$

$$ce_{(k)} = e_{(k)} - e_{(k-1)}$$

(2)’de yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen hata ($e_{(k)}$) ve hata değişiminin ($ce_{(k)}$) işaret analizinden sonra her bölge için hata ve hata değişiminin işaretlerine bakılarak referans noktasından uzaklaşıp uzaklaşmadığına göre kurallar yazılır. Burada hata, bize istenilen referanstan uzaklaşıp uzaklaşmadığını, hata değişimi ise hatanın hangi yönde olup olmadığını bildirir. İşaret analizi ise hata ve değişiminin referans noktasını aşıp aşmadığını gösterir [31], [32].



Şekil 3. SMDA motorunun $w_{ref}=100$ rad/sn referans hızında dinamik analizi.

Şekil 3'te gösterilen motor hızının dinamik analizinde;

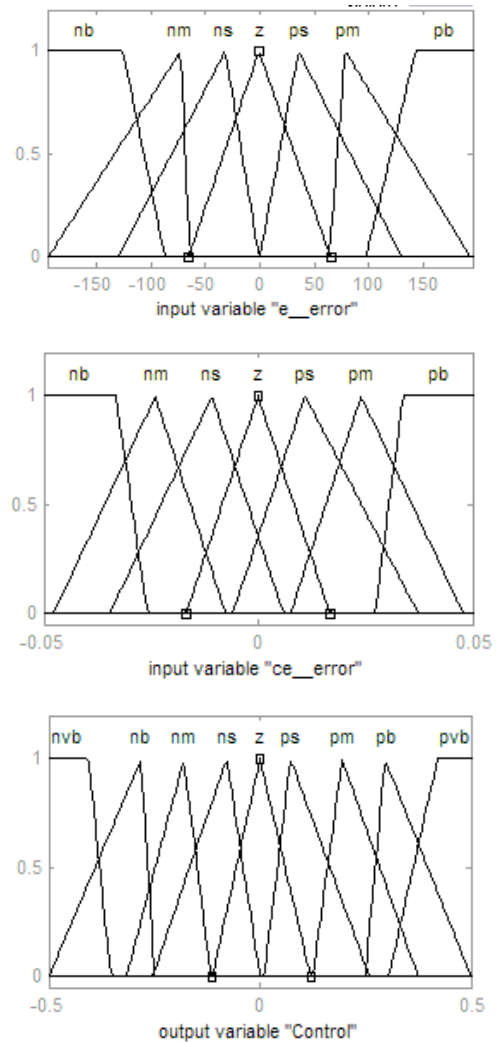
- c1, c2, c3, ..., c6: referans geçiş noktalarını yani sıfırdan geçme noktaları,
- m1, m2, m3, ..., m7: referans uç noktalarını; pozitif, negatif ve max. aşımı,
- A1, A2, A3, ..., A13: referans aralıklarını ifade etmektedir.

Geçiş noktaları, uç noktaları ve referans aralıklarının birleştirilmiş durumu Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. BMD'nin birleştirilmiş kural tablosu.

Output $u(t)$	Input $e(t)$						
	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb
<u>nb</u>				<u>c1</u>			
<u>nm</u>	A2	A6	A10	<u>c3</u>	A1	A5	A9
<u>ns</u>				c5			
<u>z</u>	<u>m2</u>	<u>m4</u>	<u>m6</u>	z	<u>m5</u>	<u>m3</u>	<u>m1</u>
<u>ps</u>				<u>c6</u>			
<u>pm</u>	A3	A7	A11	<u>c4</u>	A4	A8	A12
<u>pb</u>				c2			

Motor sürücüsünün süreç değişkeni olarak rotor hızı (w), denetim değişkeni olarak motor akımı (i_a) seçilmiştir. Sistem giriş değişkenleri referans hız ile motor hızı arasındaki hız hatası (e) ve hız hatasındaki değişim (ce) olarak tanımlanmıştır. Giriş işaretleri olan hata ($e_{(k)}$) ve hata değişimi ($ce_{(k)}$) için 7, çıkış kontrol denetimi için ise 9 adet dilsel etiket kullanılarak 49 adet kural yazılmıştır. Bu dilsel ifadeler, girişler için Negative Big (nb), Negative Medium (nm), Negative Small (ns), Zero (z), Positive Small (ps), Positive Medium (pm) and Positive Big (pb), çıkış için ise bunlara ek olarak Negative very Big (nvb) and Positive very Big (pvb) kullanılmıştır. Bu sözel ifadeler kullanılarak denetim organı için oluşturulan giriş (e , ce) ve çıkış ($control$) üyelik fonksiyonları Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Girişler (e_error , ce_error) ve çıkış (Control) için oluşturulan üçgen ve trapez üyelik fonksiyonları.

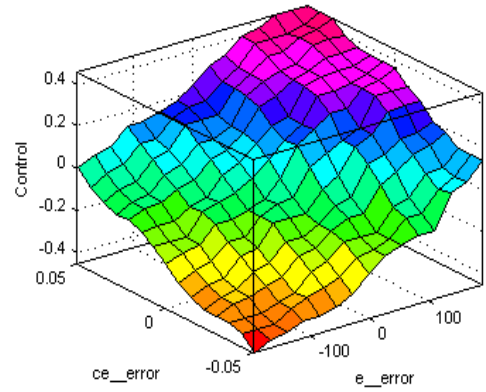
BM bloğunun bulanık denetim kuralları dinamik işaret analizindeki geçiş noktaları ve uç noktalarına göre Tablo 1'den faydalanılarak yazılmıştır. Eğer hata referansı aşmış ise akımı azalt, yok eğer daha referansa gelmemiş ise akımı artır gibi azalt-arttır mantığı ile hız kontrolü amacıyla BM kontrol için yazılan 49 adet IF-THEN denetim kurallarının belirlenmesinde kullanılan bazı yorumlar şu şekildedir:

- 1) A4, A8, A12 aralıklarında $e = "+"$ ve $ce = "+"$, hata pozitif ve artmaktadır. Dolayısıyla hatayı azaltmak için pozitif denetim girişi $u(t)$ verilmelidir.
- 2) A1, A5, A9 aralıklarında $e = "+"$ ve $ce = "-"$, hata hala pozitifdir ancak yavaş yavaş düşmektedir. Bu durumda denetim girişi $u(t)$ küçük olacak şekilde kurulmalıdır.
- 3) A2, A6, A10 aralıklarında $e = "-"$ ve $ce = "-"$, bu durum (1) deki durumun tam tersidir ve o zaman negatif denetim girişi verilmelidir.
- 4) A3, A7, A11 aralıklarında $e = "-"$ ve $ce = "+"$, bu durum (2) deki durumun tam tersidir.

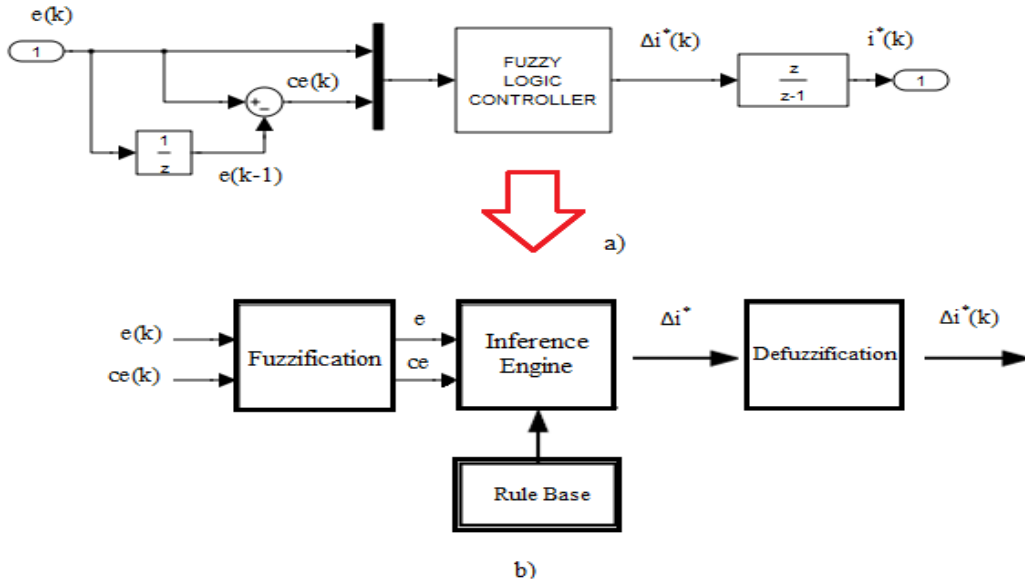
Yukarıdaki çıkarımlara göre referans aralıklarında elde edilen sözel kuralların listesi Tablo 2'de verilmiştir. Şekil 5'te ise bulanık mantık denetleyici kural tabanının denetim yüzeyi ve Şekil 6'da BM denetleyicinin iç yapısının blok şeması görülmektedir.

Tablo 2. Hız kontrolü için BMD IF-THEN kural tabanı.

Output Control $u(t)$	input $e(t)$							
	nb	nm	ns	z	ps	pm	pb	
input $ec(t)$	nb	nvb	nb	nb	nm	ns	ns	z
	nm	nb	nb	nm	ns	ns	z	ps
	ns	nb	nm	ns	ns	z	ps	ps
	z	nm	ns	ns	z	ps	ps	pm
	ps	ns	ns	z	pm	pm	pb	pb
	pm	ns	z	pm	pm	pb	pb	pvb
	pb	ps	ps	pm	pb	pb	pvb	pvb



Şekil 5. Bulanık kuralların denetim yüzeyi görünümü.



Şekil 6. Bulanık Mantık Denetleyici bloğunun iç yapısı.

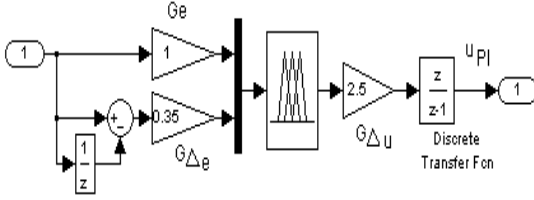
Kural tabanı elde edildikten sonra bulanık çıkarım stratejisinin belirlenmesi gerekmektedir. Bulanık çıkarımı gerçekleştirmek için Max-Dot, Min-Max, Tsukamoto, Takagi-Sugeno gibi birçok teknik kullanılmaktadır. Bu uygulama için Min-Max bulanık çıkarım yöntemi seçilmiştir. Bulanık çıkarım işlemi sonucunda yine bulanık değerler elde edilmektedir. Bu değerlerin motor sürücüsünün

kullanabileceği kesin değerlere çevrilmesi gerekmektedir. Durulama işleminde elde edilen bulanık değerler denetim işlevini yerine getirecek kesin değerler haline getirilmektedir. Bu işlemi gerçekleştirmek için birçok durulama yöntemi vardır [33]. Bu yöntemlerden endüstride en çok kullanılanı ve sabit ve değişken hız-yük değerlerinde ki performansları diğer yöntemlere nazaran daha iyi sonuçlar

verdiği gözlemlenen COG Center of gravity (COG) durulama yöntemi kullanılmıştır [9], [14], [34].

2.3. PI Denetimli Bulanık Mantık Denetleyici

Sistem denetlenmesinde geleneksel PI denetleyiciler en yaygın ve en kullanışlı olanlardır. Orantı ve integral alma işlemleri bu denetleyicide birleştirilmiştir. Böylelikle orantı etkinin doğasındaki kararlılık ve integral etkinin kararlı durum hatasını azaltma avantajları birleştirilmiştir. SMDA motor kontrolü için PI denetimli BMD bloğunun iç yapısı Şekil 7’de gösterilmiştir. PI tipi BMD’lerin performansları doğrusal ve birinci dereceden transfer fonksiyona sahip sistemler için oldukça iyidir. Fakat büyük ölü zaman doğrusalsızlığına sahip (mesela aşırı yüklemek gibi) ve transfer fonksiyonu yüksek dereceden olan sistemler için oldukça kötüdür (fazla aşma ve aşırı osilasyon gibi). Yapılan simülasyonlarda motoru aşırı yüklediğimizde aşma ve osilasyon olduğunu gözlemlenmiştir. Belirlenen kurallar bulanık tabanlı kontrol denetleyicinin aynısıdır.



Şekil 7. SMDA motor kontrolü için Bulanık-PI denetimli bloğunun iç yapısı.

Klasik PI denetleyiciler için denetleyici çıkışı,

$$u(t) = K_p * e + K_I * \int e * dt \quad (3)$$

ile ifade edilmektedir. Burada K_p ve K_I sırasıyla oransal ve integral kazanç katsayılarıdır. Eğer Eşitlik (3)’teki ifadenin her iki tarafının türevi alınır Eşitlik (4)’teki denklem elde edilir.

$$\frac{du(t)}{dt} = K_p * \left(\frac{de}{dt} \right) + K_I * e(t) \quad (4)$$

$$\Delta u(t) = K_p * \Delta e + K_I * e(t)$$

Yapılan hesaplama sonucundan da görülebildiği gibi PI denetimli BMD’nin çıkışı Δu olmaktadır. Bu durumda PI tipli BMD’nin kurallarının yapısı sembolik olarak şöyledir:

“If $e_{(k)} = (\text{uygun değer})$ ve $\Delta e_{(k)} = (\text{uygun değer})$ Then $u_{(k)} = (\text{uygun değer})$ ”

Bu durumda, $u_{(k)}$ denetleyici çıkışını elde etmek için denetleyicinin çıkışındaki değişme miktarı Eşitlik (5)’teki gibi denetleyicinin çıkış ifadesine eklenir.

$$\left. \begin{array}{l} \frac{de}{dt} \rightarrow \Delta e \\ \frac{du}{dt} \rightarrow \Delta u \end{array} \right\} u_{(k)} = \Delta u_{(k)} + u_{(k-1)} \quad (5)$$

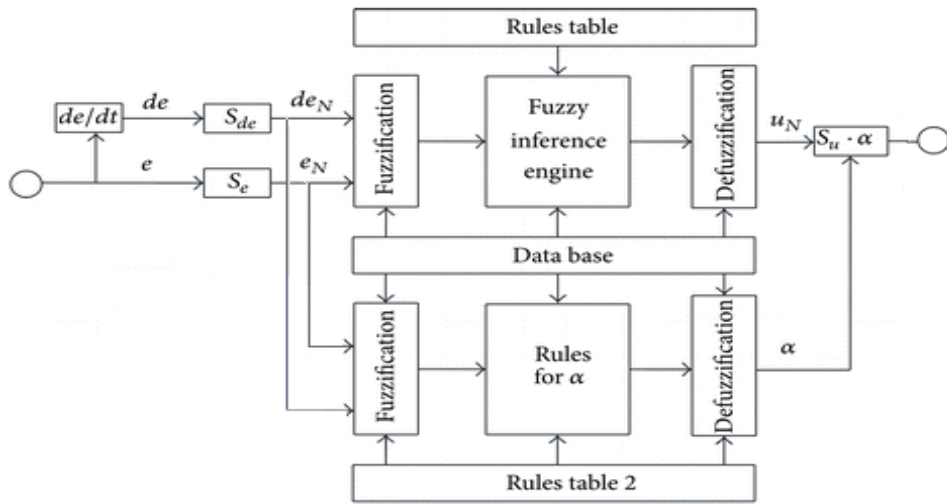
2.4. Kendini Ayarlayan Bulanık PI Denetleyici (KABPI)

Eğer bir denetleyici değişen çevresel koşullara rağmen denetleme işlemini yerine getirebiliyorsa böyle denetleyicilere uyarlamalı denetleyiciler (adaptive) denir. Uyarlamalı BMD’lerin kendini ayarlayan (self-tuning) ve kendini organize eden (self-organizing) denetleyiciler gibi farklı tipleri vardır [35], [36]. Bu çalışmada geleneksel BMD’de sabit olan çıkışın ölçekleme faktörlerini denetlenmekte olan sistemin performansına bağlı olarak geliştirilmiş ikinci bir kural tabanına göre değiştirerek bulanık mantık denetleyiciler için kendini ayarlama tekniği ortaya çıkmaktadır [37]. Uyarlanan giriş ölçekleme faktörleri sabit tutularak mümkün olan en iyi performansa ulaşabilmek için çıkışın ölçekleme faktörleri ayarlanmıştır. Ayrıca BMD’lerde değiştirildikleri zaman denetleyicinin performansını etkileyen parametreler şunlardır;

- 1) Her değişken için ölçekleme faktörleri (ÖF),
- 2) Dilsel değerlerinin anlamlarının ifade edildiği bulanık kümeler (ÜF),
- 3) Bulanık kurallar.

Adaptive olmayan BMD’lerde bu parametreler denetleyici kullanımında iken değişmez. Eğer bir BMD’de bu parametreler, denetleyici kullanımında iken sürekli olarak değişiyorsa bu denetleyiciye “Adaptif Bulanık Mantık Denetleyici (ABMD)” denir. Bir bulanık mantık denetleyicide ölçekleme faktörleri, üyelik fonksiyonları veya her ikisi de değiştirilerek denetleme yapılıyorsa buna “Kendini Ayarlayan Bulanık Mantık Denetleyici (KABMD)” denir ve blok şeması Şekil 8’de gösterilmiştir [38], [39]. Eğer BMD’nin ayarlanması kuralların değiştirilmesi ile yapılıyorsa buna da kendini organize eden BMD denir [40]. Kendini ayarlayan denetleyicinin kazancı sadece “ Su ” değil “ $Su.\alpha$ ” dur. Su ’nun değeri geleneksel BMD’ler için sabittir. Ancak KABMD’nin kazancı denetleyici faaliyette iken sabit kalmaz. Denetlenen sistemin performansına bağlı olarak kazanç yenileme faktörü olan “ α ” ile her örnekleme periyodunda değiştirilir. Bu sürekli kazanç değişiminin amacı, denetleyicinin cevabını istenilen özelliklere uydurmaktır. Bu durumda hazırlanan denetleyici, basit bir geri beslemeli denetleyici olarak tanımlanmaktadır. “ α ” fonksiyonel olarak Eşitlik (6)’daki gibi ifade edilmektedir [39]–[41]

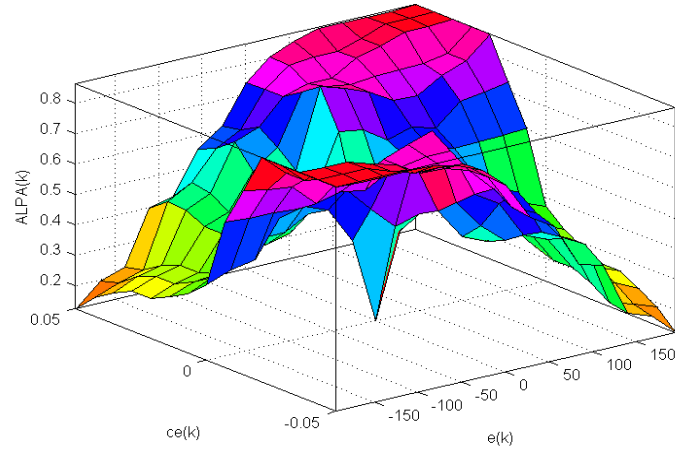
$$\alpha(k) = f(e_{(k)}, de_{(k)}) \quad (6)$$



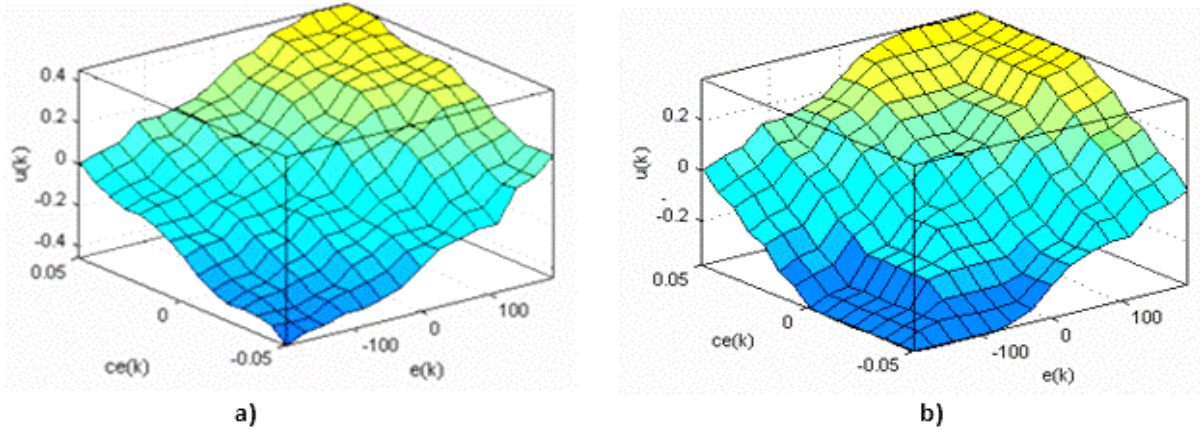
Şekil 8. Kendini Ayarlayan Bulanık Mantık Denetleyici (KABMD) blok diyagramı.

Eşitlik (6)'daki "f" fonksiyonu "e" ve "de" ye bağlı doğrusal olmayan bir fonksiyondur. "α" nın "e" ve "de" ye göre değişiminin nasıl olduğu Şekil 9'da gösterilmektedir. Ayrıca

Şekil 10 (a)'da sabit kazançlı BMD ve Şekil 10 (b)'de değişebilir kazançlı KABMD'nin denetleme yüzeyleri gösterilmiştir.



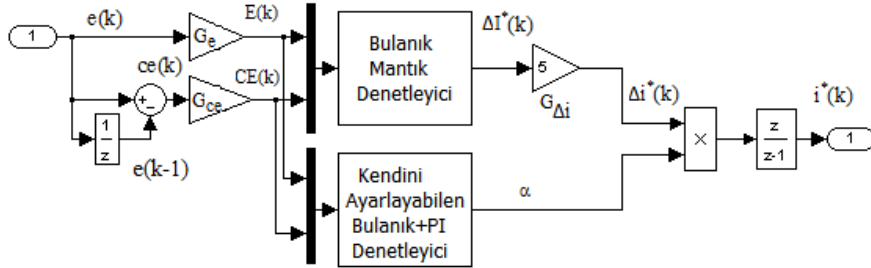
Şekil 9. "α" kazanç değiştirme faktörünün hata "e" ve hata değişimi "ce" ye bağlı değişimi.



Şekil 10. a) Sabit kazançlı BMD' nin denetleme yüzeyi, b) KABMD Controller denetleme yüzeyi.

Şekil 10'daki yüzeysel şekilleri dikkatle inceleyecek olursak, KABMD'nin doğrusalsızlığı klasik BMD'ye göre daha az, yani geçişlerin daha yumuşak ve düzgün olduğu görülmektedir. Kendini ayarlayan denetleyici tasarımı denetleyici çıkışı " α "nın sürekli ve doğrusal olmayan

değişimi ile oluşur. Belirtilmesi gereken en önemli nokta " α "nın herhangi bir sistem parametresine bağlı olmadığıdır. " α "nın değeri sadece sistemdeki ani değişimlere bağlıdır. Şekil 11'de KABPI denetleyicinin blok şeması gösterilmiştir [39]–[42].

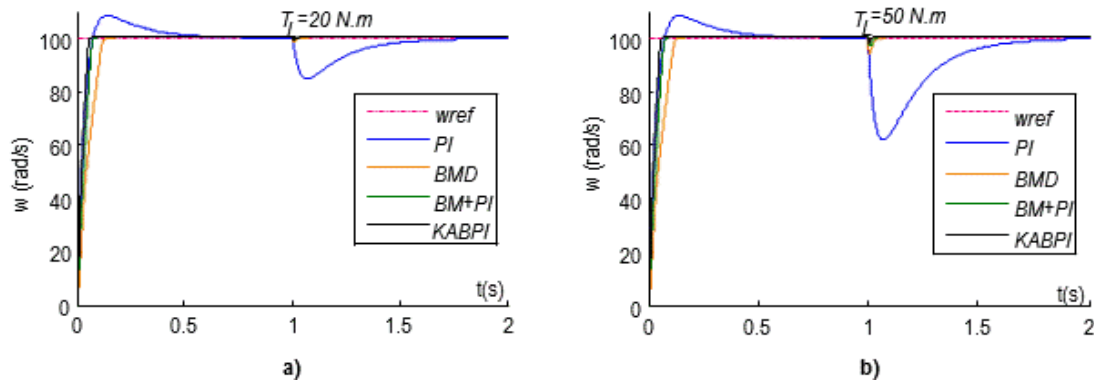


Şekil 11. SMDA motor kontrolü için KABPI denetleyici bloğunun içyapısı.

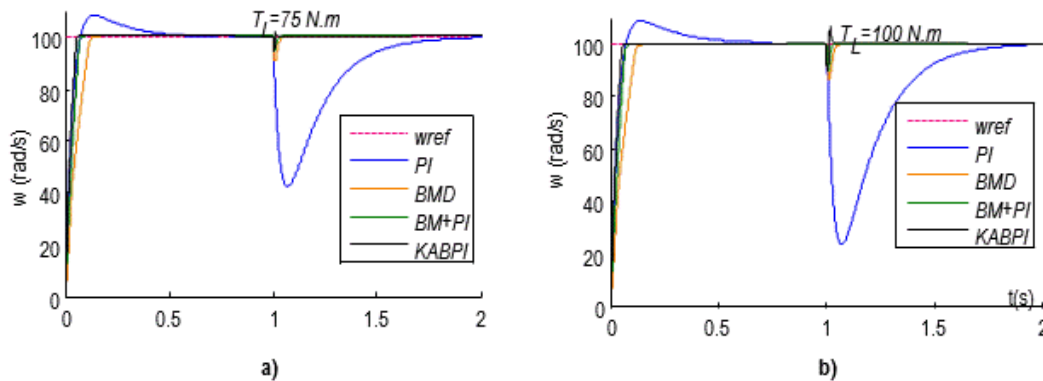
3. BULGULAR

Bu bölümde dayanıklı hız kontrolü için SMDA motorun BMD tabanlı akıllı kontrol yöntemleri ile geleneksel PI kontrol kullanılarak gerçekleştirilen bilgisayar benzetim sonuçları sunulmuştur. Bulanık mantık ve geleneksel PI kontrol arasında doğrusal ve doğrusal olmayan referans hızlarda, sabit ve ani değişen yüklerde performans

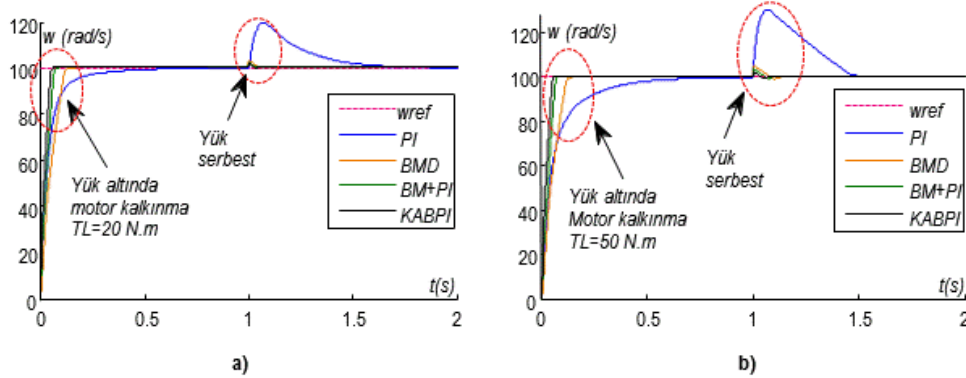
karşılaştırmaları grafikler üzerinde gösterilmiştir. Sistemin davranışı üzerinde, dayanıklı hız kontrolü için farklı çalışma koşullarında gerçekleştirilen simülasyonlar, bulanık mantık tabanlı denetleyicilerin istenen referans hızı yakalamada ki hız hatası, aşımı, oturma zamanı ve yükselme zamanı (Mp , ess , ts , tr) değerleri geleneksel kontrol tekniklerine göre daha iyi olduğunu göstermektedir.



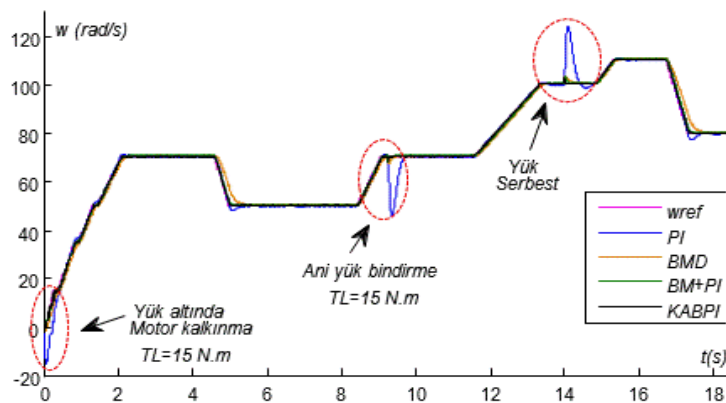
Şekil 12. $w_{ref}=100$ rad/s sabit hızda (a) $T_L=20$ N.m ve (b) $T_L=50$ N.m ani yük değişimindeki hız-zaman grafiği.



Şekil 13. $w_{ref}=100$ rad/s sabit hızda $T_L=75$ N.m ve $T_L=100$ N.m ani yük değişimindeki hız-zaman grafiği.



Şekil 14. $w_{ref}=100$ rad/s sabit hızda $T_L=20$ N.m ve $T_L=50$ N.m yük altındaki ilk hareket ve yükün bir zaman sonra serbest kalması durumunda ki denetleyicilerin performansı.



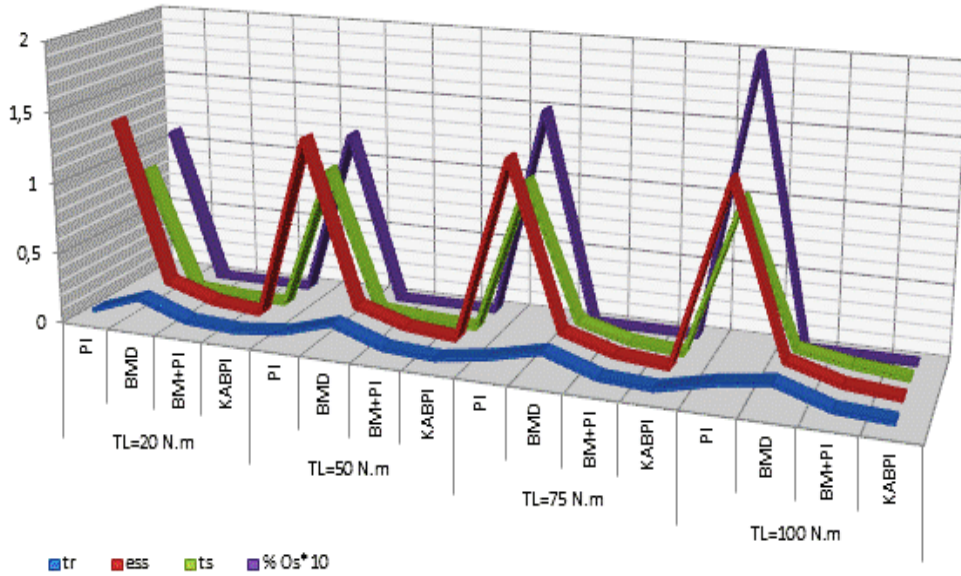
Şekil 15. SMDA motoru değişken referans hız Kentsel Sürüş Döngüsü (Extra Urban Driving Cycle (EUDC)) modunda yük altında kalkınma, ani yük bindirme ve yükün serbest kalması durumunda denetleyicilerin performansı.

Şekil 12, 13, 14 ve 15'teki sonuçlardan görüldüğü üzere bulanık mantık tabanlı denetleyicilerin ilk hareket ve ani değişen yük altında referans hızla performans kıyaslaması yapıldığında en iyi olarak KABPI olduğu görülmektedir. PI tipli BMD'lerin performansları da integral elemanı içeren ve büyük ölü zamana sahip sistemlerde ve transfer fonksiyonu yüksek dereceden olan sistemler için oldukça kötü aşma ve

osilasyon verdikleri yapılan analizde görülmüştür. PI, BMD, BM+PI ve KABPI denetleyicilerin simülasyonlar sonucunda dayanıklı hız denetimi için gerekli kontrol performans kriterleri (M_p , ess , t_s ve t_r) Tablo 3'te gösterilmiştir. Ayrıca Tablo 3'teki verilen değerlerin daha iyi anlaşılması için denetleyicinin performans değerleri grafik olarak Şekil 16'da verilmiştir.

Tablo 3. $w_{ref}=100$ rad/s hızında motorun kalkınma ve değişen yük durumlarında denetleyicilerin performans değerleri.

Yük Değerleri	Denetleyici	Yüksüz motorun ilk kalkınma $t=1,5$ sn ani yük değişimi			
		t_r	$\%M_p$	ess	t_s
$T_L=20$ N.m	PI	0,08	1	1,35	0,9
	BMD	0,205	0	0,205	0,035
	BM+PI	0,083	0	0,095	0,0123
	KABPI	0,0625	0	0,0625	0,007
$T_L=50$ N.m	PI	0,1	1,2	1,35	1,0341
	BMD	0,205	0	0,205	0,05
	BM+PI	0,083	0	0,095	0,0246
	KABPI	0,0625	0	0,0625	0,01
$T_L=75$ N.m	PI	0,12	1,5	1,35	1,098
	BMD	0,205	0	0,205	0,15
	BM+PI	0,083	0	0,095	0,05
	KABPI	0,0625	0	0,0625	0,02
$T_L=100$ N.m	PI	0,15	2	1,35	1,125
	BMD	0,205	0	0,205	0,15
	BM+PI	0,083	0	0,095	0,085
	KABPI	0,0625	0	0,0625	0,05



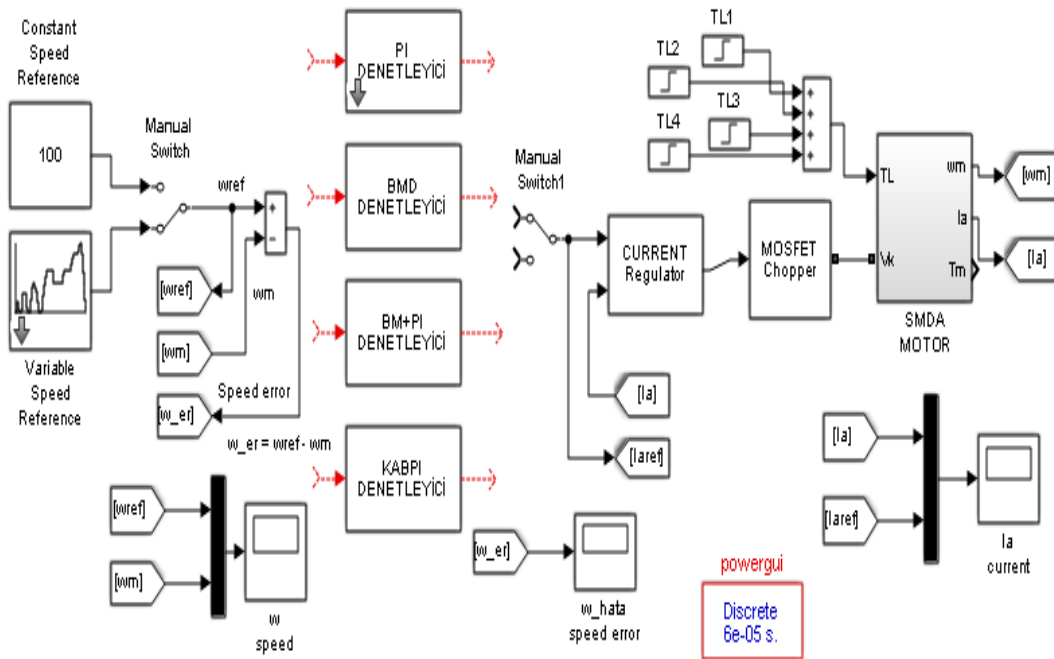
Şekil 16. Simülasyonlar sonucu motorun kalkınma ve değişen yük durumlarında denetleyicilerin performans değerleri.

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada yapılan analizlere göre, sabit-değişken hız ve yük şartlarında bulanık mantık tabanlı akıllı sistemlerin geleneksel kontrol sistemlerine nazaran daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca KABPI kontrol sisteminin değişen tüm koşullara göre hız denetiminde BMD ve BM+PI'ye göre daha iyi performans verdiği gözlemlenmiştir. Tablo 4'te modellenen motorun parametreleri ve değerleri ile Şekil 17'de Matlab/Simulink programında tüm kontrol yöntemlerini içeren SMDA motor modeli verilmiştir.

Tablo 4. Matlab/Simulink SMDA motor parametreleri.

Açıklama	Sembol	Birim	Değer
Motor mil gücü	P	kW	5
Armatür Gerilimi	V_m	V	240
Armatür Direnci	R_m	Ω	0.5
Armatür Endüktansı	L_m	H	0.012
Toplam atalet	J_m	kgm^2	0.0047
Viskoz Sürtünme Katsayısı	B_m	Nms/rad	0.002
Tork sabiti	K_e	Nm/A	0.5
Zıt Emk Sabiti	K_m	Vs/rad	0.5



Şekil 17. SMDA motor kontrolü için tasarlanan sistemin Matlab/Simulink modeli.

KAYNAKÇA


- [1]. C. Rossi and A. Tonielli, "Robust control of permanent magnet motors: VSS techniques lead to simple hardware implementations," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 41, no. 4, pp. 451–460, 1994.
- [2]. V. Sankardoss and P. Geethanjali, "PMDC Motor Parameter Estimation Using Bio-Inspired Optimization Algorithms," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 11244–11254, 2017.
- [3]. A. Terki, A. Moussi, A. Betka, and N. Terki, "An improved efficiency of fuzzy logic control of PMBLDC for PV pumping system," *Appl. Math. Model.*, vol. 36, no. 3, pp. 934–944, Mar. 2012.
- [4]. V. Sankardoss and P. Geethanjali, "Parameter estimation and speed control of a PMDC motor used in wheelchair," *Energy Procedia*, vol. 117, pp. 345–352, Jun. 2017.
- [5]. Hong-xing Wu, Shu-kang Cheng, and Shu-mei Cui, "A controller of brushless DC motor for electric vehicle," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 41, no. 1, pp. 509–513, Jan. 2005.
- [6]. X. Wu, J. Liu, Y. Zhou, Q. Lv, and C. Hu, "Movement Control and Attitude Adjustment of Climbing Robot on Flexible Surfaces," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 65, no. 3, pp. 2618–2628, Mar. 2018.
- [7]. D. Petković, M. Issa, N. D. Pavlović, L. Zentner, and Ž. Čojbašić, "Adaptive neuro fuzzy controller for adaptive compliant robotic gripper," *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, no. 18, pp. 13295–13304, Dec. 2012.
- [8]. S. A. K. Mozaffari Niapour, S. Danyali, M. B. B. Sharifian, and M. R. Feyzi, "Brushless DC motor drives supplied by PV power system based on Z-source inverter and FL-IC MPPT controller," *Energy Convers. Manag.*, vol. 52, no. 8–9, pp. 3043–3059, Aug. 2011.
- [9]. S. S. Patil and P. Bhaskar, "Design and Real Time Implementation of Integrated Fuzzy Logic Controller for a High Speed PMDC Motor," *Int. J. Electron. Eng. Res.*, vol. 1, no. 1, pp. 13–25, 2009.
- [10]. T. Özer, S. Kivrak, Y. Oğuz, and S. Kivrak, "H Bridge DC Motor Driver Design and Implementation with Using dsPIC30f4011," *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 10, pp. 75–83, 2017.
- [11]. A. M. Ali, A. Prof, A. H. Mohammed, A. Dr, and H. M. Alwan, "Tuning PID Controllers for DC Motor by Using Microcomputer," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 14, no. 1, pp. 202–206, 2019.
- [12]. A. M. Zaki, M. El-Bardini, F. A. S. Soliman, and M. M. Sharaf, "Embedded two level direct adaptive fuzzy controller for DC motor speed control," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 9, no. 1, pp. 65–75, Mar. 2018.
- [13]. R. Kandiban and R. Arulmozhiyal, "Speed Control of BLDC Motor Using Adaptive Fuzzy PID Controller," *Procedia Eng.*, vol. 38, pp. 306–313, Jan. 2012.
- [14]. M. Tuna, B. Fidan, S. Kocabey, and S. Görgülü, "Effective and Reliable Speed Control of Permanent Magnet DC (PMDC) Motor under Variable Loads," *J Electr Eng Technol*, vol. 10, no. 5, pp. 1921–1928, 2015.
- [15]. A. A. El-samahy and M. A. Shamseldin, "Brushless DC motor tracking control using self-tuning fuzzy PID control and model reference adaptive control," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 9, no. 3, pp. 341–352, Sep. 2018.
- [16]. Y. Oğuz, "Fuzzy PI Control with Parallel Fuzzy PD Control for Automatic Generation Control of a Two-Area Power Systems," *Gazi Univ. J. Sci. GU J Sci*, vol. 24, no. 4, pp. 805–816, 2011.
- [17]. J. Sharma, N. Gupta, P. Nain, M. Tech Scholar, and A. Professor, "Speed Control of Separately Excited DC Motor Using Fuzzy Logic Controller," *Int. J. Tech. Res.*, vol. 2, no. 4, pp. 27–39, 2012.
- [18]. E. Natsheh, K. A. Buragga, and S. Arabia, "Comparison between Conventional and Fuzzy Logic PID Controllers for Controlling DC Motors," *IJCSI Int. J. Comput. Sci. Issues*, vol. 7, no. 5, pp. 128–134, 2010.
- [19]. S. R. Khuntia, S. P. Mohanty, and C. Ardil, "A Comparative Study of P-I, I-P, Fuzzy and Neuro-Fuzzy Controllers for Speed Control of DC Motor Drive," *World Acad. Sci. Eng. Technol. Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 5, no. 5, pp. 714–718, 2011.
- [20]. U. Kumar Bansal and R. Narvey, "Speed Control of DC Motor Using Fuzzy PID Controller," *Adv. Electron. Electr. Eng.*, vol. 3, no. 9, pp. 1209–1220, 2013.
- [21]. M. E. Fisher, A. Ghosh, and A. M. Sharaf, "Intelligent control strategies for permanent magnet DC motor drives," *Proceedings of International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems for Industrial Growth, IEEE, New Delhi, India*, pp. 360–366, (1996).
- [22]. M. G. Simoes, B. K. Bose, and R. J. Spiegel, "Fuzzy logic based intelligent control of a variable speed cage machine wind generation system," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 12, no. 1, pp. 87–95, 1997.
- [23]. M. Venkata, G. Babu, and R. S. Naik, "Comparative Analysis of P-I, I-P, PID and Fuzzy Controllers for Speed Control of DC Motor," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 10, pp. 500–504, 2017.
- [24]. S. R. Khuntia, K. B. Mohanty, S. Panda, and C. Ardil, "A Comparative Study of PI, IP, Fuzzy and Neuro-Fuzzy Controllers for Speed Control of DC Motor Drive," *Int. J. Electr. Syst. Sci. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2010.
- [25]. A. Varshney, D. Gupta, and B. Dwivedi, "Speed response of brushless DC motor using fuzzy PID controller under varying load condition," *J. Electr. Syst. Inf. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 310–321, Sep. 2017.
- [26]. K. Premkumar and B. V. Manikandan, "Bat algorithm optimized fuzzy PD based speed controller for brushless direct current motor," *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 19, no. 2, pp. 818–840, Jun. 2016.
- [27]. R. Arulmozhiyal, "Design and Implementation of Fuzzy PID controller for BLDC motor using FPGA," *2012 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), IEEE, Bengaluru, India*, pp. 1–6, Dec-(2012).
- [28]. E. Hasan Dursun and A. Durdu, "Speed Control of a DC Motor with Variable Load Using Sliding Mode Control," *Int. J. Comput. Electr. Eng.*, vol. 8, no. 3, pp. 219–226, 2016.
- [29]. I. Eminolu and .H. Alts, "A method to form fuzzy logic control rules for a PMDC motor drive system," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 39, no. 2, pp. 81–87, Nov. 1996.

- [30]. I. Guney, Y. Oguz, and F. Serteller, "Dynamic behaviour model of permanent magnet synchronous motor fed by PWM inverter and fuzzy logic controller for stator phase current, flux and torque control of PMSM," IEMDC 2001. IEEE International Electric Machines and Drives Conference, IEEE, Cambridge, MA, USA, pp. 479–485, (2001).
- [31]. İ. Eker and Y. Torun, "Fuzzy logic control to be conventional method," *Energy Convers. Manag.*, vol. 47, no. 4, pp. 377–394, Mar. 2006.
- [32]. İ. Eminoğlu and İ. H. Altaş, "The effects of the number of rules on the output of a fuzzy logic controller employed to a PM d.c. motor," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 24, no. 3–4, pp. 245–261, May 1998.
- [33]. M. Namazov and O. Basturk, "DC motor position control using fuzzy proportional-derivative controllers with different defuzzification methods," *J. Turkish Fuzzy Syst. Assoc.*, vol. 1, no. 1, pp. 36–54, 2010.
- [34]. E. A. E.-H. M. Ramadan, M. El-Bardini, N. M. El-Rabaie, and M. A. Fkirin, "Embedded system based on a real time fuzzy motor speed controller," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 5, no. 2, pp. 399–409, Jun. 2014.
- [35]. M. Nour, O. Bouketir, and C. Eng Yong, "Self-Tuning of PI Speed Controller Gains Using Fuzzy Logic Controller," *Mod. Appl. Sci.*, vol. 2, no. 6, p. p55, Nov. 2008.
- [36]. H. B. Kazemian, "Comparative study of a learning fuzzy PID controller and a self-tuning controller," *ISA Trans.*, vol. 40, no. 3, pp. 245–253, Jul. 2001.
- [37]. E. Yeşil, M. Güzelkaya, and İ. Eksin, "Self tuning fuzzy PID type load and frequency controller," *Energy Convers. Manag.*, vol. 45, no. 3, pp. 377–390, Feb. 2004.
- [38]. M. Paksoy, R. Guclu, and S. Cetin, "Semiactive Self-Tuning Fuzzy Logic Control of Full Vehicle Model with MR Damper," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 6, p. 816813, Jan. 2014.
- [39]. A. Karakaya and E. Karakas, "Performance Analysis of PM Synchronous Motors Using Fuzzy Logic And Self Tuning Fuzzy PI Speed Controls," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 33, no. 1B, pp. 153–177, 2008.
- [40]. Y. Guo and H. Long, "Self organizing fuzzy sliding mode controller for the position control of a permanent magnet synchronous motor drive," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 2, no. 2, pp. 109–118, Jun. 2011.
- [41]. S. Sezer, S. Cetin, and A. E. Atalay, "Application of Self Tuning Fuzzy Logic Control to Full Railway Vehicle Model," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 6, no. 2011, pp. 487–492, 2011.
- [42]. A. K. Pal and I. Naskar, "Design of Self-Tuning Fuzzy PI controller in LABVIEW for Control of a Real Time Process," *Int. J. Electron. Comput. Sci. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 538–545, 2013.


Gerçek-Zamanlı Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Toplama Ağacı Protokolü Üzerinde Yönlendirme Saldırılarının Modellenmesi ve Saldırı Tespit Sistemi Tasarımı

¹Çağlar Oflazoglu, *²İpek Abasikeleş-Turgut

¹Hatay Mustafa Kemal Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Enformatik Ana Bilim Dalı, Hatay, Türkiye,

caglar.oflazoglu@iste.edu.tr, 

²İskenderun Teknik Üni., Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye,

ipek.abasikeles@iste.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 10.09.2019

Kabul Tarihi: 02.03.2020

Öz

Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA), günümüzde IoT sistemlerin kullanımlarının artması ile birlikte önem kazanan konulardan birisi haline gelmiştir. KAA'yı oluşturan düğümlerin sınırlı kaynaklara sahip olması ile birlikte kablosuz ortamın saldırılara açık olan doğası, bu ağlarda çeşitli güvenlik sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Veri paketinin kaynaktan hedefe doğru yönlendirilmesi aşamasında içeriden yapılan saldırılarda kriptolojik ve/veya kimlik doğrulama tabanlı çözümler başarılı olamadıkları için bu saldırılara yönelik farklı çözümlerin üretilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, gerçek zamanlı KAA'da çıkış deliği, kara delik ve seçici yönlendirme saldırılarını içeren bir grup yönlendirme saldırıları test ortamı üzerinde modellenmiştir. Son yıllarda literatürde popüler bir yönlendirme mimarisi olan CTP protokolü üzerinde 3 çeşit yönlendirme saldırısının gerçek zamanlı olarak modellenmesi ve ardından komşu izleme tabanlı bir saldırı tespit sisteminin gerçek zamanlı olarak tasarlanarak test edilmesi bu çalışmanın yenilikçi yönünü oluşturmaktadır. Ayrıca bu çalışmanın, CTP üzerinde saldırıların gerçek zamanlı davranış modellerini şekillendirmesi açısından gelecekte tasarlanacak olan saldırı tespit ve saldırı yanıt sistemleri için temel oluşturacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz Algılayıcı Ağlar, Toplama Ağacı Protokolü, Yönlendirme Saldırıları, Gerçek Zamanlı Test Ortamı.

Modelling Routing Attacks on Collection Tree Protocol and Designing an Intrusion Detection System on Real-Time Wireless Sensor Networks

¹Çağlar Oflazoglu, *²İpek Abasikeleş-Turgut

¹ Hatay Mustafa Kemal University, Graduate School of Natural and Applied Sciences , Department of Informatics, Hatay, Turkey, caglar.oflazoglu@iste.edu.tr

² İskenderun Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Computer Engineering, Hatay, Turkey, ipek.abasikeles@iste.edu.tr

Abstract

Nowadays, Wireless Sensor Networks (WSNs) have become one of the important issues with the increasing usage of IoT systems. The nodes having limited resources in WSNs and the nature of wireless environment, which is vulnerable to attacks, bring along various security problems. Since cryptologic and / or authentication-based solutions are not successful for insider attacks during the travelling of data packet from source to destination, different solutions should be proposed. In this study, a group of routing attacks, including sinkhole, black hole and selective forwarding attacks in real time WSNs, are modelled and analysed on testbed. The contributions of this study are real-time modelling of 3 different types of routing attacks on CTP protocol, which is a popular routing architecture in literature in recent years, and the design and testing of a real time neighbour tracking-based intrusion detection system from these attacks. Besides, this study is thought to be the basis for future intrusion

*Sorumlu Yazar: İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Hatay
ipek.abasikeles@iste.edu.tr, +90-326-613-5600

detection and intrusion response systems that will be designed in the future in terms of shaping real-time behaviour models of attacks on CTP.

Keywords: Wireless Sensor Networks, Collection Tree Protocol, Routing Attacks, Real Time Testbed.

1. GİRİŞ

Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA), fiziksel ortamdaki algıladıkları veriyi kablosuz ortam aracılığıyla genel bir merkeze ileten çok sayıda küçük algılayıcı düğümden oluşur. Düşük güçte çalışan ve düşük işlem kapasitesine sahip bu küçük düğümlerin, düşük maliyet ile uygulama kolaylığı KAA'nın bilim ve teknolojinin birçok alanında kullanılmasına olanak tanır. KAA, sağlık hizmetleri ve askeri gözetleme gibi, bireylerin aktivite ve davranışlarından bilgi toplanması; deprem, hava kirliliği, su kalitesi gibi çevresel olayların takip edilmesi; bina güvenliği, imalat makine performansları gibi endüstriyel tesislerin izlenmesini içeren oldukça geniş bir yelpazede kullanım alanına sahiptir [1]. Bununla birlikte, kablosuz kanalın tüm dinleyicilere açık olması, algılayıcı düğümlerin kısıtlı kaynaklara sahip olması ve genelde sabit bir altyapı olmaksızın zor koşullar altında konumlandırılması KAA'yı dışarıdan ve içeriden gelecek saldırılara karşı savunmasız hale getirir. Bu nedenle bu ağlarda güvenlik, çözülmesi gereken önemli bir problem haline alır [2].

KAA konusunda yapılan araştırma ve geliştirmeler kapsamlı, tekrarlanabilir ve doğrulanabilir bir değerlendirme sürecini gerektirir. KAA alanında yapılan en eski çalışmalar, değerlendirme amacıyla kullanılacak olan araç ve platformlarının eksikliğinden dolayı genellikle teorik analizler üzerine yoğunlaşmaktadır. Ancak, günümüzde KAA işletim sistemleri, geliştirme araçları, benzetim platformları ve hatta gerçek zamanlı donanımlar mevcuttur. Günümüzde KAA üzerine yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu kolay bir yöntem olması nedeniyle simülasyon yöntemini tercih etmektedir. Bununla birlikte, teorik analizlerin ve simülasyon ortamının belirgin ve güvenilir olması, gerçek KAA uygulamalarının güvenilir ve belirsiz doğası ile örtüşmemektedir. Ayrıca dağıtık uygulama mantığının, paylaşılan bir ortam üzerinden çevresel ve radyo iletişimi gibi problemlerin birebir benzetiminin yapılması oldukça zordur. Sonuç olarak teorik analizler ve simülasyonlar sadece bir bakış açısı sunan yaklaşımlar olabilirler. Bu sebeplerden dolayı son yıllarda KAA'nın gerçek zamanlı test ortamları üzerinden değerlendirilmesi popüler hale gelmiştir [3].

Gerçek zamanlı KAA'da güvenlik problemlerine karşı sunulan çözümlerin bir kısmı kriptolojik çözümlerdir [4-8]. Dışarıdan gelen saldırılara karşı ağı korumada başarılı olan kriptolojik ve kimlik doğrulama yaklaşımları, ele geçirilen ve içeriden saldırmaya başlayan düğümlerde maalesef etkili olamamaktadır. İç saldırılar, özellikle yönlendirmeyi bozmaya yönelik olduklarında verinin kaybı ve bozulması gibi zararlara neden olmaktadır [9]. İç saldırılara karşı yapılan çalışmalar temelde iki grup altında toplanır: saldırı

tespit sistemleri ve güven tabanlı yol kurma. Saldırı tespit sistemlerinde amaç, saldırıların yakalanması ve ağdan uzaklaştırılması iken; güvenli yol kurulumunda, saldırı tespiti yerine verinin güvenilir bir yol üzerinden hedefe ulaşması amaçlanır. Zhan ve arkadaşları [10], yönlendirme mesajlarının tekrarlanması yoluyla yapılan çıkış deliği, solucan deliği ve sahte baz istasyonu ataklarına karşı güven tabanlı bir yol kurulumu önerisinde bulunmuştur. Sultana ve arkadaşları [11] ise saldırıların gerçekleşmeden önce önlenmesi ve yakalanan saldırıların sistemden uzaklaştırılması için çeşitli çözümler sunmuştur. Önerdikleri algoritmaları veri değiştirme, seçici yönlendirme ve çıkış deliği saldırıları için gerçek zamanlı olarak test etmişlerdir. Bir başka çalışmada ise [12], kümeleme mimarileri için saldırı tespit mekanizması önerilmiş ve çeşitli yönlendirme ataklarına karşı gerçek zamanlı olarak test edilmiştir.

KAA'nın test ortamında gerçekleşmesinin zorluğu nedeniyle literatürde az sayıda bulunan gerçek zamanlı güvenlik çalışmaları, genellikle önerdikleri algoritmaları test etmek amacıyla literatürde tanımı yapılmış olan bir veya birkaç saldırı çeşidini modellemiştir [9, 10, 12]. Ancak bu çalışmalarda saldırıların ne şekilde modellendiği konusunda ayrıntılı ve açık bir bilgi yer almamaktadır. Gerçek hayattaki uygulamalarda ise savunma sistemleri, saldırıların gerçekleşmesinin ardından geliştirilir. Bu nedenle güvenlik sistemi tasarımında saldırıların ne şekilde modellendiği, davranışlarının ne olduğu oldukça önem arz eder.

Bu çalışmada son yıllarda popüler olan CTP yönlendirme protokolünü kullanan gerçek zamanlı bir KAA yapısı üzerinde çeşitli yönlendirme saldırıları modellenmiştir. Bu saldırıların tanımlarından yola çıkılarak çeşitli modeller oluşturulmuş; tasarlanan her bir model için sistemin aldığı zararlar analiz edilmiş ve bu analiz sonuçları çerçevesinde komşu tabanlı izleme sistemi üzerine kurulan bir saldırı tespit sistemi önerilmiştir. Yapılan bu çalışmanın gelecekte tasarlanacak olan savunma sistemlerine ışık tutması amaçlanmaktadır.

Bölüm 2'de literatürde CTP için geliştirilen güvenlik önlemleri; Bölüm 3'te ise yönlendirme mimarisinin tanıtılması, test ortamının açıklanması ve modellenen saldırıların tanımları yer almaktadır. Deneysel çalışma ve elde edilen bulgular Bölüm 4'te tartışılmış, Bölüm 5'te ise komşu tabanlı saldırı tespit sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın son bölüm olan Bölüm 6'da makalenin sonuçları yer almaktadır.

2. BİLİMSEL YAZIN TARAMASI

Literatürde CTP üzerinde yapılan güvenlik çalışmalarının çoğu simülasyon yöntemini kullanmaktadır.

Peter vd. [13], TOSSIM simülatörü kullanarak CTP ve ısıya dayanıklı modüller içeren algılayıcı düğümler için geliştirilen güvenli-CTP protokolünün performans analizini yapmışlardır. Stetsko vd.[14], simülasyon yöntemi kullanarak CTP protokolü üzerinde modelledikleri seçici yönlendirme, taşma saldırısı ve yayın bozma saldırıları için komşu izlemeye dayalı saldırı tespit sistemi geliştirmişlerdir. Liu vd. [15], gerçek zamanlı KAA için hatalı çalışan düğümleri (ölü veya saldırgan düğümleri) ağdan izole etmeyi amaçlayan, zaman senkronizasyonuna dayalı, güvenlik iş birliği toplama ağacı protokolü (SC-CTP) adında bir model önermişlerdir. Udhayavani vd. [16] yaptıkları çalışmada enerji verimli ve güven tabanlı bir model önerisi sunmuş ve modelin simülasyon sonuçlarını paylaşmışlardır. Çalışmada yönlendirme protokolü olarak CTP'ye ilişkin sonuçlar da yer almaktadır. Almon vd. [17], CTP üzerinde yayın bozma ve kara delik saldırılarının davranışlarını lojistik regresyon ile test etmişler ve bölgesel bir saldırı tespit sistemi geliştirmişlerdir. Cui ve Yang [18], analitik model kullanarak davranışını analiz ettikleri seçici yönlendirme atağı için reaktif bir yönlendirme şeması geliştirmişlerdir. Bu şemayı simülasyon yöntemi kullanarak CTP üzerinde modellemiştirler. Ioannou ve Vassiliou'nun [19] yaptıkları çalışma, bu makaleye konu ve kapsam olarak en çok benzeyen çalışmadır. Ağ katman saldırılarının KAA üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla TelosB düğümlerinin modellendiği COOJA simülatörü kullanılarak çıkış deliği, kara delik ve seçici yönlendirme saldırıları modellenmiştir. Yönlendirme alt yapısı olarak Ağırlıklandırılmış En Kısa Yol (Weighted Shortest Path (WSP)) algoritması kullanılmıştır. Yönlendirme saldırılarının davranışları ve modelleri, yönlendirme mimarisine doğrudan bağlı olduğu için bu çalışma, CTP protokolü için uygun değildir. Ayrıca COOJA simülatörü her ne kadar gerçeğe yakın bir emülatör olsa da fiziksel fenomenlerin modellenmesinde yetersiz kalmaktadır [20]. Bu nedenle ancak gerçek zamanlı uygulamalar üzerinde saldırıların modellenmesi ile doğru sonuçlar elde edilebilecektir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Yönlendirme Mimarisi

Bu çalışmada, yönlendirme altyapısı olarak, literatürde son yıllarda gerçek zamanlı KAA'da popüler olan Toplama Ağacı Protokolü (Collection Tree Protocol- CTP) [21] kullanılmıştır. CTP, ağda yer alan düğümleri en düşük maliyet ile ağaç hiyerarşisi üzerinden baz istasyonuna bağlar. Ağdaki her bir düğüm Beklenen İletim Sayısı (Expected Transmission Count, ETX) olarak adlandırılan bir parametre üzerinden kendisi ve baz istasyonu arasındaki rotanın maliyetini hesaplar [22].

ETX, belirli bir sürede gönderilen ve iletilen paket sayıları ile sonraki paketler için hesaplanan bir başarı olasılık değeridir. ETX değerlerinin belirlenmesinde, öncelikle ağaç hiyerarşisinin en tepesinde yer alan baz istasyonuna Eşitlik (1)'de görüldüğü üzere sabit bir değer verildikten sonra

($ETX_{kök}$) (varsayılan olarak sıfır), baz istasyonuna komşu olan düğümler (ağacın 1.seviye yaprakları) bağlantılarının kalitesine göre kendi ETX değerlerini Eşitlik (2)'ye göre hesaplar. Ardından ağaç hiyerarşisinde yer alan diğer düğümler kendi ETX değerlerini ($ETX_{düğüm}$) hesaplarken hiyerarşide ebeveyn adı verilen bir üst seviyede yer alan komşularının ETX değeri ile ($ETX_{ebeveyn}$) kendisi ve ilgili komşusu arasındaki bağlantının maliyetini ($ETX_{bağlantı}$) toplar. Bu şekilde ETX hesaplaması ağacın alt kademelerine doğru ilerler. Bir düğümün ETX değerini hesaplayabilmesi için üst seviye komşularının ETX değerlerini bilmesi gerekir. Bu amaçla CTP, düğümlere ETX değerlerini işaret çerçevesi içerisinde kapsama alanına yayınlamasını önerir. Böylece hiyerarşide alt seviyelerde yer alan düğümler kendi ETX değerlerini hesaplayabilirler.

$$ETX_{kök}=0 \quad (1)$$

$$ETX_{düğüm}=ETX_{ebeveyn}+ ETX_{bağlantı} \quad (2)$$

Komşu sayısının fazla olması durumunda düğümler, seçecekleri güzergahları belirlerken en düşük ETX ile bağlantı kurabilecekleri komşuyu seçerek ETX değerlerini minimize etmeye çalışırlar.

3.2. Yönlendirme Saldırıları

Çıkış deliği saldırısında (sinkhole attack) saldırgan düğüm, yönlendirme paket trafiğini kendi üzerinden geçirmek için sahte kontrol paketleri yayarak etrafındaki sıradan düğümleri aldatır [23]. Saldırgan bu yöntem ile paketlerin izlenmesi, değiştirilmesi ve iletimi konularında yetki kazanmış olur.

Kara delik saldırısında (blackhole attack) saldırgan düğüm, kendisine iletilmek üzere gönderilen paketlerin tamamını bloke ederek bir sonraki düğüme iletimini engeller ve böylece ağda veri kaybına yol açar [24].

Seçici yönlendirme saldırısında (selective forwarding attack) saldırgan düğüm, kara delik saldırısından farklı olarak kendisine gelen paketlerin belli bir bölümünün sonraki düğüme iletilmesini sağlarken bir kısmını bloke eder [25]. Bu saldırıda da kara delik saldırısına benzer şekilde veri kayıpları yaşanmaktadır.

3.3. Test Ortamı

Bu çalışmada MEMSIC firması tarafından üretilen 2.4 GHz IEEE 802.15.4 IRIS algılayıcı düğümleri kullanılarak gerçek zamanlı bir KAA yapısı oluşturulmuştur. Kullanılan düğüme ait bileşenler, ana modül, algılayıcı modülü ve ağ geçidi olmak üzere 3 parçadan oluşmaktadır.

IRIS Ana Modülü, Şekil 1'de görüldüğü üzere düğümün ana bileşenlerinin üzerinde bulunduğu modüldür. Modül üzerinde Atmel ATmega 1281 8 bit mikrodenetleyici bulunmaktadır. Kullanılan düğümlerin teknik özellikleri

Tablo 1’de verilmiştir. Düşük güç tüketimine sahip olan bu modül 2.4 GHz IEEE 802.15.4 kablosuz bileşenini de kendi üzerinde barındırmaktadır. Modül, 2xAA pil haricinde farklı yöntemlerle de beslenebilmektedir.



Şekil 1. IRIS Ana Modülü

Şekil 2’de görülen algılayıcı modülü bir geliştirme modülü olup sıcaklık, ışık vb. algılayıcıların ana modüle eklenmesini sağlamaktadır.



Şekil 2. IRIS Algılayıcı Modülü

Ağ geçidi modülü (Şekil 3), ana modülün programlanması ve USB üzerinden seri haberleşme gibi ihtiyaçların karşılanması amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada Raspberry Pi 3 Model B+ Plus isimli iki mini bilgisayara Linux tabanlı Raspbian Stretch Lite işletim sistemi kurulmuş ve Java tabanlı uygulamalar ile baz istasyonu olarak kullanılan düğüm ve 1. seviye düğümden ağ geçidi modülü ile alınan veriler SQLite veri tabanında zaman bilgisi de kullanılarak depolanmıştır.



Şekil 3. IRIS Ağ Geçidi Modülü

3.4. Sistem Paketleri

CTP yönlendirme protokolünde; Şekil 4’te ve Şekil 5’te veri paketi, Şekil 6’da ise yönlendirme paketi olmak üzere iki türde paket yapısı bulunmaktadır [21].

Tablo 1. 2.4 GHz IEEE 802.15.4 IRIS Düğüm Teknik Özellikleri

İşlemci/Radyo Kartı	XM2110CA	Açıklama
İşlemci Performansı		
Program Flash Belleği	128K bayt	
Seri Flash	512K bayt	100.000 Ölçüm
RAM	8K bayt	
Konfigürasyon EEPROM	4K bayt	
Seri İletişim	UART	0-3V iletim seviyesi
ADC	10 bit ADC	8 kanal, 0-3V giriş
Diğer Arayüzler	Digital I/O,I2C,SPI	
Çekilen Akım	8 mA / 8 µA	Aktif mod / uyku modu
RF Alıcı-Verici		
Frekans Bandı	2405 MHz - 2480 MHz	ISM bandı
Veri İletim Oranı	250 kbps	
RF Gücü	3 dBm (typ)	
Alıcı Hassasiyeti	-101 dBm (typ)	
Komşu Kanal Reddi	36 dB 34 dB	+ 5 MHz kanal aralığı - 5 MHz kanal aralığı
Dış Mekan Kapsama Alanı	>300 metre	¼ dalga dipole anten, LOS
İç Mekan Kapsama Alanı	>50 metre	¼ dalga dipole anten, LOS
Çekilen Akım	16 mA 10 mA 13 mA 17 mA	Alıcı Modu TX, -17 dBm TX, -3 dBm TX, 3 dBm
Elektromekanik		
Batarya	2X AA pil	
Harici Güç	2.7 V - 3.3 V	
Kullanıcı Arayüzü	3 LED	Kırmızı, Yeşil ve Sarı
Boyut (mm)	58 x 32 x 7	
Ağırlık (gram)	18	Batarya hariç

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5
P						Rezerve Alan			THL						
ETX															
Kaynak															
Sıra No								Protokol ID							
Veri Paketi..															

Şekil 4. CTP Veri Paketi Çerçevesi

Veri paketi çerçevesi, verinin sonraki düğüme iletilmesi için kullanılan bir paket formudur. Bu paket formu içeriğinde; “P” adı verilen yönlendirme bitini; “C” adı verilen tıkanıklık bitini; “THL” olarak adlandırılan yaşam süresini; “ETX” olarak adlandırılan rota maliyetini; “Kaynak” adı verilen iletimi yapan düğümün kimlik bilgisini; “Sıra No” olarak adlandırılan kaynağın sıra numarasını, “Protokol ID” adı verilen protokol tanımlayıcısını ve “Veri Paketi” olarak düğümün göndermek istediği veri bloğunu içermektedir.

Veri paketi içeriği isteğe bağlı olup ihtiyaçlara uygun şekilde tasarlanabilmektedir. Bu çalışmada algılayıcı düğümün yapmış olduğu ölçüm değerlerinin yanı sıra baz istasyonuna iletilmek istenen çeşitli bilgiler de Şekil 5’te görüldüğü üzere bu paketin içeriğine eklenmiştir.

Baz istasyonuna iletilmek istenen paket içeriğinde yer alan “Hedef”, iletilecek düğümün kimlik bilgisini; “Kaynak”, gönderici düğümün kimlik bilgisini; “Paket No”, gönderilen paketin benzersiz sıra numarasını; “ETX”, gönderim için seçilen düğümün rota maliyetini; “Güç”, batarya gücünü; “Sıcaklık”, algılayıcı ile ölçülen ortam sıcaklık değerini ve “Işık Şiddeti” ise algılayıcı ile ölçülen ortam ışık şiddeti değerini temsil etmektedir.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5
Hedef								Kaynak							
Paket No															
ETX															
Güç															
Sıcaklık															
Işık Şiddeti															

Şekil 5. Veri Paketi İçeriği

Son olarak Şekil 6’da görülen yönlendirme paketi içeriğindeki P ve C bitleri ve rezerve alan kısmı, veri paketi çerçevesi ile aynı amaçla kullanılmaktadır. ETX bilgisi ve hedef düğüm bilgisi de yönlendirme çerçevesine dahil edilmiştir.

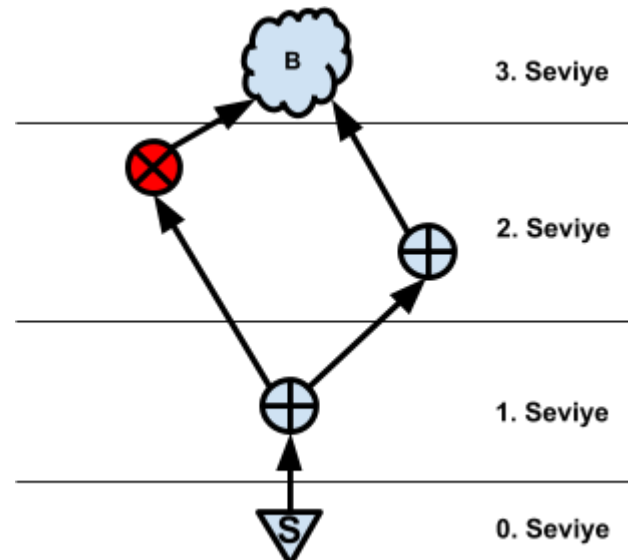
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5
P	C	Rezerve Alan						Hedef							
Hedef						ETX									
ETX															

Şekil 6. CTP Yönlendirme Paketi Çerçevesi

4. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu makalede CTP’nin işleyişini engellemeye yönelik olarak içerisinde çıkış deliği, kara delik ve seçici yönlendirme saldırılarını da içeren bir yönlendirme saldırı kümesinin modelleme çalışması yapılmıştır. Öncelikle saldırıların literatür tanımlarından yola çıkılarak, gerçek zamanlı CTP üzerinde farklı modeller tasarlanmıştır.

Deneyde kullanılan topoloji; Şekil 7’de görüldüğü gibi 3 ara düğüm, 1 algılayıcı düğüm ve 1 baz istasyonu olmak üzere toplam 5 kablosuz algılayıcı ağ aygıtından oluşmaktadır. Bu aygıtlar, bir bina içinde farklı odalarda önceden belirlenmiş noktalarda birbirlerine 6-10 metre arası mesafe olacak şekilde konumlandırılmıştır. Konumlar belirlenirken topolojiye uygun olarak düğümlerin birbirlerinin kapsama alanı içerisinde yer alması sağlanmıştır. Tüm düğümlerin konumları sabittir ve ağ süresi boyunca değişmemektedir. Algılayıcı düğümün veri iletiminde, iki seviyeli düğüm geçişi üzerinden baz istasyonuna ulaşılması hedeflenmiştir. 1. seviyede yer alan ara düğüm, algılayıcı düğümün aldığı ve baz istasyonuna iletilmek istenen veriyi 2. seviyeye aktarmaktadır. 2. seviyede yer alan iki ara düğüm ise kendilerine iletilen veriyi baz istasyonuna ulaştırmakla görevlendirilmiştir. Her seviyede yer alan düğümler, bir önceki ve bir sonraki seviyede yer alan düğümlerin komşusudur (yani kapsama alanı içerisinde bulunmaktadır).



Şekil 7. Test Ortamı Düğüm Yerleşimi

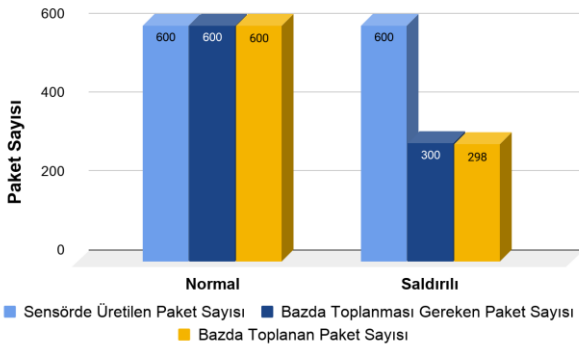
Yapılan deneylerde; temel oluşturması açısından tasarlanan saldırısız modele ait istatistikler, sistemin yaklaşık olarak 10 dakika (600 veri paketi için) çalıştırılması sonucunda elde edilmiştir. 0. seviyede yer alan algılayıcı düğüm yapmış olduğu sıcaklık, ışık şiddeti vb. ölçümleri saniyede 1 kez veri paketi olarak 1. seviyede yer alan düğüme iletmektedir. 1. seviyeye iletilen paketler veri yolu kalitesi dikkate alınarak 2. seviyeye, oradan da baz istasyonuna iletilmektedir.

4.1. Saldırı-1: Çıkış Deliği + Seçici Yönlendirme

Deneyde kullanılan topolojide 2. seviyede yer alan yönlendirici düğümlerden birinin saldırgan olarak görev yapması sağlanmıştır. Bu düğüm; ilk olarak çıkış deliği saldırısı düzenleyerek düğümün gerçek ETX değerini daha düşük bir sahte değerle değiştirir ve böylece 2. seviyeye iletilen trafiğin kendi üzerine alınmasını sağlar. CTP’de sistemde döngü oluşmaması için her seviye geçişinde ETX değeri belirli bir minimum eşik değerinin üzerinde artmaktadır. Tasarlanan sistemde bu değer 10 olmasına

rağmen, saldırgan düğüm bu sayıyı 1 göstererek trafiği kendi üzerine çekmeyi başarır. Ardından trafiği oluşturan paketler, önceden belirlenen sabit bir oranda, bir sonraki düğüme iletilerek seçici yönlendirme saldırısı planlanmıştır. Bu modellemede saldırganın iletim oranı %50 olarak belirlenmiş ve saldırganın gelen paketlerin yarısının 3. seviyeye geçişine izin verilirken, diğer yarısının bloke edilmesi sağlanmıştır.

Yapılan deneylerde sistem 20 dakika boyunca çalıştırılmıştır. Burada her 10 dakikalık süre, yaklaşık 600 adet veri paketinin baz istasyonunda toplanma süresidir. Deneyin ilk 10 dakikası saldırının olmadığı normal durumu, ikinci 10 dakikası ise saldırının eklendiği durumu temsil etmektedir. Saldırı-1'in gerçekleştirildiği deneyin sonunda elde edilen algılayıcı düğümde üretilen paket sayısı, baz istasyonunda toplanması gereken paket sayısı ve gerçekte toplanan paket sayıları Şekil 8'de görülmektedir.

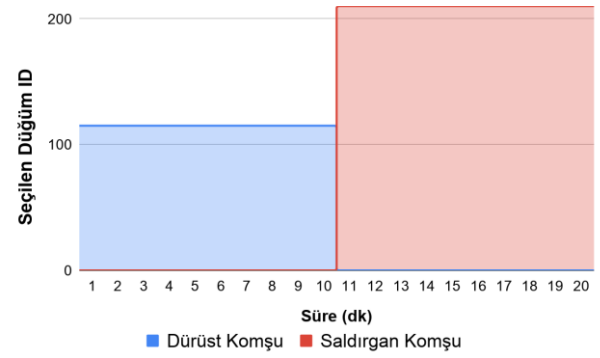


Şekil 8. Normal ve Saldırı-1 olduğu durumda algılayıcı düğüm tarafından üretilen, baz istasyonu tarafından toplanması beklenen ve baz istasyonu tarafından toplanan paket sayıları

Şekil 9'da yönlendirme protokolü tarafından seçilen 2. seviye düğümler ve aktif oldukları süreler görülmektedir. Algılayıcı düğümünden iletilen 600 paketin tamamı baz istasyonuna iletilmiştir (Şekil 8). Deneyin ikinci yarısında saldırgan düğüm devreye girmiş ve yönlendirme protokolünün kendisini seçmesini sağlayarak tüm trafiği üzerine çekmiştir (Şekil 9). Algılayıcı düğümde üretilen 600 paketin tamamı saldırgan düğüme iletilmiştir. Saldırgan düğüm kendisine gelen paketlerin seçici yönlendirme saldırısı ile %50 sini baz istasyonuna iletmek üzere programlandığı için baz istasyonunda toplanan toplam paket sayısı 298 adet olmuştur (Şekil 8).

4.2. Saldırı-2: Çıkış Deliği + Kara Delik Saldırısı

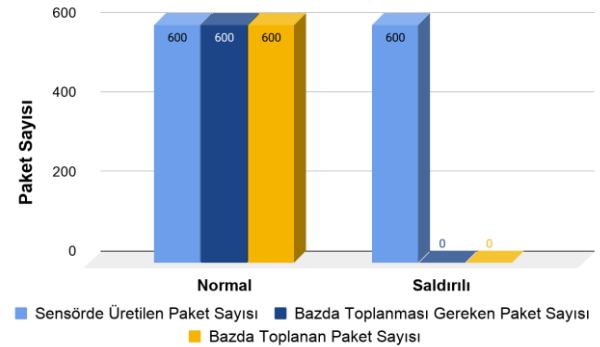
Bir önceki saldırıya benzer şekilde Saldırı-2'de saldırgan düğüm önce çıkış deliği saldırısını düzenleyerek veriyi kendisine çektikten sonra kara delik saldırısını gerçekleştirir. Kara delik saldırısı, seçici yönlendirme saldırısından farklı olarak paketlerin hiçbirinin baz istasyonuna iletimine izin vermemektedir.



Şekil 9. Normal ve Saldırı-1 olduğu durumda yönlendirme protokolü tarafından seçilen düğüm ve aktif oldukları süre

Saldırı-2'nin gerçekleştirildiği deneyin sonunda elde edilen veriler; algılayıcı düğümde üretilen paket sayısı, baz istasyonunda toplanması gereken paket sayısı ve gerçekte toplanan paket sayıları olarak Şekil 10'da görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere baz istasyonu tarafında yapılan analizlerde, saldırı süresince hiçbir veri paketinin baza ulaşmadığı tespit edilmiştir. Bu süre zarfında beklenildiği gibi yönlendirme algoritması, düğüm seçimlerinin kontrolü ile ilgili herhangi bir işlem yapmamış ve trafiğin saldırgan üzerinden akmasına izin vermiştir.

Elde edilen sonuçlar, modellenen kara delik ve seçici yönlendirme saldırılarının amaçlarına ulaşarak baz istasyonunda beklenen veri kayıplarını yaşattığını ve buna bağlı olarak bu saldırıları tespit edecek veya güvenli yollar üzerinden veriyi aktaracak algoritmalarının tasarlanmasının bu ağlar için oldukça önemli olduğunu göstermektedir.



Şekil 10. Normal ve Saldırı-2 olduğu durumda algılayıcı düğüm tarafından üretilen, baz istasyonu tarafından toplanması beklenen ve baz istasyonu tarafından toplanan paket sayıları

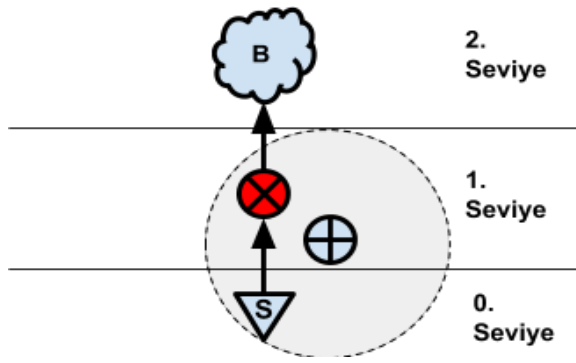
5. KOMŞU İZLEME TABANLI SALDIRI TESPİT SİSTEMİ

Bir önceki bölümde yer alan analiz sonuçları göz önüne alındığında paket iletiminin izlenmesine dayalı bir saldırgan düğüm tespit sisteminin tasarlanmasının mümkün olabileceği açıkça görülebilmektedir. Bu nedenle çalışmanın bu bölümünde komşu izleme tabanlı bir saldırı tespit sistemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 11'de görüldüğü üzere 0.seviyede yer alan algılayıcı düğüm veri paketini 2.seviyede yer alan baz

istasyonuna ulaştırmak için 1. seviyede yer alan aracı düğümü (Şekilde kırmızı ile gösterilen düğüm) kullanacaktır. Bu iletişimde aracı düğümün saldırgan olması durumunda algılayıcı düğümün verisi baz istasyonuna ulaşmayacak ve sistemde paket kayıpları yaşanacaktır.

Saldırgan düğümü tespit etmek amacıyla mevcut mimari üzerinde aracı düğümün yer aldığı 1.seviyeye izleyici bir düğüm yerleştirilmiştir. İzleyici düğüm hem algılayıcı hem de 1.seviye aracı düğümü izleyebilecek şekilde konumlandırılmıştır. Bu düğüm veri iletişiminin dışındadır ve tek görevi kapsama alanındaki paket iletimini dinlemektir. Komşu düğümlerin aldıkları ve ilettikleri paketleri takip ederek kara delik ve seçici yönlendirme saldırılarının tespiti amaçlanmıştır.

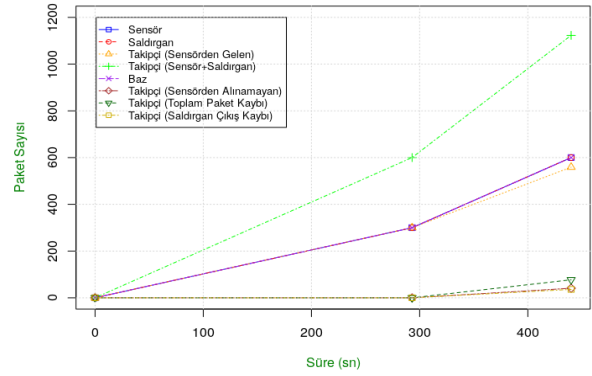
Yapılacak deneylerde gerçek zamanlı olarak algılayıcı düğüm tarafından gönderilecek olan toplam 600 adet veri paketi iki farklı süre aralığı için değerlendirilecektir. İlk 300 adet veri paket 1 sn. aralıklarla gönderilecek iken kalan veri paketleri 0.5 sn. aralıklarla gönderilecektir.



Şekil 11. Komşu İzleme Tabanlı Saldırı Tespit Sistemi İçin Test Ortamı Düğüm Yerleşimleri

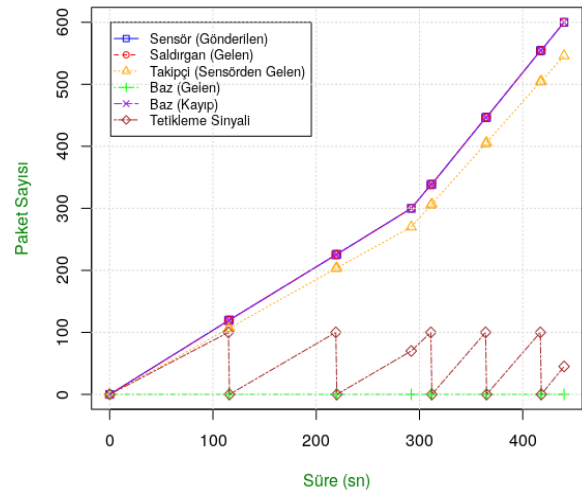
İzleyici düğüm, kapsama alanı içerisinde yer alan (baz istasyonu hariç) düğümlere gönderilen ve bu düğümlerden iletilen veri paket sayılarını (paket imzası tabanlı olarak) dikkate alarak farkın 100 olması durumunda tetikleme sinyali üretecek ve ilgili düğümün fark sayacı sıfırlayacaktır.

Şekil 12’de saldırısız ortam için düğümlere ilişkin veri paket trafiği istatistikleri görülmektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere izleyici düğümün kapsama alanı sınırlarına yakın bir bölgede yer alması sebebi ile özellikle 0.5 saniyelik periyot içerisinde %3 lük bir paket kaybı yaşandığı görülebilmektedir. Paket kaybı miktarının belirlenen sınırlar altında olması tetikleme sinyalinin üretilmemesine neden olmuştur. 300. paket iletiminin sonrasında grafiklerde oluşan eğim, birim zamanda gönderilen paket sayısının (1 saniyeden 0.5 saniyeye düşmesi) artması sebebi ile ortaya çıkmıştır.



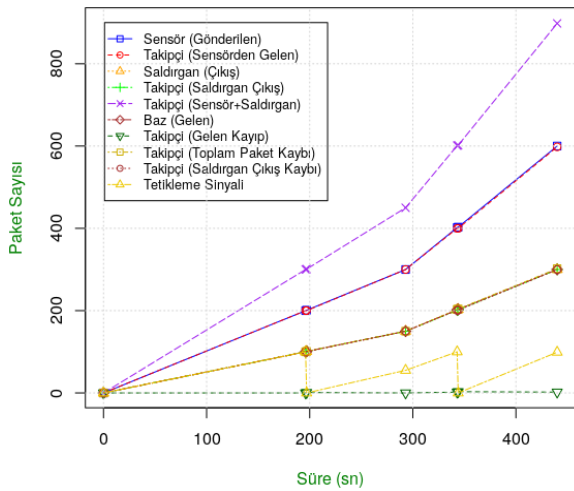
Şekil 12. Saldırının olmadığı ortamda düğümlerin ilettikleri paket sayıları

Şekil 13 ‘te görüldüğü üzere saldırgan düğüm veri trafiğini kendi üzerine çekerek kara delik saldırısı düzenlemiştir. Bu saldırı sonucunda saldırgan iletilen hiçbir paketin baz istasyonuna iletilmediği grafik üzerinden de görülebilmektedir. Algılayıcı düğümün gönderilen ve saldırgan düğümüne gelen paket sayılarının eşit olması iletişimde paket kaybının olmadığını göstermektedir. İzleyici düğüm, gerçek zamanlı iletim ortamı sebebiyle algılayıcı düğümün gönderilen paketleri yaklaşık olarak %9 kayıp ile takip edebilmiş ve tetikleme sinyalinin daha geç aktif olmasına sebep olmuştur.



Şekil 13. Kara delik saldırısı yapılan ortamda düğümlerden iletilen paket sayıları

Şekil 14’te saldırgan düğüm veri trafiğini kendi üzerine alarak seçici yönlendirme saldırısı gerçekleştirmiştir. Bu saldırıda toplam paketlerin sadece %50’si baz istasyonuna iletilmiştir. İzleyici düğüm, gerçek zamanlı iletim ortamı sebebiyle algılayıcı düğümün gönderilen ve saldırgan düğüm tarafından iletilen paketleri yaklaşık olarak %1 kayıp ile takip edebilmiştir. Eşik değerini geçen fark sonucunda üretilen tetikleme sinyalinin, algılayıcıdan gönderilen ve baz istasyonuna iletilen paket sayıları ile doğru orantılı olduğu görülebilmektedir.



Şekil 14. Seçici yönlendirme saldırısı yapılan ortamda düğümlerden iletilen paket sayıları

İzleyici düğümün kapsama alanı içerisinde bulunan ve bu nedenle trafiklerini izlediği düğümlere ilişkin tespit edemediği/işleyemediği veri paketlerin neden olacağı tetikleme sinyali yanlış alarm üretebilmektedir. Tetikleme sinyalinin üretiminde kullanılacak olan bir eşik değeri ile (zamanlayıcı veya paket sayısına göre ile sıfırlanan) bu tür hatalar göz ardı edilebilir. Ayrıca kullanılan yönlendirme protokolünde, verilerin aktarımı sırasında iletimde olan aracı düğümler dışında geriye kalan tüm düğümler birer izleyici düğüm olarak kabul edilebilir. Böylece aynı trafiği izleyen birden fazla izleyici düğüm sisteme yer almış olacaktır. Saldırı yanıt sisteminin tasarımında birçok izleyici düğümün çoğunluk kararı dikkate alınarak gerekli süreçler yürütülebilir. Gelecekteki çalışmamızda daha fazla düğüm sayısı içeren farklı bir topoloji üzerinde önerilen sistemin test edilerek, sisteme alarm üretme mekanizmasının eklenmesi ve saldırı yanıt sisteminin tasarlanması amaçlanmaktadır.

6. TARTIŞMA

Bu çalışmada, gerçek zamanlı KAA için yaygın olarak kullanılan CTP yönlendirme protokolü üzerinde çeşitli yönlendirme atakları modellenmiş ve modellenen saldırılar için gerçek zamanlı bir saldırı tespit sistemi önerilmiştir. Öncelikle, içerisinde kara delik, seçici yönlendirme ve çıkış deliği ataklarını içeren bir atak kümesi literatürdeki tanımlarından yola çıkılarak CTP üzerinde modellenmiş ve sistemin bu saldırılara karşı verdiği tepkiler ile aldığı zararlar raporlanmıştır. Ardından bu raporlardan faydalanılarak sisteme yerleştirilen bir izleyici düğüm sayesinde komşu paket iletimleri takip edilmiş ve gerçekleştirilen saldırıların gerçek zamanlı olarak yakalanması sağlanmıştır.

Öncelikle, saldırının olmadığı sistem 10 dakika boyunca çalıştırılmış ve baz istasyonuna gelen yaklaşık 600 paket daha sonra yapılacak analizlerde kullanılmak üzere kaydedilmiştir. Saldırıları modellenirken ilk olarak çıkış deliği saldırısı kullanılmıştır. Bu saldırı sayesinde paketlerin saldırı üzerinden akması sağlanmış ve ardından kara delik

saldırısı ile tamamı; seçici yönlendirme saldırısı ile gönderilen paketlerin yarısı iletilmeyerek veri akışı engellenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, sistem 10 dakika boyunca çalıştırılmış ve beklenildiği gibi sistemde alternatif rotalar olmasına rağmen bunların kullanılmadığı ve buna bağlı olarak baz istasyonunda veri kayıplarının yaşandığı izlenmiştir.

Bu çalışmada önerilen komşu izleme tabanlı saldırı takip sistemi sayesinde CTP'deki güvenlik zafiyetinin giderilmesi amaçlanmıştır. Ağ trafiğine dahil olmayan bir düğümün, izleyici düğüm olarak gerçek zamanlı trafiği izlemesi ve saldırı tespiti anında tetikleme sinyali üretmesi hedeflenmiştir. Çalışmada, tekil bir izleyici düğüm ile izlenen ağ trafiği, izlenen düğümlere olan uzaklık vb. faktörler sebebi ile tolere edilebilir bir miktarda kayıplı olarak takip edilebilmiştir. Kara delik saldırısında algılayıcı düğümün göndermiş olduğu paketlere ilişkin trafik, gerçek zamanlı olarak %91 başarımla izlenebilmiştir. Seçici yönlendirme saldırısında ise algılayıcı düğümün gönderilen paketler ile saldırı düğümün ilettiği paketlere ilişkin trafik %99 başarı oranı ile izlenebilmiştir. Saldırı düğümün ilettiği fakat izleyici düğümün tespit edemediği paket trafiği sebebi ile tetikleme sinyali beklenenden daha erken üretilmiştir.

Elde edilen sonuçlar ışığında yapılacak sonraki gerçek zamanlı çalışmalarda, izleyici düğüm sayısının artırılarak ortak bir karar mekanizması ile trafiğin daha yüksek doğruluk oranlarında izlenebilmesi saldırı takip sisteminin başarımlarını arttıracaktır. Sonraki çalışmalarda, oluşan tetikleme sinyallerine uygun bir saldırı yanıt sisteminin modellenmesi ile saldırıların ağ trafiği dışında bırakılması amaçlanmaktadır.


KAYNAKÇA


- [1] N. KhadirKumar and A. Bharathi, "Real time energy efficient data aggregation and scheduling scheme for WSN using ATL," Computer Communications, vol. 151, pp. 202-207, 2020.
- [2] G. M. Borkar, et al., "A novel clustering approach and adaptive SVM classifier for intrusion detection in WSN: a data mining concept," Sustainable Computing: Informatics and Systems, vol. 23, pp. 120-135, 2019.
- [3] J. Horneber and A. Hergenröder, "A Survey on Testbeds and Experimentation Environments for Wireless Sensor Networks," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 16, no. 4, pp. 1820-1838, Fourthquarter 2014.
- [4] O. R. M. Boudia, S. M. Senouci, and M. Feham, "A novel secure aggregation scheme for wireless sensor networks using stateful public key cryptography," Ad Hoc Networks, vol. 32, pp. 98-113, 2015.
- [5] J. Ryu, Y. Lee, and D. Won, "Cryptanalysis of Lightweight and anonymous three-factor authentication and access control protocol for real-time applications in wireless sensor networks," Computational Science and Technology. Springer, Singapore, pp. 2341-349, 2020.

- [6] K. Biswas, V. Muthukkumarasamy and K. Singh, "An Encryption Scheme Using Chaotic Map and Genetic Operations for Wireless Sensor Networks," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 15, no. 5, pp. 2801-2809, May 2015.
- [7] Y. Tsou, C. Lu and S. Kuo, "MoteSec-Aware: A Practical Secure Mechanism for Wireless Sensor Networks," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 12, no. 6, pp. 2817-2829, June 2013.
- [8] P. Gope, et al., "Lightweight and physically secure anonymous mutual authentication protocol for real-time data access in industrial wireless sensor networks," *IEEE transactions on industrial informatics*, Vol. 15 No. 9, pp. 4957-4968, 2019.
- [9] F. Ishmanov and Y. B. Zikria, "Trust Mechanisms to Secure Routing in Wireless Sensor Networks: Current State of the Research and Open Research Issues," *Journal of Sensors*, vol. 2017, pp. 1-16, 2017.
- [10] G. Zhan, W. Shi and J. Deng, "Design and Implementation of TARF: A Trust-Aware Routing Framework for WSNs," in *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, vol. 9, no. 2, pp. 184-197, March-April 2012.
- [11] S. Sultana, D. Midi, and E. Bertino, "Kinesis: a security incident response and prevention system for wireless sensor networks" *Proceedings of the 12th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems - SenSys 14*, 2014.
- [12] H. Sedjelmaci, S. M. Senouci and M. A. Abu-Rgheff, "An Efficient and Lightweight Intrusion Detection Mechanism for Service-Oriented Vehicular Networks," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 1, no. 6, pp. 570-577, Dec. 2014.
- [13] P. Peter, H. Petr and N. Jan, "Simulation and Evaluation of CTP and Secure-CTP Protocols," *Radioengineering*, vol. 2010, no. 1, pp. 89-98.
- [14] A. Stetsko, L. Folkman and V. Matyas, "Neighbor-Based Intrusion Detection for Wireless Sensor Networks," *2010 6th International Conference on Wireless and Mobile Communications, Valencia, 2010*, pp. 420-425.
- [15] Z. Liu, W. Liu, Q. Ma, G. Liu, L. Zhang, L. Fang and V.S. Sheng, "Security cooperation model based on topology control and time synchronization for wireless sensor networks." *Journal of Communications and Networks*, 21(5), 2019 ,pp.469-480.
- [16] M. Udhayavani and M. Chandrasekaran, "Design of TAREEN (trust aware routing with energy efficient network) and enactment of TARF: a trust-aware routing framework for wireless sensor networks." *Cluster Computing*, 22(5), 2019 , pp.11919-11927.
- [17] L. Almon, M. Riecker and M. Hollick, "Lightweight Detection of Denial-of-Service Attacks on Wireless Sensor Networks Revisited," *2017 IEEE 42nd Conference on Local Computer Networks (LCN)*, Singapore, 2017, pp. 444-452.
- [18] B. Cui and S. J. Yang, "NRE: Suppress Selective Forwarding attacks in Wireless Sensor Networks," *2014 IEEE Conference on Communications and Network Security*, San Francisco, CA, 2014, pp. 229-237.
- [19] C. Ioannou and V. Vassiliou, "The Impact of Network Layer Attacks in Wireless Sensor Networks," *2016 International Workshop on Secure Internet of Things (SIoT)*, Heraklion, 2016, pp. 20-28.
- [20] A. Dwivedi and O. Vyas, "An Exploratory Study of Experimental Tools for Wireless Sensor Networks," *Wireless Sensor Network*, Vol. 3 No. 7, 2011, pp. 215-240.
- [21] O. Gnawali, R. Fonseca, K. Jamieson, D. Moss, and P. Levis, "Collection tree protocol," *Proceedings of the 7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems - SenSys 09*, 2009.
- [22] S. Basagni, C. Petrioli and D. Spenza, "CTP-WUR: The collection tree protocol in wake-up radio WSNs for critical applications," *2016 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*, Kauai, HI, pp. 1-6, 2016.
- [23] E. C. H. Ngai, J. Liu and M. R. Lyu, "On the Intruder Detection for Sinkhole Attack in Wireless Sensor Networks," *2006 IEEE International Conference on Communications*, Istanbul, 2006, pp. 3383-3389.
- [23] A. Rehman, S. Rehman, and H. Raheem, "Sinkhole Attacks in Wireless Sensor Networks: A Survey," *Wireless Personal Communications*, Vol. 106 No.4 pp: 2291-2313, 2019.
- [24] D.C. Mehetre, S. E. Roslin, and S. J. Wagh, "Detection and prevention of black hole and selective forwarding attack in clustered WSN with Active Trust," *Cluster Computing*, Vol. 22 No.1, pp: 1313-1328, 2019.
- [25] H. Fu, Y. Liu, Z. Dong, Y. Wu, "A Data Clustering Algorithm for Detecting Selective Forwarding Attack in Cluster-Based Wireless Sensor Networks," *Sensors*, Vol. 20 No.1 pp: 23, 2020.

Türkiye’de Dijital Dönüşüme Başlangıç için AHP ve TOPSIS Yöntemleri ile Sektörel Sıralama

*¹Ayten Yılmaz Yalçın, ²İrem Çaylak

¹Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Esentepe Kampüsü, ayteny@sakarya.edu.tr 

²Sistem Global Danışmanlık, Bursa, irem.caylak@sistemglobal.com.tr 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 13.02.2019

Kabul Tarihi: 02.03.2020

Öz

Endüstriyel faaliyetleri teknolojik olarak en üst seviyeye taşıyan Endüstri 4.0 felsefesi, işletmelerin ve makro ölçekte ülkelerin rekabet anlayışına yeni bir soluk olarak etki etmesinden dolayı endüstriyel toplum için büyük bir fırsat olarak değerlendirilmektedir. Dijital dönüşüm devriminin kaçırılmaması gerektiği konusunda ülkemiz henüz farkındalık yayılması aşamasındadır. Bu dönüşüm fikri, işletmeler için dünya endüstrisine yeni bir pencere açmakla birlikte zorlu bir dönüşüm sürecini beraberinde getirmiştir. Endüstri 4.0 dönüşümü için neredeyse tüm dünyada sektörel bazda çalışmalar devam etmektedir.

Bu kapsamda çalışmada ele alınan asıl problem, Türkiye’nin Endüstri 4.0’a nereden başlanması gerektiğidir. Endüstri 4.0 konusu, çeşitli çalışmaların ve araştırma raporlarının ötesinde karar verme yöntemleri için sağlam altyapıya sahip bir konudur. Tüm dünyanın hummalı çalışmalarına karşılık Türkiye’nin nereden başlayacağına karar vermek için elini çabuk tutması gerekir. Bu çalışmada Türkiye’nin Endüstri 4.0 dönüşümüne hangi sektörden başlaması gerektiğine dair bir öneri getirilmesi istenmiştir. Bu amaçla ülkemizdeki mevcut altı adet temel sektörün istihdamı, verimliliği, ihracat-ithalat oranları gibi kritik karar verme faktörleri dikkate alınarak sistemin Analitik Hiyerarşi Prosesi oluşturulup Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden olan TOPSIS Yöntemi kullanılarak sektörel bazda bir sıralamaya ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Sektörel Sıralama, AHP, TOPSIS

Sectoral Classification with TOPSIS Method in the Context of Industry 4.0 – Digital Transformation

*¹Ayten Yılmaz Yalçın, ²İrem Çaylak

¹Sakarya University, Industrial Engineering Department, Esentepe Campus Sakarya, ayteny@sakarya.edu.tr

²Sistem Global Danışmanlık, Bursa, iremmisersey@gmail.com

Abstract

The Industry 4.0 philosophy, which carries the industrial activities to the highest technological level, is regarded as a great opportunity for the industrial society due to the fact that the enterprises and the macro scale influence the competition of the countries as a new breath. Turkey is still in the process of raising awareness of the fact that the revolution of digital transformation should not be missed. The idea of this transformation has opened a new window to the world industry for businesses and brought about a difficult transformation process. For the Industry 4.0 transformation, studies are going on almost all over the world.

The main problem discussed in this context, Turkey should start from is that the industry 4.0. The issue of Industry 4.0 is a subject of sound infrastructure for decision-making methods beyond various studies and research reports. All the world's a flurry of activity in response to Turkey to decide where to start should keep his hand quickly. In this study, Turkey's Industry 4.0 transformation to which sector starting in the name of clarity, should Multi-Criteria Decision Making systems using TOPSIS Method with the Analytic Hierarchy Process created employment in the main sectors of the six existing in our country, productivity, export-import ratio as obtained by taking the expert opinion by taking into consideration the critical decision-making factors.

Keywords: Industry 4.0, Sectoral Analysis, AHP, TOPSIS

1. GİRİŞ

Dördüncü sanayi devrimi arz, üretim, tüketim, hizmet, lojistik gibi pek çok alanda iş yaşamında, endüstriyel süreçlerde yapısal olarak değişikliklere neden olmuştur. Süreçlerin mükemmelleştirmesi, insan hatalarının minimize edilmesi için alternatifler sunmaktadır. Yüksek teknolojik entegrasyon olarak bilinen endüstri 4.0 kavramı Bunun için işletmeler iletişim, bilgisayar, internet ve siber-fiziksel sistemlerle özerk ve akıllı üretim sistemlerini entegre ederek teknolojik seviyelerini yükseltme yolunda ciddi adımlar atmaktadır. Tüm süreçlerini bu dönüşümde uyumlu hale getirerek müşteri beklenti ve isteklerine odaklanıp daha etkili cevap verme ve rekabette üstün gelmeyi hedeflemektedirler

Dijital dönüşüm olarak da ifade edilen Endüstri 4.0 yaklaşımı iş dünyasına büyük fırsatlar ve kolaylıklar sunan bir oluşumdur. Endüstri devrimin kaçırılmaması gerektiği konusunda ülkemiz henüz farkındalık yayılması aşamasındadır. Endüstri 4.0 dönüşümünün ne denli gerekli olduğunun farkında olmanın yanı sıra, dönüşümün nasıl gerçekleşeceği hakkında somut veriye ulaşılamaması ve en önemlisi nereden başlanması gerektiğinin bilinmemesi Türkiye için büyük bir problemdir.

Çoğu endüstri ülkesinde dönüşüme hangi sektörden başlanması gerektiğine karar verilip adımlar uygulanmaya başlanmış ve neticeleri görülür hale gelmiştir.

Dördüncü sanayi devriminin temel kavramlarının açıklandığı ve Ar-Ge ve iletişim göstergeleri açısından sürecin ele alındığı bir çalışmada Türkiye’de Endüstri4.0 sürecinin sürdürülebilir iktisadi büyüme ve gelişmiş ülkeler seviyesine erişebilmesi açısından öneminin oldukça büyük olduğu ifade edilmiştir [1]. Bu alanda yapılan çalışmalar her geçen gün çoğalarak artmaktadır. Gabaçlı ve Uzunöz (2017), çalışmalarında Türkiye’de özellikle otomotiv sektörünün dönüşüm sürecinin iyi değerlendirilmesi ile rekabet üstünlüğü sağlanacağı bildirmişlerdir [2]. Olanrewaju yazısında dijital girişimde etkili olmanın temel özelliklerinden bahsederken işletmelere yönetim ekiplerinin kurumların yapısına, süreçlerine göre sağlam bir altyapı kurulmasının gerekliliğinden bahsetmektedir [3].

M. Annunziata, endüstride yaşanan değişimlerin ürünleri tasarlama ve üretme yöntemlerini ve küresel ekonomiyi birbirine bağlayan karmaşık tedarik zinciri ağlarını daha esnek, daha hızlı olmasında etkili olduğundan bahsetmektedir [4]. A. McAfee and E. Brynjolfsson 2012 yılında her gün yaklaşık olarak 2,5 exabyte veri üretildiğinden ve bunun her 40 ayda bir iki katına katlandığını ifade etmişlerdir. Dijital verilerin öneminden bahsetmişler ve veri odaklı işletmelerin daha iyi performans gösterdiklerini hipotezini test etmek için çalışmalarda bulunmuşlardır. Büyük Veri kavramı sayesinde yöneticilerin işletmeleri hakkında daha radikal bir şekilde ölçüm yapabilmelerinden dolayıyla karar almalarında önemli bir etken olmalarından bahsetmişlerdir [5].

TÜBİTAK’ın 2017 Şubat ayında yayınladığı “Yeni Sanayi Devrimi Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası” çalışması Endüstri 4.0’a geçiş aşamalarını ana başlıklar ve alt başlıklarla detaylı olarak anlatmaktadır. Türkiye’deki 1000 adet özel sektöre kuruluşu yönelik gerçekleştirilen anket çalışması neticesinde Türkiye sanayisinin dijital olgunluk seviyesi 2.0-3.0 arasındadır ve seviye olarak en yüksek olan sektörler malzeme (kauçuk ve plastik), bilgisayarlar, elektronik ve optik ürünler ile otomotiv ve beyaz eşya yan sanayii olarak verilmiştir. Aynı çalışmada öncelikli sektörel uygulamalar için otomotiv, beyaz eşya ile kimya ve gıda sektörleri belirlenmiştir [6].

Ülkemizde Endüstri 4.0 dönüşümüne nereden başlanacağına araştırılmasından ziyade daha çok uygulamalar sonrası durumun nasıl olacağını ve özellikle otomotiv sektöründe yoğunlaşarak yapılan çalışmalar dikkat çekicidir. Özellikle Küçük ve Orta Ölçekli işletmelerde dijital dönüşüm sebebiyle bazı sıkıntılar, tedirginlikler mevcuttur. Bu kapsamda öncelikli olarak farkındalık ve bilinçlendirme amaçlı sektörel bazı çalışmaların yaygınlaştırılmasının fayda sağlayacağı öngörülmektedir [7]. Türkiye’nin ileri teknoloji yoğunluklu sektörlerde gerçekleşen üretimlerin 2009-2014 yılları arasında kısmi olarak da olsa arttığı görülmektedir. Bunda da özellikle otomotiv ve elektrikli makine sektörlerinde gerçekleşen üretimlerin payının fazla olduğu ifade edilmektedir [8].

Bu çalışmada; Türkiye’deki öncelikli sektörlerin uygun kriterlerine göre dönüşüm sırası elde edilmesi, Türkiye’nin Endüstri 4.0 dönüşümüne nereden, hangi sektörden başlanılmasına yönelik bir öneride bulunulması amaçlanmıştır. Endüstri 4.0’a nereden başlanmalıdır? Dönüşümde hangi sektöre/sektörlere öncelik verilmelidir? Türkiye için sektör sıralaması nasıl olmalıdır? Sorularına cevap aranmak istenmiştir. Bu amaçla öncelikle Endüstri 4.0 ve Gelişim Sürecinin ele alınmasının ardından, dijital dönüşüm ve sektörlerde bir literatür taraması Bölüm 2’de sunulmuştur. Çalışmanın sektörel analiz için kullanılan Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi tekniği ve TOPSIS tekniğinin tanımlandığı ve uygulamalarının yer aldığı Bölüm 3’ün ardından sonuç ve değerlendirme Bölüm 4’te sunulmuştur.

2. ENDÜSTRİ 4.0 VE GELİŞİM SÜRECİ

Dijitalleşme süreci ile birlikte yerleşen geleceğin fabrikası kavramında akıllı ve etkileşimli üretim sistemleri, makineler ve diğer üretim ekipmanları yer almaktadır. Bu sistemde geleceğin fabrikasında enerji sisteminden, tedarikçisine ve dağıtım kanallarındaki her bir elemana kadar ortak standartlar ve geliştirilmiş protokoller ile haberleşme etkileşim mümkündür. Üretim ekosistemi denilen bu yapıda etkin yönetim böylelikle daha rahat gerçekleştirilebilir [9]. Yaşanan bu gelişmeler özellikle hizmet, lojistik, tasarım, imalat kavramlarını önemli ölçüde etkilemiştir. Ancak ileri seviyede beklenen akıllı izleme ve akıllı kontrol olarak ifade edilecek bu iki temel beklenen nihai amaç tamamlanınca

endüstriyel sistemlerin dinamik kontrolü, tam zamanlı algılama, oto kontrol gibi ileri seviye adımlar da atılmış olacaktır [10].

Yeni Sanayi Devrimi, bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmelerle üretim sistemlerinin dijital dönüşümünü ifade etmektedir. Dijital dönüşüm yada 4. Sanayi devrimi de olarak adlandırılan Endüstri 4.0 üretim teknolojilerini, bu sistemde yeni ve güncel otomasyonları, karşılıklı veri-bilgi alışverişlerini kapsayan oldukça geniş bir kavramdır. IoT-nesnelerin interneti, siber-fiziksel sistemler, otomasyonlar, yazılımlar, akıllı sistemler bünyesinde barındırır. Bu dönüşüm firmalara bakım, kalite ve stok bulundurma maliyetlerinin azalması, makinelerin zorunlu olarak çalışmadığı sürelerde kısılma ve teknik personel verimliliğinde artışlar gibi kazanımlar sağlamasının yanı sıra ülkelere de ciddi rekabet avantajları sağlamaktadır [6,11].

Dünya genelinde dijital dönüşüm konusunda öncü ülkeler Almanya, ABD ve Japonya olarak bilinmektedir.

İlk kez 2011 yılında Hannover Fuarı'nda kullanılan Endüstri 4.0 terimi kavramın çıktığı Almanya'da bu kapsamda büyük gelişmeler görülmektedir. Bu kapsamda Almanya'nın kurduğu Platform Industrie 4.0, ilk adımlardandır [12]. Endüstri 4.0 kavramı çıkış noktası olan Almanya'da hükümetin imalat gibi geleneksel sanayiye bilgisayarlaştırma yönünde teşvik etme ve yüksek teknolojiyle donatması projesini ifade ediyordu [13].

Endüstri 4.0 hareketini "Society 5.0" başlığı altında başlatan Japonya ise benzer faaliyetleri, sektörün ötesine geçerek; "akıllı toplumu" ifadesini kullanmayı tercih etmektedir [14]. Bu konseptle insan faktörünü daha fazla öne çıkaran yepyeni bir vizyon belirlemeyi hedefleyen Japonya, toplum ve teknoloji arasında güzel bir ilişki kurulmasını hedeflemiştir.

Yine önemli bir dijital dönüşüm partneri olan Fransa, dijital süreçleri uçtan uca destekleyen eksiksiz bir dijital ürün portföyü sağlamak üzere organik büyüme ve stratejik satın alma faaliyetleri içinde ve bu doğrultuda Geleceğin Endüstrisi Birliğinin aktif üyesi olarak, esnek ve modüler tedarik zincirleri etrafında yapılandırılmış bir endüstri planlamaktadır [15].

2.1. Endüstri 4.0 Bileşenleri ve Sektörel Uygulamalar

Endüstri 4.0 felsefesinin iyi anlaşılması için aşağıdaki 3 ana başlığın incelenmesi gerekir:

- Nesnelerin İnterneti
- Geleceğin Fabrikaları/İnsansız Fabrikalar
- Dijital Akıllı Üretim Sistemleri

İlk kez Kevin Ashton tarafından Procter&Gamble şirketinin tedarik zincirinde raydo frekansı ile tanımlama teknolojisinin uygulanmasını anlatırken 1999 yılında kullanılan "Nesnelerin İnterneti" (Internet of Things) terimi yıllar içinde teknoloji geliştikçe artık birbirlerine bağlı tüm

nesnelerin haberleşmesini, bilgi alışverişini yapmasını da mümkün kılmaktadır [16].

Fiziksel ve sanal dünyanın bir araya getirilmeye çalışıldığı bu yeni sistemde insan faktörü hala etkisini korumakta iken, merkezi ve katı fabrika kontrol sistemlerinden akıllı sistemlere doğru bir geçiş olduğu bildirilmektedir. Bu şekilde fiziksel ve siber alanın internet ile birleşme sağlayan sistemlere siber-fiziksel (CPS-Cyber-Physical System) denilmektedir. Sensör yoğun bu sistemlerde fiziksel alemdaki izler internet sayesinde elde edilmekte ve nesnelerin etkileşimini kapsamaktadır [17]. Mosterman ve Zander (2016) yaptıkları çalışmada yeni nesil sistemlerin gerçeğe aktarılması kapsamında siber -fiziksel sistemler üzerine bir model sunmuşlardır [18].

Nesnelerin internetinin nesnelere arasında iletişim geliştirirken, sosyal ve bilişsel süreçlerin de yeni tasarımlarda göz önünde bulundurulması gerekliliği Ning vd (2016) tarafından bildirilmiştir [19]. Bunun için de siber-fiziksel yapılar yapılandırılırken sosyal-beşeri-toplumsal boyutun dahil edilerek yapılandırmak gerektiği savunulmuştur [19]. IoT uygulamaları için yapılan çalışmada Nagy ve arkadaşları (2018) Macaristan'da lojistik ve üretim hizmet alanlarında faaliyet gösteren şirketlerin bu yaklaşımı nasıl yorumladıklarını ve kritik alan ve araçları (özellikle IoT araçlarını) nasıl kullanıp ele aldıklarını anket çalışmaları ile yorumlamışlardır. Böylelikle karşılaştıkları sorunları derlemişlerdir [20].

Lojistik 4.0 olarak da ayrı bir oluşum olarak ele alınan lojistik sektöründeki dijital dönüşüm kapsamında Trappey (2017) özellikle bu alandaki hangi yaklaşımların daha gerçekçi ve uygulanabilir olacağı üzerinde durmuşlardır [21]. Yine benzer olarak lojistikte Hofmann ve Rusch (2017)'un mevcut ve gelecek durumunu tartışan çalışmaları literatürde yerini almıştır [22].

Görçün (2018) yapmış olduğu çalışmada, yoğun insan gücü kullanan, teknolojik yönü zayıf olan tekstil sektöründeki akışları dengeleyememe, verimlikte azalma, rekabet baskısı, ürünlerin daha kişiselleştirilmesinin gerekliliği, fazla varyasyonlarda pazara sunum, ürün yaşam sürelerinin kısılması gibi zorlayıcı faktörlerle endüstri 4.0'ın sektördeki mevcut ve olası etkilerini incelemiştir [23].

Chen ve Zhing yine tekstil sektörünü ele alarak akıllı ve esnek sistemler kurulması üzerine siber-fiziksel sistemler ve nesnelerin internetinin önemine değinmişlerdir. Açıklayıcı örneklerle sınavı kalkınmanın önündeki engeller ve uygulama politikaları üzerinde bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [24].

Tarım ve gıda sektöründe 20. yüzyılın ikinci yarısındaki buğday, pirinç gibi temel ürünlerin yetiştiriciliğinde yaşanan büyüme ve artan performansın yaşanan bilimsel gelişmeler ve teknolojik yeniliklerin etkisiyle olduğunu anlatan çalışma Luque ve arkadaşları (2017) tarafından gerçekleştirilmiştir [25]. Gıda endüstrisinde endüstri 4.0 kapsamında Buckingham ve

Hengse (2016) yaptıkları çalışmada sektörel inovasyonların önemine değinmişlerdir [26].

3. Teorik Altyapı

Yükselen değer Endüstri 4.0'ın ülkemizde hangi sektöre ne derecede uygulanabilirliğini görebilmek amacıyla bu çalışmada Türkiye için sektörel açıdan sıralama gerçekleştirmek adına karar verme tekniklerinden TOPSIS ve Analitik Hiyerarşik Proses (AHP) teknikleri kullanılmıştır.

Birbiri ile çelişen veya birbiri arasında üstünlük kuramayan kriterler altında çeşitli alternatifler altında seçim yapmak oldukça zordur. Bu gibi problemlere çözüm aranırken karar verme yöntemlerinin çoğu kesin olmayan durumları ele almada yetersiz kaldığından önce AHP yöntemi, sonrasında da özellikle seçeneklerin belli kriterler doğrultusunda ideal duruma yaklaşmada iyi sonuçlar vermesi sebebiyle TOPSIS yöntemini kullanmanın doğru olacağı düşünülmüştür.

