

Kırıkkale University International Journal of Engineering Research and Development

International Peer Reviewed Journal
e-ISSN: 1308-5514



Volume: 12
Issue: 2
JUNE 2020

Kırıkkale Üniversitesi
Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi
Uluslararası Hakemli Dergi

Cilt: 12 Sayı:2 Haziran 2020



**MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ**

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ / KIRIKKALE UNIVERSITY

**Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi
International Journal of Engineering Research and Development**

Sahibi / Owner

Ersan ASLAN
Rektör / Rector

Editör/Editor

Ertuğrul ÇAM

Yardımcı Editör / Associate Editor

Murat LÜY

Alan Editörleri / Area Editors

Atila ERGÜZEN - Bilgisayar Mühendisliği / Computer Engineering
Murat İNAL - Biyomühendislik / Bioengineering
Burak BİRGÖREN - Endüstri Mühendisliği / Industrial Engineering
Tolga EREN - Elektrik-Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering
Ali Payıdar AKGÜNGÖR - İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering
Hakan ARSLAN - Makine Mühendisliği / Mechanical Engineering
Tuna AYDIN – Metalurji ve Malzeme Mühendisliği / Metallurgical and Materials Engineering

Dergi Sekreteryası / Journal Secretariat

Hüseyin AYDİLEK

Yazışma Adresi /Address

Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 71450-
Kampüs- Kırıkkale- TÜRKİYE

<http://ijerad.kku.edu.tr>

ijerad@kku.edu.tr

Tel : +90-318-357-42 42 (1001)

Fax: +90-318-357-24 59

ISSN- Online: 1308-5514

Haziran 2020 / June 2020

Kapak Tasarım / Graphics Design: Hüseyin AYDİLEK

Danışma Kurulu / Editorial Board
(*Alfabetik Sıralama / Alphabetical*)

- A. Serdar YILMAZ Sütçü İmam Üniversitesi
Ahmet Kürşat TÜRKER Kırıkkale Üniversitesi
Ali Payıdar AKGÜNGÖR Kırıkkale Üniversitesi
Ayten ÇELEBİ KESKİN Kırıkkale Üniversitesi
Hasan Şakir BİLGE Gazi Üniversitesi
Hüseyin CANBOLAT Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
İbrahim UZUN Kırıkkale Üniversitesi
İlhami DEMİR Kırıkkale Üniversitesi
İlhan KOCAARSLAN İstanbul Üniversitesi
İsa NAVRUZ Ankara Üniversitesi
M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU Gazi Üniversitesi
M. Tunay GENÇOĞLU Fırat Üniversitesi
Mehmet Ali AKÇAYOL Gazi Üniversitesi
Metin DAĞDEVİREN Gazi Üniversitesi
Mustafa YİĞİTOĞLU Kırıkkale Üniversitesi
Mustafa TÜRK Kırıkkale Üniversitesi
Nihat İNANÇ Kırıkkale Üniversitesi
Osman YILDIZ Kırıkkale Üniversitesi
Ömer Muhammet SOYSAL Louisiana State University
Recep ÇALIN Kırıkkale Üniversitesi
Süleyman ERSÖZ Kırıkkale Üniversitesi
Tamer EREN Kırıkkale Üniversitesi



MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ / KIRIKKALE UNIVERSITY

Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi
International Journal of Engineering Research and Development

Amaç

Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi mühendisliğin tüm disiplinlerinde çalışılmış olan orijinal ve yüksek kalitedeki araştırma sonuçlarını basan ve teşvik eden bir araştırma dergisidir. Akademisyenler, bilim adamları, üniversitelerdeki araştırmacılar ve ilgi duyan herkesin çalışmaları basım için düşünülebilir.

Aim

International Journal of Engineering Research and Development is a peer-reviewed international research journal aiming at promoting and publishing original high-quality research in all disciplines of engineering sciences and technology. Manuscripts are invited from academicians, scientists, researchers of universities and industry and for all interested people for publication consideration.

Araştırma Alanı

Mühendislik Teorisi ve Uygulamaları

Research Highlights

Engineering Theory and Applications

Kapsam

Derginin ilgi alanlarında, sınırlama olmaksızın, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Makina Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği, Bilgisayar Mühendisliği ve Endüstri Mühendisliği bulunmaktadır.

Scope

Areas includes (but not limited to) all issues in Electrical&Electronics Engineering, Mechanical Engineering, Civil Engineering, Computer Engineering and Industrial Engineering.

Yazarlara Bilgi

Ayrıntılı bilgi için lütfen <http://ijerad.kku.edu.tr/> adresini ziyaret ediniz.

Authors Information

For detailed information please visit <http://ijerad.kku.edu.tr>

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

- 1 A Review Study on Assessing the Sustainability of Design and Maintenance of Slab Track Systems for Turkey** 325-336
Alper Cebeci
DOI: 10.29137/umagd.635267
- 2 Kimyasal Araştırma Laboratuvarı Risk Değerlendirmesi İçin İki Farklı Metodun İstatistiksel Analizi** 337-348
Comparative Statistical Analysis of Two Different Methods for Risk Assessment in Chemical Research Laboratory
Derya Usanmaz, Ercan Köse
DOI: 10.29137/umagd.606402
- 3 Design, Fabrication, and Characterization of a Water-Cooled Electromagnet and Magnetic Field Mapping** 349-357
Haci Sogukpinar, Bayram Tali, Mahmut Tepe
DOI: 10.29137/umagd.606402
- 4 Yalın Üretimde 6S Uygulamaları için Yeni bir Performans Denetim Yöntemi Önerisi** 358-369
A New Performance Audit Methodology for 6S Applications in Lean Manufacturing
Sinem Çukurluöz, Burak Birgören, Meryem Yalçınkaya, Kenan Orçanlı
DOI: 10.29137/umagd.669819
- 5 Bir Otomobil Radyatörünün Isı Transfer Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi** 370-379
Experimental Investigation of Heat Transfer Performance of an Automobile Radiator
Bahadır Gemicioğlu, Tolga Demircan
DOI: 10.29137/umagd.678443
- 6 Açılı CFRP Ankrajlı Şeritler ile Beton Yüzey Arasındaki Gerilme-Deformasyon Davranışı için Yeni Bir Model Önerisi** 380-387
A New Novel Model Proposal For Bond-Slip Behavior Between Angular CFRP Fan Type Anchored CFRP Strip and Concrete Surface
Rahim Ghoroubi, Ömer Mercimek, Özgür Anıl
DOI: 10.29137/umagd.697870
- 7 Alüminyum Esaslı Taşıt Jantlarının TIG Kaynak Yöntemi ile Tamiri Sonrası Kaynak Bölgesinin Mekanik ve Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi** 388-396
Investigating the Mechanical and Microstructural properties of Aluminium based Alloy Wheel Rims after TIG Welding Repair
Aziz Barış Başyığıt
DOI: 10.29137/umagd.686466
- 8 Dizel Yakıtına Farklı Ağır Alkoller (1-Bütanol, 1-Pentanol ve 1-Hekzanol) İlave Edilmesinin Tek Silindirli Bir Dizel Motorunun Performans, Yanma ve Egzoz Emisyon Karakteristiklerine Etkileri** 397-426
The Effects of Different Higher Alcohols (1-Butanol, 1-Pentanol, 1-Hexanol) Addition into the Diesel Fuel on the Performance, Combustion, and Exhaust Emission Characteristics of a Single-Cylinder Diesel Engine
Murat Kadir Yeşilyurt
DOI: 10.29137/umagd.704961

- Düzgün Olmayan Yönlü Süzgeç Bankası Yöntemi ile Yere Nüfuz Eden Radar Görüntülerinde Gürültü Giderme**
9 *Ground Penetrating Radar Image Denoising via Nonuniform Directional Filter Bank Method* 427-442
Şeyma Gündüz Günay, Deniz Kumlu
DOI: 10.29137/umagd.705100
- Dönmeli Eş-Eksenli Hava Jetinin Isıl Davranışının Yakın Çarpma Mesafeleri için Deneysel Olarak İncelenmesi**
10 *Experimental Investigation of Thermal Behavior of Swirling Coaxial Impinging Air Jet for Near-Field Impingement Cases* 443-453
Burak Markal
DOI: 10.29137/umagd.705238
- Çelik Tel Donatılı Betonların Kırılma Parametrelerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi**
11 *Modelling of the Fracture Parameters of Steel Fiber Reinforced Concretes Using Artificial Neural Networks* 454-463
Yunus Gündüz, Eyüp Taşkan, Yuşa Şahin
DOI: 10.29137/umagd.605714
- Türkiye'deki Farklı Sektörlere Ait Sera Gazı Emisyon Değerlerinin Çok Katmanlı Algılayıcılar ve Topluluk Öğrenmesi Yöntemleri ile Tahmin Edilmesi**
12 *Prediction with Ensemble Learning Methods and Multi-layer Perceptions of Greenhouse Gas Emission Belonging to Different Sectors in Turkey* 464-478
Okan Oral, Sinan Uğuz
DOI: 10.29137/umagd.646038
- Web Sitesi Kalitesinin AHS-MULTIMOORA Yöntemiyle Değerlendirilmesi**
13 *Assessment of the Quality of Websites with AHP-MULTIMOORA* 479-491
Aşır Özbeke
DOI: 10.29137/umagd.659595
- Çekirge Optimizasyon Algoritmasını Kullanarak Eliptik Anten Dizisinin Optimum Tasarımı**
14 *Optimum Design of Elliptical Antenna Array Using Grasshopper Optimization Algorithm* 492-499
Ali Durmuş
DOI: 10.29137/umagd.664482
- İnşaat Mühendisliğinde Teknik Resim Eğitiminin İncelenmesi**
15 *An Investigation of Technical Drawing Education in Civil Engineering* 500-509
Kıvanç Bayat
DOI: 10.29137/umagd.674242
- A New Prototype That Performs Real-Time Error Detection in Glass Products**
16 *Çetin Cem Bükücü, Levent Gökrem* 510-519
DOI: 10.29137/umagd.681653
- Multi Criteria Decision Making for the Selection of a New Hub Facility Location in Humanitarian Supply Chains**
17 *Gül Didem Batur Sir, Emre Çalışkan* 520-528
DOI: 10.29137/umagd.727311
- A Study Toward Analyzing the Energy, Exergy and Sustainability Index Based on Performance and Exhaust Emission Characteristics of a Spark-Ignition Engine Fuelled with the Binary Blends of Gasoline and Methanol or Ethanol**
18 *Battal Doğan, Murat Kadir Yeşilyurt, Derviş Erol, Abdülvahap Çakmak* 529-548
DOI: 10.29137/umagd.728802