3.1. Sektörel Analiz Metodolojisi

Türkiye'de geniş ekonomik paya sahip 6 sektör (otomotiv, beyaz eşya, makine sistemleri, tekstil, gıda ve tarım, kimyasallar) ve her biri için değerlendirilmede kullanılacak 5 kriter (katma değerde pay- KDP, istihdamda pay-İP, toplam faktör verimliliğinde artış-TFVA, ihracatın ithalata oranı-İİO, ihracatın ithalatı karşılama oranı-İİKO) ile sistemin Analitik Hiyerarşik Prosesinin oluşturulması, Türkiye'de Endüstri 4.0 dönüşümüne ele alınan 6 sektörün hangisinden başlanmalı, hangilerine ağırlık verilmeli gibi sorulara cevap bulmak adına Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden TOPSIS Yöntemi ile sektör sıralaması elde edilmesi bu bölümde sunulmuştur

3.2. Analitik Hiyerarşik Prosesi Yöntemi (AHP)

AHP, bir problemin karar hiyerarşisinin tanımlanabilmesi durumunda, kriterlerin öncelik durumunu bir hiyerarşide tanımlayarak kullanılan yaygın bir çok kriterli karar verme (ÇKKV) tekniğidir. AHP Yaklaşımı, 1970'li yılların başlarında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen, belirli hiyerarşiye göre düzenlenen kriterleri içeren, bu kriterlerin ağırlıklarını değerlendiren, kriterlere göre alternatifleri karşılaştıran ve sıralama yapılmasını sağlayan bir yaklaşımdır [27]. Kararı etkileyen faktörlerin tespit edilmesi, karar noktalarının yüzde dağılımlarını veren bir yöntemdir. Tahminleme ve karar verme tekniği olarak sıklıkla tercih edilen karar verme problemlerinde AHP yönteminin esası alternatif ve kriterlere göreceli önem değerleri verilerek yönetsel anlamda karar mekanizmasına destek olmaktır [28].

3.3. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi ilk kez 1981 yılında Yoon ve Hwang tarafından geliştirilmiştir. Temel konsepti, seçilen alternatifin ideal çözümden en kısa, negatif ideal çözümden en uzak mesafeye sahip olması gerektiğidir [29]. Altı

faaliyetli Genel Topsis sürecinde aşamalar şu şekildedir: Karar matrisinin normalize edilmesi, ağırlıklı karar matrisinin oluşturulması, pozitif ve negatif ideal çözümlerin bulunması, ayırım ölçümlerinin hesaplanması, pozitif ideal çözüme benzerliğin hesaplanması, tercih sıralamasının tespiti [30].

Temeldeki mantığı, ideal ve karşıtı çözümleri eş zamanlı olarak göz önünde bulunduran karar verme tekniklerinden TOPSIS yöntemi, hesaplama kolaylığı sağlaması ve uygulanabilirliği açısından da oldukça yaygın kullanım alanına sahiptir. Bu teknikte alternatifler arasında pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme en uzak olan alternatif ön plana çıkartılarak çözüme ulaşılacak hedeflenir.

Karar Matrisinin Normalize Edilmesi

TOPSIS yönteminde karar matrisi normalizasyonu hesaplanması amacıyla, aşağıda verilen eşitlikte görüldüğü gibi (eşitlik1) vektör normalizasyonu kullanılarak hesaplama yapılır.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad i=1, \dots, m; \quad j=1, \dots, n \quad [1]$$

Ağırlıklı Karar Matrisinin Oluşturulması

Alternatifin her kriterden aldığı değer, o kriterin ağırlığı ile çarpılarak gerçekleştirilir.

$$v_{ij} = w_{ij} \cdot r_{ij} \quad i=1, \dots, m; \quad j=1, \dots, n \quad [2]$$

Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Bulunması

$$\begin{aligned} A^* &= \{v_1^*, v_1^*, v_1^*, \dots, v_j^*, \dots, v_n^*\} \\ &= \left\{ \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J_1 \right), \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J_2 \right) \mid i \in 1, \dots, m \right\} \\ A^- &= \{v_1^-, v_1^-, v_1^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\} \\ &= \left\{ \left(\min_i v_{ij} \mid j \in J_1 \right), \left(\max_i v_{ij} \mid j \in J_2 \right) \mid i \in 1, \dots, m \right\} \quad [3] \end{aligned}$$

Denklemleri ile hesaplanabilir.

Ayırım Ölçümlerinin Hesaplanması

Ayırım ölçüsü, pozitif ideal çözüme ya da negatif ideal çözüme olan uzaklığı ifade eder. Alternatifler arası uzaklık, Öklid bağıntısı ile hesaplanabilir.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad i=1, \dots, m \quad [4]$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i=1, \dots, m \quad [5]$$

Pozitif İdeal Çözüme Benzerliğin Hesaplanması

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad i=1, \dots, m \quad [6]$$

Tercih Sıralamasının Belirlenmesi

Tercih sıralaması yapılırken en yüksek C değerine sahip alternatif seçilir ya da C değerinin büyüklüğüne göre alternatifler arasında sıralama yapılır [31].

Türkiye’de sektörel bazda Endüstri 4.0 uygunluğunun farklılık göstermesi beklenmektedir. Hangi sektörün bu dönüşüme ne kadar ihtiyacının olduğunun tespit edilmesi amacıyla Karar Verme tekniklerinden TOPSIS ve AHP teknikleri kullanılmıştır. Bu çalışma iki adımda gerçekleştirilmiştir.

Türkiye’de geniş ekonomik paya sahip 6 sektör ve her biri için değerlendirmede kullanılacak 5 kriter ile sistemin AHP Hiyerarşik Yapısı (Şekil 1) oluşturulmuştur. Tablo 1’de kriterler ve Türkiye’deki sektörlerle göre oranları verilmiştir. Bu kriterler ve oranları, dijital dönüşüm ve etkileri, Endüstri 4.0 ve sektörel bazda değerlendirilmesine yönelik proje ve çalışma yapan akademisyenlerden oluşan bir uzmanlar grubundan alınan değerlendirmeler neticesinde tespit edilmiştir. Kriterlerin değerlendirilmesinde CR 0,07; alternatiflerin ise CR değeri 0,06’dır. Bu değer 0,10’dan düşük olduğundan dolayı elde edilen sonucun tutarlı olduğu kabul edilmektedir.

Endüstri 4.0 dönüşümüne ele alınan 6 sektörün hangisinden başlanmalı, hangilerine ağırlık verilmeli gibi sorulara cevap bulmak adına sıralama elde edilmek istenmiş, bu sıralama elde edilirken ÇKKV yöntemlerinden TOPSIS Yöntemi kullanılmıştır.

Tablo 1: Kriterler ve Sektörlere Göre Oranları

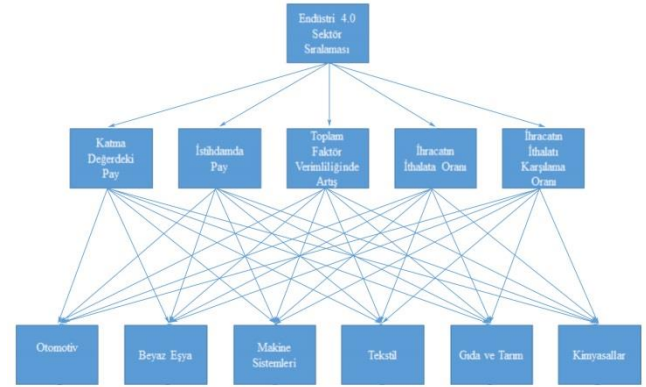
Sektörler	Kriterler				
	Katma Değerde Pay (KDP)	İstihdamda Pay (İP)	Toplam Faktör Verimliliğinde Artış (TFVA)	İhracatın İthalata Oranı (İİO)	İhracatın İthalatı Karşılama Oranı (İİKO)
Otomotiv (O)	12%	6%	7%	90%	90%
Beyaz Eşya (B)	3%	1%	9%	90%	70%
Makine Sistemleri (M)	5%	5%	5%	90%	60%
Tekstil (T)	8%	13%	-0,50%	100%	240%
Gıda ve Tarım (GT)	10%	12%	-4%	90%	190%
Kimyasallar (K)	5%	2%	1%	100%	20%

Eldeki veriler doğrultusunda bir sıralama seçimi problemi için 6 sektör alternatifi arasından belirlenen kriterler altında, dönüşüme başlamak için en uygun sektörün belirlenmesi hedeflenmiştir. Birbiri ile çelişen veya birbiri arasında

üstünlük kuramayan kriterler altında çeşitli alternatifler altında seçim yapmak oldukça zordur. Bu gibi problemlere çözüm aranırken karar verme yöntemlerinin çoğu kesin olmayan durumları ele almada yetersiz kaldığından önce AHP yöntemi, sonrasında TOPSIS yöntemini kullanmanın doğru olacağı düşünülmüştür. Ayrıca Türkiye ekonomisindeki önemi aşağı yukarı belli olan kriterler için ağırlık belirlemek mantıklı olacaktır. Sektör sıralaması yapmak için sıralama yapmaya uygun bir yöntem olması da göz önünde bulundurulmuştur.

Sistemin Analitik Hiyerarşi Prosesi

Ele alınan sistemin Analitik Hiyerarşi Proses Şeması Şekil 1’de verilmiştir. Kriterler; Sektörün katma değerdeki payı, istihdamdaki payı, toplam faktör verimliliğindeki artış oranı, ihracatın ithalata oranı, ihracatın ithalata karşılama oranı olarak verilmiştir.



Şekil 1: Endüstri 4.0 AHP Şeması

Sektörler için tek tek oluşturulan karşılaştırma matrisine örnek olarak otomotiv sektörü için yapılan karşılaştırma matrisi Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2: Otomotiv sektörüne dair karşılaştırma matrisi

	KDP	İP	TFVA	İİO	İİKO
KDP	1	5	1	1	1/7
İP	1/5	1	1/3	1/5	1/5
TFVA	1	3	1	1/5	1/5
İİO	1	5	5	1	1/7
İİKO	7	5	5	7	1

TOPSIS ile Sektörel Sıralama

Tablo 1’de sektörler sütununda sıralananlar (otomotiv, beyaz eşya, makine sistemleri, tekstil, gıda ve tarım, kimyasallar); alternatifler (a1.....an), kriterler başlığı altında gösterilenler (katma değerde pay, istihdamda pay, toplam

faktör verimliliğinde artış, ihracatın ithalata oranı, ihracatın ithalatı karşılama oranı) ise özelliklerdir (y1k.....y1nk). Tablo1’de verilen alternatif ve özelliklerin sayısal değerlerinden 6x5’lik bir matris oluşturulmuştur. Karar matrisindeki kriterlere ait özelliklerin kareleri toplamının karekökü alınarak matrise ait normalizasyon işleminin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Yapılan normalizasyon işlemlerinin sonuçları hesaplanarak normalize edilmiş matris elde edilmiştir. Yapılan işlemler Tablo 3’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Tablo 3: Karar matrisinin R matrisine dönüşümü için yapılan işlemleri gösteren tablo

	KDP	İP	TFVA	İİO	İİKO
O	0.12	0.06	0.07	0.90	0.90
B	0.03	0.01	0.09	0.90	0.70
M	0.05	0.05	0.05	0.90	0.60
T	0.08	0.13	-0.005	1	2.40
GT	0.1	0.12	-0.04	0.90	1.90
K	0.05	0.02	0.01	1	0.20

Elde edilen R Matrisi Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo4: Tablo3’de gösterilen işlemlerin sonuçları, R matrisi

	KDP	İP	TFVA	İİO	İİKO
O	0,6576	0,3082	0,5334	0,3932	0,2705
B	0,1644	0,0514	0,6857	0,3932	0,2104
M	0,2740	0,2568	0,3810	0,3932	0,1803
T	0,4384	0,6678	-0,0381	0,4368	0,7213
GT	0,5480	0,6164	-0,3048	0,3932	0,5710
K	0,2740	0,1027	0,0762	0,4368	0,0601

Tablo 5: Karar matrisinde kriterlere verilen ağırlıkları gösteren tablo

W=	KDP	İP	TVFA	İİO	İİKO
	0,25	0,20	0,15	0,25	0,15

Yöntemin ikinci adımında normalize edilmiş karar matrisinin elemanları, kriterlere verilen önem doğrultusunda ağırlıklandırılması yapılır. Burada ağırlıkların belirlenmesinde Endüstri 4.0-Dijital Dönüşüm alanında uzman karar vericilerin subjektif görüşlerine başvurulmuştur. Ağırlıkları gösteren tablo (Tablo 5) aşağıda verilmiştir.

R matrisinin ağırlıklarla çarpımı sonucu V matrisi elde edilmektedir. Tablo 6, V matrisini göstermektedir.

Elde edilen V matrisinin sütunları (kriterleri belli eden değerler) incelenerek sütun içindeki en büyük değerler A* (maksimum değerler) olarak, sütun içindeki en küçük değerler A- (minimum değerler) olarak belirlenmiştir. Üçüncü adımda maksimum ve minimum ideal noktaların (A* ve A-) tanımlanmasının ardından, maksimum ve minimum ideal noktaya olan uzaklıklar belirlenmiş (Tablo 1’de görülmektedir), her bir alternatifin göreceli sıralaması ve puanı için gerekli işlemler yapılmış, elde etmek istenilen çözüm olan sektör sıralaması elde edilmiştir.

Tablo 6: V Matrisi

	KDP	İP	TFVA	İİO	İİKO
O	0,1644	0,0616	0,0800	0,0938	0,0406
B	0,0411	0,0103	0,1028	0,0938	0,0316
M	0,0685	0,0514	0,0571	0,0938	0,0270
T	0,1096	0,1336	-0,0057	0,1092	0,1082
GT	0,1370	0,1233	-0,0457	0,0938	0,0856
K	0,0685	0,0205	0,0114	0,1092	0,0090

V matrisindeki en küçük ve en büyük değerlerle A pozitif ve A negatif değerlerinin belirlenmesi ile aşağıdaki değerler elde edilmiştir:

$$A^* = \{0,1644, 0,1336, 0,1028, 0,1092, 0,1082\}$$

$$A^- = \{0,0411, 0,0103, -0,0457, 0,0938, 0,0090\}$$

Üçüncü adımda maksimum ve minimum ideal noktaların (A* ve A-) tanımlanmasının ardından, dördüncü adımda, maksimum ve minimum ideal noktaya olan uzaklıklar aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$S_1^* = \sqrt{((0,1644-0,1644)^2 + (0,0616-0,1336)^2 + (0,0800-0,1028)^2 + (0,0938-0,1092)^2 + (0,0406-0,1082)^2)} = 0,1025$$

$$S_2^* = \sqrt{((0,011-0,1644)^2 + (0,0103-0,1336)^2 + (0,1028-0,1028)^2 + (0,0938-0,1092)^2 + (0,0316-0,1082)^2)} = 0,2117$$

$$S_3^* = \sqrt{((0,0685-0,1644)^2 + (0,0514-0,1336)^2 + (0,0571-0,1028)^2 + (0,0938-0,1092)^2 + (0,0270-0,1082)^2)} = 0,1577$$

$$S_4^* = \sqrt{((0,1096-0,1644)^2 + (0,1336-0,1336)^2 + (-0,0057-0,1028)^2 + (0,1092-0,1092)^2 + (0,1082-0,1082)^2)} = 0,1215$$

$$S_5^* = \sqrt{((0,1370-0,1644)^2 + (0,1233-0,1336)^2 + (-0,0457-0,1028)^2 + (0,0938-0,1092)^2 + (0,0856-0,1082)^2)} = 0,1538$$

$$S_6^* = \sqrt{((0,0685-0,1644)^2 + (0,0205-0,1336)^2 + (0,0114-0,1028)^2 + (0,1092-0,1092)^2 + (0,0090-0,1082)^2)} = 0,1978$$

$$S_1^- = \sqrt{((0,1644-0,0411)^2 + (0,0616-0,0103)^2 + (0,0800+0,0457)^2 + (0,0938-0,0938)^2 + (0,0406-0,0090)^2)} = 0,1414$$

$$S_2^- = \sqrt{((0,0411-0,0411)^2 + (0,0103-0,0103)^2 + (0,1028+0,0457)^2 + (0,0938-0,0938)^2 + (0,0316-0,0090)^2)} = 0,0614$$

$$S_3^- = \sqrt{((0,0685-0,0411)^2 + (0,0514-0,0103)^2 + (0,0571+0,0457)^2 + (0,0938-0,0938)^2 + (0,0270-0,0090)^2)} = 0,0538$$

$$S_4^- = \sqrt{((0,1096-0,0411)^2 + (0,1336-0,0103)^2 + (-0,0057+0,0457)^2 + (0,1092-0,0938)^2 + (0,1082-0,0090)^2)} = 0,1805$$

$$S_5^- = \sqrt{((0,1370-0,0411)^2 + (0,1233-0,0103)^2 + (-0,0457+0,0457)^2 + (0,0938-0,0938)^2 + (0,0856-0,0090)^2)} = 0,1902$$

$$S_6^- = \sqrt{((0,0685-0,0411)^2 + (0,0205-0,0103)^2 + (0,0114+0,0457)^2 + (0,1092-0,0938)^2 + (0,0090-0,0090)^2)} = 0,0476$$

Son olarak her bir alternatifin göreceli sıralaması ve puanı için yukarıdaki işlemler yapılmış, elde etmek istenilen çözüm olan sektör sıralaması elde edilmiştir.

$$C_1^* = (S1^-)/(S1^* + S1^-) = 0,1414/(0,1025+0,1414) = 0,5797$$

$$C_2^* = (S2^-)/(S2^* + S2^-) = 0,0614/(0,2117+0,0614) = 0,2248$$

$$C_3^* = (S3^-)/(S3^* + S3^-) = 0,0538/(0,1517+0,0538) = 0,2618$$

$$C_4^* = (S4^-)/(S4^* + S4^-) = 0,1805/(0,1215+0,1805) = 0,5977$$

$$C_5^* = (S5^-)/(S5^* + S5^-) = 0,1902/(0,1538+0,1902) = 0,5529$$

$$C_6^* = (S6^-)/(S6^* + S6^-) = 0,0476/(0,1978+0,0476) = 0,1940$$

En yüksek değer ilk sırada, en düşük değer son sırada olacak şekilde sıralanmış, aşağıdaki çözüme ulaşılmıştır.

Optimum Sıralama: $C_4 > C_1 > C_5 > C_3 > C_2 > C_6$

Elde edilen sıralama şu şekildedir:

Tekstil > Otomotiv > Gıda ve Tarım > Makine Sistemleri > Beyaz Eşya > Kimyasallar.

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri-TOPSIS Yöntemi ile elde edilen sonuca göre Türkiye’de Endüstri 4.0 dönüşümüne Tekstil sektöründen başlanması uygun görülmüştür.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Sektörlerin öncelik sıralamasının “Tekstil, Otomotiv, Gıda ve Tarım, Makine Sistemleri, Beyaz Eşya, Kimyasallar” olduğu sonucu elde edilmişti. Bu sıralamaya göre Türkiye’de Endüstri 4.0 dönüşümüne Tekstil sektöründen başlanması uygun görülebilir.

Tekstil Sektöründeki istihdam göz önünde bulundurularak yorum yapmak gerekirse, Endüstri 4.0’da hedeflenen dijitalleşme, insanın makineleşmesi anlayışından uzaklaşır makinelerin akıllı hale gelmesini amaç edinmektedir. Tekstil sektöründeki yoğun iş gücü büyük ölçüde dijitalleşmeyi gerektirmektedir. Hal böyleyken Endüstri 4.0 dönüşümüne Tekstil Sektöründen başlanması gerektiği sonucu şaşırtıcı bir sonuç değildir.

Türkiye’de dijitalleşmeye başlanması gereken sektörler arasında ilk sırada olan tekstil için Endüstri 4.0 dönüşümü çalışmalarına başlanması durumunda kısa zamanda başarıya ulaşması muhtemel sonuçtur. Bu konuda işletme

yöneticilerinin teşvik edilmesi, yeni sistemlere özendirilmesi etkili bir yönlendirme sağlayacaktır.

Otomotiv sektörü için de katma değerdeki paydan yola çıkarak aynı sonuca varılabilir. Hizmete emekle eklenen pay diğer sektörlerle bakıldığında en yüksek oranla otomotiv sektöründedir. Çıktı-girdi arasındaki fark göz önünde bulundurularak düşünüldüğünde otomotiv sektörünün dijitalleşmede en çok fayda getirecek sektörler arasında yer alması olağan ve akıllıca bir çözüm olur.

Sıralamadaki Makine Sistemleri olarak adlandırılan sektörün yerinin, dönüşüm sırasındaki (gelecekteki) değerleri göz önünde bulundurularak hesaplama yapıldığında değişmesi muhtemeldir. Türkiye için umut edilen teknolojiyi satın almak yerine üretme aşamasına geçilmesi gerçekleştiği taktirde Makine Sistemlerinin dijitalleşme önceliği ön sıralara taşınacaktır/taşınmalıdır.

Türkiye’de Endüstri 4.0 dönüşümünün sağlanması ve hızlandırılması amacıyla devlet desteği ve dönüşüme teşvik faaliyetlerinin artırımı, ülke ekonomisine ciddi yararlar sağlamakla birlikte, ülkemizin dünya rekabet piyasasında yerini sağlamlaştırmasına olanak sağlayacaktır.


KAYNAKÇA

- [1] E. Bulut, A.T. Akçacı, “Endüstri 4.0 ve İnovasyon Göstergeleri Kapsamında Türkiye Analizi”, ASSAM-UHAD Uluslararası Hakemli Dergi, Sayı 7, 2017.
- [2] N. Gabaçlı, M. Uzunöz, “IV.Sanayi Devrimi: Endüstri 4.0 ve Otomotiv Sektörü”, 3rd International Congress on Political, Economic and Social Studies (ICPESS), 09-11 Kasım, 2017.
- [3] T. Olanrewaju, K. Smaje, P. Willmott, The Seven Traits of Effective Digital Enterprises, 2014. <https://www.mckinsey.com/business-functions/organization/our-insights/the-seven-traits-of-effective-digital-enterprises> (Erişim zamanı: Şubat 2019)
- [4] M. Annunziata, S. Biller, “The Industrial Internet And The Future Of Work”, ASME- General Electric, 2012. <https://www.asme.org/engineering-topics/articles/technology-and-society/industrial-internet-future-of-work>
- [5] A. McAfee, E. Brynjolfsson, “Big Data: The Management Revolution”, 2012. <https://www.asme.org/engineering-topics/articles/technology-and-society/industrial-internet-future-of-work> (erişim zamanı: Ocak 2019)
- [6] Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, “Yeni Sanayi Devrimi Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası”, Şubat 2016. http://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/akilli_uretim_sistemleri_tyh_v2-03ocak2017.pdf , (erişim zamanı: Mart 2019).
- [7] Dünya Gazetesi, 9 Mart 2018. <https://www.dunya.com/ekonomi/ozlu-dijital-devrimin-oncu-ulkelerinden-birisi-olacagiz-haberi-406486>. (erişim: 12.03.2018)


- [8] E. Nuroğlu, “Sanayide Dijital Dönüşüm Yarışında Türkiye’nin Dış Ticareti İçin Fırsatlar ve Tehditler”, 14th International Conference on Knowledge, Economy and Management”, Proceedins, April 2018.
- [9] G. Banger , “Endüstri 4.0 Devrimi”, Şubat 2017 <http://www.gonuldergisi.com/endustri-4-0-devrimi-gurcan-banger.html> (erişim zamanı: Şubat 2019)
- [10] X Yue, H., Cai, H., Yan, C. Zou, K. Zho,” Cloud-assisted industrial cyber-physical systems”, *Microprocessors & Microsystems*, V:39, I:8, November 2015.
- [11] S. Menevşe, “Endüstri 4.0 Hakkında Genel Bilgi”, *Elektroport Teknik Kütüphane*, 2016. <http://www.elektroport.com/teknik-kutuphane/endustri-4-0-nedir--4-sanayi-devrimi-gercekleliyor/11563#ad-image-0> (erişim zamanı: Şubat 2019)
- [12] <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/ThePlatform/PlattformIndustrie40/plattform-industrie-40.html>, (Erişim zamanı: Ocak, 2019)
- [13] DSÇ, “Dijital Sanayi Çağı”, *Moment Dergisi*, Sayı 94, Mart 2016 <http://www.moment-expo.com/dijital-sanayi-cagi-endustri-4-0> (erişim zamanı: 2019)
- [14] H. Özdestici, “Toplum 5.0: Teknolojik Gücü Doğru Yönetecek Akıllı Toplum Felsefesi”, Haziran 2017. <https://webrazzi.com/201/05/14/Toplum-5-0/> (erişim zamanı: 2019)
- [15] Dassault Systemes, “Geleceğin Endüstrisi”, Temmuz 2015. [https://www.3ds.com/tr-tr/press-releases/single/?tx_ttnews\[tt_news\]=88250&cHash=9d14fbf30380e97f48beb5254b90f29d](https://www.3ds.com/tr-tr/press-releases/single/?tx_ttnews[tt_news]=88250&cHash=9d14fbf30380e97f48beb5254b90f29d) (erişim zamanı: 2019)
- [16] N. Kutup, “Her Yerden Herkesle Her Zaman Her Nesne ile Bağlantı”, 2011. <http://www.iot.gen.tr/2016/02/13/nesnelerin-interneti-4h-her-yerden-herkesle-her-zaman-her-nesne-ile-baglanti/> (erişim zamanı: Nisan 2019)
- [17] E. Geisberger, M. Broy, “Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems” *Acatech Studie, AgendaCPS*, 2012.
- [18] P.J. Mosterman, J. Zander, “Industry 4.0 as a Cyber-Physical System study”. *Software and Systems Modeling*, Cilt: 15, Sayı: 1, 17-29. doi: 10.1007/s10270-015-0493-x, 2016
- [19] H. Ning , H. Liu, J. Ma., L.T. Yang , R. Huang, “Cybermatics: Cyber–physical–social–thinking hyperspace based science and technology”, *Future Generation Computer System*, 2015.
- [20] J. Nagy, J. Oláh, E. Erdei, D. Máté, and J. Popp, “The Role and Impact of Industry 4.0 and the Internet of Things on the Business Strategy of the Value Chain-The Case of Hungary”, *Sustainability*, 10, 3491; doi:10.3390/su10103491, September 2018.
- [21] A.J.C. Trappey, C. V. Trappey, C. Y. Fan, A. P. T. Hsu, X. K. Li, I. J. Y. Lee, “IoT patent roadmap for smart logistic service provision in the context of Industry 4.0”. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, Cilt: 40, Sayı: 7, 593-602. doi: 10.1080/02533839.2017.1362325, 2017.
- [22] E. Hofmann, M. Rusch,, “Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics”. *Computers in Industry*, Cilt: 89, 23-34. doi: 10.1016/j.compind.2017.04.002, 2017.
- [23] Ö.F. Görçün, “The Rise of Smart Factories in the Fourth Industrial Revolution and Its Impacts on the Textile Industry”, *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, Vol. 6, No. 2, April 2018.
- [24] Z. Chen, , M. Xing, “Upgrading of textile manufacturing based on Industry 4.0”, 5th International Conference on Advanced Design and Manufacturing Engineering, ICADME 2015.
- [25] A.Luque, M. Estela Peralta, A. de las Heras, A. Córdoba, “State of the Industry 4.0 in the Andalusian food sector”, *Manufacturing Engineering Society International Conference 2017, MESIC 2017*, 28-30 June 2017, Vigo (Pontevedra), Spain, *Procedia Manufacturing* 13, 1199–1205, 2017.
- [26] M. Bucking, A. Hengse, “Food Industry 4.0 The Food Industry must innovate purely”, *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, Cilt: 112, Sayı:6, 256-260, 2016.
- [27] S. Mahmoodzadeh, J. Shahrabi, M. Pariazar, and M. S. Zaeri, “Project Selection by Using Fuzzy AHP and TOPSIS Technique”, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, *International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering* Vol:1, No:6, 2007.
- [28] M. Bayhan, T. Bildik, “Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Süreciyle Akıllı Telefon Seçimi”, *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 2014.
- [29] V. Balioti, . Tzimopoulos, C. Evangelides, “Multi-Criteria Decision Making Using TOPSIS Method Under Fuzzy Environment. Application in Spillway Selection”, 3rd EWaS International Conference on “Insights on the Water-Energy-Food Nexus”, *Proceedings*, 2, 637; doi:10.3390/proceedings2110637, 2018.
- [30] D. L. Olson, "Comparison of weights in TOPSIS models", *Mathematical and Computer Modeling*, 40, (7) 21-727, 2004.
- [31] N. Karakaşoğlu, “Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulama”, *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Sayısal Yöntemler Bilim Dalı*, 2008.

Sıvılaşma Potansiyeli Yüksek Adapazarı Zeminleri için Büyütme Faktörünün Araştırılması

*¹Mustafa Ildır, ² İsa Vural ³ Süheyl Kılıç

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Türkiye, mustafa.ildir1@ogr.sakarya.edu.tr, 

² Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Türkiye, ivural@sakarya.edu.tr, 

³Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Türkiye, suheyl.kilic@ogr.sakarya.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 25.06.2019

Kabul Tarihi: 16.01.2020

Öz

Bu çalışmada, sıvılaşma potansiyeli yüksek zayıf zeminlerde anakayadan zemin yüzeyine doğru hareket eden deprem dalgasına etki eden zemin büyütme faktörü araştırılmıştır. Bölgesel jeoloji ve temel zemin şartları, yer hareketinin özelliklerini önemli ölçüde değiştirebilir. Bu nedenle, özellikle yumuşak zeminler için, bir deprem sırasında zemin büyütmesinin belirlenmesi, araştırmacılar için çok önemli bir konudur. Araştırmada Adapazarı ilçesi, Tığcılar mahallesindeki mevcut bir yapının zemin profili kullanılmıştır. Deprem sırasında zeminin derinliklerinden zemin yüzeyine doğru hareket eden deprem dalgasının büyüklüğü değişmektedir. Bu değişim zemin tabakalarının özelliklerine bağlı olarak gerçekleşmektedir. Ana kayadan gelen deprem dalgası zemin tabakalarından geçerek zemin yüzeyinde büyümektedir. FLAC 2D programı yardımı ile kurulan modellerde yapılan analizler sonucu oluşacak düşey ve yatay ivme değişimleri incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda zemin özelliklerinin yer hareketini artırdığı görülmektedir. Zemin büyütme etkisi nedeniyle önerilen tasarım spektrumlarını aşılabilmesi görülmektedir. Adapazarı bölgesi gibi yumuşak zeminlere sahip ortamlarda yerel zemin koşullarının dikkate alınması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Zemin büyütmesi, Zemin özellikleri, FLAC 2D, Adapazarı

Investigation of Amplification Factor for Adapazarı Soil with High Liquefaction Potential

*¹Mustafa Ildır, ² İsa Vural ³ Süheyl Kılıç

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Türkiye, mustafa.ildir1@ogr.sakarya.edu.tr

² Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Türkiye, ivural@sakarya.edu.tr

³Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Türkiye, suheyl.kilic@ogr.sakarya.edu.tr

Abstract

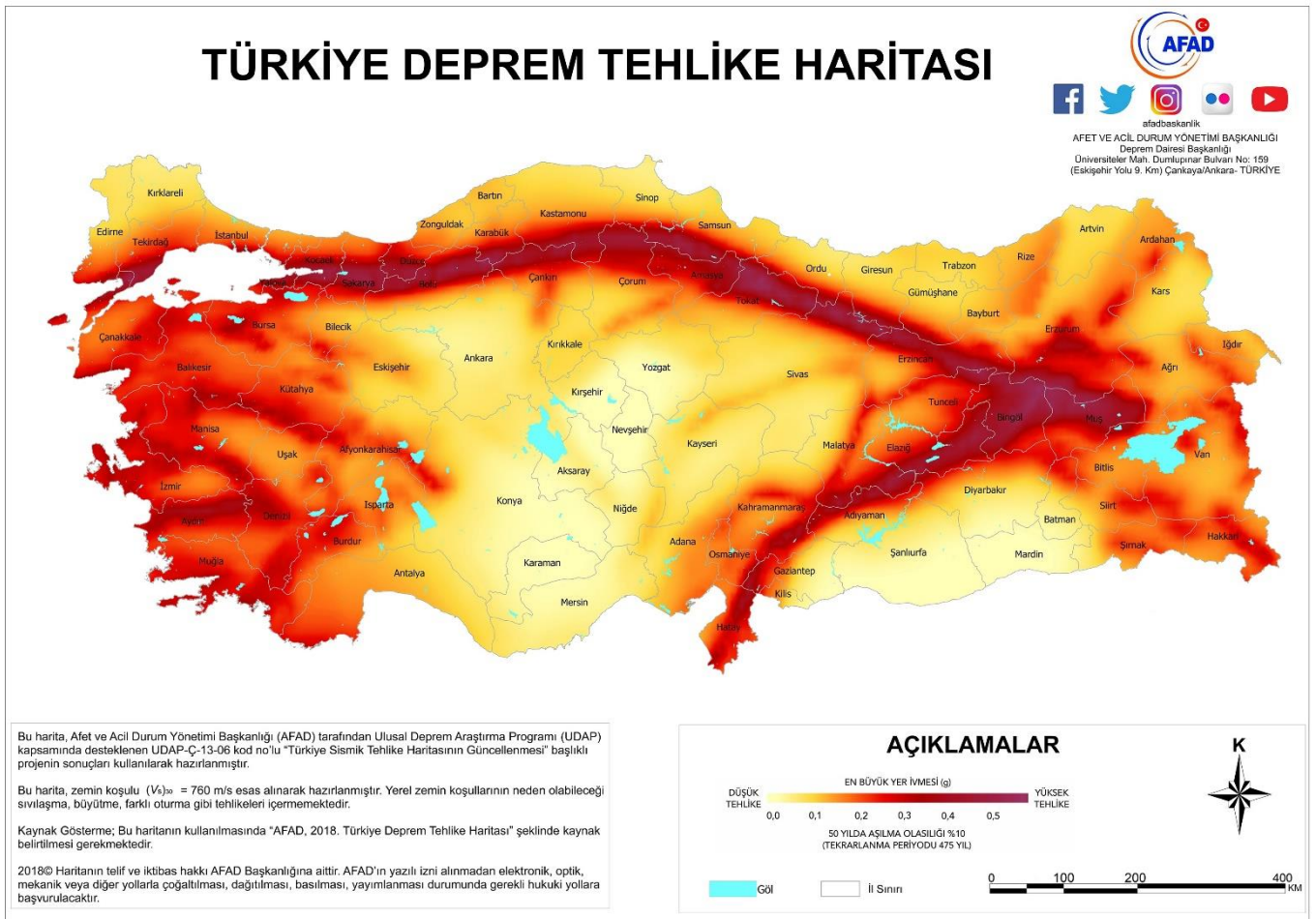
In this study, the soil amplification which is caused by the earthquake wave moving from the bedrock to the soil surface on weak soil with high liquefaction potential was investigated. Regional geology and basic soil conditions can significantly change the characteristics of ground motion. For this reason, it is a very important issue for researchers to determine the soil amplification during an earthquake, especially for soft soils. The soil profile of an existing structure in the Tığcılar neighborhood of Adapazarı district was used in the study. The characteristics of the earthquake wave moving from the depth of the soil to the soil surface during the earthquake are changing. This change depends on the characteristics of the soil layers. The earthquake wave emitted from the main rock passes through the soil layers and amplification on the soil surface. Vertical acceleration and horizontal acceleration change as a result of the analyses made on the models established with the help of FLAC 2D program were investigated. As a result of the current study, soil characteristics increase the ground motion. Due to the amplification on the soil, it appears that it can exceed the proposed design spectra. Local soil conditions must be taken into account on soils such as the Adapazarı region.

Keywords: Soil amplification, Soil properties, FLAC 2D, Adapazarı

1. GİRİŞ

Dünyanın en aktif ve en hızlı hareket eden fayları arasındaki Kuzey Anadolu Fay Zonu Türkiye'nin kuzey-doğu ve kuzey-batı doğrultusunda yer aldığı bilinmektedir (Şekil 1). Kuzey Anadolu Fay Zonunda son zamanların en şiddetli örneklerinden 17 Ağustos 1999 Marmara ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri oluşmuştur. 7.4 moment büyüklüğüne sahip 17 Ağustos 1999 Marmara depreminin maddi olarak çok büyük kayıplara ve hasarlara sebebiyet vererek Adapazarı şehrini derinden etkilediği bilinmektedir. Adapazarı bölgesi depremin odak noktasından oldukça uzak bir konumda bulunmasına rağmen, gerek zeminin jeolojik karakteri nedeniyle gerek üst yapıların özelliklerinden dolayı büyük hasarlar almıştır. Ekipman yetersizliğinden dolayı

Adapazarı merkez bölgesinde ana deprem ölçümlerinin kesin olarak yapılamadığı bilinmektedir. Tasarlanan artçı deprem şokları analiz edilerek lineer davranış göstermeyen bir arazi reaksiyon analizi ile merkezdeki zemin ivmesi tahmini olarak hesap edilmiştir. Yaklaşık olarak merkezde belirecek zemin ivmesi 0.3g olarak düşünülmüştür [1]. Adapazarı bölgesinde görülen hasarların ve kayıpların en önemli özellikleri, binaların yana yatarak yıkılması, devrilmesi ve zemin çökmesi gibi sorunlardır. Adapazarı, alüvyon bir ortam üzerinde kurulu bir yerleşim bölgesi olduğundan dolayı, yumuşak zemin oluşumlarının bu tarz sorunların oluşmasında etkin bir rol aldığı düşünülmektedir. Sismik deprem dalgalarının genlikleri, zemin yüzeyine yakın yerlerden geçerken genliklerde artma meydana gelebileceği düşünülmektedir. Bu artışa zemin büyütmesi denilmektedir.



Şekil 1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası [20].

Adapazarı bölgesindeki alüvyon kökenli malzemelerin özelliklerinde oluşan farklılaşmaların, zemin sorunlarında ve bina hasarlarının gerçekleşmesinde tamamlayıcı bir etken olduğu düşünülmektedir. Üst yapı boyutlarının, zeminden kaynaklanan problemleri yeteri kadar etkilemediği görülmektedir [2].

Farklı yaklaşımlar kullanarak zemin parametre değerlerinin hesaplanabildiği bilinmektedir. Azalım ilişkileri, ampirik yaklaşımlar ile zemin tabakalarının üst 30m'si için saptanmış

ortalama bir kayma dalgası hızının fonksiyonu gibi düşünülerek hesaplanmaktadır [3].

Zemin özellikleri farklı katmanlardaki zemin büyütme faktörünün incelenmesi için kayma dalgası hızı işlem dâhil edilmelidir [4].

Uygulama yapılacak yapının zeminine özel şantiye sahasında yerinde yapılan zemin büyütme araştırması, işlem yapılacak katmanların kayma dalgası hızı ve zeminin karakteristik

nicelikleri göz önünde bulundurularak zemin büyütme araştırması bir boyutlu olarak yapılmaktadır [5].

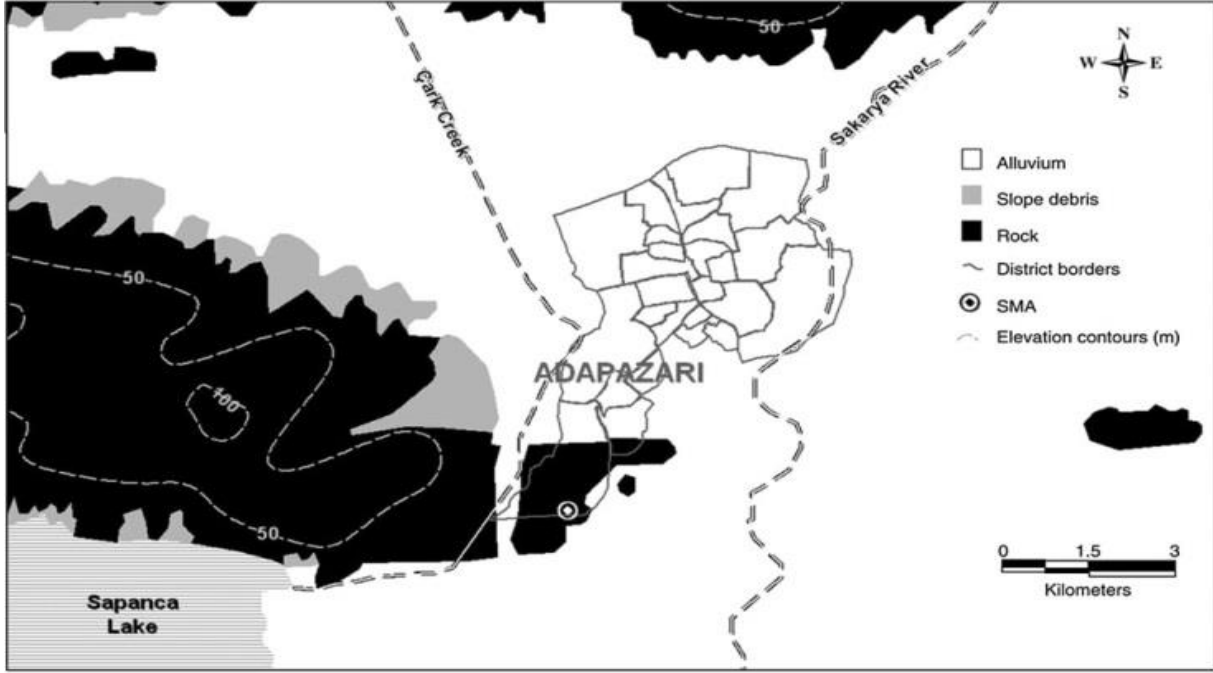
2. MALZEME VE METOD

2.1. Zemin Jeolojisi

Adapazarı ilçesi, Hendek ve Sapanca Gölü ortasında kalarak Mağara Boğazı ve Akyazı ilçesi dâhil olmak üzere kurulmuş bir şehir olup alüvyonel zemine sahip bir bölgedir. Adapazarı

merkezinin deniz seviyesinden yaklaşık 31 m yükseklikte olduğu bilinmektedir. Adapazarı bölgesinin tamamına yakın bölümünde siltli, killi, çakıllı ve kumlu zemin türleri sürekli olarak görülmektedir. Bu zemin türleri tek tip olarak görülebildiği gibi çoğunlukla farklı kombinasyonlar olarak karşımıza çıkmaktadırlar [6].

Kum, çakıl, kil ve silt içerikli alüvyonel zeminin Sakarya Nehri ile taşınması sonucu Adapazarı Vadisi oluşmuştur (Şekil 2) [7].



Şekil 2. Adapazarı bölgesinin zemin türü haritası [8].

2.2. Yerel Zemin Şartlarının Yer Hareketine Etkisi

Zemin özelliklerinin genlik, frekans içeriği ve yer hareketinin süresi gibi faktörleri etkilediği düşünülmektedir. Etkilemenin boyutu, yeraltı zemin malzemelerinin geometrik şekline ve özelliklerine bağlıdır. Dolayısı ile zeminin topografyası ile ilişkilendirilmektedir [9]. Deprem özellikleri; deprem merkez üssünün depremler olan yere uzaklığı, fay mekanizması ve yerel zemin şartları ile belirlenmektedir. Zemin şartlarını etkileyen parametrelerin başında, zemin katmanının ana kaya üzerinde yükselmesi, zemin profilinin özelliklerinin değişmesi, derinlik, yanal jeolojik heterojenlik ve yüzey topografyası gelmektedir [10].

Deprem dalgalarının geliş açısının hâkim zemin frekansı üzerinde önemli bir etkisi olmamaktadır. Ancak sadece geliş açısı arttığında, büyütme değerlerinde küçük bir azalma gözlenmektedir. Mühendislik açısından, dikey S dalgalarının önemli bir hataya neden olmadığını kabul etmek normal bulunmaktadır [11].

Ana kaya üzerindeki yumuşak-gevşek zemin tabakalarının kalınlığı artarsa, hâkim zemin periyotları daha çok

artmaktadır. Ayrıca bir zemin tabakasının kayma dalgası hızı azalır, zeminin hâkim periyodu yüksek büyütme oranlarıyla yüksek periyotlara doğru kaymaktadır. Bir zemin profili, her biri farklı doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme davranışına sahip farklı katmanlardan oluştuğundan, zeminin tepkisi daha karmaşık hale gelebilmektedir. Birden fazla hâkim periyodun olabileceği düşünülmektedir. Bu sebeple, birçok araştırmacı zemin büyütme olgusunu gerçek deprem kayıtlarını kullanarak araştırmışlardır [6, 8, 9, 12].

Sonuç olarak deprem kuvvetine maruz kalan zeminin davranış hareketi, doğal zemin katmanlarının kalınlığına, doğrusal olmayan gerilme ve şekil değiştirme hareketine bağlanmaktadır. Projede güvenli bir depreme dayanıklı tasarım sonucu alabilmek için doğal zeminin doğrusal olmayan davranışları hesaba dâhil edilmelidir.

2.3. Zemin Büyütmesinin Analizleri

Zemin profilinin yüzeyinde meydana gelecek deprem dalgasının özelliklerini hesaplayabilmek için sismik veriler ile bağdaşan zemin büyütme katsayısı sorgulanmaktadır. Bu analizler yapılırken öncelikle zemin özellikleri

belirlenmelidir. Bu özellikler geoteknik ve jeofiziksel araştırmalar sonucu elde edilebilir ve ivme - zaman sonuçlarına bakılabilir. Fakat bu çalışmada kullanılan deprem kayıtları, depremin uzaklığına ve depremin faylanma sistemine uygun olarak seçilmelidir [13]. Zemin yüzeyinde meydana gelen en büyük ivme değerleri ve davranışları incelenerek ivme davranış spektrumları oluşturulmalıdır.

Temsili bir zemin profili oluşturularak bir boyutlu zemin büyütme analiz programı olan Shake91 programı ile zemin sahasına ait deprem özellikleri hesaplanabilmektedir [14]. Bu analiz programının dikkat edilmesi gereken özelliği sönüm miktarındaki en ufak değişimin derin sondajlarda oluşan hareketi büyük ölçüde etkilemesidir. Ancak çalışma çok derin sondajlarda yapılırsa sönüm miktarı artan derinlikle beraber azalacağından çok derinlerde sönüm değeri küçültülerek değiştirilmelidir.

Eşdeğer doğrusal analiz sistemi kullanılarak yapılan zemin hesaplamalarında deprem etkisi büyük olduğu zaman en büyük kayma gerilmesi ve en büyük ivmenin olduğu bilinmektedir. Fakat frekans aralığı fazla ise düşük büyütme olduğu gözlemlenmiştir [15].

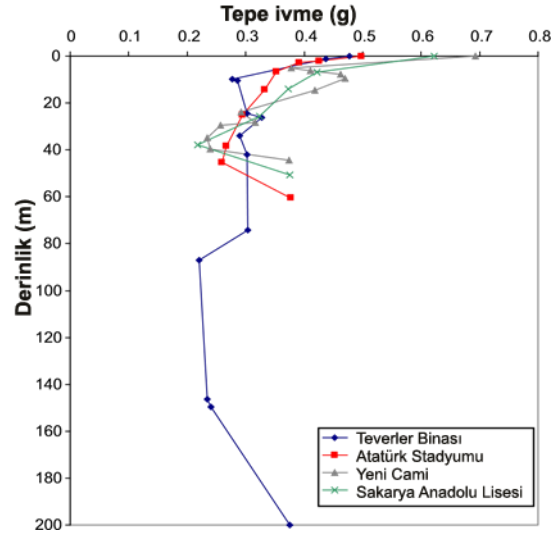
3. BULGULAR

3.1. Zemin Büyütme Faktörü Üzerine Yapılmış Bazı Çalışmalar

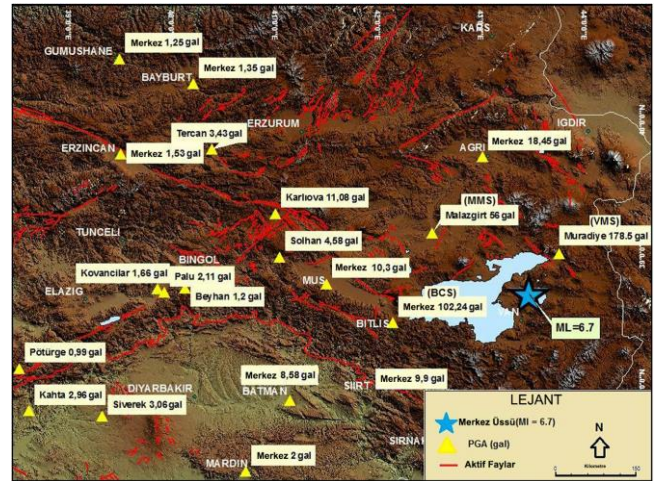
Daha önce Adapazarı bölgesinde yapılmış olan çalışmalar sonucunda Teverler Binası, Atatürk Stadyumu, Yeni Cami ve Sakarya Lisesi olmak üzere ana kaya derinliğinin farklı olduğu 4 bölge belirlenmiştir [16]. Bu bölgeler, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin verdiği ağır hasarlar göz önüne alınarak seçilmiştir. Seçilen alanların ana kaya derinlikleri sırası ile 200 m, 60 m, 45 m ve 50 m'dir. Bu bölgeler 700 ± 60 m/s kesme dalgası hızına sahip olduğu bilinmektedir [17]. Basitleştirilmiş sondaj logları ve bu sahalardan kesme dalgası profilleri önceden açılan sondaj kuyularından derlenmiştir [18].

17 Ağustos 1999 Kocaeli deprem yükü kullanılarak yapılan çalışmada derinlik ile ivme değişimleri kontrol edilmiştir. Şekil 3'de zemin yüzeyinde oluşan yer ivmesi Teverler binası için 0.47g, Atatürk Stadyumu için 0.49g, Yeni Cami için 0.69g, Sakarya Lisesi için 0.62g olarak hesap edilmiştir. Yeni Cami zemininde normalden fazla zemin büyütmesi olduğu görülmüştür [16].

Yapılan bir başka çalışmada ise 2011 yılında meydana gelmiş olan Van depremi incelenmiştir. Çalışmada bir çok farklı istasyonda (Şekil 4) kaydedilmiş olan deprem verileri incelenmiştir. Bu veriler doğrultusunda depremi meydana getiren fayın bir ters fay olduğu düşünülmüştür. Bu durumun büyük bir fay düzleminde meydana gelen hasarlar sonucunda olduğu tahmin edilmektedir. Yapılan incelemelerde fourier genlik spektrumlarının bazı istasyonlarda 1 Hertz'den daha düşük olduğu fakat bazı istasyonlarda ise beklenenden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun kötü zemin koşullarından veya topoğrafyanın etkisinden kaynaklanan zemin büyütme etkisi olduğu düşünülmüştür [19].



Şekil 3: 17 Ağustos 1999 Kocaeli deprem kaydı kullanılarak zemin tepki analizlerinden belirlenen farklı zemin profilleri için derinlik ile ivmelerinin değişimi [16].



Şekil 4: İvme ölçme istasyonları [19].

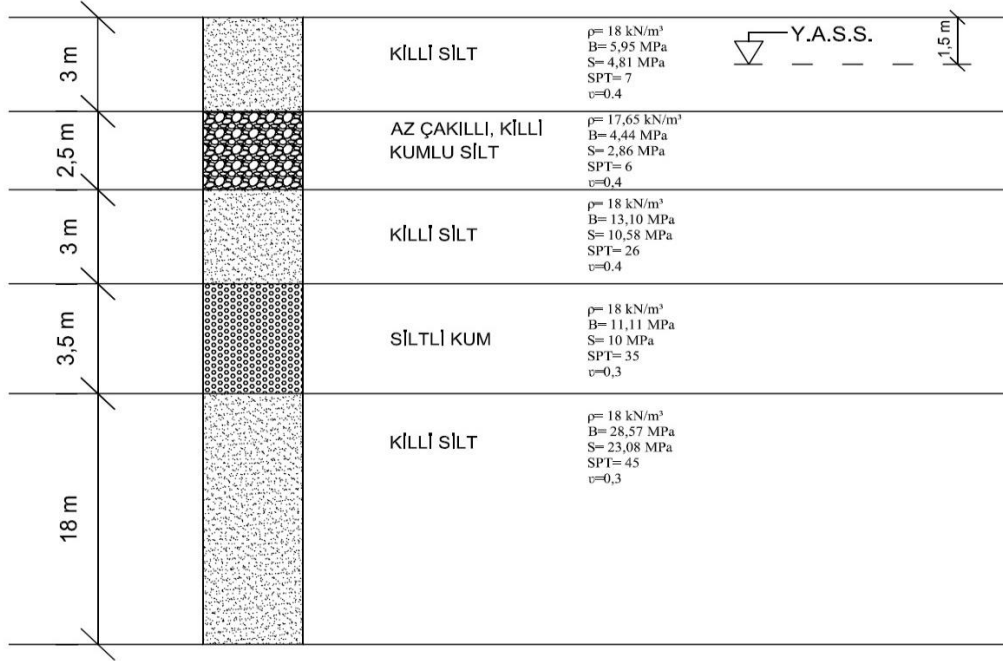
3.2. Vaka Analizi

Tıgıcılar mahallesinde yapılmış zemin etüd raporuna göre SPT deneylerinde N_{30} darbe sayısı 6-50 arasında değişmekte olup ortalama N_{30} değeri 26.16'dır. Elek analizleri, Atterberg limitleri analizleri sonucu toplam 6 adet örneğin birleştirilmiş zemin sınıfına göre sınıflaması yapılmıştır. 0.00-3 m ile 5.50-8.0 m ve 12.00-15.00 m arasındakiler (ML) grubuna, 3.00-5.50 m arasındakiler (CL-ML) grubuna, 8.50-12.00 m arasındakiler ise (SM) grubuna girmektedir. Zeminde 6 m'ye kadar sıvılaşma riski olduğu bilinmektedir. Şekil 5.'de alüvyal bir zemin jeolojisine sahip Adapazarı bölgesi Tıgıcılar Mahallesi için bölgedeki zemin tabakalarını tanımlamak amacıyla önceden açılmış olan derin bir sondajdan elde edilen zemin kesiti görülmektedir. Zemin tabakalarının genel olarak kil ve siltten oluştuğu görülmekte ve yer altı su seviyesinin yüzeyden 1.50 metre derinde olduğu bilinmektedir.

4. NUMERİK MODEL KURULUMU VE ANALİZ SONUÇLARI

FLAC programı kullanarak deprem dalgaları üzerindeki zeminin büyütme etkisi üzerinde çalışılmıştır. Model boyutlandırılırken literatürde aynı bölgede yapılmış olan boyutlandırma çalışmaları incelenmiş ve literatürdeki çalışmalarda belirlenmiş optimum boyut olan 30 - 30 m'lik model boyutları kullanılmıştır. 60-60 grid oluşturulmuştur. Her grid arası 0.5 m seçilmiştir. Zeminde 2.5 m yatay aralıklar ile 3 farklı nokta belirlenmiş ve aynı zamanda bu 3

farklı nokta, zeminin yüzeyinde, 15 m derinliğinde ve 30 m derinliğinde olmak üzere 3 farklı derinlikte belirlenmiştir. Bu çalışmada toplam 9 noktada ivme analizleri yapılmıştır. Bu programda analiz yapmak için kurulan numerik modelin kurulduğunda, malzeme özellikleri Mohr-Coulomb teorisine göre modellenmiştir. Analizlerde bölgede meydana gelmiş, en son ve en şiddetli deprem olan 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi ivme verisinin enerji aktarımının %90'ının gerçekleşmiş olduğu ilk 20 sn'lik kısmı kullanılmıştır. Kullanılan ivme verisi Şekil 8.'de görülmektedir.

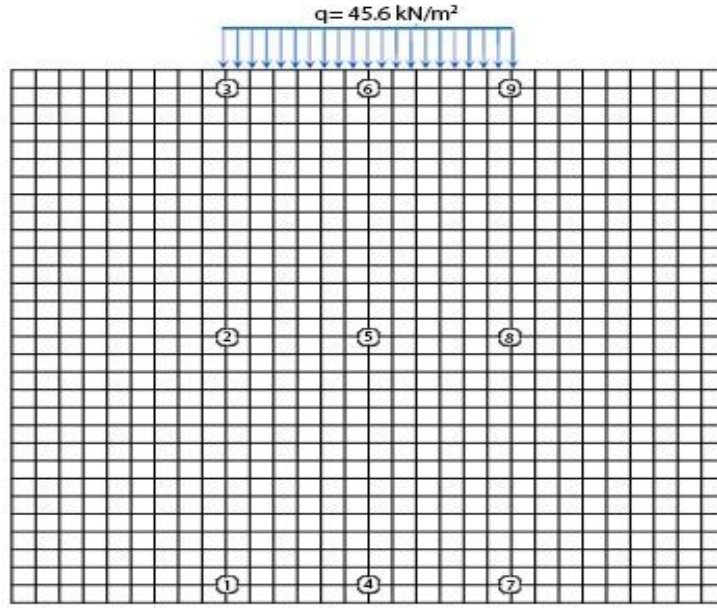


Şekil 5. Tıgırcılar Mahallesi'nden alınmış sondaj zemin profili.

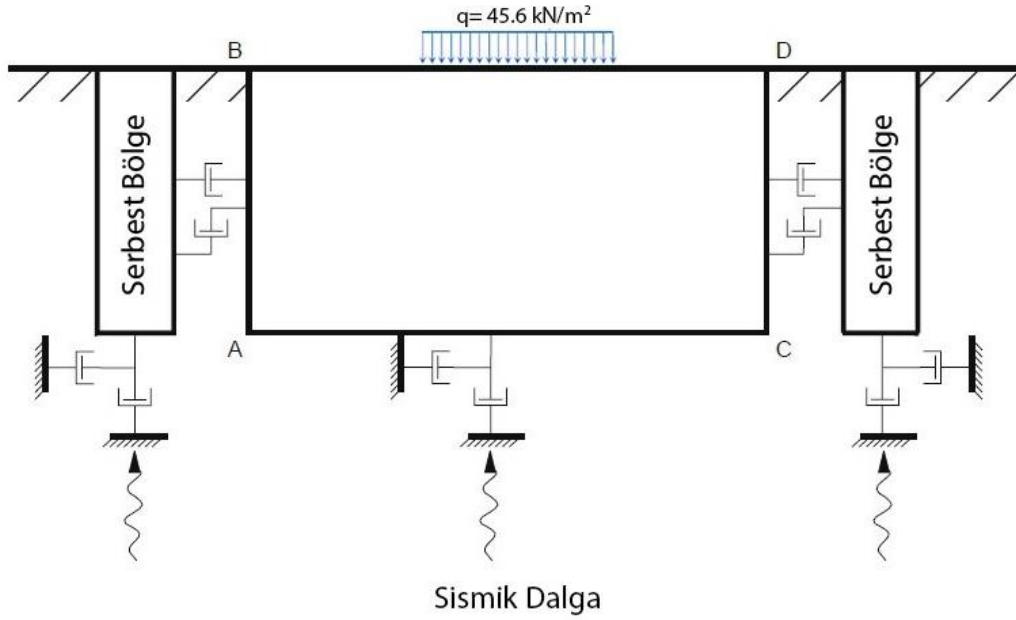
Şekil 6.'de inceleme yapılmış olan noktaların modeldeki yerleri gösterilmiştir. 1, 4 ve 7 noktası program için boyutlandırılan zeminin tabanında, 2, 5 ve 8 noktası ortada ve 3, 6 ve 9 noktası yüzeyde belirlenmiştir. Yatayda noktalar arasında 2.5 m mesafe bulunmaktadır.

Çalışmada sonsuz zemin bölgesi ayrı düşünülerek tabaka modeli sınırlandırılmıştır. Sınırlandırmanın sürekli

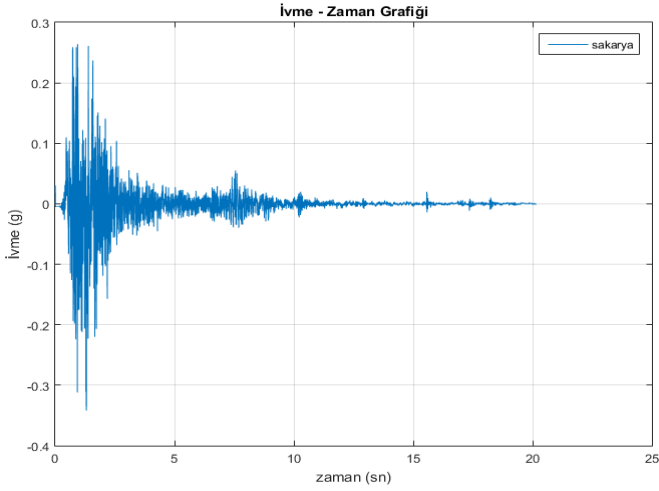
sağlanabilmesi için ve sınır bölgede dalga yansımalarını önleyebilmek amacı ile FLAC 2D programındaki serbest alan (Free-Field) sınırlandırma koşulları çalışmaya dahil edilerek analizler yapılmıştır. Şekil 6.'da serbest alan sınır şartlarında sismik analiz için tanımlanmış model şekli gösterilmektedir.



Şekil 6. İnceleme yapılacak derinlik noktalarının gösterimi.

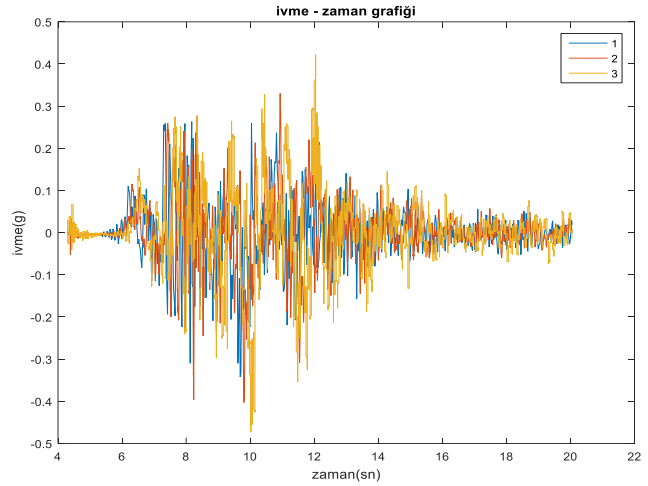


Şekil 7. Serbest alan sınır şartlarında sismik analiz için tanımlanmış model.



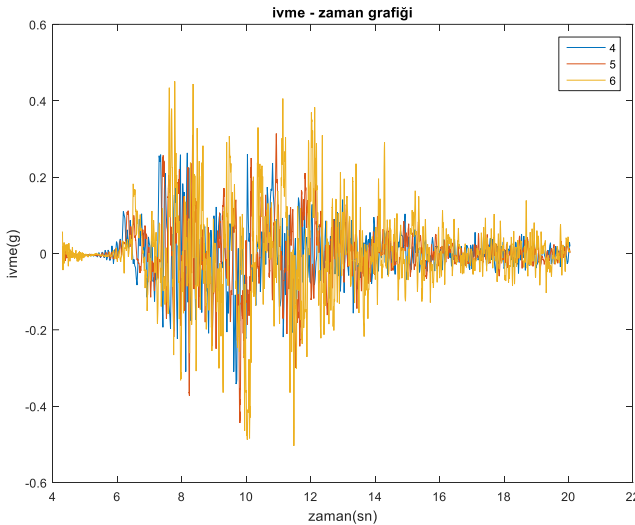
Şekil 8. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin ivme-zaman grafiğinin enerji aktarımının en yüksek olduğu 20 saniyelik kısmı.

Şekil 8.'de 17 Ağustos 1999 Kocaeli deprem kayıtlarına göre ana kayada ölçülen ivme grafiklendirilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda oluşturulmuş olan ivme-zaman grafikleri Şekil 9. – Şekil 10. – Şekil 11.'da verilmiştir. Şekil 8.'de tabandaki 1 noktası için ölçülen ivme



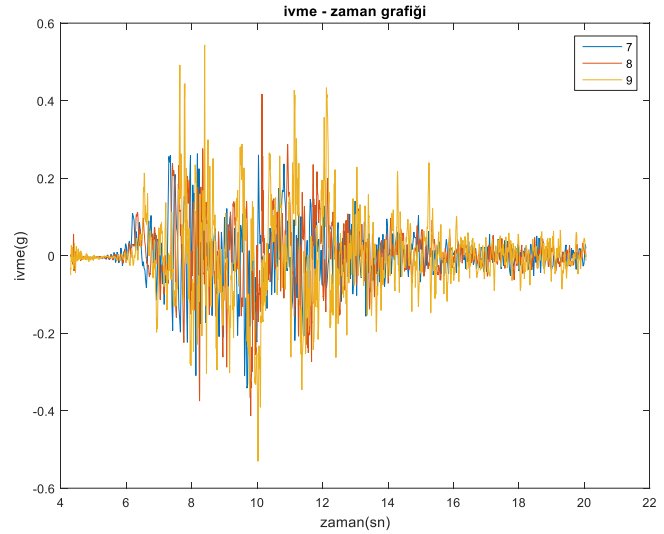
Şekil 9. 1,2 ve 3 noktasının bulunduğu modelin en sol kısmında tabanda, ortada ve yüzeyde ölçülen ivme - zaman grafiği.

değeri 0.33 g iken aynı doğrultudaki zeminin ortasındaki 2 noktası için ölçülen değer 0.4 g ve yüzeydeki 3 noktası için ölçülen ivme değeri 0.5 g dir. Zemin yüzeyine çıktıkça ivme değerlerindeki artmanın zemin özelliklerinden ve deprem verilerinden kaynaklandığı görülmüştür.



Şekil 10. 4, 5 ve 6 noktasının bulunduğu modelin ortasında tabanda, ortada ve yüzeyde ölçülen ivme - zaman grafiği.

Şekil 10.'da tabandaki 4 noktasında ivme değeri 0.34 g, orta kısımdaki 5 noktasında ivme değeri 0.45 g ve üst kısımdaki 6 noktasında oluşan ivme değeri 0.5 g olarak belirlenmiştir. Şekil 11.'da tabandaki 7 noktasında maksimum ivme değerinin 0.33 g, orta kısımda 8 noktasındaki maksimum



Şekil 11. 7, 8 ve 9 noktasının bulunduğu modelin en sağ kısmında tabanda, ortada ve yüzeyde ölçülen ivme - zaman grafiği.

ivme değerinin 0.4 g ve üst kısımda 9 noktasındaki maksimum ivme değerinin 0.58 g olduğu görülmektedir. Yapılan analizler sonucunda zemin tabanından yüzeye çıkıldıkça zemin ivme değerlerinde büyüme olduğu görülmüştür.

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Çok kalın alüvyal bir zemin jeolojisine sahip Adapazarı bölgesi Tığcılar Mahallesi için bölgedeki zemin büyütmesini tanımlamak amacıyla önceden açılmış olan derin bir sondajdan elde edilen zemin kesiti kullanılarak FLAC 2D bilgisayar programı ile iki boyutlu zemin tepki analizi yapılmıştır. Analizlerde 17 Ağustos 1999 Kocaeli deprem kaydı kullanılmıştır. Yapılan analizler sonrasında tabandaki 1 noktası için ölçülen ivme değeri 0.33 g iken aynı doğrultudaki yüzeyde 3 noktası için ivme değeri 0.5 g'ye yükseldiği görülmüştür. 4 noktası için 0.34 g ölçülen ivme değeri yüzeyde 6 noktası için 0.5 g'ye yükseldiği görülmüştür. 7 noktasında ölçülen değer 0.33 g iken 9 noktasında 0.58 g'ye yükseldiği görülmüştür.

Analizlerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda, sismik dalgalar üzerinde zeminin büyütme etkisi yaptığı net olarak görülmektedir. Yerel saha ve zemin şartlarının, zemin yüzeyine yakın zemin katmanları boyunca yayıldıkları için genlik, frekans içeriği ve sismik dalgaların süresini etkileyebileceği uzun yıllardır bilinmektedir. Elde edilen sonuçlara göre zemin profillerinin tabanına uygulanan kuvvetli zemin hareketleri ivmesi zemin yüzeyine doğru büyümektedir. Bu tür zemin büyütme faktörünün etkili olduğu bölgelerde zemin büyütme etkisi karşısında tasarım spektrumlarının yeterli olup olmadığı kontrol edilmelidir.


KAYNAKÇA

- [1] Yılmaz D, Durgunoğlu T (2004) Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi 16-17 Eylül 2004, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [2] Sancio RB (2003) Ground failure and building performance in Adapazari, Turkey. PhD thesis, Univ. of California at Berkeley, Berkeley, California
- [3] Abrahamson, N., Atkinson, G., Boore, D., Bozorginia, Y., Campbell, K., Chiou, B., Idriss, I. M., Silva, W., Youngs, R. (2008) Comparisons of the NGA Ground-Motion Relations. *Earthquake Spectra* 24:1, 45-66
- [4] Borchardt, R. D. (1994). Estimates of Site Dependent Response Spectra for Design (Methodology and Justification). *Earthquake Spectra* 10:4, 617-654
- [5] Ansal, A., Tönük, G. (2010). Seismic microzonation and earthquake damage scenarios for urban areas. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 30, 1319-1328
- [6] Önalp A, Sert S, Bol E (2000) Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi 26-27 Ekim 2000, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [7] Kutanis M, Bal IE (2006) Local soil conditions effect on structural damage distribution. In: 11th soil mechanics and foundation engineering congress, Trabzon, pp 99–113 (in Turkish)
- [8] Bakir BS, Yılmaz MT, Yakut A, Gulkan P (2005) Re-examination of damage distribution in Adapazarı: geotechnical considerations. *Eng Struct* 27:1002–1013
- [9] Kramer SL (1996) *Geotechnical earthquake engineering*. Prentice Hall, Englewood Cliffs
- [10] Biringen E (2000) Soil amplification and case studies for clayey soils. Master thesis, Bogazici University, Istanbul
- [11] Yalcinkaya E (2004) Investigation of parameters affecting the soil amplification for 1-D models. *Istanbul Univ Eng Fac Earth Sci Rev* 17(1):47–56 (in Turkish)
- [12] Tezcan SS, Kaya E, Bal IE, Ozdemir Z (2002) Seismic amplification at Avcilar, Istanbul. *Eng Struct* 24:661–667
- [13] Ansal, A. ve Tönük, G. (2007). Source and Site Effects for Microzonation. Theme Lecture, 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Earthquake Geotechnical Engineering, Editör: K. Pitilakis, Bölüm 4, 73-92, Springer.
- [14] Idriss, I. M. ve J. I. Sun (1992). Shake91, A Computer Program for Conducting Equivalent Linear Seismic Response Analysis of Horizontally Layered Soil Deposits, Modified based on the original SHAKE program by Schnabel, Lysmer and Seed, 1972.
- [15] Yoshida, N., S. Kobayashia, I. Suetomia ve K. Miura (2002). Equivalent linear method considering frequency dependent characteristics of stiffness and damping. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 22:3, 205-222.
- [16] Fırat S, Işık N, Arman H, Demir M, Vural İ, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* (2016) 75:141-152. (2015)
- [17] Anbazhagan P, Sitharam TG (2009). Spatial variability of the weathered and engineering bedrock using multichannel analysis of surface wave survey. *Pure appl Geophys* 166(3):409–428
- [18] Demir M (2007) Investigation of soil amplification factor in Adapazari region. Master thesis, Sakarya University, Adapazari (in Turkish)
- [19] Beyhan G, Keskinsezer A, Kafadar Ö (2019). Analysis of strong ground motion data from the Van earthquake (Turkey), 2011. *Geomech. Geophys. Geo-energ. Georesour.* (2019) 5:253-270.
- [20] AFAD, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası. [Online] <https://www.afad.gov.tr/tr/26539/Yeni-Deprem-Tehlike-Haritasi-Yayimlandi> (2019)

The influence of particle size on efficiency of quartz flotation

*¹Hüsnügül Yılmaz Atay, ²Mustafa Çırak

¹İzmir Katip Çelebi University, Department of Material Science and Engineering, 35620 Çiğli İzmir Turkey,

hgulyilmaz@gmail.com, 

²Muğla Sıtkı Kocman University, Department of Mining Engineering, 48000 Kötekli Muğla Turkey, mustafacirak@mu.edu.tr,

Research Paper

Arrival Date: 16.03.2019

Accepted Date: 02.03.2020

Abstract

Flotation is the separation of the particles of the ore according to their surface properties for floating on a given liquid to concentrate the desired phases. In this study, different size of minerals were used to achieve better flotation performance of mineral. It is devoted to investigate the influence of particle size on the separation efficiency. Prior to the beneficiation process, surface treatments were applied for obtaining agitated mineral surfaces. Flotation process provided the separation phenomena between the quartz mineral and associated impurities. In this study conventional flotation was used. X-ray diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) were used to perform the phase analysis, surface morphology and approximate composition of the quartz ore. The higher amount of flotation product was achieved with finer mineral. This is explained by the increase in surface area.

Keywords: Quartz, Flotation, Particle size, PbSO₃, Na-Oleate.

Kuvars flotasyonu veriminde tane boyutu etkisinin incelenmesi

Flotasyon, istenen fazları konsantre etmek için belirli bir sıvı üzerinde yüzey özelliklerine göre cevher parçacıklarının ayrılmasıdır. Bu çalışmada, mineralin daha iyi yüzdürme performansını elde etmek için farklı boyutlarda mineraller kullanılmıştır. Partikül büyüklüğünün ayırma verimi üzerindeki etkisinin araştırılması amaçlanmaktadır. Zenginleştirme işleminden önce, mineral yüzeylerinin aktive edilmesi için yüzey işlemleri uygulanmıştır. Flotasyon işlemi, kuvars minerali ve ilgili safsızlıklar arasındaki ayırma işlemini sağlamıştır. Bu çalışmada geleneksel flotasyon kullanılmıştır. X-ışını kırınımı (XRD), Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ve Enerji Dağılım Spektroskopisi (EDS), faz analizi, yüzey morfolojisi ve kuvars cevherinin yaklaşık bileşimini belirlemek için kullanılmıştır. Daha yüksek miktarda flotasyon ürünü daha ince minerallerle elde edilmiştir. Bu ise, yüzey alanındaki artışla açıklanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kuvars, Flotasyon, Tane boyutu, PbSO₃, Na-Oleate.

1. INTRODUCTION

Quartz is one of the most abundant and common minerals in the World. It has chemical and physical stability at Earth's surface conditions. Due to its solubility most natural waters contain dissolved silica that can precipitate as quartz associated with many different minerals [1,2]. Regarding the usage area, it goes without saying that quartz is the source of many items we see around from windowpanes and crystal goblets to eyeglasses and stained glass windows [1]. As well as used as a traditional material, quartz is used in the markets of glass, ceramics, and fillers to high-end, high-tech uses such as electronics, optics, semiconductors, lighting, infrared, specialty glass, fiber optics, and the computer and

communications industries. Fused silica, or fused quartz, is the common term that applies to silica in most of these high-tech markets. In those high-tech applications, high purity quartz are required. Especially during World Wars I and II, such purity was considered a strategic supply for early communications, such as radio [3]. Actually, for production of all advanced materials, very pure raw materials are desired. Those are said to be the materials which have engineered properties created through the development of specialized process and synthesis technology, such as composites, advanced electronic, ceramic, magnetic, optical materials, Nano-materials and biomaterials, etc. In connection with this, high quality quartz containing minor amount impurities are preferred in the new age.

*¹Corresponding Author: İzmir Katip Çelebi University, Department of Material Science and Engineering, 35620 Çiğli İzmir Turkey, hgulyilmaz@gmail.com,

Quartz purity/quality largely depends on the beneficiation performance as structural impurities, such as feldspar, kaolinite etc., are difficult to remove [2]. By heating the quartz, fluid inclusions can be removed however some stable elements can be leaved in solution. In the heating process fluid inclusions decrepitate and other contaminants included in the gas phase [4]. Nevertheless, it is not clear to which extent the contaminants present in the liquid inclusions leave in form of gaseous compounds. Solid inclusions are generally formed at the grain boundaries, and it is possible to remove them by using mineral processing techniques. Within this context, for the physical separation of the mineral particles, comminution and separation techniques can be applied. The gangue mineral size will determine the required size reduction to be provided by these techniques [5,6].

In this study, it was attempted to increase the beneficiation performance of quartz by using different size of minerals because particle size effect is one of the important factors in the flotation. Flotation characteristics and particle size distribution of micro-fine low rank coal were studied by Qu et al. [7]. They observed that the dominant size fraction of the low rank raw coal was -0.045 mm size fraction with a yield of 91.65% and ash content of 46.25%. The concentrate contained 83.38% of -0.045 mm size fraction (38.04% of total particles in feed) with ash content of 24.98%. Additionally, tailing was formed of -0.045 mm size fraction (93.63%) with a higher ash content of 60.82%. Besides, it is found in a coal flotation study that the best flotation selectivity was observed from the middle size fraction, 0.250+0.075 mm, but the selectivity of -0.500+0.250 and -0.075 mm particles was decreased [8]. In another work it is investigated that the coal slime size fraction of -0.125+0.074 mm possessed the highest flotation rate [6]. Xia et al. [10] depicted that the range from 11 μm to 74 μm was found to be the best particle size for the flotation of heavily oxidized coal. Moreover, there are investigations regarding the particle size distribution effects on the strength values of German brown coal and the coalwater slurries rheology [11,12].

Prior to beneficiation process, chemical surface treatments were applied to different particle size minerals. It was devoted for improving the flotation performance as an important phenomenon for mineral enrichment. The influence of particle size on the separation efficiency was investigated. Phase and mineralogical analysis were observed by XRD and XRF. SEM-EDS analysis were applied for investigating structural and morphological properties of the material. Flotation technique was used for increasing the grade of useful components in the material.

2. EXPERIMENTAL

The quartz material was received from Muğla region in Turkey. Samples were taken for characterization tests and beneficiation studies. Crushing was performed with a jaw

crusher, the discharge opening was 2 cm. Then crushed material was ground in a ball mill, alumina balls with various diameter were used as grinding media. Grinding time was 10 min. Any possible contaminations were prevented during these steps. After crushing and grinding, the low grade material was sieved to be separated into different particle size fractions. Four narrow sieved fractions of the material were used; sieved fractions (μm): -400+180 ($400 \geq x > 180$), -180+75 ($180 \geq x > 75$), -75+38 ($75 \geq x > 38$), -38 ($38 \geq x$). The openings of the sieves were 38, 75, 180 and 400 μm . With 100 g samples, sieving was applied. Because 50 g material is needed in the flotation process, sieving was repeated until getting 50 g each of fractions. Any possible slime & slime coating problem is minimized by using the dilution. The material was analyzed with X-ray Fluorescence Spectrometry by Mikroman A.Ş. The mineral analyses is as following; 84.8% SiO_2 , 12.5% feldspar and other alkalies. X-ray diffraction analyses were conducted using a Rigaku SmartLab XRD (X-Ray Diffractometer) device. SEM micrographs were taken with JEOL JSM-7600F SEM Scanning Electron Microscope. Elemental analysis was provided by Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS).

Regarding the beneficiation technique, flotation method was used. It is a physico-chemical separation process that uses the difference in surface properties of the valuable minerals and the unwanted gangue minerals [13,14]. One liter capacity Denver type flotation machine was used for the purpose. Na-Oleat was used as the collector and $\text{Pb}(\text{SO}_3)$ as activator for the flotation of quartz as described in Ref [15]. It was stated that different zeta potential values were obtained on the quartz and feldspar surfaces in different Na-Oleate concentrations. Although there is no direct interaction between the surface of quartz and oleate due to the electrostatic repulsion stemmed from their negative charges, oleate can adsorb on the particle through a cation bridge mechanism. For instance, the lead ion hydrolyzes into PbOH^+ at certain pH values and these positively charged hydrolyzed ions strongly adhere themselves to the negatively charged particle surface due to the electrostatic attraction. Following the adsorption of these kind of hydrolyzed species, the quartz surface become activated for the attachment of the collector. Namely, hydrolyzed cation serves as a bridge between two negatively charged matter and the resultant (Quartz + PbOH^+ + Oleate) form a hydrophobic surface that can be collected in the froth phase [16]. Due to this difference it was claimed that it is possible to separate feldspar and quartz. Though, Pb ions were chosen as an activator, because under the conditions applied, Pb undergoes hydrolysis to form PbOH^+ . The flotation tests were performed after the samples are conditioned with the reagents for a specified time at a fixed pulp density. 1 min allowed before collecting the froth in the flotation. The concentrate and tailing were collected separately, dried, weighed and analyzed for different constituents to assess the product quality. Table 1 depicts the flotation experiment conditions.

Table 1. Optimum conditioning parameters for flotation.

pH	7
Powder size distribution	-38, -75+38, -180+75, -400+180
Collector	Na-Oleat, 2000 g/t
Activator	PbSO ₃ , 300 g/t
Frother	MIBC, 30 g/t
PbSO ₃ conditioning time	1 min
Na-Oleat conditioning time	3 min
Conditioning time with frother	1 min
Rotor speed	1100 rpm

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

XRD analysis of the flotation feed is shown in Figure 1. The main phase is quartz with the impurities of feldspar and other alkalis. SEM micrographs are depicted in Figure 2. Whether there was any difference in the images according to the size change was determined. However, these images showed that the morphology of the materials significantly similar. They have irregular shapes with some elongated particles. EDS analysis supports X-ray diffraction results that the material consists of O, Na, Al, Si elements (Figure 1).

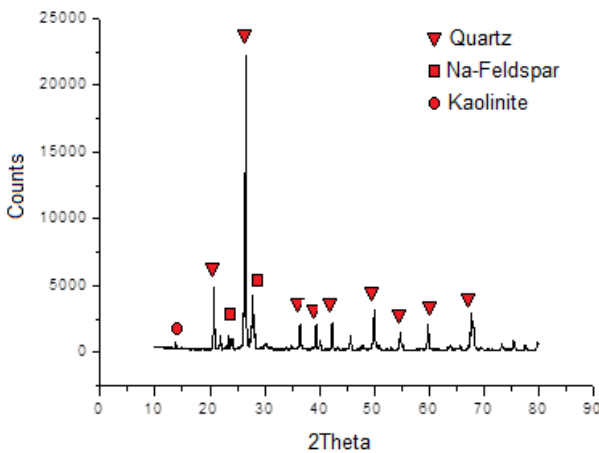


Figure 1. XRD analysis of the raw material, Flotation feed.

In the flotation experiment a very successful performance was obtained, as shown in Table 4. Chemical analysis of the concentrate as follows; coarse size (-400 + 180) m 94.7% SiO₂ and fine size (-38 mm) 96.1% SiO₂. It can be seen that reducing the size of the particles reduces waste. This means that quartz improves flotation performance. As noted, this may be due to the increased surface area and the release of valuable material. On the other hand, the separation of feldspar and quartz was successful in this flotation experiment by using Pb ions as an activator. This can be explained by the differences in zeta potential on the surface of feldspar and quartz caused by the effect of Pb ions. Gulsoy et al. [15] investigated the possibility of using metal ions (Al, Ba, Mg, Pb and Sn) in selective oleate flotation of feldspar from quartz.

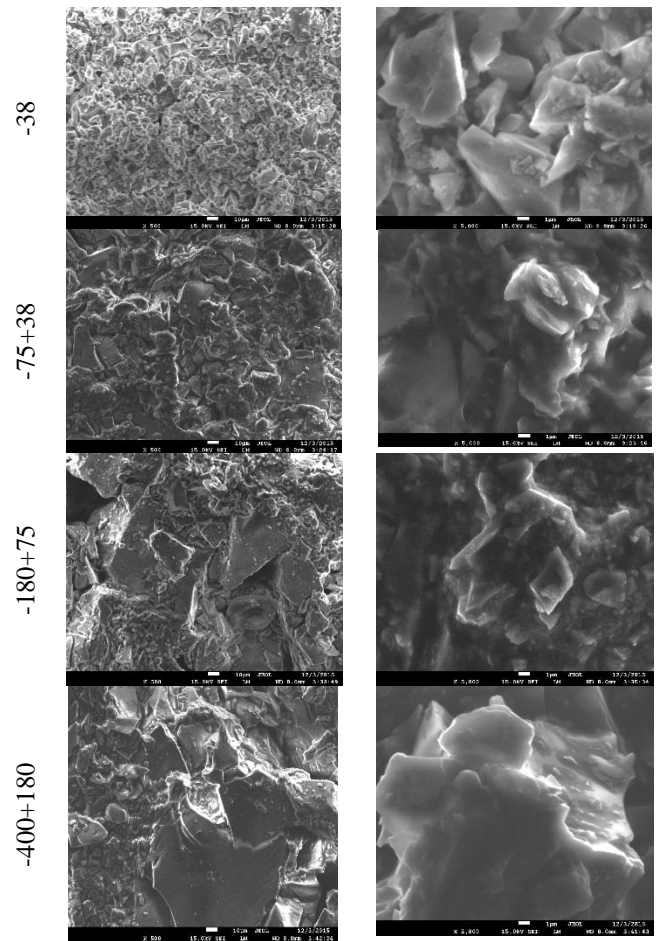


Figure 2. SEM micrographs of different size of mineral, Flotation feed.

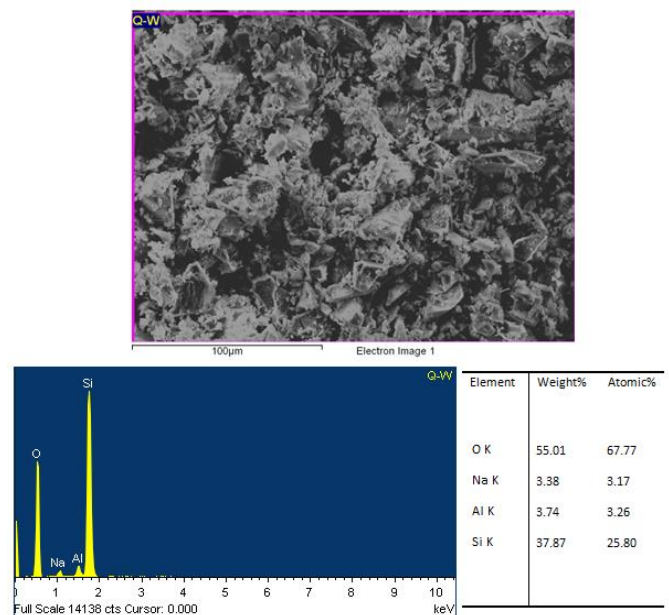


Figure 3. EDS analysis of the mineral, Flotation feed.

They observed that the surface charges of quartz and feldspar were almost identical in the presence of Al, Ba, Mg and Sn ions. However, when oleate was used after conditioning with lead ions, a slight difference was observed in the surface charges of both minerals [6].

Table 4. Flotation results according to the particle size of quartz.

Particle size (µm)	Concentrate (g)	Tailing (g)	Flotation Recovery Oxides (%)
-400+180	31.1	18.9	62.2
-180+75	34.0	16.0	68.0
-75+38	35.1	14.9	70.2
-38	36.5	13.5	73.0

XRD analysis was performed each fraction of the flotation concentrate and the tailing. The results were demonstrated in Figure 4.

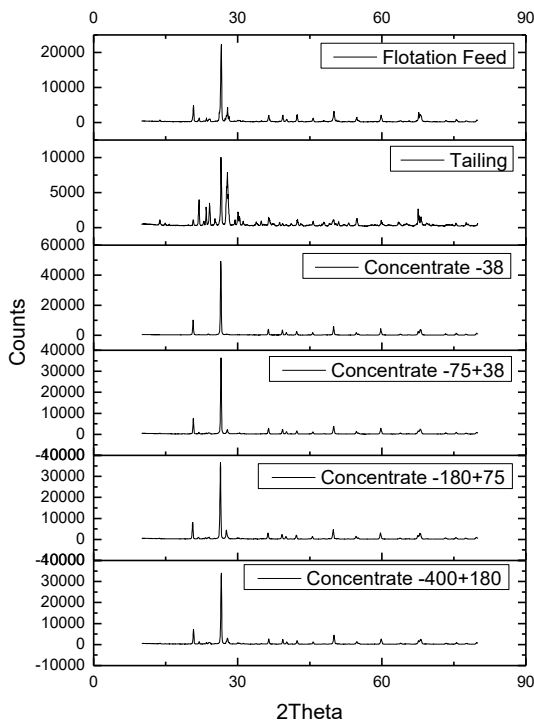


Figure 4. XRD analysis of the flotation feed, tailing and concentrates

XRF analysis was used for the investigation of SiO₂ existence to observe the quartz quantity in the flotation product. The results were shown Figure 5. It can be seen that SiO₂ content of the coarser (-400+180) fraction was 94.2%, but it increased to 96.1% by decreasing material size. This result supports XRD analysis.

Although a de-sliming step is required in most plant practices, the increase in SiO₂ in the concentration shown in Figure 5 shows us that this is not the slime, but quartz in the concentrate. However, a de-sliming step would still be good for improving the quality of the product.

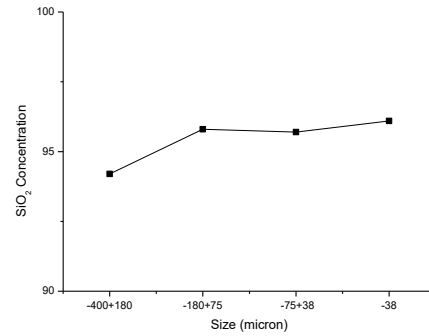


Figure 5. XRF analysis of the flotation product, Concentrates.

Those analyses proved the improvement in the flotation performance by reduction of the feed particle size. The same result is observed a greater number of interparticle contacts and more interlocking. Thus this leads to a lower coefficient of friction, and/or higher contact angle, resulting in lower capillary forces [17,18]. On the other hand, Crawford et al. obtained similar results with different reagents that critical contact angle for floatability of mineral particles varies with the particle size fraction [19,20]. It is depicted that in the solids separation -flotation- technique, success depends on the utilizing of a variety of particle size, chemical reagents and wetting behavior of solid surfaces and particle dispersion. All of those; particle size, shape, wetting property and the response behavior to the surface treatments need to be considered during the evaluating the flotation results.

The experimental work and the characterization proved that the decrease in the particle size of the feed prior to the flotation resulted in the generation of the fresh particle surface and the greater surface area. Once the abovementioned outcomes were achieved by decreasing the feed down to -38 µm, the flotation performance significantly enhanced. XRD and XRF outputs showed that the gangue particles were potently separated from the quartz particles with the help of Na-Oleate. When the dissolution of PbSO₃ took place during the conditioning, Pb-ions were hydrolyzed and formed varying aquatic Pb-species. In the studied pH, it is determined that the dominating species was PbOH⁺ in the flotation cell. This specific product was a vital component since it is responsible for the activation of the system. The mechanism behind the activation process can be explained with the formation of a metal (Pb) hydrous – oleate complex. In conclusion, the size reduction improved the effective surface area and the liberation of the minerals in the natural ore sample. Then, the Pb-oleate complexes firmly attached themselves on these freshly generated quartz surfaces, selectively. The combination of these mechanical and

chemical activations significantly improved the quality of the final product

4. CONCLUSIONS

In the scope of this work, the effect of the feed size on the flotation performance of quartz particles was investigated and the results were supported with the detailed characterization studies. The original quartz ore was classified into four different categories based on the particle sizes, namely -400+180 μm , -180+75 μm , -75+38 μm , -38 μm . Each of these fraction was subjected to the froth flotation by using Na-Oleate as a collector. The products of each work were characterized with the implementation of XRD, XRF, SEM, EDS methods.

The characterization part of the study showed that the grade of SiO₂ can be increased from 84% up to 96.1% just by decreasing the feed size down to -38 μm . The processing of the coarser feed fractions (-400+180 μm , -180+75 μm , -75+38 μm) failed to succeed this grade level for the quartz enrichment. The XRD-based mineralogical analysis of each flotation product proved that gangue particles were successfully reported in the tailing whereas froth contained higher-quality quartz product. Among all XRD spectrums, the highest intensity diffraction peak was obtained for the product of the flotation carried out for -38 μm feed. This peak was an indicator for the quantitative phase analysis and it confirmed that the greatest mineralogical abundance of quartz particle was obtained after the flotation of the feed ground at -38 μm .

In SEM analysis, it is clearly seen that grain size is reduced. This allowed the surface area to be increased and thus the contact point to be increased. Thus this provided newly formed fresh surfaces for the effective adsorption of the collector following the particle size reduction. Furthermore, flotation significantly improved at -38 μm . It was revealed that these variations in the morphology of the sample during the comminution contributed to the physicochemical recovery of the quartz particles. In conclusion, the low-grade ore was beneficiated up to the refractory grade with the implementation of the size reduction and the surface activation of the quartz particles via Pb ions.

5. REFERENCES

1. Quartz Silica Group of Silicate Minerals. University of Minnesota, Retrieved 5th December 2018. <https://www.esci.umn.edu/courses/1001/minerals/quartz.shtm>
2. E.D. Martello, Impurity distribution and reduction behaviour of quartz in the production of high purity silicon. Thesis for the degree of Philosophiae Doctor. Norwegian University of Science and Technology, Norway, 2012.
3. J.E. Kogel, N. Trivedi, J.M. Barker, S.T. Krukowski, Industrial Minerals & Rocks – Commodities, Markets and Uses, Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc.

Englewood, U.K, 2006.

4. M. Gemeinert, M. Gaber, I. Hager, M. Willhfahrt, D. Bortschuloun. On correlation of Gas-Liquid inclusion's Properties and Melting Behaviour of Different Genetic Quartzes for Production of Transparent fused Silica. Neues Jahrbuch Miner. Abh. 165, 19-27, 1992.
5. U. Andres, J. Jirestig, Timoshkin Liberation of minerals by highvoltage electrical pulses. Powder Technol 104, 37-49,1999.
6. F. Göktepe, H. Ipek, M. Göktepe. Beneficiation of quartz waste by flotation and by ultrasonic treatment. Physicochem. Probl. Miner. Process. 47, 41-50, 2011.
7. J. Qu, X. Tao, L. Tang, N. Xu, H. He. Flotation characteristics and particle size distribution of micro-fine low rank coal. Procedia Engineering 102, 159-166, 2015.
8. Y.F. Li, W.D. Zhao, X.H. Gui, X.B. Zhang, Flotation kinetics and separation selectivity of coal size fractions, Physicochem. Probl. Miner.Process. 49, 387-395, 2013.
9. X.H. Gui, J.T. Liu, X.X. Tao, Y.T. Wang, Y.J. Cao, Studies on flotation rate of a hard to float fine coal, J. China Coal Soc. 36, 895-1900, 2011. (in Chinese).
10. W.C. Xia, J.G. Yang, B. Zhu, The improvement of grindability and floatability of oxidized coal by microwave pre-treatment, Energy Source Part A, 36, 23-30, 2014.
11. S. Zhong, F. Baitalow, P. Nikrityuk, H. Gutte, B. Meyer, The effect of particle size on the strength parameters of German brown coal and its chars, Fuel, 125, 200-205, 2014.
12. F. Boylu, H. Dincer, G. Ateşok, Effect of coal particle size distribution, volume fraction and rank on the rheology of coal–water slurries, Fuel Process. Technol. 85, 241-250, 2004.
13. R. H. Urbina, Recent developments and advances in formulations and applications of chemical reagents used in froth flotation. Mineral Processing & Extractive Metall. Rev, 24, 139 182, 2003.
14. R.D. Kulkarni and P. Somasundaran. Flotation chemistry of hematite/oleat system. Colloids and Surfaces. 1, 387-405, 1980.
15. Ö.Y. Gülsoy and F. Kılavuz, The Use of Na-Oleate with metal salts as a Collector in K-Feldspar Quartz Flotation. Madencilik, 22-34, 2002. (in Turkish).
16. S. M. Bulatovic. Handbook of flotation reagents: chemistry, theory and practice: Volume 1: flotation of sulfide ores. Elsevier, 2007.
17. H. Wotruba, H. Hoberg, FU. Schneider. XVIIth Int Miner ProcessCong IV. 83–95, 1991.
18. N. Vlachos, I.T.H. Chang. Graphical and statistical comparison of various size distribution measurement systems using metal powders of a range of sizes and shapes. Powder Metallurgy. 54, 497-506, 2011.
19. R. Crawford & J. Ralston. The Influence of Particle Size and Contact Angle in Mineral Flotation. International Journal of Mineral Processing. 23. 1-24. 1998
20. S. Muganda, M. Zanin, S. Grano. Influence of particle size and contact angle on the flotation of chalcopyrite in a laboratory batch flotation cell. International Journal of Mineral Processing. 98. 150-162. 2011.

Comparing The Effect of Under-Sampling and Over-Sampling on Traditional Machine Learning Algorithms for Epileptic Seizure Detection

*¹Kemal Akyol, ²Ümit Atıla¹ Kastamonu University, Computer Engineering Department, Turkey, kakyol@kastamonu.edu.tr, ² Karabuk University, Computer Engineering Department, Turkey, umitila@karabuk.edu.tr, 

Research Paper

Arrival Date: 23.05.2019

Accepted Date: 03.03.2020

Abstract

Epilepsy disease, a neurological disorder that causes recurrent and sudden crises, occurs at unforeseen times. This study presents the classification of electroencephalogram signals for epileptic seizure prediction. The performances of the machine learning algorithms were evaluated on the dataset extracted from electroencephalogram signals. The dataset consists of brain activities for 23.5 seconds of 500 individuals with each has 178 data points for one second, and totally of 11500 pieces of information. In this study, since the aim was to develop a model to predict epileptic seizure, the problem was transformed into a two-class problem by combining target categories except than epileptic seizure. Since combined target categories made the dataset unbalanced, Random Under Sampling and Random Over Sampling methods were applied to prevent the machine learning algorithms from overfitting the dominant class. Thus, each of the three datasets was divided into training and test sets by ratios of 60/40, 70/30, 80/20. The performance of the several machine learning algorithms were evaluated and discussed through three different scenarios. Overall results showed us that Random Forest algorithm offered superior performance than others for all scenarios in terms of accuracy, sensitivity and specificity metrics.

Keywords: Epileptic seizure, machine learning, unbalanced and balanced dataset, over sampling, under sampling.

1. INTRODUCTION

Epilepsy is a recurring neurological disorder that comes true by sudden seizures [1]. Seizure is an instantaneous electrical activity fluctuation in the brain which influences the people for a short period in general [2]. Epileptic seizure may arise from many factors such as genetic susceptibility or physical damage on brain and result in death [3]. The prediction of seizures as early as possible before occurrence helps improving patient's life quality and their safety [4]. This study presents the performances of machine learning algorithms on Electroencephalogram (EEG) signals for epileptic seizure prediction.

A lot of studies performed on classification of EEG signals in literature. Sharif and Jafari made use of Optimum Pointcare plane to derive features from the time series and obtained a series of Pointcare samples. In order to score dynamic changes in seizure estimation, they sent the characteristics chosen from ictal rules as input data to the Support Vector Machine classifier [1]. Caplan et al. performed a study on clinical diagnosis and management of seizures of children. In their study, they discussed two case studies that address the difficulties that health professionals face during management of children with convulsions [2]. Kocadagli and Langari presented an efficient procedure in

order to early detect the epileptic seizures. This procedure consists of three steps: a) extracting of features, b) reducing dimensionality of features, c) classification [3]. Chu et al. presented a new approach for seizure prediction, including the use of scalp electroencephalograms based on attractor state analysis. This approach is the first in terms of spectral feature's use which was obtained from macroscopic dynamics of the brain [4]. Mohammadpoory et al. used weighted visibility graph and entropy characteristics for detecting epileptic seizures automatically from EEG signals. They presented a study for classifying these signals using Decision Tree, K-Nearest Neighbor, Support Vector Machine and Naive Bayes [5]. Wan et al. performed a study to identify epileptic seizures in selected regions using complex Morlet wavelet transform based on Shannon-entropy and matching pursuit methods based on adaptive-genetic-algorithm [6]. Kiral-Kornek et al. developed a prospective seizure prediction system using Harnessing deep learning algorithm on a large longitudinal and continuous dataset. They analyzed intracranial electroencephalography data of ten patients with this system. In addition, to form infrastructure of a wearable device, they deployed the system on a low power neuromorphic chip [7]. Hassan and Subasi employed a novel signal processing technique for automated epileptic seizure screening method. Six spectral moments were extracted using this technique. In order to identify

* Corresponding Author: Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Kastamonu University, Kastamonu, Turkey, kakyol@kastamonu.edu.tr +90 366 280 2978

epileptic seizures from EEG signals, train and test datasets obtained from these extracted features were fed as input data to the ensemble learning based linear programming boosting machine learning algorithm [8]. A new automatic seizure method was proposed by Truong et al. that classifies interictal, ictal and early ictal periods of intracranial electroencephalogram signals by using Random Forest classifier [9]. Jia et al. proposed a method using full ensemble empirical mode decomposition for detecting epileptic seizures from electroencephalogram signals. This method includes the stages of classification of statistical properties extracted from growth curve by Random Forest algorithm using 10 - fold cross - validation technique [10]. Tawfik et al. carried out seizure detection on hundreds of actual EEG signals with Weighted Permutation Entropy and Support Vector Machine classifier based model. They tested the performance of the model using sensitivity, specificity and accuracy measurements [11]. In order to detect epileptic seizures, Gajic et al. automatically classified EEG signals by utilizing wavelet transform and statistical pattern recognition methods. The study includes three phases: wavelet transform based feature extraction, b) scatter matrices based feature dimension reduction c) classification by quadratic classifiers [12]. Acar et al. classified multi-channels EEG data using attributes they obtained in both time and frequency domains of seizure and non-seizure periods [13]. On the other hand, there are many studies in the literature that uses Bonn dataset. In this study, the problem was handled out in two classes by considering four target labels out of five as non-epileptic seizure. Some of the studies in the literature that considers problem with two classes as epileptic seizure and non-epileptic seizure are as follows. Tzallas et al. proposed a method which classifies the features extracted in the time-frequency plane using artificial neural network [14]. Guo et al. presented a method which classifies the features extracted by wavelet transform multiresolution decomposition using artificial neural network [15]. Orhan et al. proposed a decision support system for epilepsy treatment using Multi-Layer Perceptron (MLP). They decomposed EEG signals into frequency sub-bands using discrete wavelet transform (DWT). Then, they clustered the wavelet coefficients using K-means, and probability distributions of wavelet coefficients to the clusters were used as input to the MLP [16]. Gandhi et al. used important features of EEG signals such as entropy, energy and standard deviation computed by wavelet functions in different sub-bands for training Probabilistic Neural Network [17]. Nicolaou et al. used permutation entropy values as feature to classify the EEG signals using SVM [18]. Fu et al. extracted spectral entropies and energy features using Hilbert marginal spectrum analysis and put into the support vector machine for seizure detection of EEG signals [19]. Samiee et al. extracted features using rational discrete short time Fourier transform (DSTFT) and passed them to multilayer perceptron classifier to separate seizure from non-seizure data [20]. A general regression neural network with K-fold cross-validation were used by Swami et al. to classify feature vectors of EEG signals utilizing features based on statistical measurements [21]. Jaiswal and Banka used Local Neighbor Descriptive Pattern

and One-dimensional Local Gradient Pattern for feature extraction and classified the features with different machine learning algorithms [22]. Sharma et al. calculated fractal dimensions following analytic time-frequency flexible wavelet transform and fed to least-squares support vector machine classifier with 10-fold cross validation [23]. The aim of this study is to compare the effects of RUS and ROS methods which are applied to eliminate the imbalance problem in the two-class dataset used in the estimation of epileptic seizure on traditional machine learning algorithms. The rest of the paper was designed as follows. Section 2 addresses the dataset and presents the methods used in this study. Section 3 gives experimental results and discussions. Finally, the study is concluded in Section 4.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Data

In this study, experiments were conducted on a public epileptic seizure dataset [24] containing 11500 instances. Each data represents the value of the EEG recording at a different point in time. The original dataset consists of recordings of 500 individuals each with 23.6 seconds brain activity recordings and represented by 4097 points divided into 23 parts each containing 178 points. Therefore, the number of attributes is 178 and the target is a categorical variable including numbers between 1 and 5. Information of each categorical value for output was listed in detail below.

1. Seizure activity recordings,
2. EEG signal recording from tumor area,
3. Region of tumor in brain is identified and EEG activity recorded from healthy brain area.
4. Patient had their eyes closed when recording the EEG signal.
5. Patient had their eyes opened when recording the EEG signal.

All subjects in classes 2, 3, 4 and 5 are subjects without epileptic seizures. Only subjects falling in class 1 are with epileptic seizure.

2.2. Machine Learning

Machine learning is away used to make inferences from data to learn new tasks by utilizing learning algorithms based on mathematical and statistical methods. Machine learning algorithms perform learning from the training data and then performance of the trained model is measured over test data. Algorithms used in this study were mentioned below briefly.

2.2.1. Random Forest (RF)

RF algorithm [25] builds a forest of combined decision trees and classifies data is by selecting most voted decision tree of the forest. Once all trees have been created, each tree in the ensemble selects a class and the top-rated class provides the last decision for classification [26].

2.2.2. Logistic Regression (LR)

LR is a technique from field of statistics used for binary classification [27]. For example, classifying whether an email is a spam or not, classifying whether a cell with cancer or not. This algorithm uses linear equation with independent predictors. The output of the algorithm is taken into between 0 and 1 using sigmoid function. To predict class values a logarithmic loss function is used to calculate the cost for miss classifying [28].

2.2.3. Linear Discriminant Analysis (LDA)

LDA is a classification method first proposed by Fisher [29] in 1936. Maximum class discrimination is achieved by finding the component axes that maximize both the variance of data and separation between multiple classes [30].

2.2.4. Diagonal Linear Discriminant Analysis (DLDA)

DLDA belongs to the family of Naive Bayes classifiers and arises in a Bayesian setting where the distributions of each class share a common covariance matrix and are assumed to be multivariate normal. Different from LDA, DLDA classifier sets the off-diagonal elements to zero in the pooled sample covariance matrix [31].

2.2.5. Support Vector Machines (SVM)

SVM is a classification algorithm based on statistical learning theory. The mathematical algorithms in SVM were originally designed for binary classification, and then generalized for classification of multi-class and non-linear data. It is based on the definition of the hyper-plane that can optimally distinguish two classes from each other [32].

2.3. Balanced Dataset

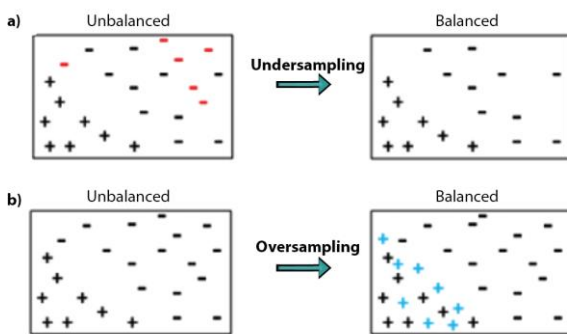


Figure 1. Random sampling a) Under-sampling b) Over-sampling [34].

Any dataset which has unbalanced data distribution leads to negative situations in machine learning. When a dataset does not represent all classes of data equally, the model might overfit to the class that’s represented more in the dataset and become oblivious to the existence of the minority class. It might even give a good accuracy but it fails miserably in real life. There are different methods to eliminate the negative

effects of unbalanced datasets on machine learning methods such as collecting more data, resampling based on under-sampling and over-sampling. While Random Under Sampling (RUS) method eliminates the instances of majority class (Figure 1.a), and Random Over Sampling (ROS) method generates the instances to be added into minority class (Figure 1.b) [33-34]. The unbalanced distribution in the dataset is discarded by applying RUS or ROS methods.

2.4. Performance Metrics

In our study, performances of the machine learning algorithms were evaluated using accuracy, sensitivity and specificity measures. The accuracy value (Acc) indicates the percentage of success of the model in terms of true classification. Sensitivity (Sen) and specificity (Spe) are the ratio of positive and negative classification, respectively. While the sensitivity value indicates the success rate of classification of patients, specificity value indicates the success rate of classification of non-patients [35]. Equations of these metrics are given below;

$$Acc = (TP + TN)/(TP + FN + TN + FP) \tag{1}$$

$$Sen = TP/(TP + FN) \tag{2}$$

$$Spe = (TN)/(TN + FP) \tag{3}$$

where TP is the true positive, TN is the true negative, FP is the false positive and FN is the false negative. True positive is the number of patients who are correctly classified as having epileptic seizure and TN is the number of non-patients who are correctly classified as not having epileptic seizure. Likewise, FP is the number of non-patients who are incorrectly classified as having epileptic seizure and the FN is the number of patients who are incorrectly classified as not having epileptic seizure.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The dataset consists of 500 individuals which have 4097 data points for 23.5 seconds. Firstly, original target values were labeled as either 1 or 0. If the output variable “y” is 1, the subject has disease. If the output variable contains any of 2, 3, 4 and 5 values, it means the subject does not have disease. This transformation for all subjects were carried out on the original dataset. So, the dataset including two classes, normal and epilepsy was obtained. After obtaining labeled dataset, RUS and ROS methods were applied on the original dataset and two additional datasets were obtained. While the original dataset was named as Dataset A, other two datasets obtained after ROS and RUS methods were named as Dataset B and Dataset C, respectively. The information about these datasets were given in Table 1.

Table 1. The information about the datasets.

Datasets		
Dataset A	Dataset B	Dataset C
True 2300	True 2300	True 9200
False 9200	False 2300	False 9200

Then, experimental studies on these datasets were carried out over three different scenarios. According to these scenarios, training and test datasets were prepared by dividing all

datasets with ratios of 60/40 (Scenario 1), 70/30 (Scenario 2) and 80/20 (Scenario 3), respectively.

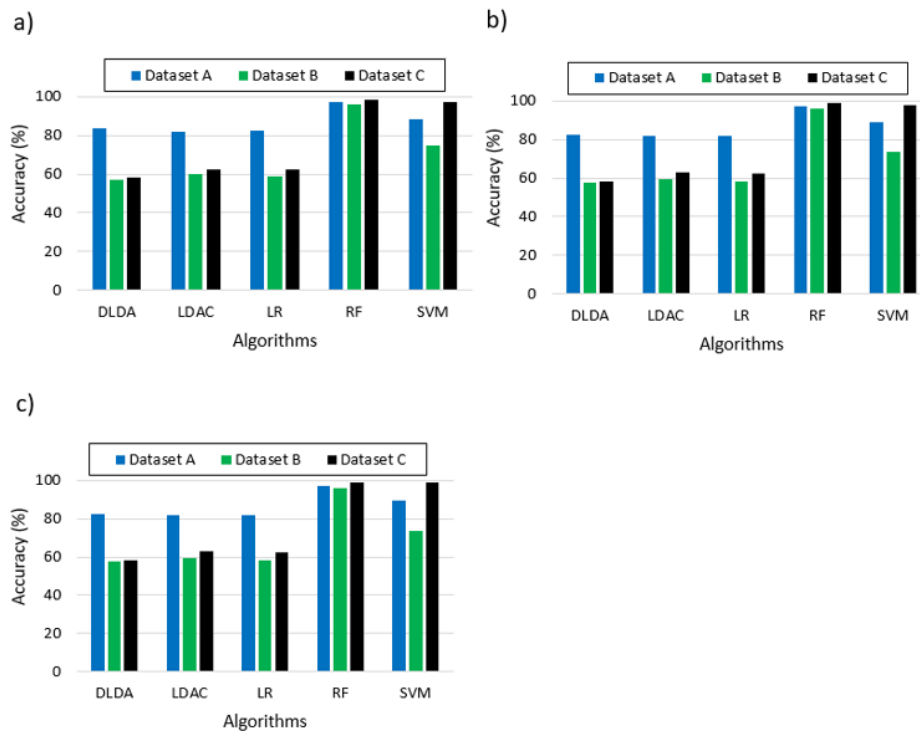


Figure 2. The performances of learning algorithm; a) The results considering 60% train and 40% test data, b) The results considering 70% train and 30% test data, c) The results considering 80% train and 20% test data.

The RF, LR and SVM algorithms were implemented using the sklearn library in Python environment, and the DLDA and LDA algorithms using the mlpy library. While applying algorithms, the number of trees for RF was selected as 100, “lbfgs” was used as solver for LR, the regularization parameter was selected as 0.1 for DLDA, and core function for SVM algorithm was selected as 'poly'. There were no parameters used for LDA. All parameters other than the parameters specified for the relevant algorithms were used with the predefined values used in the related libraries. The performances of learning algorithms on the datasets were evaluated considering Acc, Sen and Spe metrics. Experimental studies showed that RF had the best success among all algorithms. SVM algorithm showed the closest performance to RF. As seen in Table 2, RF gave 97.11%, 96.09% and 98.49% accuracies on Scenario 1 for the Dataset A, B and C, respectively. Moreover, this classifier gave

similar performances for Scenario 2 and 3 on all databases obtained by the RUS and ROS methods. When the results obtained with RF were analyzed, it was seen that while the sensitivity of this classifier was increased on datasets obtained with RUS and ROS methods, its specificity was decreased slightly. However, since the decrease of Spe value on the dataset obtained by the RUS method was higher compared to the ROS method, a better Acc was obtained with the ROS method. Situations that are valid for Scenario 1 are also valid for Scenario 2 and Scenario 3. Figure 2 clearly shows that the success on Dataset C was increased with only RF and SVM algorithms for all scenarios compared to the successes achieved with the original dataset. On the other hand, while performance of RF was decreased slightly on Dataset B, performance of SVM was quite decreased for all scenarios.

Table 2. The performance results of learning algorithms.

Scenario	Learning Algorithms	Dataset A			Dataset B			Dataset C		
		Performance metrics (%)			Performance metrics (%)			Performance metrics (%)		
		Acc	Sen	Spe	Acc	Sen	Spe	Acc	Sen	Spe
0% Training, 40% Testing	DLDA	83.87	30.5	97.59	57.12	45.88	68.14	58.29	51.49	65.22
	LDAC	81.91	12.43	99.78	60.27	40.18	79.98	62.64	46.14	79.47
	LR	82.39	16.15	99.43	59.08	41.6	76.21	62.61	48.4	77.11
	RF	97.11	91.92	98.44	96.09	97.26	94.94	98.49	99.62	97.34
	SVM	88.59	46.97	99.29	74.67	49.18	99.68	97.28	95.35	99.26
0% Training, 80% Testing	DLDA	83.68	29.28	97.28	57.54	47.08	67.87	58.62	50.04	67.19
	LDAC	82.32	12.03	99.89	61.96	42.27	81.41	63.59	48.37	78.76
	LR	82.7	14.64	99.71	59.42	43.0	75.65	63.03	49.02	76.99
	RF	97.04	91.74	98.37	95.14	97.23	93.08	98.77	99.82	97.72
	SVM	88.78	46.52	99.35	73.77	48.1	99.14	98.1	96.81	99.38
0% Training, 20% Testing	DLDA	82.7	29.42	96.34	57.93	46.2	69.72	58.1	50.35	65.92
	LDAC	81.78	11.09	99.89	59.35	41.21	77.56	62.72	48.08	77.5
	LR	81.87	12.37	99.67	58.26	42.52	74.07	62.58	49.43	75.86
	RF	97.17	92.11	98.47	95.76	98.26	93.25	98.83	99.62	98.03
	SVM	89.43	50.32	99.45	73.37	47.94	98.91	98.78	97.94	99.62

Table 3 shows that our proposed method achieved satisfying performance compared to other studies. Only, performance

of our method was slightly lower than the performance of study proposed by Sharma et al. [23].

Table 3. The comparison of the studies.

Study	Method	Acc %
Tzallas et al. [14]	Time-frequency features; using ANN	97.73
Guo et al. [15]	DWT, line length feature; using ANN	97.77
Orhan et al. [16]	DWT, clustering; using MLP	99.60
Gandhi et al. [17]	DWT and energy, std and entropy features; using SVM and Probabilistic neural network	95.4
Nicolaou et al. [18]	permutation entropy values; using SVM	
Fu et al. [19]	spectral entropies and energy features; using SVM	98.80
Samiee et al. [20]	DSTFT; using MLP	98.10
Swami et al. [21]	statistical measurements; using general regression neural network	95.24
Jaiswal and Banka [22]	Local Neighbor Descriptive Pattern and One-dimensional Local Gradient Pattern; using different machine learning algorithms	98.30
Sharma et al. [23]	fractal dimensions; using least-squares SVM	99.20
Proposed Study	ROS; using RF	98.83

4. CONCLUSION

Epilepsy, a neurological disorder that causes recurrent and sudden crises, causes a critical physical injuries or death during seizures based on many trigger factors such as genetic, physiological, brain damage, etc. The aim of this study is to compare the performance of various well-known machine learning algorithms for epileptic seizure prediction in terms of effects of unbalance and balance datasets. Into this aim, RUS and ROS methods were applied to original dataset to get balanced datasets. ROS method randomly duplicates samples of minority class in order to make the class distribution equal. However, this process increases the overfitting possibility for some machine learning algorithms. To the contrary, RUS method randomly removes the

majority class samples from the dataset, in order to make class distribution equal. Overall experiments showed that RF and SVM methods on ROS applied dataset obtained high accuracies due to not overfitting dataset. RUS method caused loss of information and decreased performance of other algorithms except than RF. RF algorithm performed well although RUS reduced the number of samples in the dataset used in this study.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank the UCI Machine Learning Repository for providing publically available EEG signal data.

REFERENCES

- [1] B. Sharif and A. H. Jafari, "Prediction of epileptic seizures from EEG using analysis of ictal rules on Poincaré plane", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 145, pp. 11-22, 2017.
- [2] E. Caplan, I. Dey, A. Scammell, K. Burnage, S.P. Paul, "Recognition and management of seizures in children in emergency departments", *Emergency Nurse*, vol. 24, no. 5, pp. 30-38, 2016.
- [3] O. Kocadagli, R. Langari, "Classification of EEG signals for epileptic seizures using hybrid artificial neural networks based wavelet transforms and fuzzy relations", *Expert Systems with Applications*, vol. 88, pp. 419-434, 2017.
- [4] H. Chu, C.K. Chung, W. Jeong, K.H. Cho, "Predicting epileptic seizures from scalp EEG based on attractor state analysis", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 143, pp. 75-87, 2017.
- [5] Z. Mohammadpoory, M. Nasrolahzadeh, J. Haddadnia, "Epileptic seizure detection in EEGs signals based on the weighted visibility graph entropy", *Seizure*, vol. 50, pp. 202-208, 2017.
- [6] T. Wan, M. Wu, X. Lai, X. Wan, J. She, Y. Du, "A four-stage localization method for epileptic seizure onset zones", *IFAC-Papers OnLine*, vol. 50, no.1, pp. 4412-4417, 2017.
- [7] I. Kiral-Kornek, S. Roy, E. Nurse, B. Mashford, P. Karoly, T. Carroll, et al., "Epileptic Seizure Prediction Using Big Data and Deep Learning: Toward a Mobile System", *Ebiomedicine*, vol. 27, pp. 103-111, 2018.
- [8] A.R. Hassan, A. Subasi, "Automatic identification of epileptic seizures from EEG signals using linear programming boosting", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 136, pp. 65-77, 2016.
- [9] N.D. Truong, L. Kuhlmann, M.R. Bonyadi, J. Yang, A. Faulks, O. Kavehei, "Supervised learning in automatic channel selection for epileptic seizure detection", *Expert Systems with Applications*, vol. 86, pp. 199-207, 2017.
- [10] J. Jia, B. Goparaju, J. Song, R. Zhang, M.B. Westover, "Automated identification of epileptic seizures in EEG signals based on phase space representation and statistical features in the CEEMD domain", *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 38, pp. 148-157, 2017.
- [11] N.S. Tawfik, S.M. Youssef, M. Kholief, "A hybrid automated detection of epileptic seizures in EEG records", *Computers & Electrical Engineering*, vol. 53, pp. 177-190, 2015.
- [12] D. Gajic, Z. Djurovic, S.D. Gennaro, F. Gustafsson, "Classification of eeg signals for detection of epileptic seizures based on wavelets and statistical pattern recognition", *Biomed. Eng. Appl. Basis. Commun*, vol. 26, no. 2, 1450021, 2014.
- [13] E. Acar, C.A. Bingol, H. Bingol, R. Bro, B. Yener, "Seizure recognition on epilepsy feature tensor", 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 4273-4276, Lyon, France, 22-26 Aug. 2007.
- [14] A. Tzallas, M. Tsipouras, D. Fotiadis, "Automatic seizure detection based on time-frequency analysis and artificial neural networks", *Comput. Intell. Neurosci.* 2007: 80510, (2007).
- [15] L. Guo, D. Rivero, J. Dorado, J.R. Rabunal, A. Pazos, "Automatic epileptic seizure detection in EEGs based on line length feature and artificial neural networks", *J. Neurosci. Methods*, vol. 191, no. 1, pp. 101-109, 2010.
- [16] U. Orhan, M. Hekim, M. Ozer, "EEG signals classification using the k-means clustering and a multilayer perceptron neural network model", *Expert Syst. Appl.* vol.38, no. 10, pp. 13475-13481, 2011.
- [17] T. Gandhi, B.K. Panigrahi, S. Anand, "A comparative study of wavelet families for EEGsignal classification", *Neurocomputing*, vol. 74, no. 17, pp. 3051-3057, 2011.
- [18] N. Nicolaou, J. Georgiou, "Detection of epileptic electroencephalogram based on permutation entropy and support vector machines", *Expert Syst. Appl.* vol. 39, no. 1, pp. 202-209, 2012.
- [19] Fu K, Qu J, Chai Y, Zou T. "Hilbert marginal spectrum analysis for automatic seizure detection in EEG signals", *Biomed Signal Process Control*, vol. 18, pp. 179-85, 2015.
- [20] K. Samiec, P. Kovács, M. Gabbouj, "Epileptic seizure classification of EEG time-series using rational discrete short-time Fourier transform", *IEEE Trans. Biomed. Eng.* vol. 62, no. 2, pp. 541-552, 2015.
- [21] P. Swami, T.K. Gandhi, B.K. Panigrahi, M. Tripathi, S. Anand, "A novel robust diagnostic model to detect seizures in electroencephalography", *Expert Syst. Appl.* vol. 56, pp. 116-130, 2016.
- [22] A.K. Jaiswal, H. Banka, "Local pattern transformation based feature extraction techniques for classification of epileptic EEG signals", *Biomed Signal Process Control*, vol. 34, pp. 81-92, 2017.
- [23] M. Sharma, R.B. Pachori, U.R. Acharya, "A new approach to characterize epileptic seizures using analytic time-frequency flexible wavelet transform and fractal dimension", *Pattern Recognition Letters*, vol. 94, pp. 172-179, 2017.
- [24] R.G. Andrzejak, K. Lehnertz, C. Rieke, F. Mormann, P. David, C.E. Elger, "Indications of nonlinear deterministic and finite dimensional structures in time series of brain electrical activity: Dependence on recording region and brain state", *Phys. Rev. E*, vol. 64, 061907, 2001.
- [25] L. Breiman, "Random forests", *Mach Learn*, vol. 45, pp. 5-32, 2001.
- [26] O. Akar and O. Gungor, "Classification of multispectral images using Random Forest algorithm", *Journal of Geodesy and Geoinformation*, vol. 1, pp. 139-146, 2012.
- [27] A. Agresti, *An Introduction to Categorical Data Analysis*, 2nd ed. New Jersey, USA: Wiley, 2007.
- [28] S. Lemeshow and D. Hosmer, *Applied Logistic*

Regression, 2nd ed. New York, USA: Wiley, 2000.

[29] R. Fisher, "The use of multiple measurements in taxonomic problems", *Annals of Eugenics*, vol. 7, pp. 179-188, 1936.

[30] Y. Jieping, "Least squares linear discriminant analysis," *ICML '07 Proceedings of the 24th international conference on Machine learning*, pp. 1087-1093, Corvallis, Oregon, USA - June 20 - 24, 2007.

[31] S. Dudoit, J. Fridlyand, T.P. Speed, "Comparison of Discrimination Methods for the Classification of Tumors Using Gene Expression Data", *Journal of the American Statistical Association*, vol. 97, no. 457, pp. 77-87, 2002.

[32] V.N. Vapnik, *The Nature of Statistical Learning Theory*, 2. Baskı, Springer-Verlag, New York, 2000.

[33] D.J. Dittman, T.M. Khoshgoftaar, R. Wald, A. Napolitano, "Comparison of data sampling approaches for imbalanced bioinformatics data", *Proceedings of the Twenty-Seventh International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference*, 2014, May 21-23, Florida.


[34] A.O. Durahim, "Comparison of sampling techniques for imbalanced learning", *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*, vol. 1, no. 3, pp. 181-191, 2016.

[35] S.A. Shaikh, "Measures derived from a 2x2 table for an accuracy of a diagnostic test", *J Biom Biostat*, vol. 2, no. 128, pp. 1-4, 2011.

Betonarme Bir Çerçevenin Farklı Yerleşim Düzenlerine Sahip Merkezi Çelik Çaprazlarla Güçlendirilmesi

*¹Emine Aydın, ²Elif Boru

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, emineb@subu.edu.tr, 

²Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, eorak@subu.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 31.05.2019

Kabul Tarihi: 11.03.2020

Öz

Yönetmeliklerin değişmesi, binaya yeni katların eklenmesi, binanın kullanım amacının değişmesi ve benzeri nedenlerden binalara onarım veya güçlendirme yapılması gerekebilir. Binaların güçlendirilmesi için birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi çelik çapraz elemanlar kullanarak güçlendirme yapmaktır. Bu güçlendirme yönteminde, hangi tür çelik çaprazın kullanılacağı, çaprazların uygun yerleşiminin nasıl olacağı başlangıç aşamasında cevaplanması gereken önemli sorulardandır. Yapılan bu çalışmada, öncelikle üç açıklıklı (açıklık mesafesi eşit olup 4.5 m) ve dokuz katlı (kat yükseklikleri eşit ve 3m) betonarme çerçeve sistemin performans analizi yapılmıştır. Performans analizi sonucunda yapının güçlendirmeye ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir. Ardından merkezi X çelik çaprazlar kullanılarak beş farklı yerleşim düzenine sahip güçlendirme modeli oluşturulmuştur. Bu sayede farklı yerleşim düzenine uygulanan çelik çaprazların binanın sismik davranışı üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Modellerin karşılaştırılmasında Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi ile yapılan performans değerlendirme sonuçları kullanılmıştır. Karşılaştırma sonucunda 2 açıklığa yapılan ve düşey süreksizliği olmayan çelik çapraz uygulamasının en uygun güçlendirme şekli olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme yapıların güçlendirilmesi, merkezi X çelik çaprazlar, Statik İtme Analizi, performans değerlendirmesi

Strengthening of a Reinforced Concrete Frame Using Centric Steel Braces with Different Configurations

*¹Emine Aydın, ²Elif Boru

¹Sakarya University of Applied Sciences, Department of Civil Engineering, emineb@subu.edu.tr,

² Sakarya University of Applied Sciences, Department of Civil Engineering, eorak@subu.edu.tr,

Abstract

Repair or strengthening of building may be required due to the change of the design codes, adding new floors to the building, changing the purpose of the building etc. There are many methods to retrofit buildings. One of them is to strengthen using steel braces. In this strengthening method one of the important questions that should be answered at the initial stage is what kind of steel brace is to be used and how the steel braces are to be arranged. In this study first, the performance analysis of a three-span (all spans are 4.5m), nine-storey (story height is 3m on each floor) reinforced concrete frame building analysis was performed. As a result of the performance analysis, it was determined that the structure needed to be strengthened. Using centric X braces 5 different reinforcing models were created. In this way, the effect of steel braces on the seismic behavior of the building was determined. In the comparison of the models, the results of the performance evaluation, with the Nonlinear Static Pushover Analysis, were used. As a result of the comparison, the optimum results were obtained from the model where central steel braces were used in each story from the first floor without vertical discontinuity.

Keywords: Retrofitting of reinforced concrete buildings, centric X steel braces, Nonlinear Static Pushover Analysis, performance assessment

1. GİRİŞ

Mevcut yapılara sismik performans değerlendirmesi yapıldığında, yönetmelik ve standartlardaki değişiklikler,

tasarım ve yapım kusurları, çevresel etkiler, kullanım ve yükleme koşullarındaki değişiklikler gibi nedenlerden dolayı tamir veya güçlendirme ihtiyacı ortaya çıkabilmektedir [1]. Tamir veya güçlendirme işlemi sırasında ihtiyaç duyulacak çalışma alanı ve uygulama süresi konusundaki kısıtlamalar,

*Sorumlu Yazar: Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, emineb@subu.edu.tr / Sakarya University of Applied Sciences, Department of Civil Engineering, emineb@subu.edu.tr,

çalışma sırasında ortaya çıkan gürültü- titreşim ve kirlilik, mimari ve/veya taşıyıcı sistem tasarımının korunması, yapısal performans kadar fonksiyonel performansın da göz önünde tutulması ve yapının uygulama sırasında kullanılmaması gibi nedenler uygulanacak güçlendirme tekniğinin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Sıralanan sebeplerden dolayı betonarme perde eklenerek yapılan güçlendirme teknikleri belirli kısıtlamaları beraberinde getirmektedir [2]. Bu kısıtlamaları bertaraf etmek için mühendisler, güvenli ve etkin birçok güçlendirme tekniği geliştirme faaliyeti içine girmişlerdir. Bu amaçla, sismik izolatörler, enerji yutucu sistemler ve aktif kontrol sistemleri gibi tekniklerin yanında, çelik malzeme ile uygulanan ve yukarıda bahsedilen koşulların hemen hemen hepsine uyan güçlendirme teknikleri de geliştirmişlerdir [3]. Taşıyıcı sistemin kolon- kiriş düzlemlerine yerleştirilecek çelik çaprazlar ile binaların sismik dayanımları artırılabilir. Çelik çaprazlar ile güçlendirme, geleneksel tasarım yöntemlerinin arasında diğer yöntemlerle kıyaslandığında etkinlik, kolaylık ve maliyet olarak uygunluğu nedeniyle genellikle en çok tercih edilenlerdendir [4][4][5][6].

Yapılan çalışmalarda dışmerkez çelik çapraz sistemler kullanılarak güçlendirilmiş betonarme binaların depremsel güvenilirliği incelendiğinde değişik tiplerde ve dağılımlarda kullanılan dışmerkez çelik çapraz sistemlerin binanın deprem performansı üzerinde iyileşme sağladığı gösterilmiştir [7][8]. Bununla birlikte çelik çaprazlar uygun yerleşim düzeni ile betonarme çerçevenin enerji sönmleme kapasitesini ve yanal yük taşıma kapasitesini arttırmaktadır [9][10][11]. Farklı kat adedine sahip betonarme binaların betonarme perde veya çelik çaprazlarla güçlendirilmesi karşılaştırıldığında incelenen yapılarda; betonarme perde ile yapılan güçlendirmelerin çelik çaprazlarla yapılan güçlendirmeye göre görece kat ötelemeleri bakımından daha etkili olduğu görülmüştür. Ancak çelik çaprazlarla yapılan güçlendirmenin de güvenlik seviyesi bakımından yeterli davranış gösterdiği belirlenmiştir. Buna göre, incelenen yapıların güçlendirilmesinde her iki yöntemin de güvenlik seviyesi bakımından yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuca dayanarak yapıların güçlendirilmesinde betonarme perde veya çelik çaprazların işçilik ve ekonomik sebepler göz önüne alınarak kullanılması önerilmektedir [12]. Ayrıca çaprazların kullanım şekilleri hakkında çeşitli deneysel çalışmalar da yapılmıştır [13]. Yapılan testler sonucunda çelik takviye elemanların çerçevenin düzlem içi mukavemetinde önemli artışlar sağladığı gösterilmiştir. [14][15]

Çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmiş betonarme yapıların deprem davranışları doğrusal olmayan analizler yardımıyla incelenmiştir. Analizler kapsamında doğrusal olmayan analizler kullanılarak yapıların elastik ötesi davranışları belirlenmiştir. Güçlendirilen betonarme yapılarla, mevcut yapı, doğrusal olmayan analiz sonuçlarına göre deprem davranışları açısından karşılaştırılmıştır. Böylelikle güçlendirilmiş yapıların davranışları belirlenmiş ve güçlendirmenin yapısal davranışa katkısı ortaya konulmuştur [16]. Yapıların güçlendirilmesi için teknolojik sönmleyicilerin ve çelik çapraz elemanların en uygun yerini

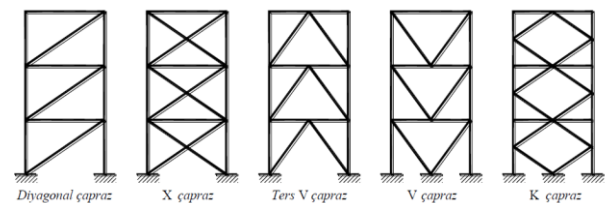
ve miktarını bulmak amacıyla oldukça etkili sayısal yöntemler önerilmiştir [17] [18].

Yapılan literatür incelemesi sonucunda çelik çaprazlar ile güçlendirmenin binanın sismik davranışını olumlu yönde etkilediği anlaşılmaktadır. Bu çalışmada; üç açıklıklı betonarme çerçeve sisteme öncelikle performans analizi yapılmıştır. Daha sonrasında binanın deprem performansını iyileştirmek amacıyla çerçeve merkezi X çelik çaprazlarla güçlendirilmiştir. Çaprazların dayanım, rijitlik ve ekonomi kriterleri dikkate alınarak uygun kullanım yerinin belirlenmesi için 5 farklı kullanım şekli ile oluşturulan modellerin Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda betonarme çerçeve sistemin sismik davranışı için en etkili merkezi X çelik çapraz kullanım yeri önerilmiştir.

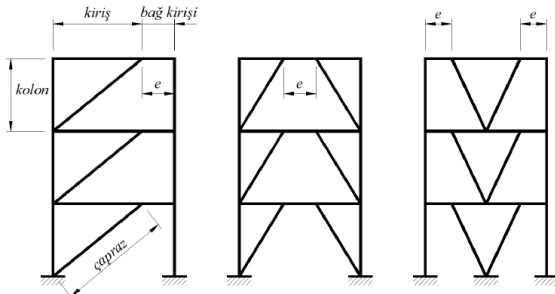
1.1. Betonarme Binaların Güçlendirilmesinde Kullanılan Çelik Çapraz Türleri

Bir yapının yanal yük dayanımı yeni yapı elemanlarının eklenmesiyle artırılabilir. Bu elemanlar uygun projelendirildiğinde deprem etkisinin büyük bir kısmına karşı koyarak, mevcut sistemin yükünü önemli ölçüde azaltırlar. Kullanılacak yeni taşıyıcı elemanın türü, mevcut yapının taşıyıcı sistemine ve hasar durumuna bağlıdır. Güçlendirme için öngörülen yeni elemanlarla sistemin rijitliği arttırılacağı için, genellikle yapıya gelen deprem kuvvetleri de artar ve sismik etkiler sistemde değişik bir dağılımla ortaya çıkar. Yeni elemanların yapı içerisinde düzgün dağıtılmasıyla, etkilerin belirli bölgede yığılması ve istenmeyen burulma etkilerinin meydana gelmesi önlenmiş olur. Mevcut ve yeni elemanlar arasındaki kuvvet geçişinin ve bütünleşmesinin sağlanması için ara bölgelerin özenle ele alınması ve projelendirilmesi gerekir [4].

Çaprazlı çelik çerçeveler, mafsallı birleşimli veya moment aktaran çerçeveler ile bunlara merkezi veya dışmerkez olarak bağlanan çaprazlardan oluşan yatay yük taşıyıcı sistemlerdir. Bu tür sistemlerin yatay yük taşıma kapasiteleri, eğilme dayanımlarının yanında, daha çok veya tümüyle elemanların eksenel kuvvet dayanımları ile sağlanmaktadır. Çaprazlı çelik çerçeveler, çaprazların düzenine bağlı olarak, merkezi çaprazlı çelik çerçeveler (Şekil 1) ve dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler (Şekil 2) olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar [19].



Şekil 1. Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler [19]



Şekil 2. Dışmerkez çaprazlı çelik çerçeveler [19]

Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler, yüksek rijitliği ve ekonomileri nedeni ile çelik çerçeve sistemlerin yanal yüklere karşı dayanımında etkindirler [20]. Merkezi çaprazlı sistemlerdeki (Şekil 1) çapraz elemanlar, şiddetli yer hareketleri sırasında doğrusal olmayan davranış gerçekleştirecek şekilde tasarlanırlar. Çapraz elemanın, deprem yer hareketi sırasında çekme kuvvetleri altında akması, basınç kuvvetleri altında ise burkulması beklenir. Süneklik, çekme kuvveti altında akan çapraz elemanlar tarafından sağlanır, diğer bir deyişle taşıyıcı sistemin dağıtması gereken sismik enerjinin önemli bir kısmı çekme kuvveti altında akan çaprazlar tarafından tüketilir. Burkulma, sünek bir davranış olmadığından burkulanan çaprazlar, taşıyıcı sistemin sünekliğine herhangi bir katkı sağlamazlar. Burkulanan çaprazlar tarafından tüketilen sismik enerji ihmal edilebilir düzeydedir. Burkulanan çaprazlarda, ani ve büyük bir dayanım düşüşü meydana gelir ve elemanın kapasitesi önemli ölçüde düşer [21].

2. ANALİZ METOTLARI

Yapılan çalışmada çelik çaprazların binanın sismik davranışına etkisini belirleyebilmek için Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi kullanılmıştır.

2.1. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi

Doğrusal olmayan statik itme analizi temel olarak, yapının yatay kuvvetler altındaki dayanımını ifade eden ve statik itme eğrisi olarak isimlendirilen yatay kuvvet-yer değiştirme ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre elde edilmesine ve değerlendirilmesine dayanmaktadır. Yatay kuvvet arttıkça statik itme eğrisinde, yatay yer değiştirmeler ve plastik şekil değiştirmeler büyümekte sistemde artarak hasar meydana gelmektedir. Statik itme analizinde yapıda düşey yükler bulunurken, deprem yüklerini temsil eden yatay yükler de aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artırılmaktadır [16]. Bu yüklemeye, noktasının yapıdaki tepe yer değiştirmesi hedef yer değiştirmeye ulaşana kadar devam edilir [22]. Hedef yer değiştirme, dikkate alınacak deprem etkisi ve bu etki altında binada ortaya çıkacak kesit etkileri ile, şekil ve yer değiştirmeleri ifade etmektedir [23]. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018)'de doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden Tek ve Çok Modlu İtme Yöntemleri uygulanarak statik itme analizi gerçekleştirilmektedir. İtme Yöntemleri ile yapılan hesap sonucunda elde edilen sünek davranışa karşı gelen değerlendirmeye esas plastik şekil

değiştirmeler, seçilen performans düzeyi için izin verilen sınır değerlerle karşılaştırılarak şekil değiştirmeye göre değerlendirme yapılır [24][25].

2.2. Şekildeğiştirmelerin değerlendirilmesi

Göçmenin Önlenmesi (GÖ) ve Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyleri için toplam birim şekildeğiştirme ve plastik dönmeler için izin verilen sınır değerler TBDY 2018 bölüm 5.8'de belirtilen bağıntılarla hesaplanmaktadır. Çalışmada taşıyıcı elemanların plastik dönme sınır değerleri Denk. (1) ve Denk. (2) kullanılarak elde edilmiştir. Bu denklemlerdeki, $\theta_p^{GÖ}$: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırını, θ_p^{KH} : Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırını, Φ_u : göçme öncesi eğriliği, Φ_y : akma eğriliğini, L_p : plastik mafsal boyunu, L_s : kesme açıklığını, d_b : boyuna donatı çapını ifade etmektedir.

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[(\Phi_u - \Phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \Phi_u d_b \right] \quad (1)$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(GÖ)} \quad (2)$$

2.3. Göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılması

Azaltılmış göreli kat ötelemesi, herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade etmektedir. (X) deprem doğrultusu için TBDY 2018 bölüm 4.9'da belirtilen bağıntılarla (Denk. 3,4,5) hesap edilmektedir.

$$\Delta_i^{(X)} = u_i^{(X)} - u_{i-1}^{(X)} \quad (3)$$

$u_i^{(X)}$ ve $u_{i-1}^{(X)}$, tipik (X) deprem doğrultusu için binanın i 'inci ve $(i-1)$ 'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirmeleri ifade etmektedir.

Binanın i 'inci katındaki kolon veya perdeler için tipik (X) deprem doğrultusu için, etkin göreli kat ötelemesi, $\delta_i^{(X)}$ ise Denk. (4) ile bulunmaktadır. Bu denklemde, R taşıyıcı sistem davranış katsayısını, I bina önem katsayısını ifade etmektedir.

$$\delta_i^{(X)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(X)} \quad (4)$$

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i 'inci katındaki kolon veya perdelerde, Denk.(4) ile hesaplanan $\delta_i^{(X)}$ etkin göreli kat ötelemesi değerlerinin kat içindeki en büyük değerinin, $\delta_{i,max}^{(X)}$ Denk. (5) ile verilen koşulu sağlaması gerekmektedir. Bu denklemde, λ göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayıyı, h_i i 'inci katın yüksekliğini, κ izin verilen göreli

kat ötelemelerinin tanımında betonarme ve çelik taşıyıcı sistemler için farklı olarak kullanılan katsayıyı ifade etmektedir.

$$\lambda \frac{\delta_{i,\max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008 \kappa \quad (5)$$

2.4. İkinci Mertebe Etkileri

Her bir i'inci katta göz önüne alınan (X) deprem doğrultusunda İkinci Mertebe Gösterge Değeri $\theta_{II,i}^{(X)}$, TBDY 2018 bölüm 4.9'da verilen bağıntıyla (Denk.6) hesaplanmaktadır.

$$\theta_{II,i}^{(X)} = \frac{(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}} \sum_{k=i}^N w_k}{V_i^{(X)} h_i} \quad (6)$$

Bu bağıntıdaki $(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}}$, azaltılmış görece kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değeri, Denk. 3' göre hesaplanmalıdır. Burada w_k , k'inci kata etkileyen toplam ağırlık, $V_i^{(X)}$, (X) deprem doğrultusunda i'inci kattaki azaltılmış kat kesme kuvvetini ifade etmektedir.

Tüm katlar için hesaplanan $\theta_{II,i}^{(X)}$ 'lerin maksimum değeri $\theta_{II,\max}^{(X)}$, TBDY 2018 bölüm 4.9'da verilen bağıntıyla (Denk.7) hesaplanmaktadır. Denklem 7 'de verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertebe etkilerinin tasarıma esas iç kuvvetlerin hesabında göz önüne alınması gerekli değildir.

$$\theta_{II,\max}^{(X)} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R} \quad (7)$$

Burada, D dayanım fazlalığı katsayısını, C_h ise taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan histeretik davranışına bağlı olarak tanımlanan bir katsayıyı ifade etmektedir. Betonarme binalarda $C_h = 0.5$, çelik ve kompozit kolonlu binalarda ise $C_h = 1$ alınmaktadır.

3. SAYISAL ÇALIŞMA

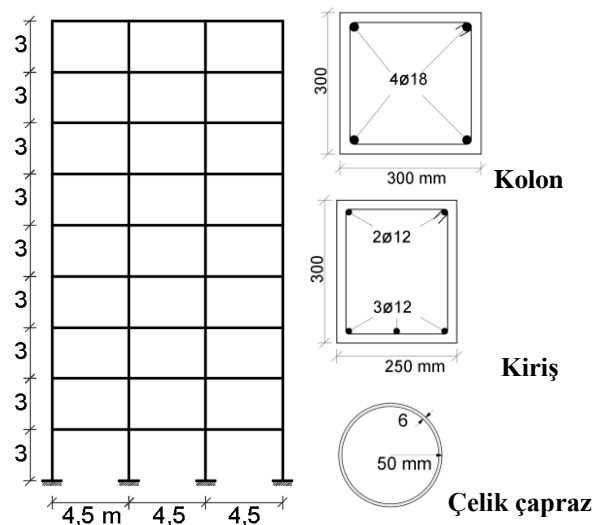
Yapılan çalışmada, betonarme binaların güçlendirilmesinde kullanılan merkezi X şeklindeki çelik çaprazların binada en uygun yerleşiminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 9 katlı, taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan bina kullanım sınıfı (BKS) 3 olan bir bina tasarlanmıştır.

3.1. Betonarme çerçeve modeli

Betonarme çerçevenin tasarımında TS500 Betonarme Binaların Tasarım ve Yapım Kuralları [26] ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 [19] koşulları dikkate alınmıştır. Binanın kat yüksekliği 3m'dir ve 4.5m uzunluğunda 3 adet açıklığı bulunmaktadır. Binada herhangi bir yapı düzensizliği bulunmamaktadır. Betonarme taşıyıcı elemanların tasarımında C25 beton sınıfı ve S420 donatı çeliği kullanılmıştır. Kolonlar 30x30cm boyutunda, kirişler

ise 25x30cm boyutunda minimum tasarım şartlarını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 3). Minimum tasarım koşullarının kullanılmasındaki amaç güçlendirme etkisini net bir şekilde görebilmektir. Taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitlikleri ise TBDY 2018 Bölüm 4'te belirtildiği şekilde uygulanmıştır.

Betonarme çerçevenin analitik modeli ve analizleri SAP2000 bilgisayar paket programında yapılmıştır [27]. Analitik modelde doğrusal olmayan davranış, kolon ve kiriş elemanlarda yatay etki altında en çok zorlanan bölgelerinde toplandığı (uç bölgeler), bunun dışında doğrusal elastik davranışın söz konusu olduğu kabulüne dayanan yığılı plastik mafsallar hipotezi ile dikkate alınmıştır. Plastik mafsallar kolonlarda iki eksenli moment ve eksenel yük etkileşimi, kirişlerde ise moment eğrilik ilişkisi ile tanımlanmıştır.

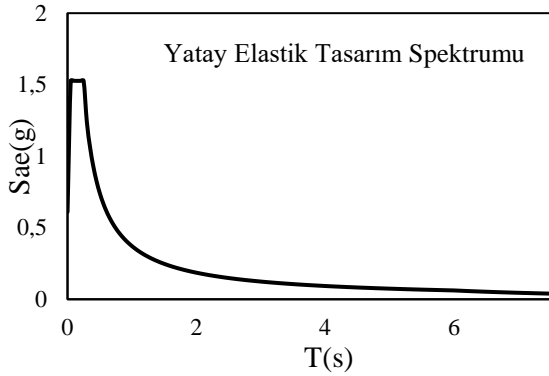


Şekil 3. Betonarme çerçeve sistemin nümerik modeli ve kesit özellikleri

Yapıların depreme dayanıklı tasarımında deprem yüklerinin hesaplanmasında dünya genelinde hazırlanmış, pek çok standart ve yönetmelik mevcuttur. Binanın yapıldığı konumdaki yer hareketi, elastik ivme spektrumu kullanılarak tarif edilmektedir. TBDY 2018 ile birlikte hazırlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritası ile deprem bölgeleri yerine artık en büyük yer ivmesi değerleri kullanılmaktadır. Tasarlanan yapının standart tasarım deprem yer hareketi olarak tanımlanan, Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2) yani spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının % 10 olduğu deprem yer hareketine maruz kalacağı düşünülmüştür.

Yapının Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi arazisinde yapıldığı ve zemin sınıfının ZB olduğu varsayılmıştır. Bu kabuller çerçevesinde Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kullanılarak binanın yapılacağı araziye ait %5 sönüm oranı için tasarım spektral ivme katsayıları ($S_{DS}=1.527$; $S_{D1}=0.372$) kullanılarak yatay elastik tasarım spektrumu elde edilmiştir (Şekil 4). DD-2 yer hareketi düzeyi için, BKS ve sismik tehlike haritasından elde edilen kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS})

değerleri dikkate alınarak binanın deprem tasarım sınıfının (DTS) 1 olduğu belirlenmiştir. Devamında ise DTS 1 için bina yükseklik sınıfının (BYS) 5 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. Binanın yapıldığı araziye ait ivme spektrumu

3.2. Betonarme çerçevenin deprem performansının değerlendirilmesi

TBDY 2018'e göre BYS değeri 2'den büyük olan binalarda kontrollü hasar (KH) performansının sağlanması gerekliliği belirtilmiştir. KH performans düzeyinde binada can kaybının yaşanmaması, bu amaçla bina taşıyıcı elemanlarındaki hasarın sınırlı düzeyde kalması hedeflenmektedir. Tasarlanan binanın KH performansını sağlayıp sağlamadığını belirlemek amacıyla Tek Modlu İtme Analizi yapılmış ve kesit plastik dönme sınırları dikkate alınarak performans değerlendirmesi yapılmıştır. Tek modlu itme analizini kullanabilme koşullarından biri olan $BYS \geq 5$ sağlanmaktadır. Diğer bir koşul olan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ olma şartı da sağlanmaktadır. Yapılan modal analiz sonucunda son şart olan hakim titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütlelerinin binanın toplam kütlelerine oranının en az %70 olması şartının sağlandığı belirlenmiştir (Tablo 1).

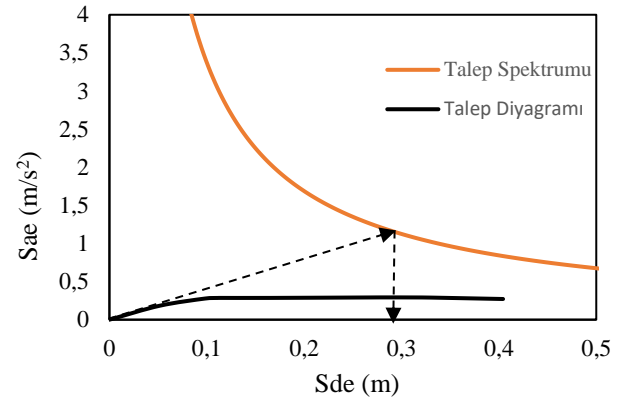
Tablo 1. Referans binanın modal analiz sonuçları

	Periyod (s)	Kütle Katılımı (%)
Referans	1.179	80.4

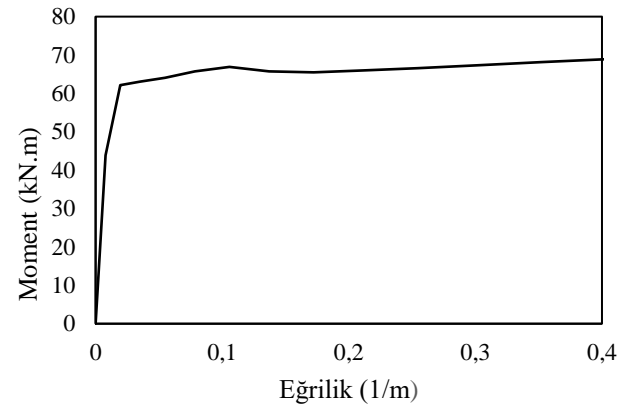
Yapılan tek modlu itme analizi sonucu elde edilen itme eğrisi TBDY 2018 Bölüm 5'te belirtilen ilgili dönüşümler uygulanarak modal kapasite diyagramına dönüştürülmüş ve talep yer değiştirme 0.29 m olarak belirlenmiştir (Şekil 5).

Talep yer değiştirme binaya uygulanması sonucunda taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan plastik dönme değerleri elde edilmiştir. Binanın performans düzeyini belirleyebilmek için yönetmelikte her bir performans düzeyi için verilen plastik dönme sınır değerlerine ihtiyaç duyulmuştur. Her performans düzeyinin plastik dönme sınır değerlerini elde etmek için tüm kesitlerin moment-

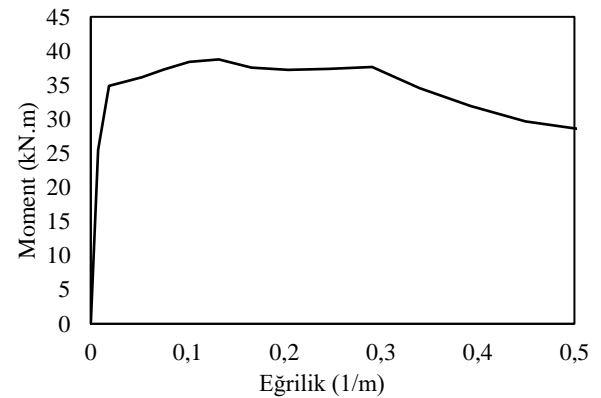
eğrilik değerleri gerekmektedir. Bu sebeple kolonlar ve kirişler için moment-eğrilik ilişkileri belirlenmiştir (Şekil 6,7).



Şekil 5. Referans binaya ait modal kapasite diyagramı



Şekil 6. Kolonlar için moment-eğrilik diyagramı



Şekil 7. Kirişler için moment-eğrilik diyagramı

Elemanlara ait akma ve göçme öncesi eğrilik değerlerinden faydalanarak kontrollü hasar (KH) ve göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyleri için yığılı plastik davranış modeline göre plastik dönmeler için izin verilen sınırlar TBDY 2018'e göre hesaplanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Hasar sınırlarına karşılık gelen plastik dönme açısı değerleri

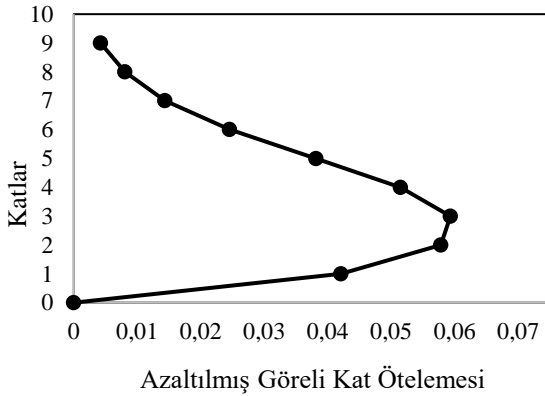
	Kontrollü Hasar (Θ_p , rad)	Göçme Öncesi (Θ_p , rad)
Kolon	0.0439	0.0586
Kiriş	0.0483	0.0644

Hedef yer değiştirme uygulanarak yapılan itme analizi sonucunda bazı kirişlerin uçlarında plastik mafsallar meydana gelmiştir. Plastik mafsalların dönme değerleri incelendiğinde KH performans düzeyi sınır değerlerini sağladığı belirlenmiştir. Kirişlerde meydana gelen en yüksek 3 mafsal dönme değeri Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. İtme analizi sonucu kirişlerde oluşan plastik dönme açısı değerleri

	Mafsal Dönme Açısı (Rad)	Kontrollü Hasar (Θ_p , rad)	Durum
Kiriş 1	0.023	0.0483	Sağlıyor
Kiriş 2	0.022	0.0483	Sağlıyor
Kiriş 3	0.018	0.0483	Sağlıyor

Tasarlanan binanın performans değerlendirmesinin yanı sıra görel kat ötelemeleri ve ikinci merteye etkilerinin yönetmelikte belirtilen sınırları sağlayıp sağlamadığı da kontrol edilmiştir. İlk olarak azaltılmış görel kat ötelemeleri hesaplanmış (Şekil 8) ve buradan etkin görel kat ötelemesi değerleri elde edilerek TBDY 2018'de verilen koşulu sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir.

**Şekil 8.** Referans binanın azaltılmış görel kat ötelemesi değerleri

Yapılan kontrolde ilk 7 katta oluşan etkin görel kat ötelemesi değerlerinin yönetmelikte verilen 0.008 olan en üst sınır koşul değerini sağlamadığı belirlenmiştir (Tablo 4).

Görel kat ötelemesi kontrolünün ardından yönetmelikte belirtildiği şekilde II. merteye gösterge değeri verilen sınır değer ile karşılaştırılmış ve II. merteye etkilerinin göz önüne alınıp alınmaması gerekliliği belirlenmiştir. II. merteye etkilerinin sınır değeri Denklem 7'ye göre hesaplanmıştır. Denklemden dayanım fazlalığı katsayısı (D) C_h katsayısı 0.5, taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) 8 olarak alınmış ve sınır değer 0.09 olarak belirlenmiştir. Yapılan hesaplar sonucunda

1. kat hariç tüm katlarda II. merteye etkileri 0.09 sınır değerini aşmaktadır (Tablo 5). Bu sebeple yapılan hesaplamalarda II. merteye etkileri göz önüne alınmıştır.

Tablo 4. Referans bina görel kat ötelemelerinin kontrolü

Kat	Δ_i	δ_i	$\lambda \frac{\delta_i}{h_i}$	Sınır koşulu (0.008)
1	0.042	0.336	0.040	Sağlamıyor
2	0.058	0.463	0.055	Sağlamıyor
3	0.059	0.475	0.057	Sağlamıyor
4	0.051	0.412	0.049	Sağlamıyor
5	0.038	0.305	0.036	Sağlamıyor
6	0.025	0.196	0.023	Sağlamıyor
7	0.014	0.115	0.014	Sağlamıyor
8	0.008	0.065	0.008	Sağlıyor
9	0.004	0.034	0.004	Sağlıyor

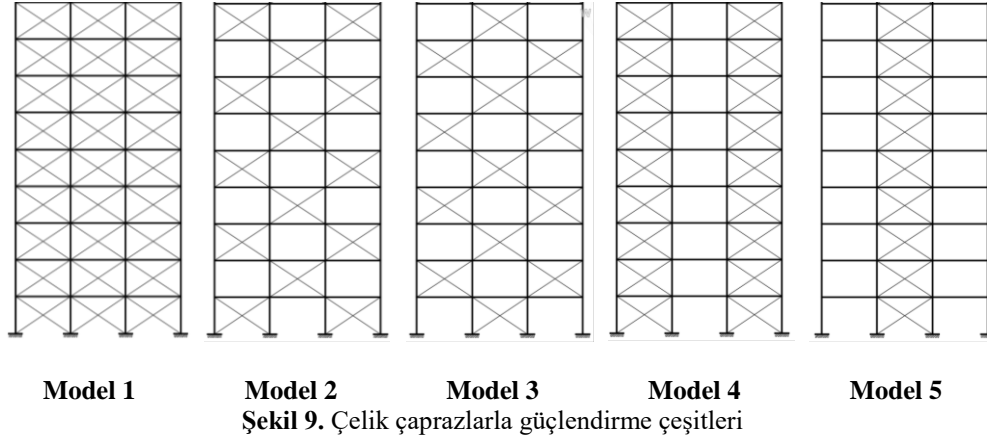
Tablo 5. Referans bina ikinci merteye etkilerinin kontrolü

Kat	Θ_{II}	$0.12 \frac{D}{C_h R}$	Durum
1	0.064	0.09	Sağlıyor
2	0.142	0.09	Sağlamıyor
3	0.226	0.09	Sağlamıyor
4	0.300	0.09	Sağlamıyor
5	0.362	0.09	Sağlamıyor
6	0.401	0.09	Sağlamıyor
7	0.429	0.09	Sağlamıyor
8	0.475	0.09	Sağlamıyor
9	0.509	0.09	Sağlamıyor

Elde edilen sonuçlar neticesinde görel kat ötelemesi değerlerinin sınırlandırılması gerektiği belirlenmiştir.

3.3. Betonarme çerçevenin güçlendirilmesi

Görel kat ötelemelerini sınırlandırmak amacıyla tasarlanan betonarme çerçeve bina çelik merkezi X çaprazlarla güçlendirilmiştir. Merkezi X çaprazlarda içi boş dairesel kesitli, S235 özellikli çelik kullanılmıştır. Çelik çaprazların analitik modellemesinde çaprazın iki ucuna atanan M3 mafsalları ile doğrusal olmayan davranış tanımlanmıştır. Güçlendirmede kullanılan çaprazın kesit özellikleri Şekil 3'te görsel olarak belirtilmiştir. Çelik çaprazların betonarme bina güçlendirmesinde çok farklı şekil ve sayıda kullanımı mümkündür. Ancak en uygun şekilde kullanmak dayanım ve maliyet açısından önem arz etmektedir. Çalışmanın bu aşamasından sonra güçlendirmede en uygun çelik çapraz kullanımını belirleyebilmek amacıyla 5 farklı güçlendirme şekli denenmiştir (Şekil 9). Güçlendirilmemiş binanın sonuçları referans alınarak Tek Modlu İtme Analizi sonucu elde edilen statik itme eğrileri ve görel kat ötelemesi değerleri dikkate alınarak modeller karşılaştırılmıştır.



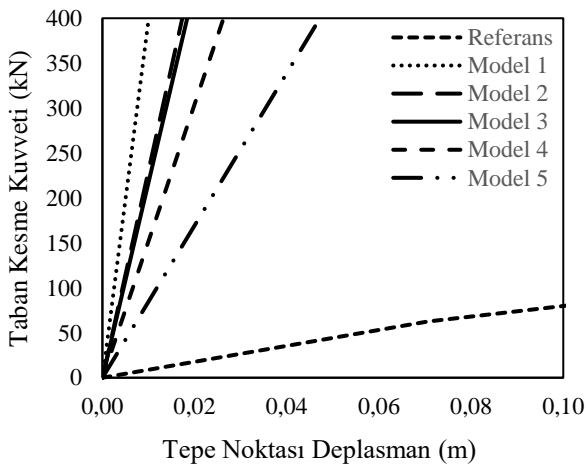
Şekil 9. Çelik çaprazlarla güçlendirme çeşitleri

3.4. Elde Edilen Bulgular

En uygun çapraz kullanımını belirlemek amacıyla Sap2000 bilgisayar paket programı kullanılarak tüm güçlendirme çeşitlerinin nümerik modelleri oluşturulmuştur. Modal analiz ve doğrusal olmayan statik itme analizi yapılmıştır. Modal analiz sonucunda tek modlu itme analizinin kullanılabilceği sonucuna varılmıştır (Tablo 6).

Tablo 6. Tüm modellerin modal analiz sonuçları

Model	Çapraz sayısı	Periyod (s)	Kütle Katılımı (%)
Referans	-	1.319	80.4
Model 1	27	0.192	76.1
Model 2	14	0.251	78.8
Model 3	13	0.256	80.8
Model 4	18	0.298	71.2
Model 5	9	0.394	72.4



Şekil 10. Tüm modellerin statik itme eğrileri

İtme analizi sonucunda tüm modeller için statik itme eğrileri elde edilmiş ve karşılaştırmalı olarak sunulmuştur (Şekil 10). Statik itme eğrileri karşılaştırıldığında güçlendirme işlemi doğru yapılırsa yapının kapasitesinin oldukça arttığı görülmektedir. İtme analizi sonucunda elde edilen statik itme eğrileri kullanılarak elde edilen kapasite diyagramları ve talep spektrumu çakıştırılarak tüm modellerin tepe yer değiştirme istemleri elde edilmiştir (Tablo 7).

Tablo 7. Modellerin yer değiştirme talepleri

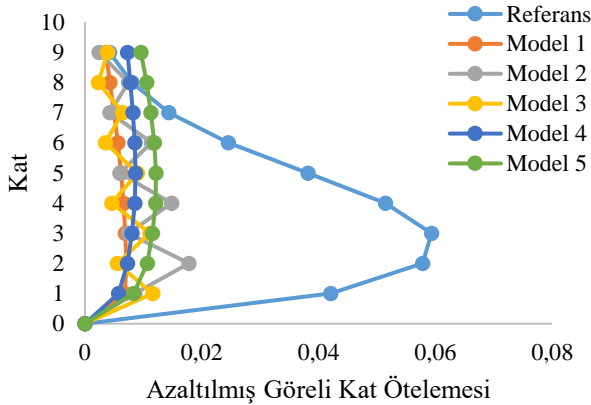
Model	Yer değiştirme Talebi (m)
Referans	0.290
Model 1	0.052
Model 2	0.080
Model 3	0.070
Model 4	0.070
Model 5	0.098

Yer değiştirme talepleri modellere uygulanarak statik itme analizi yapılmış ve modellerin plastik mafsal dönme değerleri elde edilmiştir. İtme analizi sonucunda Model 1'de mafsal oluşmamış diğer modellerde ise tüm mafsallar giriş uçlarında meydana gelmiştir. Tüm modellerin plastik dönme açısı değerleri KH performans sınır değeri ile kıyaslandığında modellerin bu performans düzeyini sağladığı belirlenmiştir. Modellerde meydana gelen en yüksek dönme açısı değerleri Tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8. İtme analizi sonucu modellerde oluşan plastik dönme açısı değerleri

Model	Mafsal Dönme Açısı (Rad)	Kontrollü Hasar (Θ _p , rad)	Durum
Model 1	-	0.0483	Sağlıyor
Model 2	0.0028	0.0483	Sağlıyor
Model 3	0.0018	0.0483	Sağlıyor
Model 4	0.0028	0.0483	Sağlıyor
Model 5	0.0034	0.0483	Sağlıyor

Güçlendirme yapmadaki asıl amaç görel kat ötelemelerinin sınırlandırılması olduğu için bundan sonraki aşamada görel kat ötelemesi değerleri incelenmiştir. Tüm modellerin azaltılmış görel kat ötelemeleri hesap edilmiş (Şekil 11) ve bu değerlerden faydalanarak maksimum etkin görel kat ötelemesi değerleri elde edilmiştir (Tablo 9). Yönetmelikte maksimum etkin görel kat ötelemeleri 0.008 değeri ile sınırlandırılmıştır.



Şekil 11. Tüm modellerin azaltılmış görel kat ötelemesi değerleri

Tablo 9. Tüm modellerin etkin görel kat ötelemesi değerleri

Kat	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
1	0.0063	0.0071	0.0097	0.0048	0.0069
2	0.0065	0.0148	0.0046	0.0061	0.0089
3	0.0064	0.0062	0.0093	0.0067	0.0096
4	0.0061	0.0124	0.0038	0.0071	0.0101
5	0.0057	0.0049	0.0075	0.0072	0.0102
6	0.0052	0.0095	0.0029	0.0071	0.0099
7	0.0046	0.0035	0.0054	0.0068	0.0094
8	0.0039	0.0062	0.0018	0.0065	0.0088
9	0.0034	0.0020	0.0032	0.0060	0.0079

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada betonarme çerçeve bir bina merkezi X çelik çaprazlarla en uygun şekilde nasıl güçlendirilebilir sorusunun cevabı aranmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında TBDY 2018'in minimum kesit ve donatı özellikleri kullanılarak tasarlanmış 9 katlı çerçevenin tasarım depremi etkisi altında güçlendirmeye ihtiyaç olup olmadığı irdelenmiştir. Bu aşamada tek modlu itme analizinden faydalanarak performans analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan performans analizi sonucunda taşıyıcı elemanlarda meydana gelen plastik dönme açısı değerlerinin yönetmelikte verilen sınırları aşmadığı belirlenmiştir. Performans analizi ardından etkin görel kat ötelemesi değerleri irdelenmiştir. Yapılan irdelemede 1. kat hariç tüm

katlarda yönetmelikte verilen sınır değerini aştığı belirlenmiştir. Çalışmada bundan sonraki asıl amaç görel kat ötelemesi değerlerinin sınırlandırılması olmuştur. Görel kat ötelemelerinin sınırlandırılması için farklı sayıda ve farklı yerleşimlerde çelik çaprazlar ile güçlendirme denenmiştir.

Karar aşamasında modal analiz sonuçları ve etkin görel kat ötelemesi sonuçları dikkate alınmıştır. İlk karşılaştırma modal analiz sonuçları üzerinden yapılacak olursa referans binanın periyod değerinin en yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur (Tablo 6). Diğer değerlendirmelerde çapraz sayısı fazla olanların periyod değerlerinin az olanlardan düşük olması beklenirken Model 4 bu beklentiyi değiştirmektedir. Model 2 ve Model 3'ten daha fazla çapraz sayısı olmasına rağmen periyod değeri ikisinden de daha yüksektir. Model 2 ve 3'te çaprazlar dağılımdan kaynaklı olarak yapıdaki tüm elemanların rijitliğine katkı sağlamaktadır. Model 4'te ise çaprazlar perde eleman gibi davranmaktadır. Orta açıklıktaki kirişler ise bağ kiriş olarak çalışmaktadır. Elde edilen bu sonuca istinaden çapraz dağılımının bina rijitliğini önemli ölçüde değiştirdiği sonucuna varılmıştır.

İkinci karşılaştırma ise görel kat ötelemeleri sonuçları üzerinden yapılmıştır. Görel kat ötelemesi değerleri incelendiğinde (Şekil 11) güçlendirme sonucu görel kat ötelemesi değerlerinin tüm modellerde azaldığı belirlenmiştir. Çapraz dağılımı her katta aynı oranda olmayan modellerde (Model 2 ve Model 3) katlar arası görel kat ötelemesi değerleri katın rijitlik oranında artıp azalmaktadır. Maksimum etkin görel kat ötelemesi değerleri incelendiğinde ise (Tablo 9) TBDY 2018'de verilen 0.008 sınır koşulunun sadece Model 1 ve Model 4'te sağlandığı sonucuna varılmıştır. Model 1 tüm kat ve açıklıklarda çapraz bulunan oldukça rijit bir model, Model 2 ise düşeyde süreklilik sağlayacak şekilde yerleştirilmiş her katta 2 adet çapraz bulunan, rijitliği Model 1'e göre daha az olan modeldir. İki çapraz kullanımında da yönetmelikte verilen koşullar sağlandığından dolayı ekonomik parametreler de göz önünde bulundurulduğunda Model 4'ün güçlendirme çalışmalarında kullanımının daha uygun olduğu belirlenmiştir. Çalışmadan çıkartılabilecek diğer bir sonuç ise yapılan güçlendirmenin katlar arası rijitlik farklılığı oluşturmayacak şekilde, düşey doğrultuda süreksizlik olmayacak şekilde yapılmasının gerekliliğidir.

5.KAYNAKLAR

- [1] A. R. Rahai and M. M. Alinia, "Performance Evaluation and Strengthening of Concrete Structures with Composite Bracing Members," *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, no. 10, pp. 2100–2110, 2008.
- [2] H. Kasap, N. Mert, E. Sevim, and B. Şeber, "Perdeli-Çerçevesiz Taşıyıcı Sistemli Binalarda Taşıyıcı Sistem Seçiminin Yapı Davranışı Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi," *Acad. Platf. J. Eng. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 48–55, 2015.
- [3] F. Piroğlu and E. Uzgüder, "Mevcut Betonarme Yapıların Çelik Malzeme ile Güçlendirilme Yöntemleri,"

Türkiye Mühendislik Haberleri, vol. 436, pp. 37–46, Feb-2005.

[4] Z. Celep and N. Kumbasar, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, 7th ed. Beta, 2004.

[5] F. Nateghi-A, “Seismic Strengthening of Eightstorey RC Apartment Building Using Steel Braces,” Eng. Struct., vol. 17, no. 6, pp. 455–461, 1995.

[6] B. M. Badoux and J. O. Jirsa, “Steel bracing of RC frames for seismic retrofitting,” J. Struct. Eng., vol. 116, no. 1, pp. 55–74, 1990.

[7] A. E. Özel, “Assessing Effects of Type and Distribution of Eccentric Steel Braces on Seismic Vulnerability of Mid-Rise Reinforced Concrete Buildings,” University of Gaziantep Graduate School of Natural & Applied Sciences, 2010.

[8] A. Rahimi and M. R. Maheri, “The effects of retrofitting RC frames by X-bracing on the seismic performance of columns,” Eng. Struct., vol. 173, no. July, pp. 813–830, 2018.

[9] Z. Yaman and E. Ağcakoca, “Dairesel Kesite Sahip Merkezi Çelik Çaprazların Performans Analizi,” Sak. Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg., vol. 22, no. 2, pp. 340–349, 2018.

[10] G. İnce, H. Tekeli, H. H. İnce, C. Öcal, K. Mercan, and H. Ulutaş, “Betonarme Çerçevelerin Düşey Bağ Kirişli Dışmerkez Çaprazlarla Güçlendirilmesi,” in International Burdur Earthquake & Environment Symposium (IBEES2015) Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu, 2015, no. May.

[11] H. Çatalkaya, “Çok Katlı Bir Çelik Yapıda Değişik Çapraz Düzenlemelerinin Yapının Depremdeki Davranışına Etkilerinin İncelenmesi,” Fen Bilimleri Üniversitesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2004.

[12] B. Yön and S. E., “Betonarme Perdeler ve Çelik Çaprazlarla Yapılan Güçlendirmelerin Karşılaştırılması,” in 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), 2011, pp. 237–242.

[13] B. T. D. Bush, E. A. Jones, and J. O. Jirsa, “Behavior of RC Frame Strengthened Using Structural Steel Bracing,” J. Struct. Eng., vol. 117, no. 4, pp. 1115–1126, 1991.

[14] M. R. Maheri and A. Sahebi, “Use of Steel Bracing

in Reinforced Concrete Frames,” Eng. Struct., vol. 19, no. 12, pp. 1018–1024, 1997.

[15] M. TahamouliRoudsari, A. Entezari, M. H. Hadidi, and O. Gandomian, “Experimental Assessment of Retrofitted RC Frames With Different Steel Braces,” Structures, vol. 11, no. June, pp. 206–217, 2017.

[16] K. A. Korkmaz, “Çelik Çapraz Elemanlarla Güçlendirilen Betonarme Yapıların Deprem Davranışlarının İncelenmesi,” Doğu Üniversitesi Derg., vol. 8, no. 2, pp. 191–201, 2007.

[17] E. Aydın, “Yapıların Deprem Davranışlarının İyileştirilmesi İçin Sönümleyicilerin ve Çelik Çapraz Elemanların Optimum Yerleşimi,” İstanbul Teknik Üniversitesi, 2005.

[18] M. R. Maheri and S. Yazdani, “Design of Steel Brace Connection to an RC Frame Using Uniform Force Method,” J. Constr. Steel Res., vol. 116, pp. 131–140, 2016.

[19] AFAD, TBDY 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. 2018.

[20] B. V. Fell, A. M. Kanvinde, A. M. Asce, G. G. Deierlein, F. Asce, and A. T. Myers, “Experimental Investigation of Inelastic Cyclic Buckling and Fracture of Steel Braces,” J. Struct. Eng., vol. 135, no. 1, pp. 19–32, 2008.

[21] AISC 341-10 (2010) Seismic Provisions for Steel Structural Buildings, American Institute of Steel Construction. Chicago, IL.

[22] M. Taghipour, “Seismic Analysis (Non-linear Static Analysis (Pushover) and Nonlinear Dynamic) on Cable - Stayed Bridge,” Am. J. Civ. Eng., vol. 3, no. 5, p. 129, 2016.

[23] C. Yılmaz, “Statik İtme Analiziyle Mevcut Bir Betonarme Yapının Performans Değerlendirmesi,” İstanbul Teknik Üniversitesi, 2008.



[24] L. Balik, “Mevcut Binaların Deprem Performanslarının 2007 Ve 2018 Deprem Yönetmeliklerine Göre Değerlendirilmesi,” Pamukkale Üniversitesi, 2019.

[25] I. Dalyan, B. Sahin, and E. C. Section-stiffness, “Evaluation of The Structural System Performance of an Existing Reinforced Concrete Building Under Earthquake Loads According to the 2007 and 2018 Turkish Earthquake Codes,” vol. 1, no. December, pp. 134–147, 2019.

[26] TSE, TS 500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. 2000.

[27] Computers and Structures INC, “SAP2000.” .

Determination of Biogas Potential of Livestock Manure: A Case Study from Mersin Province

*¹Habibe Elif Gülşen Akbay, ²Halil Kumbur¹Mersin University, Department of Environmental Engineering, 33343, Mersin, Turkey, elifgulsen@mersin.edu.tr ²Mersin University, Department of Environmental Engineering, Mersin, Turkey, hkumbur@mersin.edu.tr 

Research Paper

Arrival Date: 11.07.2019

Accepted Date: 27.11.2019

Abstract

Rapidly growing population, ever-evolving industrialization, increasing energy and fertilizer prices with the decreasing natural resources caused the interest in biogas technology. At this point, waste produced from livestock farming is a good source for biogas production either on farm scale or as cooperatives involving several farms of a whole region. In this study, it was aimed to determine the potential of biogas from accessible animal manure such as bovine, ovine and poultry in Mersin province and its equivalence to other types of fuels by the information obtained from the literature. When the animal existence is examined based on districts of Mersin province, it is seen that there are 20,200,937 farm animals in total. In the direction of this numerical data, the total amount of calculated annual manure is 1,752,474 ton/year, while the amount of usable/collectible animal manure is 1,009,452 ton/year. It has been determined that biogas of about 60 million m³ per year can be theoretically obtained from the sum of the animal manures and this value can produce electric energy of 280 GWh per year. It has been determined that a total of 128,609,656 TL (21,217,378 \$) in electricity consumption can be achieved in the district by using animal manure in biogas production. It is also estimated that the biogas produced could meet the need for 1 year cooking energy for approximately 106,606 households. It has been determined that the utilization of animal manures will make an important contribution to Mersin in terms of socio-economic development.

Keywords: Animal manure, Biogas, Electricity, Livestock farming, Mersin

1. INTRODUCTION

Due to the limited availability of fossil fuel reserves, the importance of energy procurement in sustainable development is increasing steadily. On a global scale, it is predicted that energy consumption will increase by 28 percent until 2040 and a large part of this increase will be due to the developing countries. Green energy and new technologies are emerging as priority issues while energy politics is being dealt with nowadays. For this reason, renewable energy is expected to stand out as the world's fastest growing energy source [1].

In the search for all this energy source, biomass energy is the new alternative which has been prominent and demanded among the energy sources in recent years. Encouragement of biomass-related investments, which experts describe as an inexhaustible source of energy, is one of the priorities of the energy sector worldwide. In addition, the conversion of biomass resources to energy is very important because of its positive environmental impacts. When the optimum balance between raw materials and production technologies is established, biomass energy can be produced in an environmentally sensitive manner [2]. Biomass energy will be

sustainable if the reduction in carbon emissions and increased economic efficiency are correctly assessed [3].

Nowadays, Turkey's waste biomass potential is about 8.6 million tons of oil equivalent (Mtoe) and the amount of biogas that can be produced is estimated to be 1.5-2 Mtoe by the end of 2017, 634.2 MW of installed power of 122 pieces "waste renewable energy plant" (biogas, biomass, waste heat and pyrolytic oil) is operated in Turkey. This corresponds to approximately 0.7% of Turkey's total installed power base. Biomass-derived electricity production was 1.610 GWh at the end of June, 2018 [4].

Biogas production processes are at the forefront of the most up-to-date technology in which biomass energy is actively produced. It is a flammable gas obtained as a result of the processing of biomass and is derived from organic raw materials, unlike other gases. In addition, energy plants such as corn, barley or sugar beet [5], municipal or industrial wastes [6], animal manure [7], timber wastes [8], forest [9] and agricultural residues [10] etc. can be used as raw material in biogas production. Biogas; to be stored as a flexible energy carrier, the availability of a wide variety of biological resources

that can be used for production and the advantages of having a wide range of applications, it has an important position in heating, transportation and electricity generation etc. [6].

The use of animal and agricultural wastes, which play an important role in terms of raw material quality for alternative energy production, is gaining importance in terms of environmental and energy optimization within sustainable development models. In particular, animal solid wastes are regarded as the ideal source for the production of biogas (65% CH₄, 35% CO₂) after being subjected to biological treatment [11]. Some of the animal manures are used in agriculture as organic fertilizer, but these wastes, especially stored in open fields on the farms, cause mosquitoes and other pests to replicate. In this way, such nonpoint source (NPS) pollution is transported to other environments and creates non-hygienic conditions. In addition, the odor problem that emerges is an undeniable issue. Uncontrolled disposal and storage of such wastes also lead to contamination of groundwater and surface waters. The evaluation of these wastes is very important in terms of the country's economy and environmental health. In particular, the use of animal manure for energy production presents significant opportunities in areas where intensive stockbreeding is being implemented [12].

In Turkey, as well as all over the world, animal products are the most important resource in society adequate and balanced nutrition. Animal husbandry is crucial not only in the provision of food but also in the protection of rural areas, the protection of biodiversity and the raising of living standards in rural areas.

Mersin province is located between 36-37 ° north latitude and 33-35 ° east longitude in southern of Turkey and located on the Mediterranean coast and called as "Pearl of the Mediterranean". The total area of Mersin is 16,010 km², making it the 9th largest province in the country. In this study, firstly the production potential of livestock manure in Mersin province and districts has been defined. Then, depending on the data obtained, biogas production potential of livestock manure and equivalent quantities of other fuels of this potential are calculated in the province. In addition, bio-fertilizer potential which can be produced after biogas production is calculated.

2. MATERIAL AND METHODS

In this study, for the determination of the biomass potential of Mersin Province, waste manure amounts of bovine, ovine and poultry were evaluated. To obtain the necessary numerical values, Turkey Statistical Institute (TUIK) data of 2017 was used [13]. According to this data, the biogas quantities that can be obtained from accessible animal wastes and the conversion capacities of different types of effective fuels that can be obtained from 1 m³ biogas have been calculated. The assumptions that can be used in the calculation of the biogas potential that can be obtained from animal wastes and the biogas values that can be produced are given in Table 1 [14-16]. In addition, the effective heat of 1 m³ biogas and the equivalent of different fuel types are presented in Table 2 [17-20].

Table 1. Theoretical manure and biogas amounts produced per year depending on animal class

Animal Species	Amount of manure produced per animal (ton/year wet manure)	The amount of biogas that can be obtained from one ton of manure (m ³ /year biogas)
Bovine	3.6	33
Ovine	0.7	58
Poultry	0.022	78

Table 2. Equivalent to different fuel types of effective heat of biogas (1 m³)

Energy Type	Equivalent	Energy Type	Equivalent
Electric	4.70 kWh	Butane	0.43 kg
Gas	0.62 L	Propane	0.25 m ³
Diesel	0.66 L	Coal	1.46 kg
Gasoline	0.75 L	Wood	3.47 kg

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Theoretical Animal Manure Potential of Mersin Province

There are 20,200,937 livestock including 115,120 bovine, 1,321,761 ovine, and 18,764,056 poultry in Mersin Province. Distribution of total livestock numbers in districts of Mersin Province is given in Figure 1 and initial data including the population of each animal species per districts are given in Table 3 and determined using TUIK data for the year 2017. Generally, potential values are taken into account when estimating animal manure generation data for different animal species, but in practice only a specific fraction of this manure can be collected. The amount of manure can be accessed according to the study conducted for the biogas potential in Turkey has been described as technical biogas potential. In this case, 50% of the current manure of bovine is considered collectible, while for poultry this value is chosen as 99%. In some studies, collectible bovine manure was accepted at 50% for western region while those at the east was accepted at 15%. In this study, acceptances for collectible manure rates were determined as 41% for bovine-ovine and 99% for poultry by taking an average of pasture (3 months) and other months (9 months) [21]. Estimation of the collectible manure amount per year was calculated by multiplying the amount of manure produced per animal species by the collectible manure rate after multiplying with the relevant animal population. Theoretical and collectible manure quantities that can be obtained annually by considering the population of each animal species in Mersin province are given in Table 4. Total theoretical and collectible livestock manure based on districts of Mersin are given in Figure 2.

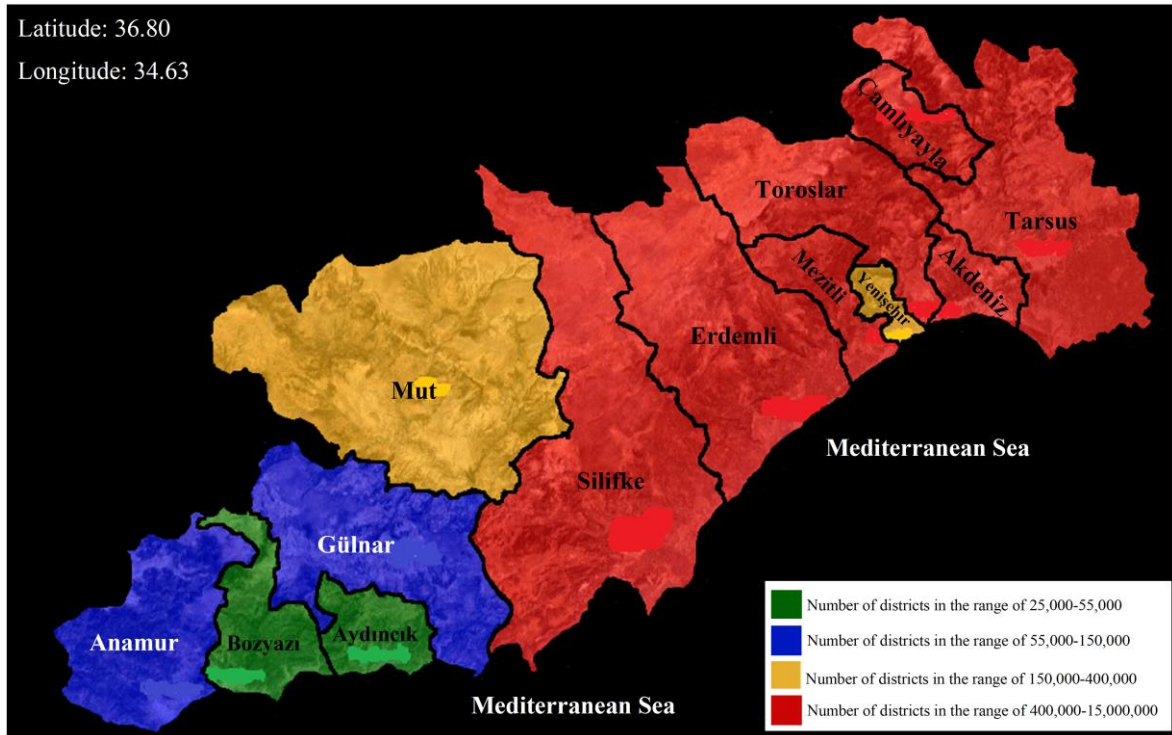


Figure 1. Distribution of total livestock numbers in districts of Mersin Province

Table 3. Distribution of livestock numbers according to districts of Mersin

Districts	Bovine	Ovine	Poultry	Total
Akdeniz	13,279	79,856	1,671,400	1,764,535
Anamur	3032	39,086	55,213	97,331
Aydıncık	424	37,741	3250	41,415
Bozyazı	1133	31,369	4905	37,407
Çamlıyayla	1631	43,564	903,290	948,485
Erdemli	8550	218,768	281,350	508,668
Gülнар	6283	91,635	51,925	149,843
Mezitli	2167	36,097	985,497	1,023,701
Mut	20,403	178,848	172,792	372,043
Silifke	12,737	200,376	187,910	401,023
Tarsus	37,956	275,710	12,450,630	12,764,296
Toroslar	5849	60,701	1,757,250	1,823,800
Yenişehir	1676	28,070	238,644	268,390
Total	115,120	1,321,761	18,764,056	20,200,937

Table 4. Theoretical and collectible manure quantities that can be produced per year in Mersin

Districts	Theoretical manure (ton/year)				Collectible manure(ton/year)			
	Bovine	Ovine	Poultry	Total	Bovine	Ovine	Poultry	Total
Akdeniz	47,804	55,899	36,771	140,474	19,600	22,919	36,403	78,922
Anamur	10,915	27,360	1215	39,490	4475	11,218	1203	16,895

Aydıncık	1526	26,419	72	28,017	626	10,832	71	11,528
Bozyazı	4079	21,958	108	26,145	1672	9003	107	10,782
Çamlıyayla	5872	30,495	19,872	56,239	2407	12,503	19,674	34,584
Erdemli	30,780	153,138	6190	190,107	12,620	62,786	6128	81,534
Gülнар	22,619	64,145	1142	87,906	9274	26,299	1131	88,212
Mezitli	7801	25,226	21,681	54,708	3198	10,343	21,464	35,005
Mut	73,451	125,194	3801	202,446	30,115	51,329	3763	85,208
Silifke	45,853	140,263	4134	190,250	18,800	57,508	4093	80,400
Tarsus	136,642	192,997	273,914	603,552	56,023	79,129	271,175	406,327
Toroslar	21,056	42,491	38,660	102,207	8633	17,421	38,273	64,327
Yenişehir	6034	19,649	5250	30,933	2474	8056	5198	15,728
Total	414,432	925,234	412,810	1,752,474	169,917	379,346	408,683	1,009,452

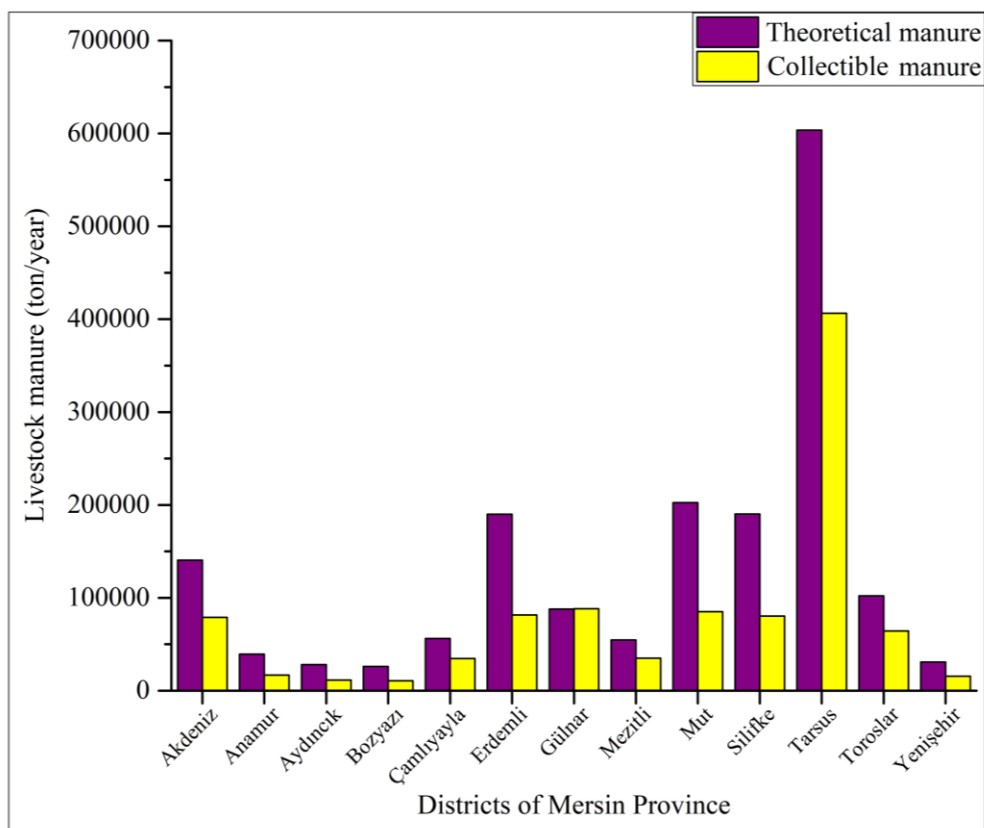


Figure 2. Total theoretical and collectible livestock manure based on districts of Mersin

3.2 Theoretical Biogas Production Potential from Animal Manure in Mersin Province

When biogas potential that can be obtained according to animal species is examined, it is estimated that more biogas can be produced from poultry in proportion to the amount of animal fertilizer that can be collected in Mersin Province. Due to the fact that the bovine and ovine livestock are carried

out in the grassland and the control of waste manure in the pasture areas cannot be provided, the biogas production potential from the livestock activity is technically low despite the fact that it is high in theory. Theoretical biogas production potential calculated by taking into consideration collectible animal manure in Mersin province is given in Table 5. In accordance with the calculations performed, the biogas potential from animal manure across Mersin has been

determined as 59,486,428 m³/year. Theoretical biogas production potential according to manure type in Mersin province is given in Figure 3.

When the seasonal effect is considered, the amount of collectible manure is increased by making livestock in enclosed areas in winter months. This is an indication that biogas production potential may change depending on the waste variability that can be achieved during summer and winter months.

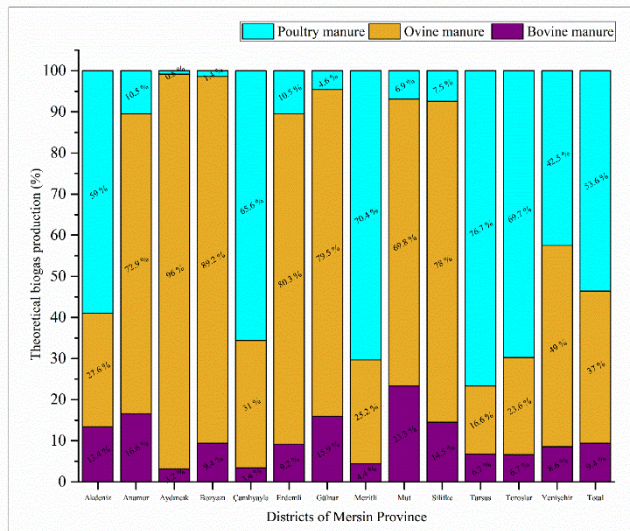


Figure 3. Theoretical biogas production potential according to manure type in Mersin province

3.3 Conversion of Biogas Heat Power to Other Fuels in Mersin

The equivalent heat power of the producible biogas in Mersin Province to other fuels is given in Table 6. It has been determined that the thermal energy corresponding to the theoretical amount of biogas that can be produced annually in Mersin in the direction of the calculations made can be provided with 279,586,210 kWh electrical, 206,417,900 kg wood, 44,614,820 L gasoline or 39,261,041 L diesel fuel.

Consumption of 1 kWh of electricity [22], 1 kg wood [23], 1 L gasoline and 1 L diesel [24] are billed as 0.46 TL, 0.5 TL, 6.95 TL and 6.35 TL, respectively for the year 2018 in Turkey.

Considering the other fuels that are equal to producible biogas potential from animal manure annually in Mersin, it is estimated that a profit of 128,609,656 TL; 103,208,950

TL; 310,072,999 TL and 249,307,610 TL could be achieved from electric energy, wood, gasoline and diesel, respectively. The value of the financial savings that can be obtained from the use of other fuels through the production of biogas in Mersin is given in Table 7.

When the table is examined, it is seen that the province-wide income that can be obtained from electricity is 20,689,380 \$, 16,513,432 \$ from wood, 49,611,680 \$ from gasoline and 39,889,218 \$ from diesel oil. The amount of income that can be obtained based on districts of Mersin Province is given in Figure 4.

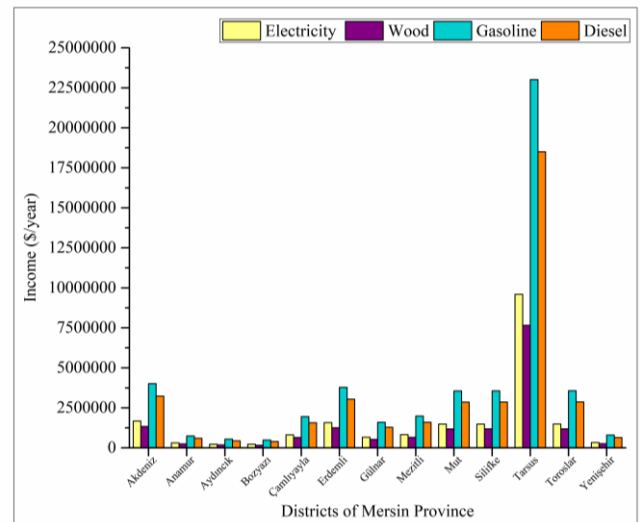


Figure 4. The amount of income that can be obtained based on districts of Mersin Province

3.4. Biogas for Cooking in Mersin Province

Biogas is a type of alternative energy that can be used for cooking and heating needs in areas such as homes and offices. A family of five or six people needs an average of 1m³ of methane (CH₄) per day to cook three meals [25]. According to this information, if 1 m³ of biogas contains about 65% methane on average, it is possible that one family can provide daily cooking needs with 1.53 m³ biogas. The annual theoretical biogas potential of Mersin Province is 59,486,428.5 m³ as shown in Table 5. When this value is divided by the biogas value (558 m³), which is the annual cooking requirement of a family, it is predicted that the cooking needs of 106,606 families living in Mersin province can be met. Thanks to the biogas energy, it is also possible to meet the heating or electricity needs of the residents in the region.

Table 5. Theoretical biogas production potential from animal manure in Mersin province

Districts	Theoretical biogas production (m ³ /year)			
	Bovine	Ovine	Poultry	Total
Akdeniz	646,793.5	1,329,283	2,839,441.2	4,815,518
Anamur	147,682.7	650,625.6	93,798.053	892,106.3
Aydıncık	20,652.19	628,236.7	5521.23	654,410.1
Bozyazı	55,186.16	522,168.4	8332.8102	585,687.3
Çamlıyayla	79,442.75	725,166.3	1,534,545.2	2,339,154
Erdemli	416,453.4	3,641,612	477,968.63	4,536,034
Gülnar	306,032.4	1,525,356	88,212.267	1,919,601
Mezitli	105,550.2	599,871.9	1,674,201.7	2,379,624
Mut	993,789.3	2,977,104	293,545.96	4,264,439
Silifke	620,393.8	3,335,459	319,229.02	4,275,082
Tarsus	1,848,761	4,589,469	21,151,628	27,589,858
Toroslar	284,893.1	1,010,429	2,985,286.6	4,280,609
Yenişehir	81,634.61	467,253.2	405,417.97	954,305.8
Total	5,607,265.1	22,002,034.1	31,877,128.6	59,486,428.5

3.5. Bio-fertilizer Production and Sales in Mersin Province

The proportion of dry matter content contained in animal wastes is important in the production of bio-fertilizer. The dry matter ratios vary according to the animal species. It is stated that the dry matter ratios are 15-20% in bovine manure, 40% in ovine manure and 30% in poultry manure [14,26].

In calculations for bio-fertilizer production after producing biogas; the dry matter content of bovine manure, ovine manure and poultry manure were accepted as 20%, 40% and 30%, respectively. In Mersin province, annual collectible bovine, ovine and poultry manure were given as 169,917 ton/year; 379,346 ton/year and 408,683 ton/year, respectively in Table 4. If the dry matter content of the manures attached to animal species were calculated in Mersin Province according to Eq (1);

$$CDM= M \times \%DM \tag{1}$$

CDM: Dry matter content of manure (tonDM/year),
 M: Amount of annual manure (ton/year),
 %DM: Dry matter content)

Bovine manure: 169,917 x 0.20 = 33,983 tonDM/year
 Ovine manure: 379,346 x 0.40 = 151,738 tonDM/year
 Poultry manure: 408,683 x 0.30 = 122,604 tonDM/year

It is stated that packable-pelleted bio-fertilizer should contain an average of 12% moisture [27]. The annual amount of bio-fertilizer that can be obtained after achieving this moisture content in manures was calculated according to Eq (2);

$$BF= CDM + (CDM \times 0.12) \tag{2}$$

BF: Amount of bio-fertilizer (ton BF/year),
 CDM: Dry matter content of manure (tonDM/year)

Bovine bio-fertilizer: 33,983+ (33,983 x 0.12) = 38,060 ton BF/year or 3172 tonBF/month

Ovine bio-fertilizer: 151,738 + (151,738 x 0.12) = 169,946 ton BF/year or 14,162 tonBF/month

Poultry bio-fertilizer: 122,604+ (122,604 x 0.12) = 137,317 ton BF/year or 11,443 tonBF/month

In calculations for the income from the sale of bio-fertilizer; the price of 1 kg bovine, ovine and poultry bio-fertilizer were accepted as 1.57 TL, 1.49 TL and 1.80 TL, respectively. In this case, with the sale of bio-fertilizer that are formed after biogas production in Mersin province 59,754,200 TL; 253,219,540 TL and 247,170,600 TL can be earned by bovine, ovine and poultry bio-fertilizers, respectively.

Table 6. The equivalent heat power of the producible biogas in Mersin to other fuels

Districts	Animal Species	Biogas production (m ³ /year)	Electricity (kWh/year)	Wood (kg/year)	Gasoline (L/year)	Diesel (L/year)
Akdeniz	Bovine	646,794	3,039,930	2,244,374	485,095	426,884
	Ovine	1,329,283	6,247,630	4,612,612	996,962	877,327
	Poultry	2,839,441	13,345,374	9,852,861	2,129,581	1,874,031
Anamur	Bovine	147,683	694,108	512,459	110,762	97,471
	Ovine	650,626	3,057,940	2,257,671	487,969	429,413
	Poultry	93,798	440,851	325,479	70,349	61,907
Aydıncık	Bovine	20,652	97,065	71,663	15,489	13,630
	Ovine	628,237	2,952,712	2,179,981	471,178	414,636
	Poultry	5521	25,950	19,159	4141	3644
Bozyazı	Bovine	55,186	259,375	191,496	41,390	36,423
	Ovine	522,168	2,454,191	1,811,924	391,626	344,631
	Poultry	8333	39,164	28,915	6250	5500
Çamlıyayla	Bovine	79,443	373,381	275,666	59,582	52,432
	Ovine	725,166	3,408,282	2,516,327	543,875	478,610
	Poultry	1,534,545	7,212,362	5,324,872	1,150,909	1012800
Erdemli	Bovine	416,453	1,957,331	1,445,093	312,340	274,859
	Ovine	3,641,612	17,115,577	12,636,394	2,731,209	2,403,464
	Poultry	477,969	2,246,453	1,658,551	358,476	315,459
Gülnar	Bovine	306,032	1,438,352	1,061,932	229,524	201,981
	Ovine	1,525,356	7,169,174	5,292,986	1,144,017	1,006,735
	Poultry	88,212	414,598	306,097	66,159	58,220
Mezitli	Bovine	105,550	496,086	366,259	79,163	69,663
	Ovine	599,872	2,819,398	2,081,555	449,904	395,915
	Poultry	1,674,202	7,868,748	5,809,480	1,255,651	1,104,973
Mut	Bovine	993,789	467,0810	3,448,449	745,342	655,901
	Ovine	2,977,104	13,992,388	10,330,550	2,232,828	1,964,889
	Poultry	293,546	1,379,666	1,018,604	220,159	193,740
Silifke	Bovine	620,394	2,915,851	2,152,766	465,295	409,460
	Ovine	3,335,459	15,676,657	11,574,042	2,501,594	2,201,403
	Poultry	319,229	1,500,376	1,107,725	239,422	210,691
Tarsus	Bovine	1,848,761	8,689,176	6,415,200	1,386,571	1,220,182
	Ovine	4,589,469	21,570,503	15,925,456	3,442,101	3,029,049
	Poultry	21,151,628	99,412,653	73,396,150	15,863,721	13,960,075
Toroslar	Bovine	284,893	1,338,998	988,579	213,670	188,029
	Ovine	1,010,429	4,749,016	3,506,188	757,822	666,883
	Poultry	2,985,287	14,030,847	10,358,944	2,238,965	1,970,289
Yenişehir	Bovine	81,635	383,683	283,272	61,226	53,879
	Ovine	467,253	2,196,090	1,621,369	350,440	308,387
	Poultry	405,418	1,905,464	1,406,800	304,063	267,576
Total		59,486,428	279,586,210	206,417,900	44,614,820	39,261,041

Table 7. The value of the financial savings in US dollars (May 2019) that can be obtained from the use of other fuels through the production of biogas in Mersin (1TL=0.16\$)

Districts	Animal Species	Electricity (\$/year)	Wood (\$/year)	Gasoline (\$/year)	Diesel (\$/year)
Akdeniz	Bovine	224,955	179,550	539,426	433,714
	Ovine	462,325	369,009	1,108,622	891,364
	Poultry	987,558	788,229	2,368,094	1,904,015
Anamur	Bovine	51,364	40,997	123,167	99,031
	Ovine	226,288	180,614	542,622	436,284
	Poultry	32,623	26,038	78,228	62,898
Aydıncık	Bovine	7183	5733	17,224	13,848
	Ovine	218,501	174,398	523,950	421,270
	Poultry	1920	1533	4605	3702
Bozyazı	Bovine	19,194	15,320	46,026	37,006
	Ovine	181,610	144,954	435,488	350,145
	Poultry	2898	2313	6950	5588
Çamlıyayla	Bovine	27,630	22,053	66,255	53,271
	Ovine	252,213	201,306	604,789	486,268
	Poultry	533,715	425,990	1,279,811	1,029,005
Erdemli	Bovine	144,842	115,607	347,322	279,257
	Ovine	1,266,553	1,010,912	3,037,104	2,441,919
	Poultry	166,238	132,684	398,625	320,506
Gülнар	Bovine	106,438	84,955	255,231	205,213
	Ovine	530,519	423,439	1,272,147	1,022,843
	Poultry	30,680	24,488	73,569	59,152
Mezitli	Bovine	36,710	29,301	88,029	70,778
	Ovine	208,635	166,524	500,293	402,250
	Poultry	582,287	464,758	1,396,284	1,122,653
Mut	Bovine	345,640	275,876	828,820	666,395
	Ovine	1,035,437	826,444	2,482,905	1,996,327
	Poultry	102,095	81,488	244,817	196,840
Silifke	Bovine	215,773	172,221	517,408	416,011
	Ovine	1,160,073	925,923	2,781,773	2,236,625
	Poultry	111,028	88,618	266,237	214,062
Tarsus	Bovine	642,999	513,216	1,541,867	1,239,705
	Ovine	1,596,217	1,274,036	3,827,616	3,077,514
	Poultry	7,356,536	5,871,692	17,640,458	14,183,436
Toroslar	Bovine	99,086	79,086	237,601	191,037
	Ovine	351,427	280,495	842,698	677,553
	Poultry	1,038,283	828,716	2,489,729	2,001,814
Yenişehir	Bovine	28,393	22,662	68,083	54,741
	Ovine	162,511	129,710	389,689	313,321
	Poultry	141,004	112,544	338,118	271,857
Total		20,689,380	16,513,432	49,611,680	39,889,218

4. CONCLUSIONS

In this study, considering the number of registered bovine, ovine and poultry in the districts of Mersin Province; The amounts of animal manure that can be collected, the related theoretical biogas production values and the energy data obtained from equivalent fuels, the financial gain values, the amount of bio-fertilizer production was calculated. According to the calculations, it was determined that biogas

could be produced over 59 million m³ per year from the total of animal fertilizers produced in a year. Approximately 280 million kWh of electricity will be generated from this biogas annually. With this value, it is calculated that a profit of 128,609,656 TL (20,495,234 \$) can be achieved in electricity consumption in the province. Also, it is predicted that the cooking needs of 106,606 families living in Mersin province can be met by biogas production. Bio-fertilizer production after producing biogas is an important advantage. In this

case, with the sale of bio-fertilizer that are formed after biogas production in Mersin province 59,754,200 TL; 253,219,540 TL and 247,170,600 TL can be earned selling of bovine, ovine and poultry bio-fertilizers, respectively.



As a result, considering the livestock potential of Mersin Province, if animal waste is evaluated in biogas and then in bio-fertilizer production, it will reveal many social, economic and environmental positive effects on provincial basis. For this purpose, biogas production should be encouraged and supported by feasibility studies by taking into consideration the animal numbers and operating conditions in the province.



REFERENCES

- [1] KPMG, Enerji Sektör Bakış. URL: <https://home.kpmg/tr/tr/home/gorusler/2018/02/sektorel-bakis-2018-enerji.html>. (Visited on March 14, 2018).
- [2] R. Zah., H. Böni, M. Gauch, R. Hischer, M. Lehmann, and P. Wäger, "Life Cycle Assessment of Energy Products: Environmental Impact Assessment of Biofuels" Bundesamt für Energie, Bundesamt für Umwelt, Bundesamt für Landwirtschaft, Bern, (2007).
- [3] A. Elbehri, A. Segerstedt, and P. Liu, "Biofuels and The Sustainability Challenge: A Global Assessment Sustainability Issues, Trends and Policies for Biofuels and Related Feedstock" Food and Agriculture Organization (FAO), Rome, Italy, (2013).
- [4] Ministry of Energy and Natural Resources (Republic of Turkey), URL: <http://www.enerji.gov.tr/en-US/Pages/Electricity>. (Visited on July 19, 2018).
- [5] M. E. Kirby, M. K. Theodorou, C. M. Brizuela, J. A. Huntington, J. Powles and R. G. Wilkinson, "The anaerobic digestion of pig carcass with or without sugar beet pulp, as a novel on-farm disposal method," Waste Management vol. 75, pp. 251-260, 2018.
- [6] J. Ariunbaatar, A. Panico, G. Esposito, F. Pirozzi and P. N. L. Lens, "Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste," Appl. Energy, vol.123, pp.143-156, 2014.
- [7] Y. Zhao, F. Sun, J. Yu, Y. Cai, X. Luo, Z. Cui, Y. Hu, and X. Wang, "Co-digestion of oat straw and cow manure during anaerobic digestion: Stimulative and inhibitory effects on fermentation," Bioresource Technology, vol. 269, pp. 143-152, 2018.
- [8] A. Haatanen, M. D. Herder, P. Leskinen, M. Lindner, M. Kurtila and O. Salminen, "Stakeholder engagement in scenario development process – bioenergy production and biodiversity conservation in eastern Finland," J. Environ. Manage., vol. 135, pp. 45-53, 2014.
- [9] H. Viana, W.B. Cohen, D. Lopes, J. Aranha, "Assessment of forest biomass for use as energy. GIS-based analysis of geographical availability and locations of wood-fired power plants in Portugal," Appl. Energy, vol. 87, pp. 2551-2560, 2010.
- [10] G. Chinnici, R. Selvaggi, M. D'Amico and B. Pecorino, "Assessment of the potential energy supply and biomethane from the anaerobic digestion of agro-food feedstocks in Sicily," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 82, pp. 6-13, 2018.
- [11] M. Tolay, H. Yamankaradeniz, S. Yardımcı, and R. Reiter, "Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi", VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008, İstanbul, (2008).
- [12] V. Massaro, S. Digiesi, G. Mossa and L. Ranieri, "The sustainability of anaerobic digestion plants: a win-win strategy for public and private bodies," Journal of Cleaner Production, vol.104, pp. 445-459, 2015.
- [13]TUIK 2017, Turkish Statistical Institute. URL: <http://tuik.gov.tr/Start.do>. (Visited on January 11, 2018).
- [14] N. Koçen, C. Öner and I. Sugözü, "Castle-dealing potential of Turkey and biogas production," Research of Eastern Anatolia Region, vol. 4, no 2, pp. 7-20, 2006.
- [15] F. Ç. Kılıç, "Biyogaz, önemi, genel durumu ve Türkiye'deki yeri, ", Mühendis ve Makine, vol. 52, pp. 94-106, 2011.
- [16] S. Gençoğlu, C. Gençoğlu, and A. Başpınar, "Kahramanmaraş İli'nin Hayvansal Kaynaklı Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi", 1. Ulusal Biyosistem Mühendisliği Kongresi, Bursa, 1-7, (2015).
- [17] A. Alçiçek and H. Demirulus, "Çiftlik gübrelerinin biyogaz teknolojilerinde kullanılması," Ekolojik Çevre Dergisi, vol. 3, pp. 5-9, 1994.
- [18] F. Toruk, and B. Eker, "Trakya Bölgesinde Biyogaz Enerjisinin Kullanılabilirliği", Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, pp.1-6, (2003).
- [19] I. Ardiç, and F. Taner, "Biyokütleden Biyogaz Üretimi: Anaerobik Artımın Temelleri", Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi. Mersin, pp. 242-245, (2005).
- [20] Ş. Yıldız, F. Saltabaş, V. Balahorlu, K. Sezer, and K. Yağmur, "Organik Atıklardan Biyogaz Üretimi Projesi: İstanbul Örneği", Türkiye'de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, İstanbul, pp. 1-8, (2009).
- [21] T. Aktaş, B. Özer, G. Soyak and M.C. Ertürk, "Determination of the Electricity Generation Potential from Animal Biogas in Tekirdag City," Journal of Agricultural Machinery Science, vol. 11, no. 1, pp. 69-74, 2015.
- [22] Energy Atlas, URL: <http://www.enerjiatlas.com/elektrik-fiyatları>. (Visited on March 18, 2018).
- [23] Wood and coal, URL: <http://www.odunkomur.net/fiyat-listesi>. (Visited on March 18, 2018).
- [24] Global Petrol, URL: https://www.globalpetrolprices.com/gasoline_prices. (Visited on March 18, 2018).
- [25] C. Doğru, "Trakya Bölgesinin Biyogaz Potansiyeli ve Mevcut Potansiyelin Bölge Ekonomisine Katkısı Üzerine Bir İnceleme", Uluslararası II. Trakya Bölgesi Kalkınma-Girişimcilik Sempozyumu Bildiri Kitabı I, Kırklareli, pp. 113-121, (2010).
- [26] N. Bilgin, "Biyogaz Nedir?", Tarım ve Köyşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara Araştırma Enstitüsü, (2003).
- [27] M. Gümüşçü and S. Uyanık, "Güneydoğu Anadolu bölgesi hayvansal atıklarından biyogaz ve biyogübre eldesi,"Tesisat Mühendisliği (MMO), vol.16, no. 118, pp. 59-65, 2010.

Prototyping an Industrial Robot Arm for Deburring in Machining

^{1*}Yusuf Hamida El Naser, ²Gokhan Atali, ³Durmus Karayel, ⁴S.Serdar Ozkan,
¹Sakarya University of Applied Science Mechatronics Engineering

yusufelnaser@sakarya.edu.tr, 
gatali@sakarya.edu.tr, 

dkarayel@sakarya.edu.tr, 
sozkan@sakarya.edu.tr, 

Research Paper

Arrival Date: 05.08.2019

Accepted Date: 18.02.2020

Abstract

Deburring after production is an important problem for machining, casting and plastic forming in the manufacturing sector. The main subject of this study is to design a deburring robot arm. In the study, deburring operation has been performed by integrating a deburring tool at the end of the robot arm. To control the trajectory of deburring tool and optimum deburring force are two critical situations in such a special robot arm design. Since the parts that need to be cleaned are often not of uniform geometry and so the distribution of the burr and trajectory of robot arm will not uniform. Therefore, the robot arm that can follow this trajectory must have enough degrees of freedom. On the other hand, the cutting force between the deburring tool and the work piece and the magnitude of the normal force is also important. This force must be small so that it will not affect the structural rigidity of the arm and not damage the part and at the same time it must be big enough for deburring. This robot arm designed for deburring can also be used for industrial purposes when parameters are changed.

Keywords: Robot arm, Deburring, Machining

1. INTRODUCTION

Nowadays, even in high-tech machines, especially in machining, a burr-free manufacturing is often not possible. On the other hand, the burr is a risky formation both in terms of production quality and environmental damage. In addition to that, the burred parts not only cause problems in the assembly process, but also negatively affect the fatigue life. Numerous scientific studies have been carried out to optimize the process parameters in production to reduce burrs. However, it is still not possible to produce a completely deburred part. For this reason, the sensitive parts need to be subjected to an additional deburring process. This means an additional cost in production. A study in Germany reveals that the share of deburring costs in production costs is about 9% [1]. Since the method used for deburring directly affects the cost of production, many studies have focused on reducing this additional cost. Furthermore, deburring using conventional methods results in other problems, such as lack of safety, not being able to achieve the desired cleaning of parts in complex geometries, as well as cost. The use of robot technology for this process significantly reduces these problems. However, the robot to be designed must have special features for that tasks. It is important that the trajectory tracked by the cleaning tool manipulated by the robot and the contact force between the tool and the part

being cleaned can be controlled. For this purpose, studies on robotic arm design are remarkable in recent years. Ziliani et al. Have developed a 2-degree-of-freedom SCARA robot for deburring planar surface parts. The robot they developed is based on a force / speed based hybrid control algorithm. Although they successfully perform force and torque control in their work, there is no declaration of robot design [2]. Valente and Oliveira have proposed a new approach to tool path control in robotic deburring operations. In their study, they developed a correlation between the force value required to remove the burr and the tool path position and used the correlation they developed to control the system. In their systems, there is no robot that has been designed in a similar way since an ABB robot used as the manipulator [3]. In another study, they have developed an adaptive robotic system to correct position errors in castings and also to remove burrs. In this study, the dimensions of the workpiece surface were measured with the laser sensor in three dimensions and compared with the nominal dimensions and the excesses in the resulting faulty regions were eliminated [4]. Most of the relevant researchers have tried to develop different control algorithms for more precise deburring than existing systems [5-7]. In deburring, the control of the contact force between the tool and the workpiece is very important. This is because the excessive force will cause dimensional damage on the part, while the insufficient

*Corresponding Author: Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği, yusufelnaser@sakarya.edu.tr 0264 295 70 79

Bu çalışma ISITES2017'de sunulan bildiriden türetilmiştir.

contact force will not adequately remove the burr. For this reason, some researchers have focused on the control of contact force [8-13]. In the studies carried out on the subject, the hardware and control system mostly used is based on traditional technology. However, the point reached today in hardware, software, control algorithm and information technologies for the solution of the problem has brought many possibilities and ease. In contrast to other studies, the design of the robot arm is based on the creation of a prototype for the solution of the problem using new generation hardware, software and control technologies. In the study, firstly the formation of burrs and cleaning process are explained in general and then the design of the robotic arm for this purpose is started. Then, position control and force control were analyzed separately and the control system was designed. In the first part of the study, the studies in the literature are compared with the study conducted by the author. In the second part, the burr formation and the cleaning of the burrs are touched and in the third part, the workspace and kinematic equations of the designed robot arm are given. In the fourth chapter, the concepts of trajectory planning and force control are explained briefly and in the last chapter the results and the points that can be improved are discussed.

2. BURR FORMATION AND DEBURRING

In all production processes, burrs occur as an undesirable formation. Despite many efforts to eliminate the burr, a burr-free production is almost impossible, and more or less burring occurs. Especially in the production of sensitive systems, burr is a very important problem and needs to be cleaned. On the other hand, burrs are formed in many different forms according to production type, material properties, cutting tool geometry and process parameters. The resulting burr forms for different machining processes are shown in Figure 1 and some tools used to clean them are shown in Figure 2. Deburring is usually done manually using various tools. However, mechanical deburring systems have been developed especially for products manufactured by mass production. However, each of these systems is for one certain type of burr and does not have the flexibility to be adapted to another type.

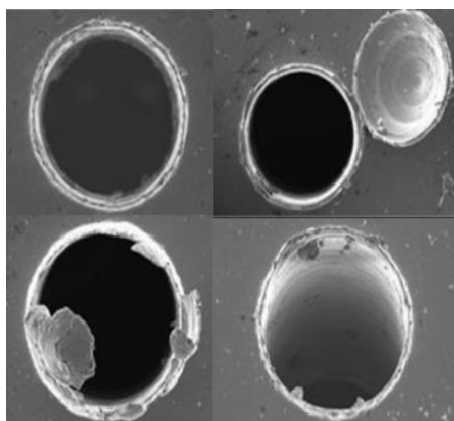
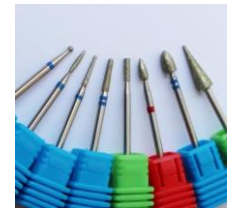


Figure 1. Burr formation in drilling



Manual deburring tools



Automatic deburring tools

Figure 2. Deburring tools

Therefore, it is not possible to develop a mechanical deburring system that can address all types of burrs of this very different geometric nature and structure. To meet this need, the Robotic Deburring System stands out as the only flexible system that can adapt itself to variable situations.

In recent years, studies in this direction have come into question and the issue is still up to date. This study aims to design an industrial robot arm in order to contribute to solution of this problem. This initial work is a prototype and is generally designed to deburr parts with prismatic geometry. However, by changing the parameter values used in the design, it can be used professionally for other production methods.

3. DESIGN OF THE ROBOT ARM

The designed robot arm has 3 degrees of freedom and features articulated manipulators. The robot arm consists of a motor rotating about the Y axis and 2 motors rotating about the Z axis and the chassis assembly connecting them together. The frame is designed to have a 40 mm axis offset between the first and second joints to avoid singularities. Thus, smooth and repeatable movement of the system is provided. Dynamixel AX-12A intelligent servo motors and Dynamixel Bioloid chassis components are used in the system. Figure 3 shows the movement axes of the robot arm. In the kinematic calculations of the arm, the deburring tool to be used was represented by cutting and sharpening the end points of the end member.

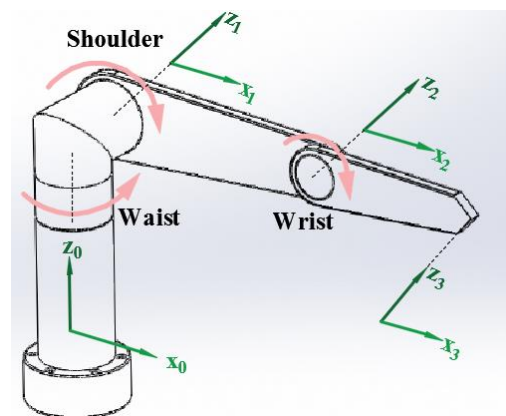


Figure 3. Axial representation of robot arm

3.1. Determination of the Limb Dimensions of the Robot Arm

The limb sizes of the robot arm are determined by the desired working area and the geometry to be machined within this area. In this study, the working area of the robot is 400 x 400 mm and the vertical distance from the base is $\ell = 100$ mm. The robot arm lengths determined according to the working area are presented in Figure 4.

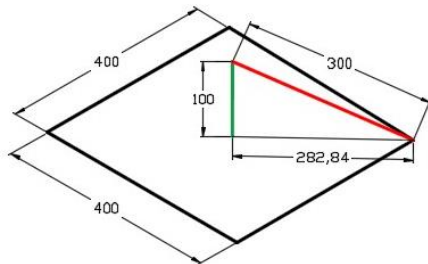


Figure 4. Illustration of robot arm lengths (mm)

When the robot arm is placed in the center of the working area, the sum of the second and third limb lengths (a, b) can be found as shown in equation 1.1;

$$a + b = \left(\left(\frac{400}{2} \right)^2 + \left(\frac{400}{2} \right)^2 + 100^2 \right)^{0.5} = 300 \text{ mm} \quad (1.1)$$

at least.

This value is the minimum value of the sum of the second and third limbs. If we show the second limb as a, the third limb as b, the inequality is obtained as in equation 1.2;

$$a + b \geq 300 \text{ mm} \quad (1.2)$$

In this case, limb lengths can be arbitrarily selected so that their sum does not fall below 300, and access to the boundaries of the working area of the arm can be made possible, but it should not be ignored that a dead zone as much as the distance between the limb lengths will arise. Therefore, limb lengths should be chosen as close as possible to each other.

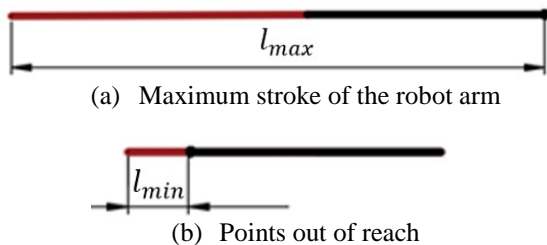


Figure 5. Robot arm reaching points

As a result of the above calculations, the 2nd limb length is selected as 160 mm and the 3rd limb length is 140 mm.

3.2. Kinematic Equations

3.2.1. Obtaining Forward Kinematics Equations

Denavit-Hartenberg methods were used in the analysis of forward direction kinematics of the robot arm. Accordingly, the D-H table obtained after the placement of the axis parameters is given in Table 1.

Table 1. Denavit-Hartenberg parameters

D-H	a_{i-1}	α_{i-1}	d_i	θ_i
0→1	0	90	$-\ell$	θ_1
1→2	0	-90	0	θ_2
2→3	a	0	d	θ_3
3→4	b	0	0	0

The parameters a,b,c,d were selected as a=160, b=140, $\ell=100$ and d=40 mm. Transformation matrices are given below.

$${}^0_1T = \begin{bmatrix} c\theta_1 & -s\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ s\theta_1 & c\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.1a)$$

$${}^1_2T = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s\theta_2 & -c\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.1b)$$

$${}^2_3T = \begin{bmatrix} c\theta_3 & -s\theta_3 & 0 & a \\ s\theta_3 & c\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.1c)$$

$${}^3_4T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & b \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.1d)$$

Accordingly, when the homogeneous transformation matrices (HTM) are formed and multiplied respectively, $s\theta$ and $c\theta$ represents $\sin\theta$ and $\cos\theta$, from base to end effector HTM is given in equation 2.1, robot tool coordinates are given in equation 2.2 and angle formulas are given in equations 2.3 and 2.4.

3.2.2. Obtaining Inverse Kinematics Equations

Obtaining inverse kinematic equations allows the burr cleaner to determine the angle values that the motors must rotate in order to perform work by hovering over the workpiece whose coordinates are known. These required angle values were found graphically and then transferred to LabVIEW environment to communicate with the motors. There are many studies on inverse kinematics subject in the literature [14, 15].

3.2.2.1. Obtaining the angle of 1st axis

The parameters used to find the first axis angle values are shown in Figure 6. If the projection point P_x and the projection z on the x-axis of the desired point to be reached are called, the values $a = 160$, $b = 140$, $l = 100$, $d = 40$ mm symbolized above;

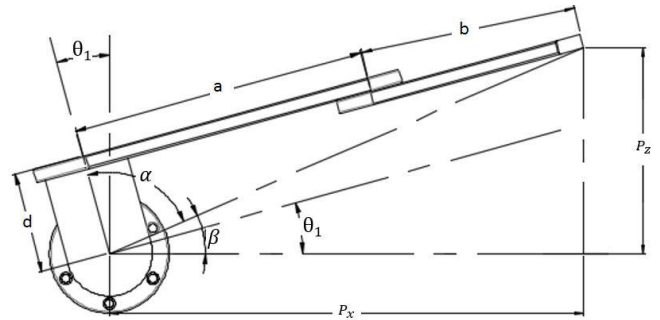


Figure 6. Inverse kinematics parameters of 1st axis

$${}^0T_4 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & a * c \theta_1 * c \theta_2 - d * s \theta_1 - b * c \theta_1 * s \theta_2 * s \theta_3 + b * c \theta_1 * c \theta_2 * c \theta_3 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & a * s \theta_2 + b * c \theta_2 * s \theta_3 + b * c \theta_3 * s \theta_2 + l \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & a * c \theta_2 * s \theta_1 + d * c \theta_1 - b * s \theta_1 * s \theta_2 * s \theta_3 + b * s \theta_1 * c \theta_2 * c \theta_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.1}$$

The robot arm end effector coordinates are;

$$\begin{aligned} P_x &= 160 * c \theta_1 * c \theta_2 - 40 * s \theta_1 - 140 * c \theta_1 * s \theta_2 * s \theta_3 + 140 * c \theta_1 * c \theta_2 * c \theta_3 \\ P_y &= 160 * s \theta_2 + 140 * c \theta_2 * s \theta_3 + 140 * c \theta_3 * s \theta_2 + 100 \\ P_z &= 160 * c \theta_2 * s \theta_1 + 40 * c \theta_1 - 140 * s \theta_1 * s \theta_2 * s \theta_3 + 140 * s \theta_1 * c \theta_2 * c \theta_3 \end{aligned} \tag{2.2}$$

$$\alpha = \arctan2 \left(\frac{\sqrt{P_x^2 + P_z^2 - d^2}}{d} \right), \tag{2.3}$$

$$\beta = \arctan2 \left(\frac{P_z}{P_x} \right), \tag{2.4}$$

$\theta_1 = \alpha + \beta - \frac{\pi}{2}$ parametric value is obtained by simple geometric approach.

3.2.2.2. Obtaining angles of 2nd and 3rd axis

The parameters used to find the second and third axis angle values are presented in Figure 7.

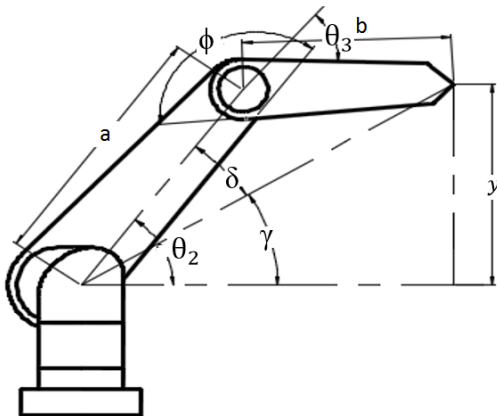


Figure 7. Inverse kinematics parameters of 2nd and 3rd axis

If the perpendicular distance of the second and third axes to each other on the Y axis is symbolized by y , the corresponding angle values can be found in equations 3.1, 3.2, 3.3 and 3.4;

$$\gamma = \arctan2 \left(\frac{y}{\sqrt{P_x^2 + P_z^2 - d^2}} \right), \tag{3.1}$$

$$\delta = \arccos \left(\frac{P_x^2 + P_z^2 - d^2 + y^2 + a^2 - b^2}{2 * a * \sqrt{P_x^2 + P_z^2 - d^2 + y^2}} \right), \tag{3.2}$$

$$\theta_2 = \gamma + \delta, \tag{3.3}$$

$$\phi = \arccos \left(\frac{-P_x^2 - P_z^2 + d^2 - y^2 + a^2 + b^2}{2 * a * b} \right), \tag{3.4}$$

$\theta_3 = \pi - \phi$ respectively.

The program interface used to transfer inverse kinematic equations to the LabVIEW environment is shown in Figure 8.

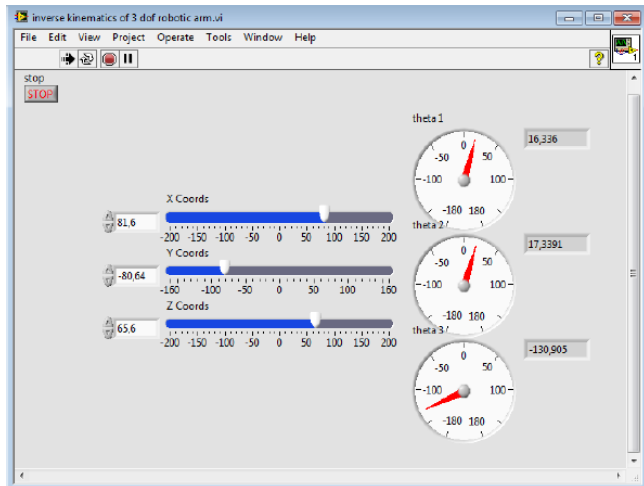


Figure 8. LabVIEW interface for inverse kinematic equations

4. DESIGN OF CONTROL SYSTEM

In the robotic arm designed for deburring, the design of the control system is mainly based on position control and force control. The deburring tool must follow the respective edges of the part to be cleaned. This is only possible by determining the path to be cleaned, i.e. the trajectory and controlling the tool to follow the trajectory. Another critical situation is the cutting force that occurs at the point of contact with the deburring tool. As a result of this excessive force, the tool will damage the part together with the burr and will cause a part called negative chips, causing the part to break down. If the cutting force is lower than necessary, the burr will not be sufficiently cleaned. Therefore, an optimum force must be applied, and this is only possible by controlling the force.

4.1. Position Control

4.1.1. Determination of the Trajectory

The robots are capable of repeating the trajectory that has been introduced to them once. What is essential here is the precise and accurate identification of the trajectory to be monitored and the control of its position. This position control and determination of the trajectory to be followed is an important issue in robotic applications. There are many parameters such as part geometry to be processed, physical limitations of robot chassis and complexity of the process to be applied. For example, when moving and sorting from one point to another within an empty work area, it is sufficient to know the coordinates of the two points from which the part is received and the part to be left. On the other hand, the modeling of the motion between these two points is often not important, but in industrial applications such as welding, deburring and dyeing, the geometry of the workpiece is continuously monitored as a route [16]. In this application, the trajectory is realized by determining the edges of the workpiece to be deburred by means of CAD file and coordinating these edges with the help of LabView program

and passing these coordinates in a series of inverse kinematic equations respectively to find the necessary motor angles. In this trajectory, it is ensured that the contact between the burr cleaner and the workpiece is smooth and continuous and the non-contact between the burr cleaner and the burr cleaner can be prevented as a result of changing the force applied to the workpiece.

4.2. Force Control

4.2.1. Determination of the Optimal Force

Deburring is carried out by applying a force to the deburring workpiece along the trajectory determined by position control with the deburring tool placed on the robot arm. The magnitude of the force varies according to the torque value produced by the motors used in the robot arm system, the density of the burr to be cleaned from the workpiece, the material of the workpiece and the deburring cleaner, the contact surface and geometry of the cleaner and the workpiece. [17] Therefore, it is necessary to maintain this force which will act normally and along the surface to clean the burr, and to maintain it at the optimum intervals determined. The force must be greater than the minimum force required for deburring on the workpiece, but also less than the maximum force that will not exceed the depth of burr desired to be cleaned and will not damage the workpiece and the cleaning tool [3]. Accordingly, the limits of the shear forces corresponding to the various types, dimensions and characteristics of the burrs are determined and compared with the feedback received in real time from the force sensor placed on the burr removal tool. When the maximum value of the specified range is exceeded, the deburring tool moves away from the contact surface until it reaches a value between the force limits, and when it falls below the minimum value, it approaches the contact surface.

5. RESULTS AND FUTURE WORKS

In this study, a robot arm design which is used for deburring is presented. The CAD model of the part to be cleaned was used to determine the trajectory to be followed by the deburring tool and this trajectory was used for position control. The interaction between the tool and the workpiece directly affects the cutting force. For this reason, a special deburring tool is used to obtain optimum force ranges by providing the necessary flexibility. Essentially, this team itself is a mechatronic system. Because, apart from the tool which performs the cutting process, it also includes a motor to provide cutting movement and a force sensor in which force measurement is performed. This robot arm, designed for deburring purposes, is a prototype and can be used for industrial purposes when the values of the parameters are changed. On the other hand, this study has the potential to form the basis for further studies. In the next study, artificial intelligence methods will be used to determine the type of burr as a result of detection of burr form and size by image processing method. In addition, the selection and replacement of the deburring tool for the specified burr type

will be performed automatically. In this way, it will be possible to perform all operations such as detection, analysis of burr form, selection of appropriate cleaning tool and necessary parameters by the developed system.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by Sakarya University Scientific Research Projects Commission with the name "Industrial Purpose Robot Arm Design and Production" within the scope of Master Thesis Projects numbered 2017-50-01-009.