- Gün Öncesi Piyasası için Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Enterkonnekte Sistemi İletim Hatları Kayıplarının Tahmini**
19 *Artificial Neural Networks with Turkey Interconnected System for Day Ahead Market Transmission Lines Estimated Losses* 549-564
Ali Dursun, İbrahim Eke, Süleyman Sungur Tezcan
DOI: 10.29137/umagd.600962
- Fotovoltaik (PV) Panel Sisteminde Yüzey Soğutma İşleminin Elektrik Üretimine Etkisinin Deneysel İncelenmesi**
20 *Experimental Investigation of The Effect of Surface Cooling on Photovoltaic (PV) Panel System for Electricity Production* 565-578
Alper Kerem, Mehmet Atik, Aydın Bayram
DOI: 10.29137/umagd.659347
- Non-Contact Vibration Detection Software and Hardware Design with Image Processing Method to Reveal Substantial Changes in Structures and Systems**
21 579-586
Emre Metin, Özgür Karagülle, Abdullah Kayalak, Mustafa Karagülle, Ertuğrul Çam
DOI: 10.29137/umagd.747680
- Kablosuz Sensör Ağlarında Konum Belirlemede Sezgisel Algoritmaların Kuantum Davranışları ile Karşılaştırılması**
22 *Comparison of Heuristic Algorithms via Quantum Behavior in Localization of Wireless Sensor Networks* 587-602
Ertem Kızılkaplan, Tolga Eren, Fikret Yalçınkaya
DOI: 10.29137/umagd.746589
- Simülasyon Çalışması ile Deprem Senaryosu Oluşturulması ve Kırıkkale İli Kayıp Tahmin Analizi**
23 *Creating Earthquake Scenario with Simulation Study and Analysis of Loss Prediction in Kırıkkale Province* 603-617
Sema Çiftçi, Zeynep Çakırcı, Ümit Sami Sakallı
DOI: 10.29137/umagd.705067
- Al-25Zn-3Cu-3Si Alaşımının Tornalanmasında Kaplamasız ve CVD-TiCN Kaplamalı Kesici Uçların Kesme Performansının Karşılaştırılması**
24 *Comparison of the Cutting Performance of Uncoated and CVD-TiCN Coated Inserts in Turning of Al-25Zn-3Cu-3Si Alloy* 618-623
Şenol Bayraktar, Çiğdem Çamkerten
DOI: 10.29137/umagd.705125
- Yerli Spinel Kullanılarak Üretilen Magnezya-Spinel Refrakterlerin Mekanik Özelliklerinin ve Termal Şok Davranışlarının İncelenmesi**
25 *Investigation of Mechanical Properties and Thermal Shock Behaviours of Magnesia-Spinel Refractories Produced from Local Spinel* 624-630
Aslı Çakır Arianpour
DOI: 10.29137/umagd.705226
- Major Ion Composition of Dry Deposition in Kırklareli, Turkey**
26 *İlker Oruç* 631-637
DOI: 10.29137/umagd.705861
- Polypropylene/Chemical Blowing Agent Foams: Effect of the Injection Speed and Core Back Distance on Microstructure and Mechanical Properties**
27 638-647
Meral Akkoyun, İbrahim Badem, Mert Emre Öztoksoy, Yeşim Aslan
DOI: 10.29137/umagd.711692

- Simetrik ve Simetrik Olmayan Katman Düzenlerine Sahip Kompozit Sargılı Boruların Tasarımı ve Testleri**
28 *Design and Testing of Composite Winding Pipes having Symmetrical and Non-Symmetrical Layer Layouts* 648-663
Bariş Kalaycıoğlu, Hakan Arslan, M. Burakhan Akgün
DOI: 10.29137/umagd.712467
- Gürültü Önleyici Akustik Süngerlerin Üretimi ve Uygulamaları**
29 *Production and Applications of Anti-Noise Acoustic Foams* 664-674
Hatice Mehtap Öz, Ercan Köse
DOI: 10.29137/umagd.717806
- Üniversite Öğrencilerinin Beslenme Alışkanlıklarının Bulanık Mantık Sistemi ile Değerlendirilmesi**
30 *Evaluation of Nutritional Habits of University Students with Fuzzy Logic System* 675-682
Özkan Taşkırdı, Halil Murat Ünver
DOI: 10.29137/umagd.718262
- T6 ve Yüksek Sıcaklık Ön-Çökeltme HTPP Isıl İşleminin AA7075 Alüminyum Alaşımının Yüksek Sıcaklıktaki Çekme Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi**
31 *The Investigation of the Effects of T6 and High Temperature Pre-precipitation HTPP Heat Treatments on Hot Tensile Properties of AA7075 Aluminium Alloys* 683-692
Talha Sunar , Dursun Özyürek
DOI: 10.29137/umagd.718364
- Channel Optimization By Using Spectrum Sensing Techniques In Cognitive Radio Network**
32 693-699
Rüstem Yılmazel, Nihat İnanç
DOI: 10.29137/umagd.726756
- The mportance of Energy Quality in Medical Devices and Evaluation of Measurements Made in Kırıkkale University Medical Faculty MRI Device within the Scope of TS EN 50160I**
33 700-710
Emre Metin, Özgür Karagülle, Kardelen Kamaşlı, Ertuğrul Çam
DOI: 10.29137/umagd.747710
- Hodgkin-Huxley Nöron Modelinin Matlab Temelli Elektriksel Devre Benzetimi**
34 *Matlab Based Electrical Circuit Simulation Of Hodgkin-Huxley Neuron Model* 711-723
Fikret Yalçınkaya, Burak Temel, Ahmet Sami Doğru, Ramazan Güngüneş
DOI: 10.29137/umagd.775360
- Kırmızı Çamur İlavasının Seramik Duvar Karosu Bünyesi Üzerine Etkilerinin Araştırılması**
35 *Investigation of The Effects of Red Mud Addition on The Properties of Ceramic Wall Tile Body* 724-728
Tuna Aydın, Nazım Kunduracı
DOI: 10.29137/umagd.725921
- Personel Görev Çizelgeleme Problemi İçin Bir Excel Çözücü Modeli: Orta Gerilim Sigorta Üretimi Uygulaması**
36 *An Excel Solver Model For Personnel Task Scheduling Problem: Application Of Medium Voltage Fuse Production* 729-744
Mehmet Pınarbaşı, Hacı Mehmet Alakaş
DOI: 10.29137/umagd.721797

- Yüksek Başarım İçin Bulanık Mantık Tabanlı Kişiyi Özel Sınav Üretme Sistemi Tasarımı**
37 *Design of a Fuzzy Logic Based Custom Exam Production System for High Performance* 745-752
Özkan Taşkırda, Halil Murat Ünver
DOI: 10.29137/umagd.718266
- Deprem Sonrası Mobil Hizmet Tesisi Seçim Problemi için Çok Kriterli Bir Karar Modeli Önerisi**
38 *A Multi-Criteria Decision Model Proposal for the Selection of the Mobile Service Plant Problem After Earthquake* 753-763
Burcu Tezcan, Nermin Aşşar Özcan, Evrencan Özcan, Tamer Eren
DOI: 10.29137/umagd.732978
- Yüksek Fırın Cürufunun Seramik Duvar Karosu Bünyesi Üzerine Etkilerinin Araştırılması**
39 *The Effects of Blast Furnace Slag on The Properties of Ceramic Wall Tile Body* 764-768
Tuna Aydın
DOI: 10.29137/umagd.725345
- Tahribatsız Yöntem Verileri Kullanılarak Yapay Sinir Ağı ve Regresyon Yöntemi ile Beton Basınç Dayanımının Tahmin Edilmesi**
40 *By Using Non-Destructive Method Data Estimation of the Concrete Compressive Strength with Artificial Neural Network and Regression Method* 769-776
Serap Yörübulut, Orhan Doğan, Funda Erdugan,, Suat Yörübulut
DOI: 10.29137/umagd.734655
- Agrega Tipinin Ağır Betonların Radyasyon Soğurma Özelliklerine Etkisi**
41 *Effect of Aggregate Type on Radiation Attenuation Properties of Heavyweight Concretes* 777-786
Merve Gümüş, Şükrü Demir, Özer Sevim
DOI: 10.29137/umagd.740779
- Farklı Çimento ile Üretilen Granül Atık Kauçuk Agregaların İkame Edilmiş Kendiliğinden Yerleşen Beton Harcının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi**
42 *Investigation of Mechanical Properties of Granulated Waste Rubber Aggregates Substituted Self-Compacting Concrete Mortar Produced with Different Cement* 787-798
Melek Akgül, Orhan Doğan, Serkan Eti
DOI: 10.29137/umagd.734614



A Review Study on Assessing the Sustainability of Design and Maintenance of Slab Track Systems for Turkey

Alper Cebeci¹

¹ ODTU, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Üniversiteler Mah., Dumlupınar Bulv. No:1, 06800 Çankaya/Ankara, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 21/10/2019

Kabul / Accepted: 04/02/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/03/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Abstract

Many railway companies around the world offer slab track (ballast-less track) rail products and solutions. In particular, different types of slab track rail systems are implemented in Japan, Europe and North America. The use of these systems provides railway operators with significant advantages in terms of RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) and life cycle cost. In addition, these systems are preferred in railway lines under heavy train traffic, because it significantly shorten maintenance duration. The biggest disadvantage of ballast-less railway lines is that the initial application cost is 30% to 50% higher than ballast railway applications. In recent years, manufacturers of these systems have introduced innovations that reduce both maintenance and life cycle costs. When these innovations are added to the existing advantages in the design phase in tunnels (reduction of the height) and bridges (reducing dead loads), the applicability of slab track systems increase even more. In addition, maintenance and repair activities have to be carried out in limited time in heavily used railway lines such as high-speed railway lines, which causes slab track systems to be preferred. By the construction of high Speed rail lines in Turkey, the passengers and freight rail transport has gained importance. Increasing rail traffic, maintenance-repair costs and limited maintenance duration have led to the need to step changes on the conventional ballasted railway lines. Within the scope of this study, the slab track systems, which have already utilized in the world are examined and the sustainability of these systems that can be applied in Turkish railways is examined in terms of design and maintenance.

Key Words

“Slab Track, Sustainability, Turkey”

1. Introduction

In order to enhance competition with road and airline transports, along with other efforts, railway undertakings are increasing their speed as well as upgrading their system safer, more reliable and more available. In this regard, high-speed lines (HSL) has become crucial. Railway infrastructure companies must construct better railway lines to provide safety, reliability and maximum availability in HST services. The densely populated areas in the world are mostly formed of different level layers, which are often alluvial in nature, and of which subsoil has geotechnical characteristics that range from weak to strong. Building railway structures on the weak ground would require a substantial improvement of the bearing capacity.

High-speed trains have begun to be adopted by countries due to its quality, safety and speed. Many different slab track types are used in different countries around the world. Especially in Japan, Germany and North America, these systems have been used as effectively since the 1970s. Conventional ballasted track has been used in many parts of the world since the beginning of railway technology, but a significant competition has emerged with the introduction of slab track after 1972. According to Bilow et al. (n.d.), Japanese have used the slab track systems more than thirty years in the railway systems. They acknowledge that current construction costs of slab tracks are 30% to 50% higher than the construction costs of standard ballasted tracks. However, the maintenance costs of slab tracks are 40% of the maintenance costs of ballasted tracks. (Bilow & Randich, 2000)

Slab track suppliers have achieved significant developments in these systems. At the beginning, slab track systems were used solely for reducing the life cycle cost and for providing more reliable track operation. Nowadays, they are also used for reducing the tunnel height, track height and for increasing the availability of the systems. While slab track systems are implemented, countries consider different ground stability features as well as economic conditions. For instance, some of them are struggling with extreme weather conditions whereas others have to cope with seismic behavior of the ground. This situation also affects the competition among slab track producers.