7. REFERENCES

- [1] L. Leitz, V. Franke, and J.C. Aurich, Burr Formation in Drilling Intersecting Holes, Proceedings of the CIRP International Conference on Burrs, 2009; 109-115.
- [2] G. Ziliani, A. Visioli, G. Legnani, A mechatronic approach for robotic deburring, *Mechatronics* 17, 2007; 431–441.
- [3] Carlos M. O. Valente, João F. G. Oliveira, A New Approach For Tool Path Control In Robotic Deburring Operations, ABCM Symposium Series in Mechatronics, 2004; 124-133.
- [4] Hubert Kosler, Urban Pavlovčič, Matija Jezeršek, Janez Možina, Adaptive Robotic Deburring of Die-Cast Parts with Position and Orientation Measurements Using a 3D Laser-Triangulation Sensor, *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering* 62, 2016; 207-212.
- [5] H. Kazerooni, J. J. Bausch, B. M. Kramer, An Approach to Automated Deburring by Robot Manipulators, *Transactions of the ASME* 108, 1986; 354-359.
- [6] M. G. Her, H. Kazerooni, Automated Robotic Deburring of Parts Using Compliance Control, *Transactions of the ASME* 113, 1991; 60-66.
- [7] Fusaomi Nagata, Tetsuo Hase, Zenku Haga, Masaaki Omoto, Keigo Watanabe, CAD/CAMbased position/force controller for a mold polishing robot, *Mechatronics* 17, 2007; 207–216.
- [8] Thomas M. Stepien, Larry M. Sweet, Malcolm C. Good, Masayoshi Tomizuka, Control of Tool/Workpiece Contact Force with Application to Robotic Deburring, *IEEE Journal Of Robotics And Automation*, 1987; 7-18.
- [9] G. M. Bone, M. A. Elbestawi, R. Lingarkar, L. Liu, Force Control for Robotic Deburring, *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control* 113, 1991; 395-400.
- [10] J. Norberto Pires, J. Ramming, S. Rauch, R. Araújo, Force/Torque Sensing Applied to Industrial Robotic Deburring Control for Robotic Deburring, *Sensor Review* 22, 2002; 232 – 241.
- [11] G. M. Bone, M. A. Elbestawi, Robotic force control for deburring using an active end effector. *Robotica*, 7(4), 1989; 303-308.
- [12] M. H. Liu, Force-controlled fuzzy-logic-based robotic deburring. *Control engineering practice*, 3(2), 1995; 189-201.
- [13] K. Kiguchi, T. Fukuda, Position/force control of robot manipulators for geometrically unknown objects using fuzzy neural networks, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 47(3), 2000; 641-649.
- [14] S. Kucuk, Z. Bingul, Inverse kinematics solutions for industrial robot manipulators with offset wrists. *Applied Mathematical Modelling*, (7-8), 2014; 1983-1999.
- [15] S. Kucuk, Z. Bingul, The inverse kinematics solutions of fundamental robot manipulators with offset wrist, *IEEE-International Conference of Mechatronics*, 2005; 197-202.
- [16] A. Sokolov, Robot motion realisation using LabVIEW, *Periodica Polytechnica. Engineering. Mechanical Engineering*, 1999; 43(2), 131.
- [17] S. Malkin, Grinding technology. Theory and applications of machining with abrasives. Ellis Horwood Limited, England; 1989.

Optimization of Cutting Parameters for Sustainable Machining of Titanium Ti-5553 Alloy using Genetic Algorithm

*¹Ali Osman Kabil, ²Yusuf Kaynak

¹ Institute of Pure and Applied Science, Marmara University, İstanbul, Turkey, aliosmankabil@gmail.com, 

² Department of Mechanical Engineering, Marmara University, İstanbul, Turkey, yusuf.kaynak@marmara.edu.tr, 

Research Paper

Arrival Date: 04.10.2019

Accepted Date: 26.02.2020

Abstract

Titanium Ti-5553 alloys have been considered as difficult-to-machine materials due to the extremely high tool wear, high cutting forces, high temperature, and poor surface quality of machined parts. Process parameters need to be optimized in order to improve machining performance and in the meantime reducing manufacturing cost. This study proposes sustainable machining process for this new generation Titanium Ti-5553 alloy. Process parameters including depth of cut, cutting speed, and feed rate were taken into account to optimize parameters better tool life, material removal rate and surface roughness together with energy consumption for the first time in literature. Genetic algorithm was utilized for optimizing the process parameters. Obtained results illustrated that optimization using genetic algorithm is a very effective approach to substantially improve machining performance of this alloy and make machining process of this alloy more sustainable by reducing energy consumption, manufacturing cost and increasing material removal rate in machining process of new generation titanium alloy.

Keywords: Ti-5553 Alloy, Optimization, Genetic Algorithm, Machining Performance

1. INTRODUCTION

Titanium alloys are widely used in the aerospace industry, the chemical industry and medical engineering [1] because of their higher yield strength, excellent fatigue crack growth resistance and good hardenability [2]. Among Titanium alloys, Ti-5553 (Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr) is a recently developed near beta Ti alloy that is gathering increasing interest in aircraft structural applications, especially in the landing gear components [2]. While this alloy gains interest due to its superior properties, it is categorized as difficult-to-machine materials due to its low thermal conductivity, low modulus of elasticity, high strength at elevated temperature, etc. Therefore, machining processes of this alloy need also special attention, consequently it would be possible to control the processing of this alloy. During machining process of this alloy both the part quality and machining performance and cost of machining processes need to be taken into account. This can be achieved by considering the basic elements of sustainable machining that includes machining cost, power consumption, waste management, personal health, environmental friendliness, etc [3].

Although the ideal approach should consider all basic elements to provide sustainable machining operation for this difficult-to-machine alloy, it may not be possible to take all elements into account. In the meantime, optimizing

the process allow us to consider more than one element in one operation. By implementing optimization approach in this study, it is aimed to control energy consumption, machining cost and part quality by focusing on cutting forces, material removal rate, tool life, and surface quality of machined work materials. These outputs are the main concern as studies indicate that most of the environmental impacts related to machine tools are due to their energy consumption [4]. The selection of optimal parameters has great effect on achieving reduction in machining cost. Referring to this machining process, several works have been published regarding the optimization of the cutting parameters; many of them employed the surface roughness, cutting force, cutting power, tool life and material removal rate as optimization criteria [5]. Despite decades of optimizing of machining operations based on cost and productivity, optimizing energy consumption had not received significant attention [6]. Most of the researchers in the area of machining have used various techniques for finding the optimal machining parameters for single- and multi-pass turning operations [7].

In literature, various optimization techniques have been used to find optimum machining conditions including artificial neural network [8] and fuzzy set theory-based modelling techniques, statistical regression approach, and conventional optimization [9] techniques including Taguchi, Response Surface Design Methodology, iterative

*Corresponding author: Institute of Pure and Applied Science, Marmara University, İstanbul, Turkey, aliosmankabil@gmail.com

mathematical search technique, and non-conventional techniques such as heuristic search techniques. Genetic algorithm (GA), etc [10]. The Genetic Algorithm (GA) is inspired by the genetic process of biological organisms. GA have been demonstrated to converge to the optimal solution for many diverse difficult problems, although optimality cannot be guaranteed [11]. GAs have been shown in practice to be very effective at function optimization; efficiently searching large and complex (multimodal, discontinuous, etc.) spaces, to find nearly global optima [8]. Researchers claimed that GA have significant superiority over other optimization techniques for solving the non-linear optimization problems in machining parameters optimization [12]. Researchers used GA to achieve optimum machining parameters for considered objective which are material removal rate, surface roughness, minimum unit production cost, [7] production time, tool life and cutting power [13].

In this study, to find optimum machining parameters to increase surface quality, material removal rate and tool life together with considering energy consumption, Genetic Algorithm have been proposed. Our study indicates that utilizing this technique has very high potential to contribute to make machining process of this new generation titanium alloy more sustainable.

2. METHODOLOGY

2.1. Empirical Model

Cutting parameters such as cutting speed, feed rate and depth of cut are considered for empirical models due to their significant effect on cutting force, surface roughness and flank wear in turning operation. The relationship between cutting force, surface roughness, flank wear and decision variables can be defined as follows [14]:

$$F_c = C_1 V_c^{a_1} f^{b_1} a_p^{c_1} \tag{1}$$

$$R_a = C_3 V_c^{a_3} f^{b_3} a_p^{c_3} \tag{2}$$

$$V_B = C_3 V_c^{a_3} f^{b_3} a_p^{c_3} \tag{3}$$

Where F_c , R_a , V_B , V_c , f and a_p are cutting force, surface roughness, flank wear, cutting speed, feed rate and depth of cut, also a_i , b_i , c_i and C_i are empirical constants. Forms of polynomials which can be approved to represent cutting force, surface roughness and flank wear in turning are the first order models:

$$\ln F_c = \ln C_1 + a_1 \ln V_c + b_1 \ln f + c_1 \ln a_p \tag{4}$$

$$\ln R_a = \ln C_2 + a_2 \ln V_c + b_2 \ln f + c_2 \ln a_p \tag{5}$$

$$\ln V_B = \ln C_3 + a_3 \ln V_c + b_3 \ln f + c_3 \ln a_p \tag{6}$$

and second order models can be described as:

$$\omega_1 = \omega - \varepsilon_1 = k_0 + k_1 x_1 + k_2 x_2 + k_3 x_3 + k_{12} x_1 x_2 + k_{13} x_1 x_3 + k_{23} x_2 x_3 + k_{11} x_1^2 + k_{22} x_2^2 + k_{33} x_3^2 \tag{7}$$

$$\varphi_1 = \varphi - \varepsilon_2 = l_0 + l_1 x_1 + l_2 x_2 + l_3 x_3 + l_{12} x_1 x_2 + l_{13} x_1 x_3 + l_{23} x_2 x_3 + l_{11} x_1^2 + l_{22} x_2^2 + l_{33} x_3^2 \tag{8}$$

$$\gamma_1 = \gamma - \varepsilon_3 = m_0 + m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + m_{12} x_1 x_2 + m_{13} x_1 x_3 + m_{23} x_2 x_3 + m_{11} x_1^2 + m_{22} x_2^2 + m_{33} x_3^2 \tag{9}$$

Where ω , φ , γ , x_1 , x_2 , x_3 , k , l and m are logarithmic transformation of cutting force, surface roughness, flank wear, cutting speed, feed rate, depth of cut and empirical constants, ε is the experimental error and ω_1 , φ_1 and γ_1 are estimated cutting force, surface roughness and flank wear.

2.2. Multi-Objective Optimization

Multi-Objective problems usually have more than one solution known as pareto-optimal solution [15, 16]. Evolutionary multi-objective optimization (EMO) methods aim to gain [17] non-dominated points, when shown in a diagram, named as Pareto Front [18]. The general multi-objective optimization problem is conceived as follow: Minimize or maximize:

$$f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_a(x)]^\beta \tag{10}$$

subject to:

$$g_i(x) < 0 \quad i = 1, 2, \dots, k$$

$$h_j(x) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, l$$

Where a is the count of objective function, k is the count of disequilibrium constraints and l is the count of equilibrium constraints [19]. A multi-objective problem with a objectives is described as given a z -dimensional decision variable vector $\mathbf{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_z\}$ in the solution area X , determine a vector X^* that minimize or maximize given set of α objective functions $\mathbf{M}(\mathbf{x}^*) = \{M_1(\mathbf{x}^*), M_2(\mathbf{x}^*), \dots, M_a(\mathbf{x}^*)\}$ [20]. A solution \mathbf{x} is called as non-dominated if there is no \mathbf{x}' such that $\mathbf{f}(\mathbf{x}') < \mathbf{f}(\mathbf{x})$ for minimization and $\mathbf{f}(\mathbf{x}') < \mathbf{f}(\mathbf{x})$ for maximization. The illustration of this non-dominated solutions that known as Pareto optimal set, is the Pareto front if there are two or three objectives [21].

2.3. Genetic Algorithm

All application of genetic algorithm start with procure an initial population that was created randomly and go forward with calculate fitness of each individual [22]. Then it select individuals which pass next generation and parents which are needed for generating other members of next population by crossover operator which combine relevant feature of parent solutions [23] and mutation operator which is the process of random alteration at generated individuals with small probability [24]. The algorithm stops when any stopping criterion is provided [25]. Previous studies already confirmed that this algorithm is very efficient to optimize parameters in machining operations. Thus, this study also uses this algorithm for optimization.

3. APPLICATION IN TURNING

The workpiece used in this work was Ti-5553 bar with a diameter of 20 mm, which was hot rolled. The cutting tests were conducted on a Doosan CNC turning center at dry condition. Uncoated 883 grade carbide inserts were used with ISO designation CNMG120408 M1 that is suitable for machining of titanium alloys. PTJNL2525M16 tool holder

The correlations between cutting parameters including depth of cut, cutting speed and feed rates and measured outputs were achieved by multiple non-linear regression. These regression models are presented in equations 11, 12, and 13 as shown. Fig. 2 shows the agreement between experimentally measured data and results obtained from multiple non-linear regression for the outputs of flank wear and surface roughness.

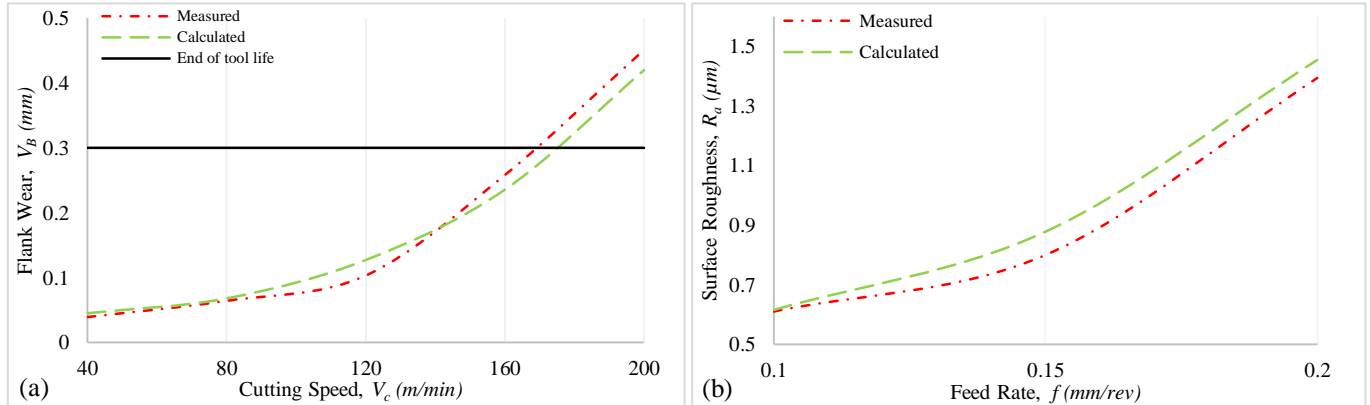


Figure 2. (a) Flank wear at various cutting speeds; (b) surface roughness at various feed rates.

with the rake angle of $\alpha = -6$ degree was used. During machining trials, three different feed rates, f , five different cutting speeds, V_c , and three different depth of cut, a_p , were used that are presented in Table 1. Experimental setup is presented in Fig.1. The detail of measurements of outputs used in this study is presented in elsewhere [26].

The variation of experimentally measured flank wear with respects to cutting speed and the variation of surface roughness resulting from various feed rates are presented in Fig.2. Empirical model was developed to predict these experimental data using multiple-nonlinear regression analysis.

Table 1. Machining parameters and their levels

Cutting condition	Cutting speed, V_c (m/min)	Depth of cut, a_p (mm)	Feed rate, f (mm/rev)
Dry	40	0.8	0.1
	80	1.4	0.15
	120	2	0.2
	160		
	200		

$$\omega_1 = 6.637 + 0.29x_2 - 0.806x_3 - 0.053x_1x_2 + 0.361x_1x_3 - 0.04x_2x_3 - 0.003x_1^2 - 0.162x_2^2 + 0.328x_3^2 \tag{11}$$

$$\varphi_1 = 5.682 + 0.538x_1 + 5.943x_2 - 0.305x_3 + 0.035x_1x_2 - 0.058x_1x_3 - 0.328x_2x_3 - 0.058x_1^2 + 1.264x_2^2 + 0.144x_3^2 \tag{12}$$

$$\gamma_1 = 8.483 - 7.137x_1 - 2.295x_2 - 1.833x_3 - 0.415x_1x_2 + 0.948x_1x_3 + 0.75x_2x_3 + 0.865x_1^2 - 1.104x_2^2 - 0.269x_3^2 \tag{13}$$

It is obvious that the model is capable of well predicting the data obtained by experimental work. The R square statistics are equal to 0.9896 for cutting force, 0.8512 for surface roughness and 0.8163 for flank wear.

4. RESULT AND DISCUSSIONS

4.1. Minimizing Flank Wear and Maximizing Material Removal Rate

Considering the cost of cutting tools used in machining, it can be considered as a significant contribution if tool life can be increased by controlling tool wear. Besides, in mass production, the manufacturing time directly influence the cost of production. Therefore, it is always desired to decrease the machining time by increasing material removal rate. Thus, we aim to optimize cutting parameters by using multi-objective optimization approach to minimize flank wear and maximize material removal rate when maximum surface roughness is kept as $0.8 \mu\text{m}$ in this part of study. The constraint of flank wear is 0.3 mm that is equal to tool life according to ISO 3685:1993 [27, 28]. The unit of material removal rate is taken as mm^3/min in the following well-known equation.

$$MRR = 1000V_c f a_p \tag{14}$$

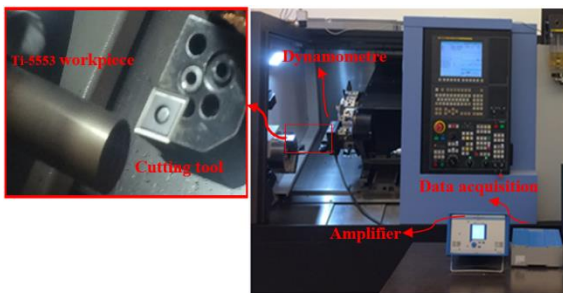


Figure 1. Experimental setup.

Minimize: V_B
 Maximize: MRR
 Subject to: $R_a < 0.8 \mu m$
 $V_B < 0.3 \mu m$
 $40 \text{ m/min} < V_c < 200 \text{ m/min}$
 $0.1 \text{ mm/rev} < f < 0.2 \text{ mm/rev}$
 $0.8 \text{ mm} < a_p < 2 \text{ mm}$

The obtained result is represented in Fig. 3. Constraint of surface roughness prevents to increase cutting parameters for all non-dominated solutions. The maximum material removal rate is obtained as 20658 mm³/min when flank wear reaches the upper limit, that consequently the end of the tool life. While flank wear at the lowest value, the most desirable value occur for maximum tool life that designated by the value of flank wear. While material removal rate at lowest as 6592 mm³/min, the minimum value of flank wear occurs as 0.0419 mm. This part of study shows that in machining process of this alloy, there is a strong relationship in between material removal rate and flank wear. Table 2 shows selected optimum parameters including feed rate, depth of cut and cutting speed taken from Fig.3 (the Pareto front) corresponding measured outputs (Flank wear, Material removal rate, Surface roughness).

Table 2. Some selected optimal cutting parameters

V_c (m/min)	f (mm/rev)	a_p (mm)	V_B (mm)	MRR (mm ³ /min)	Ra (μm)
63.12	0.102	1.50	0.066	9655	0.7994
79.10	0.109	1.42	0.096	12138	0.7947
95.66	0.105	1.44	0.155	15473	0.7962
117.95	0.108	1.43	0.223	18367	0.7997
130.53	0.105	1.50	0.298	20658	0.7990

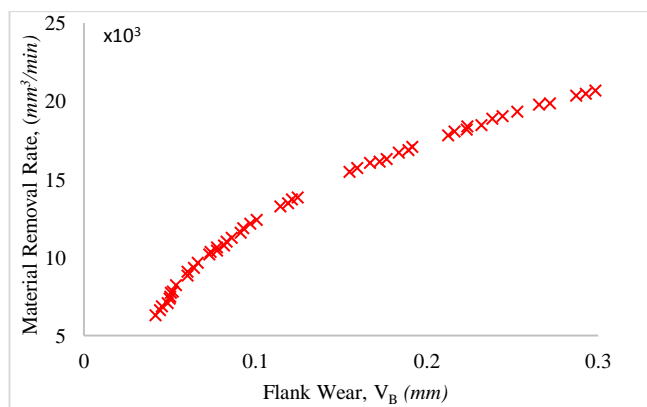


Figure 3. The Pareto front of non-dominated solutions for machining parameters.

4.2. Minimizing Power Consumption

Power consumption plays an important role to evaluate the sustainability of process. Reducing power consumption is one of the element of sustainable machining process [3]. Thus, it is aimed to minimize power consumption while there are constraints for flank wear, surface roughness and material removal rate in this part of study. The constraint of

material removal rate is 10⁴ mm³/min that provides most of non-dominated flank wear values as shown in Fig. 3. Power consumption as kW is calculated by using following well-known equation.

$$P = \frac{F_c V_c}{60 \times 10^3} \tag{15}$$

The optimization model for this case can be stated as follow:

Minimize: P
 Subject to: $V_B < 0.3 \text{ mm}$
 $R_a < 0.8 \mu m$
 $MRR > 10^4 \text{ mm}^3/\text{min}$
 $80 \text{ m/min} < V_c < 160 \text{ m/min}$
 $0.1 \text{ mm/rev} < f < 0.2 \text{ mm/rev}$
 $0.8 \text{ mm} < a_p < 2 \text{ mm}$

Boundaries of constraints and feasible region are shown in Fig. 4. To achieving minimum power consumption that is 0.454 kW, the lowest values of feed rate and depth of cut must be selected. Cutting speed is 124 m/min at optimum point for fulfil the constraint of material removal rate. Optimum power consumption is obtained when flank wear (VB) is 0.136 mm and surface roughness (Ra) is 0.689 μm . Feasible region illustrated at fixed feed rate that must be 0.1 mm because of constraint of surface roughness that was taken as 0.8 μm . Optimum parameters for minimum power consumption was illustrated as optimum point in Fig.4.

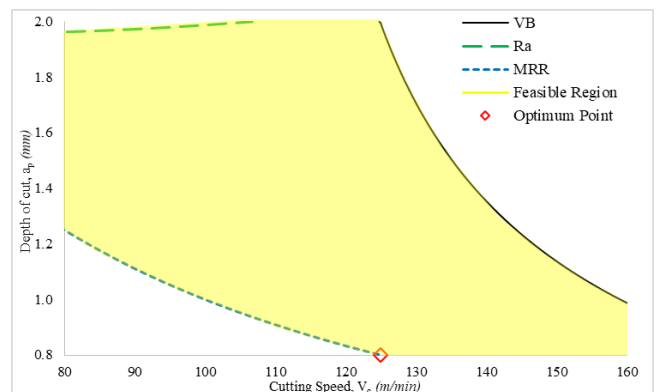


Figure 4. Illustration of feasible region and optimum point for power consumption at 1 mm/rev of feed rate.

5. CONCLUSIONS

Ti-5553 alloy is considered as difficult-to-machine material. Therefore, randomly selected parameters or parameters based on experience does not help to improve machining performance of this new generation titanium alloy. Therefore, this study focuses on the optimizing process parameters in machining process of Ti-5553 alloy. In this study, two cases are taken into account. In the case study I, a set of optimum cutting parameters are obtained for minimum flank wear and maximum material removal rate under constraint of surface roughness (0.8 μm) in turning of Ti-5553 using multi-objective genetic algorithm. This optimization study provided the possible maximum material removal rate. From this part of study, constraint

value of material removal rate is also determined. In the case study II, cutting parameters were optimized to minimize power consumption taken constraint value of material removal rate into account. This study demonstrated that power consumption can be substantially reduced by optimizing process parameters.

ACKNOWLEDGMENT

Financial support from TUBITAK (The Scientific and Technological Research Council of Turkey) under project number 214M068 is gratefully acknowledged.


REFERENCE


- [1] M. Ozkutuk and Y. Kaynak, "The effect of material parameters on chip formation in orthogonal cutting simulation of Ti-5553 Alloy," *Procedia CIRP*, vol. 58, pp. 305-310, 2017.
- [2] K. Hua, X. Xue, H. Kou, J. Fan, B. Tang, and J. Li, "Characterization of hot deformation microstructure of a near beta titanium alloy Ti-5553," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 615, pp. 531-537, 2014.
- [3] A. Jayal, F. Badurdeen, O. Dillon Jr, and I. Jawahir, "Sustainable manufacturing: Modeling and optimization challenges at the product, process and system levels," *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 2, no. 3, pp. 144-152, 2010.
- [4] C. Camposeco-Negrete, J. d. D. C. Nájera, and J. C. Miranda-Valenzuela, "Optimization of cutting parameters to minimize energy consumption during turning of AISI 1018 steel at constant material removal rate using robust design," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 83, no. 5-8, pp. 1341-1347, 2016.
- [5] C. Camposeco-Negrete, "Optimization of cutting parameters using Response Surface Method for minimizing energy consumption and maximizing cutting quality in turning of AISI 6061 T6 aluminum," *Journal of cleaner production*, vol. 91, pp. 109-117, 2015.
- [6] R. K. Bhushan, "Optimization of cutting parameters for minimizing power consumption and maximizing tool life during machining of Al alloy SiC particle composites," *Journal of Cleaner Production*, vol. 39, pp. 242-254, 2013.
- [7] P. Asokan, R. Saravanan, and K. Vijayakumar, "Machining parameters optimisation for turning cylindrical stock into a continuous finished profile using genetic algorithm (GA) and simulated annealing (SA)," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 21, no. 1, pp. 1-9, 2003.
- [8] D. Venkatesan, K. Kannan, and R. Saravanan, "A genetic algorithm-based artificial neural network model for the optimization of machining processes," *Neural Computing and Applications*, vol. 18, no. 2, pp. 135-140, 2009.
- [9] M. Cong, T. Han, and Q. Zhao, "Fuzzy multi-objective optimization of sliding rack based on six sigma and goal driven," in 2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, 2010: IEEE, pp. 556-559.
- [10] I. Mukherjee and P. K. Ray, "A review of optimization techniques in metal cutting processes," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 50, no. 1-2, pp. 15-34, 2006.
- [11] D. W. Coit and A. E. Smith, "Reliability optimization of series-parallel systems using a genetic algorithm," *IEEE Transactions on reliability*, vol. 45, no. 2, pp. 254-260, 1996.
- [12] Z. Khan, B. Prasad, and T. Singh, "Machining condition optimization by genetic algorithms and simulated annealing," *Computers & Operations Research*, vol. 24, no. 7, pp. 647-657, 1997.
- [13] A. R. Yildiz, "Cuckoo search algorithm for the selection of optimal machining parameters in milling operations," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 64, no. 1-4, pp. 55-61, 2013.
- [14] I. Jawahir and X. Wang, "Development of hybrid predictive models and optimization techniques for machining operations," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 185, no. 1-3, pp. 46-59, 2007.
- [15] K. Deb, M. Mohan, and S. Mishra, "Evaluating the ϵ -domination based multi-objective evolutionary algorithm for a quick computation of Pareto-optimal solutions," *Evolutionary computation*, vol. 13, no. 4, pp. 501-525, 2005.
- [16] S. Kuriakose and M. Shunmugam, "Multi-objective optimization of wire-electro discharge machining process by non-dominated sorting genetic algorithm," *Journal of materials processing technology*, vol. 170, no. 1-2, pp. 133-141, 2005.
- [17] K. Deb and D. K. Saxena, "On finding pareto-optimal solutions through dimensionality reduction for certain large-dimensional multi-objective optimization problems," *Kangal report*, vol. 2005011, 2005.
- [18] D. A. Van Veldhuizen and G. B. Lamont, "Evolutionary computation and convergence to a pareto front," in Late breaking papers at the genetic programming 1998 conference, 1998, pp. 221-228.
- [19] R. T. Marler and J. S. Arora, "Survey of multi-objective optimization methods for engineering," *Structural and multidisciplinary optimization*, vol. 26, no. 6, pp. 369-395, 2004.
- [20] A. Konak, D. W. Coit, and A. E. Smith, "Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 91, no. 9, pp. 992-1007, 2006.
- [21] T. Goel, R. Vaidyanathan, R. T. Haftka, W. Shyy, N. V. Queipo, and K. Tucker, "Response surface approximation of Pareto optimal front in multi-objective optimization," *Computer methods in applied mechanics and engineering*, vol. 196, no. 4-6, pp. 879-893, 2007.
- [22] D. J. Zwickl, "Genetic algorithm approaches for the phylogenetic analysis of large biological sequence datasets under the maximum likelihood criterion," 2006.


- [23] P. W. Poon and J. N. Carter, "Genetic algorithm crossover operators for ordering applications," *Computers & Operations Research*, vol. 22, no. 1, pp. 135-147, 1995.
- [24] N. M. Razali and J. Geraghty, "Genetic algorithm performance with different selection strategies in solving TSP," in *Proceedings of the world congress on engineering*, 2011, vol. 2: International Association of Engineers Hong Kong, pp. 1134-1139.
- [25] M. Safe, J. Carballido, I. Ponzoni, and N. Brignole, "On stopping criteria for genetic algorithms," in *Brazilian Symposium on Artificial Intelligence*, 2004: Springer, pp. 405-413.
- [26] E. Tascioglu, A. Gharibi, and Y. Kaynak, "High speed machining of near-beta titanium Ti-5553 alloy under various cooling and lubrication conditions," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 102, no. 9-12, pp. 4257-4271, 2019.
- [27] E. Ezugwu, J. Bonney, D. Fadare, and W. Sales, "Machining of nickel-base, Inconel 718, alloy with ceramic tools under finishing conditions with various coolant supply pressures," *Journal of materials processing technology*, vol. 162, pp. 609-614, 2005.
- [28] A. Altin, M. Nalbant, and A. Taskesen, "The effects of cutting speed on tool wear and tool life when machining Inconel 718 with ceramic tools," *Materials & design*, vol. 28, no. 9, pp. 2518-2522, 2007.

An Investigation of the Deformation Patterns Due to the High-Speed Micro-Laser Drilling Process for Ti-6Al-4V Used in Aerospace Applications

*¹Ahu Çelebi, ²Halil Tosun, ³Ali Çağlar Öncü

¹Materials Engineering Department, Manisa Celal Bayar University, 45140, Manisa, Turkey, ahu.celebi@cbu.edu.tr, 

²Materials Engineering Department, Manisa Celal Bayar University, 45140, Manisa, Turkey, haliltosun80@gmail.com, 

³ESHOT General Directorate, İzmir, Turkey, alicaglar8@hotmail.com, 

Research Paper

Arrival Date: 12.06.2019

Accepted Date: 04.03.2020

Abstract

Hybrid Laminar Flow Control (HLFC) is used in the aviation industry to reduce fuel consumption of civil jet aircrafts. Small holes are required at the leading edges of the aircraft wings and tail planes to reduce friction caused by boundary layer suction. Much research has been made in the application of drilling small holes to Ti-6Al-4V alloys. The most important of these investigations is that the thermal distortion cannot be controlled during the application of a large number of holes in huge areas and thus, it causes deformation as a result of thermal deterioration. When micro drilling is applied, some problems arise due to close proximity of drilled holes. The aim of this investigation is to evaluate the deformation due to the micro laser drilling process and develop an efficient set of certain laser parameters to minimize it. 50 W power pulsed Ytterbium fiber laser having a galvo scanner have been used during the process. The effects of increased waiting time, use of weight on both sides of the specimens and nitrogen cooling upon the deformation of the drilled samples have been investigated. Before and after the drilling process the samples have been scanned by a 6-axis arm CMM having an integrated 3D laser scanner. The deformation patterns have been obtained with the use of PC-DMIS software. As a result, as the waiting time is increased, less deformation has been observed in the samples. In addition, addition of nitrogen gas to the process has positively influenced the deformation minimization efforts.

Keywords: Ti-6Al-4V alloys, Aerospace applications, 3D Laser Scanning, Micro-laser drilling

1. INTRODUCTION

The most important reasons why Ti - 6Al - 4V alloy are preferred especially in aerospace and biomedical applications are high mechanical properties, relatively low density, excellent corrosion resistance and high biocompatibility. In an aircraft structure, the Ti6Al4V alloy, which is particularly difficult to cut metals, is widely used in parts of a gas turbine and medical equipment, and during manufacturing there is a need to connect these parts made of Ti6Al4V alloy and to drill holes for special applications. For example, when a conventional drilling is performed with a twist drill during drilling in a Ti6Al4V alloy, it is very difficult to obtain a highly accurate hole in diameter, roundness and input-output edge quality of the holes due to the low thermal conductivity [1]. The ability to drill holes in micro and small sizes with high aspect ratio in extremely hard and brittle materials, is very important for especially in the field of aerospace (cooling holes in jet turbine blades), space, automobile, electronics and computer (printed circuit boards), medical (surgical implants)[2,3].

Laser drilling is the most widely used method among other drilling techniques. Laser micro drilling is a commonly preferred method for drilling advanced hard or difficult-to-cut materials such as ceramic, glass and superalloy composites, and for forming micro-holes in complex shaped parts [4,5].

One of the major engineering challenges with Hybrid Laminar Flow Control (HLFC) is the design and manufacture of the suction surface. As part of the laminar flow control study that began in the 1940s, various ways of producing a skin surface that would allow the absorption of air were investigated. The improved suction surfaces, which are bores punched by electron or laser beam, are divided into different categories. Laser drilling has been a preferred technique since the mid-1980s [6]. Electrical Discharge Processing (EDM) is another common method used to drill titanium alloys. The biggest problem encountered in micro EDM drilling is the removal of residual particles, so electrode rotation is preferred to overcome this problem [7, 8].

*¹Corresponding Author: Manisa Celal Bayar University, Materials Engineering Department, Manisa, Turkey ahu.celebi@cbu.edu.tr

The combination of impact peak strength and duration significantly affects the material removal mechanism in the laser drilling process. In a study, micro-hole drilling using nanosecond pulses is generally reported to be worse than EDM because of melting, although generally metals produce acceptable quality holes [9, 10].

Laser drilling is generally preferred for three main processes. The first is the laser cleaning process. In this process, the laser beam is rotated in a circular way and cuts the perimeter of the hole [10, 11]. It is a laser cutting process rather than drilling. The second is laser single-pulse laser drilling, where all material is removed with a single pulse [12]. Particularly preferred in low thickness parts having an aspect ratio of 1:10 and drilling holes. Finally, it is a laser pulse drilling process which is based on the removal of the material by a series of pulses. Each pulse removes a certain volume of material, so that all pulse sequence diameters can achieve holes with depths ranging from 25 to 500 μm [13].

Prior work has amply revealed that optimizing the laser parameters such as average power, pulse energy, pulse duration, pulse frequency, focal position etc. can possibly provide a means for minimizing the drilling defects [14, 15]. Yilbas [16] has shown that the extent of taper formation during laser percussion drilling of thin sections can be significantly reduced by suitable control of laser variables. Studies by Yeo et al. [17] and results reported by Chen et al. [18] indicate that an excessively long pulse duration or a very high pulse energy can both lead to deformation of parent material structure as well as adversely influence taper and recast layer formation. Other research efforts have established that a shorter pulse duration minimizes the recast layer and reduces micro-cracking at the side-walls of the laser drilled hole [19, 20], with a pulse duration of 0.1–2.5 ms being proposed as being most suitable for deep hole drilling [17]. There has also been an initiation of efforts aimed at tailoring the pulse pattern to enhance hole quality and this has yielded encouraging results [21–23]. Bandyopadhyay [24] et al. have studied Nd:YAG laser drilling of 4 and 8 mm thick sections of IN718 and Ti–6Al–4V materials. The influence of type of material and its thickness, as well as parametric impact of key process variables like pulse frequency and pulse energy, have been determined. Oxygen and nitrogen were employed as assist gases during processing of IN718 and Ti–6Al–4V, respectively. The hole characteristics observed during O₂-assisted drilling of IN718 are substantially different from those noted in N₂-assisted drilling of Ti–6Al–4V. Results suggest that, for sheets of similar thickness drilled employing identical laser parameters, the IN718 material yields holes with a finer size, lower taper, less spatter and reduced recast layer as compared to Ti–6Al–4V [24].

When a laser beam strikes the material, thermal interaction occurs on the surface of the workpiece, creating the heat-

affected zone (HAZ). Due to the high temperature of the laser beam, the physical, mechanical and chemical properties of the workpiece change in the interaction area.

HAZ is the area of work material that does not melt during laser machining but has an effect on microstructures. The depth of the HAZ zone during laser machining is one of the important metallurgical performance characteristics [25] so, one of the main problems in percussion laser drilling is the deformation due to temperature caused by laser [26]. Due to focused beam energy on the surface of a workpiece during laser drilling, melting and evaporation take place. In this process, thermal residual stresses occur as tension and compression (Fig. 1) due to the amount of absorbed energy, the cooling rate, temperature gradient and contraction in the hole and the HAZ (Heat Affected Zone) [27, 28].

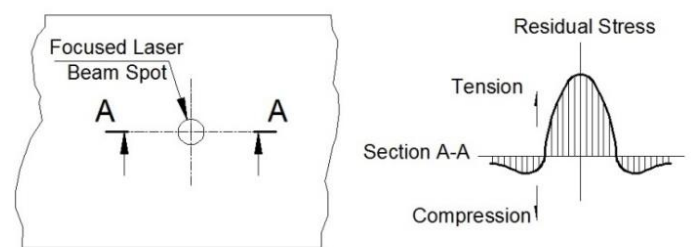


Fig. 1. Residual stress after laser processing.

The presence of a heat-affected zone (HAZ) constitutes the most important of the metallurgical defects associated with micro-drilling. This occurs when the laser processing scanner is subjected to severe thermal cycles during which this region is affected by heat [29]. The distortion of the sheets is influenced by the applied thermal cycles and energy input during laser processing. The main objective of this work is to determine the distortion amounts of the laser drilling process due to the fabrication of suction surfaces on Ti–6Al–4V alloy sheet using 50 W pulse fiber laser. While drilling micro holes, impact of increased waiting times, use of weight on both sides of the specimens and use of cooler nitrogen gas environment upon deformation modifications were investigated via a 3D laser scanner integrated to a portable-arm Coordinate Measurement Machine (CMM) and PC-DMIS software.

2. EXPERIMENTS/TESTS

2.1. Materials and Methods

0,8 mm Ti-6Al-4V sheet has been used for the experiment. Chemical composition of this titanium alloy sheet is given in Table 1. There are three main phases in the experiments. First one is laser drilling operations under different conditions and variations, the second is measuring the deformation amounts occurred because of the drilling operations. So as to obtain the differences of deformation before and after drilling operations specimens should have been scanned by a 3D scanner. A flowchart has been followed for all operations.

Table 1. The composition of Ti6Al4V (wt %)

Material	Ti	Al	V	Fe	Si	H	O
Content	Balance	5.5-6.8	3.5-4.5	<0.3	<0.15	<0.015	<0.2

The flowchart of the experiments is given in Fig. 2. to explain the sequence of the operations. The third phase of the experiment is the suction surface inspection of the drilled specimens with a digital microscope. Three methods and their combination have been tried to control and prevent thermal distortion. Firstly, it was aimed to prevent deformation and increase heat dissipation by weights placed on both sides of Ti alloy sheets in scan area. Secondly, the waiting time has been increased between the two pulses so that sheet is mostly uniformly heated. This is performed by

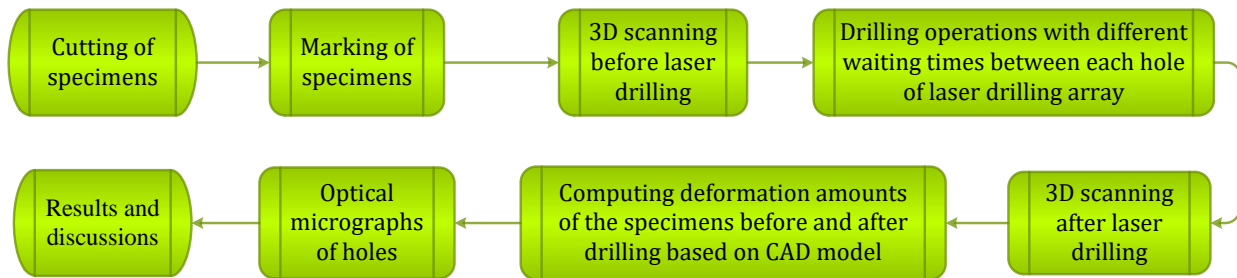


Fig.2. Flowchart of the experiments

All specimens which will be drilled by laser, have been scanned to inspect deformation amounts. HP-L.8.9 3D laser scanner (Fig. 3 and Table 2) integrated to Romer 7320 portable CMM and PC-DMIS software have been used for acquiring data as point clouds. CAD model of the specimens has been imported to PC-DMIS and used as the reference for all 3D scanning operations.

Nufern Q-Switched Pulse laser has been used in micro drilling operations. The laser used is Ytterbium fiber laser. This laser is capable of operating at a maximum output power of 50 W at 1064 nm (λ) wavelength in basic Gauss mode and is used for pulse processing up to 200 kHz. A galvanometer scanner has been integrated to the laser source for laser processing.

DinoLite digital microscope has been used to observe the surface of the holes with two different magnifications. Diameters of the holes and the distance between the holes have been measured with the software of microscope.

2.2. Preparation of Specimens for Laser Drilling

Specimen dimensions have been chosen as 165x40x0,8 mm. CAD model have been designed as properly with Autodesk Inventor. After preparing the CAD model Ti-6Al-4V sheet has been cut by laser machine. Laser marking has been applied to all specimens in order to distinguish and to track the results of different operations.

drilling hole-pattern with 0, 490 and 980 milliseconds waiting time. Finally, Nitrogen has been used because it is thought to be a cooling effect and may reduce the thermal distortion.

Materials to be used in the experiments,

- Ti-6Al-4V sheets
- 1064 nm Nufern 50 W Q-Switched Pulse laser machine for drilling
- HP-L.8.9 3D laser scanner integrated to Romer 7320 portable CMM
- PC-DMIS software to obtain the scanning results
- DinoLite digital microscope to inspect the surface of the drilled specimen.



Fig.3. 3D laser scanning.

Table 2. Specification of HP-L.8.9 3D laser scanner [30].

Accuracy	40 μ m 2 sigma
Point acquisition rate	45 000 points per
Points per line	750
Line rate	60 Hz
Line width (mid-field)	80 mm
Stand-off distance	135 mm +/- 45 mm
Minimum point spacing	0,08 mm
Laser power adjustment	Semi-automatic

2.3. Scanning Specimens Before and After Laser Drilling

After scanning of each non-drilled specimen, the acquired point clouds have been aligned to CAD model to inspect

deformation amounts. The acquired point clouds give distortions due to the preparation of the specimens (Fig.4(c). Fig. 4 shows scanning operation, Fig. 4(a) and (b) show alignment of CAD model and point cloud. After laser micro drilling, the specimens scanned before having been scanned with the same technique again. CAD and point cloud comparison after alignment and distortions of a specimen after laser drilling is shown in Fig. 4(d).

2.4. Laser Drilling

During the process, the laser beam is delivered via an accurately programmable galvanometer scanner on the target panel at high speeds of up to 3 m / s, with a lateral resolution of 1 µm. The orthogonal arrangement of the mirrors X and y directs the beam towards the workpiece along the length and width of the scanning piece.

Laser spot size here can be calculated using the formulation:

$$d_0 = M^2 \cdot 4 \cdot \lambda \cdot f / (\pi \cdot D_0), \tag{1}$$

Where d_0 is the focused spot diameter, f is the focal length of the focusing lens, D_0 is the input beam diameter and λ is the laser beam wavelength, M , is the beam mode [31].

The laser and all equipment’s of it have been mounted to a construction and all micro laser drilling operations (Fig.5(b). have been carried out on this construction (Fig.5(a). Laser drilling operations have been performed with software called EzCAD as integrated to the laser. During the laser drilling operations an aluminum plate has been mounted to the construction and has been used under the specimens (Fig.5(b). Laser beam that is utilized in laser drilling operation has average pulse energy of 1mJ. In operations, 50 kHz. as the repetition rate has been chosen for maximum power. Laser power can be calculated from this equation:

$$\text{Power} = \text{Work}/\text{Time } P=W/t \tag{2}$$

It is seen that maximum pulse energy can be achieved at this repetition rate ($50 \text{ W} = 1\text{mJ} \times 50000 \text{ s}^{-1}$). In the equation, Where P is the power, W is work and t is time.

There is more than one hole for each specimen and a drilling array has been designed for the drilling operations. In laser drilling, different variables have been tried. The waiting time refers to the time between two holes without laser pulses. Three different waiting times between each hole of array have been used during laser drilling operations for different specimens. Specified parameters have been determined by considering previous studies. These are 0 milliseconds, 490 milliseconds and 980 milliseconds. In addition to waiting times, Nitrogen gas and weight have been used for some specimens as the other variables (Fig. 6). The dimensions of the array are shown in Fig.7 and have been determined as according to the aerospace industry’s needs.

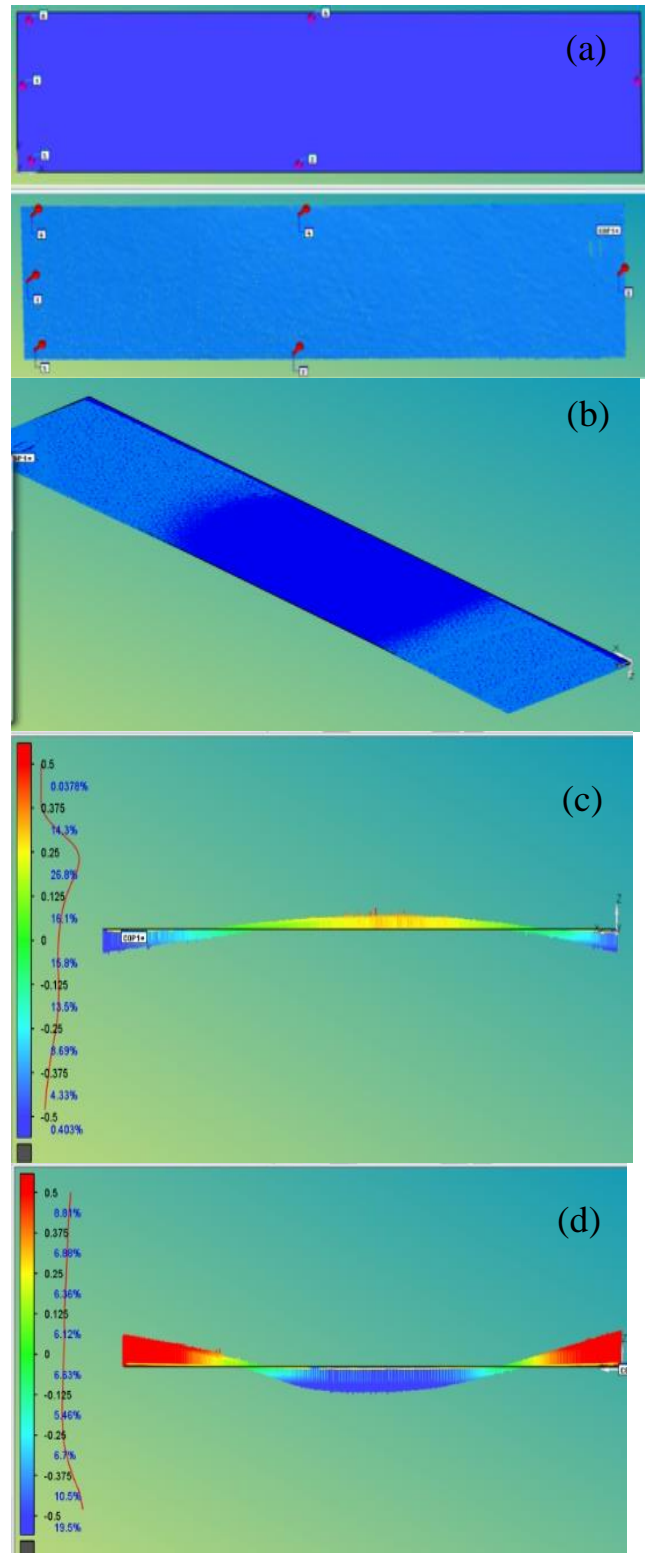


Fig. 4. (a) The point cloud and the cad model before alignment (b) the point cloud and the cad model after alignment (c) the distortions of the point cloud of the specimen before laser drilling (d) the distortions of the point cloud of the specimen after laser drilling (specimen code: 4a).

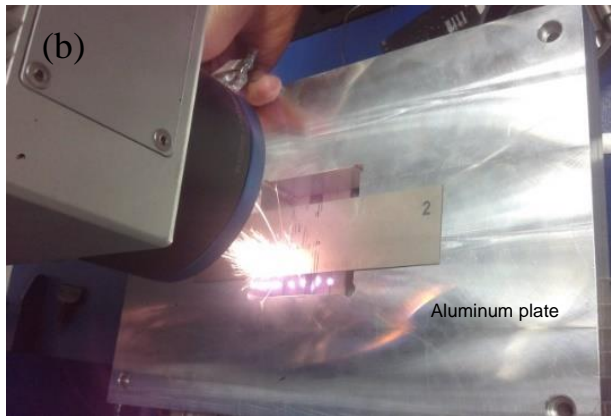
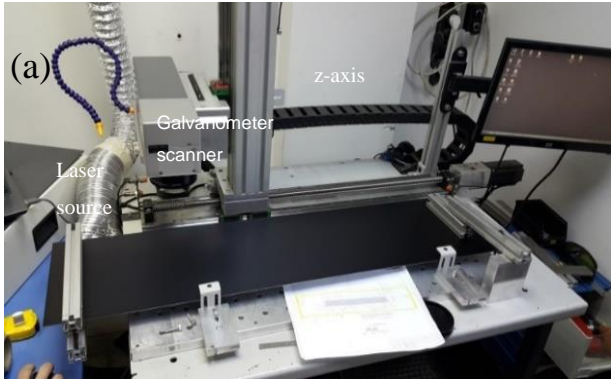


Fig.5. (a) Laser as mounted to the construction, (b) Laser micro hole drilling.

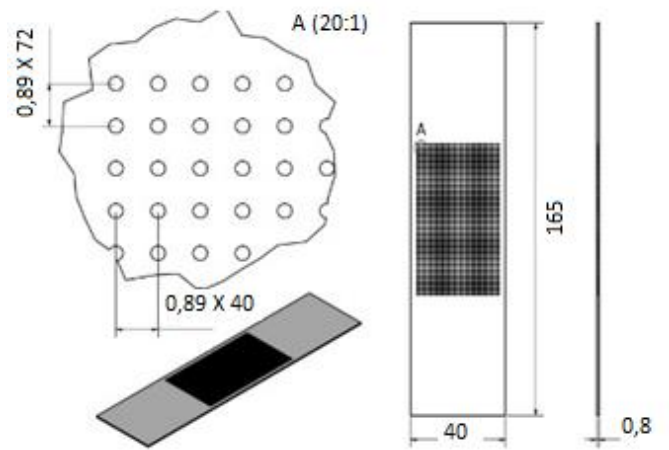


Fig. 7. Drilling array.

Six different samples were analyzed in 2 replicates. The variables of laser drilling operations and specimen codes (marks) have been given in Table 3. As shown in Table 3, values in the same color indicated repeated samples. Nitrogen gas has been used because it is thought to be a cooling effect and may reduce distortions. Weight has been used for similar reason like Nitrogen. So-called laser marked specimens have chosen randomly in drilling operations.

Table 3. Variables of laser drilling operations.

Specimens Code	Waiting Time (msec.)	Cooler Nitrogen Gas (0.5 bar)	In Air	Using Weight
1a	0	-	X	-
1b	0	-	X	-
2a	0	X	-	-
2b	0	X	-	-
3a	490	-	X	-
3b	490	-	X	-
4a	490	X	-	-
4b	490	X	-	-
5a	490	-	X	X
5b	490	-	X	X
6a	980	-	X	-
6b	980	-	X	-



Fig.6. a) Use of weight on both sides of the specimen b) Gas feeding mechanism used for test

3. RESULTS and DISCUSSIONS

The coordinate measuring machine (CMM), which will be used to examine the shape and obtain the point data of the shape, is widely preferred especially in aerospace and manufacturing engineering because it provides high accuracy and versatility. The micro drilling sheets were scanned with a laser scanner (HP-L.8.9) to observe the difference in deformation after micro drilling. These Ti6Al4V sheets, micro drilled and drawn by CAD program, was overlapped, and preliminary prepared for sectioning. In order to measure the deformation of the laser micro drilling, the deviations from 4 different points were recorded using

the PC-DMIS program, and deformation of the laser micro drilling was observed.

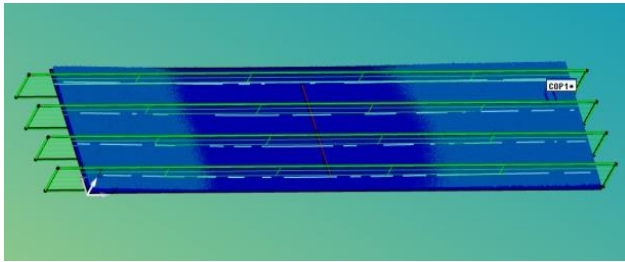


Fig.8. Cad model point cloud (COP-Cloud of Point) and sections (The distance between the sections are 10 mm).

Beside the whole point cloud comparison inspection, Sections have been created in PC-DMIS and deviation

amount of point clouds in the sections have been measured (Fig. 8).

When compared distortion amounts of a specimen before and after laser drilling, remarkable distortion has been observed after drilling. It can easily detect that distortion amounts of Fig.4(d) are higher than Fig.4(c). Despite that the deviation values between 0-0.25 mm are about 25% after drilling in Fig. 4(d), it is seen from Fig.4(c) that deviation values of %75 of points are between 0-0,25 mm. In addition, although Fig. 4 (c) shows that the deviations of approximately all the points are in the range of 0-0.5 mm, the specimen has been distorted after drilling and the deviations of the points in the range of 0-0.5 mm have been remained at 50% (Fig. 4(d)). The distortions in red and dark blue regions showed in the Fig.4(c) and Fig.4 (d) are higher and in the green regions are lower.

Table 4. Differences of deviation values of the specimens before and after laser drilling.

Max. Deviations in Sections (mm) (Before Laser Drilling)				Specimen Code	Max. Deviations in Sections (mm) (After Laser Drilling)			
Section 1	Section 2	Section 3	Section 4		Section 1	Section 2	Section 3	Section 4
0.866	0.882	0.865	0.949	1a	2,411	2,253	2,430	2,121
0.770	0.738	0.737	0.720	1b	2.054	2.329	2.216	1.742
0.904	0.897	0.871	0.722	2a	2.292	2.445	2.412	1.772
Error	Error	Error	Error	2b	Error	Error	Error	Error
0.778	0.653	0.735	0.764	3a	1.473	1.610	1.435	1.367
0.753	0.878	0.804	0.737	3b	1.947	1.702	1.560	1.524
0.808	0.794	0.743	0.724	4a	1.177	1.455	1.428	1.410
0.784	0.835	0.824	0.807	4b	1.370	1.547	1.449	1.447
0.774	0.708	0.663	0.727	5a	1.616	1.726	1.672	1.330
0.720	0.752	0.731	0.765	5b	1.319	1.451	1.476	1.470
0.782	0.632	0.852	0.793	6a	1.488	1.709	1.723	1.747
0.734	0.760	0.824	0.807	6b	1,417	1,481	1,347	1,574

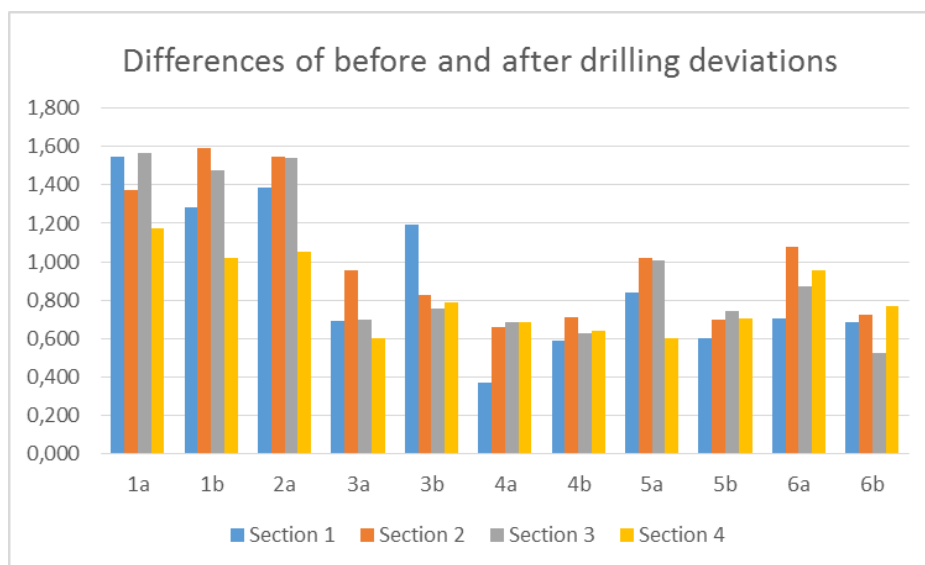


Fig.9. Differences values of before and after drilling deviation

The increase in waiting time can be explained by the fact that the decrease in distortion is due to the less uniformity of heat density. The nitrogen gas application for cooling was slightly decreased deviation between the sections for 4a and 4b. While nitrogen gas application without any waiting period did not provide an improvement in deformations, nitrogen gas applied when waiting time was 490 milliseconds had a slightly positive effect on differences values of before and after drilling deviations as shown Fig 9. In addition, if the waiting time is increased from 490 milliseconds to 980 milliseconds (6a, 6b), there is no decrease on differences of before and after drilling deviations as when the waiting time rises from 0 milliseconds to 490 milliseconds. This shows that the prolongation of the waiting times does not affect the deformation after a positive effect up to a certain point.

When images of the digital microscope are examined, spatter formations have been detected around the periphery of the holes as inherent defects of laser drilling (Fig 10 a, b).

Shock waves generated by laser beam are seen with blue lines. If the laser application is continuous, the workpiece is affected by more shock waves because it melts and perforates the material. Thus, a larger HAZ region is formed. The area affected by the heat is seen in black. The radius of the different holes is similar (Fig 10 a, b) and the distance between the holes. Fig.10 (c) is appropriate to drilling array given in Fig.7. Positions of the holes are quite accurate.

The color map of before and after drilling each sample micro-drilled is given in Figs 11 and 12. When these color maps were examined, results have been obtained in a way that confirms the deviation values of sections. Particularly, in Figure 11.h, 12.b and 12.d, it is seen that in the specimens 4b, 5b and 6b after the micro drilling process, the sheet less deformed than the case before it was micro drilled. In Figures 11.a and b, the deviation value of specimen (0.5 mm) 15 is 0.243%, while the deviation value in this range is 27.6%. Therefore, it is observed that deformation is found most in this sample where the waiting time is 0.

As mentioned in the literature, because of the higher heat input that resulted in a wider HAZ, deviation between the sections has increased more. When weight applied on the sheets, nitrogen gas application for cooling and the waiting time is increased; deviation between the sections has been decreased because of the lower heat input and consequently narrower HAZ. As a result, distortion of the specimens may come about, and excessive thermal residual stresses induced in sheets during and after laser drilling due to the difference in cooling rates and thermal shrinkage between the surface and interior regions of the material.

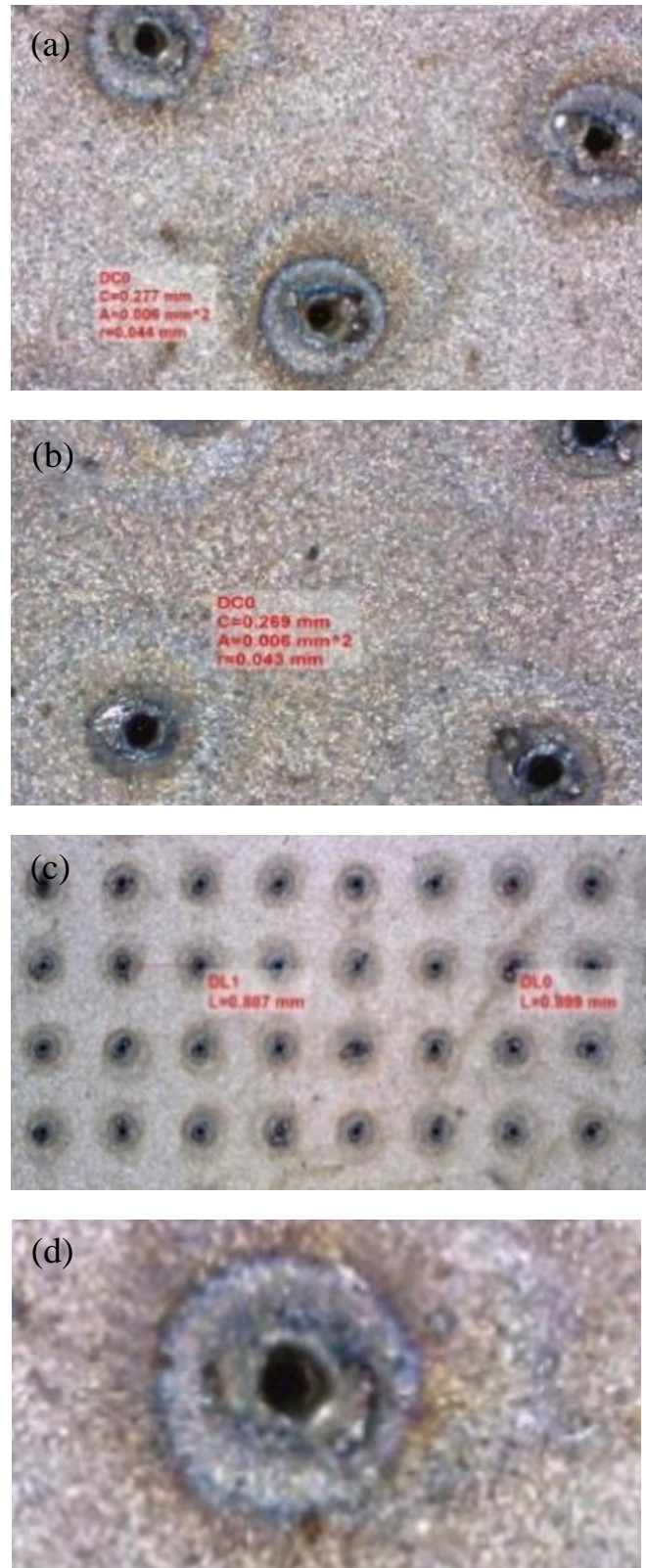


Fig.10. Images of suction surfaces; hole distance 0.89 mm, beam entrance side (a) specimen code: 2a, zoom: 229.5X (b) specimen code: 4a zoom: 229.5X (c) specimen code: 2a zoom: 51X (d) specimen code: 2a (r: radius of the circle, L: length, A: area, C: circumference)

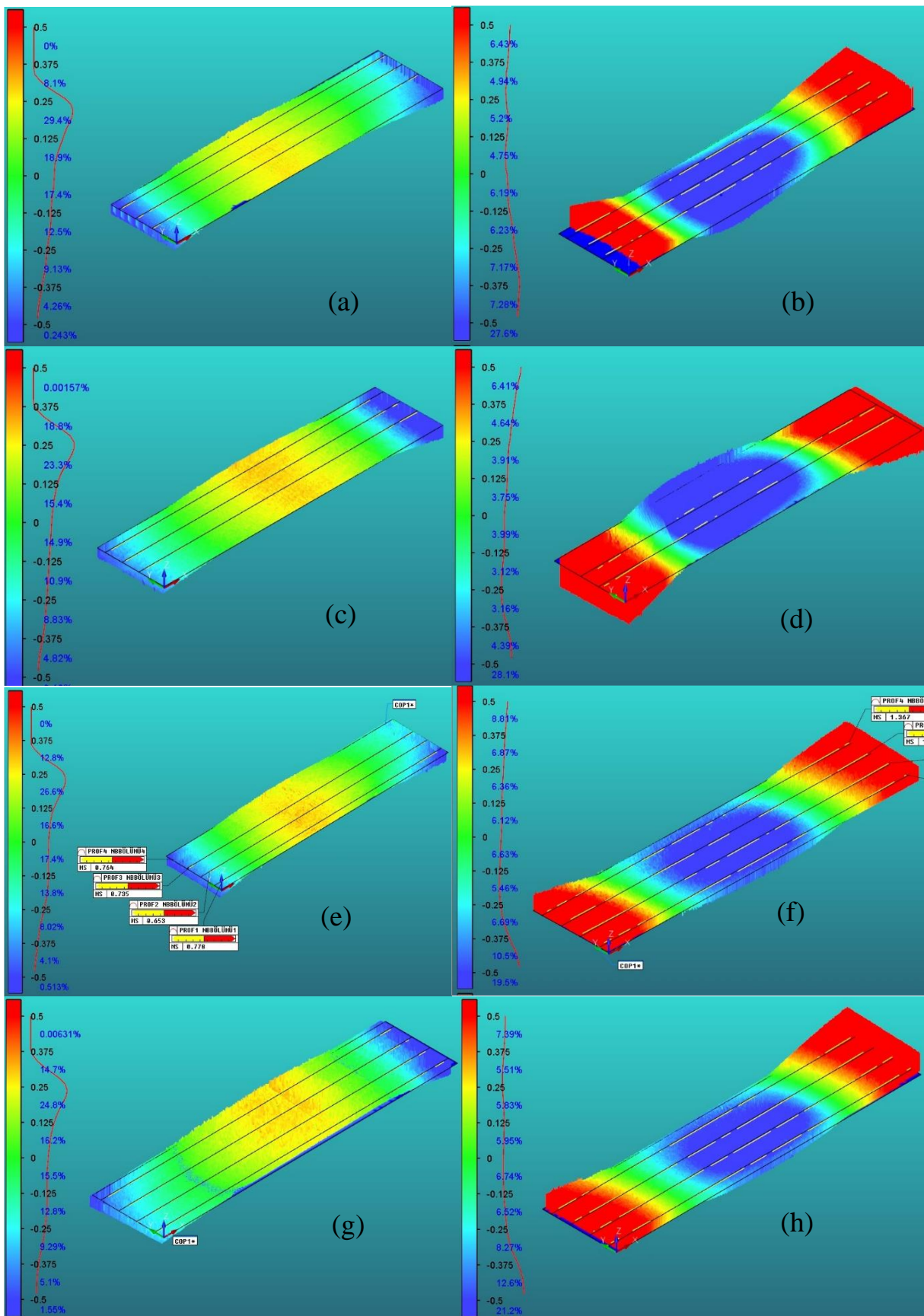


Fig. 11. Color maps of before (a) Specimen 1b (c) Specimen 2a (e) Specimen 3a (g) Specimen 4b, and after (b) Specimen 1b (d) Specimen 2a (f) Specimen 3a (h) Specimen 4b micro-drilling process

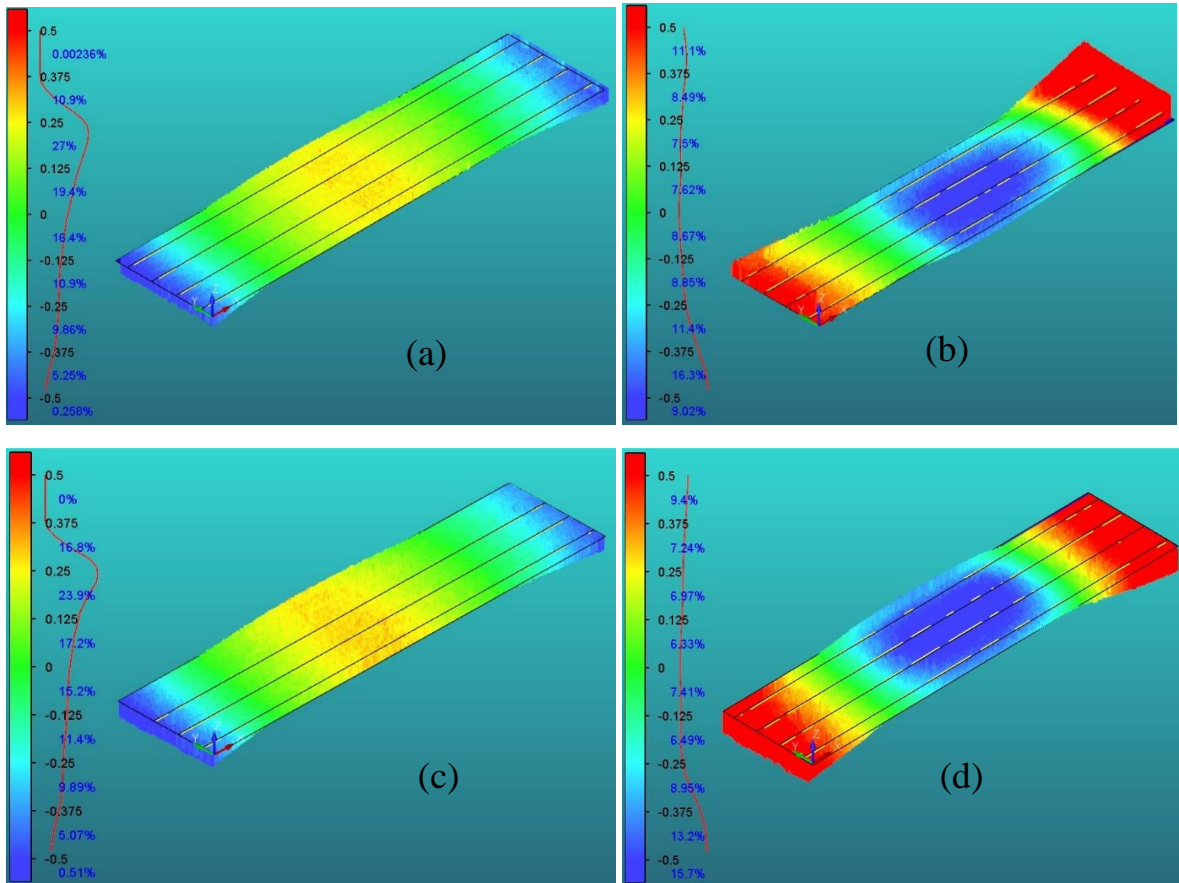


Fig. 12. Color maps of before (a) Specimen 5b (c) Specimen 6b, and after (b) Specimen 5b (d) Specimen 6b micro-drilling process

4. CONCLUSION

The obtained results demonstrated use of waiting time decreases the distortion amounts while drilling. Without waiting time between drilling of each holes, the energy absorbed by the workpiece at per unit time becomes more and the distortions become more due to the non-uniform temperature increases. Optimum waiting time values can be found out with more tests. It is possible to detect easily the distortion amounts with 3D laser scanner after laser drilling. 3D laser scanners and quality control software are useful in order to control the appropriateness of the laser drilling parameters. It should be considered while evaluating the results; some distortions might be occurred because of preparing the specimens before laser drilling. A more comprehensive study to model the effect of these parameters with mathematical functions still needs to be done.

Considering Fig 9, 10, 11 and Table 4, the following can be said:

- A significant amount of distortion occurs due to heat input during laser drilling.
- Without waiting time distortions are the highest and Nitrogen gas has no effect on it.
- It is possible to restrain the non-uniform temperature increase in the part during drilling thanks to waiting time

between two pulse, so that between holes decrease distortion amounts.

- Increasing waiting time between holes decrease distortion amounts.
- The use of nitrogen gas for the 490-milliseconds waiting time reduces the distortions in small quantities.
- The use of weight has no remarkable effect on distortions when waiting times are 490 milliseconds.
- When compared no waiting time, choosing 490 milliseconds or 980 milliseconds reduce the distortion amounts.

By applying thermal finite element analysis, its results can be compared with the results of the experiments. It can be observed whether different results will be obtained or not for practicing on larger specimens.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors gratefully acknowledge the support of the LASERAL.

REFERENCES


[1] H. Yagishita, J. Osawa, "Highly accurate hole making technology of Ti6Al4V by orbital drilling: Effect of oil mist ", *Procedia Manufacturing*, vol 5, pp. 195-204, 2016.

- [2] M. Sen, H. S. Shan, "A review of electrochemical macro-to micro-hole drilling processes", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 45, no 2, pp. 137-152, 2005.
- [3] M. C. Kayacan, Y. B. Baykal, T. Karaaslan, K. Özsoy, İ. Alaca, B. Duman, Y. E. Delikanlı, "Monitoring the osseointegration process in porous Ti6Al4V implants produced by additive manufacturing: an experimental study in sheep", *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*, vol 16, no. 2, pp. 68-75, 2018.
- [4] H. Huang, L.-M. Yang ve J. Liu, "Huan Huang, Lih-Mei Yang, and Jian Liu", *Micro-hole drilling and cutting using femtosecond fiber laser*, vol. 3, no 53, 2014.
- [5] C.Y. Wu, C.W. Shu, Z.C. Yeh, "Effects of excimer laser illumination on microdrilling into an oblique polymer surface", *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 44, no 8, pp. 842-857, 2006.
- [6] T. M. Young, B. Humpherys, J. P. Fielding, "Investigation of hybrid laminar flow control (HLFC) surfaces", *Aircraft Design*, vol 4, no 2-3, pp. 127-146, 2001.
- [7] S. U. S., P. S. Jagtap, "Optimization of micro EDM drilling process parameters for titanium alloy by rotating electrode", *Procedia Manufacturing*, vol. 20, pp. 119-126, 2018.
- [8] G. Casalino, A.M. Losacco, A. Arnesano, F. Facchini, M. Pierangeli, C. Bonserio, "Statistical analysis and modelling of an Yb: KGW femtosecond laser micro-drilling process", *Procedia CIRP*, vol. 62, pp. 275-280, 2017.
- [9] L. Li, C. Diver, J. P Atkinson, R. Giedl-Wagner, H. J. Helml, "Sequential laser and EDM micro-drilling for next generation fuel injection nozzle manufacture", *CIRP Annals*, vol. 55, no 1, pp. 179-182, 2006.
- [10] J. Tu, A. G. Paleocrassas, N. Reeves ve N. Rajule, "Experimental characterization of a micro-hole drilling process with short micro-second pulses by a CW single-mode fiber laser", *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 55, pp. 275-283, 2014.
- [11] D. Ashkenasi, T. Kaszemeikata, N. Muellera, R. Dietrich, "Laser trepanning for industrial applications", *Physics Procedia*, vol. 23, no Part B, pp. 323-331, 2011.
- [12] W. Schulz, U. Eppelt ve R. Poprawe, "Review on laser drilling I. Fundamentals, modeling, and simulation", *Journal of Laser Applications*, vol. 25, no 1, 2013.
- [13] I. Arrizubieta, A. Lamikiz, S. Martínez, E. Ukar, I. Taberero, F. Girotab, "Internal characterization and hole formation mechanism in the laser percussion drilling process", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 75, pp. 55-62, 2013.
- [14] S.C. Tam, C.Y. Yeo, R. Williams, L.J. Yang, S. Jana, L.E.N. Lim, M.W.S. Lau, Y.M. Noor, "Optimization of laser deep-hole drilling of Inconel-718 using the Taguchi method", *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 37 pp. 741-757, 1993.
- [15] W.K. Hamoudi, B.G. Rasheed, "Parameters affecting Nd:YAG laser drilling of metals", *Int. J. Joining Mater.*, vol. 7, pp. 63-69, 1995.
- [16] B.S. Yilbas, "Parametric study to improve laser hole drilling process", *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 70, pp. 264-273, 1997.
- [17] C.Y. Yeo, S.C. Tam, S. Jana, M.W.S. Lau, "A technical review of the laser drilling of aerospace materials", *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 42, pp. 15-49, 1994.
- [18] X. Chen, X. Liu, W.T. Lotshaw, "Machining with ultrashort laser pulses", *ICALEO E*, pp. 64-7, 1996.
- [19] T.J. Rockstroh, X. Chen, W.T. Lotshaw, "Influence of laser pulse duration on laser drilled hole quality in nickel based super alloy", *ICALEO C*, pp. 113-122, 1996.
- [20] X. Chen, W.T. Lotshaw, A.L. Ortiz, P.R. Staver, C.E. Erikson, M.H. McLaughlin, T.J. Rockstroh, "Laser drilling of advanced materials: Effects of peak power, pulse format, and wavelength", *J. Laser Appl.*, vol. 8, pp. 233-239, 1996.
- [21] S.O. Roos, "Laser drilling with different pulse shapes", *J. Appl. Phys.*, vol. 51, pp. 5480-5485, 1980.
- [22] D.K. Low, L. Li, P.J. Byrd, "Taper control mechanism and taper control during laser percussion drilling of Ni alloy", *Proceedings of the 33rd International Matador Conference*, Springer, London, 913-921, (2000).
- [23] D.K. Low, L. Li, A.G. Corfe, P.J. Byrd, "Taper control during percussion drilling of Nimonic alloy using sequential pulse delivery pattern control (SPDPC)", *Proceedings of the ICALEO C*, vol. 87, Springer, Berlin, 11-20, (1999).
- [24] S. Bandyopadhyay, J.K. Sarin Sundar, G. Sundararajan, S.V. Joshi, "Geometrical features and metallurgical characteristics of Nd:YAG laser drilled holes in thick IN718 and Ti-6Al-4V sheets", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 127, pp. 83-95, 2002.
- [25] G. D. Gautam, A. K. Pandey, "Pulsed Nd:YAG laser beam drilling: A review", *Optics & Laser Technology*, vol. 100, pp. 183-215, 2018.
- [26] A. Stephen, G. Schrauf, S. Mehrafsun, F. Vollertsen, "High speed laser micro drilling for aerospace applications", *Procedia CIRP*, vol. 24, pp. 130-133, 2014.
- [27] E. Kannatey-Asibu, Jr., *Principles of Laser Materials Processing*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, USA, 231-280p., 361-383p, 2009.
- [28] A. Bharatish, H.N. Narasimha Murthyn, G. Aditya, B. Anand, B.S. Satyanarayana, M. Krishna, "Evaluation of thermal residual stresses in laser drilled alumina ceramics using Micro-Raman spectroscopy and COMSOL Multiphysics", *Optics & Laser Technology*, vol. 70, pp. 76-84, July 2015.
- [29] G. H. S. J. S. S. J. S. Badyopadhyay S, "A statistical approach to determine process parameter impact in Nd:YAG laser drilling of IN718 and Ti-6Al-4V sheets", *Optic and Lasers Engineering*, vol. 43, p. 163, August 2005.
- [30] HP-L-8.9 Laser Scanner Brochure, URL: <http://apps.hexagon.se/downloads123/hxmt/romer/HP-PL89/brochures/HP-L-8.9-brochure-en.pdf>» Hexagon Metrology, [Erişim zamanı: Ocak, 01 2018].
- [31] C. Fry, A. Faulkner, *Current concepts in aesthetic and reconstructive oculoplastic surgery*, vol. 54, *Current Concepts in Aesthetic and Reconstructive Oculoplastic Surgery*, pp. 957, 2000.

Effects of Different Row Spacings and Different Fertilization Doses on the Seed Yield and Some Agronomic Characteristics of the Tall Fescue

*¹Mustafa Yılmaz

Sakarya University of Applied Sciences, Pamukova Vocational School, Sakarya/Turkey

mustafayilmaz@subu.edu.tr 

Research Paper

Arrival Date: 27.08.2019

Accepted Date: 02.03.2020

Abstract

This research was carried out in the ecological conditions of the Pamukova district of the Sakarya province between November 2013-July 2016, in order to determine the seed yield and some yield properties of the tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) plant sown at different row spacings and with different fertilization doses. The experiment was conducted in the randomized block design with 4 different (0, 10, 20 and 30 g m⁻²) fertilizer doses and at 2 different row spacings (20 and 40 cm). In this research; vegetative shoot number (count m⁻²), seed yield (g m⁻²), straw yield (g m⁻²), biomass yield (g m⁻²), harvest index (%) and winter endurance (1-9 point) were determined. At the end of study, the highest values were obtained from in the 20 cm row spacings and 30 g m⁻² fertilizer dose compare to control.

Keywords: Tall Fescue, Row spacing distance, Fertilizer dose, Seed yield, Agronomic characteristic.

1. INTRODUCTION

Turfgrasses are the most commonly used ground covering plants in recreational areas and areas used for sports, as well as for erosion prevention purposes. The rate of use of grass plants is proportional to the prevalence of green field cultures in the community.

The supply of seeds is one of the biggest problems encountered in our country concerning the spread of the culture of creating green areas. Today, the seeds of many widely used turf plants are purchased and sold despite lack of knowledge regarding seed species, varieties and species' name; insufficient data concerning seed quality, and absence of legislative regulation and authorized technical staff.

Although our country has very different and suitable ecological conditions for cultivating turfgrass used in creating green areas [1,2,3,4] the total amount of turf seed produced annually is 300 tons on average, while in the same interval, turf seed of around 4700 tons is imported, amounting to a total of 5000 tons and resulting in \$10 million in expenses [5]. In order to save the country's resources and to obtain required seed, production needs to be established in areas suitable for domestic production.

The tall fescue plant is among important plants used for creating green areas in our country. It is known that agronomic applications such as row spacing and fertilization have important effects on the seed yields of plants [1,2].

Some researchers [2,3,4,6,7,8,9,] have suggested combined (NPK) fertilizer doses differing between 15-10-10 and 45-40-50 for good seed yield in *Festuca arundinacea*. Many researchers [1,2,3,4,10-26] have also reported extensive data and research results on some of its botanical characteristics.

This study aims to investigate the seed production potential and some yield properties of the *Festuca arundinacea* turf variety as an extensively used plant in the establishment of green areas in existing ecological conditions with different row spacings and application of nitrogen fertilizer at different doses.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Material

The study was conducted in the research area of the Pamukova Vocational School of Sakarya University (N 40° 30' 20.462, E 30° 10' 9.263 and 80 m above sea level) for a 3-year period between 2013-2016.

The research area's long term climatic data and data for the period between November 2013-July 2016 are given in Table 1.

Table 1. The climate dates of Geyve for the years 2013-2016 and Long Term Average (L.T.A.)^(*)

*Corresponding Author: Sakarya University of Applied Sciences, Pamukova Vocational School, Sakarya/Turkey, mustafayilmaz@subu.edu.tr

Years	Total Prec.(mm)	Average Temp.(°C)	Relative Hum. (%)
2013-14	596.6	14.7	77.4
2014-15	845.5	14.7	78.0
2015-16	539.8	15.0	77.0
L.T.A.	685.9	14.7	76.9

(*): *Meteorological Bulletin for Geyve/Sakarya.*

Total precipitation in the 1st and 3rd year of the research was lower than long term average, but was higher in the 2nd year. Average temperature data for the 1st and 2nd year was similar to long term data, but was relatively higher for the 3rd year. Relative humidity values for all three years were very close to long term average.

Soil samples taken from 0-20 and 20-40 cm depths of the research area were analyzed in the Sakarya University Pamukova Vocational School laboratory [27] and results were listed in Table 2.

Table 2. Soil properties of the research area.

Properties	Sample Depth (cm)	
	0-20	20-40
Structure	loamy	loamy
pH	6.70	7.61
Total salt (%)	0.024	0.023
CaCO ₃ (%)	5.61	7.50
Organic matter (%)	1.61	1.14
Nitrogen (kg ha ⁻¹)	1.12	0.65
P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	10.5	8.5
K ₂ O (kg ha ⁻¹)	205.0	255.0

According to analysis results, soil at 0-20 cm depth was determined as loamy-textured, having medium acid reaction; at middle range in terms of salinity, lime and organic matter, insufficient in total nitrogen and available phosphorus, and rich in potassium. Soil at 20-40 cm depth was identified as slightly alkaline and was in the same group in terms of other values.

The seed used in the research was the “Rebel XLR” variety of *Festuca arundinacea*, a variety released to market by the private sector.

2.2. Method

The research was conducted in a two-factor structure with two different row spacings (20 and 40 cm) and four different nitrogen fertilizer doses (0, 10, 20, 30 g m⁻²).

The experiment was set up in the randomized block design with 3 replications. Plot dimensions were arranged to form 20 cm row spacings of 5 m×1.60 m = 8 m² and 40 cm row spacings of 5 m×3.20 m = 16 m². The plots were established in accordance with the Technical Instructions Concerning Experiments on Value for Cultivation and Use [28].

Ammonium Nitrate (33% N) fertilizer was used as the source of fertilizer. The annual nitrogen fertilizer amount was separated into 3 equal parts and was administered every year during the period of tillering (March 25), before (April 25) and after (May 25) the period of heading. Soil analyses revealed insufficient phosphorus, thus triple superphosphate (P₂O₅ 42%, TSP) fertilizer was applied on an annual basis starting with the first year of sowing and continuing in later years around October at a rate of 10 g m⁻² and, in this way, the phosphorus amount was kept steady.

The seeds were sown on 21 November 2013 into 2 cm depth in accordance with the 3 g m⁻² [1,2,7,11] calculation. Irrigation was implemented using the sprinkler irrigation system. Weeds were combated using the hoeing method.

Seed harvest was performed when the seeds on panicles reached maturity; which was on 25 June 2014 for the first year, 5 July 2015 for the second year and 15 June 2016 for the third year. All panicles were dried at room temperature, grinded manually for separation of seeds, and sturdy seeds were isolated from empty seeds and glumes.

2.3. Properties examined in the study

Properties examined in the study were vegetative shoot number (count m⁻²), seed yield (g m⁻²), straw yield (g m⁻²), biomass yield (g m⁻²), harvest index (%) (Anonymous, 2014) and winter endurance (1-9 point: 1: yellow, 9: dark green) [6].

2.4. Evaluation of dataRussi

Statistical analyses for the research data were carried out in a two-factor randomized blocks design, using the TARIST program [29] and according to row spacing, fertilizer dose and row spacing x fertilizer dose interactions. The resulting LSD (5%) values were given in the tables.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Statistically significant differences were observed in terms of row spacing, fertilizer dose and row spacing x fertilizer dose interactions for all features examined in the study and the LSD (5%) values were indicated under the Tables.

3.1. Vegetative shoot number

Vegetative shoot found in 5 different 10-cm unit areas in every plot were counted, this number was then multiplied with 10 to find the number in 1 meter and multiplied with area to obtain data for count m⁻². The resulting data was listed in Table 3.

Table 3. Values of Vegetative shoot number (count m⁻²) and Seed yield (g m⁻²).

Years	Row Spac. (cm)	Vegetative shoot number (count m ⁻²)*					Seed yield (g m ⁻²)**				
		Fertilizer Doses (g m ⁻²)				Mean	Fertilizer Doses (g m ⁻²)				Mean
		0	10	20	30		0	10	20	30	
1 st	20	615	845	950	1034	861	70.7	107.4	144.9	161.8	121.2
	40	504	655	790	921	718	54.6	105.9	129.4	156.5	111.6
	Mean	560	750	870	978	789	62.9	107.1	137.5	159.6	116.8
2 nd	20	683	886	1058	1166	948	81.3	120.1	165.2	185.8	138.1
	40	542	711	824	961	760	58.8	122.2	154.1	177.3	128.1
	Mean	613	799	941	1064	854	70.2	121.6	160	181.7	133.4
3 th	20	641	861	1010	1097	902	78.2	113.7	153.6	175.5	130.3
	40	521	679	811	939	738	54.7	112.8	144	167.5	119.8
	Mean	581	770	911	1018	820	66.8	113.7	149.4	171.6	125.4
Mean	20	646	864	1006	1099	904	76.7	113.6	154.4	174.2	129.7
	40	522	682	808	940	738	56	113.5	142.3	167	119.7
	Mean	584	773	907	1020	---	66.6	114	148.9	170.9	---
(*) LSD 5%		RS:	1 st 8.2 2 nd 7.1	3 th 7.3 M. 11.4	FD:	1 st 14.5 2 nd 13.8	3 th 17.3 M. 16.1	RS×FD	1 st 13.9 2 nd 13.1	3 th 13.5 M. 15.4	
(**) LSD 5%		RS:	1 st 2.31 2 nd 2.22	3 th 2.19 M. 3.11	FD:	1 st 4.41 2 nd 4.26	3 th 4.29 M. 4.17	RS×FD	1 st 1.42 2 nd 1.34	3 th 1.29 M. 1.28	

RS: Row Spacings, FD: Fertilizer Doses, RS×FD: Row Spacings × Fertilizer Doses, M.: Mean

When results were examined with regard to row spacing distance, higher values were obtained from the 20 cm row spacing than the 40 cm row spacing for all years of the research and for average values.

The highest value was measured in the 20 cm row spacing with 948 count m⁻² in the second year. Assessment in terms of nitrogen doses revealed that highest values were identified in the 30 g m⁻² dose, with a result of 1020 count m⁻². Analysis of results for row spacing x fertilizer dose interactions showed highest vegetative shoot number values (1166 count m⁻²) in the 20 cm row spacing and 30 g m⁻² fertilizer dose in the second year. In grasses, each germinated seed produces more than one shoot and this process is called “tillering”. Some of the tillers grow panicles, but do not produce seeds. These are called a “Vegetative Shoot”. On the other hand, those that do produce seeds are defined as “Generative Shoot” [10]. If the generative panicle number in a unit area is high, seed yield for grasses is affected positively [1,2,6].

An increase in the generative shoot number is aimed by encouraging tillering with the use of nitrogen fertilizer when producing seed [25]. These results support the reports of many researchers [14,16,17,20,23].

3.2. Seed yield

The average values for the amounts of seed taken from an area of 1 m² in each plot are presented in Table 3. Review of

the data in terms of row spacing distance shows that higher values were obtained from the 20 cm row spacing in comparison to the 40 cm row spacing, for all years of the research and for average values. The highest value was determined in the 20 cm row spacing in the second year with a measurement of 138.1 g m⁻². The study conducted by [22] achieved higher seed yield in the 20 cm row spacing and their values were similar to the results of our study.

Highest values with respect to nitrogen doses were observed in the 30 g m⁻² dose, with a value of 170.9 g m⁻² in average.

Analysis of results for row spacing × fertilizer dose interactions revealed highest seed values (185.8 g m⁻²) in the 20 cm row spacing and 30 g m⁻² fertilizer dose in the second year. Application of higher doses of nitrogen created a positive effect on seed yield. Similar studies carried out in different ecological conditions [1,3,15,16,20,23] emphasized that the application of nitrogen fertilizer increased seed yield. Seed yields achieved in this study were higher than the values of numerous researchers [9,11,13-21,23,26,].

3.3. Straw yield

The average values for the amounts of seed taken from an area of 1 m² in each plot were presented in Table 4.

Table 4. Values of Straw yield (g m⁻²) and Biomass yield (g m⁻²).

Years	Row Spac. (cm)	Straw yield (g m ⁻²)*					Biomass yield (g m ⁻²)**				
		Fertilizer Doses (g m ⁻²)				Mean	Fertilizer Doses (g m ⁻²)				Mean
		0	10	20	30		0	10	20	30	
1 st	20	636	1005	1214	1319	1044	707	1112	1359	1481	1165
	40	597	889	1141	1287	979	652	995	1270	1444	1090
	Mean	617	947	1178	1303	1011	680	1054	1315	1463	1128
2 nd	20	676	1161	1261	1361	1115	757	1281	1426	1547	1253
	40	641	1093	1188	1312	1059	700	1215	1342	1489	1187
	Mean	659	1127	1225	1337	1087	729	1249	1384	1518	1220
3 th	20	661	1048	1247	1341	1074	739	1162	1401	1517	1205
	40	626	968	1155	1261	1003	681	1081	1299	1429	1123
	Mean	644	1008	1201	1301	1038	710	1122	1350	1473	1164
Mean	20	658	1071	1241	1340	1078	734	1185	1395	1515	1207
	40	621	983	1161	1287	1013	678	1097	1303	1454	1133
	Mean	640	1027	1201	1314	---	706	1141	1349	1485	---
(*) LSD 5%		RS:	1 st 5.41	3 th 6.11	FD:	1 st 6.61	3 th 5.42	RS×FD	1 st 4.32	3 th 5.22	
			2 nd 6.25	M. 5.17		2 nd 6.76	M. 5.23		2 nd 4.11	M. 4.23	
(**) LSD 5%		RS:	1 st 16.4	3 th 18.1	FD:	1 st 19.1	3 th 18.2	RS×FD	1 st 15.2	3 th 15.6	
			2 nd 15.5	M. 17.7		2 nd 66.6	M. 17.3		2 nd 14.2	M. 14.2	

Review of the data in terms of row spacing distance shows that higher values were obtained from the 20 cm row spacing in comparison to the 40 cm row spacing, for all years of the research and for average values. The highest value was determined in the 20 cm row spacing in the second year with a measurement of 1115 g m⁻². Highest values with respect to nitrogen doses were observed in the 30 g m⁻² dose, with a value of 1314 g m⁻² in average. Analysis of results for row spacing x fertilizer dose interactions revealed highest seed values (1361 g m⁻²) in the 20 cm row spacing and 30 g m⁻² fertilizer dose in the second year. Straw yields achieved in this study were higher than the values of some researchers [14,16,17,20,23].

3.4. Biomass yield

Yield values, obtained by adding the seed and shoot yield of each plot, are given in Table 4. As in seed yield and shoot

yield values, review of the data in terms of row spacing distance shows that higher values were obtained from the 20 cm row spacing in comparison to the 40 cm row spacing, for all years of the research and for average values. The highest value was determined in the 20 cm row spacing in the second year with a measurement of 1253 g m⁻². Highest values with respect to nitrogen doses were observed in the 30 g m⁻² dose, with a value of 1485 g m⁻² in average. Analysis of results for row spacing x fertilizer dose interactions revealed highest seed values (1547 g m⁻²) in the 20 cm row spacing and 30 g m⁻² fertilizer dose in the second year. The results of the present study are higher than that of some researchers [14,16,17,20,23].

3.5. Harvest index

The harvest index values obtained by proportioning the biological yields to seed yields are given in Table 5.

Table 5. Values of Harvest index (%) and Winter endurance (1-9 point)

Years	Row Spac. (cm)	Harvest index (%)*					Winter endurance (1-9 point)**				
		Fertilizer Doses (g m ⁻²)				Mean	Fertilizer Doses (g m ⁻²)				Mean
		0	10	20	30		0	10	20	30	
1 st	20	10.00	9.66	10.66	10.93	10.31	6.0	7.5	8.0	8.6	7.5
	40	8.37	10.64	10.19	10.84	10.01	5.8	7.0	7.8	8.2	7.2
	Mean	9.26	10.17	10.46	10.91	10.20	5.9	7.3	7.9	8.4	7.4
2 nd	20	10.74	9.38	11.58	12.01	10.93	6.8	7.8	8.6	8.8	8.0
	40	8.40	10.06	11.48	11.91	10.46	6.2	7.2	8.1	8.5	7.5
	Mean	9.64	9.74	11.56	11.97	10.73	6.5	7.5	8.4	8.7	7.8
3 th	20	10.58	9.78	10.96	11.57	10.72	7.2	7.9	8.4	8.8	8.1
	40	8.03	10.43	11.09	11.72	10.32	7.1	7.5	8.1	8.6	7.8
	Mean	9.41	10.14	11.07	11.65	10.57	7.2	7.7	8.3	8.7	8.0
Mean	20	10.44	9.59	11.07	11.50	10.65	6.7	7.8	8.6	8.8	8.0
	40	8.26	10.35	10.92	11.49	10.25	6.4	7.2	8.0	8.4	7.5
	Mean	9.43	9.99	11.04	11.51	---	6.5	7.5	8.3	8.6	---
(*) LSD 5%		RS:	1 st 0.01	3 th 0.04	FD:	1 st 0.05	3 th 0.04	RS×FD	1 st 0.03	3 th 0.05	

		2 nd 0.03	M. 0.05		2 nd 0.04	M. 0.06		2 nd 0.04	M. 0.06
(**) LSD 5%	RS:	1 st 0.02	3 th 0.02	FD:	1 st 0.02	3 th 0.03	RS×FD	1 st 0.03	3 th 0.02
		2 nd 0.01	M. 0.04		2 nd 0.01	M. 0.03		2 nd 0.02	M. 0.04

Review of the data in terms of row spacing distance shows that higher values were obtained from the 20 cm row spacing in comparison to the 40 cm row spacing, for all years of the research and for average values. The highest value was determined in the 20 cm row spacing in the second year with a measurement of 10.93%. Highest values with respect to nitrogen doses were observed in the 30 g m⁻² dose, with a value of 11.51% in average. Analysis of results for row spacing x fertilizer dose interactions revealed highest harvest yield values (12.01%) in the 20 cm row spacing and 30 g m⁻² fertilizer dose in the second year. The lowest value (8.03%) was determined in the third year in a 40 cm row spacing and 0 g m⁻² fertilizer dose.

The results of the present study are higher than that of some researchers [14,16,17].

3.6. Winter endurance

The results obtained with scores (1: yellow, 9: dark green) given according to the yellowing conditions of grass in the months of December-January-February every year are given in Table 5. Review of the data in terms of row spacing distance shows that higher values were obtained from the 20 cm row spacing in comparison to the 40 cm row spacing, for all years of the research and for average values.

The highest value was determined in the 20 cm row spacing in the third year with a measurement of 8.1 points. Highest values with respect to nitrogen doses were observed in the 30 g m⁻² dose, with a value of 8.6 point in average. Analysis of results for row spacing x fertilizer dose interactions revealed highest harvest yield values (8.8 points) in the 20 cm row spacing and 30 g m⁻² fertilizer dose in the second and third years. The lowest value (5.8 points) was determined in the first year in a 40 cm row spacing and 0 g m⁻² fertilizer dose.

Findings obtained in the research are similar to those of some researchers [14,16,17].

4. CONCLUSION AND SUGGESTIONS

The following results were reached with a holistic analysis of the values obtained in this study with consideration to the effect of different row spacings (20 and 40 cm) and different nitrogen fertilizer doses (0, 10, 20 30 g m⁻²) on the seed yield and certain botanical characteristics of the "Rebel XLR" variety of *Festuca arundinacea*.

When the data is examined in terms of row spacings; 20 cm row spacings gave higher values. In general, annual rainfall is sufficient, and when rainfall is sufficient and evenly spread throughout the season, seed yield increases due to the fact that there is more plant per unit area [1,3,6].

When the data is examined in terms of nitrogen dosing applications, the highest values were obtained in the 30 g m⁻² fertilizer dose. Many researchers [1,2,3,4,8,9,11,13-21,23,26,] indicate that increasing doses of nitrogen fertilizer application increases seed yield, and the results of this study validate this thesis.

Row spacing distance and fertilizer doses, components applied to data obtained in this study, were not the only factors affecting the performance of sown plants; the climate also played an important role. Long term average climatic data for the research area showed total annual precipitation at a value of 685.9 mm and annual average temperature at 14.7 °C (Table 1). Furthermore, the research area had 128.6 days of rain and cool temperatures (average 14.7 °C) in a year, according to long term data. It is possible to say that climatic date pertaining to the years of the research revealed close to ideal conditions especially in terms of the precipitation and temperature required to cultivate cool-season turf plants, among which *Festuca arundinacea* can be counted, with the purpose of producing seed and also a suitable ecology for the plants to enhance in full performance [1,3] Climatic differences between the years is a totally natural and unpreventable reality, which was also reflected onto the data of the research. Highest data was detected in the 2nd year, when rainfall was heaviest; and lowest values were observed in the 3rd year, when there was least rainfall and highest temperatures.

With an overall evaluation of the characteristics examined in the study, and in consideration of the seed yield and some important characteristics of the *Festuca arundinacea* plant; it can be said that this plant is suitably cultivated in the 20 cm row spacing and 30 g m⁻² nitrogen dose; which provided a seed yield of 161.8 g m⁻² in the 1st year, 185.8 g m⁻² in the 2nd year, 175.5 g m⁻² in the 3rd year and 174.2 g m⁻² in average according to our study results. However, there is no knowledge concerning the effects of higher doses than those administered in this research on the examined properties, particularly on seed yield. For this reason, it is clear that more research needs to be conducted with different row spacings, different doses and different fertilizer types in order to obtain reliably healthy and explanatory results.

REFERENCES

- [1] N. Açıkgöz, E. İlker ve A. Gökçöl, "Bilgisayarda Biyolojik Araştırmaların Değerlendirilmesi", Ege Üniv., TOTEMSTAT, (2004).
- [2] E. Açıkgöz, "Çim Alanlar Yapım ve Bakım Tekniği", Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bursa, 203, (1994).
- [3] E. Açıkgöz, "Yem Bitkileri". Yenilenmiş Baskı. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No: 82, (2001).
- [4] Anonymous, <http://www.tarim.gov.tr/BUGEM/TTSM/Belgeler/Tescil/Teknik%20.Talimatlar/Ye>

m%20Bitkileri/Bu%20C4%9Fdaygil%20Yem%20Bitkileri/01 cim.pdf, (2014).

[5] Anonymous, <http://www.tarim.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Tohumculuk/Tohumculuk-Istatistikleri>, (2017).

[6] R. Avcioğlu ve H. Soya, “Akdeniz İklimine Uygun Bazı Yeşil Alan Buğdaygillerinde Vejetatif Tohumluk Üretimi ile Vejetasyon Özellikleri Üzerinde Araştırmalar.” TUBİTAK Proje No: TOAG-879, Bornova-İzmir, (1996).

[7] R. Avcioğlu, “Çim Ekimi Dikimi Bakımı”. Ege Üniversitesi Yayınları, Ziraat Fakültesi Yayın No: 574, Bornova-İzmir, 332 s, (2014).

[8] J.B. Beard, “Turfgrass Science and Culture”. Englewood Cliffs, N. J. Printice Hall, London, (1973).

[9] U. Bilgili and E. Açıkgöz, “Year-Round Nitrogen Fertilization Effects on Growth and Quality of Sports Turf Mixtures”, Journal of Plant Nutrition, 28 (2): 299-307, (2005).

[10] A.R. Brohi ve A. Aydeniz, “Gübreler ve Gübreleme”, Cumhuriyet Üniv., Ziraat Fakültesi Yayınları: 10, Ders Kitabı: 3, Tokat, 880 s, (1991).

[11] C.L. Canode, “Influence of Row Spacing and Nitrogen Fertilization on Grass Seed Production”. Agronomy Journal, 60 (3): 263-267, (1967).

[12] S.T. Cockerham, V.A. Gibeault, J.V. Dam and M.K. Leonard, “Tolerance of Cool Season Turfgrasses to Sports Traffic, Turfgrass-Culture”. University of California, Riverside, CA 92521, USA, (1989).

[13] M.S. Gençkan, “Yembitkileri Tarımı”. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları No: 417, Bornova - İzmir, 519 s., (1983).

[14] N. Grossi, M. Volterrani, S. Magni and S. Miele, “Tall Fescue Turf Quality and Soccer Playing Characteristics as Affected by Mowing Height”. Acta Hort. (Ishs) 661:319-322, (2004).

[15] F. Hope, “Rasen”, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, Germany, 216 pp, (1983).

[16] B. Huang and H. Gao, “Root Physiological Characteristics Associated with Drought Resistance in Tall Fescue Cultivars”, Crop Science, 40: 196-203, (2000).

[17] A.F. Kelly, “Seed Production of Agricultural Crops”, Longman Scientific & Technical Copublished in the U. S. With John Wiley & Sons, Inc., 227 p, (1988).

[18] E. Kün, “Serin İklim Tahıllar”, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları: 875, Ders Kitabı: 240, Ankara, 307 s, (1983).

[19] S. Miele, M. Volterrani, S. Magni and M. Gaetani, “Winter Quality of Tall Fescue Turfs, Effect of Renovation Technique and Nitrogen Fertilization”, Dipartimento di

Agronomia e Gestione dell’ Agroecosistema, Università di Pisa, Italy. *Italy Jou. of Argonomy*, 6, 2, 97-101, (2002).

[20] İ. Nizam, “İki Buğdaygil Bitkisinde Farklı Dozlarda Azot Uygulamalarının Ot ve Tohum Verimleri ile Verime Etkili Karakterler Üzerinde Etkileri. (PhD. Thesis). Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 136, (2004).

[21] A. Patton, and J. Boyd, “Choosing a Grass for Arkansas Lawns”, Agriculture and Natural Resources, Cooperative Extension Service, FSA2112, (2007).

[22] L. Russi, P. Annicchiarico, P. Martiniello, C. Tomasoni, E. Piano and F. Veronesi, “Turf Quality of Cool Season Grasses at Low Inputs: Reliability Across Years, Seasons and Sites of Evaluation”, Acta Horticulturae, No. 661: 387-392, (2004).

[23] A. Salman, B. Budak, B. Kır, E.V. Küçükbaş, ve M. Yılmaz, “Farklı gübre dozlarının çok yıllık çim (*Lolium perenne* L.) ve kamışsı yumak (*Festuca arundinacea* Shreb.) çim türlerinde tohum verimi ve bazı bitkisel özellikleri üzerine etkisi”, Ege Ün., Proje Raporu, Proje No: 14-BAMYO_001, İzmir, 62, (2017).

[24] A. Simic, S. Vuckovic, R. Maletic, D. Sokolovic. and N. Djordjevic, “The impact of seeding rate and inter-row spacing on Italian ryegrass for seed in the first harvest year”, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 33, 425-433, (2009).

[25] K.S. Walker, C.A. Bigelow, D.R. Smith, G.E. Van Scoyoc and Z.J. Reicher, “Aboveground Responses of Cool-Season Lawn Species to Nitrogen Rates and Application Timings”, Crop. Science, 47:1225-1236, (2007).

[26] M. Yılmaz, “Yeşil Alan ve Erozyon Kontrol Bitkisi Olarak Kullanılan Bazı Buğdaygillerin Tokat Şartlarında Yeşil Alana Uygunlukları ve Tohum Verimleri Üzerinde Araştırmalar”, (Doktora Tezi) Ege Ü., İzmir, 220, (2000).


[27] M. Yılmaz ve R. Avcioğlu, “Erozyon Kontrolünde Kullanılan Bazı Buğdaygillerin Tokat Koşullarında Tohum Verimlerinin Belirlemesi”, Türkiye 4. Tarla Bitkileri kongresi, 17-21 Eylül 2001, Tekirdağ, s. 149-154, (2001).


[28] M. Yılmaz ve R. Avcioğlu, “Yeşil Alan Tesisinde Kullanılan Bazı Buğdaygillerin Tokat Koşullarında Bazı Agronomik Özellikleri ve Tohum Verimlerinin Belirlemesi”, Gaziosmanpaşa Üni., Ziraat Fakültesi Dergisi, 19 (1): 87-95, (2002).

[29] W.C. Young III, G.A. Mellbye, G.A. Gingrich, T.B. Silberstein, S.M. Griffith, T.G. Chastain and J.M. Hart, “Defining optimum nitrogen fertilization practices for grass seed production systems in the Willamette Valley. <http://cropandsoil.oregonstate.edu/seed-ext/Pub/2000/01.pdf>. (2001).

Makine Öğrenimi Yöntemleri ile Türkiye için Sera Gazı Emisyonu Tahmini

*¹Melike Şişeci Çeşmeli, ²İhsan Pençe

¹ Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, melikesisecei@mehmetakif.edu.tr, 

² Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, ihsanpence@mehmetakif.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 13.12.2019

Kabul Tarihi: 26.03.2020

Öz

Sera gazı emisyonu dünyamızın kendini yenileme kapasitesinin önüne geçerek, ozon tabakasının delinmesi, küresel ısınma ve besin kaynaklarının azalması gibi sonuçlara sebep olmaktadır. Ayrıca sera gazları, ekolojik ayak izini oluşturan en büyük etmendir. Dünyanın daha yaşanılabilir ve kendi kendine yetebilir olması için biyokütle alanları ile ekolojik ayak izi dengede olmalıdır. Bu dengeyi sağlamak için ise sera gazı emisyonunun ileriye yönelik durumu belirlenmelidir. Bu çalışmada, makine öğrenimi algoritmaları kullanılarak Türkiye için ileriye yönelik sera gazı emisyonu tahminlemesi gerçekleştirilmiş olup, veri setini Türkiye'ye ait 1967-2017 yılları arasındaki sera gazı emisyonu oluşturmaktadır. Yöntemlerin başarısını sınamak için öncelikle veri seti zaman serisi olarak ele alınmış daha sonra ise istatistiksel olarak da sonuçları değerlendirmek için 10-kat çapraz doğrulama uygulanmıştır. En iyi algoritma olarak Uzun Kısa-Vadeli Hafıza tespit edilmiş olup zaman serisi olarak değerlendirilen test setinde bu algoritmanın ortalama karesel hataların karekökü, ortalama mutlak yüzde hata ve belirleme katsayısı değerleri sırası ile 0.25, 1.11, 1.0 bulunmuştur. Bu başarılı sonuçlar ile oluşturulan model 2018-2031 yılına kadar olan sera gazı emisyonunu tahmin etmek için kullanılmıştır. Tahmin edilen emisyon değerleri günümüze göre yüksek seviyede olup bu değerler göz önüne alınarak gerekli tedbir ve biyokütleyi artırıcı faaliyetlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sera gazı emisyonu, Makine öğrenimi, Derin Öğrenme, Uzun Kısa-Vadeli Hafıza, Tahminleme.

Forecasting of Greenhouse Gas Emissions in Turkey using Machine Learning Methods

*¹Melike Şişeci Çeşmeli, ²İhsan Pençe

¹ Burdur Mehmet Akif Ersoy University, melikesisecei@mehmetakif.edu.tr

² Burdur Mehmet Akif Ersoy University, ihsanpence@mehmetakif.edu.tr

Abstract

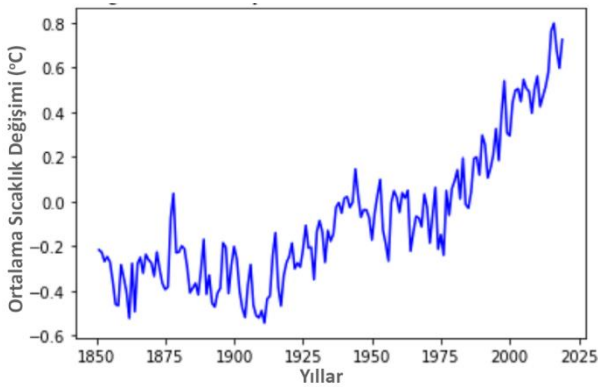
Greenhouse gas emissions prevent our world's self-renewal capacity and cause ozone depletion, global warming and reduced food resources. In addition, greenhouse gases are the biggest factor that creates the ecological footprint. To make the world more livable and self-sufficient, the biocapacity fields and the ecological footprint must be in balance. In order to achieve this balance, the situation for the future of greenhouse gas emissions should be determined. In this study, the forecasting of greenhouse gas emissions for Turkey is carried out using machine learning algorithms, and the data set denominated greenhouse gas emissions of Turkey between the years 1967-2017. In order to test the success of the methods, the data set is first handled as a time series and then 10-fold cross-validation is applied to evaluate the results statistically. Long Short-Term Memory is determined as the best algorithm and in the test set evaluated as time series, root mean square error, mean absolute percentage error and the coefficient of determination of this algorithm are found as 0.25, 1.11, and 1.0 respectively. The model created with these successful results is used to estimate greenhouse gas emissions between 2018 and 2031. Forecasted emission values are at a high level compared to today, and necessary measures and activities to increase biomass should be carried out considering these values.

Keywords: Greenhouse gas emissions, Machine learning, Deep Learning, Long Short-Term Memory, Forecasting.

1. GİRİŞ

Karbon gazının da büyük çoğunluğunu oluşturduğu sera gazı emisyonu, son yıllarda dünyamızın kendini yenileme kapasitesinin önüne geçmektedir. Özellikle Sanayi Devrimi'nden sonra büyük ölçüde fosil yakıtlara dayanan enerji üretimi, küresel ısınmaya yol açan sera gazı emisyonlarında hızlı bir artışa neden olmuştur. Bu durum ozon tabakasının delinmesi, küresel ısınma, besin kaynaklarının azalması ve iklim değişikliği gibi sonuçlara sebep olmaktadır. Değişen iklimin ise çeşitli ekolojik, fiziksel ve sağlık etkileri bulunmaktadır. Bunlar arasında aşırı depresif hava olayları, iklimde kar örtüsü, deniz buzu ve buz tabakalarının hacminde azalma, deniz seviyesinde yükselme, değişmiş ürün büyümesi ve bozulmuş su sistemleri bulunmaktadır [1], [2]. En büyük oranını sera gazlarının oluşturduğu ve insan tüketimlerine bağlı olan ekolojik ayak izi ise, daha yaşanabilir ve kendi kendine yetebilen bir dünya için biyokütle alanları ile dengede olmalıdır. Fakat son yıllarda sera gazı emisyonu gitgide artmakta olup, alınacak önemler için emisyon miktarının ileriye yönelik belirlenmesi gerekmektedir.

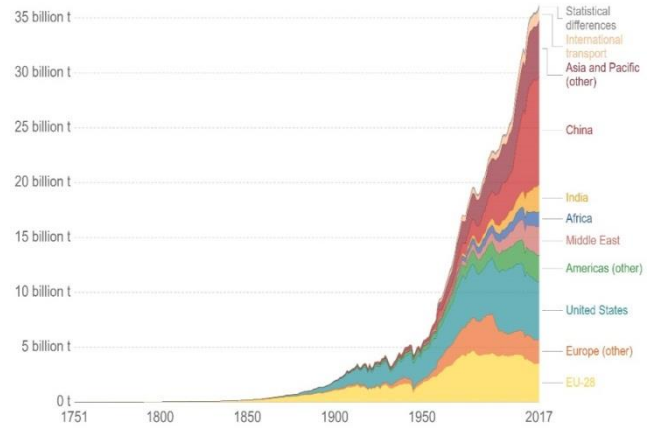
Sera gazı emisyonunun etkisi ile atmosferde oluşan olumsuz değişikliklere bağlı olarak dünyamızın ortalama sıcaklığı gittikçe artmaktadır [3]. Dünyamızın ortalama sıcaklığı 1850 ile 2018 yılları arasında ortalama 1.2 °C değişime uğrarken, 1961 ile 1990 yılları ise ortalama sıcaklık değişiminin en fazla yaşandığı dönemdir [1], [3]. Küresel ısınmanın nedenlerini hafifletici önlemlerin alınması da yine konu ile ilgili araştırılma ve gelecek tahminlerini gerektirmektedir [2]. Şekil 1'de yıllara göre dünyanın ortalama sıcaklığındaki değişimler görülmektedir.



Şekil 1. 1850-2018 yılları arasında dünyanın ortalama sıcaklığındaki değişimler [2]

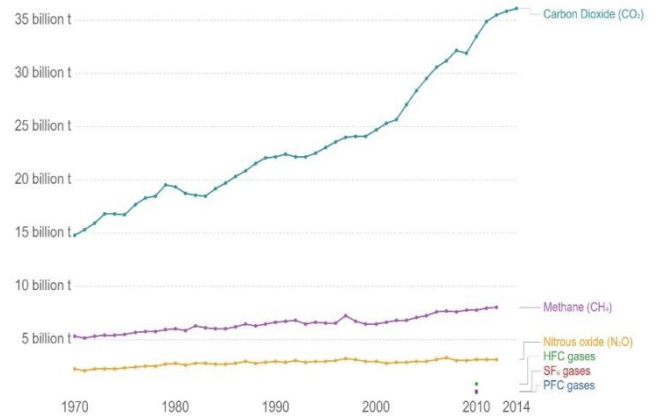
1900 yılında 2 milyar ton olan karbon emisyonu 2017 yılında 36 milyar ton olmuş olup bu artış oranı dünyamızın yaşanabilir bir yer olmasını tehdit etmektedir. Toprak organik karbon (C) tutunma potansiyeli ve toprak azot oksit (N₂O) emisyonları açısından toprak türlerindeki farklılıklar da sera gazı emisyonları üzerinde etkili olup bu sebeple bölgelerin veya ülkelerin kendi içlerinde de analiz edilmesi önemlidir. Mevcut botanik bileşim, çevresel koşullara göre otlama zamanlamasının yanı sıra emme ve besin değerini de

etkileyebilmektedir [4]. Şekil 2'de dünyadaki bölgelere göre karbon emisyonu ton cinsinden görülmektedir.



Şekil 2. Bölgelere göre karbon emisyonu [1]

Sera gazı emisyonunda hangi gazların ne kadar buldukları ton cinsinden Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Gaz çeşidine göre sera gazı emisyonu değerleri [1]

Şekil 3'te de görüldüğü gibi sera gazı emisyonuna etki eden gazların büyük çoğunluğunu CO₂ oluşturmasına rağmen diğer gazların etkisi de azımsanmayacak seviyededir. Fakat yıllara göre değişim miktarı en çok olan gaz çeşidi de yine CO₂ dir [5]. Bu sebeple, dünyamızın üretebildiği biyokütle miktarından gittikçe artarak aradaki farkı açan ekolojik ayak izi oranını kontrol altına alabilmek için sera gazı veya CO₂ emisyonunun tespiti oldukça önemlidir. İleriye yönelik sera gazı emisyonu tahmini, ülkelerin ve üzerinde yaşadığımız dünyamızın daha yaşanabilir bir yer olması için yol gösterici olacaktır. Tahminleme, günümüzde birçok alanda kullanılmakta olup yapay zekâ ve makine öğrenimi algoritmaları ile gerçekleştirilebilmektedir.