According to the UIC regulation, a line is described as a high-speed line, if the designated train operation speed on the line is above 250 km/h. Conventional lines which are upgraded for trains to operate between the speeds of 200-220 km/h can also be considered as high-speed line. The technical requirements such as reliability and availability indicate that track type selection is one of the most significant issues that should be taken into the consideration while constructing a railway line. Since the first construction of the railways, the ballasted track principles have not changed significantly despite the innovations that have taken place in other areas of the railways.

In this study, the application methods, advantages and disadvantages of the suitability of slab track systems are discussed. In addition, the most widely used slab track types in the world have been examined in detail. As it is known, Slab track systems are used very limited in Turkish railways. These applications are very new. Therefore, it is premature to see the results of existing applications in terms of Reliability and Maintainability. This paper will try to contribute by sharing the literature and the results obtained through its use in the world. Given the nearly 50 years of slab track experience in some countries, the type of slab track to be selected becomes very important.

In the scope of this study, the studies conducted in the past will be presented first. Then the selected slab track types will be explained in detail. Section 3 examines slab track systems in terms of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS), which play an important role in railway applications. Finally, the results will be explained in the Conclusion.

The significance of slab track systems for the railway infrastructure has been the subject of many researches. Groundbreaking study on the comparison of slab track and ballasted track is one of the well-known among these researches. (Esveld, *Modern Railway Track* 2nd Edition, 2001) He has analyzed the slab track types and its material features, which are currently in use around the world. Moreover, he has allocated a chapter in his book for the requirements of special parts of the slab track systems such as track resilient layer as well as the use of slab tracks in tunnel and bridges. Furthermore, he referred the maintenance statistics of the slab track in his study inclusively. Drawing upon Esveld's (2001) and, Lichtberger (2005) studies on the track system components; on the other hand, he has mainly focused on the slab track systems. At the beginning of his study, he has provided details by presenting the requirements of the slab track in terms of subsoil, sound protection, transition areas, signaling and energy supply. After that, he has compared slab track and ballasted track with their advantages and drawbacks. Then, he has discussed the economic efficiency and cost of slab track systems. He has provided a comprehensive table to show the differences among the slab track types.

Profillidis (2006) has examined the selection of track types for railways and provided some information about the slab track systems and their usage. (Profillidis, 2006) In his study, he has briefly compared slab track with ballasted track. Railway tracks provide a structure that guide the train in certain position. The track on a railway, which is also known as the permanent way, can be defined as a structure that includes the rails, fasteners, sleepers, ballast (or slab) and subgrade. The track systems comprises of two main structures. The first one is the superstructure layer, which contains rails, sleepers, ballast and the sub-ballast. This layer supports the train and distributes its load into the subgrade. The second one is subgrade layer, which consists of formation layer and base. This layer allows transfer of trainloads from the superstructure to the ground. Although the ballasted track systems have been traditionally utilized in the railways, they may alternatively replace by the concrete slab track systems. Slab track systems have been successfully used particularly in high-speed lines, urban tramways and metro systems.

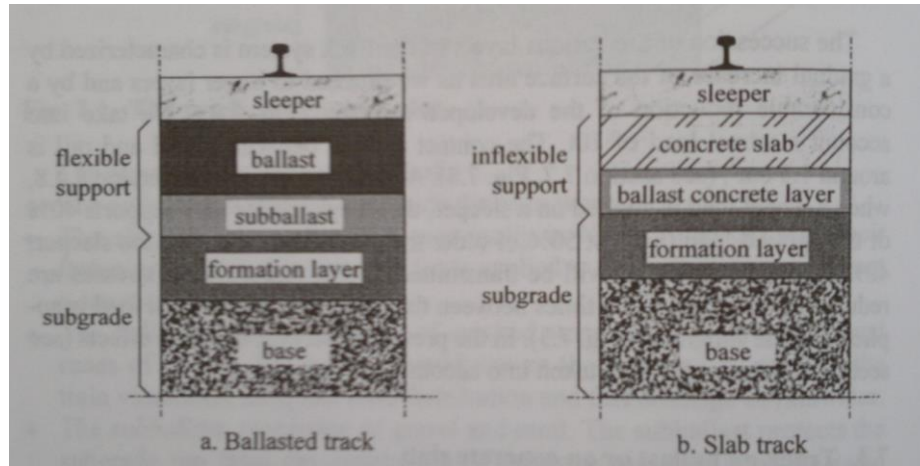


Figure 1. Differences between Ballast-Less Track and Ballasted Track (Profillidis , 2006)

According to Lier (2002) have produced important results for the study on the slab track types as well as their advantages and drawbacks. Furthermore, there are two important studies in the field; the first one is introduced and discussed the features of quality management for production of Ballast-less track (Slab Track) by Japanese Companies, which can act as a reference for the Concrete sector in Taiwan. (Shiau, Huang , Wang, & Lu, 2008)The second one is conducted by (Hussein & Hunt, 2009). They have presented a new method for production modelling of the floating slab tracks with discontinuous concrete in the railway tunnels. This study is very beneficial study for the literature and it helps to understand floating slab track behavior and their features. (Esveld , 2003)

Bilow & Randich, (2000) have investigated the slab track systems in detail, which are commonly used in the world. Various types of slab track systems have been utilized around the world. The Canadian Pacific Railway (CPR) built a test line, whose patent name is PACT-TRACK, near Rogers Pass in British Columbia to simulate and investigate the slab tracks. Since the slab tracks were successfully tested, the railway in the McDonald Tunnel built by using slab tracks. Both the test and tunnel sections built by using slab tracks have performed well. Concrete is placed by using a specialized slipform paver (paving machine). Concrete is fed in front of the paver using a conveyor system. After the concrete dries, the continuous welded rail is laid on the concrete layer. Finally, thick rubber pad and the rail are clipped to inserts embedded in the slab.

Slab tracks are extensively used for the construction of high-speed lines in Japanese National Railways (JNR). The high-speed railways require a certain alignment to increase passenger comfort. JNR has used slab track systems on the Shinkansen high-speed train network as well as on some of the narrow gauge lines since 1980. Also, they have considered some of the issues that are direct selection criteria for the slab track construction. The construction cost shall not be 30% more than ballasted track construction cost. Slab track should show equivalent behavior with ballasted track in terms of damped sound and degree of resilience. Furthermore, it shall allow for small changes in both vertical and lateral directions to minimize the deformations of the subgrade (Bilow & Randich, 2000).

The maintenance cost of slab track is found to be lower than the maintenance cost of ballasted railway track on the Shinkansen high-speed lines. Slab track maintenance cost ranges from 18% to 33% of the maintenance cost that required for ballasted track (Shiau, Huang , Wang, & Lu, 2008). On the other hand, the construction cost of ballast-less track is 30% higher than the cost required for the ballasted track. The difference in these costs can be balanced in 8 to 12 years with maintenance cost. Another crucial example for slab track application done in the Eurotunnel under the English Channel, where the designated train speed is 200 km/h. In this project, the slab track was named as Low Vibration Track (LVT) which was developed by Sonne-Ville International Corporation. The LVT has also been used in the Los Angeles County Metropolitan Transportation Authority, Metro Link - St. Louis and Dallas Area Rapid Transit systems in the United States, and in an other countries. (Bilow & Randich, 2000) The Embedded Rail System (ERS) has been utilized since 1970s in the Netherlands. This system consists of called Corkelast, which consists of cork and polyurethane mixture which may provide continuous support for rails on the slab track. This system is extensively used for the light railway transportation in Europe and is also implemented on the bridges. Recently, in the south of the Netherlands, a 3 km length of the ERS concrete slab track has been built and placed on the subgrade.

Slab track usage has been undergone development in Germany for many years. In 1996, German Railway began to operate a test track in Karlsruhe, which consists of seven new types of ballast-less tracks. One of the famous type of slab track type use Rheda compact design, which is one of the well-known designs that developed during the 1970s in Germany. This design utilizes a top down method of construction. After the rail is positioned on the line and subgrade, concrete is placed below and around the ties, partially embedding the ties. Approximately 147 km of slab tracks have been constructed along the new 219 km Cologne-Rhine high-speed line. The saving at maintenance cost has offset the higher initial construction costs of the slab tracks. Also, the greater availability of the tracks due to less downtime for track maintenance (Bilow & Randich, 2000).

2. Development of Slab Track Structures: Case studies on Selected Types

Slab track is used in both light rail systems and intercity railway lines. It might be also utilized in railway corridors, on which passenger trains share the railway track with freight trains operations. In slab track, the load distributing element “ballast” is replaced by another material which has a stable position, such as concrete or asphalt. The plastic deformation of these materials is very low in regular circumstances. The elasticity of the structure has to be provided by inserting elastic elements under the rail or the sleeper, as the concrete or asphalt layer is very stiff. In general, a slab track system provides reduction in the structure height and weight, lower maintenance costs and, hence, higher availability and increased service life.

The general problem, which arise from conventional or ballasted track, is the slow deterioration in the ballast layer under the railway traffic conditions. As stated earlier, the ballast layer consists of granular materials, which can be damaged while it is under the influence of friction and turn into fines (smaller particles). These fines may cause drainage problems. For this reason, the ballast layer requires regular maintenance during the operation. This maintenance reduces the life of the ballast as well as having an impact on reliability, availability, maintainability and safety (RAMS).

Maintenance work, such as tamping, ballast cleaning and track lining brings 20% to 30% extra cost for the ballasted track. The slab track systems reduce most of this maintenance costs. Additionally, it should be kept in mind that the drag force becomes more and more important factor with the increase of train speeds. High-speed trains cause flying ballast phenomena, which is difficult to cope with it. Therefore, extra precautions must be taken while operating very high-speed trains on the ballasted tracks or slab tracks should be utilized for the construction of very high-speed railway lines.

The first recorded slab track usage is dated back to 1899, when American Southern Railroad built a concrete slab under the section of an existing railway track to stabilize it on the poor soil (Bilow & Randich, 2000). Furthermore, slab track systems started to be widely utilized on the light railway systems in USA and Canada. In these countries, slab track is extensively utilized on mixed traffic corridors. In this type of sections, light rail systems share the pavement with automobiles and buses.

Substructure requirements become more significant with the improvement of slab track systems for the high-speed railways. The limited track geometry adjustments constrain to design sensitive substructure for the ground settlements. Especially the embankments should be stabilized for the settlement of track. Soft subgrade can be strengthened with the compacted soil. An alternative and sophisticated solution is the usage of mixture, which includes cement instead of compacted soil. In other words, slab track can be utilized on the poor bearing grounds.

Ballasted track requires embankments with maximum of 2 centimeters settlement for over 10 meters track length (Lichtberger, 2011). These requirements are very low for the slab track. The small settlement can be controlled by fastening from +26 millimeters to -4 millimeters for the slab track (Michas, 2012). In addition, the substructure of the ballasted track has to be secured by earthworks, excavating until the 0.5 meters depth below the frost protect layer. However, the sub-structure of the slab track needs to be stabilized to a depth of at least 2.5 m below the bearing plate. In terms of the earthworks, these requirements have led to higher construction cost for slab track compared to ballasted track (Esveld, Modern Railway Track 2nd Edition, 2001). The regular composition of layers consists of two important sub-layers: improved ground and the protection layer.

These earthworks for the ground-improvement can be achieved by dynamic compaction and/or mix-in-place methods. In some soils, the weak ground layers are replaced with mixture of the better layers. The geotechnical requirements for the embankment can be provided by proctor densities, which are designated between 98% and 95%, depending on the age of the track. The first application of ballast less tracks (slab tracks) in the railways was the installation of slab tracks in tunnels. The low construction height of the slab tracks provides best conditions for using them in the tunnels. In case of enlargements of the tunnel gauge within the existing tunnels, the small construction height is a major advantage for land use.

The reinforcement of the tunnels becomes extremely important with the expansion of railway networks. Both passenger and freight trains use many tunnels, which requires better tolerances for the structure. The electrification of some railway networks often necessitates the lowering of the track heights in the tunnels and this lowering can be done by slab track systems rather than ballasted ones. There are also other issues such as alignment design and vertical adjustability, which should be considered in the tunnel construction.

Total construction height of tunnels is limited due to cost and geological issues. Tunnels formations are extremely important in order to ensure that whether the selected slab track system is suitable. Tunnel formations can show different behaviors under loads, such as extreme settlement, which must be considered during track type selection. The concrete layer with 30 centimeters thickness in the grade may be reduced to 15 centimeters for the use in tunnels. Inside the tunnel, some specific requirements, such as drainage and emergency access, can also be met by this adjustment. The ground properties in terms of rock/soil have to be appropriate for the installation of slab track. All structural types of ballast less track used at different grade can be applied in tunnels. (Sonne Ville, 2019)

Bridges and viaducts provide a solid foundation for the slab track, but it is short and discontinuous. In addition, external factors such as temperature and vibration can affect bridges. These external factors can cause longitudinal movements of the bridge-structure. Thus, the slab track structure as well as the bridge structure are affected. Bridge structures provide the required settlement-free base for slab tracks. Longitudinal deformation of the bridge structure is caused by temperature variation. Longitudinal dilatation

has to absorb the energy without triggering high longitudinal rail stresses. In case of long bridges, i.e. those over 25 meters, the track has to be fixed to the bridge structure.

In continuous welded rail (CWR) tracks on the bridges, considerable longitudinal rail forces and relative displacements may develop due to the external factors such as temperature variations, acceleration and braking. These stresses are caused by the interaction between the bridge deck and the track system; therefore, the interaction have to be limited as it causes additional stresses to the rail stresses generated on the normal track section.

The cuttings and embankments are the crucial part of the railway lines construction. The local settlement on the embankments should be reduced so that influence from the slab track structure is not seen. The earthwork construction should provide high stability and low settlement. The subgrade has to be compacted in order to avoid long-term settlement of track. If the requirements cannot be fulfilled by standard compaction methods, subgrade treatment or methods for acceleration of settlement must be utilized. Moreover, the existing soil has to be replaced if its bearing capacity is insufficient. Soft, cohesive or organic soil in the subgrade should be replaced up to a depth of 4 meters minimum below the surface of rail. The influences of measures during construction, such as lowering the groundwater level, should also be considered.

The cuttings have the similar strict regulations as the embankments. The required arrangement of layers and compaction needs to be provided 3 meters below the surface of rail. The subgrade needs to be durable and provide a suitable bearing capacity combined with small settlement behavior. Soft, cohesive or organic soil must be replaced or other treatment has to be implemented in order to limit settlement.

If the track system consists of both ballasted and slab tracks, the superstructure transitions are needed on the railway line. Furthermore, transitions also occur between substructures such as embankments, bridges and tunnels. Transitions need to be done smoothly between the different track structures. As it is seen from the figure 2, the high stiffness of the slab track (ballast-less track) needs to have step change through the lower stiffness of the ballasted track. The level of transition or transition zone length might be changed depending on the sub-structure stiffness.

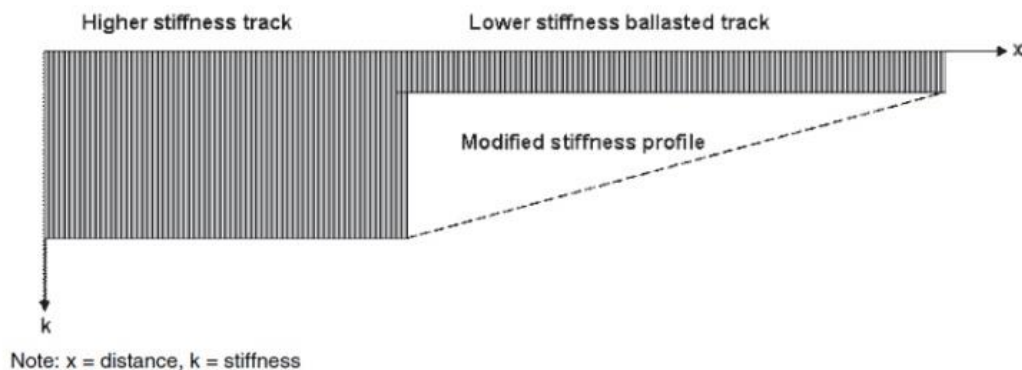


Figure 2. Transition zone between Ballast-Less Track and Ballasted Track (Michas, 2012)

In these transition zones, temperature and other environmental issues become important as they intensely affect the track structures. Problems can also arise due to different construction height of tracks and there are number of methods available for solving these problems. However, the author emphasizes one method that is widely known and economic. In case of transitions between track structures, the rails must be directly fastened to sleepers. The stiffness, flexibility and settlement of tracks are very significant elements for the transitions.

There are several other requirements that should be considered in the slab track systems such as frost protective layers, sound protections, signaling systems and electro-technical specifications. The frost protective layer serves compensation for the stiffness of the other subsoil layers, as it has to lead surface water away rapidly. For this reason, it should have $1 \cdot 10^{-5}$ m/s permeability. (Lichtberger, 2011)

2.1. Sleepers or Blocks Embedded in Concrete

Rheda 2000

These systems have been used since its first installation in 1970 and it has been under continuous development since then. In its first design, mono-block sleepers are embedded in the reinforced concrete. The new Rheda 2000 slab track system has produced because of the ongoing improvements in the well-known German Rheda system. Additionally, this system has also been designed for commuter traffic application, which is known as Rheda City. The track framework can be adjusted in lateral and longitudinal directions. The settlement is very important for this type of slab track systems. The primary development goal for the Rheda system is to improve the monolithic quality, which will lead to optimized design and uniform architecture. With this design, geometrically supporting points can stabilize the rails in their required position. Supporting points produced with high quality concrete provide a strain-resistant bond, which is a stable point between the rail fastening system and the concrete tracklayer. (Lier, 1999)

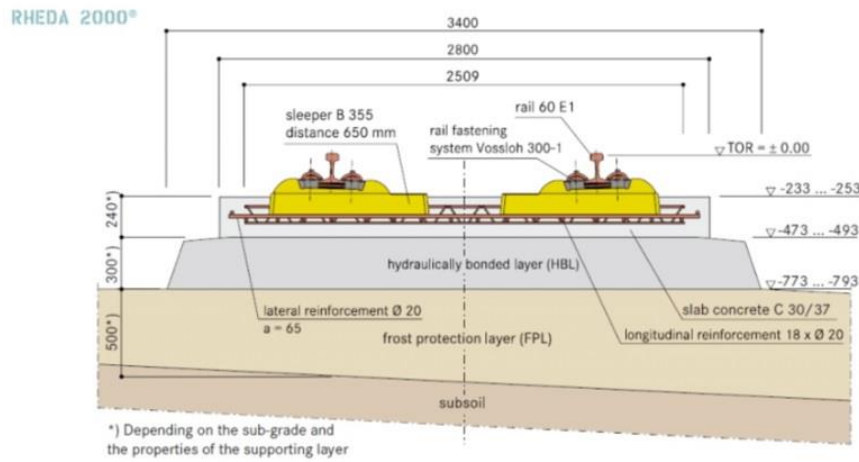


Figure 3. General layout for Rheda 2000 Slab Track system (Rail One, 2020)

Rheda systems may show different behaviors in its various versions. However, Rheda 2000 system has eliminated all the previous designs. The main characteristic of the system is the cast concrete tracklayer, which consists of rail and framework for the sleepers. This technique can tolerate the unavoidable effects of track components. In addition, the rail fastening system allows adjusting the long-term differential settlements of the substructure. The reason behind the cost effectiveness in planning is that this system design must fit a variety of track situations in practice. Therefore, solutions have been developed for infrastructure of track systems consist of earthworks, bridges and tunnels. (Esveld, 2001)

Zublin System

This system might be consist of concrete twin block or monobloc sleepers, which are embedded in the monolithic concrete plate. The designers of the Zublin system have focused on finding a highly affordable construction method back in 1974. (Matias, 2019) Zublin system is a 24 centimeters thick and 2.8 meters wide load-bearing slab with integrated twin-block sleepers. Two individual reinforced concrete sleeper heads are connected to form a twin-block sleeper. The reinforcing bars provide not only accurate geometry during the installation but also give the sleepers additional anchorage in the concrete. The geometry of the sleepers is designed for the Vossloh AG's rail fastenings (Vossloh, 2019). The rail fasteners are pre-mounted on the twin-block sleepers prior to the installation. Designers endeavor to achieve a sufficient level of mechanization combined with low labor cost and efficient production of track.

After the improvement of soil, the concrete roadbed is constructed upon the soil with the monolithic concrete slab, which is produced by slipform paver. When the paver has laid the concrete plate, a machine that follows the paver pushes up the sleepers onto the concrete by means of vibration. (Railway Technology, 2019) The Zublin system can produce 150-200 meters of tracks in 8 hours a day. The construction steps of the Zublin system is provided below:

- Preparation and construction of the sub-base and base course;
- Reinforcing, concreting and compacting of the concrete bearing slab without interference of the sleepers;
- Fixing the sleepers by compacting with pre-mounted fasteners;
- Installation of rails;
- Implementation of the surface of the slab by hand;
- Waiting for the concrete hardness;
- Disconnection of the frames from the sleepers.