Sera gazı emisyonu üzerine yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde, ilk olarak yapay zekâ teknikleri kullanılarak modelleme ve tahminleme işlemlerinin yapıldığı çalışmalar göze çarpmaktadır. Bunlardan bazıları üretim tesislerinin veya üretilen ürünlerin sera gazı emisyonunun modellenmesinin ve tahminlerinin yapıldığı çalışmalardır

[6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14]. Literatürdeki benzer diğer çalışmalar ise; en büyük sera gazı emisyonu olan CO₂ çözünürlüğünün Yapay Sinir Ağları (YSA) ile tahminlenmesi [15], yine YSA ile sera gazının modellenmesi [16], sera gazı emisyonunu azaltmak için veri madenciliği teknikleri ile yeni ulaştırma sistemleri önermesi [17], portakal tarımı için enerjinin ve sera gazının YSA ve genetik algoritma ile optimize edildiği çalışma [18], sera gazı ve hava kirliliğini azaltma stratejileri için iş zekâsı modelinin önerildiği yada CO₂ emisyonunu azaltmak için akıllı teknoloji çalışmaları [19], [20], bölgesel ve küresel düzeyde emisyon ve maliyet azaltmak için GAINS bulut akıllı servis sistemi [21], arı kolonisi ve YSA ile karbondioksit emisyon tahmini çalışması [22], çeltik üretiminin veya besi çiftliklerinin enerji çıktısı ve çevresel etkilerinin tahmini için yapay zekâ tekniklerinin kullanıldığı [23], [24] çalışmalar göze çarpmaktadır.

Toprak türlerindeki farklılıkların sera gazı emisyonları üzerinde etkili olduğu bilinmekte olup [4], ülkelerin bu açıdan kendi içinde değerlendirilmeleri önemlidir. Bu sebeple gerçekleştirilen bu çalışma, literatürde Türkiye'nin sera gazı emisyonu üzerine olan literatürü güçlendirecektir. Ayrıca derin öğrenme tabanlı algoritmaların sera gazı emisyonlarının modellenmesinde literatürdeki çalışmaların eksikliği görülmekte olup derin öğrenme algoritmaları arasında yer alan Uzun Kısa-Vadeli Hafıza (LSTM) yönteminin zaman serisi problemleri ve sera gazı emisyon modellerinde başarılı sonuçlar verdiği de yine yapılan çalışma ile gösterilmiştir.

Türkiye için ileriye yönelik sera gazı emisyonu tahminlemesinin gerçekleştirildiği çalışmada, makine öğrenimi algoritmalarından Poisson regresyonu, lineer regresyon (LR), YSA, Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve LSTM kullanılmış olup veri setini Türkiye'ye ait 1967-2017 yılları arasındaki milyar ton cinsinden sera gazı emisyonu oluşturmaktadır. Yararlanılan algoritmalar literatürdeki popülerlikleri sebebiyle tercih edilmiş olup, derin öğrenme yöntemleri arasında yer alan ve özellikle de zaman serisi problemleri için kullanılan LSTM de güncel ve popüler algoritmalar arasındadır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada modellemesi ve tahmini gerçekleştirilen Türkiye'ye ait sera gazı emisyonu için yararlanılan veri seti Ritchie, H. ve Roser, M.'nin derlediği verilerden oluşmaktadır [1]. Veri seti, 1750-2019 yılları arasında farklı ülkelerin sera gazı emisyonlarını içermekte olup, bu çalışmada Türkiye'ye ait var olan son veriye ait 2017 yılı baz alınarak son 50 yılı içeren 1967-2017 yıllarına ait değerler kullanılmıştır. Ton cinsinden yer alan sera gazı emisyonları hesaplama kolaylığı açısından milyar tona çevrilerak kullanılmıştır. Algoritmaların özniteliklerini tarih bilgisi oluşturmakta olup, çıkış değerlerini ise milyar ton cinsinden sera gazı miktarı oluşturmaktadır. Veri setine ait bazı örnekler Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Türkiye'ye ait sera gazı emisyon miktarları (Milyar Ton)

Tarih	Sera Gazı Emisyonu
1967	0.505138
1968	0.541404
1969	0.580156
.	.
.	.
.	.
2015	8.751768
2016	9.154589
2017	9.602486

Sera gazı emisyonu için oluşturulacak makine öğrenimi modeli öznitelik olarak yıl bilgisini kullanmakta olup zaman serisi biçimindedir. Bu sebeple veri seti zaman serisi şeklinde ele alınıp test edilmiştir. Bunun yanında modelin kendi içerisinde de iyi kurulduğunu tespit etmek için istatistiksel bir yöntem olan çapraz doğrulamadan da yararlanılmıştır. Çapraz doğrulama, öğrenen modelin daha önce görmediği veriler için yeni tahminler yapması istenildiğinde ne kadar iyi tahmin yapabileceğinin bir göstergesi olabilen istatistiksel bir model değerlendirme yöntemidir. Elde edilen en başarılı model daha sonra ileriye yönelik sera gazı emisyonunu tahmin etmek için kullanılmıştır. Makine öğrenimi algoritmalarından Poisson regresyonu, LR, YSA, ANFIS ve LSTM'nin kullanıldığı çalışmada zaman serisi ve çapraz doğrulama testlerinde en iyi sonucu veren algoritma belirlenirken, algoritmalara ait en uygun parametrelere ise grid arama sonucunda karar verilmiştir. Grid arama, belirtilen her hiperparametre kombinasyonu için bir model oluşturur ve her bir modeli ayrı ayrı değerlendirir [25]. Normalizasyonun modelin eğitimine ilişkin etkisi de incelenmiş olup bunun için min-max normalizasyonu kullanılmıştır. Bu normalizasyon tekniği veriyi doğrusal olarak Eşitlik (1)'deki gibi [0-1] aralığında normalleştirir.

$$x'_i = \frac{(x_i - x_{min})}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de x_i normalize edilecek i . veriyi, x'_i normalize edilmiş veriyi, x_{min} ve x_{max} ise veri setindeki minimum ve maksimum değerleri ifade etmektedir.

Modellerin başarılarını değerlendirmek için ise Ortalama Kare Hataların Karekökü (RMSE), Ortalama mutlak Yüzde Hata (MAPE) ve belirleme katsayısı (R^2) kullanılmıştır.

Eşitlik (2)'de RMSE, Eşitlik (3)'te MAPE ve Eşitlik (4)'te ise R^2 formülleri verilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2)$$

Eşitlik (2)'de y hedeflenen emisyon değerini, \hat{y} ise bulunan emisyon değerini ifade etmekte olup, n ise örnek sayısıdır.

$$MAPE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{|y_i|} \right) * 100 \quad (3)$$

Eşitlik (3)'te MAPE formülü verilmiş olup y hedeflenen emisyon değerini, \hat{y} ise bulunan emisyon değerini, n ise örnek sayısını ifade etmektedir. MAPE, hatanın boyutunu yüzde olarak ölçmektedir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (4)$$

Eşitlik (4)'te y hedeflenen emisyon değerini, \hat{y} bulunan emisyon değerini, \bar{y} hedeflenen emisyon değerinin ortalamasını, n ise örnek sayısını ifade etmektedir.

Sonuçların değerlendirilmesi için ayrıca Wilcoxon rank sum testte uygulanmış olup, *null* test iki dağılımdaki verilerin eşit medyanlarla sürekli dağılımlardan alınan örnekler olduğunu belirtmektedir.

Bu çalışmada makine öğrenimi algoritmalarını çalıştırmak için Pycharm JetBrains PyCharm Community Edition 2019.3 programı kullanılmıştır.

2.1. Poisson Regresyonu

Poisson regresyonu, normal çoklu regresyona benzemekle birlikte burada bağımlı değişken Poisson dağılımını izleyen 0, 1, 2, 3 gibi gözlenen bir sayı olmaktadır. Poisson regresyonu, ayrık yanıt değişkenine sahip olan lojistik regresyona benzemekle olup, yanıt lojistik regresyonda olduğu gibi belirli değerlerle sınırlı değildir. Poisson dağılımı, bağımlı değişkene ilişkin olayların gerçekleşme olasılığını matematiksel bir eşitlik ile modellemektedir. Nadir görülen bir olayın ortalama görülme oranı maruz kalma birimi ile ifade edilmekte olup, ilgili maruz kalma zaman, mekân, mesafe, alan, hacim veya popülasyon büyüklüğü olabilmektedir. Maruz kalma genellikle bir süre olduğu için t ile ifade edilmektedir. Bağımlı değişkene ait olayların olasılığı Eşitlik (5) ile ifade edilebilir [26].

$$\Pr(Y = y | \mu, t) = \frac{e^{-\mu t} (\mu t)^y}{y!} \quad (y = 0, 1, 2, \dots) \quad (5)$$

Eşitlik (5)'te y bağımlı değişkeni ifade ederken, μ parametresi ise belirli bir t periyodu kadar maruz kalma süresi boyunca olayın yeni bir oluşum riski olarak yorumlanabilmektedir. Poisson dağılımı ortalama ve varyansın eşit olması özelliğine sahiptir [27].

2.2. Lineer Regresyon

LR, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi bir fonksiyon ile elde etmektedir. Bu ilişkinin düzeyi regresyon analizi ile ölçülebilmektedir. LR ile oluşturulan fonksiyon lineer olup Eşitlik (6)'daki gibidir.

$$y = ax + b \quad (6)$$

Eşitlik (6)'da x öznelikleri, y ise çıktı değerlerini ifade etmekte olup, verilere en iyi uyan doğru çizgisi, her bir veri noktası için hatanın en küçük olanıdır. Bunu sağlamak için ise en çok kullanılan yöntem en küçük kareler metodudur.

2.3. Yapay Sinir Ağları

YSA, insan beyninin çalışma şeklinin modellenmesiyle oluşturulmuş ve eğitilip öğrenmeyi gerçekleştiren sinir hücrelerini kullanmaktadır. Sinir hücresi olan nöronlar birbirleri ile bir ağ şeklinde bağlanırlar. YSA ağ tipine bağlı olarak genellikle ileri beslemeli, çok katmanlı ve geri beslemeli olarak ayrılmaktadır. İleri beslemeli sinir ağ yapısında nöronlar katmanlar şeklinde düzenlenir ve bir katmandaki nöronların çıkışları yalnızca bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilebilmektedir. Verilerin sahip oldukları girdiler giriş katmanında yer alırken, sonuç değerlerine ait çıkışlar da çıkış katmanında bulunmaktadır. Giriş ve çıkış katmanlarının arasında gizli katmanlar bulunur. YSA regresyonu için çıkış katmanında tek bir çıkış bulunmaktadır. Eşitlik (7)'de ileri beslemeli bir ağda tek bir nörona ait çıkış verilmiştir [28].

$$a_i = f(\sum w_{ij} g_j + b_i) \quad (7)$$

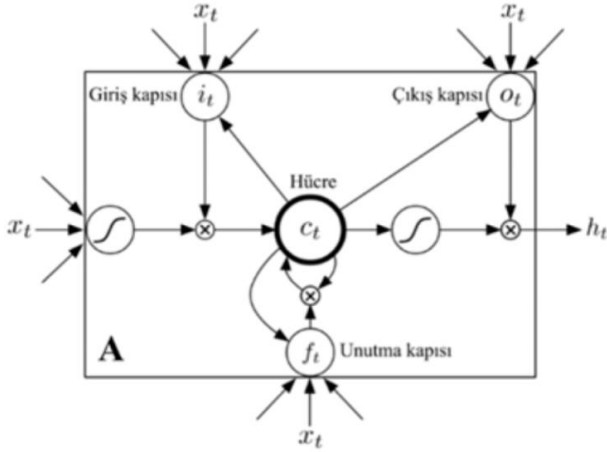
Eşitlik (7)'de a_i ilgili nöronun çıkışını, w_{ij} ağırlıkları, g_j girişleri, b_i bias terimini ve f aktivasyon fonksiyonudur.

2.4. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi

ANFIS, bulanık mantığa ait çıkarım özellikleri ile YSA'nın öğrenme ve paralel hesaplama özelliklerini birlikte çalıştırabilen bir yapay zekâ tekniğidir. Adaptif ağlar, birbirine bağlı düğümlerden oluşup bunlar bir işlem birimine karşılık gelir. Adaptasyon, bu düğümlerin çıkışlarındaki değişebilen parametrelerle belirlenmesi ile oluşturulmaktadır. Öğrenme kuralları, hatayı minimum yapacak şekilde değiştirir [29].

2.5. Uzun Kısa-Vadeli Hafıza

LSTM sinir ağı, yinelemeli sinir ağı modeli üzerine geliştirilmiş olup yinelemeli sinir ağının eğitiminde yetersiz kalınmasının üstesinden gelinmesi için önerilmiştir. LSTM zaman bağımlılıkları içermekte olup zaman serisi problemlerinde başarılı sonuçlar vermektedir. LSTM sinir ağının nöron yapısı içerisinde giriş, unutm ve çıkış kapıları bulunmaktadır. Bu sayede, tüm veriler üzerinde zamanda bağımlılık engellenmiş ve belirli iterasyon sonrasında ağın eski bilgileri unutması ve yeni bilgilerle sonuç üretmesi sağlanmıştır [30]. Bir LSTM hücresi Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. LSTM hücresi [31]

3. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, Türkiye'nin ileriye yönelik sera gazı emisyonu tahminlemesi için Poisson regresyonu, LR, YSA, ANFIS ve LSTM kullanılmış olup modellerin başarıları zaman serisi ve 10-kat çapraz doğrulama ile test edilmiştir. Sera gazı emisyonu zamanla değişim gösterip zaman bağımlıdır dolayısıyla zaman serisi olarak değerlendirilmelidir. Bunun için 1967-2017 yılları arasını kapsayan veri setinin %70 lik (1967-2001) kısmı eğitim ve %30'luk (2002-2017) kısmı ise test olarak değerlendirilmiştir. Bunun yanında veri setinin kendi içerisinde istatistiksel olarak da başarısını değerlendirmek için 10-kat çapraz doğrulama sonuçları da incelenmiştir.

Makine öğrenimi algoritmaları yararlandıkları parametrelere göre farklı başarı oranları sergileyebilmektedir [32]. Dolayısıyla öncelikle en uygun parametrelerin tespit edilmesi gerekmektedir. En uygun parametrelerin tespiti için grid aramadan yararlanılmıştır. Grid arama yönteminde parametre olarak; YSA için birinci gizli katmanda [50-40-30-20-10-5], ikinci gizli katmanda [10-5] ve öğrenme oranı olarak da [0.005-0.05-0.5], ANFIS için kural sayısı olarak [2-3-4-5-7-11-15-19] ve LSTM için ise nöron sayısı olarak [50-45-40-35-30-25-20-15-10-5] ve öğrenme oranı olarak da [0.005-0.05-0.5] değerleri kullanılmıştır. Bu algoritmalar için ortak olarak iterasyon sayısı 1000 olarak belirlenmiştir. YSA ve LSTM algoritmaları için öğrenme yöntemi olarak Adam optimizasyonundan yararlanılmıştır [33]. Diğer yöntemlerden olan LR ve Poisson regresyonu için ise herhangi bir parametreden yararlanılmayıp emisyon değerlerinin lineer ya da Poisson dağılımı gösterip göstermedikleri de bu yöntemler sayesinde tespit edilebilmiştir. Oluşturulan modellere normalizasyonun etkisinin incelenebilmesi için tüm yöntemler hem standart şekilde hem de min-max normalizasyonu uygulanıp 30 bağımsız çalışma sonucunda değerlendirilmiştir. Algoritmaların başarıları ölçmek için RMSE, MAPE ve R^2 kullanılmış olup istatistiksel bir test olan Wilcoxon Rank Sum testinden de tahminler ile gerçek değerleri karşılaştırmak için yararlanılmıştır. YSA'ya ait elde edilen zaman serisi şeklinde test seti sonuçları Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. Zaman serisi biçiminde test seti için YSA yöntemine ait farklı parametreler ile elde edilen sonuçlar

		Parametreler				RMSE	MAPE	R^2	Wilcoxon Rank	
G_1	G_2	Öo	Norm.	h	p					
50	10	0.005	+	2.28 ±0.14	24.32	-0.85	-	7.43e-4		
			-	5.68 ±3.19	19.11	-1e-3	+	1		
		0.05	+	2.40 ±0.26	22.10	-0.53	-	2.41e-3		
			-	5.07 ±0.57	48.10	-5.35	-	1.54e-6		
		0.5	+	2.27 ±0.20	20.69	-0.44	-	3.09e-3		
			-	7.30 ±9.55	21.33	-0.03	+	0.56		
	5	0.005	+	2.38 ±0.13	24.57	-0.88	-	4.90e-4		
			-	7.04 ±3.52	22.09	-0.08	+	0.24		
		0.05	+	2.33 ±0.27	21.14	-0.47	-	2.73e-3		
			-	5.22 ±0.54	50.84	-5.92	-	1.54e-6		
		0.5	+	2.37 ±0.32	20.83	-0.46	-	2.73e-3		
			-	7.95 ±9.92	24.32	-1.47	-	3.19e-4		
40	10	0.005	+	2.35 ±0.15	23.61	-0.78	-	9.75e-4		
			-	5.96 ±3.00	18.66	-0.13	+	0.44		
		0.05	+	2.29 ±0.31	17.98	-0.16	-	0.01		
			-	5.25 ±0.75	26.79	-1.85	-	2.64e-5		
		0.5	+	2.30 ±0.29	18.76	-0.28	-	7.04e-3		
			-	6.42 ±2.38	23.29	-0.18	+	0.24		
	5	0.005	+	2.34 ±0.14	24.39	-0.86	-	6.48e-4		
			-	5.20 ±1.84	26.57	-1.83	-	2.64e-5		
		0.05	+	2.35 ±0.32	16.81	-0.09	-	0.02		
			-	5.17 ±0.48	53.67	-6.54	-	1.54e-6		
		0.5	+	2.32 ±0.32	18.89	-0.27	-	7.04e-3		
			-							

			-	5.41 ±2.38	23.60	-1.36	-	3.19e-4
30	10	0.005	+	2.29 ±0.15	21.19	-0.51	-	0.002
			-	6.20 ±3.68	19.56	0.02	+	1
		0.05	+	2.28 ±0.31	19.25	-0.31	-	6.29e-3
			-	5.11 ±0.48	52.18	-6.21	-	1.54e-6
		0.5	+	2.40 ±0.23	22.42	-0.62	-	1.88e-3
			-	11.34 ±21.69	47.86	-5.32	-	1.46e-6
	5	0.005	+	2.31 ±0.12	24.87	-0.90	-	4.90e-4
			-	5.13 ±2.55	18.95	-0.02	+	0.64
		0.05	+	2.38 ±0.30	22.06	-0.62	-	2.13e-3
			-	5.11 ±0.43	51.11	-5.98	-	1.54e-6
		0.5	+	2.31 ±0.35	16.92	-0.09	-	0.02
			-	10.69 ±24.68	46.59	-5.04	-	1.54e-6
20	10	0.005	+	2.35 ±0.17	23.56	-0.76	-	9.75e-4
			-	5.01 ±1.18	26.14	-1.76	-	3.68e-5
		0.05	+	2.34 ±0.29	17.76	-0.18	-	0.01
			-	5.16 ±0.51	45.98	-4.93	-	1.54e-6
		0.5	+	2.34 ±0.25	19.77	-0.37	-	5.60e-3
			-	8.34 ±13.54	19.27	-0.02	+	1
	5	0.005	+	2.33 ±0.13	25.20	-0.94	-	0.00
			-	5.34 ±2.20	19.00	-0.01	+	0.90
		0.05	+	2.35 ±0.24	22.90	-0.68	-	1.11e-3
			-	5.22 ±0.71	39.14	-3.69	-	1.54e-6
		0.5	+	2.38 ±0.35	20.31	-0.43	-	4.43e-3
			-	5.28 ±0.95	42.88	-4.34	-	1.54e-6
10	10	0.005	+	2.30 ±0.14	24.10	-0.82	-	9.75e-4
			-	5.77 ±2.20	18.67	-0.14	+	0.28
		0.05	+	2.33 ±0.24	20.55	-0.41	-	3.94e-3
			-	5.09 ±0.68	45.57	-4.85	-	1.54e-6
		0.5	+	2.32 ±0.43	13.86	0.16	+	0.06
			-	6.41 ±3.54	23.14	-1.27	-	2.73e-3
	5	0.005	+	2.33 ±0.11	23.79	-0.78	-	9.75e-4
			-	4.88 ±1.22	25.22	-1.62	-	3.19e-4
		0.05	+	2.31 ±0.27	19.71	-0.33	-	0.01
			-	5.24 ±0.58	47.16	-5.16	-	1.54e-6
		0.5	+	10.63 ±43.29	11.16	0.42	+	0.13
			-	5.42 ±2.06	19.50	-0.49	+	0.07
5	10	0.005	+	2.31 ±0.09	25.62	-1.01	-	3.69e-4
			-	4.85 ±1.03	38.33	-3.56	-	1.54e-6
		0.05	+	2.36 ±0.21	23.11	-0.70	-	1.11e-3
			-	5.00 ±0.75	32.58	-2.67	-	1.54e-6
		0.5	+	2.62 ±1.23	17.95	-0.17	-	0.01
			-	6.00 ±4.83	20.86	-0.01	+	0.56
	5	0.005	+	2.29 ±0.09	25.71	-1.01	-	3.69e-4
			-	5.29 ±0.58	49.25	-5.59	-	1.54e-6
		0.05	+	2.32 ±0.26	21.22	-0.49	-	2.73e-3
			-	5.05 ±0.83	40.08	-3.85	-	1.54e-6
		0.5	+	2.39 ±0.36	23.28	-0.71	-	1.11e-3
			-	6.25 ±3.98	18.75	-0.18	+	0.24

Tablo 2’de de görüldüğü gibi test seti için YSA kullanılarak en iyi sonuçlar birinci gizli katmanda (G_1) 50, ikinci gizli katmanda (G_2) 10 nöron içeren ve öğrenme oranı (\hat{O}) 0.5 olan YSA modelinde bulunmuştur. Tablolarda “Norm.” ilgili özneteliğin normalize edilip edilmediğini göstermekte olup “+” [0-1] aralığında min-max normalizasyonunun

gerçekleştirildiğini göstermektedir. Bunu yanında Wilcoxon rank sum test sonucu h ile belirtilmiş olup değeri ise p ile ifade edilmiştir, *null* testin %5 güven aralığında kabul edilmesi “+” işareti ile reddi ise “-” ile gösterilmiştir. ANFIS’e ait elde edilen zaman serisi şeklinde test seti sonuçları Tablo 3’te görülmektedir.

Tablo 3. Zaman serisi biçiminde test seti için ANFIS yöntemine ait farklı parametreler ile elde edilen sonuçlar

Parametreler		RMSE	MAPE	R ²	Wilcoxon Rank	
Kural Sayısı	Norm.				<i>h</i>	<i>p</i>
2	+	3.80 ±1.3e-15	26.21	-1.06	-	3.19e-4
	-	2.17 ±9.0e-16	50.16	-5.31	-	1.54e-6
3	+	0.65 ±2.3e-16	6.24	0.82	+	0.64
	-	2.27 ±9.0e-16	27.90	-1.26	-	1.52e-4
4	+	0.84 ±5.7e-16	7.73	0.69	+	0.39
	-	2.25 ±4.5e-16	27.62	-1.22	-	1.77e-4
5	+	0.95 ±1.1e-16	8.75	0.60	+	0.28
	-	2.27 ±1.4e-15	27.87	-1.26	-	1.52e-4
7	+	2.32 ±9.0e-16	28.56	-1.36	-	9.59e-5
	-	2.12 ±4.5e-16	25.91	-0.96	-	4.25e-4
11	+	1.43 ±4.5e-16	15.10	0.11	+	0.24
	-	3.80 ±1.8e-15	50.16	-5.31	-	1.54e-6
15	+	1.75 ±0	20.32	-0.34	-	4.99e-3
	-	3.23 ±0	42.43	-3.58	-	1.54e-6
19	+	1.57 ±4.5e-16	16.34	-0.08	-	0.02
	-	1.81 ±4.5e-16	19.63	-0.44	-	4.43e-3

Tablo 3'te de görüldüğü gibi test seti için ANFIS kullanılarak en iyi sonuçlar 3 bulanık kural içeren ANFIS

modelinde bulunmuştur. LSTM'ye ait elde edilen zaman serisi şeklinde test seti sonuçları Tablo 4'te görülmektedir.

Tablo 4. Zaman serisi biçiminde test seti için LSTM yöntemine ait farklı parametreler ile elde edilen sonuçlar

Parametreler			RMSE	MAPE	R ²	Wilcoxon Rank	
L ₁	Ö ₀	Norm.				<i>h</i>	<i>p</i>
50	0.005	+	0.83 ±0.15	6.10	0.83	+	0.40
		-	5.58 ±1.09	33.44	-2.79	-	1.54e-6
	0.05	+	0.26 ±0.11	1.34	0.99	+	1
		-	5.07 ±0.66	36.41	-3.25	-	1.54e-6
	0.5	+	2.71 ±1.82	4.42	0.96	+	0.64
		-	8.97 ±10.58	19.29	-0.01	+	1
45	0.005	+	0.86 ±0.16	6.05	0.83	+	0.40
		-	5.09 ±0.98	40.64	-3.95	-	1.54e-6
	0.05	+	0.25 ±0.09	1.11	1.00	+	1
		-	5.21 ±0.68	49.78	-5.70	-	1.54e-6
	0.5	+	1.96 ±1.65	2.97	0.96	+	0.84
		-	6.93 ±4.85	18.74	-0.05	+	0.56
40	0.005	+	0.87 ±0.15	6.78	0.80	+	0.36
		-	5.15 ±1.29	22.15	-1.08	-	2.73e-3
	0.05	+	0.24 ±0.08	1.12	0.99	+	0.98
		-	5.05 ±0.50	54.85	-6.80	-	1.54e-6
	0.5	+	2.07 ±1.90	1.45	0.99	+	0.92
		-	6.50 ±6.08	19.97	0.03	+	0.56
35	0.005	+	0.88 ±0.15	6.10	0.83	+	0.40
		-	5.08 ±0.87	24.07	-1.43	-	3.19e-4
	0.05	+	0.27 ±0.07	1.32	0.99	+	0.95
		-	5.05 ±0.67	45.55	-4.85	-	1.54e-6
	0.5	+	1.99 ±1.77	3.99	0.94	+	0.87
		-	5.92 ±2.63	18.82	-0.08	+	0.56
30	0.005	+	0.95 ±0.15	7.21	0.78	+	0.32
		-	5.72 ±0.93	50.87	-5.93	-	1.54e-6
	0.05	+	0.28 ±0.09	1.59	0.99	+	0.95
		-	5.14 ±0.57	40.26	-3.88	-	1.54e-6
	0.5	+	1.88 ±1.90	4.14	0.95	+	0.61
		-	6.17 ±2.76	20.18	-0.67	-	0.02
25	0.005	+	0.98 ±0.17	6.72	0.80	+	0.34

	0.05	-	5.34 ±1.06	23.04	-1.25	-	2.73e-3
		+	0.29 ±0.09	1.29	0.99	+	0.98
	0.5	-	5.09 ±0.78	39.20	-3.70	-	1.54e-6
		+	2.36 ±2.08	2.08	0.99	+	0.95
20	0.005	+	0.98 ±0.17	7.03	0.78	+	0.34
		-	5.08 ±0.81	19.71	-0.55	+	0.07
	0.05	+	0.30 ±0.09	1.83	0.99	+	0.98
		-	5.21 ±0.43	46.20	-4.97	-	1.54e-6
0.5	+	1.50 ±1.70	1.06	1.00	+	0.92	
	-	4.84 ±1.33	18.71	-0.13	+	0.49	
15	0.005	+	1.12 ±0.09	8.76	0.70	+	0.25
		-	5.19 ±0.60	46.76	-5.08	-	1.54e-6
	0.05	+	0.30 ±0.07	1.73	0.99	+	1
		-	5.19 ±0.75	41.51	-4.10	-	1.54e-6
0.5	+	1.55 ±1.65	1.40	0.99	-	0.95	
	-	5.12 ±2.27	18.89	-0.02	-	0.56	
10	0.005	+	1.17 ±0.06	11.72	0.53	+	0.12
		-	5.23 ±0.48	57.42	-7.40	-	1.54e-6
	0.05	+	0.36 ±0.12	2.14	0.99	+	0.92
		-	5.21 ±1.10	19.92	0.02	+	0.66
0.5	+	1.85 ±1.94	2.13	0.98	+	0.78	
	-	5.95 ±2.11	43.11	-4.38	-	1.54e-6	
5	0.005	+	1.26 ±0.10	9.44	0.65	+	0.19
		-	5.06 ±0.34	42.78	-4.33	-	1.54e-6
	0.05	+	0.37 ±0.07	2.43	0.98	+	0.92
		-	5.06 ±0.38	51.49	-6.06	-	1.54e-6
0.5	+	1.69 ±1.62	4.00	0.97	+	0.72	
	-	5.01 ±1.41	18.61	-0.11	+	0.53	

Tablo 4'te de görüldüğü gibi test seti için LSTM kullanılarak en iyi sonuçlar 45 nöronlu, 0.05 öğrenme oranı içeren LSTM modelinde bulunmuştur. LR ve Poisson regresyonuna ait elde edilen zaman serisi şeklinde test seti sonuçları ise sırası ile Tablo 5 ve Tablo 6'da görülmektedir.

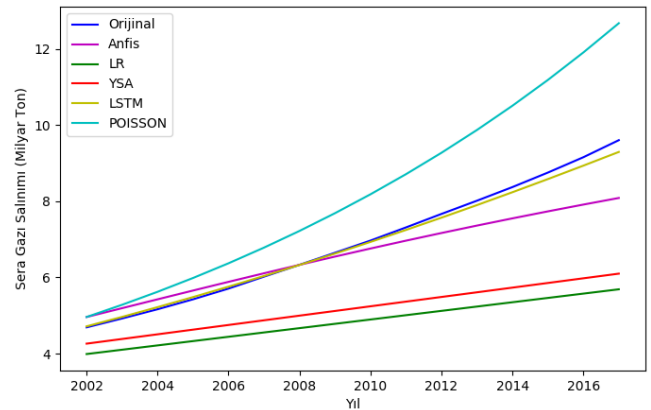
Tablo 5. Zaman serisi biçiminde test seti için LR yöntemine ait farklı parametreler ile elde edilen sonuçlar

Norm.	RMSE	MAPE	R ²	Wilcoxon Rank	
				h	p
+	2.31 ±9.0e-16	28.34	-1.33	-	9.59e-5
-	2.31 ±9.0e-16	28.34	-1.33	-	9.59e-5

Tablo 6. Zaman serisi biçiminde test seti için Poisson yöntemine ait farklı parametreler ile elde edilen sonuçlar

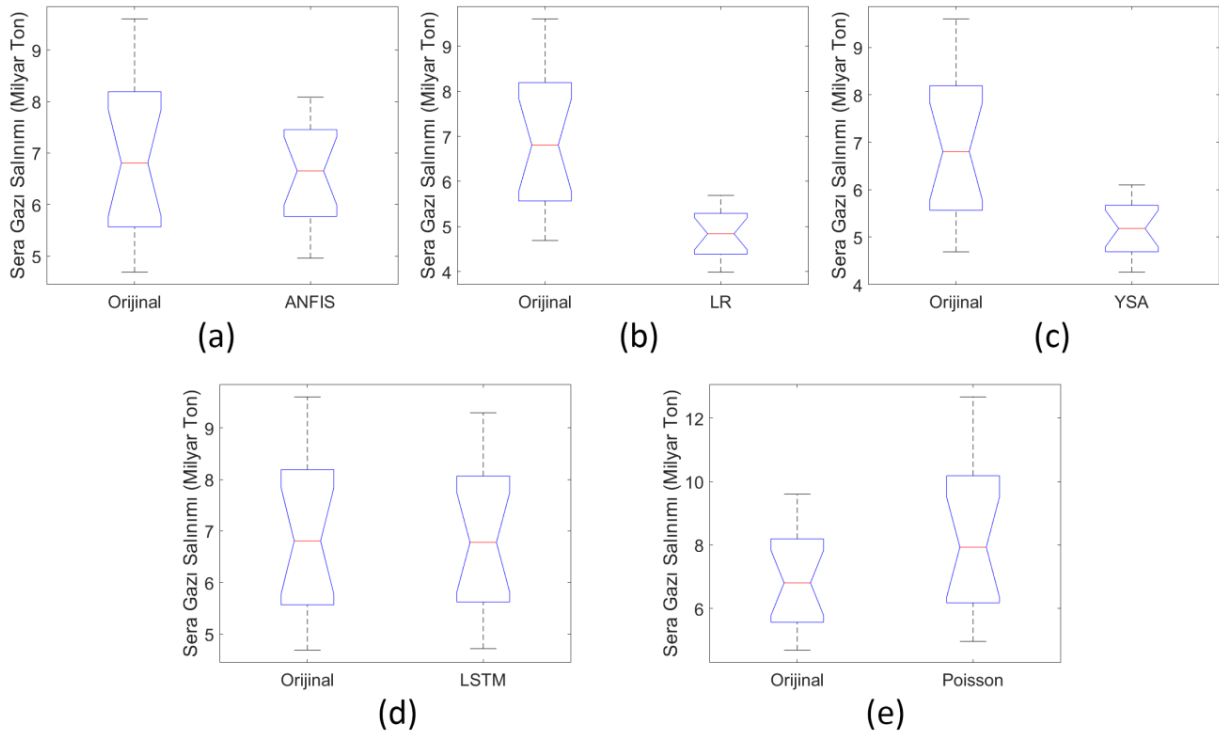
Norm.	RMSE	MAPE	R ²	Wilcoxon Rank	
				h	p
+	1.59 ±0.0	17.63	0.11	+	0.13
-	1.59 ±4.5e-16	17.63	0.11	+	0.13

Tablo 5-6 incelendiğinde LR ve Poisson regresyonun ANFIS ve LSTM kadar iyi sonuç elde edemediği görülmektedir. Yöntemlere ait sonuçlar incelendiğinde algoritmalarda normalize edilmiş verilerin daha iyi sonuç verdiği görülmüş olup en iyi parametrelere sahip yöntemlerin test seti tahminleri Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. Algoritmaların test seti tahminleri

Şekil 5'te de görüldüğü gibi LSTM test seti olan 2002-2017 yılları arasındaki sera gazı emisyon değerlerini daha başarılı tahmin edebilmiştir. Test seti için orijinal veri ile tahminlerin karşılaştırıldığı kutu grafiği Şekil 6'dadır.



Şekil 6. Algoritmaların test seti için karşılaştırılmalarına ait kutu grafiği a) ANFIS tahmini, b) LR tahmini, c) YSA tahmini, d) LSTM tahmini, e) Poisson regresyonu tahmini

Şekil 6'da da görüldüğü gibi LSTM orijinal veri ile neredeyse aynı sonuçları içermektedir.

YSA, ANFIS, LSTM, LR ve Poisson regresyonuna ait elde edilen zaman serisi şeklinde eğitim seti sonuçları ise sırasıyla Tablo 7-11'de görülmektedir.

Tablo 7. Zaman serisi biçiminde eğitim seti için YSA yöntemine ait farklı parametreler ile elde edilen sonuçlar

		Parametreler		RMSE	MAPE	R ²	Wilcoxon Rank	
G ₁	G ₂	Öo	Norm.				h	p
50	10	0.005	+	0.28 ±0.02	19.69	0.93	+	0.57
			-	3.25 ±2.92	407.23	-15.71	-	6.55e-13
		0.05	+	0.30 ±0.04	32.65	0.90	+	0.69
			-	1.27 ±0.26	163.28	-1.44	-	2.34e-6
		0.5	+	0.30 ±0.04	23.43	0.92	+	0.65
			-	3.84 ±9.08	451.32	-19.84	-	6.54e-13
	5	0.005	+	0.28 ±0.01	19.51	0.93	+	0.57
			-	3.46 ±2.69	460.74	-20.78	-	6.55e-13
		0.05	+	0.30 ±0.02	25.52	0.92	+	0.91
			-	1.28 ±0.14	151.60	-1.11	-	1.18e-5
		0.5	+	0.32 ±0.06	23.33	0.92	+	0.66
			-	4.67 ±9.28	285.83	-6.83	-	6.55e-13
40	10	0.005	+	0.28 ±0.02	20.60	0.92	+	0.45
			-	3.11 ±2.30	379.87	-13.40	-	6.55e-13
		0.05	+	0.31 ±0.04	29.52	0.90	+	0.86
			-	1.36 ±0.37	266.94	-5.78	-	6.55e-13
		0.5	+	0.31 ±0.04	24.65	0.88	+	0.38
			-	2.35 ±1.95	483.02	-22.94	-	6.54e-13
	5	0.005	+	0.28 ±0.02	19.65	0.93	+	0.57
			-	1.98 ±0.99	269.03	-5.89	-	6.55e-13
		0.05	+	0.30 ±0.03	26.97	0.88	+	0.47
			-	1.26 ±0.11	139.32	-0.80	-	9.17e-5
		0.5	+	0.32 ±0.04	25.07	0.90	+	0.56
			-	2.25 ±2.48	295.48	-7.38	-	6.55e-13

30	10	0.005	+	0.28 ±0.02	22.36	0.90	+	0.45
			-	3.42 ±3.13	419.11	-16.78	-	6.55e-13
		0.05	+	0.30 ±0.03	24.25	0.90	+	0.50
			-	1.26 ±0.12	145.79	-0.96	-	1.63e-5
		0.5	+	0.31 ±0.06	22.63	0.93	+	2.49e-7
			-	7.50 ±22.19	168.56	-1.60	-	0.78
	5	0.005	+	0.28 ±0.01	19.59	0.94	+	0.73
			-	3.11 ±2.61	402.06	-15.26	-	6.55e-13
		0.05	+	0.30 ±0.04	22.25	0.89	+	0.37
			-	1.24 ±0.12	150.12	-1.07	-	1.63e-5
		0.5	+	0.32 ±0.05	27.13	0.88	+	0.52
			-	7.47 ±25.86	168.78	-1.61	-	2.85e-7
20	10	0.005	+	0.28 ±0.02	20.29	0.93	+	0.62
			-	1.62 ±0.53	271.39	-6.02	-	6.55e-13
		0.05	+	0.31 ±0.04	25.72	0.88	+	0.45
			-	1.26 ±0.16	173.30	-1.75	-	2.85e-7
		0.5	+	0.31 ±0.05	23.63	0.89	+	0.42
			-	5.28 ±12.99	413.57	-16.21	-	6.54e-13
	5	0.005	+	0.28 ±0.01	19.62	0.94	+	0.79
			-	2.39 ±1.85	404.16	-15.45	-	6.55e-13
		0.05	+	0.29 ±0.03	20.94	0.93	+	0.62
			-	1.35 ±0.25	204.90	-2.90	-	2.60e-9
		0.5	+	0.34 ±0.06	23.18	0.89	+	0.42
			-	1.45 ±0.44	184.54	-2.14	-	2.95e-8
10	10	0.005	+	0.28 ±0.01	20.06	0.94	+	0.69
			-	2.05 ±1.61	378.00	-13.24	-	6.55e-13
		0.05	+	0.30 ±0.03	25.13	0.92	+	0.81
			-	1.35 ±0.19	175.10	-1.81	-	2.85e-7
		0.5	+	0.34 ±0.06	30.45	0.83	+	0.41
			-	2.46 ±3.07	292.31	-7.23	-	6.55e-13
	5	0.005	+	0.28 ±0.01	20.26	0.93	+	0.65
			-	1.82 ±1.23	277.83	-6.38	-	6.55e-13
		0.05	+	0.30 ±0.03	26.63	0.91	+	0.81
			-	1.30 ±0.17	168.08	-1.59	-	3.03e-7
		0.5	+	3.46 ±15.81	43.61	0.79	+	0.90
			-	2.20 ±1.76	338.62	-10.27	-	6.55e-13
5	10	0.005	+	0.28 ±0.01	18.73	0.94	+	0.61
			-	1.86 ±1.86	208.80	-3.06	-	1.57e-9
		0.05	+	0.29 ±0.02	21.15	0.93	+	0.72
			-	1.38 ±0.29	236.68	-4.27	-	1.22e-11
		0.5	+	0.41 ±0.38	27.23	0.90	+	0.70
			-	3.40 ±4.59	444.36	-19.14	-	6.55e-13
	5	0.005	+	0.28 ±0.01	18.66	0.94	+	2.34e-6
			-	1.30 ±0.19	158.58	-1.30	-	0.69
		0.05	+	0.30 ±0.03	23.17	0.92	+	0.71
			-	1.40 ±0.40	200.58	-2.73	-	2.60e-9
		0.5	+	0.31 ±0.06	21.41	0.94	+	0.75
			-	3.19 ±5.24	374.18	-12.93	-	6.55e-13

Tablo 8. Zaman serisi biçiminde eğitim seti için ANFIS yöntemine ait farklı parametreler ile elde edilen sonuçlar

Parametreler		RMSE	MAPE	R ²	Wilcoxon Rank	
Kural Sayısı	Norm.				<i>h</i>	<i>p</i>
2	+	0.27 ±0	17.50	0.95	+	0.41
	-	0.65 ±0	39.24	0.69	+	0.93
3	+	0.11 ±2.8e-17	4.43	0.99	+	0.82
	-	0.26 ±1.1e-16	17.24	0.95	+	0.93
4	+	0.10 ±5.6e-17	3.78	0.99	+	0.90
	-	0.26 ±0	17.02	0.95	+	0.93
5	+	0.10 ±0	3.20	0.99	+	0.93
	-	0.26 ±0	17.22	0.95	+	0.93
7	+	0.27 ±0	17.34	0.95	+	0.93
	-	0.24 ±1.1e-16	15.64	0.96	+	0.94
11	+	1.23 ±6.8e-16	64.05	-0.10	-	2.09e-3
	-	0.65 ±3.4e-16	39.24	0.69	+	0.41
15	+	0.12 ±4.2e-17	3.61	0.99	+	0.93
	-	0.54 ±2.3e-16	30.16	0.78	+	0.19
19	+	0.10 ±0	4.70	0.99	+	0.81
	-	0.66 ±3.4e-16	42.26	0.69	-	0.03

Tablo 9. Zaman serisi biçiminde eğitim seti için LSTM yöntemine ait farklı parametreler ile elde edilen sonuçlar

Parametreler			RMSE	MAPE	R ²	Wilcoxon Rank	
L ₁	Ö ₀	Norm.				<i>h</i>	<i>p</i>
50	0.005	+	0.05 ±0.03	1.11	1.00	+	0.96
		-	1.57 ±0.55	232.43	-4.08	-	1.22e-11
	0.05	+	0.03 ±0.03	1.11	1.00	+	0.91
		-	1.32 ±0.29	218.03	-3.44	-	1.94e-10
	0.5	+	0.54 ±0.57	7.11	0.99	+	0.71
		-	6.41 ±9.99	413.23	-16.20	-	6.55e-13
45	0.005	+	0.06 ±0.03	1.25	1.00	+	0.96
		-	1.50 ±0.32	197.79	-2.62	-	2.79e-9
	0.05	+	0.03 ±0.02	0.69	1.00	+	0.96
		-	1.34 ±0.21	156.11	-1.23	-	2.34e-6
	0.5	+	0.31 ±0.44	3.82	1.00	+	0.79
		-	4.10 ±5.22	389.07	-14.19	-	6.55e-13
40	0.005	+	0.06 ±0.03	1.12	1.00	+	0.97
		-	1.68 ±0.57	304.10	-7.94	-	6.55e-13
	0.05	+	0.03 ±0.02	0.91	1.00	+	0.94
		-	1.27 ±0.13	134.37	-0.68	-	9.63e-5
	0.5	+	0.36 ±0.45	2.77	1.00	+	0.82
		-	4.46 ±7.50	427.14	-17.55	-	6.55e-13
35	0.005	+	0.06 ±0.03	1.27	1.00	+	0.94
		-	1.41 ±0.45	286.51	-6.88	-	6.55e-13
	0.05	+	0.03 ±0.03	1.10	1.00	+	0.93
		-	1.34 ±0.24	175.06	-1.81	-	2.85e-7
	0.5	+	0.36 ±0.47	4.21	0.99	+	0.88
		-	3.22 ±3.22	390.38	-14.24	-	6.55e-13
30	0.005	+	0.07 ±0.03	1.39	1.00	+	0.95
		-	1.51 ±0.53	151.49	-1.11	-	1.25e-5
	0.05	+	0.03 ±0.02	1.54	1.00	+	0.89
		-	1.28 ±0.23	199.55	-2.69	-	2.60e-9
	0.5	+	0.37 ±0.48	33.17	0.90	+	0.19
		-	3.43 ±3.85	329.26	-9.59	-	6.55e-13
25	0.005	+	0.07 ±0.03	1.37	1.00	+	0.94
		-	1.52 ±0.52	295.18	-7.39	-	6.55e-13
	0.05	+	0.03 ±0.05	0.91	1.00	+	0.96

	0.5	-	1.38 ±0.32	204.50	-2.88	-	2.60e-9
		+	0.47 ±0.56	2.33	1.00	+	0.86
20	0.005	-	1.83 ±1.40	379.97	-13.44	-	6.55e-13
		+	0.07 ±0.03	1.26	1.00	+	0.98
	0.05	-	1.36 ±0.52	337.89	-10.20	-	6.55e-13
		+	0.03 ±0.02	1.84	1.00	+	0.88
	0.5	-	1.23 ±0.15	171.98	-1.71	-	2.85e-7
		+	0.23 ±0.39	2.04	1.00	+	0.93
15	0.005	-	1.70 ±0.87	382.02	-13.55	-	6.55e-13
		+	0.10 ±0.02	1.71	1.00	+	0.99
	0.05	-	1.30 ±0.21	169.50	-1.63	-	2.85e-7
		+	0.03 ±0.01	2.38	1.00	+	0.84
	0.5	-	1.36 ±0.30	193.73	-2.47	-	2.11e-8
		+	0.26 ±0.39	4.56	1.00	+	0.77
10	0.005	-	2.83 ±3.29	398.76	-14.99	-	6.55e-13
		+	0.10 ±0.01	5.11	1.00	+	0.93
	0.05	-	1.26 ±0.16	123.88	-0.47	-	0.00
		+	0.03 ±0.03	2.53	1.00	+	0.85
	0.5	-	1.53 ±0.78	428.11	-17.61	-	6.55e-13
		+	0.30 ±0.47	3.75	1.00	+	0.91
5	0.005	-	1.95 ±1.63	184.72	-2.14	-	2.95e-8
		+	0.10 ±0.02	1.75	1.00	+	0.96
	0.05	-	1.25 ±0.16	116.91	-0.34	-	2.09e-3
		+	0.02 ±0.01	1.14	1.00	+	0.89
	0.5	-	1.22 ±0.09	136.11	-0.72	-	9.63e-5
		+	0.31 ±0.42	10.12	0.96	+	0.89
		-	2.08 ±2.28	378.52	-13.31	-	6.55e-13

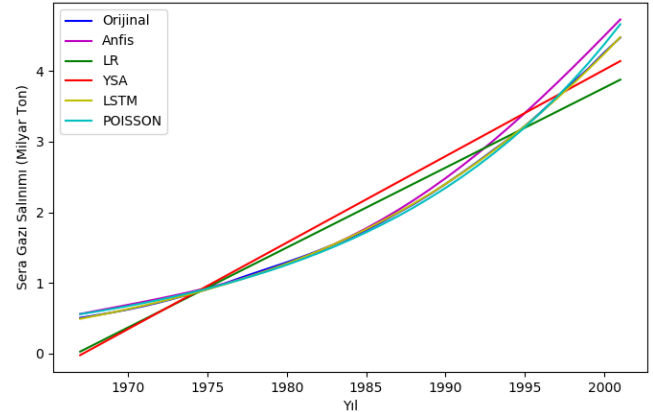
Tablo 10. Zaman serisi biçiminde eğitim seti için LR yöntemine ait farklı parametreler ile elde edilen sonuçlar

Norm.	RMSE	MAPE	R ²	Wilcoxon Rank	
				h	p
+	0.27 ±1.1e-16	17.53	0.95	+	0.93
-	0.27 ±1.1e-16	17.53	0.95	+	0.93

Tablo 11. Zaman serisi biçiminde eğitim seti için Poisson yöntemine ait farklı parametreler ile elde edilen sonuçlar

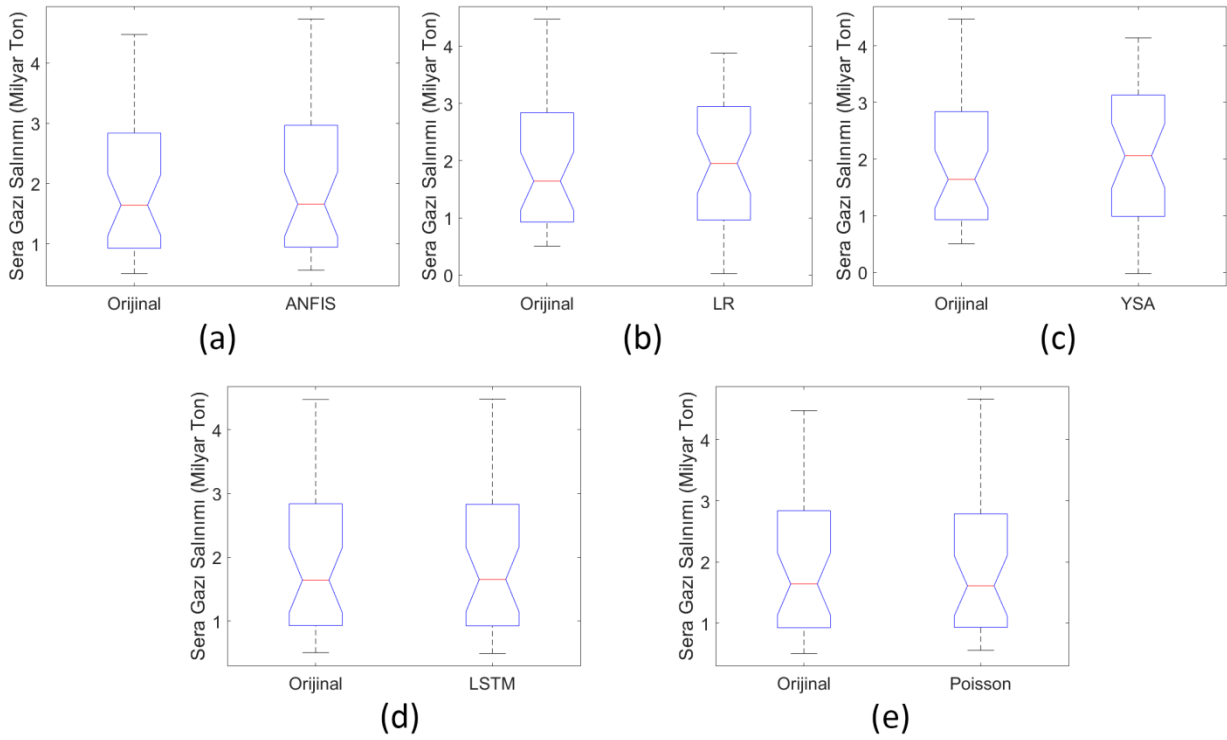
Norm.	RMSE	MAPE	R ²	Wilcoxon Rank	
				h	p
+	0.05 ±2.8e-17	3.02	0.99	+	1.0
-	0.05 ±2.1e-17	3.02	0.99	+	1.0

Tablo 7-11 incelendiğinde test setinde tespit edilen en uygun parametrelere sahip ve normalize edilmiş algoritmaların eğitim setinde de başarılı sonuçlar verdiği görülmekte olup bu tahminler Şekil 7’de görülmektedir.



Şekil 7. Algoritmaların eğitim seti tahminleri

Şekil 7’de de görüldüğü gibi genel olarak tüm yöntemler eğitim setinde iyi sonuçlar vermesine rağmen LSTM, Poisson regresyonu ve ANFIS eğitim seti olan 1967-2001 yılları arasındaki sera gazı emisyon değerlerini daha başarılı öğrenebilmişlerdir. Eğitim seti için orijinal veri ile tahmin değerlerinin karşılaştırmasını içeren kutu grafiği ise Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 8. Algoritmaların eğitim seti için karşılaştırılmalarına ait kutu grafiği a) ANFIS tahmini, b) LR tahmini, c) YSA tahmini, d) LSTM tahmini, e) Poisson regresyonu tahmini

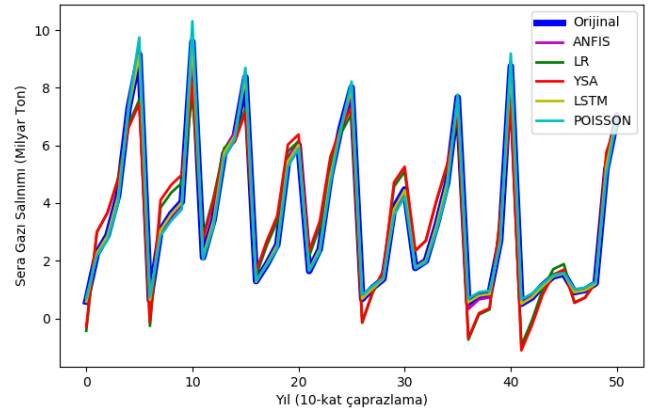
Şekil 8’de de görüldüğü gibi LSTM, Poisson regresyonu ve ANFIS eğitim setinde iyi sonuçlar vermişlerdir. Özellikle LSTM’nin elde ettiği sonuçlar neredeyse orijinal veri ile aynıdır.

Zaman serisi şeklinde gerçekleştirilen testlerden sonra veri setinin kendi içerisinde de istatistiksel olarak başarısını ölçmek için 10-kat çapraz doğrulama uygulanmıştır. Makine öğrenimi algoritmalarının belirlenen en uygun parametreleri için 10-kat çapraz doğrulama sonuçları Tablo 12’de görülmektedir.

Tablo 12. En uygun parametrelere sahip yöntemlerin 10-kat çapraz doğrulama sonuçları

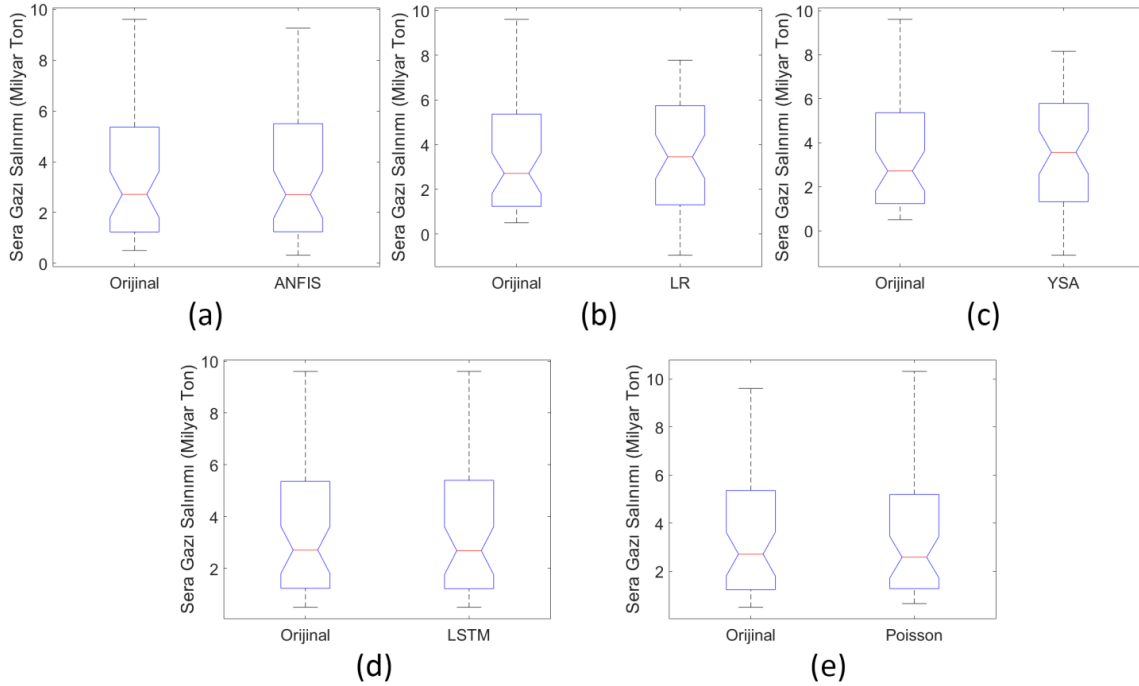
Yöntem	RMSE	MAPE	R ²	Wilcoxon Rank	
				<i>h</i>	<i>p</i>
ANFIS	0.09 ±0.04	2.97	0.99	+	0.98
LR	0.71 ±0.23	39.44	0.92	+	0.88
YSA	0.76 ±0.21	40.47	0.91	+	0.84
LSTM	0.02 ±0.01	0.75	1.00	+	0.99
Poisson	0.18 ±0.09	6.76	0.99	+	0.95

Tablo 12’de de görüldüğü gibi yine en iyi sonuçlar LSTM ile elde edilmiştir. Algoritmaların 10-kat çapraz doğrulama tahminleri Şekil 9’da görülmektedir.



Şekil 9. Algoritmaların 10-kat çapraz doğrulama tahminleri

Şekil 9’da da görüldüğü gibi ANFIS, LSTM ve Poisson regresyonunun çapraz doğrulama tahminleri başarılı görülmeyle birlikte Tablo 12’de elde edilen en başarılı sonuç LSTM’ye aittir. Çapraz doğrulama için orijinal veri ile tahmin değerlerinin karşılaştırmasını içeren kutu grafiği ise Şekil 10’da görülmektedir.



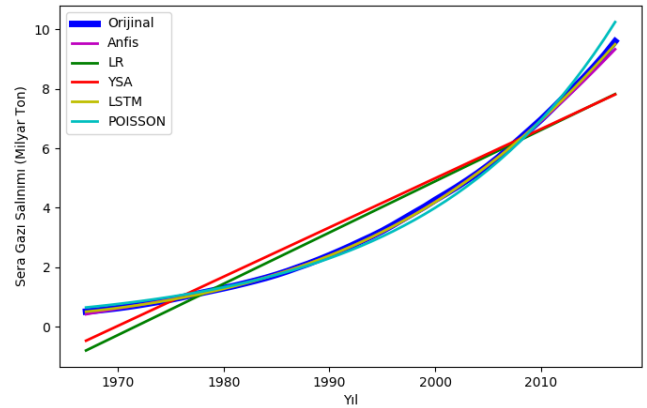
Şekil 10. Algoritmaların 10-kat çapraz doğrulama için karşılaştırılmalarına ait kutu grafiği a) ANFIS tahmini, b) LR tahmini, c) YSA tahmini, d) LSTM tahmini, e) Poisson regresyonu tahmini

Şekil 10'da da görüldüğü gibi LSTM, Poisson regresyonu ve ANFIS çapraz doğrulamada iyi sonuçlar verirken en başarılı sonuç LSTM'ye ait olarak görülmektedir. Zaman serisi ve 10-kat çapraz doğrulama sonuçları incelendiğinde en başarılı algoritmanın LSTM'ye ait olduğu görülmekte olup bunun yanında ANFIS ve Poisson regresyonu da LR ve YSA'ya göre daha iyi sonuç elde etmişlerdir. En kötü sonuçlar LR yöntemine ait olup, bu sonuçlar sayesinde sera gazı emisyonunun zamana bağlı lineer değişmediği görülmekte olup ilgili değerler lineer olmayan şekilde artış göstermektedir. Elde edilen başarılı sonuçlar ışığında en uygun parametreler ile geliştirilen modeller Türkiye'nin 2018-2031 yıllarına ait sera gazı emisyonunu tahmin etmek için kullanılmıştır. Sadece ileriki 14 yıla ait tahminin gerçekleştirilme sebebi ilgili tahmininde bir zaman serisi olması ve zaman serisi testlerinin veri seti üzerinde %70 eğitim ve %30 test olacak şekilde modellenmesidir. Bu sebeple bu aşamada 1967-2017 yılları oluşturulacak modeller için eğitim olarak kullanılırken, eğitim setinin yaklaşık %30'una karşılık gelen 2018-2031 yılları ise tahmin edilecek veriyi oluşturmaktadır. 1967-2017 yıllarını kapsayan ve en uygun parametrelere sahip algoritmaların eğitim sonuçları Tablo 13'te görülmektedir.

Tablo 13. En uygun parametrelere sahip yöntemlerin 1967-2017 yılları için eğitim sonuçları

Yöntem	RMSE	MAPE	R ²	Wilcoxon Rank	
				H	P
ANFIS	0.07	1.60	1.00	+	0.95
LR	0.73	37.32	0.92	+	0.88
YSA	0.75	33.04	0.92	+	0.62
LSTM	0.03	0.77	1.00	+	0.94
Poisson	0.19	6.41	0.99	+	0.95

Tablo 13'te de görüldüğü gibi LSTM, Poisson regresyonu ve ANFIS iyi sonuç vermelerine rağmen yine LSTM elde ettiği başarılı sonuçlar ile öne çıkmıştır. İlgili eğitime ait tahminler Şekil 11'de görülmektedir.



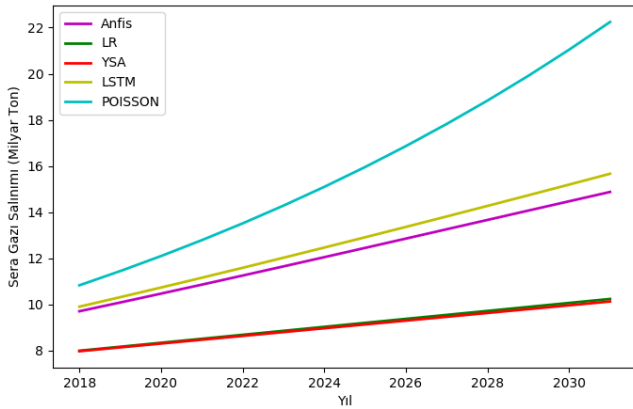
Şekil 11. Algoritmaların 1967-2017 eğitim tahminleri

Şekil 11'de de görüldüğü gibi lineer olmayan değişimi LSTM, Poisson regresyonu ve ANFIS daha iyi modelleyebilmektedir. 1967-2017 yılları ile eğitilen modellerin 2018-2031 yıllarına ait tahminleri ise Tablo 14'te görülmektedir.

Tablo 14. En uygun parametrelere sahip yöntemlerin 2018-2031 tahminleri

Yıl/Yöntem	ANFIS	LR	YSA	LSTM	Poisson
2018	9.71	8.00	7.98	9.91	10.83
2019	10.09	8.17	8.14	10.32	11.45
2020	10.47	8.34	8.31	10.74	12.10
2021	10.86	8.52	8.48	11.16	12.79
2022	11.26	8.69	8.64	11.59	13.52
2023	11.65	8.86	8.81	12.03	14.29
2024	12.05	9.03	8.97	12.47	15.10
2025	12.45	9.21	9.14	12.91	15.96
2026	12.86	9.38	9.30	13.36	16.87
2027	13.26	9.55	9.47	13.82	17.83
2028	13.67	9.72	9.64	14.27	18.84
2029	14.07	9.90	9.80	14.73	19.91
2030	14.48	10.07	9.97	15.20	21.04
2031	14.88	10.24	10.13	15.67	22.24

Tablo 14'te de görüldüğü gibi genel bir artış söz konusu olup LSTM'nin 2031 yılı için öngördüğü 15.67 milyar tonluk sera gazı emisyonu en olası tahmin olarak düşünülmektedir. Tablo 14'te yer alan 2018-2031 yıllarına ait sera gazı emisyonu tahminleri Şekil 12'de görülmektedir.

**Şekil 12.** Algoritmaların 2018-2031 tahminleri

Şekil 12'de de görüldüğü gibi tüm yöntemler belli bir artış öngörse de LSTM ve ANFIS yöntemlerinin öngördükleri yaklaşık 15 milyar tonluk sera gazı emisyonu tahminleri günümüze göre yüksek seviyede olup bu değerler göz önüne alınarak gerekli biyokütle artırıcı faaliyetlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Gelecekte alınacak tedbirler açısından modellerin ortaya koydukları tahmin değerleri büyük önem arz etmektedir.

4. SONUÇ

Dünyamız nüfustaki hızlı artışa ek olarak doğaya zararlı kimyasal ürünler ve genel tüketimdeki artış sebebiyle kendini yenileme konusunda artık insanlara yetmemektedir. Öyle ki bu durum şu an kaç adet Dünya'ya ihtiyacımız olduğu konusunda da çeşitli çalışmalarda görülmektedir. Tüketimlere bağlı olarak dünyamızın ekolojik ayak izi artmakta, bunun en büyük sebeplerinden biri de sera gazı emisyonundaki artış olarak görülmektedir. Dünyanın yenilenebilir olarak üretebildiği kaynaklar olan biyokütle miktarının ekolojik ayak izi ile dengede olması gerekmektedir, bu denge ekolojik ayak izi tarafına doğru artan eğilim olduğunda dünya için olumsuz şartlar oluşmaktadır. Bu olumsuzluklar arasında ozon tabakasının delinmesi, küresel ısınma ve doğal kaynakların yetmemesi gibi durumlar bulunmaktadır. Bu olumsuzlukların yaşanmaması için gerek dünya genelinde gerekse ülkeler bazında daha yaşanılabilir ve kendi kendine yetebilen bir dünya için sera gazı emisyonunun durumu incelenmeli ve tedbirler alınmalıdır. Bunu gerçekleştirmek için de ileriye yönelik sera gazı emisyonunun öngörülmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen Türkiye'nin sera gazı emisyonu modellemesi ve tahmini de Türkiye açısından ileriye yönelik tedbirler alınması açısından faydalı olacaktır. İlgili makine öğrenimi algoritmaları zaman serisi ve 10-kat çapraz doğrulama ile test edilmiştir. LSTM, ANFIS, Poisson regresyonu, YSA ve LR algoritmalarının zaman serisi ve 10-kat çapraz doğrulama ile test edilmesi sonucunda en iyi sonuç veren yöntem olarak LSTM tespit edilmiştir. LSTM'nin normalize edilmiş veride 45 nöron ve 0.05 Öo ile test seti için elde ettiği RMSE, MAPE ve R² değerleri sırası ile 0.25, 1.11, 1.0 olarak bulunurken, bu değerlere ait Wilcoxon Rank Sum testi için *null* test kabul edilip *p* değeri olarak 1.0 elde edilmiştir. Aynı parametreler ile LSTM'nin çapraz doğrulama sonucunda elde ettiği RMSE, MAPE ve R² değerleri ise sırası ile 0.02, 0.75, 1.0 olarak bulunurken, bu değerlere ait Wilcoxon Rank Sum testi için *null* test kabul edilip *p* değeri olarak 0.99 elde edilmiştir. Bu başarılı sonuçlar ile oluşturulan model 2018-2031 yılına kadar olan sera gazı emisyonunu tahmin etmek için kullanılmıştır. İleriye yönelik tahmin değerleri incelendiğinde ise 2031 yılı için tüm algoritmalar artış öngörürken, en başarılı bulunan LSTM 15.67 milyar ton olarak sera gazı emisyonunu hesaplamıştır. Bu değerler gerek Türkiye için gerekse dünya açısından tehlikeli ve yüksek olup, tahmin edilen değerler dikkate alınıp sera gazını önleyici veya biyokütleyi artırıcı tedbirlerin alınması gerekmektedir. İleriki çalışmalarda sera gazı emisyonlarının da etkisinin olduğu ekolojik ayak izi değeri ile dünyamıza ait biyokütleyi dengelemek için biyokütleyi artırıcı yönde faaliyetlerin optimizasyonu üzerine çalışılabilir.


KAYNAKÇA


- [1]. H. Ritchie and M. Roser, URL: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions> (Erişim zamanı; Eylül, 1, 2019).
- [2]. S. Kalra, R. Lamba and M. Sharma, "Machine learning based analysis for relation between global temperature and concentrations of greenhouse gases.", *Journal of Information and Optimization Sciences*, vol. 41, no 1, pp. 73-84, 2020.
- [3]. N. Li, L. Shang, Z. Yu and Y. Jiang, "Estimation of agricultural greenhouse gases emission in interprovincial regions of China during 1996–2014.", *Natural Hazards*, pp. 1-22, 2020.
- [4]. A. J. Franzluebbers, Cattle grazing effects on the environment: Greenhouse gas emissions and carbon footprint, In *Management Strategies for Sustainable Cattle Production in Southern Pastures*, Academic Press, pp. 11-34, 2020.
- [5]. M. Han and B. Zhu, B. "Changes in soil greenhouse gas fluxes by land use change from primary forest.", *Global Change Biology*, vol. 26, pp. 2656-2667, 2020.
- [6]. S. Chicherin, "Low-Temperature District Heating With Decentralized Generation By Heat Pumps At A Railway Station: Optimizing The System And Calculating Greenhouse Gas Emissions," *Innovations*, vol.6, no 2, pp. 82-84, 2018.
- [7]. H. Chen, M. K. Awasthi, T. Liu, J. Zhao, X. Ren, M. Wang, Y. Duan, S. K. Awasthi and Z. Zhang, "Influence Of Clay As Additive On Greenhouse Gases Emission And Maturity Evaluation During Chicken Manure Composting.", *Bioresource technology*, vol. 266, pp. 82-88, 2018.
- [8]. H. Gülhan, H. Özgün, M. E. Erşahin, R. K. Dereli and İ. Öztürk, "İstanbul'daki Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinin Sera Gazı Emisyonunun Modelleme Metodu ile Tahmini," *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 30, no 1, pp. 59-67, 2018.
- [9]. T. A. Räsänen, O. Varis, L. Scherer and M. Kummu, "Greenhouse Gas Emissions Of Hydropower In The Mekong River Basin.", *Environmental Research Letters*, vol. 13, no 3, 034030, 2018.
- [10]. M. F. Baran, H. A. Karağaç, D. Mart, A. Bolat, and Ö. Eren, "Nohut Üretiminde Enerji Kullanım Etkinliği Ve Sera Gazı (Ghg) Emisyonunun Belirlenmesi (Adana İli Örneği).", *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, vol. 16, pp. 41-50, 2019.
- [11]. H. Dulkadiroğlu, "Türkiye'de Elektrik Üretimini Sera Gazı Emisyonları Açısından İncelenmesi.", *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 7, no 1, pp. 67-74, 2018.
- [12]. B. Henderson, A. Golub, D. Pambudi, T. Hertel, C. Godde, M. Herrero, O. Cacho, and P. Gerber, "The Power And Pain Of Market-Based Carbon Policies: A Global Application To Greenhouse Gases From Ruminant Livestock Production.", *Mitigation And Adaptation Strategies For Global Change*, vol. 23, no 3, pp. 349-369, 2018.
- [13]. Orhan, Ayşe Ebru, "Çimento Üretiminden Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Hesaplanması", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara/Türkiye, 2018.
- [14]. Tokay, Zeynep, "Türkiye'nin Çeltik Yetiştiriciliği Kaynaklı Sera Gazı Emisyonlarının Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara/Türkiye, 2018.
- [15]. Z. Zhang, H. Li, H. Chang, Z. Pan and X. Luo, "Machine Learning Predictive Framework For Co² Thermodynamic Properties In Solution.", *Journal Of Co² Utilization*, vol. 26, pp. 152-159, 2018.
- [16]. I. Sefiner, "Some Artificial Neural Network Applications To Greenhouse Environmental Control," *Computers And Electronics In Agriculture*, vol. 18 no 2-3, pp. 167-186, 1997.
- [17]. H. Kargupta, J. Gama and W. Fan, "The Next Generation Of Transportation Systems, Greenhouse Emissions, And Data Mining", In *Proceedings Of The 16th Acm Sigkdd International Conference On Knowledge Discovery And Data Mining*, Acm, 1209-1212, (2010).
- [18]. A. Nabavi-Pelesaraei, R. Abdi, S. Rafiee, S. Shamshirband and M. Yousefinejad-Ostadkelayeh, "Resource Management In Cropping Systems Using Artificial Intelligence Techniques: A Case Study Of Orange Orchards In North Of Iran.", *Stochastic Environmental Research And Risk Assessment*, vol. 30, no 1, pp. 413-427, 2016.
- [19]. T. B. Nguyen, W. Schoepp and F. Wagner, "Gains-Bi: Business Intelligent Approach For Greenhouse Gas And Air Pollution Interactions And Synergies Information System," In *Proceedings Of The 10th International Conference On Information Integration And Web-Based Applications & Services*, Acm, 332-338, (2008).
- [20]. K. A. Nguyen, O. Sahin, R. A. Stewart, and H. Zhang, "Smart Technologies In Reducing Carbon Emission: Artificial Intelligence And Smart Water Meter," In *Proceedings Of The 9th International Conference On Machine Learning And Computing*, Acm, 517-522, (2017).
- [21]. T. B. Nguyen, F. Wagner and W. Schoepp, "Cloud Intelligent Services For Calculating Emissions And Costs Of Air Pollutants And Greenhouse Gases," In *Asian Conference On Intelligent Information And Database Systems* Springer, Berlin, Heidelberg, 159-168, (2011).
- [22]. M. A. Behrang, E. Assareh, M. R. Assari and A. Ghanbarzadeh, "Using Bees Algorithm And Artificial Neural Network To Forecast World Carbon Dioxide Emission.", *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, And Environmental Effects*, vol. 33, no 19, pp. 1747-1759, 2011.
- [23]. A. Nabavi-Pelesaraei, S. Rafiee, S. S. Mohtasebi, H. Hosseinzadeh-Bandbafha and K. W. Chau, "Integration Of Artificial Intelligence Methods And Life Cycle Assessment To Predict Energy Output And Environmental Impacts Of Paddy Production.", *Science Of The Total Environment*, vol. 631, pp. 1279-1294, 2018.
- [24]. H. Hosseinzadeh-Bandbafha, A. Nabavi-Pelesaraei and S. Shamshirband, "Investigations Of Energy Consumption And Greenhouse Gas Emissions Of Fattening Farms Using Artificial Intelligence Methods.", *Environmental Progress & Sustainable Energy*, vol. 36, no 5, pp. 1546-1559, 2017.

- [25]. N. Pillai, S. L. Schwartz, T. Ho, A. Dokoumetzidis, R. Bies and I. Freedman, "Estimating parameters of nonlinear dynamic systems in pharmacology using chaos synchronization and grid search.", *Journal of Pharmacokinetics and Pharmacodynamics*, vol. 46, no 2, pp. 193-210, 2019.
- [26]. Ncss Statistical System Software User's Guide. URL: [https://www.ncss.com/software/ncss-documentation/](https://www.ncss.com/software/ncss/ncss-documentation/) (Erişim zamanı; Eylül, 8, 2019).
- [27]. A. C. Cameron and P. K. Trivedi, *Regression Analysis Of Count Data*. New York: Cambridge University Press, Ny, 1998.
- [28]. I. Goodfellow, Y. Bengio and A. Courville, *Deep Learning*. Cambridge, Ma: Mit Press, 2016.
- [29]. J. S. R. Jang, "ANFIS Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference Systems.", *Man, And Cybernetics*, vol. 23, no 3, pp. 665-685, 1993.
- [30]. S. Hochreiter and J. Schmidhuber, "Long short-term memory.", *Neural computation*, vol. 9, no 8, pp. 1735-1780, 1997.
- [31]. G. Işık and H. Artuner, "Uzun kısa-dönem bellekli sinir ağlarıyla prozodik açıdan türkçe ağız tanıma.", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 35, no 1, 213-224, 2020.
- [32]. X. Wang, F. Zhang, H. T. Kung, V. C. Johnson and A. Latif, "Extracting soil salinization information with a fractional-order filtering algorithm and grid-search support vector machine (GS-SVM) model.", *International Journal of Remote Sensing*, vol. 41, no 3, pp. 953-973, 2020.
- [33]. I. Goodfellow, Y. Bengio and A. Courville, *Derin Öğrenme*. Buzdağı Yayınevi, Ankara, 2016.

Çok Katlı Betonarme Binalarda 2018 Deprem Yönetmeliği İle Tanımlanan Spektrum Eğrilerinin Etkisi

*¹Yusuf Sümer, ²Mehtap Hamsici

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, ysumer@subu.edu.tr, 

²mehtaphmsc@gmail.com, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 01.11.2019

Kabul Tarihi: 27.03.2020

Öz

01 Ocak 2019'da yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) ile yapılan değişikliklerin en önemlilerinden biri deprem yer hareketi spektrum hesabının, yapının bulunduğu konuma ve zemin değerlerine göre yapılacak olmasıdır. Bu çalışmanın amacı, spektrum eğrilerinin hesabındaki bu önemli değişikliğin, yapıya gelen kuvvet ve yapıda meydana gelen deplasman değerlerindeki değişime etkisini araştırmaktır. Çalışmanın ilk bölümünde, her iki yönetmeliğe göre (TBDY-2018 ve Türk Deprem Yönetmeliği 2007 (TDY-2007)), taban kesme kuvveti ve maksimum görel kat ötelemelerinin hesap esasları ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Sayısal analizler için öncelikle 1996 tarihli deprem tehlike haritasında sırasıyla 1., 2., 3. ve 4. bölgede yer alan Sakarya-Serdivan, Kocaeli-Kandıra, Eskişehir-Sivrihisar ve Ankara-Yenimahalle konumları belirlenmiştir. Belirlenen her konumda 4 farklı zemin cinsi dikkate alınarak üç adet farklı kat sayılarına sahip (4, 7 ve 10 katlı) yapılar oluşturulmuştur. Tasarım depremi altında İDECAD programı yardımıyla, TBDY-2018 ve TDY-2007 yönetmelikleri hesap esaslarına göre, belirlenen yapıların analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetleri ve maksimum görel kat ötelemeleri tablo ve grafiklerle sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre taban kesme kuvvetinin, kat sayısı arttıkça eski yönetmeliğe kıyasla daha düşük değerler verdiği, maksimum etkin görel kat ötelemelerinin her yükseklikteki binada özellikle zemin değerleri olumsuz şartlara doğru gittikçe eski yönetmeliğe nazaran çok daha büyük değerler verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Taban kesme kuvveti, Görel kat ötelemesi, TBDY-2018, Elastik tasarım spektral ivmesi, TDY-2007

The Effect Of Spectrum Curves Defined By The Turkish Building Code 2018 On Multi-Storey Reinforced Concrete Buildings

*¹Yusuf Sümer, ²Mehtap Hamsici

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, ysumer@subu.edu.tr

²mehtaphmsc@gmail.com

Abstract

New Turkish Building Earthquake Code (TBDY-2018) has come into force on 01 January 2019 and one of the most important innovation brought by the regulation is the calculation of earthquake ground spectra, according to location of the building and its ground parameters. Purpose of this study is to investigate the effects of this important modification on the forces acting on the structure and the change in the displacement values occurring in the structure. In the first part of the study, according to both regulations (TDBY-2018 and Turkish Earthquake Code 2007 (TDY-2007)), principles of base shear force and the maximum relative storey drifts of buildings are given. For numerical analysis, Sakarya-Serdivan, Kocaeli-Kandıra, Eskişehir-Sivrihisar and Ankara-Yenimahalle locations were determined in the earthquake hazard map of 1996, respectively in the 1st, 2nd, 3rd and 4th earthquake regions. Considering 4 different soil types in each designated location, three different storey buildings (4, 7 and 10 floors) have been created. Analyses were performed according to TBDY-2018 and TDY-2007 for the design earthquake with the help of IDECAD structural analysis program. Thus obtained structure base shear forces and relative storey drift values presented with tables and graphs. According to the results, it was observed that the base shear forces gives lower values compared to the old building code as the number of storey increases, and the maximum relative storey drift gives much higher values than the old building code, especially when the soil types changes from hard to soft conditions.

Keywords: Base shear force, Relative storey drift, TBDY-2018, Earthquake ground spectra, TDY-2007.

*¹Sorumlu yazar : Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, ysumer@subu.edu.tr

1. GİRİŞ

18.03.2018 tarihinde Resmi Gazetede yayınlanan ve 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile Türkiye'nin deprem tehlike haritası tamamen yenilenmiş, deprem bölgeleri sınıflandırması kaldırılmıştır [1]. Deprem yönetmeliğindeki bu değişikliklerle birlikte zemin cinsinden kaynaklanan ivme katsayıları değişmiştir. Bundan dolayı kat ötelemelerini belirleyen, spektrum karakteristik periyotları ve dolayısıyla spektrum eğrilerindeki değişiklikler beraberinde gelmiştir. Bunun sonucunda yapıya gelen deprem kuvvetleri ve ötelemeler de değişmiştir. Bu konu üzerine yapılan çalışmalar henüz çok yetersizdir. Yapılan çalışmaların bazılarında TBDY-2018 yönetmeliği, spektral ivme değerleri, taban kesme kuvveti, bazılarında ise maksimum görelî kat ötelemesi açısından farklı il ve zemin cinsleri bazında eski yönetmelik ile karşılaştırılmıştır [2-9]. Yapısal analiz programlarının çok yakın bir zamanda yeni yönetmeliğin esaslarına göre analize imkan tanınmasıyla birlikte bu değerlerin hepsinin birden farklı bina yüksekliklerinde, eski yönetmeliğe nazaran nasıl bir değişime uğrayacağını karşılaştırmak ve daha sağlıklı sonuçlar elde edebilmek, çalışmamızın amacını oluşturmuştur.

Bu çalışmada öncelikle süneklik düzeyi yüksek kolon ve perdelerden oluşan taşıyıcı sisteme sahip, her iki yönde simetrik, dört dairenin bulunduğu örnek bir kat planı tasarlanmıştır. Bu plan 4, 7 ve 10 katlı olarak düşünülerek taşıyıcı sistem elemanları buna göre 3 farklı şekilde belirlenmiştir. Bütün binalar için radye temel sistemi kullanılmıştır. 1996 Türkiye deprem bölgeleri haritasına göre [10] sırasıyla 1., 2., 3. ve 4. deprem bölgesinde yer alan Sakarya-Serdivan, Kocaeli-Kandıra, Eskişehir-Sivrihisar, Ankara-Yenimahalle ilçelerinde, TDY-2007'de tanımlanan [11] ve TBDY-2018'de de DD-2 tasarım depremi olarak yerini koruyan, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan şiddetli deprem etkisi için, 4 farklı konum ve her konumda 4 farklı zemin sınıfı dikkate alınarak binaların her iki yönetmeliğe göre spektrum eğrileri elde edilmiştir. İDECAD [12] programı yardımı ile yapılan deprem analizleri sonucunda yapı doğal titreşim periyotları, spektrum katsayıları, taban kesme kuvvetleri ve kat içindeki en büyük etkin görelî kat ötelemesi değerleri karşılaştırılmıştır.

2. BİNA ANALİZLERİNDE KULLANILAN PARAMETRELER

2.1. Spektrum Eğrilerinin Elde Edilmesi

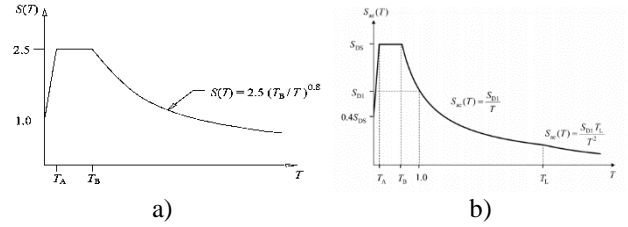
TDY-2007'de spektrum eğrisinin apsisi periyodu (T) ordinatı spektrum katsayısını ($S(T)$) göstermektedir (Şekil 1a).

Burada $S(T)$ yerel zemin koşullarına (T_A ve T_B) ve bina doğal titreşim periyodu T 'ye bağlı olarak Denklem 1, 2 veya 3 ile hesaplanmaktadır.

$$S(T) = 1 + 1,5 \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (1)$$

$$S(T) = 2,5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (2)$$

$$S(T) = 2,5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0,8} \quad (T_B < T) \quad (3)$$

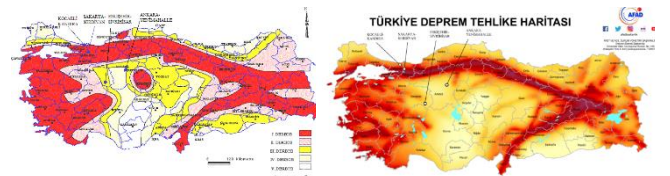


Şekil 1. TDY-2007'de (a) ve TBDY-2018'de (b) tanımlanan spektrum eğrileri

TBDY-2018'e göre oluşturulan yatay elastik spektrum eğrisinin ordinatı ($S_{ac}(T)$) yatay elastik tasarım spektral ivmesini göstermektedir (Şekil 1b). " $S_{ac}(T)$ ", doğal titreşim periyoduna ve tasarım spektral ivme katsayılarına (S_{DS} ve S_{D1}) bağlı olarak yerçekimi ivmesi (g) cinsinden tanımlanmıştır. Tasarım spektral ivme katsayıları ise harita spektral ivme katsayıları (S_S ve S_1) ile yerel zemin etki katsayılarının (F_S ve F_1) çarpımıyla elde edilmektedir. Burada harita spektral ivme katsayıları " S_S " ve " S_1 " dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için konum koordinatlarına bağlı olarak Türkiye Deprem Tehlike Haritalarında tanımlanmıştır. Yerel zemin etki katsayıları " F_S " ve " F_1 " ise yerel zemin sınıfına bağlı olarak tablo halinde yönetmelikte verilmiştir [1].

2.2. Yapı Konumlarının Belirlenmesi

Bu çalışmada, deprem analizi yapılan binalar için, TDY-2007'ye göre sırasıyla 1., 2., 3. ve 4. deprem bölgesinde yer alan Sakarya-Serdivan, Kocaeli-Kandıra, Eskişehir-Sivrihisar, Ankara-Yenimahalle konumları tercih edilmiştir. Bu konumların deprem haritalarındaki yerleri Şekil 2'de, 1996 ve 2018 Deprem Haritalarında gösterilmiştir.



Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, 1996 [7] Türkiye Deprem Tehlike Haritası, 2018 [13]

Şekil 2. Analizi yapılan yapıların konumları

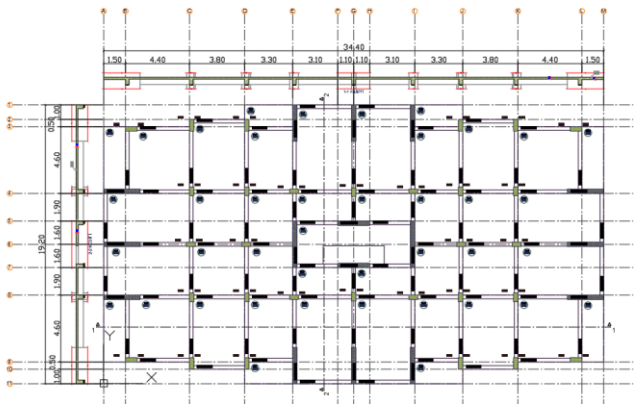
2.3. Zemin Cinsi

Zeminler, TDY-2007'de 4 farklı zemin grubuna ve bunların en üst zemin tabakası kalınlığına göre Z1, Z2, Z3 ve Z4 olmak üzere 4 yerel zemin sınıfına ayrılmıştır. TBDY-2018'de ise bu sınıflandırma, zeminin üst 30 m ortalaması alınarak ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF olmak üzere 6 sınıf olacak şekilde tanımlanmıştır. Bu çalışmada, TDY-2007 ve TBDY-2018'e göre deprem analizini yapılan binalarda aynı zamanda zemin cinsindeki değişimin de spektrum katsayısı,

taban kesme kuvveti ve en büyük kat ötelemelerine etkisini görebilmek için 4 farklı zemin sınıfı kullanılmıştır. Bunlar her iki yönetmelikte karşılıklı olarak ZA ve Z1 (sağlam kaya ve kayalar), ZC ve Z2 (çok çatlaklı zayıf kaya, çakıl), ZD ve Z3 (orta sıkı kum, katı kil), ZE ve Z4 (gevşek kum, yumuşak kil) zemin sınıflarıdır.

2.4. Yapı Özellikleri

Normal kat kalıp planı Şekil 3'te gösterilen binalar, zemin kat yüksekliği 3,00 m ve normal kat yüksekliği 2,80 m olarak tasarlanmıştır. Binaların toplam kat yüksekliği; 4 katlı binalarda 11,40 m, 7 katlı binalarda 19,80 m ve 10 katlı olarak 28,20 m olmuştur. Normal kat alanı brüt 610 m², net 565 m² olup, iki yönde simetrik olan binanın her bir katında 4 daire bulunmaktadır.



Şekil 3. Normal Kat Kalıp Planı

Binaların taşıyıcı eleman boyutları kat sayısı ile orantılı şekilde artırılmış olup yaygın olarak kullanılan süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeve ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdelerden oluşan taşıyıcı sistem tercih edilmiştir. 3 farklı bina yüksekliğinde kullanılan taşıyıcı eleman özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

2.5. Analizlerde Kullanılan Parametreler

Analizlerde beton sınıfı C30/37, çelik sınıfı B420C (S420) seçilmiştir. Deprem yer hareketi düzeyi olarak, TBDY-2018'e göre yapılan bütün analizlerde standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılan DD-2 Deprem Yer Hareketi seçilmiştir. Bina önem katsayısı (I) yapı türü konut olduğu için her iki yönetmeliğe göre yapılan bütün analizlerde 1 alınmıştır. Dayanım fazlalığı katsayısı (D) TBDY-2018'e göre yapılan bütün analizlerde her iki yönde 2,5 alınmıştır. TBDY-2018'e göre yapılacak olan analizlerde, Deprem Tasarım Sınıfı (DTS), Bina Kullanım Sınıflarına (BKS) ve Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme katsayısına bağlı olarak yönetmelikteki tablodan alınmıştır.

TBDY-2018'e göre Bina Yükseklik Sınıfı (BYS), bina yüksekliğine ve Deprem Tasarım Sınıfına bağlı olarak yönetmelikteki tablodan alınmıştır.

Tablo 1. Binaların Taşıyıcı Sistem Geometrik Özellikleri

	yön	4 Katlı	7 Katlı	10 Katlı
Kolon Boyutları	x	4 adet 30/80 cm 8 adet 30/60 cm	12 adet 30/70 cm	12 adet 30/80 cm
	y	8 adet 30/80 cm 10 adet 30/60 cm	8 adet 30/80 cm 10 adet 30/70 cm	18 adet 30/80 cm
Perde Boyutları	x	6 adet 30/250 cm 2 adet 30/220 cm	6 adet 30/250 cm 2 adet 30/220 cm	6 adet 30/250 cm 2 adet 30/220 cm
	y	6 adet 30/250 cm 2 adet 30/320 cm	6 adet 30/250 cm 2 adet 30/320 cm	6 adet 30/250 cm 2 adet 30/320 cm
Kirişler		25/50 cm	25/60 cm	30/60 cm

3. BİNA ANALİZ SONUÇLARI

TDY-2007'ye göre 4 farklı deprem bölgesinden seçilen konumlar üzerinde (Ankara-Yenimahalle, Sivrihisar-Eskişehir, Kandıra-Kocaeli, Sakarya-Serdivan) 4 farklı zemin cinsinde (Z1-ZA, Z2-ZC, Z3-ZD, Z4-ZE) tasarlanan 4 katlı, 7 katlı ve 10 katlı konut türündeki yapıların, TBDY-2018 ve TDY-2007'ye göre İDECAD programıyla yapılan deprem analizleri sonucunda, binalara gelen taban kesme kuvvetlerini belirleyen spektrum karakteristik periyotları, yapı doğal titreşim periyotları, spektrum katsayıları Tablo 2'de gösterilmiştir. Tablo 2'de, Yenimahalle=YM, Sivrihisar=SH, Kandıra=K ve Serdivan=S olarak kısaltılmıştır.

Tablo 2'de ayrıca spektrum katsayılarının karşılaştırmasını yapabilmek için TDY-2007'ye göre hesaplanan spektrum katsayıları, yerel zemin etki katsayısı (A_0) ile çarpılmıştır.

Bina her iki yönden simetrik olmasına rağmen TBDY-2018'e göre yapılan analizlerde A1 düzensizliği olduğundan görece kat ötelemelerinin hesabı $\pm\%5$ ek dış merkezlik etkileri de göz önüne alınarak kat döşemeleri kendi düzlemleri içinde rijit kabul edilip modal analiz yapılmıştır. TDY-2007'ye göre yapılan analizde hiçbir düzensizlik oluşmamış ve modal analiz yapılmıştır.

Tabloda, yapı doğal titreşim periyodu değeri, spektrum karakteristik periyotları (T_A ve T_B) arasında ise yani rezonans durumu oluşuyorsa kırmızıya, T_B 'den büyük ise yeşile boyanmıştır. Yeni yönetmelikte binalar için olumsuz bu durumun azaldığı görülmüştür.

Yeni yönetmelikte spektrum karakteristik periyotlarının ve spektrum katsayılarının hesabındaki değişim, binaların taban kesme kuvvetlerinin aldığı değerlerde farklı etkilere sebep olmuştur (Şekil 4-5-6).

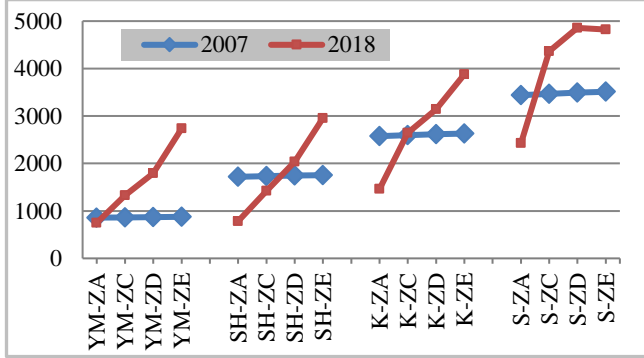
Tablo 2. Konum, zemin sınıfı ve kat adedine göre analiz sonuçları

Yapı Tipi	Konum	Zemin Sınıfı	TDY-2007				TBDY-2018			
			T _A -T _B (s)	T(s)	S(T)	A _{0x} S(T)	T _A -T _B (s)	T(s)	S(T)	
4 KATLI	YM	Z1-ZA	0,10-0,30	0,36	2,16	0,22	0,07-0,37	0,51	0,20	
		Z2-ZC	0,15-0,40	0,36	2,50	0,25	0,09-0,43	0,51	0,36	
		Z3-ZD	0,15-0,60	0,37	2,50	0,25	0,11-0,57	0,52	0,51	
		Z4-ZE	0,20-0,90	0,37	2,50	0,25	0,14-0,68	0,52	0,72	
	SH	Z1-ZA	0,10-0,30	0,36	2,16	0,43	0,05-0,26	0,51	0,19	
		Z2-ZC	0,15-0,40	0,36	2,50	0,50	0,06-0,30	0,51	0,36	
		Z3-ZD	0,15-0,60	0,37	2,50	0,50	0,09-0,43	0,52	0,56	
		Z4-ZE	0,20-0,90	0,37	2,50	0,50	0,12-0,59	0,52	0,84	
	K	Z1-ZA	0,10-0,30	0,36	2,16	0,64	0,06-0,31	0,51	0,37	
		Z2-ZC	0,15-0,40	0,36	2,50	0,75	0,08-0,39	0,51	0,69	
		Z3-ZD	0,15-0,60	0,37	2,50	0,75	0,11-0,55	0,52	0,91	
		Z4-ZE	0,20-0,90	0,37	2,50	0,75	0,15-0,75	0,52	0,98	
	S	Z1-ZA	0,10-0,30	0,36	2,16	0,86	0,05-0,26	0,51	0,60	
		Z2-ZC	0,15-0,40	0,36	2,50	1,00	0,06-0,32	0,51	1,12	
		Z3-ZD	0,15-0,60	0,37	2,50	1,00	0,10-0,49	0,52	1,41	
		Z4-ZE	0,20-0,90	0,37	2,50	1,00	0,16-0,79	0,52	1,20	
7 KATLI	YM	Z1-ZA	0,10-0,30	0,57	1,49	0,15	0,07-0,37	0,82	0,12	
		Z2-ZC	0,15-0,40	0,58	1,87	0,19	0,09-0,43	0,83	0,23	
		Z3-ZD	0,15-0,60	0,58	2,50	0,25	0,11-0,57	0,83	0,35	
		Z4-ZE	0,20-0,90	0,59	2,50	0,25	0,14-0,68	0,84	0,59	
	SH	Z1-ZA	0,10-0,30	0,57	1,49	0,30	0,05-0,26	0,82	0,12	
		Z2-ZC	0,15-0,40	0,58	1,87	0,37	0,06-0,30	0,83	0,22	
		Z3-ZD	0,15-0,60	0,58	2,50	0,50	0,09-0,43	0,83	0,35	
		Z4-ZE	0,20-0,90	0,59	2,50	0,50	0,12-0,59	0,84	0,59	
	K	Z1-ZA	0,10-0,30	0,57	1,49	0,45	0,06-0,31	0,82	0,23	
		Z2-ZC	0,15-0,40	0,58	1,87	0,56	0,08-0,39	0,83	0,43	
		Z3-ZD	0,15-0,60	0,58	2,50	0,75	0,11-0,55	0,83	0,60	
		Z4-ZE	0,20-0,90	0,59	2,50	0,75	0,15-0,75	0,84	0,88	
	S	Z1-ZA	0,10-0,30	0,57	1,49	0,60	0,05-0,26	0,82	0,37	
		Z2-ZC	0,15-0,40	0,58	1,87	0,75	0,06-0,32	0,83	0,69	
		Z3-ZD	0,15-0,60	0,58	2,50	1,00	0,10-0,49	0,83	0,88	
		Z4-ZE	0,20-0,90	0,59	2,50	1,00	0,16-0,79	0,84	1,12	
10 KATLI	YM	Z1-ZA	0,10-0,30	0,79	1,15	0,14	0,07-0,37	1,15	0,09	
		Z2-ZC	0,15-0,40	0,80	1,44	0,14	0,09-0,43	1,15	0,16	
		Z3-ZD	0,15-0,60	0,81	1,98	0,20	0,11-0,57	1,16	0,25	
		Z4-ZE	0,20-0,90	0,81	2,50	0,25	0,14-0,68	1,17	0,42	
	SH	Z1-ZA	0,10-0,30	0,79	1,15	0,23	0,05-0,26	1,15	0,09	
		Z2-ZC	0,15-0,40	0,80	1,44	0,29	0,06-0,30	1,15	0,16	
		Z3-ZD	0,15-0,60	0,81	1,98	0,39	0,09-0,43	1,16	0,25	
		Z4-ZE	0,20-0,90	0,81	2,50	0,50	0,12-0,59	1,17	0,42	
	K	Z1-ZA	0,10-0,30	0,79	1,15	0,35	0,06-0,31	1,15	0,16	
		Z2-ZC	0,15-0,40	0,80	1,44	0,29	0,08-0,39	1,15	0,31	
		Z3-ZD	0,15-0,60	0,81	1,98	0,43	0,11-0,55	1,16	0,43	
		Z4-ZE	0,20-0,90	0,81	2,50	0,75	0,15-0,75	1,17	0,63	
	S	Z1-ZA	0,10-0,30	0,78	1,16	0,46	0,05-0,26	1,14	0,27	
		Z2-ZC	0,15-0,40	0,78	1,46	0,58	0,06-0,32	1,14	0,50	
		Z3-ZD	0,15-0,60	0,78	2,02	0,80	0,10-0,49	1,14	0,64	
		Z4-ZE	0,20-0,90	0,78	2,50	1,00	0,16-0,79	1,14	0,83	

Şekil 4'te dört katlı binaların taban kesme kuvvetlerine bakıldığında TDY-2007'ye göre aynı konumda, zemin sınıfı, güçlünden zayıfa doğru gittiği halde değerlerde kayda değer

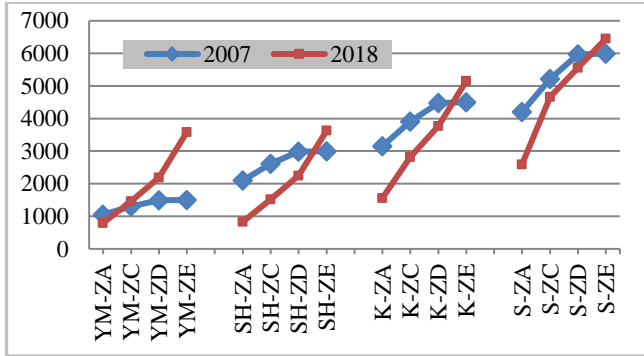
bir artış olmadığı, artışın sadece deprem bölgesi değişimlerinde yaşandığı, buna karşın 2018 yönetmeliğine göre yapılan analiz sonuçlarında zemin sınıfının aynı

şekildeki değişimlerinde taban kesme kuvvetinin önemli artışlar gösterdiği görülmektedir. Ayrıca 2018 yönetmeliğinin taban kesme kuvveti sonuçlarına bakıldığında ZA-Z1 cinsinde 2007 yönetmeliğinden daha düşük değerler verdiği ZD-Z3, ZE-Z4 zemin sınıflarında ise daha yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür.



Şekil 4. Dört katlı binaların konum ve zemin cinsine bağlı değişen taban kesme kuvvetleri (kN)

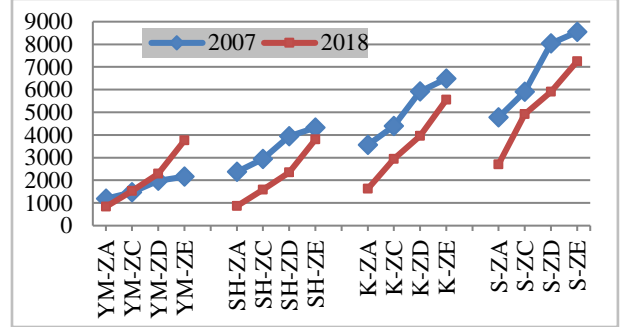
Yedi katlı binalarda bütün konumlarda, ZE-Z4 zemin sınıflarında, 2018 yönetmeliğiyle bulunan taban kesme kuvvetleri, 2007 yönetmeliğinden daha büyük, ZA-Z1 zemin sınıflarında ise daha küçük olduğu görülmektedir (Şekil 5).



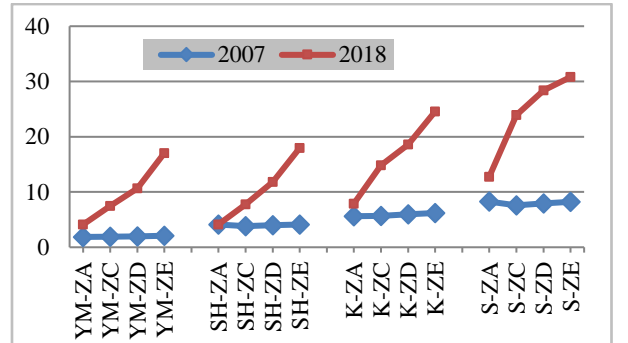
Şekil 5. Yedi katlı binaların konum ve zemin cinsine bağlı değişen taban kesme kuvvetleri (kN)

10 katlı binaların taban kesme kuvveti değerlerini karşılaştırdığımızda ise Yenimahalle (YM) konumunda ZC-Z2, ZD-Z3 ve ZE-Z4 zemin sınıflarında 2007 yönetmeliğine göre bulunan taban kesme kuvvetlerinin, 2018 yönetmeliği değerlerinden daha düşük, diğer bütün konum ve zemin cinslerinde daha yüksek değerler aldığı görülmüştür (Şekil 6).

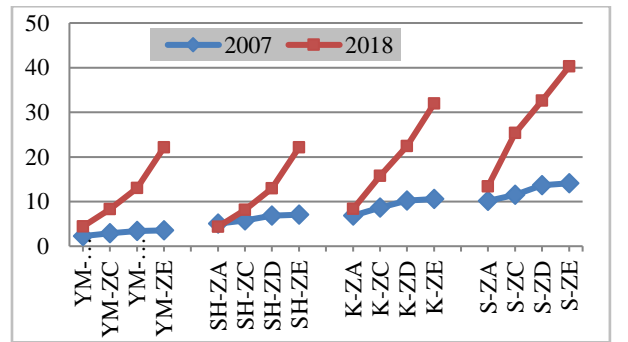
TBDY-2018'de çok büyük olmayan depremlerde, dolgu duvarı veya cephe hasarının azaltılması amacıyla, gevrek malzemeden yapılmış dolgu duvarları ile bunların bağlandığı çerçeve elemanları arasında esnek derz yapılması koşuluyla, izin verilen etkin görelî kat ötelemesi iki katına çıkarılmıştır. Bu çalışmada yaptığımız analizlerde de duvar ve çerçeve arasında esnek derzli kabul edildiğinden maksimum etkin görelî kat ötelemesi sınır şartını daha rahat sağladığı tespit edilmiştir.



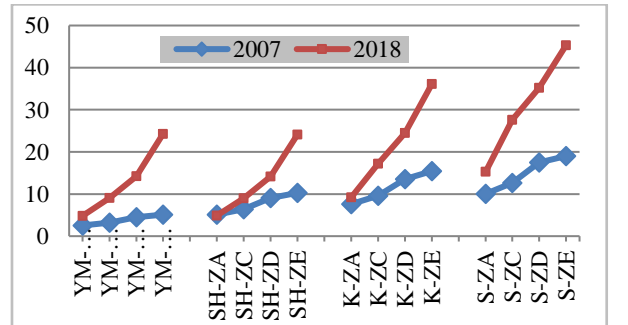
Şekil 6. On katlı binaların konum ve zemin cinsine bağlı değişen taban kesme kuvvetleri (kN)



Şekil 7. Dört katlı binaların konum ve zemin cinsine bağlı değişen maksimum etkin görelî kat ötelemeleri (mm)



Şekil 8. Yedi katlı binaların konum ve zemin cinsine bağlı değişen maksimum etkin görelî kat ötelemeleri (mm)



Şekil 9. On katlı binaların konum ve zemin cinsine bağlı değişen maksimum etkin görelî kat ötelemeleri (mm)

TBDY-2018'e göre yapılan analizlerde, maksimum etkin görelî kat ötelemesi değerlerinin TDY-2007'ye göre daha büyük olduğu ve bu farkın her yükseklikteki binada ve her

konumda, güçlü zeminden zayıf zemine doğru gittikçe arttığı tespit edilmiştir (Şekil 7-8-9).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dört farklı konumda ve her konumda 4 farklı zemin cinsi olduğu varsayılarak TBDY-2018 ve TDY-2007 esaslarına göre tasarlanmış 4 katlı, 7 katlı ve 10 katlı konut binalarında spektrum eğrileri, taban kesme kuvvetleri ve maksimum etkin görelî kat ötelemelerinin değerlendirilmesine ilişkin sonuçlar aşağıda verilmiştir;

1. TBDY-2018'e göre yapılan analizlerde bütün binalarda, yapı doğal titreşim periyot değerlerinde, TDY-2007'ye oranla %41-43 arası bir artış olmuştur. Burada TBDY-2018'in hesap esaslarına göre yapılan bina tasarımlarında etkin kesit rijitliklerinin dikkate alınmamasının zorunlu hale gelmesiyle, yatay deplasman değerlerinde önemli artış olduğu gözlemlenmiştir.
2. TDY-2007'ye göre yapılan analizlerden elde edilen taban kesme kuvvetleri incelendiğinde 4 katlı binalarda aynı konumda, zemin sınıfı, güçlüden zayıfa doğru değiştiğinde değerlerde kayda değer bir artış olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte artışın sadece deprem bölgesi değişimlerinde yaşandığı, buna karşın TBDY-2018'e göre yapılan analiz sonuçlarında, zemin sınıfının aynı şekilde değişimlerinde taban kesme kuvvetinin önemli artışlar gösterdiği görülmektedir. Yedi katlı binalarda, bütün analizlerde ZE-Z4 zemin sınıfında yeni yönetmeliğin eski yönetmeliğe nazaran daha yüksek değerler verdiği, 10 katlı binalarda ise taban kesme kuvveti sonuçlarına bakıldığında Yenimahalle hariç bütün konum ve zemin cinslerinde 2018 yönetmeliğinin eski yönetmeliğe nazaran daha düşük değerler verdiği görülmüştür. Genel olarak yeni yönetmelikte, kat sayısı arttıkça taban kesme kuvvetinin eski yönetmelikle elde edilen taban kesme kuvvetinden daha düşük değerler aldığı ve bütün analizlerde yeni yönetmeliğin ZA-Z1 sınıfı zeminlerde 2007 yönetmeliğinden daha düşük değerler verdiği görülmüştür. Bu yeni yönetmeliğin sert zeminlerde daha düşük ivme değerleri tanımladığını göstermektedir.
3. TBDY-2018'e göre yapılan analizlerde, maksimum etkin görelî kat ötelemesi değerlerinin TDY-2007'ye göre çok daha yüksek olduğu ve farkın her yükseklikteki binada, her konumda, güçlü zeminden zayıf zemine doğru gittikçe arttığı görülmüştür. TBDY-2018'de dolgu duvarları ile bunların bağlandığı çerçeve elemanları arasında esnek derz yapılması koşuluyla izin verilen etkin görelî kat ötelemesi iki katına çıkarılmıştır. Bu çalışmada yapılan analizlerde de duvar ve çerçeve arasını esnek derz kabul edildiğinden maksimum etkin görelî kat ötelemesi sınır şartı daha rahat sağlanmıştır. Ayrıca kat içindeki maksimum etkin görelî kat ötelemeleri, her iki yönetmelik sonucuna göre 4 ve 7 katlı binalarda 2. katta, 10 katlı binalarda 3. katta oluşmuştur.


4. Bu çalışmada, 3 farklı bina yüksekliğinde, simetrik, süneklik düzeyi yüksek perdeli çerçeve taşıyıcı sisteme sahip konut türünde binalar tercih edilmiştir. Perdeli sistem yerine çerçeve sistemli, düzensizlikler içeren, konut türü dışındaki binalar ya da yüksek binalar sınıfına giren binalar tercih edilerek karşılaştırma konularına yeni kazanımlar eklenebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Türkiye Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, (2018), Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Ankara.
- [2] Öztürk, M., "2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve Türkiye Deprem Tehlike Haritası ile İlgili İç Anadolu Bölgesi Bazında Bir Değerlendirme", Selçuk-Teknik Dergisi, 17(2),32-33. (2018).
- [3] Tunç, G., ve Tanfener, T., "2007 ve 2016 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliklerinin Örneklerle Mukayesesi", 3.Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi Teknik Tasarım, Güvenlik ve Erişebilirlik, TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi, (2016).
- [4] Erdem, M. M., Bikçe, M., "Maksimum Azaltılmış Görelî Kat Ötelemelerinin Güncel (TDY-2007) ve Yeni Yönetmelik Taslağına (TBDY-2018) Göre Mukayesesi", Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32 (2), 253-262, (2017).
- [5] Elçi, H. ve Göker, K.A., "Deprem Yönetmeliklerinin (TDY 2007 ve TBDY 2018) Betonarme Kolonların Deprem Performansı Açısından Karşılaştırılması", International Journal of Scientific and Technological Research ISSN 2422-8702 (Online), 4(6), 9-21, (2018).
- [6] Koçer, M., Nakipoğlu, A., Öztürk, B., Al-Hagri, G. M., Arslan, H. M., "Deprem Kuvvetine Esas Spektral İvme Değerlerinin TBDY-2018 ve TDY-2007'ye göre Karşılaştırılması", Selçuk-Teknik Dergisi, 17(2),43-58, (2018).
- [7] Keskin, E , Bozdoğan, K . "2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Kırklareli İli Özelinde Değerlendirilmesi". Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 4: 74-90, (2018).
- [8] Dalyan, İ , Şahin, B . "Mevcut Betonarme Bir Binanın 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerine Göre Deprem Yükleri Altındaki Taşıyıcı Sistem Performansının Değerlendirilmesi". Türk Deprem Araştırma Dergisi, 1: 134-147, (2019).
- [9] Ulutaş, H . "DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) Deprem Yönetmeliklerinin Kesit Hasar Sınırları Açısından Kıyaslanması". Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, DOI: 10.31590/ejosat.620827, 17: 351-359, (2019).
- [10] Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, (1996).
- [11] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, (2007), Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- [12] İdecad Statik, (2019), Yapısal Analiz Programı, Versiyon 10-0196 Statik.
- [13] Türkiye Deprem Tehlike Haritası, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, (AFAD, 2018).

0-1 Çok Boyutlu Sırt Çantası Probleminin Feromonal Yapay Arı Koloni (fYAK) Algoritması ile Çözümü

*Dursun Ekmekci

Karabük Üniversitesi TOBB MYO Bilgisayar Programcılığı Bölümü, dekmekci@karabuk.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 30.10.2019

Kabul Tarihi: 09.04.2020

Öz

Optimizasyon algoritmaları, geliştirilme tarzları itibariyle bazı problemlere daha çok odaklanarak, daha başarılı çözümler üretebilmektedirler. Örneğin sayısal çözüm yaklaşımıyla üretilen yapay arı koloni (YAK) algoritması, nümerik optimizasyon problemlerinde daha başarılı sonuçlara ulaşabilirken, karınca koloni optimizasyonu (KKO), gezgin satıcı problemi (GSP) benzeri ayrık yapıli optimizasyon problemlerinde daha başarılı çözümler üretebilir. 0-1 optimizasyon problemleri, ayrık yapıli problemlerdir. Ancak çözüm elemanları itibariyle optimizasyon problemlerinin üçüncü grubu olarak değerlendirilebilir. Bu çalışmada 0-1 çok boyutlu sırt çantası problemleri için YAK ve KKO algoritmalarının melez versiyonu olarak geliştirilen fYAK algoritması önerilmiştir. Algoritma performansı, popüler test problemleri üzerinde denenmiş ve elde edilen sonuçlar YAK ve KKO sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapay arı koloni algoritması, Karınca Koloni Optimizasyonu, Feromonal Yapay arı koloni algoritması

The Solution of 0-1 Multidimensional Knapsack Problem with Pheromonal Artificial Bee Colony (pABC) Algorithm

*¹Dursun Ekmekci

¹Karabuk University, dekmekci@karabuk.edu.tr

Abstract

Optimization algorithms can produce more successful solutions by focusing more on some problems in terms of their development style. For example, the artificial bee colony (ABC) algorithm produced by the numerical solution approach can achieve more successful results in numerical optimization problems, whereas ant colony optimization (ACO) can produce more successful solutions in discrete structure problems such as traveling salesman problem (TSP). 0-1 optimization problems are discrete structured problems. However, it can be considered as the third group of optimization problems in terms of solution items. In this study, the pABC algorithm developed as a hybrid version of ABC and ACO algorithms for 0-1 multidimensional knapsack problems was proposed. The performance of pABC was tested on popular benchmark problems, and the results obtained by the algorithm were compared with the results of ABC and ACO.

Keywords: Artificial Bee Colony Algorithm, Ant Colony Optimization, Pheromonal Artificial Bee Colony Algorithm

1. GİRİŞ

Günlük yaşamda farklı birçok alanda kullanılan optimizasyon kavramı, matematik alanında, bir fonksiyonun minimum ya da maksimum noktalarını bulma işlemi olarak tanımlanabilir. Literatür kaynakları, matematikteki ilk optimizasyon kullanımını, Newton'un çalışmalarına dayandırmaktadır [1]. Newton, bir fonksiyonu 0 (sıfır) yapan

kök değerlerini araştırırken ayrıca fonksiyonu minimum ve maksimum yapan sonuçları da aramıştır. Yapay zekâ açısından bakıldığında ise optimizasyon, bir problemin istenen kısıtları sağlayan optimal değerini (minimum ya da maksimum) arama işlemi olarak yorumlanır. Optimizasyon probleminde, değişkenler gerçek sayılardan oluşuyorsa, bu tür problemler sürekli optimizasyon problemleri olarak adlandırılır. Problem değişkenleri, sonlu bir kümedeki

*¹Sorumlu Yazar: Karabük Üniversitesi Demir Çelik Kampüsü TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu M127 78050 / KARABÜK, dekmekci@karabuk.edu.tr 0-370 418 9417

nesnelere oluşuyorsa bu problemlere, ayrık yapı (kombinatorial) optimizasyon problemleri denir. İkinci kategorideki problemlerde, problemin çözüm uzayı, değişken sayısı ile bağlantılı olarak, üstel biçimde genişlediğinden, bu tür problem çözümlerinde klasik yöntemler tercih edilmez. Dolayısıyla kombinatorial optimizasyon problemlerini çözmek için, problemin arama uzayının tamamını taramak yerine, geçerli çözüm bölgelerine yönelmeyi hedefleyen zeki sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Sezgisel yöntemler, optimum çözümü bulmayı garanti etmeseler de düşük hesaplama maliyetiyle, geçerli çözümler üretebilen yöntemlerdir. Bu yöntemler en genel anlamda iki grupta toplanabilir: evrimsel algoritmalar, sürü zekâsı tabanlı algoritmalar. Sürü zekâsı tabanlı algoritmalar, kuş sürüleri, göçmen kuşlar, ateş böcekleri, balık sürüleri gibi genellikle sürü halinde yaşayan canlılar ile, arı, karınca, bakteri gibi koloni halinde yaşayan mikroorganizmaların, aralarında herhangi bir hiyerarşi olmadan oluşturdukları iş bölümünü taklit eder. Bu yöntemler farklı türlerdeki optimizasyon problemleri için, standart biçimleriyle kullanılabildikleri gibi, bir algoritmanın vurgulayıcı bileşeni farklı bir algoritmaya entegre edilerek geliştirilen karma biçimlerde de kullanılabilmektedirler. Gezgin satıcı problemi (GSP) gibi tek kısıtlı, tek boyutlu ve tek amaç fonksiyonuna sahip optimizasyon probleminde başarılı çözümler üretebilen bu yöntemler, çok kısıtlı, çok boyutlu ya da çok amaçlı optimizasyon problemlerinde de başarılı çözümler üretebilmektedirler.

Bu çalışmada, 0-1 çok boyutlu sırt çantası problemi ele alınmış, çözüm yöntemi olarak feromonal yapay arı koloni (fYAK) algoritması tercih edilmiştir. Yapay arı koloni (YAK) algoritması, kâşif arıların rassal besin arayışıyla arama bölgesinin farklı alanlarına yayılabilir. Ancak sömürü faaliyetine hem işçi ve hem de gözcü arılar katılsa da algoritma, bu alanda yetersiz kalmaktadır. Karınca koloni optimizasyonu (KKO), tüm farklı algoritmik modellerinde vurgulayıcı bileşeni olarak “feromon” yaklaşımıyla güçlü bir sömürü yeteneğine sahiptir. Özellikle kombinatorial optimizasyon problemlerindeki başarılarıyla öne çıkan bu algoritmalar, uygulandıkları optimizasyon problemi için birkaç çevrimde bile başarılı çözümlere ulaşabilir. Ancak araştırmacıların birleştikleri eleştiri, KKO algoritmalarının keşif yeteneğinin yetersizliği yönündedir [2] [3]. fYAK, KKO'nun öne çıkan “feromon” bileşenini YAK algoritmasına entegre ederek standart YAK'ın sömürü yeteneğini güçlendiren ve diğer taraftan, kâşif arıların bağımsız besin arayışını değiştirmeden, algoritmanın keşif yeteneğini koruyan bir melez yöntemdir.

1.1. 0-1 Çok Boyutlu Sırt Çantası Problemi

Sırt çantası problemi, kombinatorial optimizasyon problem türlerinden biri olarak, yönelem araştırması literatüründe yaygın bir inceleme alanına sahiptir. Farklı mühendislik disiplinlerinde, karar verme konusunda karşılaşılan birçok problem, sırt çantası problemi yaklaşımıyla yorumlanarak çözümler geliştirilebilir. Klasik sırt çantası probleminde

amaç, sınırlı boyuttaki sırt çantasını, değerleri (p) ve hacimleri verilmiş n adet nesneden seçimler yaparak doldurmak ve yüklenen nesnelerin toplam değerini en çok seviyeye (p_{max}) getirmektir. Bu bağlamda 0-1 sırt çantası problemi NP-tam (Non-deterministic Polynomial - Complete) karakterli bir problemdir [4]. Yüklenecek nesnelerin hacimlerinin yanı sıra ağırlıkları da hesaba katılırsa, sırt çantasının taşıma kapasitesi de düşünülerek problem iki boyutlu hale gelecektir. Probleme benzer kısıtlar eklenerek boyutu geliştirilebilmektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak, problemin matematiksel modeli (1), (2) ve (3) ile özetlenebilir.

$$p_{max} \sum_{j=1}^n p_j x_j \quad (1)$$

$$Kısıtlar \sum_{j=1}^n w_{ij} x_j < B_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2)$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad (3)$$

İfadelerde m , problemdeki kısıt sayısını, diğer bir ifadeyle problemin boyutunu, p_j , j . nesnenin değerini, w_{ij} ise j . nesnenin i . boyuttaki maliyetini temsil eder. x_j değişkeni j . nesnesi sırt çantasına yüklendiğinde 1, yüklenmediğinde 0 değerini alır.

1.2. Literatür Taraması

Literatürde, 0-1 çok boyutlu sırt çantası problemi için, farklı teknikler içeren çok sayıda çözüm önerisi sunulmuştur. Bu çalışmaların birinde problem çözümü için genetik algoritma önerilmektedir [5]. Problemin “çok seçimli” modelini ele aldıkları çalışmalarında Rafael Parra-Hernandez ve Nikitas J. Dimopoulos, yeni bir sezgisel metod geliştirmişlerdir [6]. Aynı problem daha sonra dal-sınır tekniğiyle de çözülmüştür [7]. Çok boyutlu sırt çantası problemi çözümünde, dal-sınır yönteminden başka etiketleme algoritması [8] ve epsilon-kısıt yöntemi [9] gibi kesin metodlar da kullanılmıştır. Karınca kolonisinin tercih edildiği bir yöntemde, yerel optimal çözüme takılmayı önlemek için farklı teknikler geliştirilirken [10], diğer yöntemde yeni bir feromon güncelleme yaklaşımı denenmiştir [11]. Hanafi ve Wilbaut problem çözümünde dağıtık arama algoritmasını tercih etmişlerdir [12]. Sürü zekâsı tabanlı sezgisel yöntemlerin kullanıldığı çalışmaların birinde ikili meyve sineği [13], diğerinde ise göçmen kuşlar optimizasyon algoritmaları ile çözümler aranmıştır [14]. Klamroth ve Wiecek uygulanabilecek dinamik programlama yöntemlerini, teorik açıdan detaylı olarak incelemişlerdir [15]. Diğer bir çalışmada, problem farklı bir türeviyle incelenmiştir [16].

2. ÖNERİLEN METOT

YAK algoritması, nümerik optimizasyon problemleri için geliştirilmiş, az sayıda kontrol parametresi ve kolay uygulanabilirlik avantajıyla geniş kullanım alanına erişmiş bir metasezgisel yöntemdir. Algoritma, ayrıca temel yaklaşımı değiştirilmeden, farklı yapılarıdaki optimizasyon problemlerine de başarıyla uygulanabilmektedir. YAK algoritması, oluşturulduğu günden bugüne, değişik

uzantıları, modifikasyonları ve farklı tekniklerle melezleştirilerek geliştirilmiş modelleri olan bir metasezgiseldir. Bu bağlamda, algoritmanın varyantlarını ve uygulandığı çalışmaları inceleyen çok sayıda literatür incelemesi hazırlanmıştır [17] [18] [19].

Genel bir tanımlamayla, YAK, başlangıçta rassal çözümler oluşturur ve iteratif olarak her bir çevrimde daha başarılı çözümler türeterek optimal çözüme ulaşmayı hedefler. Algoritmanın yerel optimuma takılmaması için kâşif arılar devreye girer ve rastgele ürettikleri çözümlerle aramayı farklı alanlara kaydırır. Dolayısıyla YAK, arama alanının geniş bir alanını tarayabilmektedir. KKO algoritması ise, özellikle ayrık yapıli optimizasyon problemlerinde, birkaç çevrimde bile başarılı çözümlere ulaşabilen bir metasezgisel yöntemdir. KKO, iteratif adımlarla, çözüm bileşenleri arasındaki korelasyonu analiz eder ve bu parçaları en doğru sırada yerleştirilerek optimal çözümü oluşturmaya çalışır. Bu özelliğiyle KKO, güçlü bir sömürü yeteneğine sahiptir. Bu kapsamda, YAK ve KKO algoritmalarının bahsedilen avantajlarını birlikte kullanan ya da birleştiren farklı literatür çözümleri bulunmaktadır. Bu çalışmaların birinde, YAK ile sınıflandırma, KKO ile rotalama/yönlendirme yapılmıştır [20]. Diğer bir çalışmada optimizasyon problemi iki bölüme ayrılmış, optimal yönlendirme için KKO, boyutlandırma için YAK kullanılmıştır [21]. Farklı bir çalışmada, KKO ile ilk çözümler oluşturulur ve sonrasında işçi arılar, bu çözümlerden yeni çözümler üreterek birinci seviye aramayı tamamlar [22]. Her döngüde, genel feromon güncellemesi gözcü arıların en başarılı sonucuna göre yapılır ve kötü çözümler filtrelenir. Feromon bileşeninin YAK'a entegre edildiği bir yöntemde [23], bal arıları arasındaki iletişim için feromon salgısı kullanılmaktadır. Kâşif arılar çözüm üretirken, rassal çözümler oluşturmak yerine işçi ve gözcülerin yaydıkları feromon salgısını referans alırlar. Yazarlar, sonraki çalışmalarında, yaklaşımı, birkaç modifikasyonla geliştirmişlerdir [24].

YAK modelinde, her bir çevrimde işçi ve gözcü arı fazlarındaki aramalar, algoritmanın sömürü yeteneğini artırmaya yöneliktir. İşçi arı fazında mevcut çözümler sırasıyla değerlendirilirken, gözcü arı fazında rulet tekerleği kullanılarak başarılı çözümlerin değerlendirilme olasılığı artırılır. Kâşif arılar ise, bağımsız aramalarla, aramayı yerel en iyi çözüme takılmaktan kurtarır. [23] ve [24] deki çalışmalarda, feromon bileşeni işçi ve gözcülerle elde edilen çözümlerden sonra, uygulanmış, kâşif arıların daha başarılı çözümler üretmesi kolaylaştırılmıştır. fYAK algoritmasında ise, feromon, işçi ve gözcü arıların haberleşmesinde kullanılmakta, bu sayede gözcüler, işçilerin tecrübesinden daha fazla yararlandırılmaktadır. Kâşif arı fazında ise, YAK standardında olduğu gibi rassal çözümler üretilerek, algoritmanın keşif yeteneği korunmaktadır. fYAK algoritması, nümerik [25] ve ayrık yapıli [26] optimizasyon problemlerine uygulandığında başarılı çözümler üretebilmiştir. Bu çalışmada ise, fYAK, çözüm elemanları 0 ve 1'lerden oluşan optimizasyon problemine uygulanmış, performansı araştırılmıştır. Algoritmanın çözüm üretme ve feromonu uygulama biçimi Bölüm 3'te detaylı olarak

paylaşılmaktadır. Önerilen yöntemin daha iyi aktarılabilmesi için, öncelikle standart YAK analiz edilecek ve KKO'nun feromon bileşeni açıklanacaktır.

2.1. Yapay Arı Koloni (YAK) Algoritması

Bal arılarının gerçek yaşamdaki yiyecek arama davranışını taklit eden YAK algoritması, Karaboğa tarafından 2005 yılında geliştirilmiştir [27]. Algoritma, aralarında herhangi bir hiyerarşi olmadan, yiyecek arama faaliyetine katılan üç bal arısı türünün iş bölümünü modeller. Bu arılar: kovan çevresini bağımsız biçimde rastgele tarayan kâşif arılar, kâşif arılarca belirlenen kaynaklardan besin toplamakla görevli işçi arılar ve işçi arılardan edindikleri bilgiye göre yöneleceği besin kaynağını kendisi tercih eden gözcü arılardır. Algoritma yaklaşımında besin kaynağı, problemin her bir olası çözümünü temsil eder. Dolayısıyla bal arıları yiyecek arama sürecinde, en uygun besin kaynağına ulaşmayı hedefler. Besin kaynağı sayısı, işçi arı ve gözcü arı sayısına eşittir. Bu bağlamda kolonideki arı sayısı, besin kaynağı sayısının iki katı kadardır. İşçi arılar, görevli oldukları besin kaynağı komşuluğundaki diğer kaynakları da ziyaret ederek taramayı güçlendirir. Daha kaliteli kaynak bulduklarında, bir sonraki uçuşlarında aç gözlü yaklaşım gereği, bu yeni kaynağa yöneleceklerdir. Aksi takdirde yine mevcut kaynak komşuluğunda, yeni kaynaklar ararlar. İşçi arıların diğer bir görevi ise, görevli oldukları besin kaynağıyla ilgili bilgiyi gözcü arılarla paylaşmaktır. Gözcüler, işçilerden farklı olarak, yönelecekleri besin kaynağını kendileri tercih eder. Böylece yeni çözüm türetmede, başarılı çözümlerin seçilme olasılığı artırılmış olur. İşçi ve gözcü arılarca devam eden besin toplama sürecinde, kaynaklardaki besinler azalacak ve zamanla yetersiz hale gelecektir. Bu durumda ilgili arılar, kâşif arı yaklaşımıyla kovan çevresinde yeni besin kaynakları arayacaklardır. Kâşif arı rolünün algoritmadaki karşılığı, yerel optimum tuzağını aşabilmek için, arama alanının farklı bölgelerine sıçramak olarak yorumlanabilir. Anlatılanlar ışığında YAK algoritması şu şekilde özetlenebilir:

Algoritma 1- YAK Algoritması

Başlangıç besin kaynaklarının bulunması

Kaynak kalitelerinin belirlenmesi

Tekrarla

İşçi arı safhası

Gözcü arı safhası

Kâşif arı safhası

O ana kadar bulunan en iyi çözümün kaydedilmesi

Şartlar sağlanıncaya kadar

Kâşif arıların doğada rastgele yiyecek aramasıyla başlayan algoritmada, (4) denklemiyle ifade edildiği şekilde yiyecek kaynakları rastgele yerleştirilir.

$$s_{m,i} = l_i + rand(0,1) * (l_i - u_i) \quad (4)$$

(4) denklemde, S çözümler kümesi, $s_{m,i}$ m . çözümün, i . elemanının değeridir. l_i , çözümün alt sınırını, u_i ise üst sınırını temsil eder. Başlangıç çözümleri oluşturulduktan

sonra, her bir çözümün, problemin amaç fonksiyonuna göre, $f(s)$ değeri hesaplanır.

Belirlenen besin kaynakları komşuluğunda her bir işçi arı tarafından bulunan diğer besin kaynağı, (5) denklemiyle ifade edilmiştir.

$$t_{m,i} = s_{m,i} + \phi_{m,i}(s_{m,i} - s_{r,i}) \quad (5)$$

(5) denklemde s_r rastgele seçilen bir çözüm, i çözümdeki rastgele seçilen eleman ve $\phi_{m,i}$ [-1, 1] aralığında rastgele seçilen katsayıdır.

Türetilen yeni çözümün uygunluk değeri hesaplanır ve eski çözümün uygunluk değeriyle karşılaştırılarak daha başarılı çözüm tercih edilir. Mevcut çözüm seçilirse, çözümün başarısızlık sayacı 1 artırılırken, yeni çözüm seçildiğinde ilgili çözümün başarısızlık sayacı sıfırlanacaktır. s_m çözümünün uygunluk değeri $fit(s_m)$, problemin amaç fonksiyonuna göre hesaplanan $f(s_m)$ değeri kullanılarak, (6) denklemiyle hesaplanmaktadır.

$$fit(s_m) = \begin{cases} 1/(1 + f(s_m)) & \text{eğer } (f(s_m)) \geq 0 \\ 1 + abs(f(s_m)) & \text{eğer } (f(s_m)) < 0 \end{cases} \quad (6)$$

YAK algoritmasında her bir çözümün, gözcü arılarca seçilme olasılığı, çözümlerin uygunluk değerlerine bağlıdır. Buna göre s_m çözümünün seçilme olasılığı r_m , (7) denklemiyle hesaplanmaktadır.

$$r_m = \frac{fit(s_m)}{\sum_{i=1}^{SN} fit(s_i)} \quad (7)$$

Gözcü arı safhasında da mevcut çözüm kullanılarak yeni bir çözüm türetilirken (5) denklemi uygulanır. Türetilen yeni çözümün uygunluk değeri (6) denklemiyle hesaplanır ve işçi arılardaki aç gözlü yaklaşım uygulanır. Kâşif arı safhasında ise, “başarısızlık sayacı”, “limit” seviyesine kadar artan çözümler terk edilir. Bu çözümlerin yerine, (4) denklemiyle rastgele yeni çözümler oluşturulur.

2.2. Karınca Koloni Optimizasyonu (KKO)'nun Feromon Bileşeni

Sürü zekası temelli metasezgisel yöntemlerden biri olarak KKO, 1991 yılında Dorigo tarafından, gerçek karıncaların yiyecek arama davranışının modellenmesiyle geliştirilmiştir [28]. Karıncalar, yiyecek kaynağı bulduklarında, bu kaynaktan yuvalarına en kolay yoldan besin taşıyabilmek için en düşük maliyetli güzergahı belirlemeye çalışırlar. Seyahatleri süresince yaydıkları feromon salgısıyla, kendilerini takip eden karıncaların daha kısa yolu bulmalarına yardımcı olurlar. Kolonideki karıncaların yuva-kaynak arası birkaç dolaşımından sonra, en kısa yol belirlenmiş olur.

Karıncaların, en kısa yolu belirlemek için aralarındaki iletişimde kullandıkları feromon salgısı, KKO yaklaşımının temel bileşenidir. Yapay karıncalar, feromon salgısını,

çözüm uzayını örneklemek için kullanan, rassal arama elemanlarıdır [29]. Araştırmacılar, KKO'nun farklı birçok uzantısını ve türevini geliştirmişlerdir. Bunlardan en yaygın kullanım alanı olan, karınca sistemi (KS), karınca koloni sistemi (KKS) ve maksimum-minimum karınca sistemi (MMKS) algoritmaları, feromon izini farklı tekniklerle güncelleyen ve değerlendiren yöntemlerdir.

fYAK yönteminde düğüm seçiminde feromondan yararlanma ve her bir çevrimdeki feromon güncellemesi KKS'ye benzer. KKS algoritmasında i düğümündeki bir karınca için sonraki düğümün seçiminde iki alternatif vardır. Hangi alternatifin uygulanacağı rassal seçimle belirlenir. [0,1] aralığında rastgele seçilen q değeri için $q \leq q_0$ durumunda (8)'de gösterilen ilk alternatif uygulanır. q_0 parametresi için genellikle 1'e yakın bir değer belirlendiğinden, ilk alternatifin seçilme olasılığı yüksektir.

$$\max([\tau(i,u)]^\alpha \cdot [\eta(i,u)]^\beta) \quad (8)$$

(8) de u, i düğümünden sonra ziyaret edilebilecek alternatif düğümleri temsil eder. $\tau(i,u)$, $i-u$ düğümleri arasındaki feromon izidir. $\eta(i,u)$, $i-u$ düğümleri arası uzaklığın ($\delta(i,u)$) tersidir ($\eta(i,u)=1/\delta(i,u)$). α ve β parametreleri ise sırasıyla feromon izinin ve uzaklığın önem seviyesini belirleyen sezgisel parametrelerdir.

İkinci alternatifte ise ($q > q_0$) bir sonraki düğüm, hesaplanan seçilme olasılıklarına bağlı olarak, rastgele seçilir. Feromon izinin daha yoğun olduğu düğümlerin seçilme olasılıklarının da daha yüksek olduğu bu alternatifte, ziyaret edilebilecek düğümlerin seçilme olasılıkları (9) ile belirlenir.

$$p_{i,j} = \begin{cases} \frac{[\tau(i,u)]^\alpha \cdot [\eta(i,u)]^\beta}{\sum_{u \in V} [\tau(i,u)]^\alpha \cdot [\eta(i,u)]^\beta} & \text{eğer } (j \in F) \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (9)$$

Alternatif seçimlere dayalı olarak tüm düğümleri dolaşan karıncalar yuvaya döndüklerinde, her bir düğüm arasındaki feromon değeri güncellenir. KKS'de feromon değerleri iki yolla güncellenir: yerel feromon güncellemesi, genel feromon güncellemesi. Yerel feromon güncellemesi (10) eşitliğiyle yapılır.

$$\tau(i,j) = (1 - \rho) * \tau(i,j) + \sum_{k=1}^S \Delta\tau(i,j)^k \quad (10)$$

(10) eşitliğinde ρ , (0,1] aralığında belirlenen feromon buharlaşma katsayısı, $\Delta\tau(i,j)^k$ ise karınca k 'nın $i-j$ düğümleri arasına eklediği feromon değeridir. Bu değer (11) ile hesaplanır.

$$\Delta\tau(i,j)^k = \begin{cases} \frac{1}{L_k} & \text{karınca } k, i - j \text{ den geçmişse} \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (11)$$

L_k , karınca k 'nın toplam rota maliyetidir.

Genel feromon güncellemesinde ise (10) ve (11)'deki işlemler, her bir çevrimde yalnızca en başarılı karınca rotasına uygulanır.

2.3. Feromonal Yapay Arı Koloni (fYAK) Algoritması

fYAK algoritmasının standart YAK'tan ayrıldığı temel nokta, işçi ve gözcü arıların aralarındaki haberleşme tekniği ve buna bağlı olarak arama uzayındaki muhtemel çözümün temsilidir. Standart YAK algoritmasında her bir muhtemel çözüm besin kaynağı pozisyonuyla temsil edilirken, fYAK'ta toplanan polenlerden oluşan besin ile temsil edilir. Buna bağlı olarak, işçi ve gözcü arıların arasındaki haberleşmede kuyruk dansı yerine feromon salgısı kullanılır. İşçi arılar, besin elde etmek için çiçeklerden polen toplarken, çiçekler arasında feromon yayırlar ve gözcü arılar yönelecekleri çiçekleri seçerken, ortamdaki feromon yoğunluğunu da göz önünde bulundurlar. Gözcü arı safhasında aç gözlü seçim, yeni çözüm ile çözüm dizisi itibarıyla yeni çözüme en çok benzeyen mevcut çözüm arasında uygulanır. fYAK algoritmasının temel adımları şu şekildedir:

Algoritma 2- fYAK Algoritması

Algoritma parametreleri için değerler ata
Başlangıç besinlerini oluştur
Başlangıç besinlerinin kalitesini değerlendir
Döngü sayacını 1 olarak ayarla
Tekrarla

Tüm işçi arılar için {
 (4) ile yeni çözüm üret
 Çözüm maliyetini $fit(s_m)$ hesapla
 Açgözlü seçim uygula}
(10) ve (11) ile yerel feromon güncelle
Genel feromon güncelle
Tüm gözcü arılar için {
 Bir sonraki düğüm seçiminde {
 [0,1] arası rastgele q üret
 Eğer ($q <= q_0$) ise
 (8) ile sonraki düğümü seç
 Aksi takdirde
 (9) ile sonraki düğümü seç}
 (6) ile çözümün uygunluk değerini hesapla
 Yeni çözüme en çok benzeyen çözümü bul
 Açgözlü seçim uygula}
Terkedilmiş çözümler için (4)'le yeni çözüm üret
En iyi çözümü hafızaya al
Döngü sayacı += 1
Döngü sayacı = iterasyon sayısı olana kadar

3. 0-1 fYAK MODELİ VE SEÇİLEN PROBLEME UYGULANIŞI

Önceki bölümde detaylıca açıklanan fYAK algoritması, çalışma kapsamında dizi elemanları 0 ve 1'lerden oluşan ve problemin birden fazla kistasına cevap verebilen 0-1 çok boyutlu sırt çantası problemi için tasarlanmıştır.

Başlangıç çözümleri için, (4) denkleminde her bir çözüm elemanının alt ve üst sınırları 0 ve 1 olarak belirlenmiş ve

rastgele çözümler oluşturulmuştur. İşçi arı safhasında türetilen her bir çözüm elemanı (12) ile belirlenmiştir.

$$t_{m,i} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } (s_{m,i} = s_{r,i} = 1) \\ 0 & \text{eğer } (s_{m,i} = s_{r,i} = 0) \\ \text{rastgele } (0,1) & \text{eğer } (s_{m,i} \neq s_{r,i}) \end{cases} \quad (12)$$

İşçi arı safhasında oluşturulan her bir dizi, problemin her bir boyutundaki kapasite kısıtına göre kontrol edilmiş, herhangi bir boyuttaki kapasite aşıldığında çözüm geçersiz sayılmıştır. Türetilen geçersiz çözümlerin $f(s_m)$ değeri 0 olarak belirlenmiş, geçerli çözümlerin $f(s_m)$ değeri ise, (13) eşitliğinde gösterildiği gibi, çözümün elde ettiği toplam faydaya eşitlenmiştir.

$$f(s_m) = \sum_{j=1}^n p_j x_j \quad (13)$$

Türetilen her bir çözümün uygunluk değeri, ilgili çözümün $f(s_m)$ değerinin, tüm nesnelerin toplam faydasına (14) oranlanmasıyla (15) bulunmuştur.

$$\text{Toplam Fayda} = \sum_{j=1}^n p_j \quad (14)$$

$$fit(s_m) = \frac{f(s_m)}{\text{Toplam Fayda}} \quad (15)$$

Ardından türetilen çözüm ile mevcut çözüm arasında, uygunluk değerlerine göre aç gözlü seçim uygulanmıştır.

Yerel feromon güncellemesi yapılırken (10) denklemini uygulanmış, ancak denklemdaki $\Delta\tau(i,j)^k$ değeri (16) ile belirlenmiştir.

$$\Delta\tau(i,j)^k = \begin{cases} \frac{1}{L_k} & \text{eğer } (i = j = 1 \text{ ve } i, j \in s_k) \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (16)$$

Genel feromon güncellemesinde (10) ve (16)'teki işlemler, yalnızca çevrimdeki en başarılı işçi arı için uygulanmıştır.

Gözcü arı safhasındaki ilk alternatif ($q <= q_0$) seçimde (17), ikinci alternatifte ise (18) uygulanmıştır.

$$t_{m,j} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } (\Delta\tau(i,j) \geq 0.5) \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (17)$$

$$t_{m,j} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } (\Delta\tau(i,j) < 0.5) \\ 0 & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (18)$$

Gözcü arı safhasında oluşturulan her bir çözümün uygunluk değeri (6) ile belirlenmiştir. Yeni çözümdeki dizilim, mevcut çözüm dizileriyle karşılaştırılmış ve yeni çözüme en çok benzeyen mevcut çözümle uygunluk değerlerine göre aç gözlü tercih uygulanmıştır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

fYAK algoritmasının 0-1 çok boyutlu sırt çantası problemindeki çözüm yaklaşımını analiz edebilmek ve performansını değerlendirebilmek için algoritma, .NET platformunda C# programlama dilinde kodlanmıştır. Uygulama, i7-4710MQ 2.50 işlemcili, 8 GB RAM ve Windows 7 işletim sistemli makinede, 4.7 .NET framework kurulu ortamda çalıştırılmıştır. Çalışma kapsamında her bir test problemi için, standart YAK, standart KKO ve fYAK algoritmaları ile birbirinden bağımsız olarak 30'ar deneme yapılmıştır.

4.1. Test Problemleri

Geliştirilen uygulama, OR kütüphanesinden alınmış, literatürde yaygın olarak kullanılan test problemleri üzerinde denenmiştir. Problemlerdeki boyut sayıları (m), nesne sayıları (n) ve optimum çözüm değerleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Test problemleri

No	Problem Adı	Boyut Sayısı (m)	Nesne Sayısı (n)	Optimum Sonuç
1	mknapp1-1	10	6	3800
2	mknapp1-2	10	10	8706,1
3	mknapp1-3	10	15	4015
4	mknapp1-4	10	20	6120
5	mknapp1-5	10	28	12400
6	mknapp1-6	5	39	10618
7	mknapp1-7	5	50	16537
8	mknappcb1-5.100-00	5	100	24381
9	mknappcb1-5.100-01	5	100	24274
10	mknappcb1-5.100-02	5	100	23551
11	mknappcb1-5.100-03	5	100	23534
12	mknappcb1-5.100-04	5	100	23991
13	mknappcb4-10.100-00	10	100	23064
14	mknappcb4-10.100-01	10	100	22801
15	mknappcb4-10.100-02	10	100	22131
16	mknappcb4-10.100-03	10	100	22772
17	mknappcb4-10.100-04	10	100	22751

4.2. Parametre Seçimi

Denemelerde, algoritma parametreleri için değerler belirlenirken, literatür çalışmalarında YAK ve KKO algoritmalarının ayrık yapılı optimizasyon problemlerindeki

sonuçlarından yararlanılmıştır. Bu bağlamda algoritma parametreleri için seçilen değerler, Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Parametre seti

Algoritma	Koloni Boyutu	Limit	α	β	ρ	$q0$
YAK	100	250	-	-	-	-
KKO	100	-	1	5	0.1	0.8
fYAK	100	250	1	5	0.1	0.8

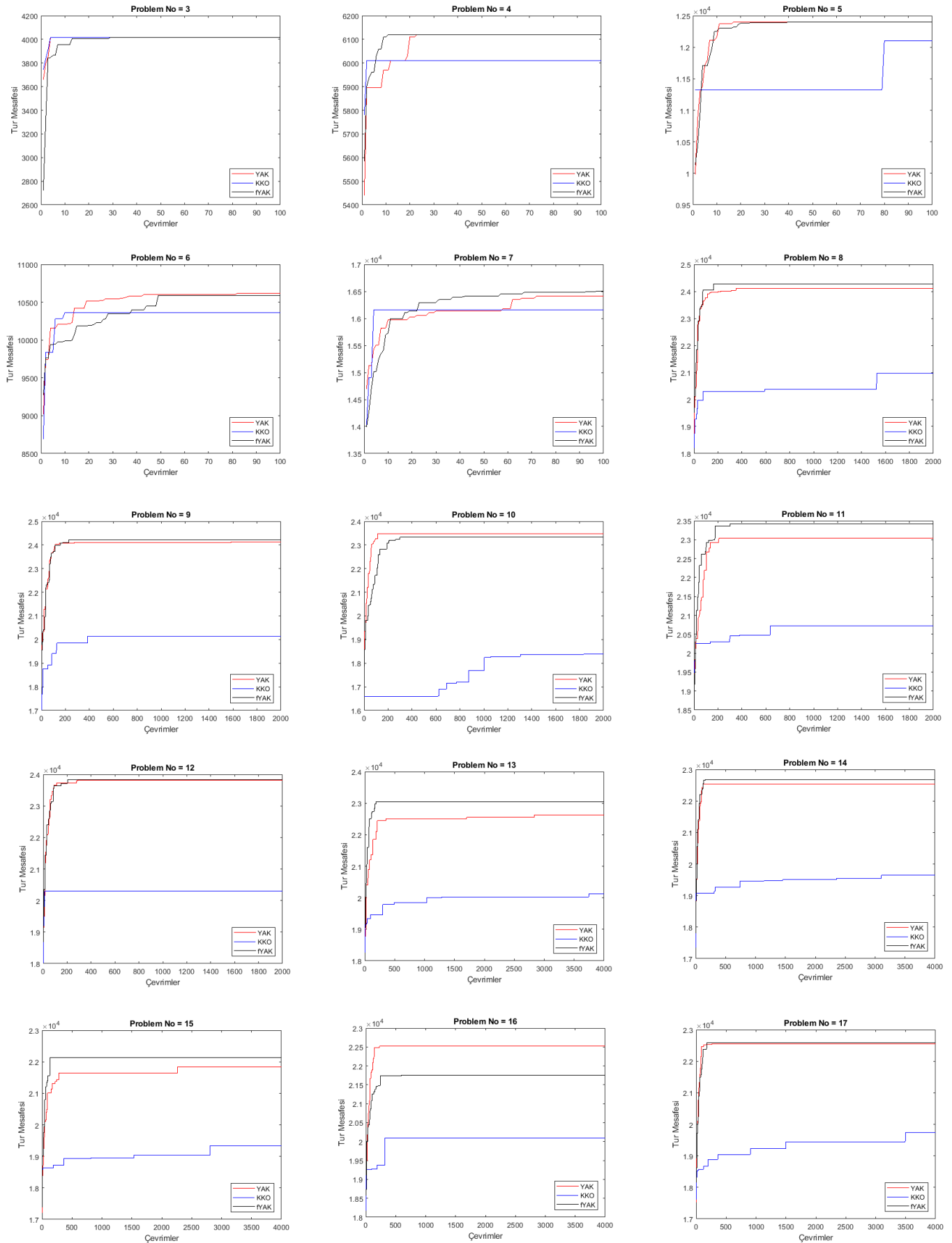
Algoritmaların her bir çevrimde, işlem sayılarındaki farklılık ve YAK ile fYAK algoritmalarında kâşif arı sayılarındaki belirsizlikten dolayı, adil bir karşılaştırma için algoritmalar eşit sürelerde çalıştırılmıştır. Bu kapsamda her bir denemede 1-7 numaralı problemler 3 saniye, 8-12 numaralı problemler 10 saniye ve 13-17 numaralı problemler 20 saniye sürelerde çalıştırılmıştır.

5. BULGULAR VE KARŞILAŞTIRMA

Bu bölümde; YAK, KKO ve fYAK algoritmalarının Tablo 1'de listelenen test problemlerindeki çözüm yaklaşımları incelenmiş ve elde ettikleri sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Her üç algoritma da 1 ve 2 numaralı problemler için ilk çevrimde optimum sonuca ulaşmışlardır. Algoritmaların, 3-7 problem çözümlerinde ilk 100 çevrimde, 8-12 numaralı problem çözümlerinde ilk 2000 çevrimde ve 13-17 numaralı problemler için ilk 4000 çevrimde elde ettikleri yakınsaklık performansları Şekil 1'deki grafiklerde sunulmaktadır.

Şekil 1'deki grafiklere bakarak, KKO algoritmasının grafiklerde gösterilen çevrim aralığında, problemlerin genelinde YAK ve fYAK algoritmalarının gerisinde kaldığı söylenebilir. Çözüm için önerilen fYAK algoritmasının, çözüm sürecinde yerel en iyi çözüme takılmadan, daha iyi çözümler üretebildiği görülebilmektedir.

Algoritmaların, çalışma süreleri sonunda her bir problem çözümünde elde ettikleri en iyi sonuçlar, sonuç ortalamaları ve sonuçların, hesaplanan standart sapma değerleri (SS), Tablo 3'te gösterilmektedir. Tabloda ayrıca, algoritmaların buldukları en iyi sonucun, optimal sonuca yakınlık seviyesi (Oran) de ilgili sütunlarda yüzdelik seviyelerde verilmektedir. En başarılı sonuçlar kalın puntolarla ifade edilmiştir.



Şekil 1. YAK, KKO ve fYAK algoritmalarının 0-1 çok boyutlu sırt çantası problem çözümündeki yakınsaklık performansları

Tablo 3. YAK, KKO ve fYAK ile elde edilen sonuçlar

No	Optimum Sonuç	YAK				KKO				fYAK			
		En İyi	Oran	Ortalama	SS	En İyi	Oran	Ortalama	SS	En İyi	Oran	Ortalama	SS
1	3800	3800	0,00	3800,00	0,00	3800	0,00	3800,00	0,00	3800	0,00	3800,00	0,00
2	8706,1	8706,1	0,00	8706,10	0,00	8706,1	0,00	8706,10	0,00	8706,1	0,00	8706,10	0,00
3	4015	4015	0,00	3981,66	11,36	4015	0,00	4001,17	5,16	4015	0,00	3996,47	5,41
4	6120	6120	0,00	6003,19	60,03	6005	0,02	5947,83	39,55	6120	0,00	6114,00	3,58
5	12400	12400	0,00	12258,90	71,89	11758	0,05	10947,00	93,27	12400	0,00	12390,00	25,67
6	10618	10618	0,00	10599,04	7,93	10295	0,03	9461,84	59,43	10618	0,00	10541,39	15,62
7	16537	16537	0,00	14950,29	51,83	15037	0,09	13503,67	65,47	16537	0,00	16389,87	37,55
8	24381	24279	0,00	23951,91	71,04	22157	0,09	21780,31	57,98	24381	0,00	24219,41	29,33
9	24274	24151	0,01	23168,00	35,52	22253	0,08	20225,00	62,53	24274	0,00	24094,72	22,76
10	23551	23551	0,00	23437,11	9,32	20957	0,11	18947,67	44,78	23534	0,00	23468,95	7,64
11	23534	23056	0,02	22703,41	18,94	21045	0,11	20118,00	32,94	23534	0,00	23474,49	8,11
12	23991	23991	0,00	23078,55	7,44	20783	0,13	18549,33	99,75	23991	0,00	23489,26	4,66
13	23064	22879	0,01	22659,47	8,32	21375	0,07	19545,63	16,81	23064	0,00	22601,13	11,47
14	22801	22750	0,00	22044,67	8,80	20005	0,12	19739,55	25,59	22801	0,00	21780,57	15,45
15	22131	22131	0,00	22016,00	7,06	19884	0,10	19544,00	10,95	22124	0,00	22063,88	8,02
16	22772	22582	0,01	21970,13	6,89	21119	0,07	20076,74	28,86	22772	0,00	22260,19	5,09
17	22751	22148	0,03	21916,59	8,91	20073	0,12	19257,41	40,56	22751	0,00	22018,30	6,13

Tablo 3'teki sonuçlar incelendiğinde, 17 test problemi için KKO algoritmasıyla toplamda 3 problemde, YAK algoritmasıyla 10 problemde ve fYAK algoritmasıyla 15 problemde optimal sonuçlara ulaşabildiği görülmektedir. Tablo, sonuç ortalamaları açısından değerlendirildiğinde ise, KKO 3, YAK 6 ve fYAK 12 problemde en başarılı ortalama sonuca ulaşmıştır. fYAK algoritmasıyla elde edilen sonuçların standart sapma değerlerinin düşük seviyelerde kalması, algoritmanın kararlı yapıda başarılı çözüm üretme davranışında olduğu gözlemlenebilmektedir.

Tablo 4'te ise fYAK algoritmasıyla 8-17 numaralı test problemlerinden elde edilen en iyi sonuçlar, [30] ve [31]'deki çalışmalarda paylaşılan, bu örnekler için elde

edilmiş en iyi sonuçlarla karşılaştırılmaktadır. Çalışmalarda, en iyi sonucu paylaşılan algoritmalar şunlardır: Genetik algoritma (GA), filtre ve fan sezgiseli (F & F), iki kendinden uyarlamalı kontrol ve onarım operatörü tabanlı parçacık sürü optimizasyonu (SACRO-BPSO), melez kuantum parçacık sürü optimizasyonu (QPPO), iki aşamalı tabu-evrimsel algoritma (TPTEA), modifiyeli çok katlı optimizasyon (MMVO), yerel topolojik hızlandırılmış ikili parçacık sürü algoritması (BAPSAL), kuantum tabanlı guguk kuşu algoritması (QICSA), ceza kullanan parçacık sürü optimizasyonu (PSO-P), yeni melez ikili parçacık sürü optimizasyonu (NHBPSO), hızlandırılmış ikili parçacık sürü algoritması (BAPSA).

Tablo 4. En iyi fYAK sonuçlarının literatürdeki en iyi sonuçlarla karşılaştırılması

No	MMVO	BAPSAL	QICSA	PSO-P	NHBPSO	BAPSA	GA	F & F	SACRO-BPSO(1)	SACRO-BPSO(2)	QPPO	TPTEA	fYAK
8	24192	24253	23416	22525	23936	23987	24381	24381	24343	24343	24381	24381	24381
9	24274	24106	22880	22244	23827	23752	24274	24274	24274	24274	24274	24274	24274
10	23538	23468	22525	21822	23234	2342	23551	23551	23538	23538	23551	23551	23534
11	23288	23153	22727	22057	23032	23189	23534	23534	23527	23527	23534	23534	23534
12	23947	23855	22854	22167	23652	23504	23991	23991	23991	23966	23991	23991	23991
13	22805	22816	21796	20895	22687	22712	23064	23064	23064	23064	23064	23064	23064
14	22630	22309	21348	20663	22256	22305	22801	22801	22739	22750	22801	22801	22801
15	22131	21785	20961	20058	21744	21725	22131	22131	22131	22131	22131	22131	22124
16	22347	22419	21377	20908	22341	22191	22772	22772	22772	22717	22772	22772	22772
17	22417	2242	21251	20488	22204	22292	22751	22751	22751	22751	22751	22751	22751

Tablo 4'teki sonuçlar incelendiğinde, GA, F & F, QPPO ve TPTEA algoritmalarının karşılaştırılan 10 test probleminin tamamında en iyi sonuca ulaştığı gözlemlenmektedir. fYAK algoritması ise, 8 problemde en iyi sonuca ulaşarak, diğer 8 algoritmadan daha başarılı sonuçlar üretmiştir. fYAK, 10 numaralı problemde optimum sonucun yaklaşık % 0.0007, 15 numaralı problemde ise optimum sonucun yaklaşık % 0.0003 gerisinde kalmıştır.

6. SONUÇ

Sezgisel algoritmalar, nümerik optimizasyon problemleri için, belirlenen sınır aralıklarında rassal sayılar üretmek için çözüm ararken, ayrık yapı problemlerde rastgele nesnelere seçerek çözüm oluştururlar. 0-1 yapı problemler ise sezgisel algoritmalara farklı yöntemler eklenerek çözülebilen problemlerdir. Ayrıca bu problemlere eklenen her bir kısıt, probleme yeni bir boyut kazandırmakta ve çözümü güçleştirmektedir. Çalışma kapsamında, nümerik problemler için geliştirilmiş ve arama uzayının farklı

alanlarına dağılabilen YAK algoritması ile ayrık problemlerde başarılı bir sömürü yeteneğine sahip KKO yöntemi birleştirilerek geliştirilen fYAK yöntemi ile 0-1 çok boyutlu optimizasyon problemleri için çözümler aranmıştır. Farklı hacimlerdeki benchmarking problemleri üzerinde test edilen algoritmanın, karşılaştırma sonuçları itibarıyla, bu tür problemlere uygulanabildiği gözlemlenmiş ve YAK algoritmasının sömürü yeteneğini güçlendirdiği kanıtlanmıştır.


KAYNAKÇA

- [1] S. I. Gass and A. A. Assad, *An Annotated Timeline of Operations Research*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [2] J.-W. Lee, D.-H. Lee, and J.-J. Lee, "Global path planning using improved ant colony optimization algorithm through bilateral cooperative exploration," in *5th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (IEEE DEST 2011)*, 2011, vol. 5, no. June, pp. 109–113.
- [3] A. Aljanaby, K. R. Ku Mahamud, and N. Norwawi, "Interacted Multiple Ant Colonies Optimization Framework: an Experimental Study of the Evaluation and the Exploration Techniques to Control the Search Stagnation," *Int. J. Adv. Comput. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 78–85, Mar. 2010.
- [4] M. Ehrgott and X. Gandibleux, "A survey and annotated bibliography of multiobjective combinatorial optimization," *OR-Spektrum*, vol. 22, no. 4, pp. 425–460, 2000.
- [5] P. C. Chu and J. E. Beasley, "A Genetic Algorithm for the Multidimensional Knapsack Problem," *J. Heuristics*, vol. 4, pp. 63–86, 1998.
- [6] R. Parra-Hernandez and N. J. Dimopoulos, "A New Heuristic for Solving the Multichoice Multidimensional Knapsack Problem," *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. - Part A Syst. Humans*, vol. 35, no. 5, pp. 708–717, Sep. 2005.
- [7] A. Sbihi, "A best first search exact algorithm for the Multiple-choice Multidimensional Knapsack Problem," *J. Comb. Optim.*, vol. 13, no. 4, pp. 337–351, Apr. 2007.
- [8] M. E. Captivo, J. Climaco, J. Figueira, E. Martins, and J. L. Santos, "Solving bicriteria 0 – 1 knapsack problems using a labeling algorithm," *Comput. Oper. Res.*, vol. 30, pp. 1865–1886, 2003.
- [9] M. Laumanns, L. Thiele, and E. Zitzler, "An efficient , adaptive parameter variation scheme for metaheuristics based on the epsilon-constraint method," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 169, pp. 932–942, 2006.
- [10] L. Ke, Z. Feng, Z. Ren, and X. Wei, "An ant colony optimization approach for the multidimensional knapsack problem," *J. Heuristics*, vol. 16, no. 1, pp. 65–83, Feb. 2010.
- [11] M. Kong, P. Tian, and Y. Kao, "A new ant colony optimization algorithm for the multidimensional Knapsack problem," *Comput. Oper. Res.*, vol. 35, no. 8, pp. 2672–2683, Aug. 2008.
- [12] S. Hanafi and C. Wilbaut, "Scatter Search for the 0–1 Multidimensional Knapsack Problem," *J. Math. Model. Algorithms*, vol. 7, no. 2, pp. 143–159, Jun. 2008.
- [13] L. Wang, X. Zheng, and S. Wang, "Knowledge-Based Systems A novel binary fruit fly optimization algorithm for solving the multidimensional knapsack problem," *Knowledge-Based Syst.*, vol. 48, pp. 17–23, 2013.
- [14] V. Tongur and E. Ülker, "Migrating Birds Optimization (MBO) algorithm to solve 0-1 multidimensional knapsack problem," in *2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, 2017, pp. 786–789.
- [15] K. Klamroth and M. M. Wiecek, "Dynamic Programming Approaches to the Multiple Criteria Knapsack Problem," *Nav. Res. Logist.*, vol. 47, pp. 57–76, 2000.
- [16] Ö. Karsu, "Eşitlikçi Çok Amaçlı Sırt Çantası Problemi," *Gazi Üniversitesi Fen Bilim. Derg.*, vol. 6, no. 2, pp. 358–373, 2018.
- [17] D. Karaboga, B. Gorkemli, and C. Ozturk, "A comprehensive survey: artificial bee colony (ABC) algorithm and applications," *Artif. Intell. Rev.*, vol. 42, no. 1, pp. 21–57, 2014.
- [18] S. Neelima, N. Satyanarayana, and P. K. Murthy, "A Comprehensive Survey on Variants in Artificial Bee Colony (ABC)," *Int. J. Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 7, no. 4, pp. 1684–1689, 2016.
- [19] B. Akay and D. Karaboga, "A survey on the applications of artificial bee colony in signal, image, and video processing," *Signal, Image Video Process.*, vol. 9, no. 4, pp. 967–990, 2015.
- [20] W. Gong, "ABC-ACO for Perishable Food Vehicle Routing Problem with Time Windows," *2010 Int. Conf. Comput. Inf. Sci.*, pp. 1261–1264, 2010.
- [21] M. Kefayat, A. Lashkar Ara, and S. A. Nabavi Niaki, "A hybrid of ant colony optimization and artificial bee colony algorithm for probabilistic optimal placement and sizing of distributed energy resources," *Energy Convers. Manag.*, vol. 92, pp. 149–161, Mar. 2015.
- [22] P. Shunmugapriya and S. Kanmani, "A hybrid algorithm using ant and bee colony optimization for feature selection and classification (AC-ABC Hybrid)," *Swarm Evol. Comput.*, vol. 36, pp. 27–36, Oct. 2017.
- [23] H. Wei, J. Ji, Y. Qin, Y. Wang, and C. Liu, "A Novel Artificial Bee Colony Algorithm Based on Attraction Pheromone for the Multidimensional Knapsack Problems," in *Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, no. 1, H. Deng, D. Miao, J. Lei, and F. L. Wang, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 1–10.
- [24] J. Ji, H. Wei, C. Liu, and B. Yin, "Artificial Bee Colony Algorithm Merged with Pheromone Communication Mechanism for the 0-1 Multidimensional Knapsack Problem," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2013, pp. 1–13, 2013.
- [25] D. Ekmekci, "A Pheromonal Artificial Bee Colony -pABC-Algorithm for Optimization Problems," in *2019 16th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*, 2019, no. M, pp. 452–456.

- [26] D. Ekmekci, "A Pheromonal Artificial Bee Colony (pABC) Algorithm for Discrete Optimization Problems," *Appl. Artif. Intell.*, vol. 33, no. 11, pp. 935–950, Sep. 2019.
- [27] D. Karaboga, "An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization," Kayseri, Turkey, 2005.
- [28] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Coloni, "Positive feedback as a search strategy," Milano, Italy, 1991.
- [29] M. Dorigo and C. Blum, "Ant colony optimization theory: A survey," *Theor. Comput. Sci.*, vol. 344, no. 2–3, pp. 243–278, Nov. 2005.
- [30] M. Abdel-Basset, D. El-Shahat, H. Faris, and S. Mirjalili, "A binary multi-verse optimizer for 0-1 multidimensional knapsack problems with application in interactive multimedia systems," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 132, no. September 2018, pp. 187–206, Jun. 2019.
- [31] X. Lai, J.-K. Hao, F. Glover, and Z. Lü, "A two-phase tabu-evolutionary algorithm for the 0–1 multidimensional knapsack problem," *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 436–437, pp. 282–301, Apr. 2018.

Yüzevi ZnO Nanopartikülleri ile Kaplanmış Demir Matrisli Malzemelerin Karakterizasyonu ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

*¹Hamza Şimşir

¹Karabük Üniversitesi, TOBB Meslek Yüksek Okulu Karabük/Türkiye hamzasimsir@karabuk.edu.tr 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 12.12.2019

Kabul Tarihi: 24.04.2020

Öz

Bu çalışmanın amacı toz metalürjisi ile demir ve demir-karbon alaşım malzemelerinin üretilmesi ve bu malzemelerin çinko oksit (ZnO) ile kaplanmasıyla mekanik özelliklerdeki artışı ortaya çıkarmaktır. Bu amaçla, demir ve demir-karbon alaşımı malzemeler toz metalürjisi ile üretilmiştir. Karbon malzeme olarak, aktif karbon, grafit, grafen, karbon nanotüp, vb. gibi yaygın kullanılan karbon malzemelere alternatif olabilecek, glukozdan sentezlenen hidrotermal karbonlar kullanılmıştır. Karbonlu ve karbonsuz demir malzemelerin yüzeyi SILAR metoduyla yaklaşık 200±17 nm uzunluğundaki çinko oksit partikülleri tarafından kaplanmıştır. Bu kompozitlerin yapısı SEM, SEM-EDX ve XRD analizleri ile karakterize edilmiştir. Malzemelerin mekanik özelliklerine ZnO kaplamanın etkisi ise sertlik ve korozyon testleri ile incelenmiştir. Bu sonuçlara göre, ZnO kaplanmış kompozitlerin hem sertlik değerlerinde (%44 ve %73) hem de korozyon dayanımlarında (%118 ve %60) kaplanmasız malzemelere kıyasla önemli derece artış meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toz metalürjisi, demir, SILAR metodu, çinko oksit.

Characterization and Mechanical Properties of Iron Matrix Materials Coated with ZnO Nanoparticles

*¹Hamza Şimşir

hamzasimsir@karabuk.edu.tr

Abstract

The aim of this study to produce iron and iron-carbon alloys materials by powder metallurgy, and to find out increment of mechanical properties of these materials via zinc oxide (ZnO) coating. For this purpose, iron and iron-carbon alloy materials were produced by powder metallurgy. As the carbon material, hydrothermal carbons derived from glucose were used as an alternative to commonly used carbon materials such as activated carbon, graphite, graphene, carbon nanotube etc. The surface of carbonaceous and carbonless iron materials was coated by ZnO particles around 200±17 nm length by SILAR method. The structure of these composites was characterized by SEM, SEM-EDX and XRD analyzes. The effect of ZnO coating on the mechanical properties of the materials was examined by hardness and corrosion tests. According to these results, both hardness values (44% and 73%) and corrosion resistance (118% and 60%) of ZnO coated composites increased significantly compared to uncoated materials.

Keywords: Powder metallurgy, iron, SILAR method, zinc oxide.

1. GİRİŞ

Metal kompozitlerin üretiminde döküm metalürjisinin yanı sıra toz metalürjisi (TM) de yaygın olarak kullanılmaktadır. TM ile üretim; farklı metal tozlarının karıştırılması, preslenmesi ve sinterlenmesi aşamalarında meydana gelmektedir [1]–[3]. Bu yöntem ile metallerin ergitilmesine gerek duyulmadığından döküm metalürjisine kıyasla, özellikle demir gibi ergime noktası yüksek olan metallerden

kompozit malzemelerin üretiminde, maliyet açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Literatürde, TM ile demir matrisli kompozitler hakkında farklı çalışmalar bulunmaktadır [1]–[4]. Bu çalışmalarda demir matrisine grafit [2], TiC [1], SiC [5], Al₂O₃ [6], vb. gibi farklı tozlar ilave edilmektedir. Bu sayede demir matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri ve korozyon dayanımlarında artış meydana gelmektedir. Mekanik

*¹Sorumlu yazar ¹Karabük Üniversitesi, TOBB Meslek Yüksek Okulu Karabük/Türkiye hamzasimsir@karabuk.edu.tr

özelliklerdeki bu artış sadece farklı katkı maddelerinin matris malzemeye ilavesi ile değil, aynı zamanda farklı metal/metal oksit bileşiklerinin malzeme yüzeyine kaplanmasıyla da sağlanabilmektedir. Xie vd. yaptıkları çalışmada sprey piroliz metodu ile paslanmaz çelik yüzeyini demir bazlı amorf toz ile kaplamıştır [7]. Bu malzemelerin sertlik, aşınma özellikleri ve aşınma mekanizması incelendiğinde elde edilen sonuçlara göre; demir bazlı amorf kaplama yüzeyinin artırılması ile malzemenin sertliğinin arttığı ve düşük aşınma miktarına sahip olduğu belirtilmiştir. Shi vd. yaptıkları çalışmada ise, polianilin-silika nano partikülleri ile kaplanmış Q235 çeliğinin 0,1 M sülfürik asit solüsyonundaki korozyon dayanımını incelemiştir [8]. Buna göre kaplama malzemesinin korozyon dayanımını önemli derecede artırdığı ve bu çalışmadaki en yüksek korozyon dayanımının 180 gün sonunda $2,24 \times 10^2 \Omega \text{cm}^2$ olduğu yayınlanmıştır. Kallappa vd. yaptıkları çalışmada ise çinko oksit (ZnO) nano partikülleri üzerine farklı konsantrasyonlarda seryum(IV) oksit (CeO_2) partikülleri tutundurmuştur [9]. Zn-CeO₂ kompozitlerinin çelik yüzeyine elektroliz ile kaplanması ile elde edilen malzemelerin korozyon dayanımları incelendiğinde, tek bir oran haricinde korozyon dayanımının arttığı görülmüştür.

Çinko (Zn) kaplamalar düşük üretim maliyeti, yüksek aşınma ve korozyon dayanımı özelliklerinden dolayı demir matrisli malzemelerde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bunlardan özellikle ZnO bileşikleri yaygın kullanılanlardan bir tanesidir [9], [10]. ZnO bileşikleri atom tabaka biriktirme, kimyasal buhar biriktirme, darbeli lazer biriktirme, püskürtme teknikleri, sprey piroliz, elektro depolama, sol-jel ve SILAR (successive ionic layer adsorption and reaction) gibi yöntemler ile sentezlenebilmektedir [11]–[14]. SILAR metodu, yüzeyi kaplayacak metal iyonlarının (Zn, zirkonyum (Zr), bakır (Cu), vs.) bulunduğu süspansiyon içerisine, kaplanması istenilen altlık malzemenin daldırılması ile metal iyonlarının altlık malzeme yüzeyine adsorpsiyonu ve reaksiyonu sonunda kaplanması prensibine dayanmaktadır [13], [15].

Bu çalışmada karbon malzeme olarak hidrotermal karbon (HTC) kullanılmıştır. HTC'ler basit şekerlerden atık biyokütlelere kadar çok farklı maddelerden, düşük sıcaklıklarda (180 – 250 °C), su içerisinde ve geleneksel karbonlara (aktif karbon, grafit, grafen, karbon nanotüp, vb.) kıyasla oldukça düşük üretim maliyetleri ile elde edilebilmektedir [16], [17]. Bu özelliklerinden dolayı geleneksel karbonların yerine HTC'lerin kullanılmasının çalışmaya yenilikçi bir yön katacağı öngörülmüştür. Bu çalışmada kullanılan HTC'lerin sentezi ve karakterizasyonu hakkında bilgiler, yazarın daha önceki çalışmasında detayları ile açıklanmıştır [15]. Yine bu çalışmada toz metalürjisi ile saf demirin ve demir-HTC (%ağ. 0,4) alaşımının yüzeyine ZnO nano boyutlu partikülleri SILAR metodu ile kaplanmıştır. Elde edilen kompozitlerin yapısı SEM, SEM-

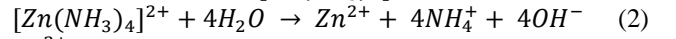
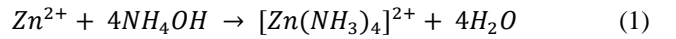
EDX ve XRD analizleri ile, mekanik özellikleri ise mikro sertlik ve korozyon testleri ile incelenmiştir.

2. MATERYAL ve METOD

2.1. Malzemelerin Üretimi

Glukozun 200°C sıcaklıkta, 18 saat süren hidrotermal karbonizasyon ile elde edilen HTC'lerden [16] %ağ. 0,4 ve geri kalanı demir tozu (Fe) olan karışım, turbula mikserde 1 saat boyunca karıştırılmıştır. Karıştırılan tozlar, 96 ton kapasiteli hidrolik preste ve 700 MPa basınçta preslenmiştir. Preslenen numune, 7 °C/dakika ısıtma hızında, 1200 °C sıcaklıkta, argon gazı altında 1 saat süresince tüp fırın içinde sinterlenmiştir (Fe-HTC). Aynı parametrede saf demir tozundan da 2. numune hazırlanmıştır (Saf Fe). Her iki numune de önce zımpara kağıdı ile zımparalanmıştır ve daha sonra numunelerin yüzeyleri parlatılmıştır.

Saf Fe ve Fe-HTC'nin ZnO ile kaplanması için 250 ml hacimli borosilikat cam beher içerisine 100 ml saf suda 0.1 M ZnCl_2 katyonik çözeltisi ve %29'luk amonyak (NH_3) çözeltisi ilave edilerek pH 10'a ayarlandı. Saf Fe ve Fe-HTC; katyonik çözelti içerisinde 30 sn., havada 10 sn., 90 °C sıcaklıktaki deiyonize suda 30 sn. ve son olarak tekrar havada 10 sn. bekletildi. Dört adımda gerçekleşen kaplama işlemi 30 kez tekrarlandıktan sonra numuneler, 450 °C sıcaklıktaki fırında 1 saat boyunca kalsine edildi. ZnO kaplanması sırasında meydana gelen muhtemel reaksiyonlar sırasıyla şu şekildedir (Eşitlik 1-4) [18].



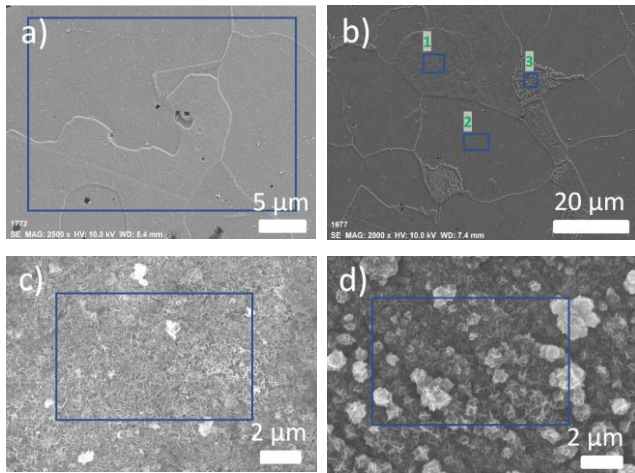
2.2. Malzemelerin Karakterizasyonu

Mikro yapı analizleri için Zeiss Ultra Plus Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Yoğunluk hesaplamaları, Archimedes metoduna göre Radwag marka hassas terazi kullanılarak yapılmıştır. Vickers mikro sertlik analizleri için QNESS Q10A+ makinesi kullanılmıştır. Numune üzerine 1 kg yük 15 saniye boyunca uygulanmıştır ve her numune için 5 adet ölçüm yapılmıştır. Potansiyodinamik korozyon testinde ise Parstat 400 Potansiyotat cihazı kullanılmıştır. Üç elektrotlu potansiyotat cihazının karşıt elektrodu grafit, referans elektrodu Ag/AgCl (3,5 mol KCl) ve çalışma elektrodu ise hazırlanan numunelerdir. Analiz parametreleri olarak ise oda sıcaklığında, %ağ. 3.5 NaCl çözeltisinde, 1 mV/saniye tarama hızında ve 0,5–5,0 V potansiyel aralığında korozyon testi yapılmıştır. Korozyon yüzey alanı: 0.283 cm², yoğunluk: 7.80 g/cm³, ekvalent ağırlık: 18,61 olarak hesaplanmıştır.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. SEM, SEM-EDX ve XRD Analizleri ile Malzemelerin Karakterizasyonu

TM ile üretilen numunelere ait SEM görüntüleri Şekil 1.'de gösterilmiştir. Sadece demir tozu kullanılarak elde edilen numune α -ferrit fazından meydana gelmiştir. SEM görüntüsündeki küçük siyah lekeler ise TM ile üretimden sıkça görülen porozitelerdir. Yapılan yoğunluk ölçümü sonunda porozitenin %2'den daha düşük olduğu belirlenmiştir ki bu da TM ile üretilen benzer malzemelere kıyasla oldukça düşük bir değerdir [3], [4]. Saf Fe-HTC yapısında ise α -ferrit fazının yanı sıra 3 numaralı bölgede görüldüğü üzere perlit fazı da oluşmuştur (Şekil 1.b). ZnO ile kaplanmış kompozitlerin SEM görüntülerinde ise yaklaşık 200 ± 17 nm uzunluğunda ZnO kristallerinin lamel yapısında tüm yüzeyi hiç boşluk kalmayacak şekilde kapladığı görülmektedir (Şekil 1.c ve Şekil 1.d).

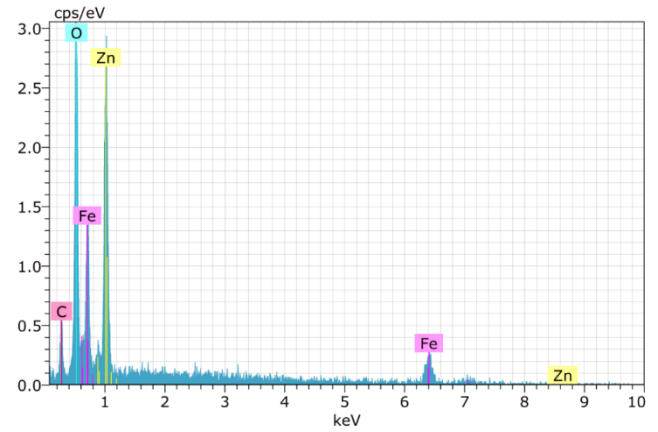


Şekil 1. Numunelere ait SEM görüntüleri a) Saf Fe, b) Fe-HTC, c) Fe@ZnO ve d) Fe-HTC@ZnO.

Yapılan SEM-EDX analizlerine göre ZnO ile kaplama yapılmadan önce numunelerdeki demirin ağırlıkça yüzdesi 95,35 ile 97,94 aralığındadır (Tablo 1). Bu numunelerin yüzeyi SILAR metodu ile ZnO kaplandıktan sonra elde edilen kompozitlerde ise çinko miktarı %ağ. 30,16–32,99 ve oksijen miktarı ise %ağ. 24,23–23,18 seviyesine kadar yükselmiştir. SEM-EDX analizi malzemelerin yüzeyi hakkında bilgi verdiğinden dolayı, ZnO kaplanmış kompozitlere ait atomların ağırlıkça yüzdesi sadece yüzeydeki atomların oranlarını göstermektedir. Ayrıca, Fe-HTC@ZnO numunesindeki farklı atomlara ait pikler SEM-EDX grafiğinde gösterilmiştir (Şekil 2).

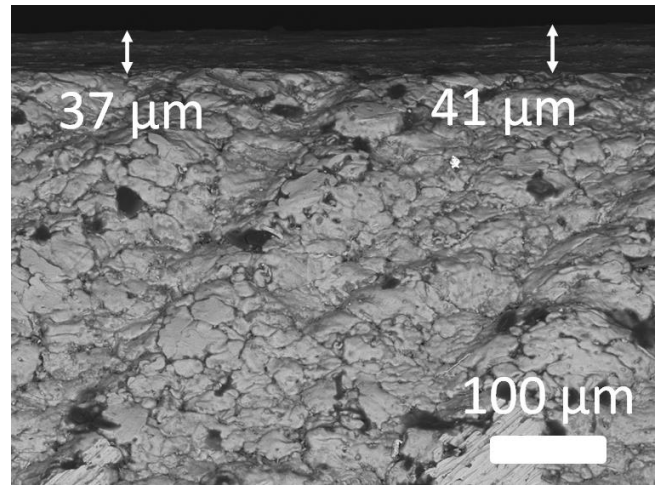
Tablo 1. SEM-EDX analizi sonucu yüzeyde bulunan atomların ağırlıkça yüzdesi.

Malzeme	Fe (%ağ.)	C (%ağ.)	Zn (%ağ.)	O (%ağ.)
Saf Fe	97,94	-	-	1,91
Fe-HTC	95,35	3,21	-	1,44
Fe@ZnO	42,78	-	32,99	24,23
Fe-HTC@ZnO	43,49	3,17	30,16	23,18



Şekil 2. Fe-HTC@ZnO numunesine ait SEM-EDX grafiği.

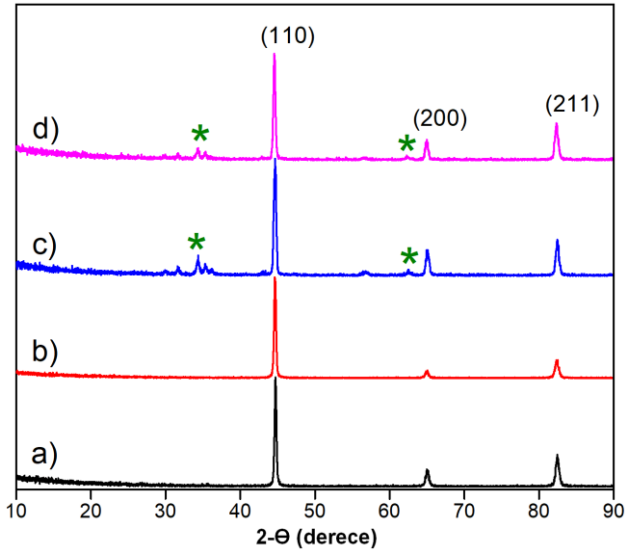
Yüzeyi ZnO nanopartikülleri ile kaplanmış numunenin yatay kesitinin incelendiği SEM analizi sonucunda ise; kaplama kalınlığının yaklaşık 39 ± 3 μm olduğu belirlenmiştir (Şekil 3). Kaplama kalınlığına kaplayıcı süspansiyonun pH'ı ve konsantrasyonu, numunenin bu süspansiyona daldırılma sayısı ve bu süspansiyonda bekletilme süresi gibi pek çok parametre etki etmektedir [12], [18], [19]. Belirlen deney koşullarında istenilen altlık malzemenin kalın bir ZnO nanopartikül tabakası ile kaplanması mümkündür.



Şekil 3. Fe-HTC@ZnO numunesine ait SEM görüntüsü.

Yapılan XRD analizleri sonunda oluşan X ışını difraksiyon paternleri incelendiğinde tüm numunelerin 44, 66 ve 82 ($2-\Theta$) derecelerinde demir atomlarına ait piklere sahip olduğu ve ana matrisin demir olduğu belirlenmiştir (JCPDS 65-4899) [20]. Demir tozuna HTC ilave edilmesi ile elde edilen numune de ise hem karbon miktarının çok düşük olmasından hem de bu karbonların amorf yapılı olmasından [17] dolayı herhangi bir yeni pik görülmemiştir (Şekil 4.b). Fakat her iki numunenin ZnO ile kaplanması ile oluşan kompozit yapıda hem SEM hem de SEM-EDX analizlerinde görüldüğü gibi ZnO kristaline ait pikler ($2-\Theta$: 35, 61) görülmektedir (Şekil 4.c-d). Analiz sonuçları literatürdeki çalışmalar ile kıyaslandığında, yüzeye kaplanan ZnO kristallerinin c-

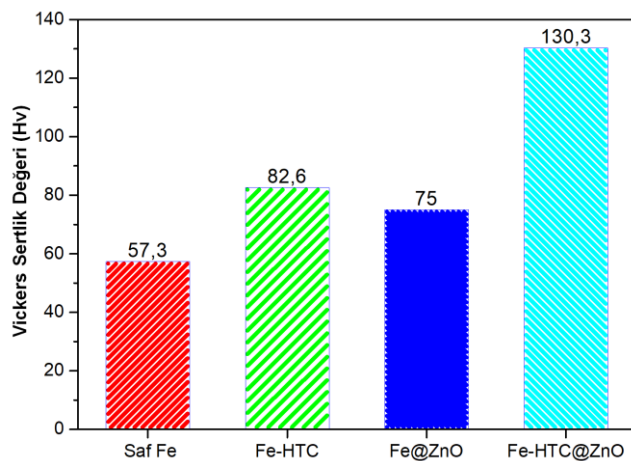
ekseni boyunca yönelim gösteren (002) düzlemine ait kristal yapıda olduğu belirlenmiştir [18].



Şekil 4. Numunelere ait X ışını difraksiyon paternleri a) Saf Fe, b) Fe-HTC, c) Fe@ZnO ve d) HTC-Fe@ZnO.

3.2. Sertlik ve Korozyon Testleri Sonuçları

Yapılan Vickers mikro sertlik deneyine göre, saf demir tozundan elde edilen numune $57,3 \pm 2,1$ Hv sertlik değerine sahiptir (Şekil 5). Bu numunenin yüzeyi ZnO kristali ile kaplandığında sertlik değeri $82,6 \pm 2,7$ Hv değerine ulaşmıştır. Fe-HTC numunesinin sertlik değeri de $(75 \pm 3,7$ Hv) benzer şekilde kaplamanın etkisi ile $130,3 \pm 2,9$ Hv değerine yükselmiştir. Hem saf Fe, hem de Fe-HTC malzemelerinin yüzeyine ZnO kaplanmasının etkisi ile her iki malzemenin sertlik değerlerinde önemli bir artış görülmüştür.



Şekil 5. Numunelere ait Vickers sertlik deneyi sonuçları.

Seramik bazlı kaplamaların ana matris malzemenin sertlik özelliğini artırdığı, bu artış miktarının ise matris ile kaplama malzemesinin yapmış olduğu bağ kuvvetine bağlı olduğu literatürden bilinmektedir [21]. Yapısında karbon bulunan Fe-HTC kompozitinin sertlik değerinin %42'lik artışın

sebebinin ZnO ile C arasında oluşan bağ ya da etkileşimden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yine yapılan benzer çalışmalardan, sinterlemenin mekanik kilitlenme (interlokasyon) ve kimyasal bağlanmaya sebep olduğu ve böylece mekanik özelliklerin geliştiği bilinmektedir [22]. Yine karbon atomlarının bu mekanizmaya olumlu etkilerinin de meydana gelmiş olabileceği öngörülmektedir.

3,5 M NaCl çözeltisinde yapılan korozyon testi sonucunda elde edilen potansiyel-dinamik polarizasyon eğrileri Şekil 6.'da gösterilmiştir. Tafel ekstrapolasyonu yöntemi ile aynı anda gerçekleşen anodik ve katodik reaksiyonların birbirine karıştığı nokta tafel eğrileri çizilerek bulunmuştur. Bu eğrilerin kesiştiği potansiyel değeri korozyon potansiyelini (E_{corr}), akım değeri ise korozyon akımını (I_{corr}) göstermektedir [23]. Numunelerin korozyon potansiyelleri (E_{corr}), korozyon akım yoğunlukları ve korozyon oranları Tablo 2'de gösterilmiştir. Numunelere ait korozyon oranları ise ASTM-G012-89 standardına göre hesaplanmıştır (Eşitlik 1) [24], [25].

$$\text{Korozyon Oranı} = \frac{K \times I_{corr} \times EA}{\text{Yoğunluk}} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

K metrik dönüşüm faktörü = $3,27 \times 10^{-3}$ (mm x gr)/($\mu\text{A} \times \text{cm} \times \text{yıl}$), EA ise ekvalent ağırlıktır ve Eşitlik 2'ye göre hesaplanmıştır.

$$\text{Ekvalent ağırlık} = \left\{ \sum \frac{f_i \times n_i}{w_i} \right\}^{-1} \quad (\text{Eşitlik 2})$$

f_i kütle kesri, n_i kompozitteki valans element, w_i ise atomik ağırlıktır [25], [26].

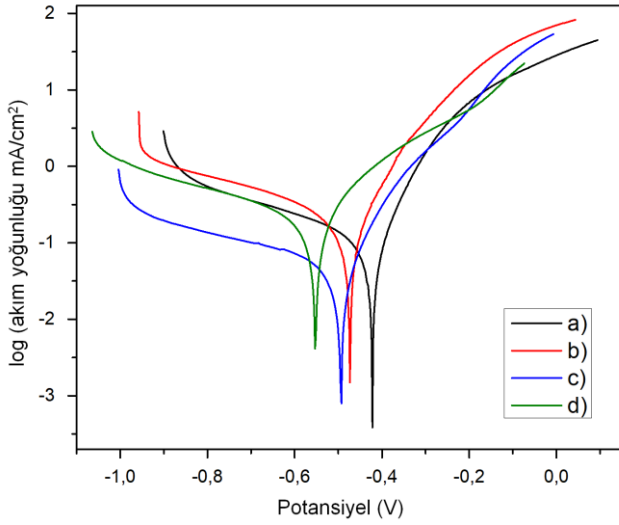
Saf demir tozlarından elde edilen numunenin korozyon dayanımı, HTC ilavesi ile azaldığı görülmüştür. Bunun sebebinin, Fe-HTC'nin iki fazlı yapıya sahip olması (α -ferrit ve perlit) ve bundan dolayı da galvanik korozyona sebep olarak korozyon hızını artırmış olabileceği düşünülmektedir [23], [27].

Tablo 2. Numunelere ait korozyon testi sonuçları.

Malzeme	Korozyon Potansiyeli (V)	Korozyon Akım Yoğunluğu ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Korozyon Oranı (mm/yıl)
Saf Fe	-0,40	124,09	0,96
Fe-HTC	-0,47	246,81	1,91
Fe@ZnO	-0,49	58,02	0,44
Fe-HTC@ZnO	-0,55	154,37	1,19

Korozyon dayanımları sırasıyla 0,96 ve 1,91 mm/yıl olan Saf Fe ve Fe-HTC numunelerinin ZnO ile kaplanması ile elde edilen numunelerin korozyon dayanımları 0,44 ve 1,19 mm/yıl olarak tespit edilmiştir (Tablo 2). Numunelerin yüzeyini kaplayan ZnO tabakasının korozyon dayanımı demire kıyasla daha yüksek olduğu ve malzemelerin sertlik

değerlerinde olduğu gibi korozyon dayanımına da önemli derecede olumlu katkı sağladığı belirlenmiştir.



Şekil 6. Potansiyo-dinamik polarizasyon eğrileri a) Saf Fe, b) Fe-HTC, c) Fe@ZnO ve d) HTC-Fe@ZnO.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada toz metalürjisi ile demir ve demir-karbon tozlarından malzemeler elde edilmiş ve bu malzemelerin yüzeyi SILAR metodu kullanılarak ZnO ile kaplanmıştır. Yapılan analizlerin sonuçlarını şu şekilde maddelemek mümkündür;

- Toz metalürjisi ile üretilen demir ve demir-karbon yapıları malzemelerin yüzeyi SILAR metoduyla üretilen, 200 ± 17 nm boyutlarındaki ZnO partikülleri ile kaplanmıştır.
- ZnO kaplamanın etkisi ile Saf Fe ve Fe-HTC'nin numunelerinin sertlik değerlerinde sırasıyla yaklaşık %44 ve %73 artış meydana gelmiştir.
- Yüzeyleri ZnO kaplanmış kompozitlerin korozyon dayanımları, kaplamasız malzemelere kıyasla yaklaşık %118 ve %60 oranında artmıştır.

Elde edilen sonuçların ışığında, demir matrisli malzemelerin yüzeyini, SILAR metoduyla oldukça kolay ve düşük üretim maliyetlerinde ZnO partikülleri ile kaplamak mümkündür. Kaplamanın etkisi ile malzemelerin hem mekanik özellikleri hem de korozyon dayanımları olumlu yönde etkilenmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] L. Zhong, Y. Xu, M. Hojamberdiev, J. Wang, and J. Wang, 'In situ fabrication of titanium carbide particulates-reinforced iron matrix composites', *Materials & design*, vol. 32, no. 7, pp. 3790–3795, 2011.
- [2] X. Zhang, F. Ma, K. Ma, and X. Li, 'Effects of graphite content and temperature on microstructure and mechanical properties of Iron-based powder metallurgy parts', *Journal of Materials Science Research*, vol. 1, no. 4, p. 48, 2012.

- [3] M. A. Erden, S. Gündüz, M. Türkmen, and H. Karabulut, 'Microstructural characterization and mechanical properties of microalloyed powder metallurgy steels', *Materials Science and Engineering: A*, vol. 616, pp. 201–206, 2014.
- [4] M. Türkmen, H. Karabulut, M. A. Erden, and S. Gündüz, 'EFFECT OF TIN ADDITION ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF PM STEELS', *Technological Applied Sciences*, vol. 12, no. 4, pp. 178–184.
- [5] C. Krishnamurthy Srinivasa, C. Suryanarayana Ramesh, and S. K. Prabhakar, 'Blending of iron and silicon carbide powders for producing metal matrix composites by laser sintering process', *Rapid Prototyping Journal*, vol. 16, no. 4, pp. 258–267, 2010.
- [6] P. Gupta, D. Kumar, M. A. Quraishi, and O. Parkash, 'Corrosion behavior of Al₂O₃ reinforced Fe metal matrix nanocomposites produced by powder metallurgy technique', *Advanced Science, Engineering and Medicine*, vol. 5, no. 4, pp. 366–370, 2013.
- [7] L. Xie, X. Xiong, Y. Zeng, and Y. Wang, 'The wear properties and mechanism of detonation sprayed iron-based amorphous coating', *Surface and Coatings Technology*, vol. 366, pp. 146–155, 2019.
- [8] S. Shi, Y. Zhao, Z. Zhang, and L. Yu, 'Corrosion protection of a novel SiO₂@ PANI coating for Q235 carbon steel', *Progress in Organic Coatings*, vol. 132, pp. 227–234, 2019.
- [9] D. Kallappa and V. T. Venkatarangaiah, 'Synthesis of CeO₂ doped ZnO nanoparticles and their application in Zn-composite coating on mild steel', *Arabian Journal of Chemistry*, 2018.
- [10] L. Exbrayat et al., 'Electrodeposition of zinc-ceria nanocomposite coatings in alkaline bath', *Journal of Solid State Electrochemistry*, vol. 18, no. 1, pp. 223–233, 2014.
- [11] A. Mahmood and A. Naeem, 'Sol-Gel-Derived Doped ZnO Thin Films: Processing, Properties, and Applications', *Recent Applications in Sol-Gel Synthesis*, pp. 169–193, 2017.
- [12] L. Znaidi, 'Sol-gel-deposited ZnO thin films: A review', *Materials Science and Engineering: B*, vol. 174, no. 1–3, pp. 18–30, 2010.
- [13] C. Duman and H. Guney, 'Influence of annealing and optical aging on optical and structural properties of ZnO thin films obtained by SILAR method', *Lithuanian Journal of Physics*, vol. 57, no. 4, 2017.
- [14] Ş. Duman and B. Özkal, 'Farklı Püskürtmeli Kurutucu Proses Parametreleri ve Çözelti Konsantrasyonunda ZnO Nanopartiküllerin Sentezlenmesi ve Karakterizasyonu', *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 7, no. 2, pp. 324–331.
- [15] A. Raidou et al., 'Characterization of ZnO thin films grown by SILAR method', *Open Access Library Journal*, vol. 1, no. 3, 2014.
- [16] H. Simsir, N. Eltugral, and S. Karagoz, 'Hydrothermal carbonization for the preparation of hydrochars from glucose, cellulose, chitin, chitosan and wood chips via low-temperature and their characterization', *Bioresource technology*, vol. 246, pp. 82–87, 2017.

- [17] M.-M. Titirici, R. J. White, C. Falco, and M. Sevilla, 'Black perspectives for a green future: hydrothermal carbons for environment protection and energy storage', *Energy & Environmental Science*, vol. 5, no. 5, pp. 6796–6822, 2012.
- [18] P.-Y. Lee, S.-P. Chang, and S.-J. Chang, 'Synthesis and optical properties of ZnO thin films prepared by SILAR method with ethylene glycol', *Advances in nano research*, vol. 1, no. 2, pp. 93–103, 2013.
- [19] P. U. Londhe and N. B. Chaure, 'Effect of pH on the properties of electrochemically prepared ZnO thin films', *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 60, pp. 5–15, 2017.
- [20] W.-S. Lin, H.-M. Lin, H.-H. Chen, Y.-K. Hwu, and Y.-J. Chiou, 'Shape effects of iron nanowires on hyperthermia treatment', *Journal of Nanomaterials*, vol. 2013, p. 9, 2013.
- [21] O. S. Fayomi, 'Effect of composite particulate reinforcement on the morphology, anti-corrosion and hardness properties of fabricated Zn-ZnO coatings', *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 6, pp. 963–968, 2015.
- [22] K. P. Ananth, J. Sun, and J. Bai, 'An innovative approach to manganese-substituted hydroxyapatite coating on zinc oxide-coated 316L SS for implant application', *International journal of molecular sciences*, vol. 19, no. 8, p. 2340, 2018.
- [23] Y.-S. Kim and J.-G. Kim, 'Corrosion behavior of pipeline carbon steel under different iron oxide deposits in the district heating system', *Metals*, vol. 7, no. 5, p. 182, 2017.
- [24] E. Otero, A. Pardo, M. V. Utrilla, E. Saenz, and J. F. Alvarez, 'Corrosion behaviour of AISI 304L and 316L stainless steels prepared by powder metallurgy in the presence of sulphuric and phosphoric acid', *Corrosion Science*, vol. 40, no. 8, pp. 1421–1434, 1998.
- [25] H. Simsir, Y. Akgul, and M. A. Erden, 'Hydrothermal carbon effect on iron matrix composites produced by powder metallurgy', *Materials Chemistry and Physics*, p. 122557, 2019.
- [26] A. Ayyagari, V. Hasannaemi, H. S. Grewal, H. Arora, and S. Mukherjee, 'Corrosion, erosion and wear behavior of complex concentrated alloys: a review', *Metals*, vol. 8, no. 8, p. 603, 2018.
- [27] Y. Y. Li, Z. Z. Wang, X. P. Guo, and G. A. Zhang, 'Galvanic corrosion between N80 carbon steel and 13Cr stainless steel under supercritical CO₂ conditions', *Corrosion Science*, vol. 147, pp. 260–272, 2019.

Application of Machine Learning Methods with Dimension Reduction Techniques for Fault Prediction in Molding Process[†]

^{‡1}Fatma Demircan Keskin, ²Inanç Kabasakal

¹ fatma.demircan.keskin@ege.edu.tr, 

² inanc.kabasakal@ege.edu.tr, 

Research Paper

Arrival Date: 31.01.2020

Accepted Date: 26.04.2020

Abstract

Significant advances in digital technology and advanced analytical tools have had a substantial impact on the production environment and laid the foundation for Industry 4.0 and intelligent production concepts. Predictive engineering is one of the key pillars of smart manufacturing that necessitates the collection and analysis of real-time data with an anticipatory point of view through advanced analytical techniques. In the literature, machine learning-based methods have received a great deal of attention to extract valuable information from process data for fault detection. In this study, fault prediction problem was addressed in a molding process that includes successive steps by applying machine learning methods with dimension reduction techniques. The techniques of Principal Component Analysis (PCA), and Isometric Feature Mapping (Isomap) were first utilized for dimension reduction. Then, the data was analyzed for fault prediction with several machine learning techniques, namely, Support Vector Machine (SVM), Neural Network (NN), and Logistic Regression (LR). The dataset for our analysis includes sensor data captured during the molding process of a wheel rim manufacturer. Several criteria, including accuracy, area under curve (AUC), Type I, and Type II error, were employed to assess the predictive performance of the methods applied, including and the model variants reinforced with PCA and Isomap. Our study demonstrates that all predictive model variants have performed with high accuracy, ranging between 92.16% (LR) and 98.04% (PCA-NN). PCA and Isomap improved the accuracy and Type-I error measures of all models; however, no such improvement was obtained on the Type-II error rates.

Keywords: Dimension Reduction, Fault Prediction, Industry 4.0, Machine Learning, Molding Process

1. INTRODUCTION

Industry 4.0 and smart manufacturing, which have originated based on technological advancements, have enabled more intelligent and interconnected production systems [1]. The intelligence in smart manufacturing stems from data. Collecting real-time, accurate data, analyzing it in a way to provide value, data-driven manufacturing, predictive engineering, and ensuring product quality based on evaluation of real-time product data are among the most critical points of smart manufacturing [2-5].

In the current interconnected and complex manufacturing environments, faults in processes might affect other processes and lead up to significant losses for manufacturers. The use of fault prediction techniques based on real-time processes and machinery data might help to prevent faults, avoid critical breakdowns, and provide insights that help to

enhance the utilization of machinery, reduce machine breakdown times, and improve the process and product quality [6]. Real-time monitoring of manufacturing processes and fault prediction has received significant attention both from the practitioners and the researchers over the recent years, depending on the recognition of the magnitude of such possible losses and opportunities [7].

Machine learning methods, especially supervised machine learning methods have stood out in prior research within the context of the failure prediction problem based on the analysis of process data in manufacturing [8,9]. In some of those studies, it has been preferred to apply machine learning methods solely [10,11]. In contrast, some studies have introduced models with a dimension reduction step prior to machine learning methods, mostly due to the complexity of problems and/or availability of an excessive number of variables in process data [12,13].

[†]This paper is an extended version of the paper published in the Proceedings Book of 10th International Symposium on Intelligent Manufacturing and Service Systems, on 9-11 September 2019.

*¹Corresponding Author: Ege University/Department of Business Administration, Izmir, Turkey, fatma.demircan.keskin@ege.edu.tr, 0(232) 311 22 68

In this study, the fault prediction problem is addressed in a wheel-rim manufacturer’s molding process with binary classification. In the previous study of Kabasakal et al. [14], the problem was handled with a pure LR model applied to the analysis of 29 process parameters. In this study, the same problem is readdressed by increasing the number of process parameters, expanding the training dataset size, and applying SVM and NN in addition to LR. Moreover, dimension reduction has been carried out considering the potential challenges in modeling due to the complex structure of the molding process that encompasses various sequential sub-processes. For dimension reduction, our approach involves PCA, one of the most frequently used dimension reduction techniques, and Isomap, a technique that has attracted considerable attention in machine learning recently. This study aims to compare the predictive performance of the machine learning models, both standalone and with dimension reduction beforehand. The supervised machine learning methods and dimension reduction techniques employed in our model are introduced in the next two sections. Subsequently, our review of the literature on the fault prediction problem is presented. Afterward, the characteristics of the problem, the initial dataset, and the data preparation steps are explained in detail in the case study section. The findings of the application and their analysis are presented in the application and findings section. Finally, the results are evaluated, and the potential use of machine learning models are discussed within the context of our case.

2. SUPERVISED MACHINE LEARNING

Supervised machine learning methods are widely applied in prediction problems based on the use of process data often obtained as labeled from manufacturing [15]. In this study, popular supervised machine learning methods SVM, NN, and LR have been utilized for fault prediction. In the next subsections, these applied methods have been introduced.

2.1. Support Vector Machine

SVM is a supervised machine learning method capable of handling nonlinear mapping [12] and dealing with complex and large-scale problems. The technique attempts to find an optimal hyperplane separating dependent variables’ categories on each side of the plane with a structural risk minimization objective [16, 17]. Nonlinear classification models with SVM often utilize kernel functions. Radial basis function (RBF) is among the most preferred ones [18].

The classical unbiased Least Square SVM (LSSVM) involves optimization of the relationship between inputs Y and outputs Q in the space of feature $Q = \omega^T f(Y) + b$, where ω is the weight vector, and the nonlinear mapping function and the bias vector are denoted by $f(\cdot)$ and b , respectively. The objective function in LSSVM is [12, 19]:

$$\begin{cases} \min J(\omega, \xi) = \frac{1}{2} \omega^T \omega + \frac{\gamma}{2} \sum_{i=1}^n \xi_i^2 \\ \text{s. t. } Q_i = \omega f(y_i) + b + \xi_i \end{cases} \quad (1)$$

where ξ indicates the variance of the error, and $\gamma > 0$ is the penalty coefficient.

The optimal regression function to convert this model to a dual optimization problem and the kernel function $F(\cdot)$ is as follows [12,19]:

$$\begin{cases} Q = \sum_{i=1}^n \alpha_i F(Y, y_i) + b \\ F(Y, y_i) = \exp\left(-\frac{Y-y_i}{2\sigma^2}\right) \end{cases} \quad (2)$$

where α_i is the Lagrange multiplier.

2.2. Neural Network

NN, one of the popular supervised machine learning methods, is based on network structures that are connected via weighted links [20,21]. NNs are network structures mainly based on computing units called neurons and using activation values and a set of weighted inputs [22]. NNs include a series of interconnected inputs and outputs, in which the weights of the connections are adjusted by the network during the training stage to predict the correct class labels [23]. A multilayer neural network comprises a high number of units connected in a pattern. These units include input units where the information is received for processing, output units containing the processing findings, and hidden units between these two units [24].

The output of each neuron j in the hidden layer is calculated by using a function of activation f as follows [25]:

$$y_j = f\left(\sum w_{ji} x_i\right) \quad (3)$$

where w_{ji} denotes the connection weight between units j and i, and x_i represents the input node activation rule.

The resulting weighted sum value is transferred to the activation value of the hidden node using a proper transfer function [26].

2.3. Logistic Regression

LR, a relatively easy-to-apply approach with a wide range of applications, allows the prediction of dependent variables having two or more categories using categorical or continuous independent variables [27].

Since our case involves the prediction of a binary dependent variable, we adopt binary logistic regression in our model. The logit function for this technique is [28]:

$$\text{logit} = \ln\left(\frac{\pi(x)}{1-\pi(x)}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p \quad (4)$$

where $\frac{\pi(x)}{1-\pi(x)}$ is odds that ranges from $(0;+\infty)$ and $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ are the regression coefficients.

Then the logistic function is obtained by the inverse of the logit function as follows [28]:

$$\pi(x) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p)} \quad (5)$$

where $\pi(x)$ ranges from (0;1).

3. DIMENSION REDUCTION

Dimension reduction is frequently applied as an initial step when creating a prediction model to capture patterns in complex data sets and to reduce the difficulties that may arise in modeling [29]. Accordingly, this section briefly introduces two dimension reduction techniques involved in our study, namely PCA and Isomap.

3.1. Principal Component Analysis

PCA, a linear based and multivariate reduction technique, transforms the variables in the initial data set into variables called principal components [30]. The steps of PCA are as follows [13]:

Step 1 Calculation the correlation coefficient matrix (R)

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$R = \text{Cor}(i, j) = \frac{(n-1) \cdot \text{Cov}(i, j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_i(k) - \mu_i)^2 \sum_{k=1}^n (x_j(k) - \mu_j)^2}} = (r_{ij})_{m \times n} \quad (7)$$

$$\text{Cov}(i, j) = \frac{1}{(n-1)} (x_i - \mu_i)(x_j - \mu_j) \quad i, j = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

where X is a matrix including n rows (samples) and m columns (features), μ_i and μ_j denote X matrix's ith and jth rows averages, respectively.

Step 2 Computation of the eigenvectors (V_i) and eigenvalues (λ_i) of the matrix R.

$$AV_i = \lambda_i V_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

where $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m$, A is a mxn correlation matrix, and V_i is the vector $V_i = [V_{1i}, V_{2i}, \dots, V_{mi}]$.

Step 3 Calculation of a new set of the uncorrelated multivariate vector.

$$X_{new} = V^T \cdot X \quad (10)$$

where X is the original correlated, and X_{new} is the new uncorrelated multivariate vector. V denotes the matrix of eigenvectors. Depending on the selected threshold variance value, all or some components of X_{new} are used as principal components [13].

3.2. Isometric Feature Mapping

Isomap is a nonlinear and noniterative dimension reduction method based on revealing the nonlinear degrees of freedom that lie behind the complex observations [31]. The emergence of machine learning studies that utilize this technique for dimension reduction is relatively more recent [12]. Given a manufacturing multi-parameter set $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ with dimension n, a low-dimensional space with dimension k $Y = [y_1, y_2, \dots, y_k]$; the algorithm consists of the following steps [12, 31, 32]:

Step 1 Determination of the neighbor points on the manifold M. x_i and x_j can be considered as neighbors if the distance $d(x_i, x_j)$ between x_i and x_j is less than ϵ or x_i is one of the k nearest neighbors of x_j .

Step 2 Estimation of the geodesic distances between points and defining the graph G. If x_i and x_j are neighbors, $d_G(x_i, x_j) = d(x_i, x_j)$, otherwise $d_G(x_i, x_j) = \infty$.

Step 3 Constructing a k-dimensional embedding to the computed distances in Step 2 using multi-dimensional scaling. λ_p is the p-th eigenvalue of the matrix $\tau(D_G) = -HSH/2$. The squared geodesic distances matrix $S_{ij} = [d_G(x_i, x_j)]^2$, and $H = I - (1/N)EE^T$ is the centering matrix. In this matrix, I indicates the N-dimensional unit matrix, and E the vector of all ones. The p-th component of the coordinate vector with k dimension is $y_i = \sqrt{\lambda_p} v_p^i$, where v_p^i denotes p-th eigenvector's i-th component.

4. LITERATURE REVIEW

Industry 4.0 and smart manufacturing have forced companies to an inevitable transformation process. In this transformation, one of the key points is to collect accurate, real-time process and machinery data through sensors and networks, and manage these data in a way to provide value with advanced analytical tools. The objective is to gain the ability to predict the faults or abnormal behaviors, and ultimately to prevent more significant losses [33]. Therefore, continuous monitoring of manufacturing processes and machinery, fault diagnosis and prediction, and application of data-driven methods have received a great deal of attention in the recent literature [34-36]. In the context of fault prediction, various studies have reported substantial results through the use of machine learning methods [37].

In the literature, there have been studies addressing the fault diagnosis and prediction problems by applying SVM, NN, and LR, with and without dimension reduction techniques. In one of the studies implementing machine learning methods solely, Kankar et al. [38] analyzed ball bearing vibration data and developed a classification model to predict faults with NN and SVM. The authors predicted five fault categories by analyzing fourteen features, including

process parameters and computed statistical measures using vibration data. Kusiak and Li [39] proposed a machine-learning model with NN and SVM to predict whether faults will occur and their types, if any.

PCA has been a frequently used technique in the studies aiming to predict faults based on process data; on the other hand, Isomap has been increasingly used in recent years. Benkedjouh et al. [32] applied Isomap and a non-linear version of PCA with Support Vector Regression to predict the remaining useful life of a machining tool. Zhang et al. [13] analyzed a dataset that contains equipment vibration signals with PCA and Artificial Neural Network (ANN) for maintenance-related decisions. Sakthivel et al. [40] dealt with the fault diagnosis problem based on vibration signals. They have applied various dimension reduction methods, including PCA, Isomap, Diffusion maps, Local linear embedding, and classified the features obtained from each dimension reduction method by using a decision tree, kNN, Bayes Net, and Naive Bayes. Jin et al. [41] applied dimension reduction methods, including PCA and Isomap, to classify machine faults based on the data sets of machine health conditions. Gao and Hou [34] dealt with the fault diagnosis problem using the Tennessee Eastman process data set; and utilized PCA for dimension reduction before SVM. Bai et al. [12] addressed the problem of quality prediction by applying PCA, ISOMAP, and Locally Linear Embedding with SVM. The authors reported that Isomap-SVM had the best predictive performance among the techniques employed.

In the literature, there have been also studies addressing the fault prediction problem with machine learning-based methods in molding processes that have similar features with the wheel-rim molding process analyzed in this study. Most of these studies have applications in the plastic injection molding process. Sadeghi [42] provided a backpropagation NN model to predict the injected parts' strength by using temperatures of mold and melt, the pressure of injection, and material grade as key variables. One of the other studies addressing the fault prediction in the same process, Ribeiro [43] used more than two fault categories such as unfilled parts, stains, burn marks, warped parts by considering explanatory variables including metering, injection, and cycle times, injection velocity, and cushion. He applied C-SVM and v-SVM classifiers and compared their performances with RBF NN. In other studies that address defect prediction in the plastic injection molding process; Kim et al. [44] proposed a recursive neural network model, Nasiri and Khosravani [45] applied a fuzzy case-based reasoning approach by considering 19 features under temperature, pressure, time, speed, and size categories. Taghizadeh et al. [46] provided an ANN-based prediction model for the warpage of molded parts by analyzing a variety of process parameters such as melt temperature, mold temperature, ejection temperature, thermal conductivity, and specific heat. Additionally, Kabasakal et al. [14] addressed the fault detection problem of a wheel-rim manufacturer's molding process with LR, and our study revisits this case by

applying several machine learning techniques, occasionally reinforced with prior dimension reduction.

5. CASE STUDY

This study addresses a fault prediction problem through a dataset, including actual measurements captured during the molding process in a wheel rim manufacturer. The data recorded involves measurements regarding the faults and a list of parameters that can affect the process quality. The molding process consists of a series of sub-processes, including pouring the melted aluminum alloy into a tank that is kept at a certain temperature, pressurizing the tank, blowing out the melted alloy, pouring it into a mold and cooling the alloy in the mold.

The initial dataset involves 137 parameters for 594 products manufactured on the same casting machine by using a single mold for 5 days. The fault rate of the analyzed batch is 6.9% (41 units).

The faults defined by the company are in three forms: Start-up scrap, shrinkage, and visual scrap. In this study, binary classification is used, and a unit is classified as "faulty" or "normal". Most of the measurements in the dataset relate to the steps of the cooling phase. The company recorded both the ideal and actual temperatures/ pressures for many of the steps. As in [14], we consider the deviations from ideal values as potential causes for faults; thus, those differences are also included in the dataset for analysis.

Another step before our analyses was the removal of redundant columns. Several parameters within the dataset were excluded since they involved constant values in all records. As a result, our final data set involved 594 rows with 32 attributes that consist of 31 inputs and a class variable.

Table 1. Descriptions of the discrete variables in the dataset

No	Variable Name	Categories
1	Shift	1-2-3
2	aluminium_transfer	0 – 1 – 5
3	phase_2_time	25-35-40
4	phase_4_time	23- 203-210

Table 2. Descriptions of the continuous variables in the dataset

No	Variable Name	Range
1	Hour (hr)	[0-23]
2	Humidity (hmd)	[21.8-34.2]
3	Temperature (tmp)	[29.4-52.2]
4	metal_temperature_diff (mtd)	[-11-4]
5	maximum_pressure_value (mpv)	[5.8-7.2]
6	cooling_temperature (wt)	[21-30]
7	cycle_time (ct)	[295-37009]
8	thermocouple_1_diff (t1d)	[-113-55]
9	thermocouple_2_diff (t2d)	[-192-29]

10	thermocouple_4_actual_value (t4a)	[468.79-509]
11	thermocouple_5_actual_value (t5a)	[445.5-526]
12	phase_1_pressure (ph1p)	[131.3-149.5]
13	phase_2_pressure (ph2p)	[301.3-516.9]
14	h1_flow_average_value (h1f):	[0-1205.2]
15	h2_flow_average_value (h2f)	[0-602.4]
16	h3_flow_average_value (h3f)	[0-624.8]
17	h7_flow_average_value (h7f)	[1200.6-1204.8]
18	h8_flow_average_value (h8f)	[785.2-798.4]
19	h9_flow_average_value (h9f)	[795.9-800.8]
20	h10_flow_average_value (h10f)	[795.8-800.6]
21	h11_flow_average_value (h11f)	[0-770.6]
22	h12_flow_average_value (h12f)	[0-604.8]
23	s1.1_side_core_cooling_flow_diff (s1.1sd)	[-16-0.4]
24	s1.2_side_core_cooling_flow_diff (s1.2sd)	[-16-0.1]
25	s1.3_side_core_cooling_flow_average_value (s1.3sa)	[0-15.4]
26	s1.4_side_core_cooling_flow_average_value (s1.4sa)	[0-16.3]
27	s2_bottom_core_cooling_flow_average_value (s2ba)	[0-17]

6. APPLICATION AND FINDINGS

In this study, fault prediction problem in molding process is addressed. A challenge in our problem was the high number of process parameters that complicate modeling for prediction. In such cases, dimension reduction is often involved as an initial step to construct prediction models over complex datasets [29]. In accordance, our approach involves the application of PCA and Isomap for dimension reduction prior to predictive modelling with LR, SVM, and NN techniques. The results are compared with the individual application of LR, SVM, and NN to evaluate the effects of these dimension reduction techniques on the predictive performance. As detailed in the previous section, each row in our dataset has 31 attributes that represent potential causes of faults, accompanied by a final attribute that denotes a class.

3/4 of the total dataset is randomly separated as the training set and the remaining part (1/4 of the total dataset) as the testing set to evaluate the considered methods' performances. Features of the training and testing sets are given in Table 3.

Table 3. Features of the training and testing sets

Training set size	441
Testing set size	153
Number (percentage) of faults in training set	30 (6.80%)
Number (percentage) of faults in testing set	11 (7.19%)

The performances of all model variants are presented in Tables 4 and 5. The Isomap has been run in R, all the other models in SPSS Modeler. The 31 variables considered in the prediction models have been reduced to 5 dimensions by the PCA and 9 dimensions by the Isomap. In the implementation of SVM, RBF is used as the kernel function.

Table 4. Comparison of the Prediction Performances of the Models

Model	Performance	
	Overall accuracy	Area Under Curve
SVM	96.08%	0.95
NN	95.43%	0.83
LR	92.16%	0.90
PCA-SVM	96.73%	0.85
PCA-NN	98.04%	0.96
PCA-LR	97.39%	0.88
ISOMAP-SVM	97.39%	0.90
ISOMAP-NN	97.39%	0.93
ISOMAP-LR	94.12%	0.93

Table 5. Comparison of False Results of the Models

Model	Type I Error	Type II Error	Total false
SVM	4/142 (2.82%)	2/11 (18.18%)	6/153 (3.92%)
NN	3/142 (2.11%)	4/11 (36.36%)	7/153 (4.58%)
LR	8/142 (5.63%)	4/11 (36.36%)	12/153 (7.84%)
PCA-SVM	1/142 (0.70%)	4/11 (36.36%)	5/153 (3.27%)
PCA-NN	1/142 (0.70%)	2/11 (18.18%)	3/153 (1.96%)
PCA-LR	0/142 (0.00%)	4/11 (36.36%)	4/153 (2.61%)
ISOMAP-SVM	0/142 (0.00%)	4/11 (36.36%)	4/153 (2.61%)
ISOMAP-NN	0/142 (0.00%)	4/11 (36.36%)	4/153 (2.61%)
ISOMAP-LR	5/142 (3.52%)	4/11 (36.36%)	9/153 (5.88%)

The results indicate that applying PCA or Isomap before SVM, NN, and LR models have improved the prediction accuracy of these models' single applications. PCA-NN has the lowest total false rate (1.96%) (highest overall accuracy (98.04%)) among all considered models, followed by PCA-LR, ISOMAP-SVM, and ISOMAP-NN with 2.61% total false rate (97.39% overall accuracy). Also, LR model performance has increased compared to [14] when considering more process parameters and larger training dataset size (overall accuracy increased from 90.50% to 92.16%, and Type II error reduced from 46.20% to 36.36%). The occurrence probability of Type II error, which means incorrectly predicting a fault part to be a non-fault part is the lowest in PCA-NN and SVM, but still at a high rate of

18.18%. PCA-NN also has the highest performance in AUC criterion.

Additionally, the k-fold cross-validation, one of the most widely applied approaches to assessing models' prediction performance and validity [47], has been carried out to evaluate the validity of all model variants. By taking into consideration of the dataset size and number of faulty observations, it is preferred to divide the whole dataset into 3 groups, including an approximately equal number of faulty observations. In Table 6, 3-fold cross-validation results of all model variants are given.

Table 6. k-fold Cross Validation Test Results (k=3)

Model	Performance		
	Overall accuracy	Type I Error	Type II Error
SVM	95.45%	0.36%	61.09%
NN	94.44%	2.36%	47.46%
LR	92.93%	4.13%	45.83%
PCA-SVM	96.11%	0.18%	51.58%
PCA-NN	95.62%	1.45%	43.07%
PCA-LR	95.79%	0.36%	54.09%
ISOMAP-SVM	95.29%	1.27%	51.28%
ISOMAP-NN	94.95%	0.54%	65.26%
ISOMAP-LR	94.28%	1.99%	54.98%

3-fold cross-validation results imply that the overall accuracy of all model variants is between 92.93% (LR) and 96.11% (PCA-SVM). PCA has improved the performances of all model variants in terms of overall accuracy and Type I error rate. PCA has also decreased the Type II error rate in predictions with SVM and NN.

Our findings on the benefits of dimension reduction with Isomap were less apparent. Isomap has not improved the predictive performance of SVM in terms of overall accuracy and Type I error rate. However, the overall accuracy of NN and LR have been increased, with a reduction in Type I error rate. In contrast, Type II error rate has been found higher with Isomap dimension reduction. In fact, Type II error rate was quite high in all models, with a range of 43.07% (PCA-NN) to 65.26% (ISOMAP-NN).

7. CONCLUSION

Real-time collection and utilization of process data for predictive analysis is an essential prerequisite of the manufacturing concept in the era of Industry 4.0. This paper aims to compare both the individual application performances of machine learning methods for fault prediction in the molding process. Moreover, our study explores the benefits of linear and non-linear based dimension reduction in the predictive performance of those methods. Specifically, our study employs machine learning methods of SVM, NN, and LR; and dimension reduction techniques of PCA and Isomap.

The case examined in this study is the problem of a wheel-rim manufacturer that contains multiple process parameters and fault categories for 594 products obtained from the molding process. The dimensionality of the initial dataset was reduced to 31 parameters in data preprocessing. Three predefined fault types come out as the result of the molding process, namely, the start-up scrap, shrinkage, and visual scrap. However, our primary objective was limited to predict the occurrence of a fault, independent from its type. The techniques employed in the model have been trained and tested by randomly picking $\frac{3}{4}$ and $\frac{1}{4}$ of our dataset, respectively.

To compare the performances of the models applied in this study; prediction accuracy, AUC, Type I and Type II error measures are used. Prediction accuracy of the models is obtained within a high range of 92.16% (LR) and 98.04% (PCA-NN), where PCA and Isomap led to an increase in the accuracy of all predictive models. PCA and Isomap have also reduced the Type I error rate for all models, but they do not have the same performance at the models' Type II errors. 3-fold cross-validation test has also provided similar results. AUC, which is an important measure of the extent to which models can distinguish fault categories, is obtained in the range of 0.83 (NN) to 0.96 (PCA-NN). PCA was only able to increase the AUC of NN, while Isomap was able to improve the AUC of NN and LR.

The primary finding of our study demonstrates that all model variants evaluated in this study have had remarkable overall prediction accuracy. However, the Type II errors of their predictions are considerably high. Nevertheless, the models might further be tested on larger datasets that include sufficient fault observations from the same process, to reduce the Type II error.

REFERENCES

- [1] T. Niesen, C. Houy, P. Fettke, and P. Loos, "Towards an integrative big data analysis framework for data-driven risk management in industry 4.0," 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), January 2016, 5065-5074. IEEE.
- [2] Y. Oh, K. Ransikarbum, M. Busogi, D. Kwon, and N. Kim, "Adaptive SVM-based real-time quality assessment for primer-sealer dispensing process of sunroof assembly line," Reliability Engineering & System Safety, vol. 184, pp. 202–212, 2019.
- [3] Q. Qi, and F. Tao, "Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0: 360 degree comparison," Ieee Access, vol. 6, pp. 3585-3593, 2018.
- [4] F. Tao, Q. Qi, A. Liu, and A. Kusiak, "Data-driven smart manufacturing," Journal of Manufacturing Systems, vol. 48, pp. 157-169, 2018.
- [5] A. Kusiak, "Smart manufacturing," International Journal of Production Research., vol. 56, no.1-2, pp. 508-517, 2018.


- [6] H. N. Dai, H. Wang, G. Xu, J. Wan, and M. Imran, "Big data analytics for manufacturing internet of things: opportunities, challenges and enabling technologies," *Enterprise Information Systems*, pp. 1-25, 2019.
- [7] Z. Li, Y. Wang, and K.-S. Wang, "Intelligent predictive maintenance for fault diagnosis and prognosis in machine centers: Industry 4.0 scenario," *Advances in Manufacturing*, vol. 5, no. 4, pp. 377-387, 2017.
- [8] S. Hou, and Y. Li, "Short-term fault prediction based on support vector machines with parameter optimization by evolution strategy," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 10, pp. 12383-12391, 2009.
- [9] I. Santos, J. Nieves, Y. K. Peña, and P. G. Bringas, "Optimising Machine-Learning-Based Fault Prediction in Foundry Production," *Distributed Computing, Artificial Intelligence, Bioinformatics, Soft Computing, and Ambient Assisted Living Lecture Notes in Computer Science*, pp. 554-561, 2009.
- [10] Q. Zhu, Y. Jia, D. Peng, and Y. Xu, "Study and Application of Fault Prediction Methods with Improved Reservoir Neural Networks," *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 22, no. 7, pp. 812-819, 2014.
- [11] H.-Q. Wang, Y.-N. Cai, G.-Y. Fu, M. Wu, and Z.-H. Wei, "Data-driven fault prediction and anomaly measurement for complex systems using support vector probability density estimation," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 67, pp. 1-13, 2018.
- [12] Y. Bai, Z. Sun, B. Zeng, J. Long, L. Li, J. V. de Oliveira, and C. Li, "A comparison of dimension reduction techniques for support vector machine modeling of multi-parameter manufacturing quality prediction," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 30, no. 5, pp. 2245-2256, 2019.
- [13] Z. Zhang, Y. Wang, and K. Wang, "Intelligent fault diagnosis and prognosis approach for rotating machinery integrating wavelet transform, principal component analysis, and artificial neural networks," *The international journal of advanced manufacturing technology*, vol. 68, no.(1-4), pp.763-773, 2013.
- [14] İ. Kabasakal, F. Demircan Keskin, A. Koçak, and H. Soyuer. "A Prediction Model for Fault Detection in Molding Process Based On Logistic Regression Technique," in *Proceedings of the International Symposium for Production Research 2019, August 28-30, 2019. Wien, Austria.*
- [15] T. Wuest, D. Weimer, C. Irgens, and K. D. Thoben, "Machine learning in manufacturing: advantages, challenges, and applications," *Production & Manufacturing Research*, vol. 4, no. 1, pp. 23-45, 2016.
- [16] R. Malhotra. "Comparative analysis of statistical and machine learning methods for predicting faulty modules," *Applied Soft Computing*, vol. 21, pp. 286-297, 2014.
- [17] D. Thukaram, H. P. Khincha, and H. P. Vijaynarasimha, "Artificial neural network and support vector machine approach for locating faults in radial distribution systems," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 20, no. 2, pp. 710-721, 2005.
- [18] J. Wang, X. Wu, and C. Zhang, "Support vector machines based on K-means clustering for real-time business intelligence systems," *International Journal of Business Intelligence and Data Mining*, vol. 1, no. 1, pp. 54-64, 2005.
- [19] G. Rubio, H. Pomares, I. Rojas, and L. J. Herrera, "A heuristic method for parameter selection in LS-SVM: Application to time series prediction *International Journal of Forecasting*, vol. 27, no. 3, pp. 725-739, 2011.
- [20] S. B. Alvi, R. Martin, and J. Gottschling, "Efficient Use of Hybrid Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Combined with Nonlinear Dimension Reduction Method in Production Processes", *Computer Science & Information Technology (CS & IT)*, vol. 7, pp. 29-43, 2017.
- [21] M. W. Craven, and J. W. Shavlik, *Using neural networks for data mining*, Future generation computer systems, vol.13, no. (2-3), pp. 211-229, 1997.
- [22] A. Tavanaei, M. Ghodrati, S. R. Kheradpisheh, T. Masquelier, and A. Maida, "Deep learning in spiking neural networks," *Neural Networks*, vol. 111, pp. 47-63, 2018.
- [23] J. Han, J. Pei, and M. Kamber, "Data mining: concepts and techniques," Elsevier, 2011
- [24] S. B. Kotsiantis, I. D. Zaharakis, P. E. Pintelas, *Machine learning: a review of classification and combining techniques. Artificial Intelligence Review*, vol. 26, no. 3, pp. 159-190, 2006.
- [25] U. Orhan, M. Hekim, and M. Ozer, "EEG signals classification using the K-means clustering and a multilayer perceptron neural network model," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 10, pp. 13475-13481, 2011.
- [26] S. N. Oğulata, C. Şahin, and R. Erol, "Neural network-based computer-aided diagnosis in classification of primary generalized epilepsy by EEG signals," *Journal of medical systems*, vol. 33, no. 2, pp. 107-112, 2009.
- [27] J. E. King, "Binary logistic regression," in *Best Practices in Quantitative Methods*, J.W.Osborne, Ed., Sage Publications, USA, pp. 358-384, 2008.
- [28] F. S. De Menezes, G. R. Liska, M. A. Cirillo, and M. J. Vivanco, "Data classification with binary response through the Boosting algorithm and logistic regression," *Expert Systems with Applications*, vol. 69, pp. 62-73, 2017.
- [29] D. Lieber, M. Stolpe, B. Konrad, J. Deuse, and K. Morik, "Quality prediction in interlinked manufacturing processes based on supervised & unsupervised machine learning," *Procedia CIRP*, vol. 7, pp.193-198, 2013
- [30] H. Abdi, and L. J. Williams, "Principal component analysis," *Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics*, vol. 2, no. 4, pp. 433-459, 2010.
- [31] J. B. Tenenbaum, V. De Silva, and J. C. Langford, "A global geometric framework for nonlinear dimensionality reduction," *Science*, vol. 290.5500, 2319-2323, 2000.
- [32] T. Benkedjouh, K. Medjaher, N. Zerhouni, and S. Rechak, "Remaining useful life estimation based on nonlinear feature reduction and support vector regression," *Engineering Applications of Artificial Intelligence.*, 26(7), 1751-1760, 2013.
- [33] A. Diez-Olivan, J. Del Ser, D. Galar and B. Sierra, "Data fusion and machine learning for industrial prognosis: Trends and perspectives towards industry 4.0," *Information Fusion*, vol. 50, no. 92-111, 2019.

- [34] X. Gao and J. Hou, "An improved SVM integrated GS-PCA fault diagnosis approach of Tennessee Eastman process," *Neurocomputing*, vol. 174, pp. 906–911, 2016.
- [35] Z. Yin and J. Hou, "Recent advances on SVM based fault diagnosis and process monitoring in complicated industrial processes," *Neurocomputing*, vol. 174, pp. 643–650, 2016.
- [36] H. Lahdhiri, M. Said, K. B. Abdellafou, O. Taouali and M. F. Harkat, "Supervised process monitoring and fault diagnosis based on machine learning methods," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 102, no. (5-8), pp. 2321-2337, 2019.
- [37] W. Mao, L. He, Y. Yan, and J. Wang, "Online sequential prediction of bearings imbalanced fault diagnosis by extreme learning machine," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 83, pp. 450–473, 2017.
- [38] P. K. Kankar, S. C. Sharma and S. P. Harsha, "Fault diagnosis of ball bearings using machine learning methods," *Expert Systems with applications*, vol. 38, no. 3, pp. 1876-1886, 2011.
- [39] A. Kusiak and W. Li, "The prediction and diagnosis of wind turbine faults," *Renewable Energy*, vol. 36, no. 1, 16-23, 2011.
- [40] N. R. Sakthivel, B. B. Nair, M. Elangovan, V. Sugumaran, and S. Saravanmurugan, "Comparison of dimensionality reduction techniques for the fault diagnosis of mono block centrifugal pump using vibration signals," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 17, no.1, pp. 30-38, 2014.
- X. Jin, F. Yuan, T. W. Chow, and M. Zhao, "Weighted local and global regressive mapping: A new manifold learning method for machine fault classification," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 30, pp.118-128, 2014.
- [41] B. H. M. Sadeghi. "A BP-neural network predictor model for plastic injection molding process," *Journal of materials processing technology*, vol. 103, no. 3, pp. 411-416, 2000.
- [42] B. Ribeiro, "Support vector machines for quality monitoring in a plastic injection molding process. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 3 no. 3, pp. 401-410, 2005.
- [43] S. Kim, and S. Kim, K. R. Ryu, "Deep Learning Experiments with Skewed Data for Defect Prediction in Plastic Injection Molding," *IEEE/ACS 15th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*, October 2018, 1-2. IEEE.
- [44] S. Nasiri, and M. R. Khosravani, "Faults and failures prediction in injection molding process", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 103, no. (5-8), pp. 2469-2484, 2019.
- [45] S. Taghizadeh, A. Özdemir, and O. Uluer, "Warping prediction in plastic injection molded part using artificial neural network" *IJSTM*, 37(M2), 2013.
- [46] T. T. Wong, Performance evaluation of classification algorithms by k-fold and leave-one-out cross validation. *Pattern Recognition*, vol. 48, no. 9, pp. 2839-2846, 2015.