2.2. Structure with Asphalt-Concrete Roadbed

Asphalt layer was started to be used in railways, similar to that commonly used in highway construction. Asphalt-concrete bed layer is used especially in slab track structures that require rigid sub-structure. This development led to provide higher quality and longer lasting track and support structures to accommodate the high amount of growth in rail traffic volumes, revenue ton-miles, axle loadings, and tonnages being experienced throughout the world. (Rose & Souleyrette, 2015)

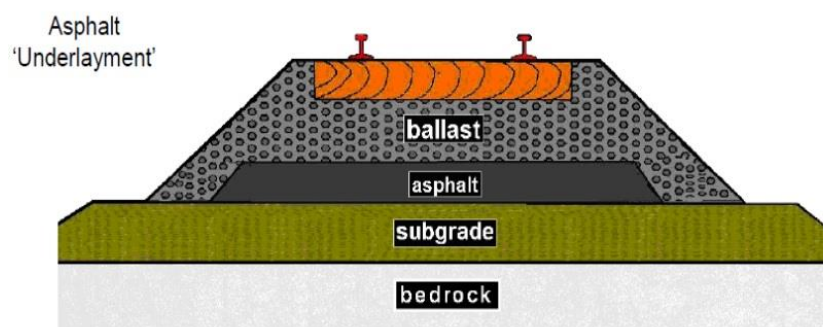


Figure 4. Ballast-less track bed containing asphalt and sub-ballast layers (Rose & Souleyrette, 2015)

In this ballast less structure, sleepers are placed on the top of an asphalt-concrete roadbed layer which is made by ordinary paving devices. With this method, it might be reach the level accuracy of +/- 2 millimeters and cant deficiency of up to 180 millimeters. Thus, the asphalt provides a stiff and smooth base for the sleepers. (Railway Technology, 2019)

Another possibility of placing the concrete plate on the top of an asphalt-concrete layer. Since asphalt does not require hardening. This might be subjected to loading/unloading immediately after the cooling. (Esveld, Modern Railway Track 2nd Edition, 2001)

2.3. Prefabricated Slabs

Prefabrication of track components can increase the slab track quality. Prefabricated slabs are utilized in several railway networks around the world. These systems bring several advantages in design and implementation of the high-speed line projects. Since the mechanization usage reached to higher levels, these systems require less labor force and decrease the risk of failure. Prefabricated systems are known as reparable and innovation friendly. (Gailiene & Lasurinavicius, 2017)

Prefabricated concrete plates with direct rail fastening have utilized on the Japanese Shinkansen high-speed line and on the Italian system. The utilization of prefabricated elements eliminates the usage of wet concrete during construction. Many urban rail system and interregional high-speed rail system have compatible prefabricated concrete plates applied on the particular railway section. This railway system is utilized in convenient areas with respect to noise and vibration. This system might cause increase height for the track and the cost of installation.

Shinkansen Slab Track

Many people agree that Japan was the birthplace of high-speed rail systems. Development work on the Shinkansen high-speed rail network started at the end of 1950s, and the first high-speed line was opened between Tokyo and Osaka in 1964. As of today, five high-speed lines are operational and the sixth one is under construction. South Korea is currently building a high-speed line to link its capital, Seoul, with the port of Pusan. As in Japan, South Korean high-speed line will also include both ballasted and ballastless tracks. The construction of ballastless track will be based on the Japanese Shinkansen slab track system.

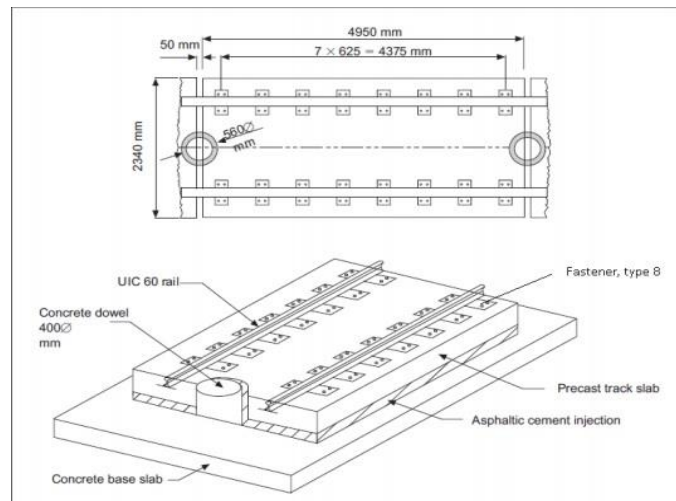


Figure 5. General Layout of Shinkansen Slab Track (Esveld, Modern Railway Track 2nd Edition, 2001)

The rails, which are welded in the depots and are 200 meters long, are loaded on the trolleys which utilize temporarily laid rails which has 1435 mm gauge. These temporarily rails are used by motor car to follow the slabs as workers are putting cement-emulsified asphalt mortar (CA mortar) under slabs in the neighboring line. Slabs are transported to the construction site by rails, which have 3000 mm gauge. The CA mortar is transferred from the moving plate running on rails with 1435 mm gauge onto the neighboring line. This moving plant fabricates CA mortar at the construction site by mixing liquid asphalt, cement and sand. This process, rails are put on the concrete plates and connected with normal fasteners. (Esveld, 2001)

Bögl Slab Track

The first installation of this type of track was at Karsfeld, Germany, in 1977. The purpose of producing Bögl slab track is to provide a long-endurance, maintenance-free operation. This track brings many advantages to the high-speed lines with highest track availability.

The Bögl slab track system is very similar to Shinkansen slab track systems and might be utilized for cutting/embankments, concrete structures such as bridge, viaducts, tunnels etc. The first modification of this system was done by applying the long railway bridge, which was designed for a high-speed line section between Beijing – Tianjin railway line in China, which is almost 116 kilometers long. The 12 kilometers of this slab structure is built on the soil. Each slab has a length of 31.5 meters. (Esveld & Markine, 2019) The main difference of Bögl from the Shinkansen is that slabs are made of B55 steel fiber reinforced concrete and its measurements are 20 centimeters thick, 6.45 meters long and either 2.55 or 2.80 meters wide. The slabs are pre-stressed in lateral direction and traditional reinforcement is applied in longitudinal direction. Spindles integrated in the slabs to might give a chance to provide an adjustment of the slab system. (Esveld, 2001)

2.4. Monolithic Slabs and Civil Structures

The slab track system consist of rail and direct rail fastening to the concrete plate developed since 1970s. In this type of slabs, the direct rail fastening systems are bolted straight onto the concrete or steel slabs. The continuous monolithic slabs can be installed without sleepers specifically on the bridges or viaducts. In this process, the direct fixation system might be used (Vossloh, Type of Track,2019). This system might be adjusted by approximately 50 mm in vertical and 46 mm in lateral direction. The main application areas of this structure are weak and soft layers zones. The minimum requirements for the substructure can be lowered and costs can be saved for ground improvements in certain situations. (Esveld & Markine, 2019)

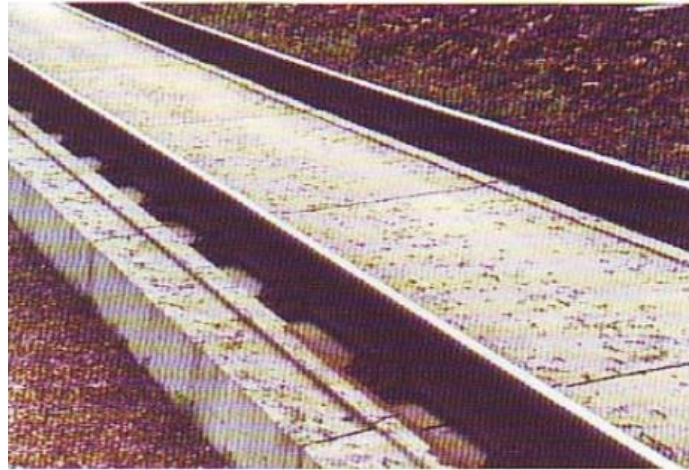


Figure 6. An example of a monolithic slab track design with direct rail fastenings (Esveld, Modern Railway Track 2nd Edition, 2001)

This method of slab track construction provides a continuous stiff and rigid slab, which consist of supported elastic beam. These type structures can also be applied on soils that have a great risk of local settlement on the subgrade.

2.5. Embedded Rail Slab Track

Embedded Rail Structure (ERS), which consists of cork and polyurethane with elastic materials surrounding the rail except for its head, provides continuous support for the rail. The main characteristic of this slab track is that rail is embedded underneath the concrete. There is no need for additional material to secure the track gauge under the operational conditions. In the construction process, the continuous support of the rail is provided by elastic materials. The rail is fixed in the U-steel frame and is adjusted by means of top and down methods. Furthermore, the continuous concrete slab is made to allow free settlement on the soil.

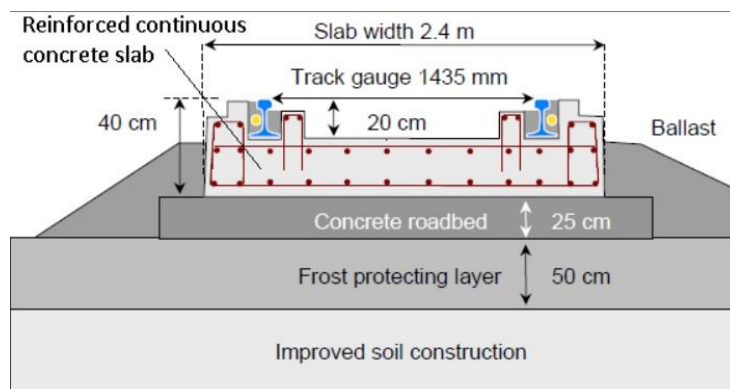


Figure 7. An example of an Embedded Rail Slab Track (Michas, 2012)

The ERS slab track systems, which provides elastic continuous support for the rail, have following five advantages: absorbing of dynamic forces, reduction of noise production, increase in life span of the rails, reduction of maintenance and providing free settlement. The construction height might be decreased for level crossings, so that ERS can provide a smooth surface for rail crossings. In 1976, in Netherlands, an ERS pilot track was constructed for the train speeds up to 160 km/h. Test results were very positive for the beginning. Another pilot was constructed in October 1999 with the dimensions of 3 kilometers length, 0.6 meters height and 2.5 meters width. This process concluded by decreased the 5 dB noises. Furthermore, ERS system provides 60% reduction for the UIC54 elastic design to secure the rails. (Esveld, 2001)

Deck Track

These systems can be a solution for reducing the settlement issues and the life-cycle costs (LCC) of both high-speed and heavy freight lines. Deck track is a new type of ballast-less track developed to use on relatively soft soils. The rails can be directly applied as an embedded rail or with direct fastening. The concrete deck can be considered as a hollow tube weighing the same mass as that of the removed soil. This track provides less vibration and less settlement as a result of the structure weight. (AASHTO, 1993)

After five years of the testing process, the settlements and the quality of the structure have been evaluated. The concrete structure and embedded track system did not show any sign of deterioration. The widest cracks in the concrete carrier those at locations at the beginning and end of a day's production (casting joints) that are less than 0.1 millimeters wide, which is largely acceptable (Esveld, 2001)

3. Assessing the Sustainability of Design and Maintenance of Slab Track Systems: Case Study for Turkey

Nowadays, there has been ongoing debates over the fundamental track type selection. Both ballasted and ballastless (slab) track systems have several advantages and disadvantages. Table 1 below illustrates the comparison of ballasted track and slab track systems on the similar areas in Germany. The maximum speed in NBS Frankfurt-Cologne high-speed lines is 300 km/h whereas in Würzburg is 250 km/h.

Table 1. Slab track versus ballasted track (Bilow & Randich, 2000)

<i>Parameter</i>	<i>NBS Frankfurt-Cologne (Slab Track)</i>	<i>Würzburg (Ballasted Track)</i>
<i>Max. Gradient</i>	40/100	20/100
<i>Min. Curve radius</i>	3350m	7000mm
<i>Max. Cant</i>	170mm	65mm
<i>Proportion of Bridges</i>	9%	3%
<i>Proportion of Tunnels</i>	37%	21.5%

It indicates that the maximum gradient can be obtained by slab track system and the system can reach minimum curve radius by 3350 m. By increasing the cant, more comfortable ride and higher speed in the curves can be provided. The slab track systems have great benefits for the structures. One of the primarily goals of the author of this paper is to prove that utilization of slab track brings advantages in terms of economy, technology and safety. For this reason, several factors will be taken into account in order to determine the best system in terms of track type selection.

As is mentioned before, ballasted track systems have been developed for a long time, and are still being used on the important high-speed lines such as TGV tracks in France. The ballasted tracks are proven technology since the construction of first railway line. They bring important advantages in terms of cost, labour skills, materials and machinery. They also provide good elasticity and noise damping.

The type of structure to be chosen depends not only on the expected axle loads and speeds, but also on the required service life, the type and amount of maintenance, local conditions and availability of basic materials. The relation between initial cost and maintenance cost is very important to make a correct evaluation during the selection of track type.

The disadvantages for ballasted track should be considered advantageous for the slab track systems. Slab track manufacturers began to develop a competitive edge thanks to these drawbacks. At speed of 300 km/h, the small ballast grains may lift from the permanent way and may damage the rail as well as the wheels of the trains. The permeability of the contamination can reduce the subgrade structure strength and complicate the ballast cleaning works. Heavy and high track structures require stronger constructions for bridges and viaducts. The rate of maintenance intensity is very high and brings extra burden to the construction cost. In the long term, the life cycle cost becomes crucial due to operational issues.

While designing the future of a railway line, which is part of a railway network with increasing traffic density, factors like life cycle cost, construction time, availability and durability play vital roles. In such a busy railway line, it becomes extremely difficult to complete maintenance and renewal works during the night shift or three to four hours in a day. These operational conditions increase the need for low maintenance track systems.

The slab track provides sufficient productivity by modifying track geometry and decreasing the track maintenance cost for high-speed railway lines. (Esveld & Markine, 2019) The developed countries such as France, Germany, Japan, Spain and so forth, have started to play significant role in high-speed railway development. However, not all of them utilize slab track. This section analyses high-speed railway systems, which are related to slab track. The slab track advantages can be listed as follows:

- Requires less maintenance or is a maintenance-free structure. For example, Rheda systems require 10% maintenance of the ballasted track (Esveld & Markine, 2019)
- Provides higher service life to compare with ballasted track (Esveld, 2001)
- Significantly reduces the dynamic stress on the subgrade. It might be important for unstable areas (Lichtberger, 2011)
- Allows higher value of cant and cant deficiency that permit small horizontal radii on passenger only high-speed lines where trains are relatively short and light;
- Provides higher availability with lower possessions progress (Lichtberger, 2011)
- Provides hard surface for the drainage instead of a crumbled away ballast layer (Lichtberger, 2011)

- Permits emergency and maintenance machines access;
- Provides better ride quality for the passenger and driver;
- Reduces the track structure height; it thus brings several advantages for the tunnel height. The construction of the tunnels is very expensive, and the reduction of the tunnel height brings economic advantages approximately at £1 M reduction at cost by decreasing 0.1 meter diameter (Esveld, 2001);
- Ballast particles can cause serious damage for the train wheel or rails as a result of churning high-speed impacts (Lichtberger, 2011)
- Provides a cleanable track inside stations;
- The slab track systems reduce the track systems weight. It brings serious advantages for the bridges;
- The slab track systems allow the use of effective and economic braking systems, such as eddy-current braking;
- Apart from these advantages, each slab track design can have a special benefit, such as reduction of noise and vibration with the floating track systems and so forth.
- Besides, of these advantages slab track systems have some drawbacks, which should be considered in the construction progress. The general drawbacks of the slab track systems can be summarized as follows:
- The higher capital expenditure is one of the drawbacks. Even the politicians and commercial consideration often support lower initial cost during the design process;
- There is not sufficient test data to assess the rate of the deterioration of the slab tracks;
- The rail pad replacement and the application of preventative grindings problem have not been solved yet;
- The ballasted track provides lower carbon footprint and re-usable recovered materials;
- Besides of these general drawbacks, the specific slab track designs may have special disadvantages. Some of them have not improved the life cycle cost and other technical requirements, up to date yet.

Requirements for the slab track systems are changeable depending on the country because of specific needs concerning the superstructure and substructure. In addition, each systems show different behavior, especially in different areas, such as tunnels, embankments and bridges. However, some areas such as noise and vibration sensitive zones require detailed work in the slab track construction. During the construction of very high-speed line, dynamic forces such as braking or accelerating of VHST trains need to be considered.

Ballasted track systems do not allow easy access in case of emergency. Therefore, slab track systems must require easy access for rescue services. In this section, requirements of slab track systems are dealt with in different areas.

Turkish State Railways (TCDD) have been using ballasted track systems for about hundred years. After the government's comprehensive innovation, the high-speed trains have gained more significance for both small and big cities of Turkey. TCDD has started to build high-speed lines back in 2003. In this regard, the first line was constructed between Ankara and Eskisehir, which is the important section of Istanbul to Ankara high-speed line.

In the existing HSL projects such as Ankara-Konya and Ankara-Istanbul, the ballasted track systems have been utilized. When the long-term benefits of the track type are considered, preference of the ballasted track systems is arguable. TCDD wants to increase its networks capacity and reduce the headway of trains. For this reason, managers should consider RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety) process for the network.

Reliability engineering is dealing with ability of a system or a component to perform its required functions under stated conditions for a specified period. Under operational conditions, railway tracks should be reliable. Especially for the busy networks, reliability becomes a key factor. Unreliable track systems can cause great delays and harm the entire operation process. The ballasted track systems are still causing important train delays in Turkey. For instance, sometimes, conventional ballasted lines are completely closed for the maintenance. Slab track systems present more reliable systems than conventional ballasted tracks do, because it requires less maintenance facilities.

Availability is the time period in which the system is functioning. This is often described as a mission capable rate. Mathematically, this can be calculated with unavailability. For the railway lines operation, availability is very important and it is also related to its maintenance process. The slab track systems have more availability than ballasted track with its maintenance facilities. Furthermore, the slab track systems can present more availability in case of an emergency such as earthquakes with its easy access and rescue features.

Maintainability is a part of the lifecycle for all products in railway. Maintenance time and cost can increase the products maintainability. Slab track systems require less maintenance than the conventional ballasted track. The maintenance time can be reduced using prefabricated products and if whole product life is considered, maintenance costs will be less than ballasted track. Furthermore, in case of an accident, railway tracks should provide easy access and they should be easily changeable when they are damaged. Safety is the last pillar of the RAMS process that is a vital for all transportation systems. It is necessary to ensure safety for all components in railway systems. The railway tracks can be the cause of accidents, which may result loss of people's lives and properties. Safer systems always increase the desirability of the components or products. It is general fact that both systems provide nearly the same safety facilities for the high-speed lines.

4. Conclusion

Selection of the track type is an argumentative issue for the railway organizations. It becomes extremely challenge to conduct railway track maintenance and rehabilitation work with high-level traffic intensity. In this context, ballasted track concepts have lost their attractiveness in comparison with slab track systems. Utilization of slab track can bring several advantages in terms of construction, such as tunnel or bridge. The life cycle cost, construction time, availability and durability play crucial roles in the design of railway lines (AASHTO, 1993). In this regard, ballastless track concepts introduce good opportunities.

Certain railways such as those of Germany (DB), France (SNCF) and Japan (JR) have developed high-speed ballast-less track. Especially, in Germany, railways authorities have made a decision to construct some of the sections of high-speed lines by using ballast-less track in order to reduce high maintenance cost and to have reliable tracks for avoiding serious problem in their busy networks. However, France still utilizes ballasted track systems for its high-speed lines. Because, the French railway company, RFF, considers the labor skills and utilize the existing machines of the ballasted track systems.

There are number of factors that play crucial roles in calculating the capital expenditure for particular track frames such as construction cost, maintenance cost, and so on. Building costs of slab tracks are much higher, and it can be from 50% to 75% higher than the building cost of ballasted tracks. However, operational experience shows that, particularly in tunnels and bridges, the maintenance costs are less than the maintenance costs of ballasted track. Slab track systems reduce the maintenance time and cost in the tunnels. Smaller construction depth and drainage opportunities are also strong advantages for preferring slab track systems. Slab track systems can provide well-improved track geometry with greater lateral stability. However, slab track systems have several disadvantages along with their benefits. Substantially, higher initial construction cost is one of the most significant drawbacks. Furthermore, rigid structure of the slab track allows only limited improvements for future usages. Adaptations to new conditions, such as changes in track geometry, can be difficult to perform and very expensive. However, some of the slab track products can reduce the initial construction cost of the system, such as embedded slab tracks. Moreover, floating slab track systems have been introduced to reduce transmission and propagation of vibration and noise. The railway concepts require less rigid systems in railway tracks. However, rigid track structure may not be solved with slab track systems. There are number of factors covering the design of ballastless track as follows:

- Absorbing railway track vibrations and noise;
- Supporting layer should have sufficient bearing capacity and elasticity;
- Soil settlement should be expected to have fixed depth; and
- Precaution should be taken to deal with extra settlement.

Turkey also used in railway ballast of railway lines caused many problems will be solved by slab track. In particular, the formation of shifts in the line bearing in the longitudinal and lateral directions due to the nonlinear and plastic behavior of the ballast over time requires regular maintenance. Depending on this situation, maintenance and repair activities create important problems in terms of time and cost in lines that are used extensively such as Ankara-Istanbul and Ankara-Konya High Speed Rail lines. In the same high-speed lines, it is seen that the ballast flies into the air and damages the rail and vehicles. In addition to these situations, it is observed that larger cross-sections are made in the bearing supports due to the heavy load of the ballast in the bridges and viaducts and this increases the construction costs. Also, in tunnel sections, the ballast brings about 30 cm of additional height and increases construction costs as well. All these reasons have been taken into consideration recently by Turkish State Railways (TCDD), and slab tracks have been started to use in tunnels and bridge-viaducts in the Ankara-Sivas railway line project, which is still under construction.