Eğitim Yapılarındaki Dersliklerin Mimari Akustik Açından Simülasyon Yöntemi ile Değerlendirilmesi: KTÜ Örneği

*¹Mustafa Kavraz, ²Öznur Kabil

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 61080, Trabzon, mkavraz@ktu.edu.tr, 

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 61080, Trabzon, oznurylz@hotmail.com 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 18.09.2019

Kabul Tarihi: 04.05.2020

Öz

Eğitim yapılarındaki dersliklerde hem eğitimcilerin hem de öğrencilerin sesleri optimum koşullarda algılayabilmeleri büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle dersliklerin akustik performansları göz önüne alınarak tasarlanması ve akustik performanslarının denetlenmesi gerekmektedir. Tasarım aşamasındaki akustik denetimler; ya ölçekli fiziksel modeller ya da bilgisayar ortamında sayısal modeller ile gerçekleştirilmektedir. İnşa süreci tamamlanmış olan mevcut mekanların akustik denetimleri ise; ya yerinde yapılan fiziksel ölçüm ya da bilgisayar sayısal modellerin simülasyonu ile gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma kapsamında, ODEON version 10 Software kullanılarak Peyzaj Mimarlığı PMD2 No'lu Derslik ile İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2-S01 No'lu Dersliğin akustik açıdan denetimi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle dersliklerin üç boyutlu sayısal modelleri SketchUp8 programında hazırlanmış, daha sonra modeller ODEON version 10 akustik simülasyon programına aktarılmıştır. Simülasyon işlemi sonucu sesin nesnel parametre değerleri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında, öncelikle sesin nesnel parametrelerinden RT, EDT, D₅₀ ve STI'ya ait veriler mevcut durum için değerlendirilmiştir. Daha sonra optimum değer aralıklar dışında kalan parametreler, dersliklerin yüzeylerindeki malzeme değişiklikleri ile optimum sınır aralıklarına getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: akustik simülasyon, derslik, tasarım, sesin nesnel parametreleri

Architectural Acoustic Evaluation Of Classrooms Educational Buildings: KTÜ Case

*¹Mustafa Kavraz, ²Öznur Kabil

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 61080, Trabzon, mkavraz@ktu.edu.tr

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 61080, Trabzon, oznurylz@hotmail.com

Abstract

The perception of sound in optimum conditions in classrooms in educational buildings has great importance for both educators and students. Therefore, classrooms should be designed considering acoustic performance and their acoustic performance should be controlled. Acoustic inspections in the design phase are carried out either by scale physical models or by numerical models in computer environment. The acoustic inspections of the existing spaces, where the construction process has been completed, are carried out either on-site physical measurements or simulation of computer numerical models. Within the scope of this study, the acoustic control of PMD2 Classroom and Class 2-S01 Faculty of Economics and Administrative Sciences was carried out using ODEON version 10 Software. Firstly, 3D numerical models of the classrooms were prepared in SketchUp8 program and then the models were transferred to ODEON version 10 acoustic simulation program. The objective parameter values of the sound were obtained as a result of the simulation process. Within the scope of the study, the data of the objective parameters of sound, RT, EDT, D₅₀ and STI were evaluated for the current situation. Then the parameters outside the optimum value ranges were brought to the optimum ranges by material changes on the surfaces of the classrooms.

Keywords: acoustic simulation, classroom, design, objective parameters of sound

1. GİRİŞ

İnsanların toplu etkinlikler gerçekleştirdikleri mekanlarda fiziksel konfor koşullarının sağlanması, gerçekleştirilen etkinliğin amacına ulaşması açısından önem taşımaktadır. Özellikle çok sayıda insanın birlikte faaliyet gerçekleştirdikleri mekanlarda, mekanın fonksiyonuna da bağlı olarak, sesin katılımcılar tarafından optimum koşullarda algılanmasının sağlanması fiziksel konfor koşulları açısından tasarımcıların karşısına bir sorun olarak çıkmaktadır. Bu sorunların yaşandığı en önemli mekanlardan biri de eğitim-öğretim faaliyetleri gerçekleştirilen dersliklerdir.

Mekanların akustik tasarımında; biçim, hacim ve yüzeylerde kullanılan malzemeler, dış ortamlardan gelen gürültüye karşı önlem almak için ise; duvar ve döşeme katmanlarında kullanılan malzemeler büyük önem taşımaktadır. Mekanların tasarımlarında sesin yayılımı açısından dikdörtgen tercih edilen bir biçimdir. Derslikler de genellikle dikdörtgen biçim olarak tasarlanmaktadır. İbüküye biçimlerin tercih edildiği durumlarda, sesin odaklanmasını önlemek amacıyla; ya yüzeyin yarıçapının uygun bir şekilde seçilmesi ya da yüzeyleri dağıtıcı olarak tasarlamak gerekmektedir. Derslikler, genellikle doğal sesin düzey olarak iletilmesinde güçlük yaşanmayacak büyüklüklere sahip olduklarından dolayı, genel olarak doğal sesin güçlendirilmesi için büyük mekanlarda gerekli olan özel yansıtıcı yüzeylerin tasarımına bu mekanlarda ihtiyaç duyulmamaktadır. Dikdörtgen mekanlardaki en önemli sorunlardan biri tekrarlayan ekodur. Bununla birlikte, duvarlarda ve tavanda kolon, giriş, pencere, kapı gibi girinti çıkıntı oluşturan yüzeyler ile dolap, raf gibi mobilyalar genellikle tekrarlayan ekonun oluşumunu engellemektedirler. Dersliklerde, çınlamanın önlenmesine dikkat etmek gerekmektedir. Bunun için mekan yüzeylerindeki malzeme seçimleri kritik öneme sahiptir. Mekandaki yansıtıcılık ve yutuculuk dengelenmesini hacme de bağlı olarak aşağı, orta ve yukarı frekanslarda optimum reverberasyon süresini sağlayacak şekilde gerçekleştirmek, buna bağlı olarak da malzeme seçiminde bulunmak gerekmektedir [1, 2].

Mekanlarda akustik koşulların optimum durumda olup olmadığının belirlenmesi; yerinde fiziksel ölçme, sayısal model (bilgisayar simülasyonu) ve ölçekli fiziksel model (maket) yöntemleri ile belirlenebilmektedir. Bilgisayar simülasyon ve maket modelleme yöntemleri, mekanın tasarım aşamasında da uygulanabilen yöntemlerdir. Belirtilen tüm yöntemler, bilimsel çalışmalarda farklı mekanların akustik koşullarının belirlenmesi açısından uygulanmaktadır.

Kavraz (2014) tarafından Trabzon Çarşı Camii için gerçekleştirilen çalışmada, caminin bilgisayar ortamında sayısal modeli oluşturularak akustik özellikleri simülasyon yöntemi ile belirlenmiştir [3]. Eggenschwiler (2006) tarafından yapılan çalışmada, İsviçre Wetzikon şehrinde yer alan Rudolf Steiner School (Waldorf School) binasındaki 12

sınıfın akustik konfor koşulları araştırılmıştır. Araştırmada; arka plan gürültü düzeyi, reverberasyon süresi (RT), ses iletim indeksi (STI) parametreleri ölçülmüş ve genel olarak uygun düzeylerde sonuçlar elde edilmiştir [4]. Awad vd., (2012) tarafından yapılan çalışmada, Mısır'ın İskenderiye kentindeki bir kamu ve iki özel üniversiteye ait eğitim alanlarının akustik performansları değerlendirilmiştir. Her sınıf için ölçülen ses seviyesi, arka plan gürültüsü, sinyal-gürültü oranı ve reverberasyon süresi (RT) değerleri Amerika Birleşik Devletleri'ndeki eğitim mekanlarının akustik özellikleri için Amerika Ulusal Standartlar Enstitüsü (ANSI) tarafından geliştirilen kriterler ile karşılaştırılmıştır [5]. Escobar ve Morillas (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Extremadura Üniversitesi'ndeki (Badajoz, İspanya) 17 oditoryum ve konferans salonunda sesin nesnel parametreleri üzerinden akustik performans değerlendirmeleri yapılmıştır. Değerlendirmeler; ölçülen arka plan gürültü seviyeleri, reverberasyon süreleri (RT), ses iletim indeksleri (STI) nesnel parametreleri için elde edilen sonuçlara göre gerçekleştirilmiştir [6]. Gürel (2007) yapmış olduğu çalışmada, İstanbul Oruçgazi İlköğretim Okulu'nda ölçme (iç mekanda sesin nesnel parametre değerleri) ve anket çalışması aracılığıyla mekanların akustik performans değerlendirmelerini yapmıştır. Çalışmada, seçilen okulun ilköğretim okulları için gerekli olan akustik performans kriterlerinden çoğunu sağladığı sonucuna ulaşmıştır [7]. Özçetin ve diğ. (2015) Bozok Üniversitesi Mimarlık Bölümü'ndeki ölçüm yöntemiyle elde ettikleri verilerle sınıfların akustik açıdan değerlendirmelerini gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra, sürdürülebilir malzemelerle iyileştirmeye yönelik önerilerini ise simülasyon yöntemiyle değerlendirmişlerdir. Başlangıçta, havada yayılan sese karşı yalıtımın sağlanamadığı durum yapı malzeme değişiklikleri ile sağlanır duruma getirilmiştir [8]. Karaman ve Üçkaya (2015) Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nde bulunan bir stüdyo ile dersliğe ait sesin nesnel parametre değerlerini ölçme yöntemiyle elde etmişlerdir. Buna ilave olarak, akustik koşulları öznel yöntemlerle de değerlendirmişlerdir. Daha sonra, elde edilen doğrultusunda iyileştirme çalışması yapmışlardır. Bu çalışmanın değerlendirilmesini ise nesnel parametreler aracılığı ile gerçekleştirmişlerdir [9]. Bulunuz ve diğ. (2017) akustik açıdan iyileştirme çalışması yapılan bir okulda, gürültü düzey ölçümleri gerçekleştirmişler ve anket çalışması yapmışlardır. Yapılan iyileştirme çalışmasının anlaşılabilirliği artırdığı ve genel olarak gürültü düzeyini azalttığı sonucuna ulaşmışlardır [10].

Bu çalışma kapsamında, Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampüsü'nde yer alan Peyzaj Mimarlığı Bölümü PMD2 No'lu ve İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2-SO1 No'lu Dersliklerin akustik özellikleri ODEON version 10 bilgisayar programında belirlenerek mevcut durum için akustik sorunlar ortaya konulmuş ve sonraki süreçte bu sorunlar çözülmüştür.

2. MALZEME VE YÖNTEM

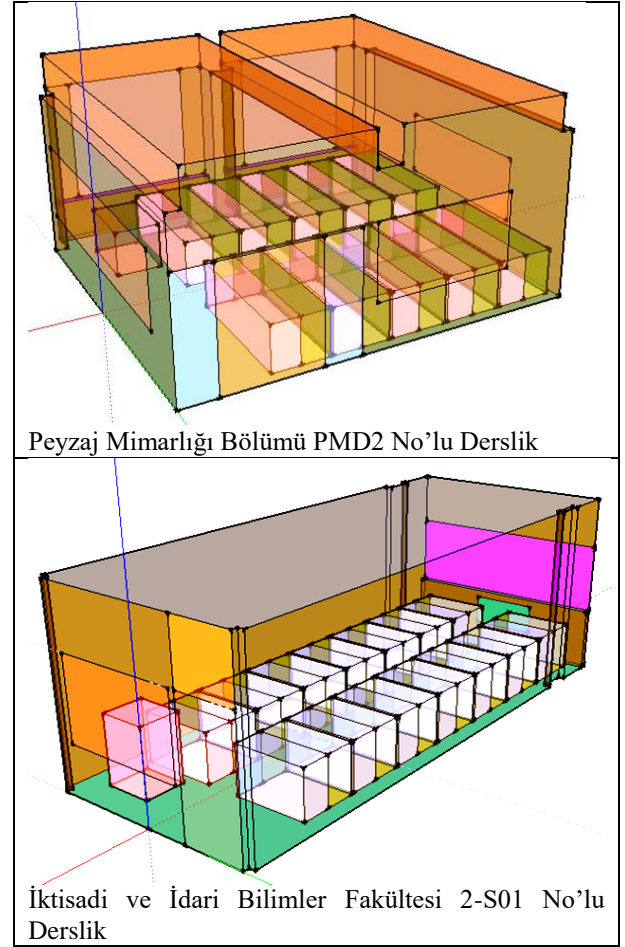
Çalışma kapsamında, öncelikle rolöveleri alınan dersliklerin üç boyutlu modelleri SketchUp8 yazılımında hazırlanmıştır.

Sonraki süreçte, hazırlanan bu modeller simülasyonun gerçekleştirileceği Odeon version 10 programına aktarılmıştır.

Boyu: 6,87 m, eni: 6,50 m, yüksekliği: 3,50 m ve hacmi: 161 m³ olan Peyzaj Mimarlığı Bölümü PMD2 No'lu Derslik 40 kişi kapasitesinde olup, kişi başına yaklaşık 4 m³ hacim düşmektedir. Formu kare prizmaya yakın olan dersliğin zemini mermer kaplıdır. Duvarların ve tavanın yüzeyleri ise sıva üzerine boya kaplıdır. Dersliğin boyu doğrultusunda; koridor duvarında iki yanda cam sabitleri bulunan ahşap bir kapı ve pano, dış cephe duvarında ise kolonlar arasında pencere yer almaktadır. Eni doğrultusundaki duvarların birinde yazı tahtası, diğerinde ise bir adet pano bulunmaktadır. Şekil 1'de, PMD2 No'lu Dersliğe ait üç boyutlu model yer almaktadır.

Boyu: 8,90 m, eni: 3,55 m, yüksekliği: 3,05 m ve hacmi: 90 m³ olan İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2-S01 No'lu Derslik 28 kişi kapasitesinde olup, derslikte kişi başına yaklaşık 3,21 m³ hacim düşmektedir. Dikdörtgen prizma formundaki dersliğin zemini seramik kaplıdır. Duvarların ve tavanın yüzeyleri sıva üzerine boya kaplıdır. Dersliğin eni doğrultusunda; dış cephe duvarında pencere, koridor duvarında ise üst kısmında cam yer alan bir adet ahşap kapı ve yazı tahtası bulunmaktadır. Şekil 1'de, 2-S01 No'lu Dersliğe ait üç boyutlu model yer almaktadır.

Dersliklerin iç mekan yüzeylerinde kullanılan malzemeler Tablo 1 ve Tablo 3'de yer almaktadır. Optimum değer aralıklarında elde edilemeyen sesin nesnel parametre değerlerinin, optimum aralıklarda elde edilebilmeleri için yapılan iyileştirme çalışmasında değiştirilen malzemeler ise Tablo 2 ve Tablo 4'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Dersliklerin ODEON version 10 için hazırlanan modelleri

Tablo 1. Peyzaj Mimarlığı PMD2 No'lu Dersliğinin iç mekan yüzeylerinde kullanılan malzemeler ve 63-8000 Hz oktav bant frekans aralığındaki ses yutma katsayıları

NO	Yüzey	Malzeme Kodu	Malzeme	Ses yutma Katsayıları							
				63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1	Tavan	102*	B.A.+Sıva+Boya	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
2	Duvarlar	1001*	Tuğla+Sıva+Boya	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.07
3	Dinleyici	11007*	Öğrenci	0.72	0.72	0.8	0.86	0.89	0.90	0.90	0.90
4	Pencere	10003*	Çift cam	0.10	0.10	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02
5	Öğrenci Masası	3004*	Ahşap	0.15	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07	0.07
6	Kapı	10007*	Ahşap	0.14	0.14	0.1	0.06	0.08	0.10	0.10	0.10
7	Kapı (Cam)	10001*	Tek cam	0.18	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02
8	Yazı Tahtası	14306**	Yansıtıcı yüzey	0.20	0.12	0.10	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
9	Kalorifer Peteği	5000*	Metal	0.40	0.30	0.25	0.20	0.10	0.10	0.15	0.15
10	Denizlik	2001*	Mermer	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
11	Pano	14309**	Açık örgü kumaş	0.35	0.35	0.7	0.90	0.90	0.95	0.90	0.90
12	Zemin Döşemesi	2001*	Mermer	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02

Tablo 2. Peyzaj Mimarlığı PMD2 No'lu Dersliğin iyileştirme çalışması için değiştirilen malzemeler ve 63-8000 Hz oktav bant frekans aralığındaki ses yutma katsayıları

NO	Yüzey	Malzeme Kodu	Malzeme	Ses yutma Katsayıları							
				63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1	Tavan	14302	Taş yünü karo levha	0.28	0.29	0.33	0.53	0.73	0.86	0.92	0.92
2	Duvarlar	7001	Alçı sıva	0.03	0.03	0.09	0.25	0.31	0.33	0.44	0.44
12	Zemin	7004	Halı	0.02	0.02	0.06	0.14	0.37	0.6	0.65	0.65
13	Ön, Arka ve Yan Duvarlar	4045	Alçıpan panel	0.28	0.28	0.12	0.10	0.17	0.13	0.09	0.09
14	Aydınlatma Elemanı	14306	Sıva altı aydınlatma armatürü	0.2	0.12	0.10	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02

Tablo 3. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2-S01 No'lu Dersliğinin iç mekan yüzeylerinde kullanılan malzemeler ve 63-8000 Hz oktav bant frekans aralığındaki ses yutma katsayıları

NO	Yüzey	Malzeme Kodu	Malzeme	Ses yutma Katsayıları							
				63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1	Pencere	10001*	Tek cam	0.18	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02
2	Yazı Tahtası	3004*	Ahşap	0.15	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07	0.07
3	Kürsü	3004*	Ahşap	0.15	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07	0.07
4	Dinleyici	11007*	Öğrenci	0.72	0.72	0.8	0.86	0.89	0.90	0.90	0.90
5	Tavan	102*	BA+Sıva+Boya	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
6	Öğrenci Masası	3004*	Ahşap	0.15	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07	0.07
7	Denizlik	2001*	Mermer	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
8	Kapı 1	10007*	Ahşap	0.14	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.10
9	Kapı 2	10002*	3mm cam	0.08	0.08	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
10	Kalorifer Peteği	5000*	Metal	0.40	0.30	0.25	0.20	0.10	0.10	0.15	0.15
11	Duvarlar	1001*	Tuğla+Sıva	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.07
12	Zemin Döşemesi	14307**	Seramik	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02

Tablo 4. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2-S01 No'lu Dersliğin iyileştirme çalışması için değiştirilen malzemeler ve 63-8000 Hz oktav bant frekans aralığındaki ses yutma katsayıları

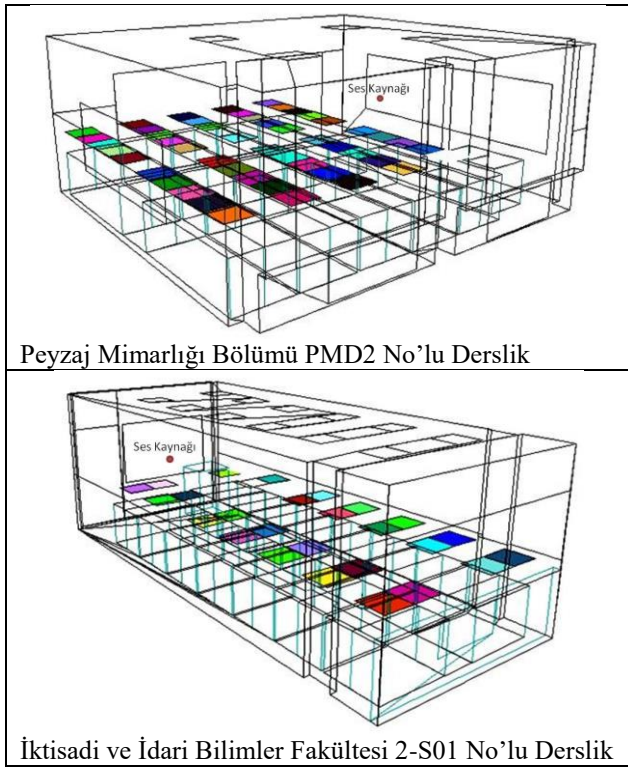
NO	Yüzey	Malzeme Kodu	Malzeme	Ses yutma Katsayıları							
				63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
5	Tavan	14302	Taş yünü karo levha	0.28	0.29	0.33	0.53	0.73	0.86	0.92	0.92
11	Duvarlar	7001	Alçı sıva	0.03	0.03	0.09	0.25	0.31	0.33	0.44	0.44
12	Zemin Döşemesi	7004	Halı	0.02	0.02	0.06	0.14	0.37	0.6	0.65	0.65
13	Aydınlatma Elemanı	14306	Sıva altı aydınlatma armatürü	0.20	0.12	0.10	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
14	Sol Yan Duvar	3004	Ahşap	0.15	0.15	0.11	0.1	0.07	0.06	0.07	0.07

* : Odeon V10 programının kütüphanesinden seçilen malzemedir [11].

** : [12]

Simülasyon sürecinde, öncelikle SketchUp8'de hazırlanan üç boyutlu modeller Odeon version 10 simülasyon programına aktarılmış ve denetim süreci başlatılmıştır. Odeon version 10'da modellerin yüzeylerine genel malzeme atamaları yapılarak yüzeylerin birleşim hatalarının denetimi gerçekleştirilmiş ve sorunlu birleşimler yeniden düzenlenmiştir. Daha sonra, modellerin yüzeylerine malzeme atamaları gerçekleştirilmiştir. Programda yer alan

hesap parametrelerine ait değerlerin atamalarının yapılmasından sonra, program koşutularak sesin nesnel parametrelerine ait değerler elde edilmiştir [13]. Programda ses kaynakları ve alıcıların konumlarının atama işlemleri de gerçekleştirilmiştir. Ses kaynakları, aks eksenleri üzerinde konumlandırılmış ve zemin kotlarından 1.50 m. yüksekliğe yerleştirilmiştir. Alıcılar ise, plan düzlemlerinde 0.50x0.50 m. gridler olarak tanımlanmışlar ve zeminden 1.20 m. üst kota yerleştirilmişlerdir (Şekil 2).



Şekil 2. Dersliklerdeki ses kaynakları ve alıcıların konumları

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Odeon version 10 ile yapılan simülasyon işlemleri sonucunda elde edilen sesin nesnel parametre değerleri, öncelikle dersliklerin hacimlerine de bağlı olarak elde edilen optimum değer aralıkları ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra, optimum değer aralıkları dışındaki değerlerin optimum aralıklarda elde edilebilmeleri için dersliklerin yüzeylerinde malzeme değişiklikleri yapılmıştır.

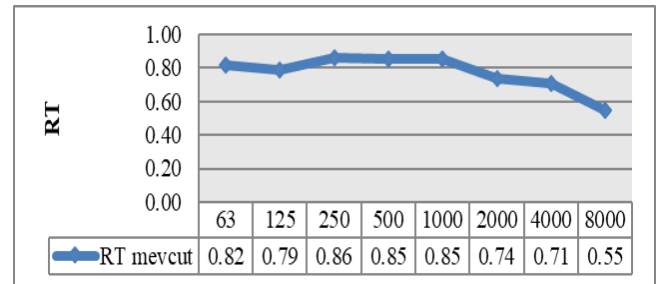
3.1. Peyzaj Mimarlığı PMD2 No'lu Dersliğin Mevcut Durumu için Elde Edilen Sesin Nesnel Parametrelerinin Değerlendirilmesi

Peyzaj Mimarlığı PMD2 No'lu Dersliğin akustik konfor koşullarının incelenmesi için kullanılan sesin nesnel parametrelerine ait optimum değer aralıkları, mekanın mevcut durumu ve iyileştirme çalışması doğrultusunda yapılan malzeme değişikliklerinden sonraki durumu için Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Peyzaj Mimarlığı PMD2 No'lu Dersliğin mevcut ve malzeme değişikliğinden sonraki durumu için sesin nesnel parametrelerine ait optimum değer aralıkları [14], [15], [16], [17], [18]

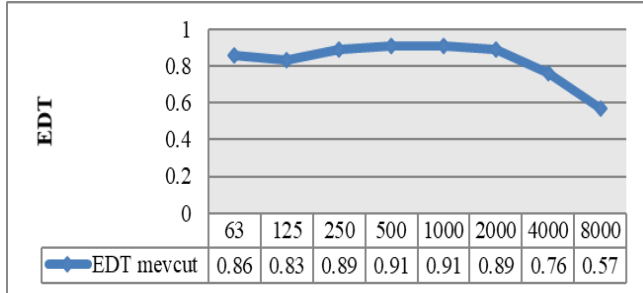
Hacim Akustiği Parametresi	Peyzaj Mimarlığı PMD2 No'lu Derslik	Optimum (minimum)					Optimum (maksimum)
RT	Mevcut	0,35					0,55
	Malzeme değişikliği	0,32					0,52
EDT _{mid}	Mevcut	0,185					0,405
	Malzeme değişikliği	0,152					0,372
D ₅₀	Her iki durum için	0,50 ≤					
STI	Her iki durum için	0-0.3	0.3-0.45	0.45-0.6	0.6-0.75	0.75-1.0	
		Kötü	Zayıf	Orta	İyi	Mükemmel	

3.1.1. Reverberasyon Süresi (RT): Dersliğin mevcut durumu için RT değeri 500 Hz'de (orta frekans bölgesi) 0,77 sn. olarak elde edilmiştir (Şekil 3). Küçük hacimli mekan kapsamında incelenen ve 163 m³ hacme sahip olan dersliğin, orta frekans bölgesindeki optimum RT değeri 0,35 ile 0,55sn. aralığındadır (Tablo 5). Belirtilen değer aralıklarına göre, RT değeri optimum düzeyin üzerinde elde edilmiştir.



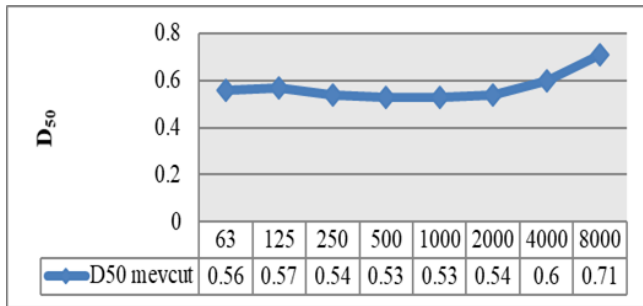
Şekil 3. Oktav band frekanslarda elde edilen RT değerleri

3.1.2. Erken Düşme Süresi (EDT): Dersliğin mevcut durumu için EDT değeri, 500 Hz'de (orta frekans bölgesi) 0,91 sn. olarak elde edilmiştir (Şekil 4). Optimum EDT değeri ise, orta frekans bölgesinde 0,185 ile 0,405 sn. aralığındadır (Tablo 5). Belirtilen değer aralığına göre, dersliğin mevcut durumu için EDT değeri optimum düzeyin üzerinde elde edilmiştir.



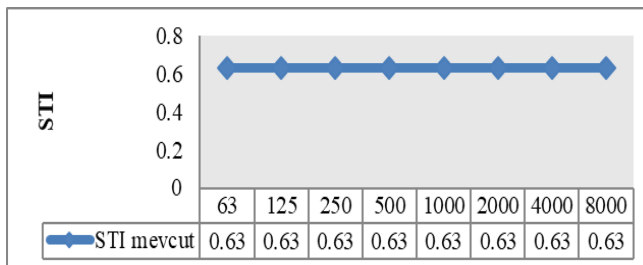
Şekil 4. Oktav band frekanslarda elde edilen EDT değerleri

3.1.3. Konuşmanın Belirginliği (D₅₀): Dersliğin mevcut durumu için D₅₀ değeri 0,53 olarak elde edilmiştir (Şekil 5). Bu değer D₅₀ optimum alt sınır değerinin üzerindedir. Dersliğin mevcut durumu için %50'nin üzerinde olan D₅₀ parametresine göre, konuşmanın belirginliğinin yeterli düzeyde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5. Oktav band frekanslarda elde edilen D₅₀ değerleri

3.1.4. Ses İletim İndeksi (STI): Dersliğin mevcut durumu için STI değeri 0,63 olarak elde edilmiştir (Şekil 6). Elde edilen STI, anlaşılabilirliğin iyi düzeyde olduğu 0,60 ile 0,75 değer aralığındadır (Tablo 5).



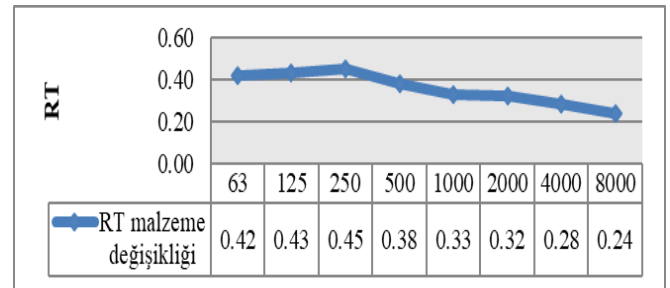
Şekil 6. Oktav band frekanslarda elde edilen STI değerleri

3.2. Peyzaj Mimarlığı PMD2 No'lu Derslik için İyileştirme Çalışması

Peyzaj Mimarlığı PMD2 No'lu Derslik için elde edilen RT ve EDT değerlerini optimum düzeylere, D₅₀ ve STI değerlerini daha iyi düzeylere getirmek amacıyla mekan

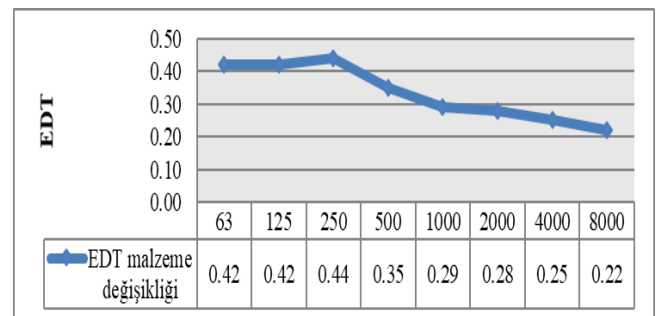
yüzeylerinde bazı malzeme değişiklikleri yapılmıştır. Malzeme değişikliğinde, döşemede: alçak frekanslardan yüksek frekanslara doğru ses yutuculukları giderek artış gösteren halı kaplama, tavanda: taş yünü karo levhalar, duvarlarda: alçı sıva kullanılmıştır. Arka ve yan duvarlarda: yerden başlayarak 90 cm yukarıya kadar alçıpan paneller kullanılmıştır. Tavanda kullanılan taş yünü asma tavan uygulaması ile uyumlu şekilde, sıva altı aydınlatma armatürleri kullanılmıştır (Tablo 2). İyileştirme çalışması kapsamında, PMD2 No'lu Dersliğin Sketchup 8 programı ile yeniden modellenmesi yapılmış ve ODEON v10 programında simülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sesin nesnel parametre değerlerine göre sonuçlar tekrar değerlendirilmiştir.

3.2.1. Reverberasyon Süresi (RT): Malzeme değişiklikleri ile meydana gelen tavan formundaki değişiklik sonucunda mekanın hacmi 127 m³'e düşmüştür. Bu hacme sahip bir mekandaki optimum RT değer aralığı 0,32 ile 0,52 sn.'dir (Tablo 5). Bu değer aralığına göre, malzeme değişiklikleri sonrasında RT değeri 0,38 sn. ile optimum düzeyde elde edilmiştir (Şekil 7).



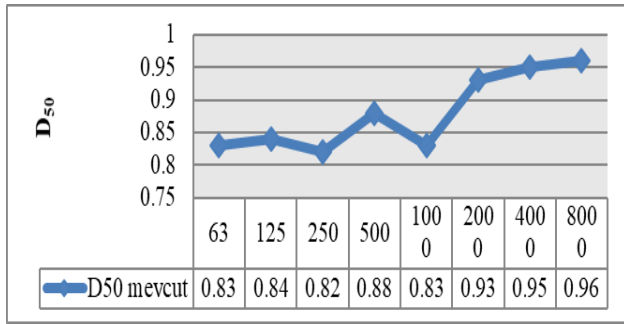
Şekil 7. Oktav band frekanslarda elde edilen RT değerleri

3.2.2. Erken Düşme Süresi (EDT): Derslik için malzeme değişikliklerinden sonraki optimum EDT değeri 0,152 ile 0,372 sn. aralığındadır (Tablo 5). Dersliğin mevcut durumu için optimum değer aralığında olmayan EDT değeri (0,91 sn.), malzeme değişikliğinden sonra 0,35 sn. ile optimum düzeyde elde edilmiştir (Şekil 8).



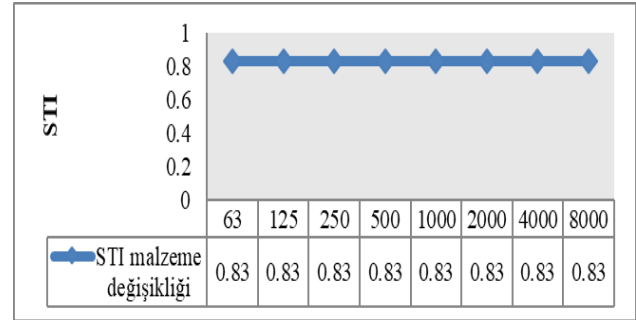
Şekil 8. Oktav band frekanslarda elde edilen EDT değerleri

3.2.3. Konuşmanın Belirginliği (D₅₀): Malzeme değişikliklerinden sonra elde edilen D₅₀ değerinde (0,88), mevcut durumdaki D₅₀ değerine (0,53) göre artış meydana gelmiştir (Şekil 9). Değişiklik sonrasında, derslik için konuşmanın belirginliğinin mevcut duruma göre çok daha iyi olduğu belirlenmiştir.



Şekil 9. Oktav band frekanslarda elde edilen D50 değerleri

3.2.4. Ses İletim İndeksi (STI): Derslikte yapılan malzeme değişikliklerinden sonra STI değeri (0,83), anlaşılabilirliğin mükemmel düzeyde olduğu 0,75 ile 1,00 değer aralığında elde edilmiştir (Şekil 10). Bu, mevcut durumdaki STI'dan (0,63) çok daha yüksektir.



Şekil 10. Oktav band frekanslarda elde edilen STI değerleri

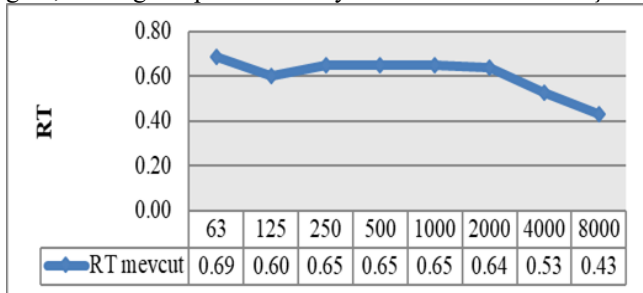
3.3. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2-S01 No'lu Dersliğin Mevcut Durumu için Elde Edilen Sesin Nesnel Parametrelerinin Değerlendirilmesi

İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2-S01 No'lu Dersliğindeki akustik konfor koşullarının incelenmesi amacıyla kullanılan sesin nesnel parametrelerine ait optimum değer aralıkları, mekanın mevcut durumu ve iyileştirme çalışması doğrultusunda yapılan malzeme değişikliklerinden sonraki durumu için Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2-S01 No'lu Dersliğin mevcut ve malzeme değişikliğinden sonraki durumu için sesin nesnel parametrelerine ait optimum değer aralıkları [14], [15], [16], [17], [18]

Hacim Akustiği Parametresi	İktisadi ve İdari Bilimler Fak. 2-S01 No'lu Derslik	Optimum (minimum)				Optimum (maksimum)
RT	Mevcut	0,31				0,51
	Malzeme değişikliği	0,31				0,51
EDT _{mid}	Mevcut	0,141				0,361
	Malzeme değişikliği	0,141				0,361
D ₅₀	Her iki durum için	0,50 ≤				
STI	Her iki durum için	0-0.3	0.3-0.45	0.45-0.6	0.6-0.75	0.75-1.0
		Kötü	Zayıf	Orta	İyi	

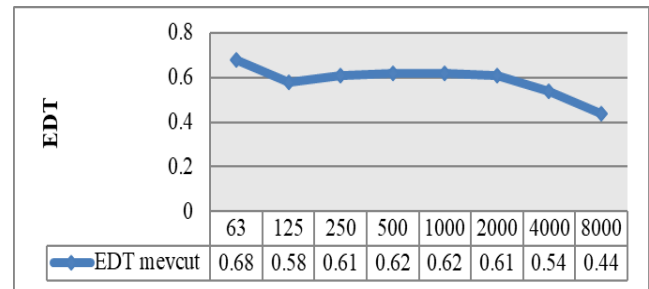
3.3.1. Reverberasyon Süresi (RT): Dersliğin mevcut durumu için RT değeri 500 Hz'de (orta frekans bölgesi) 0,65 sn. olarak elde edilmiştir (Şekil 11). Küçük hacimli mekan kapsamında incelenen ve 90 m³ hacme sahip olan dersliğin, orta frekans bölgesindeki optimum RT değeri 0,31 ile 0,51sn. aralığındadır (Tablo 6). Belirtilen değer aralıklarına göre, RT değeri optimum düzeyin üzerinde elde edilmiştir.



Şekil 11. Oktav band frekanslarda elde edilen RT değerleri

3.3.2. Erken Düşme Süresi (EDT): İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2-S01 No'lu Dersliğinin mevcut durumu

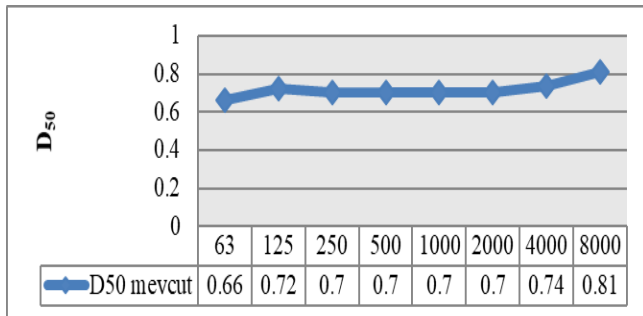
için EDT değeri, 500 Hz'de (orta frekans bölgesi) 0,62 sn. olarak elde edilmiştir (Şekil 12). Optimum EDT değeri ise, orta frekans bölgesinde 0,141 ile 0,361 sn. aralığındadır (Tablo 6). Belirtilen değer aralığına göre, dersliğin mevcut durumu için EDT, optimum düzeyin üzerinde elde edilmiştir.



Şekil 12. Oktav band frekanslarda elde edilen EDT değerleri

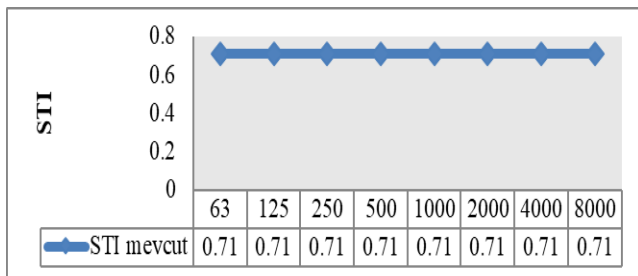
3.3.3. Konuşmanın Belirginliği (D₅₀): Dersliğin mevcut durumu için D₅₀ değeri 0,70 olarak elde edilmiştir (Şekil 13). Bu değer, D₅₀ optimum alt sınır değerinin üzerindedir.

Dersliğin mevcut durumu için %50'nin üzerinde olan D_{50} parametresine göre, konuşmanın belirginliğinin yeterli düzeyde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 13. Oktav band frekanslarda elde edilen D_{50} değerleri

3.3.4. Ses İletim İndeksi (STI): İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2-S01 No'lu Dersliğin mevcut durumu için STI değeri 0,71 olarak elde edilmiştir (Şekil 14). Elde edilen STI değeri, anlaşılabilirliğin iyi düzeyde olduğu 0,60 ile 0,75 değer aralığındadır (Tablo 6).

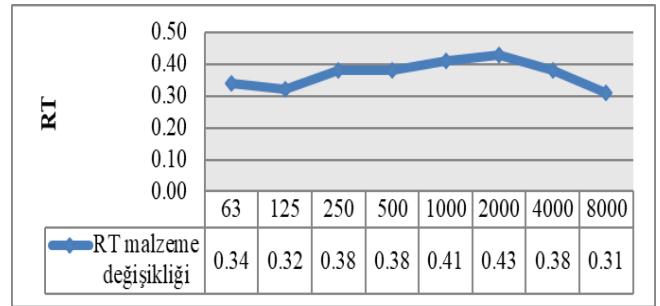


Şekil 14. Oktav band frekanslarda elde edilen STI değerleri

4.4. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2-S01 No'lu Derslik için İyileştirme Çalışması

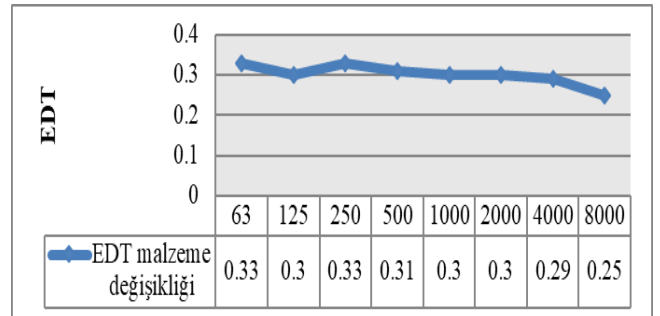
İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2-S01 No'lu Dersliği için elde edilen RT ve EDT değerlerini optimum düzeylere getirmek amacıyla, mekan yüzeylerinde bazı malzeme değişiklikleri yapılmıştır. Malzeme değişikliklerinde, alçak frekanslardan yüksek frekanslara doğru ses yutuculukları giderek artış gösteren; zeminde: halı kaplama, tavanda: taş yünü karo levhalar ve duvarlarda: alçı sıva kullanılmıştır. Yan duvarlarda: yerden 90 cm yukarıdan başlayarak tavan yüzeyine kadar ahşap malzeme kullanılmıştır. Tavanda kullanılan taş yünü asma tavan uygulaması ile uyumlu şekilde sıva altı aydınlatma armatürleri kullanılmıştır (Tablo 4). İyileştirme çalışması kapsamında, 2-S01 No'lu Dersliğin Sketchup 8 programı ile yeniden modellemesi yapılmış ve ODEON V10 programında simülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sesin nesnel parametre değerlerine göre sonuçlar tekrar değerlendirilmiştir.

3.4.1. Reverberasyon Süresi (RT): İyileştirme çalışması kapsamında, mekanın hacminde herhangi bir değişiklik meydana gelmemiştir. Bu nedenle, optimum RT değerleri mevcut durumdaki gibi 0,31 ile 0,51 sn. aralığında kalmıştır (Tablo 6). Bu değer aralığına göre, malzeme değişiklikleri sonucunda RT değeri 0,38 sn. ile optimum düzeyde elde edilmiştir (Şekil 15).



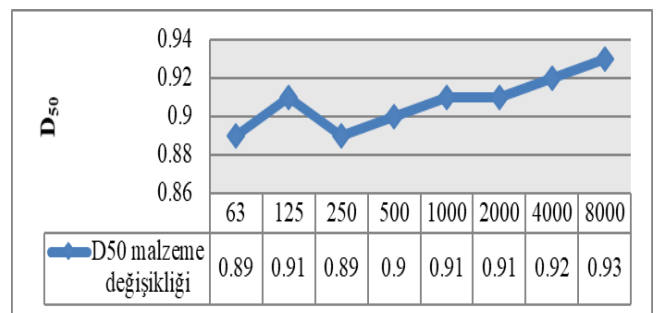
Şekil 15. Oktav band frekanslarda elde edilen RT değerleri

3.4.2. Erken Düşme Süresi (EDT): Derslik için malzeme değişikliklerinden sonraki optimum EDT değeri mevcut durumdaki gibi 0,141 ile 0,361 sn. aralığındadır (Tablo 6). Dersliğin mevcut durumu için optimum değer aralıklarında olmayan EDT değeri (0,62 sn.), malzeme değişikliklerinden sonra 0,31 sn. ile optimum düzeyde elde edilmiştir (Şekil 16).



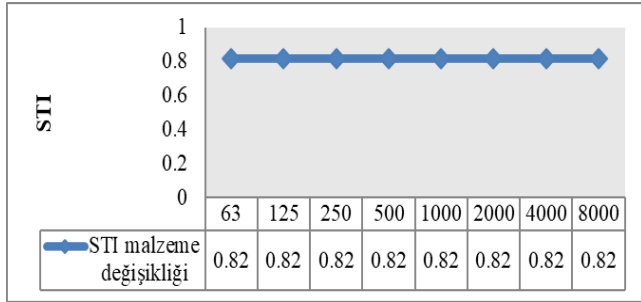
Şekil 16. Oktav band frekanslarda elde edilen EDT değerleri

3.4.3. Konuşmanın Belirginliği (D_{50}): Malzeme değişikliklerinden sonra elde edilen D_{50} değerinde (0,90), mevcut durumdaki D_{50} değerine (0,70) göre artış meydana gelmiştir (Şekil 17). Değişiklik sonrasında, derslik için konuşmanın belirginliğinin mevcut duruma göre çok daha iyi olduğu belirlenmiştir.



Şekil 17. Oktav band frekanslarda elde edilen D_{50} değerleri

3.4.4. Ses İletim İndeksi (STI): Derslikte yapılan malzeme değişikliklerinden sonra STI değeri (0,82), anlaşılabilirliğin mükemmel düzeyde olduğu 0,75 ile 1,00 aralığında elde edilmiştir (Şekil 18). Bu, mevcut durumdaki STI değerinden (0,71) daha yüksektir.



Şekil 18. Oktav band frekanslarda elde edilen STI değerleri

4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında, KTÜ Peyzaj Mimarlığı'ndaki PMD2 No'lu Derslik ile İktisadi ile İdari Bilimler Fakültesi'ndeki 2-S01 No'lu Derslik akustik açıdan değerlendirilmiş ve iyileştirme çalışması yapılmıştır. Değerlendirme, sesin nesnel parametrelerine bağlı olarak gerçekleştirilmiştir.

PMD2 No'lu Derslikte, mevcut durumdaki RT değeri 0,77 sn., EDT değeri 0,91 sn., D_{50} değeri 0,53 ve STI değeri 0,63 olarak elde edilmiştir. D_{50} ve STI değerleri optimum aralıkta elde edilirken, RT ve EDT değerleri optimum aralığın oldukça üzerinde bulunmuştur. İyileştirme çalışması kapsamında, mekandaki yutuculuk etkisi artırılacak şekilde yüzeylerde malzeme değişiklikleri yapılmıştır. Değişiklik sonrası; RT değeri 0,38 sn., EDT değeri 0,35 sn., D_{50} değeri 0,88 ve STI değeri 0,83 olarak elde edilmiştir.

2-S01 No'lu Derslikte, mevcut durumdaki RT değeri 0,65 sn., EDT değeri 0,62 sn., D_{50} değeri 0,70 ve STI değeri 0,71 olarak elde edilmiştir. Bu derslikte de D_{50} ve STI değerleri optimum aralıkta elde edilirken, RT ve EDT değerleri optimum aralığın üzerinde bulunmuştur. İyileştirme çalışması kapsamında, bu mekandaki yutuculuk etkisi de artırılacak şekilde yüzeylerde malzeme değişiklikleri yapılmıştır. Değişiklik sonrası; RT değeri 0,38 sn., EDT değeri 0,31 sn., D_{50} değeri 0,90 ve STI değeri 0,82 olarak elde edilmiştir.

Bu durumda, her iki iyileştirme çalışması sonucunda da RT ve EDT değerleri optimum düzeylere getirilirken, optimum düzeylerde olan D_{50} ve STI değerleri sesin algılanışı açısından daha da iyi düzeylere getirilmiştir.

NOT: Bu çalışma, 2009.120.001.1 No'lu Proje kapsamında KTÜ - BAP Birimi tarafından desteklenmiştir. Aynı zamanda, KTÜ Mimarlık Anabilim Dalında "Eğitim Yapılarındaki İç Mekanların Bilgisayar Simülasyon Yöntemi ile Akustik Açısından İncelenmesi, Değerlendirilmesi ve Düzenlenmesi: KTÜ Örneği" isimli Yüksek Lisans Tezi kapsamında yapılmıştır.

KAYNAKÇA

[1]. M. Kavraz, Salonların Mimari ve Akustik Açısından

Tasarım Süreçleri-Gürültü Kontrolü, Ankara: Gece Akademi, 2019.

[2]. R. Abdülrahimov, Salonların Akustiği ve Tasarımı, Trabzon, 1998.

[3]. M. Kavraz, The acoustic characteristics of the Çarşı Mosque in Trabzon, Turkey, Indoor and Built Environment, vol.25 (1), pp. 1-9, June 2014.

[4]. K. Eggenschwiler, "Room Acoustic of Classroom with Different Shapes", Euronoise 2006, Tampere, Finland, 2006.

[5]. H.Awad, H. Farag, D.Taha, M. Hanafi, Architectural Acoustic in Educational Facilities: An Empirical Study on University Classrooms in Egypt, The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 132 (3), 2012.

[6]. V. E. Gomez, J.M. Barrigon. Analysis of intelligibility and reverberation time recommendations in educational rooms, Applied Acoustics, vol. 96, pp. 1-10, September 2015.

[7]. Gürel Nihan, "İlköğretim okullarının akustik açıdan incelenmesi: İstanbul'da bir ilköğretim okulu örneği", Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.

[8]. Z. Özçetin, F. Demirel, S. Pektaş, M. Eminel, "Eğitim Yapılarında Sürdürülebilir Malzeme ve Akustik Konfor Koşullarının Sağlanmasına Yönelik Bir Çalışma", International Sustainable Buildings Symposium, pp. 314-317, Ankara, 2015.

[9]. Ö. Y. Karaman, N. B. Üçkaya, "Eğitim mekanlarında akustik konfor: Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi örneği", Megaron, vol. 10(4), ss. 503-521, 2015.

[10]. M. Bulunuz, N. Bulunuz, J. K. Tuncal, "Akustik iyileştirme yapılmış bir okulda gürültü düzeyinin değerlendirilmesi", Eğitimde Kuram ve Uygulama, vol. 13(4), ss. 637-658, 2017.

[11]. C. L. Christensen, Odeon Room Acoustics Program, Version 10, Denmark: Brüel & Kjaer, 2009.

[12]. URL: <http://www.ptb.de/en/org/1/16/163/datenbank.htm> Sound Absorber Materials (Erişim zamanı; Aralık, 15, 2011).

[13]. M. Kavraz, "The effect of sound diffusers on the objective parameters of sound: The Multipurpose Hall of Sultanbeyli Cultural Center", American Journal of Scientific Research, Issue 57, pp. 37-46, 2012.

[14]. Ş. Sirel, Hacim Akustiğinde Yansıma Süresi, İstanbul: Yapı Fiziği Bilim Dalı Yayınları, İDMMA Basımevi, 1981.

[15]. A.C. Gade, "Acoustical Survey of Eleven European Concert Halls" Technical University of Denmark, The Acoustics Laboratory, Report No 44, (1989).


[16]. M. Barron, Auditorium Acoustics and Architectural Design. London: E & FN Spon, 1993.

[17]. H. Kuttruff, Room Acoustics, New York: Elsevier Science Publishing, 1991.

[18]. M. Long, Architectural Acoustics, New York: Elsevier Inc., 2006.

Alaşehir (Manisa) Bölgesi Traverten Atıklarının Yol Alttemel ve Temel Tabakalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması

*¹Murat Süer, ²Ferit Yakar

¹Milli Savunma Üniversitesi, Hava Astsubay Meslek Yüksek Okulu Müdürlüğü, İzmir, Türkiye, suermurat@hotmail.com, 

²Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tokat, Türkiye, ferit.yakar@gop.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 29.09.2019

Kabul Tarihi: 04.05.2020

Öz

Bu çalışmada Alaşehir (Manisa) bölgesi traverten atıklarının fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edilerek, yol üstyapısında alttemel ve temel malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Araştırma kapsamında traverten atıklarına, Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) 2013'de yer alan alttemel ve temel malzeme özelliklerine ait deneyler uygulanmıştır. Bu deneyler; elek analizi, MgSO₄ ile yapılan hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi, Los Angeles aşınma deneyi, yassılık indeksi deneyi, kaba ve ince agregada su emme deneyi, likit limit ve plastik limit deneyi, NaOH ile yapılan organik madde deneyi, metilen mavisi deneyi, kil topağı ve dağılabilen tane oranı deneyi, proktor ve CBR deneyleridir. Ayrıca traverten atığı malzemenin birim kilometre nakliye bedeli de hesaplanarak maliyet açısından kırmataş malzemeye göre etkin kullanılabilir mesafesi hesaplanmıştır. Sonuçta; traverten atıklarının, KTŞ 2013 standartlarını sağlayarak, alttemel ve temel malzemesi olarak kullanılabilirliği görülmüştür. Ayrıca atıklar için bir bedel ödenmediği takdirde belli mesafeye kadar maliyet etkin olduğu ve atıkların yol üstyapısında kullanılmasının taş ocaklarının çevreye vermiş olduğu zararlı etkiyi bir nebze azaltacağı ve böylelikle ülke ekonomisine ve doğal dengeye ilave bir katkı sağlayacağı kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Traverten Atıkları, Alt-temel, Temel, Agregata

Investigation of the Usability of Travertine Wastes in Alaşehir (Manisa) Region on Road Subbase and Base Layers

*¹Murat Süer, ²Ferit Yakar

¹National Defense University, Air Forces NCO Vocational School, İzmir, Turkey, suermurat@hotmail.com,

²Tokat Gaziosmanpaşa University, Civil Engineering Department, Tokat, Turkey, ferit.yakar@gop.edu.tr,

Abstract

In this study, physical and mechanical properties of travertine wastes in Alaşehir (Manisa) region were determined and their usability as sub-base and base material was investigated. Within the scope of the research, experiments related to the sub-base and base material properties in the Technical Specifications of Highways (TSH) 2013 were applied to the travertine wastes. These experiments; sieve analysis, weather resistance test with MgSO₄, Los Angeles abrasion test, flatness index test, water absorption test in coarse and fine aggregate, liquid limit and plastic limit test, organic material test with NaOH, methylene blue test, clay pellet and dispersible grain ratio test, proctor and CBR experiments. In addition, the unit kilometer transportation cost of travertine waste material was calculated and the effective usable distance was calculated in terms of cost compared to crushed stone material. After all; it is seen that travertine wastes can be used as subbase and base material by meeting TSH 2013 standards. In addition, it is considered that unless a price is paid for the wastes, it is cost effective up to a certain distance and that the use of wastes in the road superstructure will reduce the harmful effects of the quarries to the environment to some extent and thus contribute to the national economy and natural balance.

Keywords: Travertine Wastes, Sub-base, Base, Aggregate

1. GİRİŞ

Karayolu, altyapı ve üstyapıdan oluşan bir sistemdir. Yol üstyapısı; genellikle alttemel, temel ve esnek ya da rijit

*¹Sorumlu yazar: Milli Savunma Üniversitesi, Hava Astsubay Meslek Yüksek Okulu Müdürlüğü, İzmir, Türkiye, suermurat@hotmail.com, 0 232 251 1600

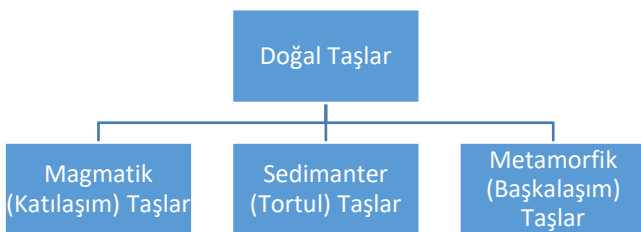
kaplama tabakasından oluşmaktadır. Alttemel ve temel tabakalarının teşkilinde çoğunlukla taş ocaklarından temin edilen kırmataş malzemeler kullanılmaktadır. Yol yapım maliyeti, asfalt bitümünün ülkemize ithal olarak gelmesi sebebiyle yüksek seviyelerdedir. Maliyetlerin aşağılara çekilebilmesi için; atık malzemelerin imalatlara girmesi önem arz etmektedir. Aynı zamanda kullanılacak atık malzemelerin teknik bakımdan alttemel ve temel tabakası için öngörülen Karayolları Teknik Şartnamesi (KTS) 2013’de yer alan standart değerleri de sağlaması gerekmektedir.

Bu çalışmada, Alaşehir (Manisa) bölgesi traverten atıklarının yol üstü yapısında alttemel ve temel tabakalarında agrega olarak kullanılabilirliği incelenmiştir.

Ülkemizde traverten denildiğinde akıllara ilk olarak Denizli ili, Pamukkale ilçesi gelmektedir. Pamukkale travertenleri, UNESCO Dünya Kültür Mirası Listesinde yerini almış, görsel güzelliğiyle dünya çapında değeri olan doğal taş oluşumlarıdır. Manisa ili Alaşehir ilçesi de Pamukkale’ye çok da uzak olmayan ve Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü’nün Manisa ili maden ve enerji kaynakları verilerine göre 99.7 milyon ton muhtemel traverten rezervine sahip bir bölgede yer almaktadır.

Traverten, Türk Dil Kurumu sözlüğünde; birtakım kaynak sularının dibinde biriken, kalkerli veya silisli tortu, pamuk taşı şeklinde açıklanan, dilimize Fransızcadan geçmiş bir kelimedir. Fransızca “travertin”, İtalyanca “travertino”, İngilizce “travertine” olarak adlandırılır. Traverten, özünde doğal bir taş olduğundan, konuya doğal taş tanımından başlamak daha uygun olacaktır.

Doğal taşlar, kayaç olarak da adlandırılan, doğadan çıkan ve birtakım işlemler gördükten sonra kullanılan yapı malzemeleridir. Doğal taşlar, dayanıklılık özelliğiyle tarih boyunca yapıların inşasında kullanılmışlardır. Yapıda, doğal enerjili haliyle kullanılabilen nadir inşaat malzemelerindedir. Kullanım alanları çok geniştir, inşaat sektöründe kaplama, döşeme, kırmataş olarak kullanıldığı gibi birçok farklı sektörde de kullanımı mevcuttur.



Şekil 1. Doğal taşların sınıflandırılması

Doğal taşlar, dünyanın 4.6 milyar yıl öncesindeki durumundan başlayarak dağların, denizlerin, okyanusların, nehirlerin oluşum evrelerindeki kimyasal, biyolojik değişimler, iklim şartları, erozyon olaylarının bir sonucu

olarak farklı sıkışma, aşınma, taşınmalar neticesindeki değişimleriyle alt sınıflara ayrılırlar. Şekil 1’de doğal taşların sınıflandırılması görülmektedir.

Sedimanter oluşumlu mermerlerden traverten ve oniksler; bileşiminde erimiş halde kalsiyumbikarbonat ve karbondioksit bulunduran sulardan oluşmuş kayaçlardır. Bu yeraltı sularının yeryüzüne çıkması ile kayacın bileşimindeki karbon gaz haline geçerek suyu terk eder. Bu arada kalsiyumbikarbonat bileşimli katı madde şekillenir. Bu şekillenme olayı soğuk su vasıtası ile oluşursa “oniks”, sıcak su vasıtası ile oluşursa “traverten” adını alırlar. Travertenler inşaatlarda iç ve dış kaplama malzemesi olarak kullanılırlar. Az cila kabul eden kayaçlardır [1]

Literatürde, traverten atıklarının karayolu temel ve alttemel tabakalarında agrega olarak kullanımıyla ilgili olarak yapılmış çalışma sayısı fazla değildir. Bununla birlikte, travertene benzer bir malzeme olan mermerin kullanımını konusunda yapılmış bazı çalışmalar da mevcuttur.

Yıldız (2008) yaptığı doktora tez çalışmasında, mermer toz ve parça atıklarının yol inşaatında değerlendirilebilirliğini araştırmıştır. Çalışma kapsamında parça atıkların yol temel tabakasında, toz atıkların ise zemin toprağı içerisine karıştırılarak stabilizasyonda kullanılabilirliği test edilmiştir. Analiz sonuçlarından toz atıkların zemin stabilizasyonunu artırdığı ve ince taneli atıkların iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Genellikle homojen tane dağılımına sahip atıklar mukavemeti artırmıştır. Parça atıklar için elde edilen analiz sonuçlarında, temel tabakası için yollar fenni şartnamesinde belirtilen şartların sağlandığı, ancak traverten gibi yumuşak yapıya sahip parça atıkların don etkisi göstermeyen sıcak bölgelerde kullanılmasının daha uygun olacağı görülmüştür [2]

Çoruh ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada bor cevheri olan kolemanitten borik asit üretimi esnasında ortaya çıkan borojips atığının, yol üstü yapılarındaki alttemel tabakalarında bağlayıcı madde olarak kullanımı araştırmışlardır. Çalışma kapsamında borojips atığı ile alttemel malzemesi farklı oranlarda karıştırılarak elde edilen numuneler üzerinde serbest basınç ve CBR deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak esnek üstyapılarda borojips kullanımıyla, üstyapı maliyetinin ve bor atığının sebep olduğu çevre kirliliğinin azalabileceği görülmüştür [3]

Çobanoğlu ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada Denizli bölgesi traverten atıklarının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin incelemişlerdir. Çalışma kapsamında ocak üretiminden çıkan parça şeklindeki travertenlerin betonda agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Sonuçlar traverten agregalı betonun hedeflenen C30 sınıfı beton dayanım değerlerini sağladığını göstermiştir [4]

Ural ve Yakşe (2015) yaptıkları çalışmada mermer ocağı sayısı çok fazla olan Bilecik ilindeki mermer atıklarının, yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesini araştırmışlardır. Deneylerde kullanılan mermer atıkları, Karayolları Teknik

şartnamesinde belirtilen temel malzemesi gradasyonu aralıklarında hazırlanarak, şartnamede belirtilen fiziksel özellikleri taşıyıp taşımadıkları kontrol edilmiştir. Sonuçta, Bilecik İlinin üç farklı bölgesinden alınan mermer atıklarının Karayolları Teknik şartnamesinde belirtilen alttemel/temel malzemesi fiziksel özelliklerini sağladığı görülmüştür [5]

Yakşe (2016) yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında, atık mermer parçalarının yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesini araştırmıştır. Bilecik İlindeki mermer atıklarının, yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesine yönelik deneyler yapmıştır. Sonuçta, Bilecik İlinin üç farklı bölgesinden alınan mermer atıklarının Karayolları Teknik Şartnamesinde (KTŞ, 2013) belirtilen alt temel/temel malzemesi fiziksel özelliklerini sağladığı ve CBR eğrilerinin de şartnameye uygun olduğu görülmüştür [6].

Özdemir ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada, Doğu Anadolu bölgesinde bulunan bazı mermer atıklarının yol temel ve alttemel tabakalarında kullanılabilirliğini incelemiştir. Mermer üretim atığı olarak Malatya Bej, Adıyaman Emprador ve Erzurum Traverten numuneleri kullanmışlar, araştırmalarının sonucunda, malzemenin temel ve alt temel tabakalarında kullanılabilir olduğu görülmüştür [7]

Yüksek ve Kaya (2017) yaptıkları çalışmada Sivas Kangal Termik santrali uçucu külü ile alçı ve kirecin değişik oranlarda karışımları ile hafif yapı malzemesi üretimi deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışma sonucunda Tüm numunelerin yoğunluk ile eğilme mukavemeti arasında yüksek korelosyonlu ($R^2=0,95$) doğrusal ilişki olduğu, Shore sertlik değeri ile eğilme mukavemeti arasında üssel bir ilişki ($R^2=0,81$) olduğu görülmüştür [8]

Ergezer (2018) yaptığı çalışmada, Sivas ili Sıcak Çermik Bölgesi traverten atıklarının karayollarının temel ve alt temel tabakalarında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Deney sonuçlarının KTŞ, 2013'de belirtilen sınır değerleri sağladığı görülmüştür [9]

Yılmaz (2020) yaptığı çalışmada uçucu kül ve mermer tozu atıklarını, katı atık yönetimi kapsamında zemin stabilizasyonu için kullanmıştır. Çalışma sonucunda, uçucu kül+mermer tozu karışımlarının sadece uçucu kül içeren karışımlara göre daha yüksek dayanım sağladığı sonucuna varılmıştır [10]

Sarışık ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada traverten atıklarının çimentolu dolgu malzemesi olarak kullanımında renk ve parlaklık değerlerini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında, endüstriyel fabrikadan alınan 4 farklı reçete ile laboratuvar çalışmaları sonucunda oluşturulan reçeteler renk ve parlaklık açısından karşılaştırılmıştır. Yeni reçetelerde renk ve parlaklık açısından daha uyumlu ve daha ekonomik olduğu için traverten atıkları kullanılmıştır. Sonuç olarak renk ve parlaklık açısından orijinal plaka yüzeylerine yakın yeni yüzeyler elde edilmiştir [11].

Bunlardan başka; yol temel ve alttemel tabakalarında çeşitli atık malzemelerin kullanımını ele alan bazı çalışmalar (Yonar ve ark., 2017 [12]; Motor, 2017 [13]; Seren,2015 [14]; Yılmaz ve Süttaş, 2008 [15]) ile traverten (veya mermer) atıklarının beton veya yol sıcak karışımında kullanımını ele alan çeşitli çalışmalar (Korkmaz, 2017 [16]; Okubay, 2016 [17]; Güven, 2015 [18]; Ceylan ve Mança, 2013 [19]; Güreer, 2005 [20]) da mevcuttur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Çalışmada, karayolu temel ve alttemel tabakalarında traverten atıklarının kullanılması ele alınmıştır. Bu amaçla, Alaşehir (Manisa) bölgesindeki traverten ocaklarından traverten atığı malzeme temin edilmiştir. Yaklaşık 150 kg traverten atığı numunesi laboratuvar ortamında taş kırma yöntemi ile uygun dane boyut aralığına getirilmiştir.

2.2. Yöntem

Türkiye'de karayollarının yapımında kullanılacak malzemelerin, uygunluğunun kontrol edilmesi amacıyla başvurulacak temel kaynak, Karayolu Teknik Şartnamesidir. Dolayısıyla, çalışmanın konusu olan, traverten atığı malzemenin alttemel ve temel tabakalarında agrega olarak kullanılabilirliğinin belirlenebilmesi için de KTŞ 2013'de belirtilen deneyler yapılarak malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin şartnamedeki değerlere uygun olup olmadığı kontrol edilmiştir. Bu kapsamda yapılan deneyler şunlardır:

- Elek analizi deneyi,
- MgSO₄ ile yapılan hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi,
- Los Angeles aşınma deneyi,
- Yassılık indeksi deneyi,
- Kaba ve ince agregada su emme deneyi,
- Likit limit ve plastik limit deneyi,
- NaOH ile yapılan organik madde deneyi,
- Metilen mavisi deneyi,
- Kil topağı ve dağılabilen tane oranı deneyi,
- Proktor ve CBR deneyleri.

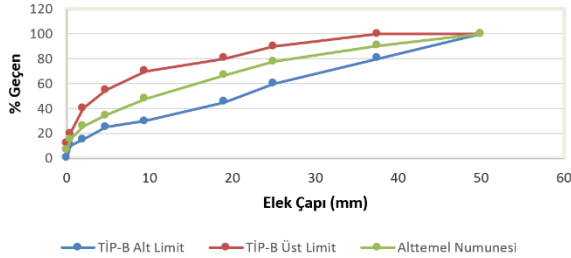
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

Aşağıda, yapılan her bir deneyin yapılma amacı ve hangi standardın esas alındığı belirtilmiştir. Deney sonuçları ve bu sonuçların uygunluk durumu da gerekli tablolar ve grafiklerle birlikte sunulmuştur.

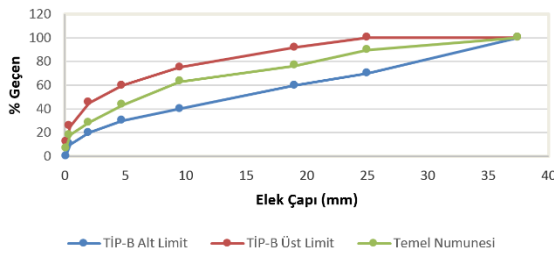
3.1. Elek analizi deneyi

Elek analizi malzemenin uygun gradasyon limitleri içerisinde olup olmadığını belirlemek için yapılan bir deneydir. Deneyde TS EN 1900-1[21] standardı esas alınmıştır.

Traverten atığı numunenin elek analizi sonuçları incelendiğinde; malzemenin KTŞ 2013’de yer alan, alttemel ve temel malzeme olarak kullanılabilirliği için gerekli olan şartlara uygun olduğu tespit edilmiştir. Şekil 2’de alttemel, Şekil 3’de ise temel numunesinin gradasyon dağılımı görülmektedir.



Şekil 2. Alttemel numunesi gradasyon dağılımı



Şekil 3. Temel numunesi gradasyon dağılımı

3.2. MgSO₄ ile yapılan hava tesirlerine karşı dayanıklılık deneyi

Deneyde, agregaların magnezyum sülfat çözeltisine daldırılması ve takiben kurutulmasıyla periyodik işleme maruz bırakılarak donma/çözülme etkisine karşı direncinin bulunması amaçlanmaktadır. Deneyde TS EN 1367-2[22] standardı esas alınmıştır. Deney sonucuna göre, traverten atığı malzemenin hem alttemel hem de temel tabakalarında kullanılabilir olduğu görülmüştür. Tablo 1’de MgSO₄ ile hava tesirlerine dayanıklılık deney sonucu görülmektedir.

Tablo 1. MgSO₄ ile hava tesirlerine dayanıklılık deney sonucu

Numune Malzeme	KTŞ 2013 Limit	Deney Sonucu, %MS	Sonuç
Alttemel	≤ 25	13	Uygundur
Temel	≤ 20	13	Uygundur

3.3. Los Angeles aşınma deneyi

Deney, iri agregaların parçalanma direncinin tayini için yapılmaktadır. Deneyde TS EN 1097-2[23] standardı esas alınmıştır. Deney sonucuna göre, traverten atığı malzemenin hem alttemel hem de temel tabakalarında kullanılabilir olduğu görülmüştür. Deney sonucu Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Los Angeles aşınma deney sonucu

Numune Malzeme	KTŞ 2013 Limit	Deney Sonucu, LA	Sonuç
Alttemel	≤ 45 (LA45)	28	Uygundur
Temel	≤ 35 (LA35)	28	Uygundur

Numune Malzeme	KTŞ 2013 Limit	Deney Sonucu, Yİ	Sonuç
Alttemel	≤ 35	10.88	Uygundur
Temel	≤ 30	10.88	Uygundur

3.4. Yassılık İndeksi Deneyi

Deney, kalınlığı (en küçük boyutu) nominal boyutunun 0.6 ‘sından daha küçük olan kaba agrega danelerinin (63-6.3 mm elek aralığındaki) yassılık indeksi değerinin bulunmasını amacıyla yapılmaktadır. Deneyde BS 812[24] standardı esas alınmıştır. Deney sonucuna göre, traverten atığı malzemenin hem alttemel hem de temel tabakalarında kullanılabilir olduğu görülmüştür. Deney sonucu Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Yassılık indeksi deney sonucu

Numune Malzeme	KTŞ 2013 Limit	Deney Sonucu, Yİ	Sonuç
Alttemel	≤ 35	10.88	Uygundur
Temel	≤ 30	10.88	Uygundur

3.5. Kaba ve İnce Agregada Su Emme Deneyi

Deney, kaba ve ince agregada su emme oranının tayini için yapılmaktadır. Deneyde TS EN 1097-6 (Madde 8) [25] standardı esas alınmıştır. Deney sonucuna göre, traverten atığı malzemenin hem alttemel hem de temel tabakalarında kullanılabilir olduğu görülmüştür. Deney sonuçları, alttemel için Tablo 4, temel malzeme için ise Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 4. Kaba ve ince agrega su emme deney sonucu (alttemel)

Numune Aralığı, mm	KTŞ 2013 Limit, Alttemel	Su Emme, % WA	Sonuç
31.5 - 63	≤ 3.5	2.38	Uygundur
4 - 31.5		1.04	
0.063 - 4		0.81	

Tablo 5. Kaba ve ince agrega su emme deney sonucu (temel)

Numune Aralığı, mm	KTŞ 2013 Limit, Temel	Su Emme, % WA	Sonuç
31.5 - 63	≤ 3.0	2.38	Uygundur
4 - 31.5		1.04	
0.063 - 4		0.81	

3.6. Likit Limit Deneyi ve Plastisite İndeksi

Likit Limit deneyi, numunenin plastik durumdan likit (sıvı) duruma geçtiği andaki su muhtevası değerinin bulunmasını amacıyla yapılmaktadır.

Plastik limit deneyi ise numunenin plastik kıvamda bulunduğu en düşük su muhtevasının tespiti için yapılmaktadır. Traverten atıklarına plastik limit deneyi uygulanmıştır. Deneyde TS 1900-1[21], AASHTO T 89[26] ve AASHTO T 90[27] standardı esas alınmıştır.

Plastik limit deney sonucunda traverten atığı malzemenin plastik özellik göstermediği tespit edilmiştir. Bu sebeple malzemeye likit limit deneyi uygulanmamıştır. Likit limit ve plastisite indeksi değeri non-plastik olarak alınmıştır. Deney sonucuna göre, traverten atığı malzemenin hem alttemel hem de temel tabakalarında kullanılabilir olduğu görülmüştür. Tablo 6'da likit limit, Tablo 7'de ise plastisite indeksi deney sonucu verilmiştir.

Tablo 6. Likit limit deney sonucu

Numune Malzeme	KTŞ 2013 Limit	Deney Sonucu, WP	Sonuç
Alttemel	≤ 25	NP	Uygundur
Temel	Non-plastik, NP	NP	Uygundur

Tablo 7. Plastisite indeksi deney sonucu

Numune Malzeme	KTŞ 2013 Limit	Deney Sonucu, IP	Sonuç
Alttemel	≤ 6	NP	Uygundur
Temel	Non-plastik, NP	NP	Uygundur

3.7. NaOH ile Yapılan Organik Madde Deneyi

Deney, agrega içerisinde yer alan bitki artıkları ve humus gibi organik maddelerin tespit edilebilmesi için yapılmaktadır. Deneyde TS EN 1744-1 (Madde 15.1) [28] standardı esas alınmıştır. Deney sonucuna göre, traverten atığı malzemenin hem alttemel hem de temel tabakalarında kullanılabilir olduğu görülmüştür. Tablo 8'de deney sonucu, Şekil 4'de ise deney sonuç fotoğrafı görülmektedir.

Tablo 8. NaOH ile yapılan organik madde deney sonucu

Numune Malzeme	Karışım Rengi	Organik Madde	Sonuç
Temel	Renksiz	Hiç yok	Uygundur
Alttemel	Renksiz	Hiç yok	Uygundur



Şekil 4. NaOH ile yapılan organik madde deney fotoğrafı

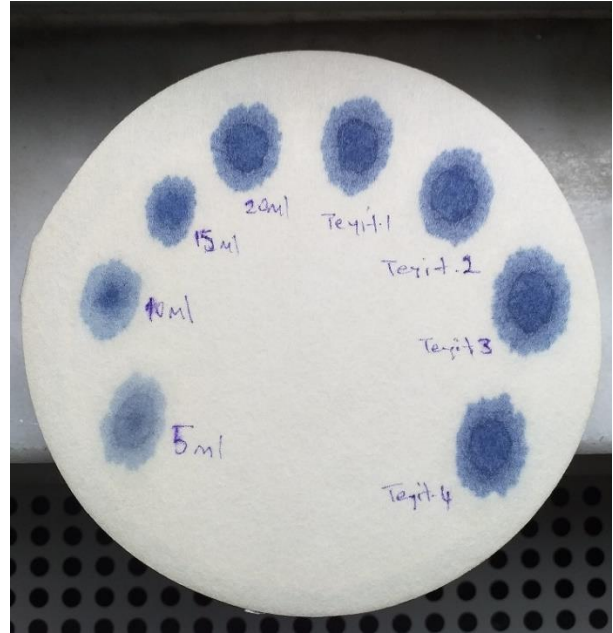
3.8. Metilen Mavisi Deneyi

Deney, ince agreganın (0-2 mm) içerisindeki kil ve silt gibi zararlı malzemelerin değerinin tespit edilebilmesi için yapılmaktadır. Deneyde TS EN 933-9[29] standardı esas alınmıştır. Deney sonucuna göre, traverten atığı malzemenin hem alttemel hem de temel tabakalarında kullanılabilir

olduğu görülmüştür. Tablo 9'da deney sonucu, Şekil 5'de ise deney sonuç fotoğrafı görülmektedir.

Tablo 9. Metilen mavisi deney sonucu

Numune Malzeme	Şartname Limit	Deney Sonucu, MB	Sonuç
Alttemel	≤ 4,0	1	Uygundur
Temel	≤ 3,0	1	Uygundur



Şekil 5. Metilen mavisi deneyi süzgeç kâğıdı görüntüsü

3.9. Kil Topağı ve Dağılabilen Tane Oranı Deneyi

Deney, kaba ve ince agregada kil topağı ve dağılabilen tane oranını tespit etmek için yapılmaktadır. Deneyde ASTM C 142[30] standardı esas alınmıştır. Deney sonucu Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Kil topağı ve dağılabilen tane oranı deney sonucu

Numune Malzeme	Şartname Limit, %P	Kil topağı ve dağılabilen tane oranı, %P ort.	Sonuç
Alttemel	≤ 2,0	0.31	Uygundur
Temel	≤ 1,0	0.31	Uygundur

3.10. Modifiye Proktor ve CBR Deneyleri

KTŞ 2013 Alttemel ve temel malzeme kullanım kriterlerinde CBR değerinin tespit koşulu yer almaktadır. CBR deneyinin ise modifiye proktor deneyinde bulunan optimum su muhtevasında yapılması gerekmektedir.

Modifiye proktor deneyi, alttemel ve temel tabakasında kullanılacak malzemenin modifiye proktor metodu ile sıkıştırılmış, en büyük kuru birim hacim ağırlığını veren su muhtevası değerinin bulunması için yapılmaktadır. Deneyde AASHTO T 180[31], TS 1900-1[21] standardı esas

alınmıştır. Deneyde elde edilen kuru birim havim ağırlık ve optimum su muhtevası değerleri Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Modifiye proktor deney sonucu

Tokmak kütlesi	4.5 kg	Kalıp çapı, mm	101.6
Kuru birim hacim ağırlık	23.90 kN/m ³	Kalıp yüksekliği, mm	116.4
Wopt, %	7.6	Kalıp hacmi, cm ³	944

Kaliforniya taşıma oranı (CBR), bir toprağın dikkatle kontrol edilen yoğunluk ve rutubet şartları altında daneler arası kayma direncinin bir ölçüsüdür [32]. Deney, optimum su içeriğine sahip numunenin pistonla belli bir noktaya kadar batması için gereken basıncın bulunması için yapılmaktadır. Deneyde AASHTO T 193[33], 1900-2[34] standardı esas alınmıştır. Deney sonucuna göre, traverten atığı malzemenin hem alttemel hem de temel tabakalarında kullanılabilir olduğu görülmüştür. Deney sonucu Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Kaliforniya taşıma oranı (CBR) deney sonucu

Numune Malzeme	Şartname Limit, %	Bulunan Yaş CBR, %	Sonuç
Alttemel	>50	238	Uygundur
Temel	>100	238	Uygundur

4. MALİYET HESAPLAMALARI

Bu bölümde, traverten atıkları ve kırmataşın yol alttemel ve temel tabakalarında kullanılabilmesi için ortaya çıkan üretim ve nakliye maliyetleri incelenmiştir.

4.1. Traverten Atığı ve Kıрма Taş İçin Üretim Maliyeti Hesabı

Taş ocaklarında, kaya parçalarını kullanılabilir boyutlara getirmek için sabit konkasör tesisleri kullanılmaktadır. Kırmataş talep edilen karışım oranlarına uygun olarak temin edilmektedir. Tablo 13'de taş ocağında kırmataş hazırlama 2020 yılı birim fiyatı verilmiştir.

Tablo 13. Ocaktan taş hazırlanması poz fiyatı

Poz Numarası	Açıklama	Birim	Fiyatı, TL
KGM/08.021/K-(T)	Ocaktan taş hazırlanması	m ³	17.81
		ton	9.89

Traverten taş ocağında ve traverten kesme işleme tesislerinde sabit konkasör sistemine ihtiyaç duyulmamaktadır. Traverten atıklarının alttemel veya temel malzemesi olarak kullanılabilmesi için mobil konkasörde kırılması ya da sabit konkasörü olan bir tesise taşınması gerekecektir.

Her iki yöntemde de traverten atığının uygun boyutlara getirilmesi için, kırmataş hazırlama maliyetinden fazla bir maliyet çıkması söz konusudur. Söz konusu maliyet iş bazında yapılması gerektiğinden hesaplanmamıştır.

4.2. Traverten Atığı Malzeme ve Kıрма Taş İçin Nakliye Maliyeti Hesabı

Nakliye bedeli Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca her yıl yayınlanan birim fiyat kitapçığında yer alan taşıma formülleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Nakliye bedeli hesap birimi tondur. Alttemel ve temel malzeme ihtiyacı hacimsel alan hesabı yapılarak, m³ biriminden belirlenmektedir.

TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı [35] standardından alınan traverten ve kırmataş için birim hacim kütle verileri Tablo 14'de verilmiştir. Tablo 14'de bakıldığında traverten ve kırmataşın, bir metreküp ağırlıklarının farklı olduğu görülmektedir.

Tablo 14. Traverten-kırmataş birim hacim kütle değerleri

Malzeme	Birim hacim ağırlığı, kg/m ³
Traverten	2600
Kırmataş	1800

Nakliye bedeli hesabı:

F: Nakliye bedeli

K: Motorlu araç taşıma katsayısı

M: Mesafe, (≤10 km: metre, >10 km: kilometre)

≤10.000 m.ye kadar motorlu araçlarla yapılan taşımalarda kullanılacak formül;

$$F = 0.00017 * K * \sqrt{M}$$

>10 km. için motorlu araçlarla yapılan taşımalarda kullanılacak formül;

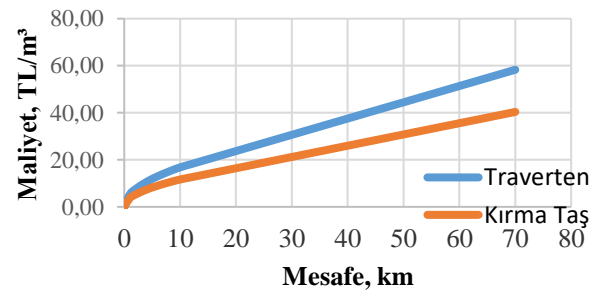
$$F = K * ((0.0007 * M) + 0.01)$$

2020 Yılı Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca yayınlanan birim fiyatlarda, her cins ve tonajda motorlu araç taşıma katsayısı (K), 380 olarak verilmektedir.

Bu değerler kullanılarak traverten ve kırmataşın farklı mesafeler için hesaplanan 1 m³ nakliye bedeli Tablo 15'de verilmiş, Şekil 6'da grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 15. Farklı mesafeler için malzeme 1 m³ nakliye bedeli

Malzeme	10 km, TL	30 km, TL	70 km, TL
Traverten	16.80	30.62	58.29
Kırmataş	11.63	21.20	40.36
Fark	5.17	9.42	17.94



Şekil 6. Traverten- kırmataş mesafe-maliyet grafiği

Tablo 15 ve Şekil 6'nın incelenmesi sonucunda; 1 m³ malzeme için; taşıma mesafesi arttıkça, traverten atığı

malzemenin, kırma taşa oranla nakliye maliyetinin arttığı görülmüştür. Tablo 13’de verilen kırmataş maliyet değerlerini göz önüne aldığımızda; 30 km mesafeye yapılan taşımalarda yaklaşık 1 ton kırmataş bedeli kadar, 70 km mesafeye yapılan taşımalarda ise 1 m³ kırmataş bedeli kadar taşıma maliyet farkının oluştuğu görülmüştür. Buna göre, traverten atığı için bedel ödenmediği varsayılrsa bile, traverten atığını alttemel ve temel tabakalarının yapımı için kullanacağımız mesafe artışıyla, taşıma maliyetindeki artışın doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Traverten atığı malzeme, traverten taş ocaklarında ya da traverten işleme tesislerinde ortaya çıkmaktadır. Travertenin kaplama malzemesi olarak kullanılabilmesi için belli ebatlara getirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple taş ocağından çıkarılması, büyük bloklar halinde hazırlanması ve işleme tesislerinde kaplama malzemesi ebatlarına getirilmesi esnasında çıkan fire malzeme atık olarak ayrıştırılmaktadır. Atık malzemeler bu tesislerin çevresinde stok halinde depolanmakta ve çevre kirliliğine sebebiyet vermektedir.

Taş ocaklarında ortalama 100 m³ traverten alanı boşaltıldığında 15 m³ traverten çıkarılmaktadır. Bu da ocak veriminin %15 olduğunu göstermektedir. Fabrikalarda ise üretim verimi %30'lara kadar düşmektedir. Moloz şeklinde fabrikalara gelen travertenlerden %70'e kadar atık oluşabilmektedir. Bu atıklar hem fabrikalara ilave maliyet oluşturmakta hem de tarımı olumsuz yönde etkilemektedir [36].

Depolandığı yerlerde çevre üzerinde büyük tahribat yaratan traverten atıklarının, imalata dönüşmesi amacıyla yol temel ve alttemel tabakalarında kullanılması durumunda traverten ocak ve işleme tesisleri civarındaki çevre tahribatının azalacağı muhakkaktır.

Traverten atıklarının, alttemel ve temel tabakalarında kullanılmasının, nakliye maliyeti açısından; traverten ocağına ya da işleme tesisine yakın bölgelerde, traverten atığı ve atığı uygun gradasyona getirmek için ilave bedel ödenmediği takdirde ekonomik olduğu görülmüştür. Yapılan hesaplamalar, traverten atıklarının elde edilmesi ve agrega boyutuna getirilmesi için hiçbir harcama yapılmaması durumunda bile taşıma maliyetinin kırmataşa göre daha fazla olmasından dolayı mesafe uzadıkça traverten atığı kullanımının kırmataşa göre daha maliyetli hale geldiğini göstermiştir. Ancak; yukarıda bahsedilen çevresel faydası ve civardaki uygun kırmataş ocaklarının sınırlılığı gibi durumlar gözetilerek daha uzak mesafelerde dahi traverten atıklarının yol temel ve alttemel tabakalarının yapımında kullanılması tercih edilebilecektir.

Bu çalışmada Alaşehir (Manisa) bölgesindeki traverten atıklarının yol üst yapısında alttemel ve temel tabakalarında kullanılabilirliği incelenmiştir. Yapılan çalışmalar ve deneyler sonucunda traverten atığı malzemenin alttemel ve

temel tabakalarında teknik olarak kullanılabilirliğini göstermiştir.


KAYNAKÇA


- [1].Erkek, D. ve Özdemir, S., “Mermer ve Traverten Sektörüne Küresel ve Bölgesel Yaklaşım. Araştırma Raporu”, 2011.
- [2].Yıldız, A.H., “Mermer Atıklarının Yol İnşaatında Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2008.
- [3].Çoruh, E., Hınıslioğlu, S., Kocakerim, M., Arasan, S. ve Oltulu, M., “Borojipsin Alt Temel Tabakasında Stabilizasyon Malzemesi Olarak Kullanılmasının Araştırılması”, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(2), 221-231, Erzincan, 2013.
- [4].Çobanoğlu, İ., Çelik, S., Çam, O., Etiz, H., Kurşun, M., Denizli Bölgesi Traverten Artıklarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(3), 92-99, 2014.
- [5].Ural, N. ve Yakşe, G., “Atık Mermer Parçalarının Yol Temel Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi”, Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 2 (2), 53-62., Bilecik, 2015.
- [6].Yakşe, G., “Atık Mermer Parçalarının Yol Temel Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik, 2016.
- [7].Özdemir, E., Sarıcı, D.E. ve Sarıcı, T., “Doğu Anadolu Bölgesinde Bulunan Bazı Mermer Atıklarının Yol Temel ve Alttemel Tabakalarında Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi”, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı 39, 13-20, Kütahya, 2017.
- [8].Yüksek, S., Kaya, S., "Kömür Baca Külü, Kireç ve Jips Ürünlerinden Yapı Malzemesi Yapımı", Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi 5(3), 58-70, 2017.
- [9].Ergezer, F., “Sıcak Çermik Bölgesi (Sivas) Traverten Atıklarının Yol Temel ve Alttemel Tabakalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 22, Özel Sayı, 181-188, Isparta, 2018.
- [10].Yılmaz, F., "Uçucu Kül ve Mermer Tozu Katkılarının Zeminin Stabilizasyonuna ve Donma-Çözülmesine Etkisinin Araştırılması", Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi 8(1), 56-61, 2020.
- [11].Sarıuşık, A., Can, S., Ürün, K., Traverten Atıklarının Çimentolu Dolgu Malzemesi Olarak Kullanımında Renk ve Parlaklık Değerlerinin Araştırılması. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 11(1), 447-455, 2020.
- [12].Yonar, F., Dikbaş, A. ve Doğan, I., “Dökümhane Cürufunun Karayolu İnşaatında Dolguda ve Granüler Tabakalarda Kullanım Olanaklarının Araştırılması”, 7. Geoteknik Sempozyumu, İstanbul, 22-23-24 Kasım 2017.
- [13].Motor, E., “Borojipsin Alttemel Tabakasında Stabilizasyon Malzemesi Olarak Kullanılmasının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2007.

- [14].Seren, I.S., “Elektrik Ark Fırını Cürufunun Yapay Agregası Olarak Esnek Üstyapıların Çimento Bağlayıcı Granüler Temel Tabakasında Kullanılabilirliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015.
- [15].Yılmaz, A. ve Süttaş, İ., “Ferrokrom Cürufunun Yol Temel Malzemesi Olarak Kullanımı”, İMO Teknik Dergi, 4455-4470, Yazı 294, İstanbul, 2008.
- [16].Korkmaz, V., “Bor Endüstri Atıkları ve Traverten Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 2017.
- [17].Okubay, M., “Bitümlü Sıcak Karışımlarda Agregası Olarak Mermer Atığı Kullanımının Araştırılması Mermer Atıklarının Bitümlü Sıcak Karışımların Stabilite Özelliklerine Etkisi”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016.
- [18].Güven, H., “Denizli ve Çevresindeki Traverten Atıklarının Betonda Katkı Malzemesi Olarak Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2015.
- [19].Ceylan, H. ve Mança, S., “Mermer Parça Atıklarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Bilimler Dergisi, Cilt 3, Sayı 2, 21-25, Isparta, 2013.
- [20].Gürer, C., “Atık Mermer Parçalarının Yol Kaplamalarında Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 2005.
- [21].TS EN 1900-1, “İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [22].TS EN 1367-2, “Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2011.
- [23].TS EN 1097-2, “Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler- Bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için yöntemler”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [24].BS 812-105.1, “Testing Aggregates. Method for Determination of Particle Shape- Flakiness Index”, British Standart, England, 1989.
- [25].TS EN 1097-6, “Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- [26].AASHTO T 89, “Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of Soils”, American Association of State and Highway Transportation Officials, 2013.
- [27].AASHTO T 90,” Standard Method of Test for Determining the Plastic Limit and Plasticity Index of Soils”, American Association of State and Highway Transportation Officials, 2014.
- [28].TS EN 1744-1, “Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Kimyasal Analiz”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [29].TS EN 933-9, “Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 9: İnce Tanelerin Tayini- Metilen Mavisini Deneyi”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2014.
- [30].ASTM C 142, “Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates”, American Association of State and Highway Transportation Officials, 2010.
- [31].AASHTO T 180, “Standard Method of Test for Moisture–Density Relations of Soils Using a 4.54-kg (10-lb) Rammer and a 457-mm (18-in.) Drop”, American Association of State and Highway Transportation Officials, 2018.
- [32].Demirel, Z. ve Orhan, F., “Toprak ve Stabilizasyon Laboratuvarı Çalışmaları”, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 1994.
- [33].AASHTO T 193, “Standard Method of Test for The California Bearing Ratio”, American Association of State and Highway Transportation Officials, 2013.
- [34].TS EN 1900-2, “İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2006.
- [35].TS 825, “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2008.
- [36].Güven, H., “Denizli ve Çevresindeki Traverten Atıklarının Betonda Katkı Malzemesi Olarak Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2015.

Zeolit İkameli Geopolimer Betonlarda Kür Şartlarının Etkileri

*¹Ümit Yurt, ²Mehmet Emiroğlu

¹ Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Düzce/Türkiye, 

² Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Düzce/Türkiye, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 12.02.2020

Kabul Tarihi: 04.05.2020

Öz

Küresel ısınmanın zararlı etkileri artarak devam etmektedir. İnşaat sektörünün en önemli yapı malzemelerinden biri olan çimentonun, yüksek enerji tüketen üretim süreci bakımından çevreye olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Bu zararlı etkilerin azaltılması, çimento üretimi ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle son yıllarda çimento kullanılmadan üretilen çevreci yapı malzemelerine olan ilgi artmıştır. Bu çalışmada, Yüksek Fırın Cürufu (YFC) ile ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında zeolit ikame edilerek geopolimer beton karışımları üretilmiştir. Farklı kür şartlarının zeolit içeren geopolimer beton numuneler üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi amacıyla üretilen geopolimer beton numuneler 3 farklı kür ortamında (25 °C hava kürü, 25 °C su kürü ve 60 °C su kürü) dayanım kazanmıştır. Kür sonrası sertleşmiş geopolimer beton numuneler üzerinde 3, 7 ve 28 gün sonunda basınç dayanımı testleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, 28 günlük kür süresini takiben yoğunluk ve aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak %5, %10 ve %15 zeolit içeren ve farklı kür şartlarının etkisinin incelendiği geopolimer betonların dayanım ve aşınma özelliklerinin zamana bağlı değişimi karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Genel olarak kür şartlarının değişiminin geopolimer betonların basınç dayanımı ve aşınma dirençlerini etkilediği görülmüştür. En yüksek dayanım değerine (88 MPa) sıcak su kürü (60 °C) uygulanan numuneler ulaşmıştır. Geopolimer beton içerisinde, zeolit kullanım miktarının artmasının aşınma direncine pozitif katkı sağladığını görülmüştür. Sıcak su kürünün (60 °C) aşınma kayıplarını azaltıcı etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aşınma, Basınç dayanımı, Geopolimer beton, Zeolit

The Effects of Curing Condition on Geopolymers Incorporating Zeolit

*¹Ümit Yurt, ²Mehmet Emiroğlu

¹ Düzce Üniversitesi, umityurt@duzce.edu.tr

² Düzce Üniversitesi, mehmetemiroglu@duzce.edu.tr

Abstract

The harmful effects of global warming increasingly continue. Cement, one of the most important building materials of the construction industry, has negative effects on the environment in terms of its production process which consumes high energy. Reducing these harmful effects is directly related to cement production. Therefore, interest in environmentally friendly building materials, which can be produced without cement, has increased in recent years. In this study, geopolymer concrete mixtures were produced by replacing zeolite with blast furnace slag (BFS) at the amount of 5%, 10% and 15% (by weight). To evaluate the effect of different curing conditions geopolymer concrete specimens have gained strength with three different curing environments (25 °C air, 25 °C water and 60 °C water curing). Compressive strength tests were carried out at the end of 3, 7 and 28 days on the geopolymer concrete samples. Abrasion loss and density tests were carried out at the end of the 28th-day of curing period. As a result, the change of compressive strength and abrasion loss of geopolymer concretes containing 5 %, 10 % and 15 % zeolite and the effect of different curing conditions were comparatively. In general, it was seen that compressive strength and abrasion losses of geopolymer concretes were affected by the curing conditions. The specimens cured in 60 °C water bath reached the highest compressive strength values about 88 MPa. The increase in the use of zeolite positively contributes to abrasion resistance in geopolymer concretes. It has been observed that hot water curing application (60 °C) has reduced the abrasion loss.

Keywords: Abrasion, Compressive strength, Geopolymer concrete, Zeolite.

*¹Sorumlu yazar: Düzce Üniversitesi, İnşaat Bölümü, Düzce/TÜRKİYE, umityurt@duzce.edu.tr, 0505 302 00 04/ Corresponding author: Duzce University, Construction Department, Düzce / TURKEY, umityurt@duzce.edu.tr, 0505 302 00 04

Doi: 10.21541/apjes.688186

1. GİRİŞ

Günümüzde küresel ısınmanın zararlı etkileri nedeniyle ortaya çıkan çevresel problemler enerji tüketimi ile doğrudan ilişkilidir. Enerji tüketiminde en büyük role sahip olan çimento üretimi tüm dünyada yaklaşık 4,6 milyar ton üretim kapasitesine ulaşmıştır [1]. Çimento üretiminin toplam maliyeti içerisinde en yüksek payı, enerji maliyetleri (%20-%40) oluşturmaktadır [1, 2]. Çimento kullanılarak üretilen kompozit ürünler üretim yöntemleri açısından değerlendirildiğinde yüksek miktarlarda enerji maliyeti oluşturmaktadır [3]. Aynı zamanda çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu ve benzeri nedenlerle birçok araştırmacı kullanılan çimento miktarını azaltmak için özellikle beton içerisinde İnce Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu (İÖYFC), Uçucu Kül (UK), Silis Dumanı (SD), atık cam tozu, pirinç kabuğu külü, mermer tozu, zeolit gibi, özellikle puzolonik aktiviteye sahip mineral katkıların beton içerisinde kullanımını incelemiştir [4-8]. Bu sayede atık malzemeler bertaraf edilerek aynı zamanda kullanılan çimento miktarı da azaltılmaktadır. Fakat geniş bir kullanım alanına sahip bağlayıcı malzemeler için bu yeterli olmamaktadır. Çimento kullanılarak üretilen yapı malzemelerine alternatif olabilecek ve çimento kullanılmadan üretililecek yeni çevreci yapı malzemelerine olan talep giderek artmaktadır. [9, 10]. Genellikle alkaliler ile aktive edilen alüminosilikatlar, geopolimerler olarak bilinmektedir. Geopolimerler, anorganik en az iki bileşenli bir sistem olarak kabul edilebilir: SiO_2 ve Al_2O_3 içeriğe sahip reaktif bir katı madde kaynağı ve bir veya birden fazla alkaline aktivasyon çözeltilisinden oluşmaktadır [11-13]. Özellikle metakaolin, kalsine kaolin, curuf, uçucu kül, silis dumanı, pirinç kabuğu külü, tarımsal atıklar vb. malzemelerin faydalı yeni çevreci ürünlere dönüştürülmesi mümkün olabilmektedir [14, 15]. Geopolimer ürünlerin elde edilebilmesinde alkalilerin yanı sıra ısı da gerekmektedir. Özellikle İÖYFC kullanılarak üretilen geopolimer betonların mühendislik özellikleri bakımından iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Fakat bu özelliklerin geliştirilmesi, ortaya çıkan büzülme sorunlarının giderilmesi, üretilen betonların maliyetinin azaltılması vb. nedenlerle alternatif mineral katkıları kullanılabilir. Çimento kullanılarak üretilen ve farklı özelliklerde mineral katkı içeren betonların kür şartlarının değişimine bağlı olarak incelendiği çalışmalar bulunmaktadır [16, 17]. Fakat çimento kullanılmadan üretilen geopolimer beton, Alkali aktivasyonlu beton ve cüruf beton ile ilgili çalışmalar nispeten daha az sayıda gerçekleştirilmiştir. Zeolitler, silika ve alümine tetrahedran yapıların oksijen atomunun ortak kullanımı ile üç boyutlu bir görünüme sahip, toprak alkali (Ca) ve alkali (Na ve K) elementlerinin sulu alümina silikat kristalidir [11, 13]. Zeolitlerin çimento ile birlikte harç ve beton üretiminde kullanılması ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır [18-24]. Özellikle çimentodan düşük yoğunluğa sahip olması ve özgül yüzeyinin çimentoya göre yüksek olması ve beton içerisinde bulunan boşlukları doldurması vb. özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir. Nikilov, Nugteren ve diğerleri doğal zeoliti yüksek sıcaklık uygulayarak metazeolite dönüştürmüş ve geopolimer üretimi için kullanmışlardır. Çalışma kapsamında doğal zeolit

geopolimer malzemeler için kullanım olanağının olduğunu ve 43 MPa basınç dayanımı elde edilebildiğini bildirmişlerdir [9]. Literatür incelendiğinde zeolit'in geopolimer beton içerisinde kullanılması ile ilgili çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışma kapsamında yüksek dayanım ve durabilite özelliklerine sahip zeolit ikameli geopolimer betonların üretimi ve değişen kür koşulları altında beton yaşına bağlı olarak performansı irdelenmiştir. Bu amaçla farklı kür şartları sonrası 3, 7, 28 günlük dayanım özellikleri ve aşınma dirençlerindeki değişimi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışma ile literatüre zeolit içeren geopolimer beton ile ilgili katkı sağlanarak farklı kür şartlarının geopolimer betonların basınç dayanımı ve aşınma dirençleri üzerindeki etkisi beton yaşının değişimi ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

Çalışma kapsamında kullanılan alkali aktivatörler (NaOH ve Na_2SiO_3) Kroma Klor Alkali San. Tic. A.Ş.'den temin edilmiş olup, teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Zeolit Rota madencilik A.Ş.'den temin edilmiş olup dane çapı 90 mikrondan küçüktür. Ereğli Demir Çelik Fabrikasının bir atığı olan cüruf, Bolu Çimento Fabrikasının Alaplı'da bulunan öğütme tesisinden çimento inceliğinde öğütülmüş olarak temin edilmiştir.

Tablo 1. Alkali aktivatörlere ait kimyasal ve fiziksel özellikler

Özellikler	Sodyum hidroksit	Sodyum silikat
Molekül Formülü	NaOH	Na_2SiO_3
Molekül Ağırlığı (g/mol)	39,98	182,00
Renk	Beyaz	Beyaz
pH	13,18-14,00	11,1-12,59
Yoğunluk (g/cm ³)	2,16	1,37-1,45
Na_2O (%)	-	10,46
SiO_2 (%)	-	27,82
H_2O (%)	-	61,72

Karışımda kullanılan zeolit ve İÖYFC'ye ait kimyasal özellikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Mineral katılara ait kimyasal özellikler

Kimyasal Bileşim	İÖYFC	Zeolit
SiO_2	40,49	66,75
CaO	34,17	3,18
MgO	7,24	1,10
Al_2O_3	14,56	11,3
Fe_2O_3	1,17	1,72
K_2O	1,11	3,52
TiO_2	0,97	-
Na_2O	0,61	0,43
SO_3	0,17	-
Kızdırma Kaybı	-	12

Tablo 1 ve Tablo 2’de verilen teknik özellikler üretici firmalardan temin edilmiştir. Alkali aktivatörlerden sodyum hidroksit katı olarak temin edilmiş olup laboratuvar ortamında istenilen molarite değerinde (10 mol) sulu çözelti haline getirilmiştir. Sodyum silikat ise direkt sulu çözelti olarak temin edilip hiçbir işlem yapılmadan kullanılmıştır. Geopolimer beton üretiminde kullanılan ince ve iri agrega kireç taşı kökenli olup maksimum dane çap 16 mm olarak seçilmiştir.

2.2. Yöntem

Bu çalışmada kapsamında YFC içerisinde doğal zeolit (klinoptilolit) %5, %10, %15 oranlarında kullanılarak çevre dostu geopolimer beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada kullanılan malzeme miktarları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Karışım miktarları (1 m³)

Malzemeler	Miktar (kg/m ³)
Na ₂ SiO ₃ (Sulu çözelti)	158
NaOH (Sulu çözelti)	106
İÖYFC	672
İri agrega	905
İnce agrega	607
Su	30

Sıcaklık kürünün geopolimerizasyon sürecine katkısı ve kür şartlarındaki değişimin, basınç ve aşınma değerleri üzerindeki etkisi karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda üretilen numuneler sıcaklık aktivasyonu için etüv içerisinde 20 saat süren sıcaklık aktivasyonu (60 °C) sonrasında suda (25 °C), havada (25 °C), ve sıcak suda (60 °C) kür etkisi değerlendirilmiştir. Çimento kullanılmadan hazırlanan geopolimer beton karışımlarında, Tablo 3’te verilen oranlara uygun olarak hazırlanan malzemeler (iri agrega, ince agrega, zeolit ve İÖYFC) beton mikserinde ince ve iri agrega beraber karıştırılmasının ardından İÖYFC ve zeolit hareket halindeki mikserde aktararak kuru olarak iyi bir dağılım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Karışıma dahil edilecek aktivatörler (NaOH ve Na₂SiO₃) birbiri ile karıştırıldıktan sonra mikserde bulunan kuru karışıma yaklaşık 2 dakika içerisinde eklenmiştir. İstenilen dağılımın elde edilmesi takiben daha önceden hazırlanan kalıplara 1 dakika içerisinde vibrasyon uygulanarak 3 aşamada yerleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan kalıplar ve böhme aşınma deney cihazı Şekil 1’de görülmektedir. Farklı kür ve karışım değişkenlerine sahip her bir seri için 3 adet numune üretilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında üretilen taze geopolimer beton karışımlar, basınç dayanımı deneyi (TS EN 12390-4) için 100x100x100 mm küp kalıplara, sürtünme ile aşınma kaybı deneyi (Böhme) için TS EN 14157’e uygun 71 mm ± 1,5 mm ölçülerine sahip küp biçiminde deney numune kalıplarına, vibrasyon yardımıyla yerleştirilmiştir [25, 26].

Geopolimer beton karışımı mikserden alınarak sarsma tablası üzerindeki kalıplara yerleştirildikten sonra bekletilmeden 60 °C sabit sıcaklığa ayarlanan etüv içerisinde 20 saat boyunca sıcaklık kürüne tabi tutulmuştur.



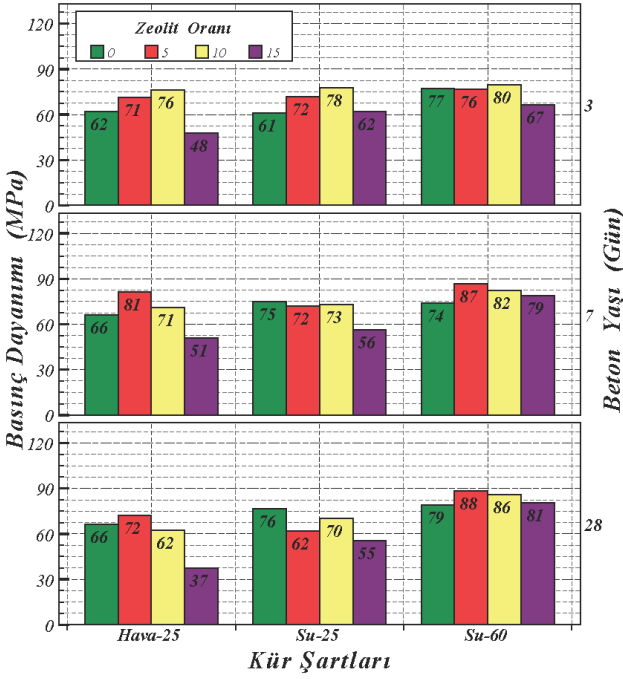
Şekil 1 Böhme aşınma deneyi ve deneysel çalışmada kullanılan kalıp ve malzemeler

Sıcaklık aktivasyonu sonrasında farklı günlerde (3, 7, 28) ve belirlenen sürelerde hava (25 °C), su (25 °C), ve sıcak su (60 °C) kürü uygulanmıştır. Farklı kür şartlarında dayanım kazanan numuneler üzerinde fiziksel ve mekanik testler yapılmıştır. Deneysel çalışma kapsamında sürtünme ile aşınma kaybı, basınç dayanımı, yoğunluk gibi fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişim, karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elde edilen verilerin birbiri ile ilişkisi istatistiksel yöntemler kullanılarak incelenmiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR

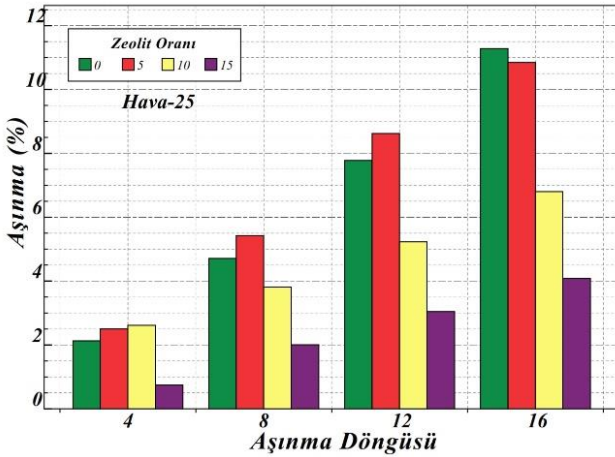
Farklı kür şartlarına ve zeolit ikame oranlarına sahip numunelerin farklı yaşlardaki basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırmalı olarak incelendiği grafik Şekil 2’de görülmektedir. Grafik incelendiğinde en yüksek basınç dayanımı değerine (88 MPa) Z5-W60 kodlu numunede ulaşıldığı görülmektedir. İlk 3 günlük sonuçlar incelendiğinde zeolit oranının artışı ile dayanım değerleri artmış %15 zeolit içeriğine sahip numunelerde ise düşüş görülmüştür. Çimento içerisine zeolit ikamesi ile gerçekleştirilen geleneksel beton üretiminde belirli bir ikame oranına (Yaklaşık %20) kadar kullanıldığında basınç dayanımı değerini arttırdığı bildirilmiştir [20, 22, 23]. Bu yönüyle bu çalışma ile paralellik göstermektedir. Genel olarak sıcak su kürü uygulanan numunelerde beton yaşının artışı ile dayanım özelliklerinde artış görülmüştür. Diğer kür şartlarında genel olarak beton yaşının artışı ile dayanım

gelişimi arasında doğrusal bir ilişki görülmemiştir. Zeolit ikame oranı %15 olan numunelerde en yüksek basınç dayanım değeri (81MPa) Z15-W60 kodlu numunede gözlemlenmiştir. Hava küründe dayanım kazanan numunelerin dayanım değerleri diğer kür şartları ile karşılaştırıldığında daha düşük değerler aldığı belirlenmiştir. Tüm kür şartları genel olarak incelendiğinde (Şekil 2) basınç dayanımı değerleri en yüksek değerden en düşük değere doğru sıralanırsa sıcak su (60 °C), su kürü (25 °C) ve hava kürü (25 °C) olarak elde edildiği görülebilir.



Şekil 2. Basınç dayanımı değerleri

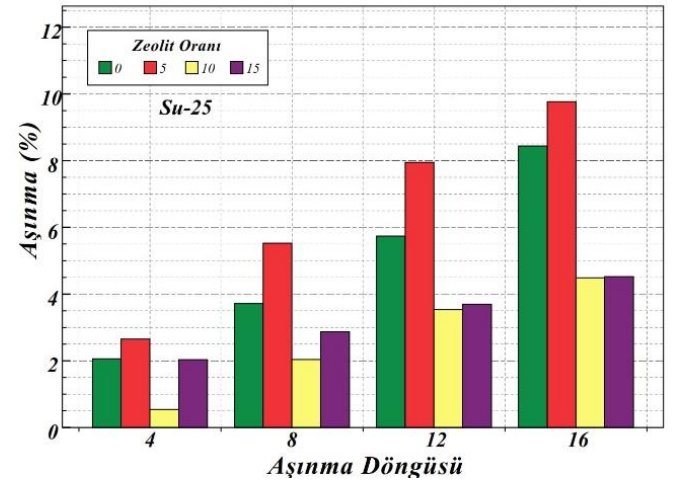
Sıcak su kürü uygulanması ile dayanım değerlerinde olumlu bir etki ortaya çıkmıştır. Genel olarak sıcak su kürü uygulanması ile dayanım değerlerinin gelişimi arasında pozitif yönlü bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Sürtünme ile aşınma kayıplarının kür şartlarının değişimine bağlı olarak incelendiği grafikler Şekil 3, 4, ve 5'te görülmektedir.



Şekil 3. Hava kürü (25 °C) uygulanan numunelere ait aşınma kayıpları

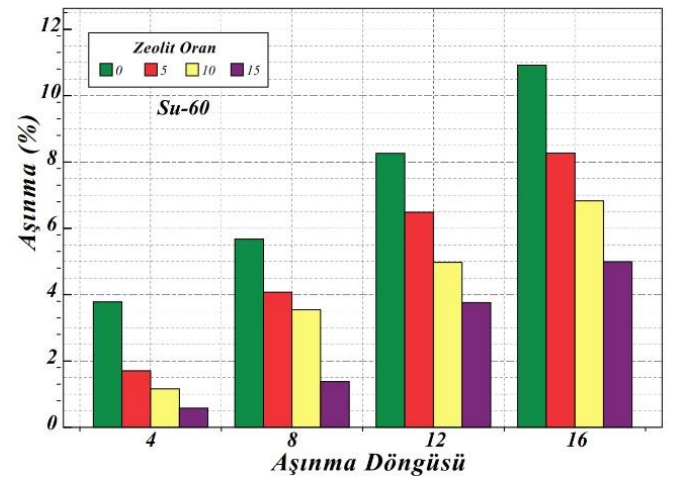
Sürtünme ile aşınma kayıplarına (Ağırlık kayıpları olarak değerlendirilmiştir) ait grafikler incelendiğinde aşınma döngüsünün artışı ile aşınma kayıpları tüm serilerde doğrusal olarak artış göstermiştir.

Hava küründe dayanım kazanan numunelere ait Şekil 3'de görülen grafik değerlendirildiğinde aşınmaya karşı en iyi direnç gösteren numunelerin %15 zeolit içeriğine sahip numuneler olduğu görülmüştür. Aşınma döngüsü sonucunda (16 çevrim) en yüksek aşınma kaybı %100 YFC içeren, en düşük aşınma kaybı ise %15 zeolit içeren numunelerde görülmüştür. Hava kürü numuneleri için en yüksek ve en düşük aşınma kayıpları sırasıyla %11,40 ve %4,12 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4. Su kürü (25 °C) uygulanan numunelere ait aşınma kayıpları

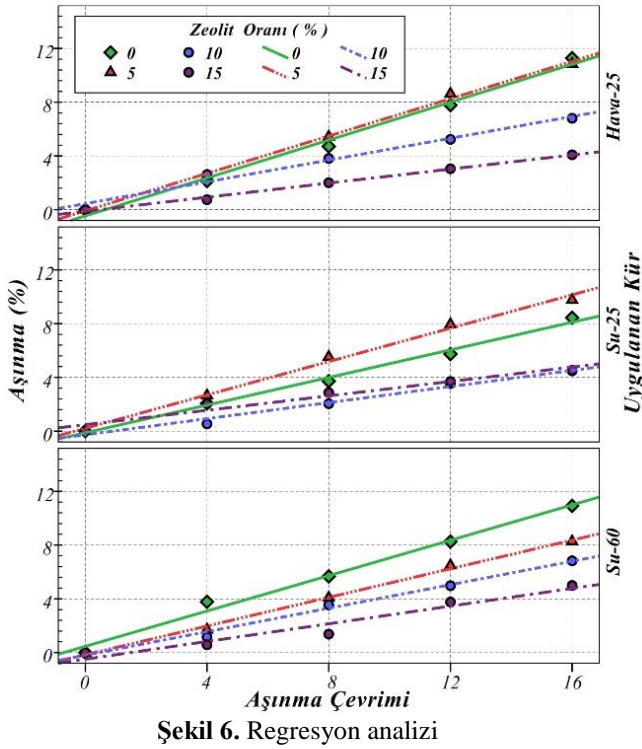
Şekil 4 incelendiğinde en yüksek aşınma kayıpları %5 zeolit içeriğine sahip serilerden, en düşük aşınma kayıpları ise genel olarak %10 ve %15 zeolit içeriğine sahip serilerden elde edilmiştir.



Şekil 5. Su kürü (60 °C) uygulanan numunelere ait aşınma kayıpları

Sıcak su kürü uygulanan (Şekil 5) numunelerin zeolit oranının artışı ile aşınma kayıplarını azaldığı görülmüştür.

Zeolit ikame oranının artışı, sıcak su kürü uygulaması ile birlikte geopolimer betonların aşınma dirençlerine olumlu katkı sağladığı belirlenmiştir. Genel olarak hava küründe dayanım kazanan ve %100 İÖYFC içeriğine sahip numunelerin aşınma kayıplarının diğer kür şartlarına kıyasla daha yüksek değerler aldığı görülmüştür. Genel olarak aşınma kayıplarının artışı ile aşınma çevrimi arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Aşınmaya karşı en yüksek direnç gösteren numunelerde aşınma kayıpları en çok %11,5 civarında gerçekleşmiştir. Aşınma kayıpları başlangıçta çok küçük değerler almış, aşınma çevriminin artmasına bağlı olarak kayıp yüzdeleri artmıştır.