References

- AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavements. Washington,DC.
- Bilow, D., & Randich, G. (2000). Slab Track Design for Next 100 years. Portland Cement Association.
- Esveld, C. (2003). Recent Developments in Slab Track. European Railway Review, 1351-1599.
- Esveld, C. (2001). Modern Railway Track 2nd Edition. MRT Production.
- Esveld, C., & Markine, V. (2019, 10 20). Slab Track Design for High Speed Railways. Esveld Consulting Services: http://www.esveld.com/Download/TUD/Bilbao_Esveld_Markine.pdf
- Gailiene, I., & Lasurinavicius, A. (2017). The need and Benefit of Slab Track: case of Lithuania. Gradevinar, 387-396.
- German Unity Transport Project 8. "high-speed line Nuremberg – Erfurt – Halle/Leipzig – Berlin". [http://www.vde8.de/\(05.09.2019\)](http://www.vde8.de/(05.09.2019))
- Hussein, M., & Hunt, H. (2009). A Numerical Model for Calculating Vibration due to a Harmonic Moving Load on Floating Slab Track with Discontinuous Slabs in Underground Railway Tunnel. J.Sound Vibration, 363-374.

- Lichtberger, B. (2011). Track Compendium 2nd edition. Hamburg: Eurail Press.
- Lier, S. (1999). The Vibro Acoustic Modelling of Slab Track with Embedded Rails. Journal of Sound and Vibration.
- Michas, G. (2012). Slab Track Systems for High-Speed Railways. Sweden: Royal Institute of Technology.
- Profillidis, V. (2006). Railway Management and Engineering 3rd edition. Greece: Asgate Publishing Company.
- Rail One. (2020, January 10). Rail One Official web site: https://www.railone.com/fileadmin/daten/05-presse-medien/bilddatenbank/070_TS_03_72dpi.jpg
- Rail One Slab Track Systems. "Rheda 2000 Ballastless Track System". [https://www.railone.com/products-solutions/urban-transit/ballastless-track-systems\(14.09.2019\)](https://www.railone.com/products-solutions/urban-transit/ballastless-track-systems(14.09.2019)).
- Railway Technology. "Alice Springs-Darwin Rail Line Construction, Northern Territory, Australia". <https://www.railway-technology.com/projects/alice/alice4> (14.08.2019).
- Railway Technology. "UK's Heriot-Watt University tests slab track system". <https://www.railway-technology.com/news/newsuk-university-conducts-high-speed-slab-track-testing-5925966/> (21.08.2019).
- Rose, J., & Souleyrette, R. (2015). Asphalt Railway Trackbeds: Recent Designs, Applications and Performances. AREMA.
- Samuel Matias; Tecnico Lisboa. "Numerical Modeling and Design of Slab Tracks Comparison with Ballasted Tracks". <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/844820067124205/Resumo%20Alargado.pdf> (01.06.2019)
- Shiau, Y., Huang, C., Wang, M., & Lu, L. (2008). New Model of Cement Product-Precast Slab Track for THSR. ISARC, 129-140.
- SSF Ingenieure. "Katzenbergtunnel, Feste Fahrbahn". https://www.ssf-ing.de/projekte/projekt-detail/references/Reference/detail/tunnel-offenbau-neubaustrecke-nuernberg-ingolstadt.html?tx_datamintsssreferences_pi1%5BbackParams%5D=&cHash=4eb6b179c7f90f7bfc0b1a941a0902a0 (02.10.2019)
- Sonneville Slab Track Systems. "System LVT Standard". <https://www.sonneville.com/low-vibration-track-lvt/system-lvt-standard/> (14.09.2019).
- Vossloh Fastening Systems "Type of track". <https://www.vossloh.com/en/products-and-solutions/field-of-application/fahrbahneigenschaften/> (04.05.2019)
- Vossloh Fastening Systems "Rail fastening systems". <https://www.vossloh.com/en/products-and-solutions/products-at-glance/schienenbefestigungssysteme/> (04.05.2019)



Kimyasal Araştırma Laboratuvarı Risk Değerlendirmesi İçin İki Farklı Metodun İstatistiksel Analizi

Comparative Statistical Analysis of Two Different Methods for Risk Assessment in Chemical Research Laboratory

Derya Usanmaz¹ , Ercan Köse² 

¹Mersin Üniversitesi Mersin Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 33335 Mersin, TÜRKİYE

²Tarsus Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 33400 Mersin, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 19/08/2019

Kabul / Accepted: 08/02/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/03/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Bu çalışmada önemli bir üniversitemizin kimyasal maddelerle çalışma yapılan araştırma laboratuvarı için Fine-Kinney ve L Tipi (5x5) Matris risk analiz metodları kullanılarak risk değerlendirmesi yapılmıştır. Risk değerlendirmesi yapılan ortamın laboratuvar olması nedeniyle sürekli farklı materyallerle çalışma yapılmaktadır. Çalışma yöntem ve teknikleri, kullanılan kimyasal maddelerin türü, düzeyi, dozu, maruziyet süreleri değişiklik gösterebilmektedir. Bu durum her yeni deneysel çalışma için tehlike ve risklerin yeniden belirlenmesini gerektirmektedir. Risk değerlendirme ile tehlikeli durum ve tehlikeli hareketlerin belirlenmesi, önem sıralamasının oluşturulması, karar verilecek düzeltici önleyici faaliyetlerin belirlenmesi büyük öneme sahiptir. Çalışmamızda bu süreçlerin tamamı göz önünde bulundurulmuş ve risk analizi sonuçları Cohen Kappa istatistiksel metodu uygulanarak karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analiz sonucunda özellikle tehlikeli ve çok tehlikeli sektörlerde tercih edilmesi bakımından etkin olan Fine-Kinney metodu pozitif yönleriyle ön plana çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Risk Değerlendirmesi, 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, İş Sağlığı ve Güvenliği, Fine Kinney Risk Değerlendirme Metodu”

Abstract

In this study, Fine-Kinney and L-Type (5x5) Matrix risk analysis methods were used for the research laboratory of a major university. Due to the fact that the risk assessment environment is a laboratory, different materials are constantly being studied. Working methods and techniques, type, level, dose and exposure times of the chemicals used may vary. This requires re-identification of hazards and risks for each new experimental study. It is of great importance to determine the dangerous situation and dangerous actions with risk assessment, to establish the importance ranking and to determine the corrective and preventive actions to be decided. All of these processes were considered in our study and the results of the risk analysis were compared by applying the Cohen Kappa statistical method. As a result of the statistical analysis, the Fine-Kinney method, which is effective in terms of being preferred especially in hazardous and very dangerous sectors, came to the fore with its positive aspects.

Key Words

“Risk Assessment, Occupational Health and Safety Law No. 6331, Occupational Health and Safety, Fine Kinney Risk Assessment Method”

1. Giriş

Ülkemizde faaliyet gösteren kamu kurumları ile özel sektöre ait bütün işyerlerinde risk değerlendirme zorunluluğu işverenin genel yükümlülüğü kapsamında 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun 4. maddesinin birinci fıkrasının (c) bendinde düzenlenmiştir. İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğine (ÇSGB, 2012) göre risk değerlendirme, işyerlerinin faaliyetlerine başlamadan önce tasarım ve kuruluş aşamalarında planlanarak, tehlikelerin ve risklerin belirlenip analiz edilmesi ve bunun sonucunda koruyucu önlemlerin uygulanması ile gerçekleştirilir. Ancak 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun 30 Haziran 2012 tarihinde yayımlanması ile Kanun kapsamında bulunan mevcut işyerleri için işyeri bina ve eklentilerinin kuruluş ve tasarım aşamasında iş sağlığı ve güvenliği yönünden sistematik bir düzenleme yapılmamış olması risk değerlendirme çalışmalarını zorlaştırmaktadır. Ülkemizde henüz kısa bir uygulama geçmişine sahip risk analizi ve değerlendirmesi çalışmalarının daha standart bir yapıya kavuşması, uygulamada yaşanacak sorunlara çözüm önerileri geliştirilebilmesi, iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarında aktif görev alan çalışanlar için metod seçiminin ve işlevselliğinin önemi hakkında farkındalığın sağlanması önem arz etmektedir.

Özellikle tehlikeli ve çok tehlikeli iş kolları olarak tanımlanan, iş kazası ve meslek hastalığı ihtimallerinin yüksek olduğu çalışma alanlarında yapılacak risk analizlerinde elde edilecek sonuçlar, alınacak koruyucu ve önleyici tedbirler açısından büyük öneme sahiptir. Dolayısıyla bu aşamada analiz değerlerinin doğru tespit edilmesi, elde edilecek sonuç değerinin de doğru hesaplanmasını sağlayacaktır. Fine-Kinney Metodu, L Tipi (5x5) Matris metodunda olduğu gibi bir olayın meydana gelme olasılığı ve gerçekleşmesi durumundaki şiddet derecesi parametreleri ile benzerlik göstermektedir. Aralarındaki tek fark frekans parametresidir. Frekans parametresi bir olayın zaman içerisinde tekrar etme sıklığı olarak tanımlanmaktadır.

Ülkemizde çalışan sağlığı ve güvenliği hizmetleri işverenler tarafından yalnızca yasal mevzuatların bir gerekliliği şeklinde algılanmaktadır. İşyerlerinde gerçekleştirilen risk değerlendirme çalışmalarında hangi metod ya da metodların kullanıldığı, elde edilen sonuçların etkinliği, ilgili işyeri için ne ölçüde fayda sağladığı konusunda bir analiz yapılamamaktadır. Yasal denetimlerde yalnızca dökümanların hazırlanmış olup olmaması dikkate alındığından sektörel açıdan risk analiz metodu seçimi veya seçilen metodun uygulama bakımından yeterliliği tartışılmamaktadır. Bu nedenle işyerlerinde yapılacak risk değerlendirmelerinin amacına uygun, doğru analiz metodları kullanılarak yapılması önem kazanmaktadır. Aksi halde risk değerlendirmesinin iş kazalarını ve meslek hastalıklarını önlenmesi mümkün olmayacaktır. Risk değerlendirme öncesinde dikkat edilmesi gereken en önemli adım metod seçimidir. Metodlar, risklerin önem derecesinin hesaplanması ve alınacak tedbirlerin öncelik sıralamasının belirlenmesinde etkilidir. Dolayısıyla iş kazalarının ve mesleki hastalıkların önlenmesi için işyerlerinde zorunlu hale getirilen risk değerlendirme çalışmalarının yalnızca yasal bir zorunluluğun gerekliliği olmaktan çıkarılması ve gerçek anlamda risk değerlendirme çalışmalarının işlevsel, koruyucu, önleyici ve sürekli kontrolün sağlanabileceği dinamik bir yapıya kavuşması sağlanmalıdır. Bu amaçla gerçekleştirilecek akademik çalışmalar ile Ülkemizde iş sağlığı ve güvenliğinin yalnızca yasal bir zorunluluk olarak algılanmasının önüne geçilmesi ve bir güvenlik kültürü olarak ancak doğru metodlarla gerçekleştirilmesi, sistematik ve planlı bir çalışma ile tam olarak işlevsellik kazanacağı belirtilmelidir. Bu amaçla, Ülkemizde son yıllarda yayımlanan birçok akademik çalışma bulunmaktadır.