Şekil 6. Regresyon analizi

Farklı kür şartlarında dayanım kazanan ve farklı zeolit ikame oranına sahip geopolimer betonların aşınma döngüsü ve aşınma kaybı arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla Şekil 6'daki saçılma grafiği oluşturulmuştur. Tüm kür şartlarında dayanım kazanan numuneler zeolit ikame oranının artışına bağlı olarak değerlendirildiğinde, zeolit ikame oranının artışının, aşınmaya karşı dirence olumlu katkı sağladığı görülmüştür. Zeolit içeren geleneksel beton üretiminde zeolit ikame oranının artışı ile aşınma dirençlerinin attığı bildirilmiştir. Özellikle ortam koşullarının aşınma direnci ile birlikte değerlendirilmesi gerektiği ve ikame oranının belirli sınırlar içerisinde kullanıldığı bildirilmiştir [22]. Üretilen numunelerin test sonuçlarının kullanılması ile elde edilen saçılma grafiklerinden (Şekil 6) elde edilen denklemler ve R^2 değerleri Tablo 4'de verilmiştir. Determinasyon katsayısı (R^2) 0,90 değerinden yüksek olduğundan aşınma kayıpları ve aşınma çevrimi arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmüştür. Tüm kür şartları ve karışım oranları kendi içerisinde değerlendirildiğinde yüksek oranda pozitif doğrusal determinasyon katsayısı

değişim aralığı: $R^2=0,944-0,997$ olarak elde edilmiştir. Tablo 4 değerlendirildiğinde en yüksek ilk üç ilişki sırasıyla Z5-A25, Z5-W60, Z15-A25 kodlu numuneden elde edilmiştir.

Tablo 4 Denklemler ve R^2 değerleri

Numune Kodu	Kür Şartları (°C)	Denklem	R^2
YFC-A25	Hava (25)	$Y=-0,46+0,71x$	0,991
YFC-W25	Su (25)	$Y=-0,12+0,51x$	0,993
YFC-W60	Su (60)	$Y=0,46+0,66x$	0,990
Z5-A25	Hava (25)	$Y=-0,08+0,7x$	0,997
Z5-W25	Su (25)	$Y=0,21+0,62x$	0,994
Z5-W60	Su (60)	$Y=-0,16+0,53x$	0,996
Z10-A25	Hava (25)	$Y=0,45+0,26x$	0,980
Z10-W25	Su (25)	$Y=-0,27+0,3x$	0,981
Z10-W60	Su (60)	$Y=-0,19+0,44x$	0,991
Z15-A25	Hava (25)	$Y=-0,12+0,26x$	0,995
Z15-W25	Su (25)	$Y=0,48+0,27x$	0,952
Z15-W60	Su (60)	$Y=-0,49+0,33x$	0,944

Zeolit içeren geopolimer betonların yoğunluk değerleri incelendiğinde geleneksel betona benzer şekilde $2250 \text{ kg/m}^3-2430 \text{ kg/m}^3$ aralığında değişen değerler aldığı görülmüştür. Geopolimer beton üretimi ve sürdürülebilir yapı malzemelerinin üretilmesi, kullanılması ve yayımlanabilmesi gerçekleştirilecek çalışmalara bağlıdır. Özellikle üretim sonrası davranışının belirlenmesi kür koşullarına bağlı olarak dayanım ve durabilite özelliklerinin araştırılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında zeolit ve İÖYFC içeren geopolimer betonların ilk aktivasyon sıcaklığı sonrası su kürü uygulanması ile ilerleyen yaşlarda dayanım ve durabilite özelliklerine önemli katkı sağladığı kür suyu sıcaklığının artışı ile performansının olumlu etkilendiği görülmüştür. Ancak kür suyu sıcaklığı bu çalışma kapsamında sınırlı bir aralıkta gerçekleştirilmiştir. Sonraki çalışmalarda kür suyu sıcaklığının değişimi ile dayanım ve durabilite özelliklerinin araştırılması literatüre katkı sağlayacaktır.

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Çalışma sonucunda ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

* En yüksek basınç dayanımı değeri 88 MPa olarak elde edilmiştir. En düşük basınç dayanımı değeri (37 MPa) referans alınarak değerlendirildiğinde kür şartları ve zeolit ikame oranının değişimine bağlı olarak %137,84 artış gerçekleşmiştir.

*Tüm kür şartları beton yaşına bağlı olarak değerlendirildiğinde en yüksek basınç dayanımı değerleri sıcak su kürü (60°C) uygulanan numunelerde elde edilmiştir.

* Sıcak su kürü uygulanan tüm karışımlarda beton yaşının artışı ile dayanım değerlerinde artış görülmüştür. Beton yaşı 3 gün olan numuneler referans alınarak değerlendirildiğinde beton yaşına bağlı olarak en fazla dayanım artışı (%20,9) Z15-W60 kodlu numunelerde elde edilmiştir.

* Zeolit ikame oranının artışı aşınma kayıplarının azalmasını sağlamıştır. Zeolit kullanımının aşınmaya karşı dirence olumlu katkı sağladığı gözlemlenmiştir.

Aşınma kayıpları (16 çevrim sonrasında) %100 İÖYFC içeren numune referans alınarak değerlendirildiğinde Hava-25 (25°C), Su-25 (25°C) ve Su-60 (60°C) kodlu numunelerde Sırasıyla %65,52-%47,06-%53,70 oranında düşüş görülmüştür.

*Hava kürü ile dayanım kazanan numunelerde aşınma kayıplarının diğer kür şartlarına kıyasla daha yüksek değerler aldığı belirlenmiştir.

*Aşınma kayıpları başlangıçta çok küçük değerler almış, aşınma çevriminin artışı ile aşınma kayıpları artmıştır.

*Aşınmaya karşı en yüksek direnç gösteren numunelerde aşınma kayıpları maksimum %11,5 civarında gerçekleşmiştir.

*Tüm karışım oranlarında aşınma kayıpları ve aşınma döngüsü arasında çok güçlü bir ilişki olduğu ve R² değerlerinin 1'e çok yakın değerler aldığı görülmüştür.

5. KAYNAKLAR

- [1] G. V. P. Bhagath Singh and K. V. L. Subramaniam, "Production and characterization of low-energy Portland composite cement from post-industrial waste," *Journal of Cleaner Production*, vol. 239, p. 118024, 2019/12/01/ 2019.
- [2] J. Wang, Y. Dai, and L. Gao, "Exergy analyses and parametric optimizations for different cogeneration power plants in cement industry," *Applied Energy*, vol. 86, no. 6, pp. 941-948, 2009/06/01/ 2009.
- [3] W. Zhang, A. Maleki, M. G. Khajeh, Y. Zhang, S. M. Mortazavi, and A. Vassel-Be-Hagh, "A novel framework for integrated energy optimization of a cement plant: An industrial case study," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 35, pp. 245-256, 2019/10/01/ 2019.
- [4] M. Sarıbiyik, A. Piskin, and A. Sarıbiyik, "The effects of waste glass powder usage on polymer concrete properties," *Construction and building materials*, vol. 47, pp. 840-844, 2013.
- [5] S. Subaşı, H. Öztürk, and M. Emiroğlu, "Utilizing of waste ceramic powders as filler material in self-consolidating concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 149, pp. 567-574, 2017.
- [6] A. Subaşı and M. Emiroğlu, "Effect of metakaolin substitution on physical, mechanical and hydration process of White Portland cement," *Construction and Building Materials*, vol. 95, pp. 257-268, 2015.
- [7] Y. Koçak, S. Subaşı, and M. Emiroğlu, "Uçucu külün betonun bazı fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi," *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, vol. 7, no. 1, pp. 14-27, 2011.
- [8] K. Yamanel, U. Durak, S. İlkentapar, İ. İ. Atabey, O. Karahan, and C. D. Atış, "Influence of waste marble powder as a replacement of cement on the properties of mortar," *Revista de la Construcción. Journal of Construction*, vol. 18, no. 2, pp. 290-300, 2019.
- [9] A. Nikolov, H. Nugteren, and I. Rostovsky, "Optimization of geopolymers based on natural zeolite clinoptilolite by calcination and use of aluminate activators," *Construction and Building Materials*, vol. 243, p. 118257, 2020/05/20/ 2020.
- [10] B. C. McLellan, R. P. Williams, J. Lay, A. van Riessen, and G. D. Corder, "Costs and carbon emissions for geopolymer pastes in comparison to ordinary portland cement," *Journal of Cleaner Production*, vol. 19, no. 9, pp. 1080-1090, 2011/06/01/ 2011.
- [11] P. Rožek, M. Król, and W. Mozgawa, "Geopolymer-zeolite composites: A review," *Journal of Cleaner Production*, vol. 230, pp. 557-579, 2019/09/01/ 2019.
- [12] E. Papa et al., "Zeolite-geopolymer composite materials: Production and characterization," *Journal of Cleaner Production*, vol. 171, pp. 76-84, 2018/01/10/ 2018.
- [13] A. Buchwald, H. D. Zellmann, and C. Kaps, "Condensation of aluminosilicate gels—model system for geopolymer binders," *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 357, no. 5, pp. 1376-1382, 2011/03/01/ 2011.
- [14] S. Mesgari, A. Akbarnezhad, and J. Z. Xiao, "Recycled geopolymer aggregates as coarse aggregates for Portland cement concrete and geopolymer concrete: Effects on mechanical properties," *Construction and Building Materials*, vol. 236, p. 117571, 2020/03/10/ 2020.
- [15] S. Park and M. Pour-Ghaz, "What is the role of water in the geopolymerization of metakaolin?," *Construction and Building Materials*, vol. 182, pp. 360-370, 2018/09/10/ 2018.
- [16] B. Dünder, İ. İ. Atabey, and Ü. Yurt, "Osmaniye ilinde hazır beton santrallerinde üretilen beton kalitelerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi," 2017.
- [17] Ü. Yurt and M. Emiroğlu, "Kendiliğinden Yerleşen Betonların Düşük Sıcaklıklardaki Davranışının Tahribatsız Yöntemlerle İncelenmesi," *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 6, no. 3, pp. 8-15, 2018.
- [18] N. A. Ulloa, H. Baykara, M. H. Cornejo, A. Rigail, C. Paredes, and J. L. Villalba, "Application-oriented mix design optimization and characterization of zeolite-based geopolymer mortars," *Construction and Building Materials*, vol. 174, pp. 138-149, 2018/06/20/ 2018.
- [19] A. Sudagar et al., "A novel study on the influence of cork waste residue on metakaolin-zeolite based geopolymers," *Applied Clay Science*, vol. 152, pp. 196-210, 2018/02/01/ 2018.
- [20] U. K. Sevim and N. Okumuş, "Zeolit ve silika dumanı katkılı betonların mekanik ve geçirimsizlik özellikleri," *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 26, no. 2, pp. 57-63, 2011.
- [21] A. DORUM, A. DORUM, and K. YILDIZ, "Yüksek dayanımlı betonlarda pomza ve zeolitin kullanılabilirliği," *Teknik Dergi*, vol. 22, no. 106, pp. 5335-5340, 2011.
- [22] K. Yıldız and C. Demirel, "MgSO₄ etkisine maruz rijit yol kaplamalarında pomza ve zeolit katkılı betonun

kullanılabilirliği," Politeknik Dergisi, vol. 17, no. 1, pp. 23-29, 2014.

[23] F. Canpolat and K. Yılmaz, "Doğal zeolit ve uçucu kül katkı ve katkısız harçların sülfat dayanıklılığı," Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, vol. 15, no. 2, pp. 11-24, 2002.

[24] K. Güçlüer, "Zeolit ve Metakaolinin Gazbeton

Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması," Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, vol. 16, no. 2, pp. 338-343, 2016.

[25] "TS EN 12390-4," Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm: 4, TSE Yayınevi, Ankara, Türkiye, 2002.

[26] "TS EN 14157," Doğal Taşlar-Aşınma Direncinin Tayini, TSE Yayınevi, Ankara, Türkiye, 2005.

Standart Platin Direnç Termometrelerin Suyun Üçlü Noktası Hücresinde Kalibrasyonu ve Ölçüm Belirsizliği Hesabı

Fatma Melda Patan Alper

Yeditepe Üniversitesi, Fizik Bölümü, Ataşehir/İstanbul, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 07.01.2020

Kabul Tarihi: 06.05.2020

Öz

Bu çalışmada direnç termometrelerin kalibrasyonların da ve kontrollerinde kullanılan suyun üçlü noktası hücresinin hazırlanması ve ölçüm belirsizliğinin hesaplanmasına ilişkin detaylı bilgi verilmiştir. Suyun üçlü noktası hücresi Yeditepe Üniversitesi Fizik Bölümü Metroloji ve Kalibrasyon Laboratuvarında (YUKAL) özel olarak tasarlanarak üretilmiştir. Hücrenin hazırlanması aşamasında katı CO₂ kullanılarak buz tabakası elde edilmiştir. Katı CO₂ yöntemiyle 15 dakikalık sürede hücre içerisinde katı, sıvı ve gaz fazlarının aynı anda elde edildiği bu yöntemle yapılan ölçümler analiz edilerek ölçüm belirsizliği bütçesi oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Suyun Üçlü Noktası Hücresi, Kelvin, ITS-90, Direnç Termometre

Calibration of Standard Platinum Resistance Thermometers in Triple Point of Water Cell and Evaluation of Measurement Uncertainty

Melda Patan Alper

Yeditepe University, Department of Physics, Ataşehir/İstanbul

Abstract

In this study, detailed information about the preparation of triple point of water cell used in the calibration and control of resistance thermometers and calculation of measurement uncertainty is given. The triple point of water cell was designed and produced in Yeditepe University Physics Department Metrology and Calibration Laboratory (YUKAL). In the preparation of the cell, ice mantle was obtained using solid CO₂. The measurement uncertainty budget was evaluated by analyzing the solid, liquid and gas phases in the cell at the same time with the solid CO₂ method within 15 minutes.

Keywords: Triple Point of Water Cell, Kelvin, ITS-90

1. GİRİŞ

Suyun üçlü noktası (SÜN) sıcaklığı; suyun üç fazının katı, sıvı ve gaz termal dengede bulunduğu sıcaklıktır. ITS-90 ölçeğine göre bu sıcaklık 0.01 °C olarak tanımlanmış olsa da Kelvin (K) Termodinamik Sıcaklık Ölçeğine göre ise 273.16 K olarak kabul edilmiştir. SÜN, 1990 Uluslararası Sıcaklık Ölçeği (ITS-90) ve Kelvin Termodinamik Sıcaklık Ölçeğinde tanımlanmış sabit noktalarından biridir [1]. Uluslararası yedi temel birimden biri olan Kelvin'in tanımı, suyun üçlü noktası mutlak (termodinamik) sıcaklığının 1/273.16'sı olarak belirlenmiştir [2]. SÜN hücresi silindirik borosilikat cam tüpün, yüksek saflıkta, gazsız ve izotropik bileşime sahip suyla doldurulmasıyla üretilir.

SÜN hücreleri, ITS-90 uluslararası sıcaklık ölçeğiyle uyumlu direnç termometrelerin (SPRT, PRT, IPRT) kalibrasyonunda ve/veya kontrollerinin gerçekleşmesinde kullanılır. Platin direnç termometreler yüksek hassasiyet ve doğrulukları sebebiyle çok tercih edilen termometrelerdir, bu sebeple kalibrasyonlarının ve ara kontrollerinin birincil seviye standartlarla gerçekleşmesi önemlidir [3,4].

SÜN hücresinde gerçekleştirilecek ölçümlerin doğruluğu pek çok parametreye bağlıdır. Bunlardan en önemlisi hücrenin imalatıdır. YUKAL'da özel tekniklerle üretimi gerçekleşen suyun üçlü noktası hücresi borosilikat cam tüplerden imal edilmiştir. İmalat aşaması, bu tüplerin sızdırma ve gerilim etkisinin azaltılması için tavlama ile başlar, ardından hücreler kimyasal yöntemlerle temizlenerek ölçümleri

*Sorumlu Yazar: Yeditepe Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, İstanbul, Türkiye, mpatan@yeditepe.edu.tr, +90 2165780000/1688

etkileyebilecek kirlilikten arındırılır [5,6]. İçerik olarak analiz edilmiş distile su hücreye eklenir ve içerisinde hava kalmayacak şekilde kapatılır. Kullanılan saf su, izotop oranı okyanus suyuna yakın nitelikte, suyu özel yöntemlerle birkaç kez distile eden cihazlardan elde edilir. İzotop oranının ölçümlere doğrudan etkisi olması ölçüm belirsizliğini de etkiler [7,8,9]. SÜN hücresinin uzun yıllar kullanılması, ölçümlerin kararlı ve tekrarlanabilir olması hücre içerisinde kullanılan suyun saflığı ve kalitesine bağlıdır. Yaklaşık 500 cm³ saf su ile doldurulan hücreler daralan kısımlarından alevle mühürlenerek kapatılır [5]. SÜN hücrelerinin ölçüm için hazırlanması aşamasında farklı yöntemler kullanılabilir. Soğuk daldırma çubuğu, katı CO₂ ve sıvı nitrojen yöntemi literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemler arasındadır. [5,9,10,11,12]

2. ÖLÇÜMLER

2.1. Cihazlar

Bu araştırmada YUKAL üretimi 02/2010 seri numaralı 50 mm çaplı 330 mm uzunluğunda SÜN hücresi kullanılmıştır. Hücre Fluke marka 7341 model BOB361 seri numaralı alkol banyosunda muhafaza edilmiştir. Ölçümü gerçekleştirecek test termometresi olarak Hart Scientific marka 5681 model 1432 seri numaralı kuartz kılıflı standart platin direnç termometre (SPRT) tercih edilmiştir. Termometreden alınan veriler Fluke marka 1594A model B11053 seri numaralı direnç köprüsü (dijital termometre) vasıtasıyla sayısal veriye dönüştürülür.

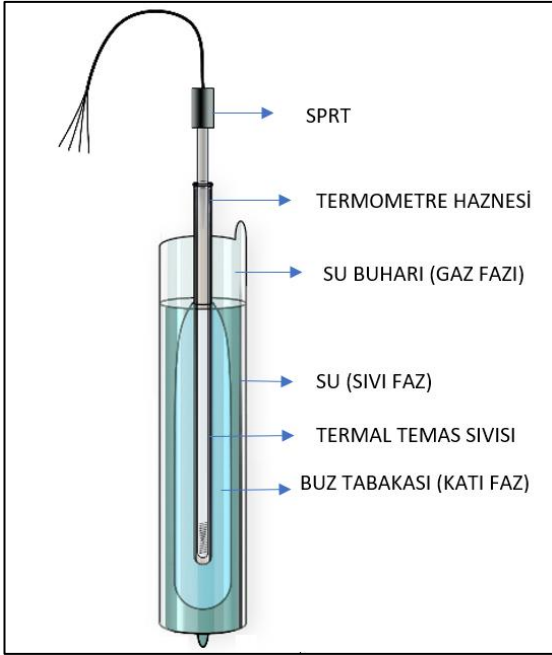
2.2. Metot

SÜN hücresi, silindirik borosilikat cam tüpten üretilmiştir. SÜN hücresi ile doğruluğu yüksek, kararlı ve tekrar üretilebilir ölçümler yapabilmek için kullanılan suyun saflığı ve kalitesi dikkat edilmesi gereken en önemli parametredir. Hücre ilk aşamada kimyasal yöntemlerle temizlenerek özel yöntemlerle dinlendirilmiştir. Özel tasarım bu hücrenin içine iki kez damıtılmış yüksek saflıkta su konularak hava almadan kapatılmıştır. Hücre kapatıldıktan sonra içerisine herhangi bir maddenin girme riski yoktur. Hücrenin üretiminden sonraki aşama, ölçümler için hücrenin hazırlanması aşamasıdır. Ölçümlerde hızlı ve güvenli olması sebebiyle katı CO₂ yöntemi kullanılmıştır. SÜN hücresinin içindeki termometrenin daldırıldığı tüp toz bırakmayacak bir çubuğa sarılı bir bez ile iyice temizlenerek kurutulur. Temizleme işleminin ardından, ölçümlerde kullanılacak SÜN hücresi, sıcaklık değeri yaklaşık 0.001 °C'ye ayarlanmış, SÜN muhafaza alkol banyosu içine konarak, iki saat ön soğutma işlemine tabi tutulur. Yaklaşık 1 kg katı CO₂, çekiç yardımıyla çok ufak parçalar haline getirilir (örneğin toz şekeri gibi). Ufalanmış katı CO₂ SÜN hücresi içerisine metal bir kaşık ile doldurulur (eklenen katı CO₂ seviyesinin hücre içindeki su seviyesini geçmemesine dikkat edilir. Katı CO₂'nin SÜN hücresi içinde homojen (hava boşluklarının kalmaması) olarak dağılması ve CO₂ miktarının belirlenen seviyede kalması önemlidir. Bunun için SÜN hücresine

parmak uçlarıyla yavaşça vurulur ve CO₂'nin hücre içerisinde homojen olarak dağılması sağlanır. Bazen eklenen katı CO₂'nin içindeki kirliliklerin oluşturabileceği safsızlıklar, SÜN hücresi içinde bir gri renkli kirlilik tabakası oluşturabilir. Eğer bu tabaka oluşur ise, SÜN hücresindeki ısı iletkenliğini azalacağından, bu kirlilik tabakası hücrenin çok dikkatli bir şekilde ters çevrilmesi ile hücre içinden dışarı atılabilir. SÜN hücrenin hazırlanış esnasında oda sıcaklığında sürekli ısınmasından dolayı hücre içinde oluşan buz tabakası homojen olmayabilir. Bunu önlemek için buz tabakası oluşturma esnasında hücre zaman zaman soğutulmak üzere SÜN muhafaza alkol banyosu geri konur.

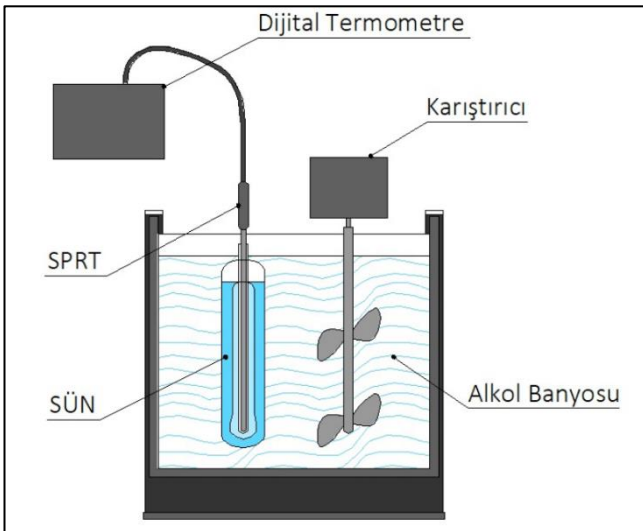
Hücre içerisindeki CO₂ ile su seviyesinin aynı olması gerekir. CO₂ ve su seviyesinin eşit olmaması durumunda hücrenin üst kısmında buzlanma (buz köprüsü) oluşabilir. Bu durum SÜN'ün kırılmasına sebep olabilir. Buz köprüsü oluşması halinde, bu ince tabakanın etrafına başparmak ve orta parmaklar sarılarak vücut ısısıyla, oluşan buz köprüsü eritilir. SÜN hücresi içinde oluşturulan buz tabakasının kalınlığı 6-8 mm arasında olduğunda katı CO₂ eklenmesi durdurulur. Işığın kırılmasından dolayı, buz tabakası kalınlığının ne kadar olduğunu dışarıdan bakarak gözlenmesi güçtür. Oluşan buzun kalınlığını doğru gözlemleyebilmek için, hücre su dolu beher içerisine daldırılır ve ışığın kırılmasından kaynaklanan yanığı ortadan kaldırılarak buz kalınlığı doğru gözlenmiş olur. Buz kalınlığının fazla olması ve bu katı fazın büyümeye devam etmesi hücrenin kırılmasına sebep olabilir. Katı faz yeterli kalınlığa ulaştığında (buz hücre iç duvarından birkaç mm uzak olmalı) hücre içinde geriye kalan katı CO₂, hücreyi yavaşça eğerek dışarı atılır. SÜN hücresinin içine buzda soğutulmuş su (termal temas sıvısı) eklenir, eklenen su seviyesi; hücrenin içerisinde termometre var iken, hücre içindeki su seviyesini geçmemelidir. Hücre içerisindeki katı fazın daha kararlı ve yapısal olarak uygun hale gelmesi için, hücre 24 saat alkol banyosunda bekletilir [13]. SÜN ölçüme başlanmadan önce, metal bir çubuk hücreye daldırılarak birkaç dakika bekletilir katı fazın biraz eriyerek cam tüpten ayrılması sağlanır. Hücre avuç içerisinde yavaşça döndürülür, bu döndürme işlemiyle katı fazında termometrenin daldırıldığı tüpün etrafında döndüğü görülmelidir. Eğer buz tabakası dönmüyor ise oda sıcaklığındaki metal çubuk tekrar 30 saniyelik hücreye daldırılarak işlem tekrar edilir. Tüm bu işlemlerden sonra Şekil 1'de görüldüğü gibi, hücre içerisinde 3 faz elde edilmiş olur.

Buz kalınlığını koruyarak hücreyi birkaç hafta kullanabilmek ve termal radyasyonu önlemek amacıyla hücre, sıcaklığı yaklaşık 0.001 °C olan alkol banyosunda ışık almayacak şekilde muhafaza edilerek ölçüm işlemlerine başlanır. Hücre banyonun içine konulduğunda banyonun dengeye gelmiş olması önemlidir, aksi takdirde banyonun daha sıcak olması hücre içerisinde buz tabakasının erimesine, banyonun daha soğuk olması ise buz tabakasının büyümeye devam ederek kırılmasına sebep olabilir. Ölçüm düzeni Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 1. Ölçümler için hazırlanmış SÜN hücresi

Kalibrasyonu gerçekleştirilecek olan SPRT, SÜN hücresi içerisine konulmadan önce alkol banyosuna daldırılarak ortam sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa gelmesi ve hücrenin içerisine girdiğinde buz tabakasını eritmesi engellenmiş olur. Termometre hücre içerisine dikkatlice yerleştirilmelidir. İdeal bir ölçüm için yukarıda bahsedildiği gibi hücre hazırlandıktan sonra ölçümlere kadar 24 saat banyo içerisinde bekletilmesi önerilir. Bu süre katı fazın daha kararlı hale gelmesini, buzun üzerindeki gerilimin azalmasını sağlayacaktır. Ölçümlere başlamadan önce termometre sensörü (SPRT) dijital bir termometreye bağlanır, dijital termometre SPRT'den elde edilen direnç değerini sıcaklık değerine dönüştürür. Ölçümler 30 saniye ara ile seri şekilde gerçekleşir, en az 10 ölçüm alınır. Ölçüm akımı olarak 1 mA kullanılır.



Şekil 2. Banyo içerisine yerleştirilmiş SÜN hücresi ile SPRT kalibrasyon düzeneği

2.3. Ölçüm Belirsizliği

Ölçüm sonucunun belirsizliği, ölçülen cihazın kesin değerinin bilinmesindeki eksikliği yansıtır. Fark edilen sistematik hataların düzeltilmesinden sonraki ölçüm sonucu, rastgele hatalardan dolayı ortaya çıkan belirsizlikten dolayı hala sadece bir tahminden ibarettir. Gerçek değere en yakın sonucu elde etmek ölçümlerde belirsizliğe etkisi olan hata kaynaklarının etkin şekilde değerlendirilmesiyle mümkündür. Bu örnekte belirsizlik hesabı EA-4/02 rehber dokümanına uygun olarak yapılmıştır [14,15]. SÜN hücresinde gerçekleşen kalibrasyon işleminde hem hücreden hem de referans termometreden kaynaklanan etkilerin belirsizlik bütçesine eklenmesi gerekmektedir. Bu araştırmada A ve B tipi belirsizlik parametreleri standartlara uygun analiz edilerek uygun istatistiksel yöntemlerle genişletilmiş belirsizlik değeri %95 güvenilirlik seviyesiyle hesaplanmıştır [5,14]. Ölçümlerde hesaba katılan tüm belirsizlik parametreleri Tablo 1'de verilmiştir. Tüm veriler laboratuvarında gerçekleştirilen ölçümler sonucu elde edilmiştir. Tahmini belirsizlik değerleri için istatistiksel dağılım türleri tespit edilerek tüm dağılımlar normal dağılıma çevrilerek standart belirsizlik değerleri bulunmuştur. Belirsizlik hesabında referans sıcaklık değeri için model fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır [14,15]

$$t_x = t_s [\delta t_{RU} + C_s \cdot \delta \Omega_{RG} + C_s \cdot \delta \Omega_{SH} + \delta t_{IC} + C_s \cdot \delta \Omega_{HB} + \delta t_{BS} + C_s \cdot \delta \Omega_{RR} + C_s \cdot \delta \Omega_{RT} + C_s \cdot \delta \Omega_{RE}]$$

- t_s = Referans Termometreden Okunan Değer
 t_x = Kalibre Edilen Termometreden Okunan Değer
 δt_{RU} = Referans Hücre Sertifika Belirsizliği
 $\delta \Omega_{RG}$ = Direnç Köprüsünün Belirsizliği
 $\delta \Omega_{SH}$ = Self Heating Etkisi
 δt_{IC} = İzotopic Kompozisyon Etkisi
 $\delta \Omega_{HB}$ = Hidrostatik Basınç Etkisi
 δt_{BS} = Banyo Kararlılık ve Homonejitesi
 $\delta \Omega_{RR}$ = SPRT Kısa Dönem Kararlılık
 $\delta \Omega_{RT}$ = SPRT Tekrarüretilebilirlik
 $\delta \Omega_{RE}$ = SPRT Çözünürlük Değeri
 C_s = Hassasiyet Katsayısı

Hidrostatik Basınç Etkisinin ölçümlere olan etkisi hücre içerisine tam daldırılmasından kaynaklanmaktadır oysa ölçüm yapılması gereken nokta hücrenin en alt noktası yerine suyun üç fazının elde edildiği saf suyun hücre içerisindeki en yüksek noktasıdır, fakat SPRT'ler ile doğru ölçüm yapabilmek için termometrenin daldırma derinliği dikkate alınarak en alt noktada ölçüm yapılmalıdır, doğru noktada ölçüm yapılamaması basınç farkı kaynaklı hataya sebep olabilmektedir bu da hidrostatik basınç etkisi olarak hesaba katılmalıdır, bu değer hesaplanırken, termometrenin en uç noktasından direncin bittiği noktaya kadarki uzunluğun yarısı alınarak başlangıç noktası seçilir. Hücre içerisine konulan termometrenin direncinin tam orta noktasından, hücre içindeki sıvının bittiği noktaya kadarki kısım cetvelle ölçülür. Bu uzunluğun kaç dereceye denk geldiği hidrostatik basınç düzeltme değeri hesaba katılarak bulunur [5, 18].

(Örneğin 0.30 m ölçülmüş uzunluk için 0.3 m x 0.73 mK/m = 0.219 m°C) Kalibrasyon aşamasında SPRT ile 10 sn ara ile 10 ölçüm alınmıştır bu ölçümlerin standart sapması SPRT Kısa Dönem Kararlılık değeri olarak bütçeye eklenmiştir. SPRT Tekrar üretilebilirlik değeri için aynı ölçümler ikinci gün tekrar yapılmış ve iki ölçüm arasındaki fark hesaplanarak bulunmuştur. SPRT çözünürlük değeri termometrenin bağlandığı direnç köprüsünün çözünürlüğü alınarak hesaba katılmıştır.

Tablo 1. SÜN hücresinde SPRT termometre kalibrasyonu tahmini belirsizlik bütçesi hesabı

Belirsizlik Bileşeni	Tahmini Belirsizlik	İstatistiksel Dağılım	Hassasiyet Katsayısı (Duyarlılık)	Standart Belirsizlik (°C)
Referans Hücre Belirsizliği	0.0002 °C	Normal	1	0.0001
Köprü Belirsizlik	0.000006 Ω	Normal	10 °C/Ω	0.00003
Self Heating	0.0000015 Ω	Dikdörtgen	10 °C/Ω	8.67E-06
İzotropik Kompozisyon Etkisi	0.000010 °C	Dikdörtgen	1	5.780E-06
Hidrostatik Basınç Etkisi	0.00000146 Ω	Dikdörtgen	10 °C/Ω	8.439E-06
Banyo Kararlılık ve Homojenite	0.003 °C	Dikdörtgen	1	0.0017344
SPRT Kısa Dönem Kararlılık	0.000006 Ω	Normal	10 °C/Ω	0.00006
SPRT Tekrarüretilebilirlik	13.0E-06 Ω	Dikdörtgen	10 °C/Ω	0.0002249
SPRTÇözünürlük	0.000001 Ω	Dikdörtgen	10°C/Ω	5.780E-06
Standart Toplam Belirsizlik= $U_1\sqrt{(U_{\delta t_1}^2+U_{\delta t_2}^2+U_{\delta t_3}^2+U_{\delta t_4}^2+U_{\delta t_5}^2+U_{\delta t_6}^2+U_{\delta t_7}^2+U_{\delta t_8}^2)}$				0.00175
Genişletilmiş Belirsizlik= $U=kx U_1=2x0.00175$				0.0035

3. SONUÇ



Yüksek metrolojik vasıflara sahip SPRT'lerin sıcaklık ölçümlerinde ve kalibrasyonlarında kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bu tür termometrelerin buz noktası yerine suyun üçlü noktası hücresinde kalibrasyonun ve kontrolünün gerçekleştirilmesi doğruluğu yüksek, belirsizliği düşük sonuçlar sağlamaktadır.

Bu çalışmada SÜN hücresi ile ölçümlerin gerçekleştirilmesine ve ölçüm belirsizlik hesabının yapılmasına ilişkin detaylı bilgi verilmiştir. Deneysel sonuçlar göstermektedir ki SPRT'lerin SÜN hücresinde kalibrasyonunda k=2 %95 güvenilirlik seviyesiyle ölçüm belirsizliği 3.5 m°C olarak hesaplanmıştır.

4. KAYNAKÇA

- [1] H. P. Thomas, The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90), Metrologia, cilt 27, no. 1, 1990.
- [2] T. J. Quinn, Temperature, Academic Press, 2013.
- [3] T. D. McGee, Principles and Methods of Temperature Measurement, New York, United States: John Wiley & Sons Inc, 1988.
- [4] R. E. Bentley, Handbook of Temperature Measurement.: Volume 1, Temperature and Humidity Measurement, Springer Science & Business Media, 1998.
- [5] A. Peruzzi, E. Mendez-Lango, J. Zhang ve M. Kalemci, Guide to the Realization of the ITS-90 Triple Point of Water, Bureau International des Poids et Mesures, 2017
- [6] A. Peruzzi, M. Dobre, J. v. Geel, A. Uytun, Kalemci, M. Kalemci, E. Uysal, G. Strouse ve Y. Nue, Effect of Impurities on Water Triple-Point Cells, International Journal of Thermophysics , no. 35, 1084–1096.
- [7] G. T. Furukawa, B. W. Mangum ve G. F. Strouse, Effects of different methods of preparation of ice mantles of triple point of water cells on the temporal behaviour of the triple-point temperatures, Metrologia, cilt 34, p. 215, 1997.
- [8] J. V. Nicholas, T. . D. Dransfield ve D. R. White, Isotopic composition of water used for triple point of water cells, Metrologia, cilt 33, no. 3, 1996 .
- [9] D. R. White ve W. L. Tew , Improved Estimates of the Isotopic Correction Constants for the Triple Point of Water, International Journal of Thermophysics, no. 31, p. 1644–1653, 2010.
- [10] G. T. Furukawa, B. W. Mangum ve G. F. Strouse, Effects of different methods of preparation of ice mantles of triple point of water cells on the temporal behaviour of the triple-point temperatures, Metrologia, cilt 34, p. 215, 1997.
- [11] A. Peruzzi, M. Dobre, G. Strouse, J. Van Geel, Doping Experiments with Water Triple-Point Cells, Int J Thermophys (2011) 32:1553–1562
- [12] K. N. Quelhas, · R. N. Teixeira, An Alternative Method for Manufacturing Water Triple-Point Cells, Int J Thermophys (2014) 35:1097–1108
- [13] A. İnce, A. Kartal, Uluslararası Sıcaklık Ölçeği 1990 (ITS-90)'nın Ulusal Metroloji Enstitüsünde (Ume) Gerçekleştirilmesi Ve Muhafazası, TMMOB II. Ulusal Ölçümbilim Kongresi Bildiriler Kitabı, 23 - 24 EKİM 1997, Eskişehir,
- [14] EA-4/02 Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration, EA Laboratory Committee, 2013
- [15] S. Armstrong, The Development of a Primary Laboratory for the Calibration of Standard Platinum Resistance Thermometers, AIP Conference Proceedings 684, 351 (2003)
- [16] J.J. Connolly, R.E. Bentley, Platinum Resistance Thermometry, First Edition, NMI, 2004
- [17] J. Tamba, M. Sakai, I. Kishimoto ve M. Ar, «Isotopic Correction of Water-Triple-Point Cells at NMIJ,» International Journal of Thermophysics , no. 29, 1749–1760.
- [18] V. Zuzek, J. Bojkovski, V. Batagelj, J. Drnovsek, SPRT Immersion Profiles in a TPW Cell with the Use of Metal Bushings, 9th International Temperature Symposium on Temperature - Its Measurement, 2013, 1552

Analysis of The Electrodermal Activity Signals for Different Stressors Using Empirical Mode Decomposition

*¹Ramis İleri,¹Fatma Latifoğlu¹Erciyes University, Department of Biomedical Engineering, Kayseri/Turkey, ramissileri@gmail.com, ¹Erciyes University, Department of Biomedical Engineering, Kayseri/Turkey, flatifoglu@erciyes.edu.tr, 

Research Paper

Arrival Date: 03.08.2019

Accepted Date: 10.05.2020

Abstract

In this study, Electrodermal Activity (EDA) signals were analyzed to evaluate the changes between physical stress, cognitive stress, and emotional stress. For this purpose, energy and variance properties of the EDA signals in the time domain were analyzed for each case and as short-time frames. In addition, the EDA signals were decomposed using the Empirical Mode Decomposition (EMD) method, and the sub-band signals were analyzed for each case. Further, the Short Time Fourier Transform (STFT) method was used to analyze the in the time-frequency domain of these signals. Also, according to obtained features, EDA signals were classified to determine the stages. Simulated results show that, the EDA and subband EDA signals were found to be significantly different in terms of cognitive stress ($p < 0.05$). Also, the features obtained from the EMD subbands were classified using Support Vector Machines (SVM), K-Nearest Neighbors (KNN), and Multi-Layer Perceptron (MLP) methods for different situations and classifier performances were compared. In the classification of cognitive stress period and first rest period, the best classification performance was achieved as 97.36 %, 84,21 %, and 81,57 % using MLP, SVM and KNN classifier respectively compared to other situations.

Keywords: Electrodermal Activity (EDA), Empirical Mode Decomposition (EMD), Short Time Fourier Transform (STFT), Artificial Neural Network (ANN)

1. INTRODUCTION

Electro Dermal Activity (EDA) is defined as the electrical activity that is recorded by the sweat glands and electrodes, which are formed from adjacent epidermal and dermal layers and placed on special areas on the skin surface [1, 2]. They are recorded as conductivity changes from the skin surface. These recorded signals are called electrodermal activity signals. Obtained, these signals are bio signals used to measure the change in skin resistance caused by an increase in eccrine sweat gland activity [3, 4]. An EDA is a way of obtaining the activity of sweat glands attached to the autonomic nervous system, as a parameter. An EDA is a simple, noninvasive and reproducible electrophysiological technique that is useful for investigating sympathetic nervous system function. Physically, an EDA is the change in the response of different types of stimuli to the electrical properties of the skin [5]. Small changes in the electrical properties of the skin are measured with the help of finger sensors and electrodes. Electrodermal activity is associated with stress and relaxation [6]. The electrical resistance of the skin changes rapidly during the mental, physical, and emotional arousal. EDA, which is robust, cost-effective, and non-invasive is used to detect cognitive, emotional, and

motor processes [7, 8]. Fluctuations in skin conductance are linked to a specific set of brain circuitry [9].

In literature, there are some studies analyzing EDA in mental, physical, and emotional states, and for different diseases. Cornelia et al. [10] developed a personal health system to detect stress. For this purpose, a group of 33 people underwent psychosocial stress caused by mental stress and social-evaluative threat resulting from the resolution of arithmetic problems under time pressure in the office environment. During this process, EDA signals were recorded from the subjects. When the data was analyzed, the EDA showed that the distribution of peak height and instant peak velocity conveyed information about a subject's stress level. A maximum accuracy of 82.8% was achieved for discriminating stress from cognitive load. Rabavilas A.D. examined the relationship between alexithymia and arousal level in patients with anxiety states. The results showed that patients with high alexithymia had significantly higher levels of electrodermal stimulation and slower recovery times compared to lower alexithymia patients [11].

In another study, nonspecific EDAs and specific EDAs were examined in two experimental sessions with two groups including 12 hyperactive children and 12 normal controls. In

*Corresponding Author: Erciyes University, Faculty of Engineering, Department of Biomedical Engineering, Kayseri / TURKEY, ramissileri@gmail.com

hyperactive children, lower basal skin conductivity, less specific EDA, and smaller specific EDAs were found to be lower than in normal children. The stimulatory drugs administered to a group of hyperkinetic children were found to be prone to increase basal level conductivity and nonspecific GSR activity toward normal child levels [12]. Healey J. A. and Picard R. W. provides methods for collecting and analyzing physiological data during real-world driving tasks to determine the relative stress level of drivers. Electrocardiogram, electromyogram, skin conductivity, and respiration were recorded continuously while drivers followed a route on open roads in the Boston area. At the end of the study, most of the drivers showed that skin conductivity and heart rate measurements were the most closely related to the level of drive stress [13]. In literature studies, EDA signals have been analyzed according to amplitude of the time response of the signals. The main purpose of this study is to evaluate whether there is a difference between different stress situations by using the features obtained from EDA signals without EMD using and the properties obtained by using EMD. Another aim of this study is to evaluate which type of stress is identified better using the features obtained from the subband (IMF) signals decomposed by EMD method. For this aim we analyzed EDA signals in time and frequency domain using STFT and EMD methods. EDA signals recorded during different stages including physical stress, cognitive stress, and emotional stress from healthy subjects were analyzed using EMD method. To the best of our knowledge, this study is the first study in the literature analyzing and classifying changes in EDA signals in different stress situations using the EMD method. This paper is organized as follows. Section 2 provides Materials and Methods. The results are discussed and explained in Section 3, including an analysis of EDA signals. Finally, in Section 4, the paper is concluded.

The applied process in this study is seen from Figure 1.

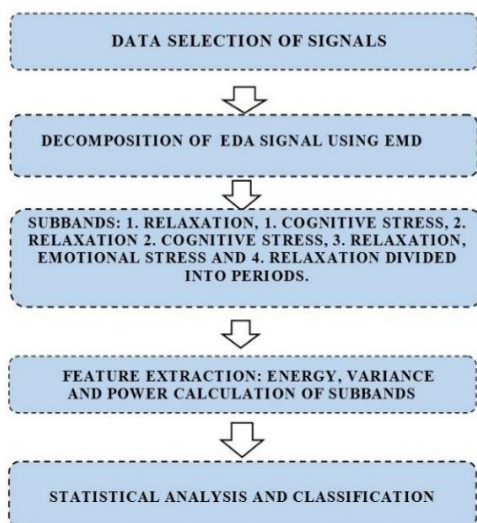


Figure 1. Steps followed in the study

2. MATERIALS AND METHODS

In this study, for the analysis of EDA signals, the process steps are described in below flowchart.

2.1. Participants and Data Acquisition

In this study, data was obtained from the ‘physio.net’ database. In this database SPO2 (atrial oxygen saturation), HR (heart rate), body temperature, and EDA signals are available and recorded from 19 healthy university students. Only EDA signals were used for analysis in this study [14, 15]. The sampling frequency of EDA signals is 8 Hz.

Signals were recorded in seven stages as first relaxation, physical stress, second relaxation, cognitive stress, third relaxation, emotional stress, and forth relaxation period. A certain procedure was applied for the signals recorded from subjects at each stage as seen in Figure 2.

- 1-First Relaxation: Five minutes rest.
- 2-Physical Stress: Stand for one minute, walk on a treadmill at one mile per hour for two minutes, then walk/jog on the treadmill at three miles per hour for two minutes.
- 3-Second Relaxation: Five minutes rest.
- 4-Cognitive Stress: Count backwards by sevens, beginning at 2485 for three minutes. The Stroop test consisted of regarding the names of colors written in a different color ink then saying what color the ink was. In both tests, the volunteers were alerted to errors by a buzzer.
- 5-Third Relaxation: Five minutes rest.
- 6-Emotional Stress: The volunteer was told he/she would be shown a five-minute clip from a horror movie after minute. After the minute of anticipation, a clip from a zombie apocalypse movie, The Horde was shown.
- 7-Forth Relaxation : Five minutes rest.[14].

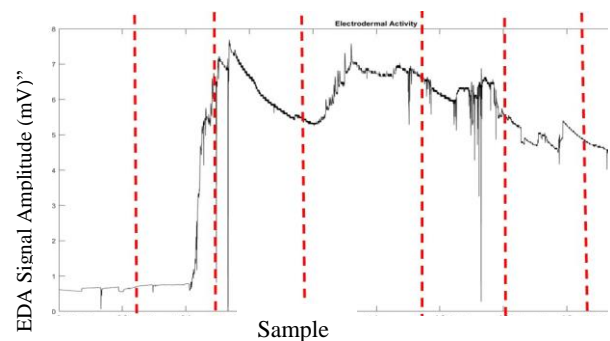


Figure 2. Decomposition of signals into seven sections [14].

At this stage of the study, physical, cognitive, and emotional stress was decomposed into sub bands by applying EMD to analyze the EDA signals according to sub bands. The energy, power, and frequency features of these sub band signals were calculated. The STFT method was also used for frequency analysis of the EDA signals.

2.2. Empirical Mode Decomposition

Empirical Mode Decomposition method proposed by Huang decomposes any given data into intrinsic mode functions (IMF) and residual signal using shifting process [16]. EMD is an adaptive technique that allows decomposition of non-linear and non-stationary data into intrinsic mode functions (IMF)[17].

EMD method has been used in the literature to decompose physiological signals such as EEG and ECG and to remove noise from the signals. Slimane at al.[18] used the EMD method to detect the QRS complex from ECG signals. Valesko at al.[19] used the EMD method to remove noise from ECG signals. Bajaj at al.[20] proposed a method for the diagnosis of Epilepsy disease using the EMD method to EEG signals. Zhang at al.[21] proposed an EMD method based algorithm to remove noise from EEG signals. In addition, Gautam at.[22] used the EMD method for noise elimination of EDA signals.

In this study EDA signals were decomposed into 5 sub band signals by using EMD method. Here, we tried different decomposition levels and the 5 level decomposition process was sufficient to reveal the inter-state variation[16, 23-25]. Figure 3 shows the decomposed signals into 5 IMF and residual component using the EMD method.

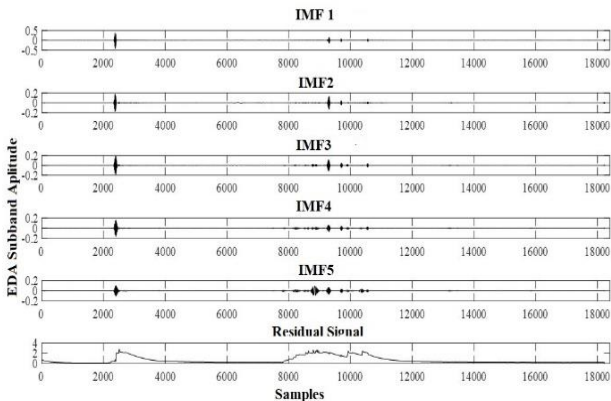


Figure 3. EDA signals divided into five sub bands by the EMD method

2.3. Frequency Analysis of the EDA Signals

The STFT method was used to show the time and frequency components and to evaluate visually of EDA signals. The STFT method is proposed by Dennis Gabor (1946) adapted the Fourier transform to analyze only a small section of the signal at a time. This technique is called windowing the signal. The STFT method maps a signal into a two-dimensional function of time and frequency. Therefore, the STFT provides the time- and frequency-based views of a signal. The STFT method uses the following equation;

$$STFT(t, w) = \int_{-\infty}^t f(\tau)\vartheta(\tau - t)e^{-jw\tau}d\tau \quad (1)$$

Where $\vartheta(\tau - t)$ is defined as window function. In this study, STFT method was used to visually show both time and frequency information of EDA signals and IMF signals. Figure 4 shows the STFT sonogram image of raw EDA signals.

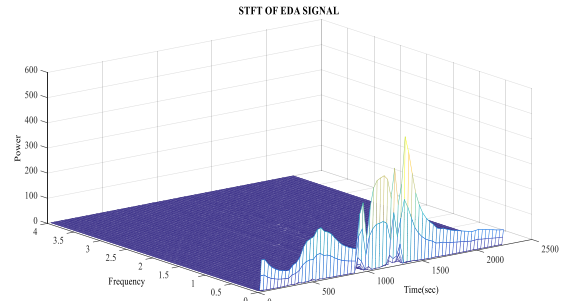


Figure 4. STFT of Raw EDA Signal

2.4. Calculated Features from EDA Signals

To analysis EDA signals in time and frequency domain, we calculated energy and variance of EDA signals in time domain. Also power spectral density (PSD) of EDA signals were obtained using Welch method and power feature from PSD graphics were calculated for each state. Also, we analyzed sub band signals according to variance and energy terms.

2.5. Classification of EDA signals for different situations

At this stage of study, Artificial Neural Networks (ANNs), Support Vector Machines (SVM), K Nearest Neighbors (KNN) methods were applied to EDA signals for classification of each stage using obtained features. Also, classification performance of the used methods was compared. Energy and variance values of sub band signals were used for classification of relaxation, cognitive stress, physical stress and emotional stress stages. Classification process was performed for first rest period and physical stress period, first rest period and cognitive stress period, and first rest period and emotional stress period.

ANN is a mathematical model inspired by the information processing methods of biological nervous systems such as the brain. The ANN architecture of interconnected neurons is structured for specific applications such as data classification [26]. During classification of EDA signals with ANN, Multilayer Perceptron (MLP) method is used. Two hidden layers were used for network model to get best classification performance and k value was selected as 5 for k-fold cross validation.

KNN (K-Nearest Neighbors) is one of algorithm among many algorithms used in data mining and machine learning. It is a classifier algorithm where the learning is based “how similar” a data (a vector) from other [22]. Among the various classification methods, Support Vector Machines (SVMs) have emerged as a powerful classification technique. SVM

solves a convex optimization problem which leads to a globally optimal solution [23]. The detailed information about ANN , KNN and SVMs exists in ref [27-29]. All classification process was performed using MATLAB Classification Learner Toolbox.

2.6. Statistical Analysis

We tested the data for normality and found that the data did not have normal distribution. Therefore, we performed the Mann Whitney U-Test on our data. The Mann-Whitney U test is a non-parametric test that can be used in place of an unpaired t-test. It is a nonparametric test that is used to compare two population means that come from the same population, it is also used to test whether two population means are equal or not.

3. RESULTS

The time and frequency analysis of the EDA signals were obtained by using the STFT method and the obtained time-frequency sonogram is shown in Figure 4. Also, the energy and the variance of the EDA signal has been calculated for all situations.

3.1. Energy and Variance Features of EDA signals

In order to determine whether there is a statistically significant difference between the different states of EDA signals, energy and variance variables were analyzed statistically. In each stage of EDA signals variance and energy features are calculated individually and compared according to first relaxation stage. The *p* values obtained are given in Table 1.

When the raw EDA signals are evaluated in terms of energy properties, only a significant difference was found between first relaxation and cognitive stress. When evaluated in terms of variance feature, there was a significant difference between first relaxation in both cognitive stress and physical stress situations.

Table 1. Mann Whitney U-Test Result

	ENERGY		VARIANCE	
		Sig(2-tailed)		Sig(2-tailed)
First Relaxation → Physical Stress	→	0,082		0,04*
First Relaxation → Cognitive Stress	→	0,00*		0,00*
First Relaxation → Emotional Stress	→	0,052		0,125

Analysis of EDA signals using EMD

EDA signals are decomposed into five sub-bands using the EMD method. The sub bands are divided into seven stages: first rest, physical stress, second rest, cognitive stress, third rest, emotional stress, and fourth rest, considering the determined signal lengths. Energy and variance values of each stage for the five sub bands signals were calculated. Also, power and energy calculation of the EDA signals for each mode was performed from PSD graphics. The power of the signals which are windowed 10 second frames (10 * 8 = 80 samples) in frequency domain was calculated.

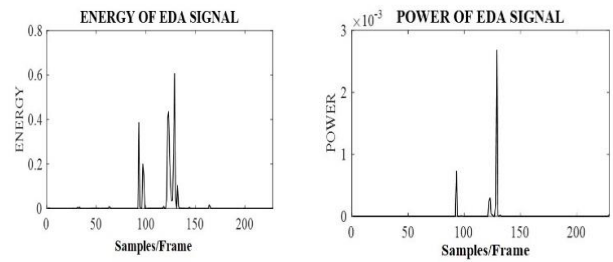


Figure 5.a Energy of IMF2 Subband of EDA Signal
Figure 5.b Power of IMF2 Subband of EDA Signal

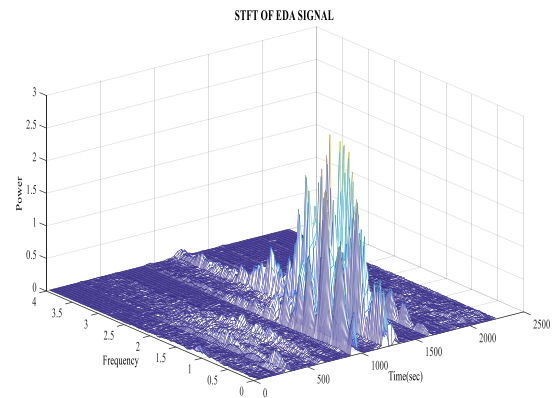


Figure 6. STFT sonogram of IMF2 EMD Subband Signal

Table 2. Statistical Analysis Results

ENERGY	SUBBAND 1 Sig(2-tailed)	SUBBAND 2 Sig(2-tailed)	SUBBAND 3 Sig(2-tailed)	SUBBAND 4 Sig(2-tailed)	SUBBAND 5 Sig(2-tailed)
First Relaxation → Physical Stress	0,056	0,082	0,014*	0,004*	0,001*
First Relaxation → Cognitive Stress	0,000*	0,000	0,000	0,000	0,000*
First Relaxation → Emotional Stress	0,328	0,343	0,389	0,328	0,184
VARIANCE	SUBBAND 1 Sig(2-tailed)	SUBBAND 2 Sig(2-tailed)	SUBBAND 3 Sig(2-tailed)	SUBBAND 4 Sig(2-tailed)	SUBBAND 5 Sig(2-tailed)
First Relaxation → Physical Stress	0,000*	0,082	0,014*	0,004*	0,001*
First Relaxation → Cognitive Stress	0,000*	0,001*	0,000*	0,000*	0,000*
First Relaxation → Emotional Stress	0,000*	0,328	0,389	0,328	0,184

In Figure 6 there is a significant increase in the magnitude of power spectral density in the case of cognitive stress for the second EMD sub band signal.

EDA sub band signals decomposed using the EMD method were analyzed to see if there was a statistical difference in terms of energy and variance characteristics between the first relaxation and physical stress condition, first relaxation and cognitive stress condition, first relaxation and emotional stress condition. *p* values obtained from the analysis of each EMD sub bands and each stages according to the energy and variance features are given in the Table 2. If $p < 0.05$, it can be said that there is a significant difference between the two groups. As seen from Table 2, there are significant differences between first relaxation and cognitive stress in all EMD sub bands of EDA signals in terms of energy and variance characteristics. In terms of energy, there is a significant difference in the 3rd, 4th, and 5th EMD sub bands of physical stress, but the level of difference in the cognitive stress stage is more significant than the other stages. In terms of variance, there is a significant difference in the 1st, 3rd, 4th, and 5th EMD sub bands of physical stress, but the level of difference in the cognitive stress stage is more significant than the other stages. When evaluated in terms of energies, there is no statistically significant difference between first relaxation and emotional stress stages. When evaluated in terms of variances, it is seen that there is only a significant difference in subband 1.

As seen from Table 2, there is a significant difference for the cognitive stress situation in the EDA signals, which are decomposed using EMD method.

3.2. Classification Results

Classification of EDA signals according to different situations has been done by using the calculated features of EMD subband signals. Variance and energy features of IMF1 and IMF2 subband signals are applied as an input to the classifiers. The input matrix 38x5 (38 =19 subject x 2 different stage (for example: first relaxation (0), physical stress (1)) × (5 =4 features + group) was used to classify each condition. In this paper, 10-fold cross validation is used to train the classifiers. Classifier accuracy was calculated with equation 2.

$$Accuracy = \frac{(TP+TN)}{TP+TN+FN+FP} \tag{2}$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \tag{3}$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN+FN} \tag{4}$$

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} \tag{5}$$

$$F - score = \frac{(1+\beta^2) \times sensitivity \times precision}{(\beta^2 \times sensitivity) + precision} \tag{6}$$

Accuracy gives information about correctly classified samples. It was calculated using (2). Sensitivity is also called Recall; it is the number of positive samples classified correctly and indicates the classifier's ability to correctly classify the positive class. Specificity indicates the measure of negative samples classified as negative. Precision is a measure of how many samples classified as positive are truly positive. It shows how much the positive classification of negative class can be avoided [30]. Evaluation of this metrics were given in (3) (4) (5). The F- ($\beta=1$) score is a typical measure of binary classification that can be interpreted as an average of precision and sensitivity as seen (6)[30]. In the

classification of physical stress stages for first relaxation, the highest classifier accuracy was obtained as MLP with an accuracy of 78.94%. The lowest classifier accuracy was obtained from SVM classifier with 63.15%. When evaluated in terms of all other performance metrics in classification of physical stress stages with first relaxation, MLP showed the highest score in all performance metrics. In the classification of cognitive stress stages with first relaxation, the highest classifier accuracy was classified as MLP with 97.36% accuracy. The lowest classifier accuracy was classified as KNN classifier with 81.57%. When evaluated in terms of all other performance metrics in the classification of first relaxation and cognitive stress stages, MLP showed the highest score in all performance metrics. In the classification of emotional stress stages with first relaxation, the highest classifier accuracy was classified as KNN with an accuracy of 63.15%. The lowest classifier accuracy was classified as KNN classifier with 52.63%. When the classifier performances are evaluated in general the highest accuracy was obtained in the classification of first rest period - cognitive stress period with all classification methods ref Table 3. Additionally, the highest accuracy was obtained in MLP method among the other two classification algorithm. Also, the lowest accuracy is seen in first rest period - emotional stress period. In the classification of cognitive stress period and first rest period, the best classification success was achieved compared to other situations. Classification performance was 97.36 % ,84.21 % , and 81.57 % using MLP, SVM and KNN respectively.

Table 3. Classification Results

First Relaxation → Physical Stress	SVM	KNN	MLP
Sensitivity	0,684211	0,631579	0,72
Specificity	0,578947	0,684211	0,923077
Precision	0,619048	0,666667	0,947368
F-score	0,65	0,648649	0,818182
Accuracy	0,631579	0,657895	0,789474
First Relaxation → Cognitive Stress	SVM	KNN	MLP
Sensitivity	0,736842	0,789474	1
Specificity	0,947368	0,842105	0,95
Precision	0,933333	0,833333	0,947368
F-score	0,823529	0,810811	0,972973
Accuracy	0,842105*	0,815789*	0,973684*
FirstRelaxation → Emotional Stress	SVM	KNN	MLP
Sensitivity	0,526316	0,631579	0,615385
Specificity	0,421053	0,368421	0,75
Precision	0,47619	0,5	0,842105
F-score	0,5	0,55814	0,711111
Accuracy	0,526316	0,631579	0,615385

In different stress situations, our body's responses to stress also differ. These stress factors can be caused by emotional factors such as excitement, sadness, or can occur when looking for a solution to a problem encountered in daily life or when doing mental calculation in an exam. Also stress is shown as one of the causes of heart diseases [31]. One of our body's first responses to these stress factors will be to secrete sweat. This secreted sweat will cause an increase in skin conductivity. This conductivity occurring in the skin is the source of different EDA signals. When evaluated from this point of view, analyzing the change in EDA signals in different stress situations allows us to evaluate the response of our body against stress. For example, Berberoğlu et al. [32] conducted a preliminary study for the wearable safety system that can help prevent occupational accidents. In this study, they said that EDA parameters can be important in determining the stress of the person.

When the studies in literature are examined, studies on time domain such as peaks, peak numbers, max points of EDA signals, and mean values of EDA signals amplitude are observed. Some researchers, such as Ghaderian and Abbasi, used time, frequency, and wavelet properties to predict mental stress using the EDA signal [33]. These studies are based on driving tasks, various images, arithmetic problems, and sound [34, 35]. Svetlak et al. [36] reported that the amplitude of the EDA signals increased significantly during the Stroop color test.

This study evaluates different types of stress using EDA signals. In our study, the detailed analysis of EDA signals showed that the change in cognitive stress was more important than the other situation ($p < 0.05$). Energy and variance values for EDA signal were seen to have increased significantly in the case of cognitive stress. When the variance and energy properties of the subband signals obtained using the EMD method were evaluated, it was seen that there were significant changes in physical stress as well as cognitive stress. It was observed that EDA signals increased significantly when subjects were exposed to situations requiring mental performance. As classification results, cognitive stress period and first rest period features are classified with higher classification rate from other stages as 97.36 %, 84.21 %, and 81.57 % using MLP, SVM and KNN respectively.

Detection of different attention states using EDA signals can be useful for different Human Computer Interference applications. For example, in the literature, changes in EDA signals have been analyzed by using cognitive stress in determining the stress level of drivers during simulated driving conditions [36], and emotional stress factors in the assessment of consciousness in unconscious patients [37].

According to the results of this study, when individuals are exposed to emotional, physical and cognitive stress, the most change in skin conductance occurs when they are exposed to cognitive stress. In addition, in case of cognitive and physical stress, the electrodermal activity of the person increases

significantly compared to the resting state. In case of emotional stress, there are no significant differences according to the resting state. However, in this study, the movie watched during emotional stress may have affected everyone differently. In order to provide more clear information about emotional stress, emotional stress can be evaluated by preparing a movie with different emotions inside. The results of this study show that different stress situations can be successfully analyzed using EDA signals. This study proposed an approach that uses basic signal features (energy and variance) to analyze and classify changes in different stress situations. In addition, for other users who will use the dataset used in the study, it contributes to the literature in the evaluation of EDA signals in the dataset.

In future study, the classification accuracy performance can be increased by using different decomposition methods to EDA signals or using different the features.

REFERENCES

- [1].W. Boucsein, *Electrodermal activity*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [2].H. ÖZBEK and D. J. S. B. D. Nazan, "Determination of the Hemispheric Difference at Attention Level in Sportsman," vol. 19, no. 2, pp. 93-101.
- [3].G. R. J. Y. J. Kim, S. S. Kim, W. Y. Jang, J. H. Kim, and S. W. Baik, "Implementation of Electrodermal Activity Measurement System using Algometer and Bio_Potential Measuring System," presented at the International Conference on Chemistry, Biomedical and Environment Engineering (ICCBEE'14), Antalya (Turkey) Oct 7-8, 2014
- [4].D. Nazan, "Sağlıklı Kişilerde ve Hipertiroidili Hastalarda Elektrodermal Aktivite Bulgularının İncelenmesi," Uzmanlık Tezi, Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, Erciyes Üniversitesi, 1996.
- [5].M. Tarvainen, P. Karjalainen, A. Koistinen, and M. Valkonen-Korhonen, "Principal component analysis of galvanic skin responses," in *Proceedings of the 22nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (Cat. No. 00CH37143)*, 2000, vol. 4, pp. 3011-3014: IEEE.
- [6].J. Xiong, "Design of health relaxation system based on biofeedback from finger sensors," in *2010 International Conference on Innovative Computing and Communication and 2010 Asia-Pacific Conference on Information Technology and Ocean Engineering*, 2010, pp. 127-128: IEEE.
- [7].W. J. B. Boucsein, EL vd, Schut, MH, Westerink, JHDM, Herk, J. v., and K. Tuinenbreijer, "Electrodermal activity: Springer Science & Business Media," 2012.
- [8].S. Zhang, S. Hu, H. H. Chao, X. Luo, O. M. Farr, and R. L. J. N. Chiang-shan, "Cerebral correlates of skin conductance responses in a cognitive task," vol. 62, no. 3, pp. 1489-1498, 2012.
- [9].M. M. BRADLEY and P. J. LANG, "25 Emotion and Motivation."
- [10].C. Setz, B. Arnrich, J. Schumm, R. Marca, G. Tröster, and U. Ehlert, "Discriminating stress from cognitive load using a wearable EDA device," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 14, pp. 410-417, 01/01 2010.
- [11].A. D. J. P. Rabavilas and Psychosomatics, "Electrodermal activity in low and high alexithymia neurotic patients," vol. 47, no. 2, pp. 101-104, 1987.
- [12].J. H. Satterfield and M. E. J. P. Dawson, "Electrodermal correlates of hyperactivity in children," vol. 8, no. 2, pp. 191-197, 1971.
- [13].J. A. Healey and R. W. J. I. T. o. i. t. s. Picard, "Detecting stress during real-world driving tasks using physiological sensors," vol. 6, no. 2, pp. 156-166, 2005.
- [14].J. Birjandtalab, D. Cogan, M. B. Pouyan, and M. Nourani, "A non-EEG biosignals dataset for assessment and visualization of neurological status," in *2016 IEEE International Workshop on Signal Processing Systems (SiPS)*, 2016, pp. 110-114: IEEE.
- [15].A. L. Goldberger *et al.*, "PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: components of a new research resource for complex physiologic signals," vol. 101, no. 23, pp. e215-e220, 2000.
- [16].E. Huang *et al.*, "The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis," vol. 454, no. 1971, pp. 903-995, 1998.
- [17].K. Drakakis, "Empirical mode decomposition of financial data," in *International Mathematical Forum*, 2008, vol. 3, no. 25, pp. 1191-1202: Citeseer.
- [18].Z.-E. H. Slimane and A. J. D. S. P. Naït-Ali, "QRS complex detection using Empirical Mode Decomposition," vol. 20, no. 4, pp. 1221-1228, 2010.
- [19].M. Blanco-Velasco, B. Weng, K. E. J. C. i. b. Barner, and medicine, "ECG signal denoising and baseline wander correction based on the empirical mode decomposition," vol. 38, no. 1, pp. 1-13, 2008.
- [20].R. B. Pachori, V. J. C. m. Bajaj, and p. i. biomedicine, "Analysis of normal and epileptic seizure EEG signals using empirical mode decomposition," vol. 104, no. 3, pp. 373-381, 2011.
- [21].D.-x. Zhang, X.-p. Wu, and X.-j. Guo, "The EEG signal preprocessing based on empirical mode decomposition," in *2008 2nd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*, 2008, pp. 2131-2134: IEEE.
- [22].A. Gautam, N. Simoes-Capela, G. Schiavone, A. Acharyya, W. De Raedt, and C. Van Hoof, "A Data Driven Empirical Iterative Algorithm for GSR Signal Pre-Processing," in *2018 26th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, 2018, pp. 1162-1166: IEEE.
- [23].N. E. Huang, Z. Shen, and S. R. J. A. r. o. f. m. Long, "A new view of nonlinear water waves: the Hilbert spectrum," vol. 31, no. 1, pp. 417-457, 1999.
- [24].N. E. Huang *et al.*, "A confidence limit for the empirical mode decomposition and Hilbert spectral analysis," vol. 459, no. 2037, pp. 2317-2345, 2003.
- [25].G. Rilling, P. Flandrin, and P. Goncalves, "On empirical mode decomposition and its algorithms."
- [26].H. Erkaymaz, M. Ozer, and İ. M. Orak, "Detection of directional eye movements based on the electrooculogram

signals through an artificial neural network," *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 77, pp. 225-229, 2015/08/01/ 2015.

[27].C. C. Aggarwal, "Neural networks and deep learning."

[28].URL: h. t. c. k.-k.-n. neighbors-1-a4707b24bd1d. (Access date : 19.07.2019).

[29].C. Cortes and V. J. M. I. Vapnik, "Support-vector networks," vol. 20, no. 3, pp. 273-297, 1995.

[30].A. Gosain and S. Sardana, "Handling class imbalance problem using oversampling techniques: A review," in *2017 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, 2017, pp. 79-85: IEEE.

[31].S. U. Amin, K. Agarwal, and R. Beg, "Genetic neural network based data mining in prediction of heart disease using risk factors," in *2013 IEEE Conference on Information & Communication Technologies*, 2013, pp. 1227-1231: IEEE.

[32].E. Beberoglu, M. Tokmakçi, and A. Ozdemir, *Is kazalarını onleyebilmek için bakım/onarım personelinin kullanabileceği bir giyilebilir emniyet sisteminin tasarlanması*. 2019.

[33].P. Ghaderyan and A. J. I. J. o. P. Abbasi, "An efficient automatic workload estimation method based on electrodermal activity using pattern classifier combinations," vol. 110, pp. 91-101, 2016.

[34].J. Kim, E. J. I. t. o. p. a. André, and m. intelligence, "Emotion recognition based on physiological changes in music listening," vol. 30, no. 12, pp. 2067-2083, 2008.


[35].W. Wen, G. Liu, N. Cheng, J. Wei, P. Shangguan, and W. J. I. T. o. A. C. Huang, "Emotion recognition based on multi-variant correlation of physiological signals," vol. 5, no. 2, pp. 126-140, 2014.

[36].J. S. K. Ooi, S. A. Ahmad, Y. Z. Chong, S. H. M. Ali, G. Ai, and H. Wagatsuma, "Driver emotion recognition framework based on electrodermal activity measurements during simulated driving conditions," in *2016 IEEE EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES)*, 2016, pp. 365-369: IEEE.

[37].J. Luauté *et al.*, "Electrodermal reactivity to emotional stimuli in healthy subjects and patients with disorders of consciousness," vol. 61, no. 6, pp. 401-406, 2018.

Tasarımın Uzun Boyun Seramik Femoral Baş Protezinin Yüksek Kırılma Oranına Katkısının Sonlu Elemanlar Analizi ile Araştırılması

*Mustafa Ünal

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman, Türkiye. mustafaunal@kmu.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 19.06.2019

Kabul Tarihi: 01.03.2020

Öz

Üstün aşınma direncine sahip olan seramikler, genç hastaların femur başı protezi için en iyi malzeme seçeneklerindedir. Bununla birlikte, seramiklerin doğal dezavantajları kırılabilirlikleridir. Bu nedenle, seramik femur başlarının üretim ve tasarım faktörleri dikkatlice düşünülmelidir. Aksi takdirde, yüksek kırılma oranına bağlı olarak, 2001 yılında seramik femoral başların geri çağırılması olayında olduğu gibi daha ciddi bir soruna neden olabilir. Her ne kadar geri çağırılan bu seramik başların yüksek kırılma oranları, temel olarak imalat işlemindeki bir değişikliklikle ilişkilendirilmiş olsa da, aynı partide üretilen uzun boyun tasarımlı seramik başların neden kısa boyun tasarımlı seramik başlara göre daha yüksek kırılma oranına sahip oldukları konusunda kesin bir tespit yapılamamış ve bu konuda bir mekanik analiz bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı, tasarım faktörünün uzun boyunlu seramik femoral başlarının daha yüksek kırılma oranına olası katkısını belirlemek için sonlu elemanlar analizi kullanılarak iki farklı seramik femur başı (kısa ve uzun boyunlu seramik baş) üzerindeki gerilme dağılımının analizini yapmaktır. 28 mm çapındaki iki farklı şekilde (kısa ve uzun boyunlu) tasarlanmış seramik başlar, 85 yaşındaki bir insanın yürüme koşulu altında maruz kaldığı maksimum yük altında sonlu elemanlar analizi (SEA) ile gerilme dağılımı test edildi. Katı modellenmesi yapılmış femur ve protezlere önce ağ örgüsü oluşturulmuş (~75000 düğüm ve ~50000 eleman) ve literatürden elde edilen malzeme özellikleri modele atanmıştır Solidworks simülasyonundan elde edilen SEA sonuçları, uzun boyunlu seramik başın konik-delik temas bölgesinde zaman içinde yorulma kırılmasına yol açabilecek yaklaşık 5 kat daha fazla lokal gerilme yoğunlaşmasının varlığını göstermiştir. Bu sonuç tasarım faktörünün, üretim kusurunun ötesinde uzun boyunlu seramik başların daha yüksek kırılma oranına katkıda bulunabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, tasarım faktörleriyle alakalı olan seramik başlar üzerindeki bu tür lokal gerilme yoğunlaşma alanlarının varlığı, yeni seramik femur başlarının tasarımı ve üretimi sırasında daima dikkate alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Biyomekanik, Seramik Femoral Baş, Femur, Sonlu Elemanlar Analizi, Kalça Protezi

Investigation of Contribution of Design to the High Fracture Rate of Long Neck Ceramic Femoral Head Prosthesis by Finite Element Analysis

Karamanoğlu Mehmetbey University, Karaman, Turkey. mustafaunal@kmu.edu.tr

Abstract

Having a superior wear resistance, ceramics have been among the best options of material for femoral head prosthesis of young patients. However, the inherent disadvantage of ceramics is their brittleness. Therefore, the production and design factors of ceramic femoral heads should be considered carefully. Otherwise, it may cause more serious problem such as in the example of recalling event of ceramic femoral heads in 2001 due to the high fracture rate. Although the high fracture rate of these recalled ceramic heads were primarily associated with an alteration in a manufacturing process, why the long neck designed ceramic heads produced in the same batch had higher fracture rate compared to short neck designed ceramic heads have not been fully identified and there have been no mechanical analysis on it. The purpose of this study was to analyze the stress distribution on two different ceramic femoral heads (short and long neck ceramic heads) using finite element analysis to identify the possible contribution of design factor to the higher fracture rate of long neck ceramic femoral heads. Two different designed ceramic heads with 28-mm diameter were analyzed by finite element analysis (FEA) in a femur under maximum walking load conditions of 85-year old person Solid modeled femurs and prostheses were first meshed (~ 75000 nodes and ~ 50000 elements) and the

*Sorumlu yazar: Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman, Türkiye. mustafaunal@kmu.edu.tr

Doi: 10.21541/apjes.579931

material properties obtained from the literature were assigned to the model.. The FEA results obtained from Solidworks simulation showed 5-times higher local stress concentration on long neck design which may lead to a fatigue fracture over time on the taper-bore contact area of long neck ceramic head, suggesting that design factor may also contribute to the higher fracture rate of long neck ceramic heads beyond manufacturing defect. Therefore, the presence of such local stress concentration areas on ceramic heads related to design factors should always be taken into account during the design and manufacture of the new ceramic femoral heads.

Keywords: Biomechanics, Ceramic Femoral Head, Femur, Finite Element Analysis, Hip prosthesis

1. GİRİŞ

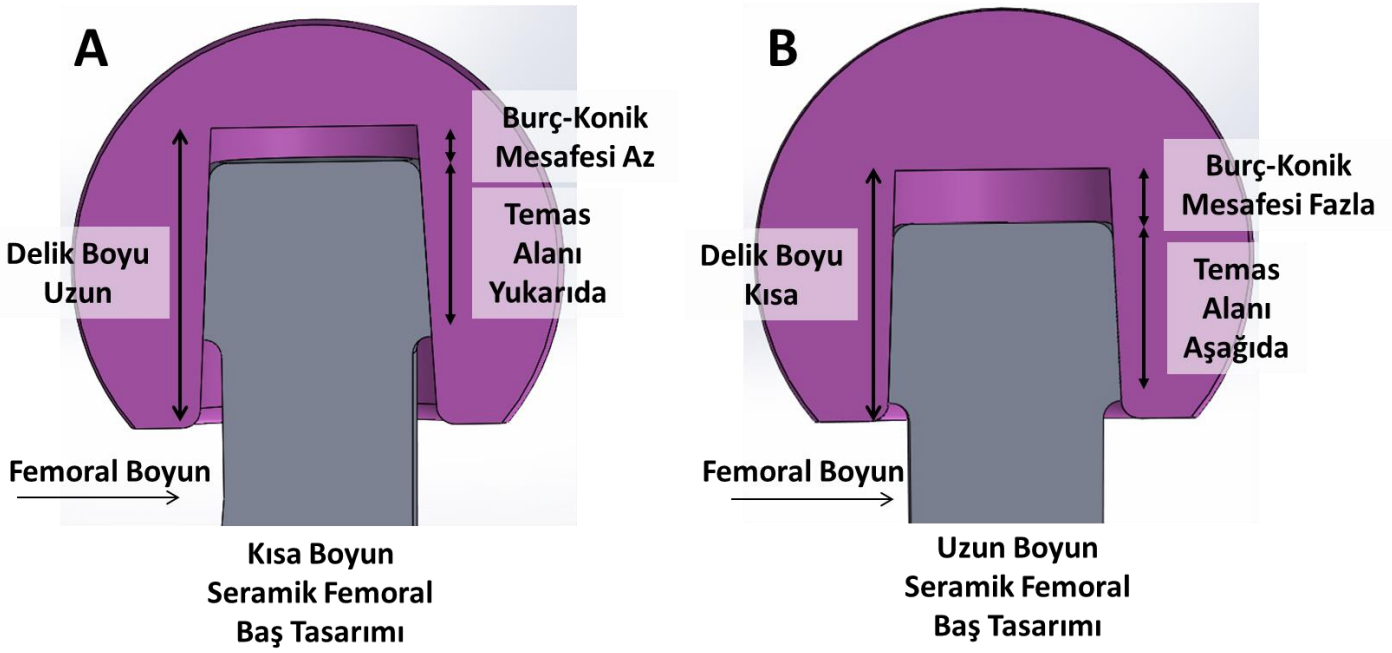
İnsan vücudundaki kalça eklemi sferoid femur başı ve asetabulum boşluğu olmak üzere iki ana bölümden oluşur. Kalça eklemi yürüme, koşma ve dönme gibi çok yönlü hareketler sağlar [1]. Kalça eklemi bazen vücudun ağırlığının üç veya beş katına eşit olan döngüsel yüklemeye maruz kalır ve yaşam boyunca bu döngüsel yüklemeye dayanmalıdır [1, 2]. Osteoartrit, avasküler nekroz, artrit ve travma bazen kalça ekleminde kusurlara neden olabilir ve bu kusurlar hastalar için ağrıya sebep olarak yaşam kalitesini düşürür [3, 4]. Böyle durumlarda, kalça eklemi kalça artroplastisi denilen cerrahi prosedür vasıtasıyla bir protez ile değiştirilmelidir. Bu ameliyat total kalça artroplastisi ve yarı artroplasti olarak iki şekilde yapılabilir [5]. Total kalça arteoplastisi (TKA), hem femur başı hem de asetabulumun, ağrıyı gidermek ve yeniden yüklemeye işlevini yerine getirmek için uygun protezler ile cerrahi yol ile değiştirilmesi işlemidir [5, 6].

Total kalça protezi kabaca iki ana bölümden oluşur: femoral gövde (stem) ve asetabular bileşen (komponent). Femur içine oturan femoral gövde, baş (bilye) bileşenli metal bir şafttır. Asetabular bileşen ise temel olarak metalik kap ve plastik (ya da seramik) bir astar/yataktan oluşur [7]. Ayrıca gövde ve baş, üreticiye bağlı olarak tek parça veya modüler olarak tasarlanabilir. Protezin femoral gövde kısmının üretimindeki birincil amacı, normal kalça fonksiyonu sırasında tekrarlanan mekanik döngüsel yüklenmeye karşı yüksek direnç ve uzun süreli biyouyumluluk sağlamasıdır [6]. Bu yüzden seramiklerin ve polimerlerin özelliklerine kıyasla metallerin yüksek çekme ve yorulma dayanımı, metalleri implant taşıyan mekanik yükler için ilk tercih yapar [8, 9]. Femoral gövde genellikle titanyum alaşımı veya kobalt kromdan üretilirken, total kalça protezinin baş ve yatak kısımları, her spesifik uygulama ve ihtiyaca göre farklı malzemeler tarafından üretilebilir [8-10]. Örnek olarak, hastanın durumuna bağlı olarak, protez metal başlık ve polietilen yatak, metal başlık ve metal yatak, seramik başlık ve polietilen yatak veya seramik başlık ve seramik yatak gibi kombinasyonlarından biri ile oluşturulabilir [4, 6, 10]. Bu farklı kombinasyonların her birinin hem avantajları hem de dezavantajları vardır [6, 9-11]. Femoral baş kısmı ile yatak arasında veya yatak-asetabular kabuk birleşiminden salınabilecek aşınma kalıntıları osteolizinin bir sonucu olarak implantı kaybetmeye neden olabileceğinden dolayı [4], seramik baş üzerine polietilen yatak veya seramik baş

üzerine seramik yatak düşük sürtünme sağladığı için en çok tercih edilen kombinasyonlardır [12, 13].

Özellikle, sağlamış olduğu düşük aşınma üretimi ve düşük sürtünme katsayısından dolayı [14, 15] günümüzde kalça protezlerinin femoral baş ve yatak kısımlarının önemli bir kısmı seramikten üretiliyor ve seramiklerin mükemmel malzeme özellikleri nedeniyle bu oran gün geçtikçe daha da artmaktadır [13, 15, 16]. İyonik bağlar nedeniyle seramikler yüksek mekanik ve kimyasal çözülmeye karşı direnç gösterirler; ancak, seramik malzemelerin en büyük dezavantajı kırılma olmalarıdır [9, 17-19]. Seramikler yüksek basma dayanımlarına sahipken, çekme ya da darbe yüklemeye karşısında düşük dayanıklıdırlar [8, 9]. Literatürde, travma, cerrahi hata, çarpma, malzeme hatası, tasarım faktörü, hatalı üretim, obezite, bileşenler arasında uyumsuzluk ve küçük top çapı seramik femoral başın kırılma nedenleri arasında rapor edilmiştir [4, 20-22].

Seramiklerin doğasından gelen bu dezavantajından dolayı, seramik femoral baş ve yatak üretimi ve tasarımı konusunda azami derecede dikkat edilmesi önem arz ediyor. Aksi takdirde hem üretici hem de hastalar açısından istenmeyen sonuçların ortaya çıkmasına neden olabilir. Bunun en bilinen örneklerinden bir tanesi 2001 yılında bir firma tarafından 13 farklı partide üretilmiş olan zirkonya esaslı seramik femoral başlarının yüksek kırılma oranı nedeniyle geri çağırılmasıdır [23-25]. Bu olayı daha ilginç kılan kısım ise tüm geri çağırılan seramik başların hepsinin Ocak 1998'den sonra yeni bir tünel fırını kullanılarak üretilmiş olmasıydı. Bu tarihten önce farklı fırın kullanılarak üretilen seramik başların kırılma oranı sadece % 0,009 iken [26]. Kırılma oranı, bu geri çağırılan tüm seramik başlar için % 2,2 [23] ve özellikle TH 93038 partisinde üretilen seramik başlar içinse neredeyse 3'te 1 oranındaydı [25, 26]. TH 93038 partisinde üretilen seramik femoral başlar, altı farklı baş-delik dizaynına sahip 28 mm çaplı femoral başlardan oluşuyordu [23]. Bunların arasında da en çok uzun boyun tasarımına sahip seramik başlar (Şekil 1) kırılmaya maruz kaldı [23]. Daha sonra literatürde yayınlanmış farklı karakterizasyon tekniklerine dayanan analizler sonucunda bu geri çağırılan zirkonya esaslı seramik başlarının yüksek kırılma sebebinin ana sebebinin üretim süreci değişikliği olduğu rapor edilse de [23-27], farklı tasarımlar arasında niçin uzun boyunlu tasarımın nispeten daha fazla kırılmaya maruz kaldığı hakkında deneysel ya da bilgisayarlı bir analize dayanan kesin bir sonuç rapor edilmemiştir.



Şekil 1. A) Kısa ve B) uzun boyunlu seramik femoral başların tasarım parametreleri. Femoral başın delik boyu kısa boyun tasarımında uzun boyun tasarımına kıyasla daha fazla iken, burç-konik mesafesi uzun boyun tasarımında daha fazladır. Kısa boyun tasarımında konik-baş temas alanı yukarıda bulunurken, bu temas alanı uzun boyunlu seramik başlarda aşağıda bulunur.

Sadece bir çalışmada, araştırmacılar üretimsel hata ötesinde, problemin muhtemel biyomekaniksel bir yanı olabileceğini de tartışmış ve uzun boyunlu tasarıma sahip zirkonya esaslı seramik femoral başlarda taramalı elektron mikroskopu (TEM) ile yapılan analizler sonucunda konik ve femoral baş deliğinin temas etme noktasında olağan dışı dairesel kırılma izlerine rastlayarak, sebebin tasarımdan kaynaklanan biyomekaniksel bir problem ile de alakalı olabileceğini öne sürmüşlerdir [28]. Fakat burada ki iddea deneysel yada bilgisayar destekli mekanik bir analiz ile desteklenmemiştir.

Buradan yola çıkarak, bu çalışmanın amacı sonlu elemanlar analizi ile kısa ve uzun boyunlu 28 mm çaplı zirkonya-esaslı seramik femoral başlara sahip kalça protezlerinin (Şekil 1), femur içinde ve normal yürüme koşulu altında gerilme analizini yaparak, bu özel durum için uzun boyun tasarımlı seramik femoral başların yüksek kırılma oranına tasarım faktöründen kaynaklanan biyomekaniksel mekanizmaların katkısı olup olmadığını mekanik bir analiz ile incelemektir.”

2. MALZEME VE YÖNTEM

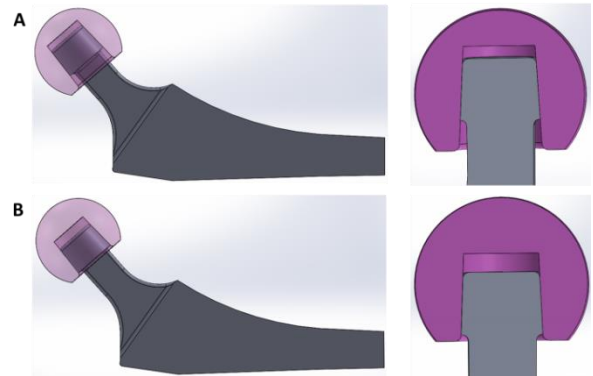
2.1. Protezlerin ve Femurun Modellenmesi

Bu çalışmada kullanılan femoral gövde ve seramik başların tasarım parametreleri “Oxinum Zirconium Femoral Heads” ve “Smith & Nephew” kataloglarından elde edilerek Solidworks programı ile katı modelleri oluşturulmuştur. 28 mm çapında gövdeye sahip olan kısa ve uzun boyun tasarımına sahip iki adet zirkonya femoral baş katı modeli oluşturularak (Şekil 1), bu femoral başlar aynı ölçülerdeki iki

adet Ti-6Al-4V malzeme özelliklerine sahip femoral gövde üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 2).

Her iki zirkonyum seramik femoral başı da 28 mm olan aynı çapa sahip olmasına rağmen, bunlar arasındaki tek fark, kısa ve uzun olmak üzere iki farklı delik uzunluklarına sahip olmalarıdır (Şekil 1). Uzun boyunlu seramik baş tasarımında, temas alanı alçaktadır; bununla birlikte, kısa boyunlu tasarımında, baş ve gövde çiftinin temas alanı yüksek bir konumdadır. Ek olarak, trunion-bore (burç-konik) mesafesi kısa boyun tasarımı için kısa, uzun boyun tasarımı için bu mesafe daha fazladır (Şekil 1).

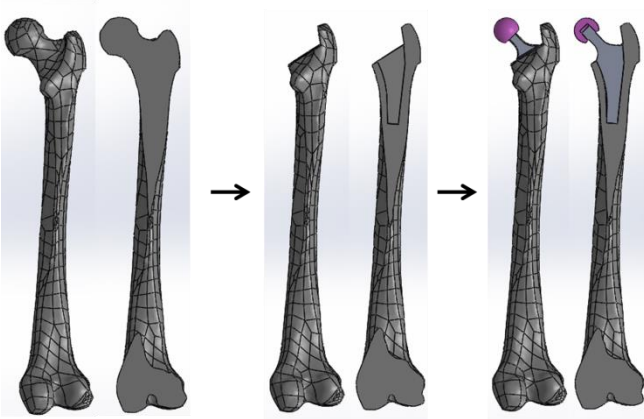
Protezin femoral gövde kısmı titanyum alaşımlı kısa modüler femoral kalça protezi olarak modellendi (Şekil 2).



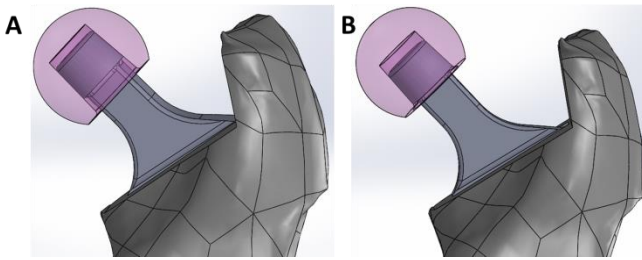
Şekil 2. A) Kısa ve B) uzun boyun tasarımına sahip seramik başların, aynı ölçülere sahip kısa modüler femoral gövdelere yerleştirildikten sonraki konumlarının gösterimi

Bu çalışmada kullanılan femur (uyluk kemiği) modeli PhysiomeSpace'in halka açık arşivinden elde edilen bütün iskelet modelinden izole edilerek elde edilmiştir. 78 yaşında ortalama ağırlık ve boyağı bayan bir kadavra iskeletine ait olan bu iskelet modeli, tüm vücut bilgisayarlı tomografi (BT) taraması verileriyle modellenmiştir. PhysiomeSpace tarafından sağlanan kadavra iskeleti modelinin. ".stl" uzantılı dosyası SolidWorks programına yüklenerek, kullanılacak olan sağ femur izole edilmiştir.

Üç boyutlu protezlerin (Şekil 2) ve sağlam bir femurun modeli oluşturulduktan sonra (Şekil 3), femur başı kesilerek, protezi yerleştirmek için femurda gerekli olan alan protezin gövde kısmının ölçülerine göre oluşturuldu (Şekil 3) ve protez tüm yüzey bölgelerinden femura bağlandı (Şekil 3-4).



Şekil 3. Katı modellemesi yapılan kalça protezlerinin femur içine yerleştirilme basamaklarının gösterimi.



Şekil 4. A) Kısa ve B) uzun boyun tasarımına sahip seramik başlı kalça protezlerinin femur içine yerleştirildikten sonraki görünüşleri.

2.2. Sınır ve Yükleme Koşulları

Sonlu elemanlar analizi SolidWorks simulation yazılımı ile gerçekleştirildi. Protez yerleştirilmiş femur modelleri femur ucundan sabitlendi (Şekil 5). Kaslar, kalça temas kuvvetleri ve bağlanma noktaları yürüme esnasındaki maksimum yüke maruz kalma durumu için literatürden alındı ve analize uyarlandı. Literatürde, yükleme rejiminin basitleştirilmesi için gluteus medius, gluteus minimus ve maksimum gluteus abdüktör kuvveti ve tensör fasya lata ve vastus lateralis olarak toplandı. Tablo 1'de gösterilen bu veriler literatürde 85 kg insan için maksimum yükte yürürken elde edilmiş

verilerdir [29, 30]. Daha sonra, kaslar ve kalça temas kuvvetleri literatürden yaklaşık olarak belirlenmiş olan P1, P2 ve P3 noktalarına etki edecek şekilde yerleştirildi [29, 30] (Şekil 5).

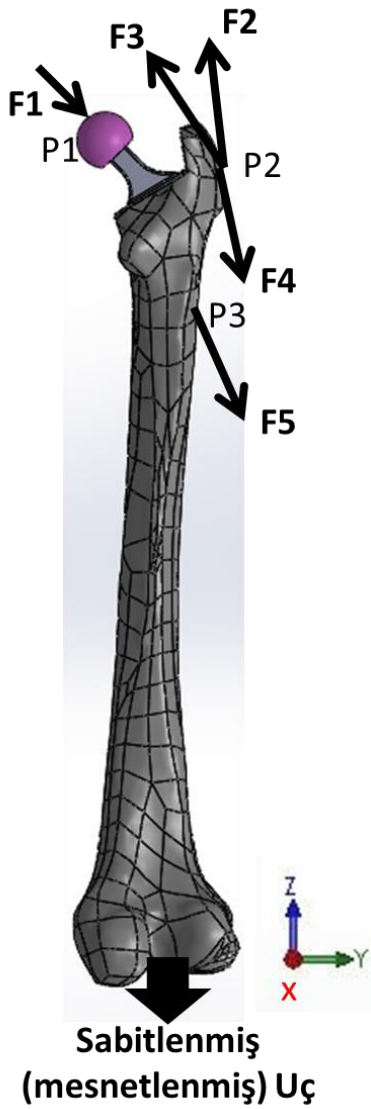
Analizin basitleştirilmesi için modellerde kullanılan tüm malzemelerin homojen ve izotropik malzeme olduğu varsayıldı ve literatürden elde edilen malzemesel özelliklerinin modellere ataması yapıldı. Femur kemiğin elastik modülü, literatürde verilen deneysel verilerden faydalınarak 17 GPa olarak alınmıştır çünkü femur kemiğin 20-86 yaş aralığındaki elastik modülünün ortalama değeri 17 GPa olarak belirlenmiştir [31] ve yaygın olarak kemiğin sonlu elemanlar analizlerinde bu değer kullanılmaktadır (Tablo 2).

Tablo 1. 85 kg ağırlıktaki bir insanın yürüme esnasında femur üzerine etki eden kuvvetler ve temas noktaları [29, 30].

Yürüme esnasında	Kuvvet Bileşenlerinin Büyüklükleri (Vücut Ağırlığı: ~85 kg)			Temas Noktası
	X[N]	Y[N]	Z[N]	
Kalça Temas Kuvveti (F1)	451	268	-1916	P1
Abdüktör (F2)	-485	-36	723	P2
Tensör fascia latae (fasya lata), proximal part (F3)	-60	-97	110	P2
Tensör fascia latae (fasya lata), distal part (F4)	4	6	-159	P2
Vastus lateralis (F5)	8	-155	-777	P3

Tablo 2. Sonlu elemanlar analizinde kullanılan malzemelerin ve kemiğin malzemesel özellikleri [32, 33].

Malzeme	Elastik Modülü (GPa)	Poisson Oranı (ν)
Femur (Kortikal Kemik)	17	0.33
Titanyum Alaşımı (Ti-6Al-4V)	110	0.30
Zirkonya esaslı seramik (Y-TZP)	208	0.31

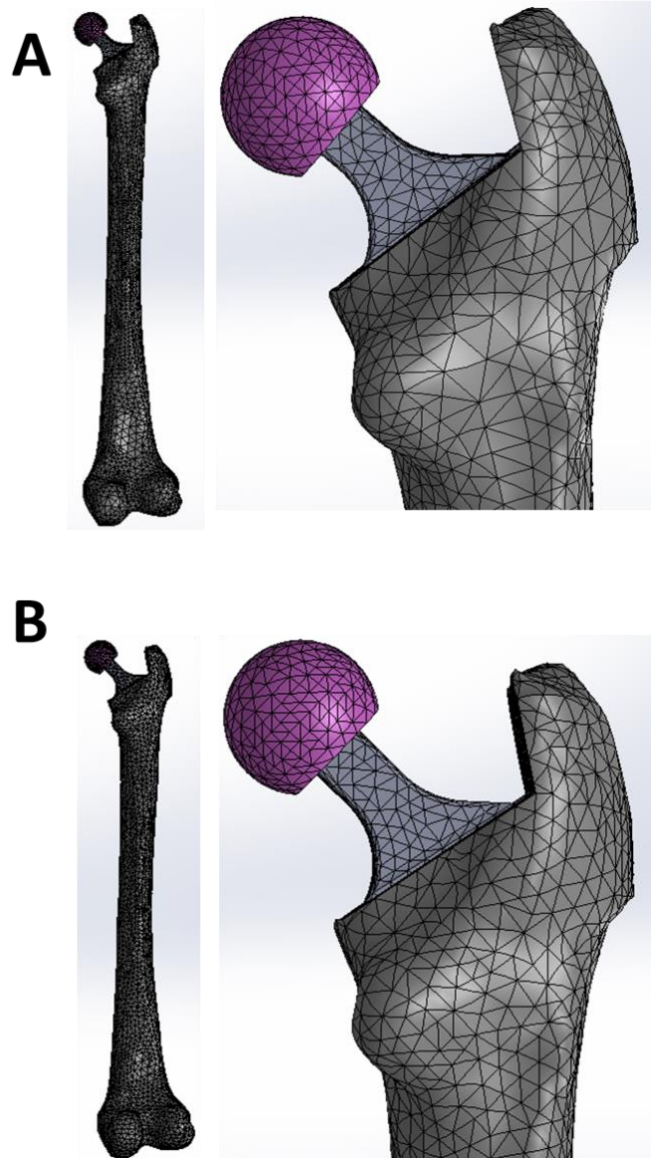


Şekil 5. Yürüme esnasında femur üzerine etki eden kuvvetlerin ve etki noktalarının gösterimi.

Daha sonra şekil 6'de gösterildiği gibi ağ (mesh) örgüsü oluşturularak, kısa boyun seramik baş tasarımlı model 69518 düğüm (node) ve 44247 elemana, uzun boyun seramik baş tasarımlı model ise 75945 düğüm (node) ve 49269 elemana ayrıldı. Ağ örgüsü oluşturulup, sınır ve yükleme koşulları belirlendikten sonra sonlu elemanlar analizi gerçekleştirildi ve von-Mises stres (gerilme) değerleri hesaplandı (Şekil 7).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

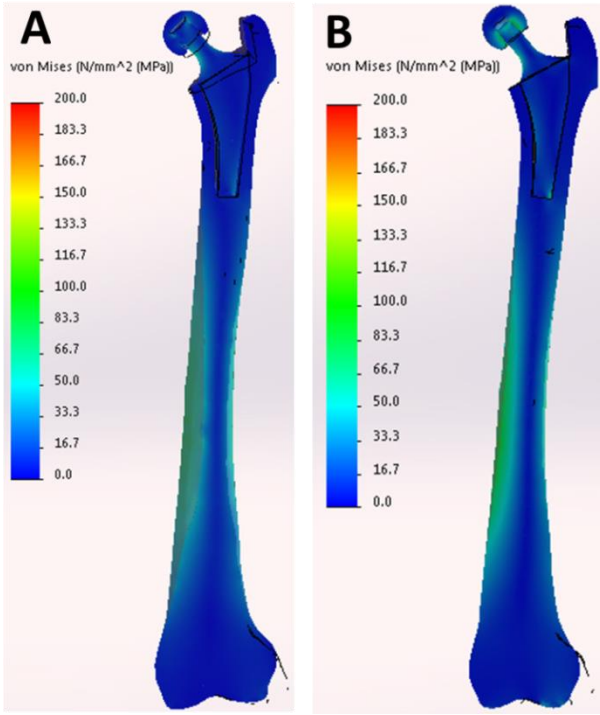
Bu çalışmada, tasarım faktörünün yüksek kırılma oranına sahip uzun boyun tasarımlı zirkonya esaslı seramik femoral başa etkisi olup olmadığını araştırmak için sonlu elemanlar analizi metodu ile aynı sınır ve yükleme koşulları altında iki farklı seramik baş tasarımının gerilme analizi yapıldı. Analiz sonuçları von-Mises stres dağılımı açısından sunuldu ve tartışıldı (Şekil 7).



Şekil 6. Femur içerisine yerleştirilen A) Kısa ve B) uzun boyun tasarıma sahip seramik başlı kalça protezlerinin sonlu elemanlar ağ (mesh) örgüsü yapısının gösterimi. Her bir katı model yaklaşık 75000 düğüm ve 50000 elemana ayrılmıştır.

Sonlu elemanlar analizi sonucunda ortaya çıkan iki tasarım arasındaki von-Mises stres dağılımı karşılaştırmasında, kısa boyun tasarımına kıyasla uzun boyunlu tasarımda gövde konik-delik ara yüzeyinde yaklaşık 5 kat daha fazla maksimum stres dağılımının bulunduğu görüldü (Şekil 8).

Bu bulguyu biyomekanik açıdan değerlendirdiğimizde, uzun boyunlu tasarımda, yürüme gibi normal yaşam aktiviteleri sırasında dahi oluşan bu yaklaşık 5 kat daha fazla değerdeki lokal stres yoğunlaşım bölgesi (kısa boyun tasarımı için ortalama 30 MPa ve uzun boyun tasarımı için ortalama 150 MPa) (Şekil 8), zaman içerisinde yorulma yüklenmesine bağlı olarak seramik baş kırılma riskini artırabilir.



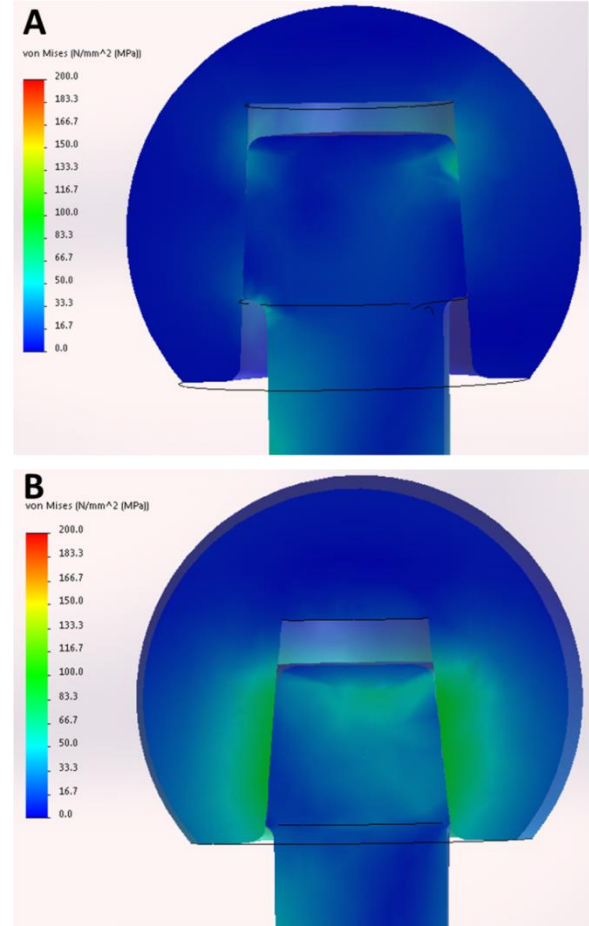
ü

Şekil 7. İçerisine protez yerleştirilmiş femur üzerinde yürüme koşulları altında maksimum yük esnasında oluşan von-Mises stres dağılımının 0-200 N/mm² aralığındaki gösterimi. En yüksek gerilme dağılımı konik-delik temas alanında gözlemlenmiştir.

Bunun muhtemel sebebi, kısa boyun tasarımına kıyasla delik ve konik arayüzündeki temas alanında oluşan lokal gerilme yoğunlaşmasının uzun vadede ki yorulma yükü altında, mikro ve yüzey çatlaklarına sebep olabileme ihtimalinin yüksek olmasıdır. Bu açıdan, uzun boyunlu olarak tasarlanmış seramik femoral başın uzun vadede mekanik açıdan yetersizliği ve kırılma riskinin artması, zirkonya esaslı seramiklerin tasarımdan kaynaklanan konik-delik temas bölgesinde ortaya çıkan yüksek lokal stres yoğunlaşmasından (Şekil 8) kaynaklandığı söylenebilir.

Daha önce bu geri çağırma olayına sebep olan faktörlerin tartışıldığı çalışmalar da mekanik bir analiz yapılmadan bazı iddealarda bulunulmuştur. Örneğin, Masonis ve ark. [23] ve Panagiotopoulos ve ark. [28] konik ve delik arasındaki temas bölgesinden TH 93038 partisinde üretilen femoral başlar için dairesel kırılma izlerinin varlığını TEM'den elde edilen fotoğraflar ile göstermişlerdir. Panagiotopoulos ve ark. [28] zirkonya esaslı seramik femoral baş kırılmaları konusunu biyomekanik açıdan ele almış ve TEM analizleri sonucunda ortaya çıkan dairesel kırılma desenlerinden yola çıkarak, yüksek oranda kırılma yüzdesine sahip uzun boyunlu tasarıma sahip zirkonya esaslı seramik başların konik-delik temas bölgesindeki yorulma yükü ile ilişkili olabileceğini iddia ettiler. Fakat bu iddia bugüne kadar mekanik bir analiz ile desteklenmemiştir. Panagiotopoulos ve ark. [28] bu seramik femoral baş kırılma olayının, üretim hatası ötesindeki gerçek mekanizmasının problemlili fiksasyon veya

tasarım parametreleri ile ilgili olabileceğini düşünmüşlerdir. Bu çalışmada yapılan mekanik analizler bu iddiayı destekler biçimde, konik-delik temas alanında normal yürüme esnasında oluşan maksimum yükleme koşulları altında bile lokal gerilme yoğunlaşması olduğunu göstererek (Şekil 7 ve 8), bu lokal gerilme yoğunlaşmasından ötürü uzun boyun tasarıma ahip zirkonya esaslı seramik femoral başların kısa boyunlu sahip zirkonya esaslı seramik femoral başların kısa boyunlu tasarımları ile karşılaştırıldığında daha fazla kırılma riskine sahip olabileceğini gösteriyor.



Şekil 8. Seramik başlarda oluşan von-Mises stres dağılımı. A) kısa boyun tasarımına kıyasla B) uzun tasarıma sahip seramik femoral başda konik-delik temas alanında yaklaşık 5 kat daha fazla von-Mises stres yoğunlaşması gözlemlenmiştir. (Maksimum gerilme kısa boyun tasarımlı femoral başda 30 MPa iken bu değer uzun boyun tasarımlı femoral başda 150 MPa'dır).

Yine biyomekanik açıdan kısa ve uzun boyun tasarımlı seramik femoral başları göz önüne aldığımızda, uzun boyunlu tasarımlarda konik-delik temas alanının (Şekil 1) ve çevresel stresin (Şekil 8) delik içerisinde mekanik olarak daha zayıf bir nokta olan deliğin girişine yakın bir alanda olduğunu (Şekil 1 ve 2) ve bunun neticesinde de daha yüksek yükler altında deliğin üst kısmının köşe noktalarındaki çekme gerilmesinin kısa boyun tasarımlı femoral başa göre çok daha fazla olacağı bilinmektedir [27, 34]. Bu da uzun

vadede üretiminden kaynaklanan zayıf malzemesel özellikler ile birleşerek protezin erken kaybına sebep olabilir.

Bu çalışmanın da bazı sınırlılıkları mevcuttur. Bu çalışmada sonu elemanlar metodu ile yapılan analiz, 85 kg ağırlığındaki insan için maksimum yükte yürürken elde edilmiş kuvvet verilerinin statik olarak literatürde verilen ortalama mekanik özelliğe sahip kemik katı modeli içine yerleştirilen zirkonya- esaslı seramik femoral başlara sahip kalça protezlerine uygulanması ile yapıldı. Farklı dinamik yükleme koşulları altında (yürüme, koşma ve merdiven çıkma gibi), farklı özellikteki kemik yapıları ve protezler kullanılarak yapılacak olan gelecekte ki çalışmalar bu problemin daha çeşitli koşullar altında incelenmesini sağlayarak bu çalışmanın bulgularını daha da geliştirecektir.

4. SONUÇ

Her iki tasarım için sonlu elemanlar analizi, uzun boyunlu femoral seramik başın konik-delik arayüz temas noktasındaki lokal stres yoğunlaşmasının, uzun boyunlu tasarımın kısa boyunlu tasarıma kıyasla yüksek kırılma oranına katkıda bulunabileceğini göstermektedir. Bu tasarım faktörü bu yüksek kırılma oranının salt sebebi olmasa da, üretim kusurlarının ötesindeki protezin başarısızlık mekanizmasına katkıda bulunabileceği gözlenmiştir. Daha önce farklı kalça protezleri üzerinde yapılan deneysel ve bilgisayar-destekli mekanik analizler de, mevcut uzun boyun tasarımlı protezlerin, kısa boyun tasarımlı protezlere göre mekanik açıdan problem ortaya çıkarabileceğini belirtmektedir [35, 36]. Bu çalışma da önceki çalışmaları destekleyerek, imal kusurlarının yanında tasarım faktörlerinin de mevcut protezlerin uzun süre kusursuz şekilde kullanılması açısından önem arz ettiğini vurgulamaktadır. Bu nedenle, gerek üretici gerekse hasta açısından ortaya çıkabilecek ciddi sorunları göz önüne alarak, olası erken protez kayıplarını önlemek için protezlerin üretim ve tasarım faktörleri azami derecede dikkatlice düşünülmeli ve bu protezlerin farklı fizyolojik koşullar altında biyomekaniksel testleri yapılmalıdır. Özellikle, yeni seramik femoral baş tasarımları ve üretiminde, tasarıma bağlı olarak seramik başların erken kayıplarına neden olabilecek lokal stres yoğunlaşmasının ortaya çıkabileceği gerçeği her zaman göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKÇA

- [1] S. E. Hohler, "Minimally invasive total hip arthroplasty," *AORN journal*, vol. 79, pp. 1243-1258, 2004.
- [2] X.-W. Liu, Y. Zi, L.-B. Xiang, and Y. Wang, "Total hip arthroplasty: a review of advances, advantages and limitations," *International journal of clinical and experimental medicine*, vol. 8, p. 27, 2015.
- [3] O. Ethgen, O. Bruyere, F. Richy, C. Dardennes, and J.-Y. Reginster, "Health-related quality of life in total hip and total knee arthroplasty: a qualitative and systematic review of the literature," *JBJS*, vol. 86, pp. 963-974, 2004.

- [4] R. Pivec, A. J. Johnson, S. C. Mears, and M. A. Mont, "Hip arthroplasty," *The Lancet*, vol. 380, pp. 1768-1777, 2012.
- [5] S. Petis, J. L. Howard, B. L. Lanting, and E. M. Vasarhelyi, "Surgical approach in primary total hip arthroplasty: anatomy, technique and clinical outcomes," *Canadian Journal of Surgery*, vol. 58, p. 128, 2015.
- [6] I. D. Learmonth, C. Young, and C. Rorabeck, "The operation of the century: total hip replacement," *The Lancet*, vol. 370, pp. 1508-1519, 2007.
- [7] G. von Lewinski and T. Floerkemeier, "Challenges in Total Hip Arthroplasty," in *Biomedical Technology*, ed: Springer, 2018, pp. 295-312.
- [8] N. R. Patel and P. P. Gohil, "A review on biomaterials: scope, applications & human anatomy significance," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 2, pp. 91-101, 2012.
- [9] M. Navarro, A. Michiardi, O. Castano, and J. Planell, "Biomaterials in orthopaedics," *Journal of the royal society interface*, vol. 5, pp. 1137-1158, 2008.
- [10] M. Merola and S. Affatato, "Materials for Hip Prostheses: A Review of Wear and Loading Considerations," *Materials*, vol. 12, p. 495, 2019.
- [11] L. Zagra and E. Gallazzi, "Bearing surfaces in primary total hip arthroplasty," *EFORT open reviews*, vol. 3, pp. 217-224, 2018.
- [12] L. A. Beaupre, A. Al-Houkail, and D. W. C. Johnston, "A randomized trial comparing ceramic-on-ceramic bearing vs ceramic-on-crossfire-polyethylene bearing surfaces in total hip arthroplasty," *J Arthroplasty*, vol. 31, pp. 1240-1245, 2016.
- [13] J. A. D'antonio and K. Sutton, "Ceramic materials as bearing surfaces for total hip arthroplasty," *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, vol. 17, pp. 63-68, 2009.
- [14] B. E. Bierbaum, J. Nairus, D. Kuesis, J. C. Morrison, and D. Ward, "Ceramic-on-ceramic bearings in total hip arthroplasty," *Clinical Orthopaedics and Related Research*, vol. 405, pp. 158-163, 2002.
- [15] B. McEntire, B. S. Bal, M. Rahaman, J. Chevalier, and G. Pezzotti, "Ceramics and ceramic coatings in orthopaedics," *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 35, pp. 4327-4369, 2015.
- [16] J. Jeffers and W. Walter, "Ceramic-on-ceramic bearings in hip arthroplasty: state of the art and the future," *J Bone Joint Surg Br*, vol. 94, pp. 735-745, 2012.
- [17] Y.-S. Park, S.-K. Hwang, W.-S. Choy, Y.-S. Kim, Y.-W. Moon, and S.-J. Lim, "Ceramic failure after total hip arthroplasty with an alumina-on-alumina bearing," *JBJS*, vol. 88, pp. 780-787, 2006.
- [18] J. Rosneck, A. Klika, and W. Barsoum, "A rare complication of ceramic-on-ceramic bearings in total hip arthroplasty," *J Arthroplasty*, vol. 23, pp. 311-313, 2008.
- [19] B. Habermann, W. Ewald, M. Rauschmann, L. Zichner, and A. Kurth, "Fracture of ceramic heads in total hip replacement," *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, vol. 126, p. 464, 2006.

- [20] Y. D. Levy and W. L. Walter, "Complications of Ceramic-on-Ceramic Bearings: Fracture, Stripe Wear, and Squeaking," in *Complications after Primary Total Hip Arthroplasty*, ed: Springer, 2017, pp. 137-150.
- [21] R. Rambani, D. M. Kepecs, T. J. Mäkinen, O. A. Safir, A. E. Gross, and P. R. Kuzyk, "Revision total hip arthroplasty for fractured ceramic bearings: a review of best practices for revision cases," *J Arthroplasty*, vol. 32, pp. 1959-1964, 2017.
- [22] F. Traina, M. De Fine, A. Di Martino, and C. Faldini, "Fracture of ceramic bearing surfaces following total hip replacement: a systematic review," *BioMed research international*, vol. 2013, 2013.
- [23] J. L. Masonis, R. B. Bourne, M. D. Ries, R. W. McCalden, A. Salehi, and D. C. Kelman, "Zirconia femoral head fractures: a clinical and retrieval analysis," *J Arthroplasty*, vol. 19, pp. 898-905, 2004.
- [24] J. Chevalier, "What future for zirconia as a biomaterial?," *Biomaterials*, vol. 27, pp. 535-543, 2006.
- [25] G. Maccauro, C. Piconi, W. Burger, L. Pilloni, E. De Santis, F. Muratori, and I. Learmonth, "Fracture of a Y-TZP ceramic femoral head: analysis of a fault," *J Bone Joint Surg Br*, vol. 86, pp. 1192-1196, 2004.
- [26] I. Clarke, M. Manaka, D. Green, P. Williams, G. Pezzotti, Y.-H. Kim, M. Ries, N. Sugano, L. Sedel, and C. Delauney, "Current status of zirconia used in total hip implants," *JBJS*, vol. 85, pp. 73-84, 2003.
- [27] C. Piconi, G. Maccauro, L. Pilloni, W. Burger, F. Muratori, and H. Richter, "On the fracture of a zirconia ball head," *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, vol. 17, pp. 289-300, 2006.
- [28] E. C. Panagiotopoulos, A. G. Kallivokas, I. Koulioumpas, and D. E. Mouzakis, "Early failure of a zirconia femoral head prosthesis: fracture or fatigue?," *Clinical Biomechanics*, vol. 22, pp. 856-860, 2007.
- [29] M. Heller, G. Bergmann, J.-P. Kassi, L. Claes, N. Haas, and G. Duda, "Determination of muscle loading at the hip joint for use in pre-clinical testing," *J Biomech*, vol. 38, pp. 1155-1163, 2005.
- [30] B.-A. Behrens, C. Wirth, H. Windhagen, I. Nolte, A. Meyer-Lindenberg, and A. Bouguecha, "Numerical investigations of stress shielding in total hip prostheses," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, vol. 222, pp. 593-600, 2008.
- [31] D. T. Reilly, A. H. Burstein, and V. H. Frankel, "The elastic modulus for bone," *J Biomech*, vol. 7, pp. 271-275, 1974.
- [32] A. H. Abdullah, M. MohdAsri, M. S. Alias, and G. Tardan, "Finite element analysis of cemented Hip arthroplasty: influence of stem tapers," in *Proceedings of the international Multi Conference of engineering and computer scientists*, 2010.
- [33] M. Borba, M. D. de Araújo, E. de Lima, H. N. Yoshimura, P. F. Cesar, J. A. Griggs, and Á. Della Bona, "Flexural strength and failure modes of layered ceramic structures," *Dental Materials*, vol. 27, pp. 1259-1266, 2011.
- [34] C. Piconi and G. Maccauro, "Zirconia as a ceramic biomaterial," *Biomaterials*, vol. 20, pp. 1-25, 1999.
- [35] K.-H. Koo, Y.-C. Ha, W. H. Jung, S.-R. Kim, J. J. Yoo, and H. J. Kim, "Isolated fracture of the ceramic head after third-generation alumina-on-alumina total hip arthroplasty," *JBJS*, vol. 90, pp. 329-336, 2008.
- [36] B. R. Burroughs, B. Hallstrom, G. J. Golladay, D. Hoeffel, and W. H. Harris, "Range of motion and stability in total hip arthroplasty with 28-, 32-, 38-, and 44-mm femoral head sizes: an in vitro study," *J Arthroplasty*, vol. 20, pp. 11-19, 2005.