2.Literatür Taraması

Literatür araştırmalarından elde edilen sonuçlar Fine-Kinney metodunun diğer seçeneklere göre uygulamada kolaylık sağladığı, olasılık, şiddet ve frekans parametrelerinin ayrı ayrı değerlendirilmesi nedeniyle hassasiyet düzeyinin yüksek olduğu ve yeni metodların geliştirilmesi bakımından da tercih edilebilir bir metod olduğu sonuçlarını ortaya koymaktadır.

Yiğit (2015), çalışmasında risk değerlendirme metodlarının uygulanabilirliği açısından Fine-Kinney metodunun işletmede kolaylıkla uygulandığını ve risk skalasının daha geniş olduğunu belirtmiştir.

Erzurumluoğlu vd. (2015) çalışmalarında iş kazalarının en sık yaşandığı iş kollarından biri olan inşaat sektöründe Fine-Kinney metodu uygulamasının önemini ve üstün özelliklerini ortaya koymaya çalışmışlardır. Özellikle işyerinde mevcut şartların sürekliliğinin korunamadığı, denetim ve kontrol mekanizmalarının devamlı aktif olması gereken çok tehlikeli çalışma sahalarında Matris metoduna alternatif olarak Fine-Kinney' in kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Metodun işyerine ait istatistiksel verilerinin etkin biçimde kullanımına olanak sağladığı, kolay ve pratik biçimde uygulanabilir olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Okumuş vd. (2016) çalışmalarında çok tehlikeli iş kollarından gemi inşaatı sektöründe yaşanan iş kazalarını inceleyerek özel bir tersane için 5X5 Matris ve Fine-Kinney metodu ile yapılan risk analizi sonuçlarını karşılaştırmışlardır. İki metottan elde edilen sonuçların belli ölçüde benzer yanları olduğunu, ancak Fine-Kinney metodu ile elde edilen sonuçların daha hassas ve derinlemesine bir çalışma olduğunu vurgulamışlardır.

Birgören (2017), çalışmasında Finney-Kinney metodunun özellikle Avrupa'da yaygın olarak kullanıldığını, Ülkemizde de 2012 yılından sonra özellikle çimento sektöründe yaygın olarak kullanıldığı ve son yıllarda büyük ölçekli inşaat ve sanayi sektörlerinde de kullanımının hızla arttığını belirtmiştir. Ancak metodun parametrelerinin kullanıcılar tarafından net bir biçimde algılanmadığı ve bu nedenle de hatalı risk puanları elde edildiğini ifade etmiştir. Metodun etkin kullanımı açısından yanlış uygulamaların ortadan kaldırılması amacıyla olasılık ve frekans kavramlarının tanımlamaları yapılmıştır. Hatalı yorumlamaların ortadan kaldırılmasına yönelik olarak Fine' ın tanımlamalarına bağlı kalınması amacıyla hazırladığı koşullu olasılık formülleri ile metodun uygulamadaki teorik alt yapısının sağlanabileceği ifade edilmiştir.

Bekdemir vd. (2018), çalışmalarında bir inşaat alanında yaptıkları risk değerlendirmede 5X5 Matris ve Fine-Kinney metotlarını uygulanmış ve sonuçları karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında, yapı sektörü gibi yüksek riskli sahaların risk analizi için araştırmacıların ve uzmanların ortak düşüncelerinin Fine-Kinney metodunun tercih edilmesi yönünde olduğu ve metotlar arasındaki en önemli farklılığında analizde kullanılan parametrelerden frekans parametresinin etkin rolü olduğu belirtilmiştir. Tehlikeli ve çok tehlikeli işyerlerinde tek bir analiz uygulamasının yeterli olamayacağı, en az iki ayrı metot kullanılması ve elde edilen sonuçların karşılaştırılmasıyla karma bir değerlendirme çok daha faydalı olacağı vurgulanmıştır.

Zaloğlu (2019), çalışmasında kazı ve sondaj çalışmalarının gerçekleştirildiği sahalarda 5X5 L tipi Matris ve Fine-Kinney metotları ile risk değerlendirmesi yaparak sonuçları karşılaştırmıştır. Bu tip sahalarda uygulama bakımından kolay bir metot olduğu için çoğunlukla Matris metodunun tercih edildiğini belirtmiştir. Ancak bu metodun risk değerlendirme aralığının dar olduğu, değişken derecelerinin tam olarak tanımlanamaması nedeniyle tablodan yakın seçeneklerin seçilmek zorunda kaldığı ve yapılan değerlendirmenin kişiden kişiye büyük ölçüde değişiklik gösterdiği ifade edilmiştir. Fine-Kinney metodunda ise risklerin büyüklük bakımından belirlenmesinde ve derecelendirilmesinde metodun daha subjektif olduğu, çok daha geniş bir aralıkta gerçeğe yakın bir değerlendirme yapmaya imkan sağladığı, risk değerlendirme sonuçlarının daha hassas, işlevsel ve güvenilir olduğunu belirtmiştir. Dolayısıyla tüm bu çıkarımların sonucunda 5x5 L tipi Matris metodunun Fine-Kinney risk değerlendirme metoduna göre yetersiz kaldığı ve sondaj, kazı vb. sahaların risk değerlendirilmesi yapılırken Fine-Kinney risk değerlendirme metodunun kullanılmasının daha etkin sonuçlar vereceği belirtilmiştir.

3. Materyal ve Metot

3.1. Materyal

Bu çalışmada, bir üniversitenin araştırma ve uygulama merkezinde bulunan laboratuvarlar için gerçekleştirilen risk analizi verileri kullanılmıştır. Laboratuvarlarda yürütülen faaliyetlerin bilimsel araştırmalara yönelik olması nedeniyle sürekli farklı kimyasallar kullanılmakta, farklı prosesler uygulanmakta ve bu nedenlerle sürekli farklı çalışma yöntem ve şekilleri uygulanmaktadır. Rutinde devamlı aynı çalışma yöntem ve tekniklerinin kullanılmadığı işyerlerinde alınacak iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerinin planlanma süreçlerinde dikkat edilmesi gereken hususlar belirlenmeye çalışılmıştır. Laboratuvarlarda deneysel faaliyetler için kullanılan temel laboratuvar araç gereçleri ile birlikte çeker ocak, etüv, vakumlu etüv, ısıtıcı-karıştırıcı, sirkülasyon, ısı tabancası, hassas terazi, buzdolabı, UV kabini, sonikatör, rotary evaporatör ve ahtapot kol havalandırma cihazı kullanılmaktadır. Çalışma ortamında kullanılan araç gereç ve malzemelerden kaynaklanan tehlikeler;

- Kimyasal malzemelerin zararlı etkileri
- Elektriksel riskler
- Sıcak malzeme ve yüzey tehlikesi
- Ergonomik problemler
- Tehlikeli çalışma
- Özel eğitim ve mesleki tecrübe gerektiren çalışmalar
- Kişisel koruyucu giysi ve donanım gerektiren çalışmalar

olarak belirlenmiştir.

Laboratuvarlarda sıklıkla kullanılan kimyasalların malzeme güvenlik bilgi dökümanları incelenerek, zararlılık düzeyleri tespit edilmiştir. Risklerin kaynağında kontrolüne yönelik öncelikli yapılması gereken önleyici faaliyetler tehlike kaynağını yok etmek veya ikame yapmaktır. Ancak risk grupları dikkate alındığında riskin kaynağında önlenmesi mümkün değildir. Ayrıca bir çok kimyasal madde için ikame yapılabilecek eşdeğer maddelerde kullanılamamaktadır. Maruziyetleri değerlendirildiğinde deneysel faaliyetler sebebiyle kullanılan kimyasalların büyük çoğunluğunda çok düşük dozlar yani eser miktarlar kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu durumun değerlendirilebilmesi için ilgili yönetmelikte belirlenen maruziyet sınır değerlerinin kontrolü Tablo 1' den yararlanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Laboratuvarlarda kullanılan kimyasal maddelerin mesleki maruziyet sınır değerleri

Kimyasal Madde	Sınır Değer				Özel İşaret
	TWA (8 Saat) STEL		STEL (15 Dak.)		
	Mg/m ³	ppm	Mg/m ³	ppm	
Hekzan(Hexane) C ₆ H ₁₄	72	20	-	-	-
Kloroform 99,9 % Extra pure	10	2	-	-	Deri
Metilen Klorit (Diklorometan) CH ₂ Cl ₂	-	-	-	-	-
Silika Jel 40–63 µm	-	-	-	-	-
Tetrahydrofuran C ₄ H ₈ O	-	-	-	-	-
Toluen Pure Grade C ₇ H ₈	192	50	384	100	Deri
N,N-Dimetil Formamid	15	5	30	10	Deri

3.2. Metot

3.2.1. Fine-Kinney Metodu

Risk analizi metotlarından biri olan Fine-Kinne Metodu, 1971 yılında T. Fine'in tarafından Journal of Safety Research'te yayımlanan "Mathematical Evaluations for Controlling Hazards" adlı makalesinde ve G.F. Kinney ve A.D. Wiruth'un "Practical Risk Analysis for Safety Management" adlı teknik raporunda risk analizinin frekans, şiddet ve olasılık parametrelerinin önceden oluşturulmuş tahmini değer aralıklarından oluşan tablolarını kullanarak gerçekleştirilmesi biçiminde ifade edilmiştir (Tablo 2,3,4,5). Fine-Kinney yöntemi;

$R = \dot{I} \times F \times \text{Ş}$ olarak hesaplanır (Erzurumluoğlu vd., 2015).

(\dot{I} = İhtimal, F = Frekans, Ş = Şiddet derecesi, R = Risk derecesi)

Tablo 2. Fine-Kinney olasılık değerleri

Kategori	Değer
Pratik olarak imkânsız	0,2
Zayıf ihtimal	0,5
Düşük ihtimal	1
Nadir fakat olabilir	3
Kuvvetle muhtemel	6
Çok güçlü ihtimal	10

Tablo 3. Fine-Kinney şiddet değerleri

Kategori	Değer
Birden fazla ölümlü kaza, çevre felaketi	100
Ölümlü kaza, ciddi çevresel problem	40
Kalıcı hasar, yaralanma, iş kaybı, çevresel engel oluşturma	15
Önemli hasar, yaralanma, dış ilk yardım, arazi sınırları dışında çevresel zarar	7
Küçük hasar, yaralanma, dahili ilk yardım, arazi sınırları içerisinde çevresel zarar	3
Ucuz atlatma, çevresel zarar bulunmamaktadır	1

Tablo 4. Fine-Kinney frekans değerleri

Kategori	Değer
Çok nadir (yılda bir veya bir kaç yılda bir)	0,5
Oldukça nadir (yılda bir veya birkaç kez)	1
Nadir (ayda bir veya bir kaç kez)	2
Ara sıra (haftada bir veya birkaç kez)	3
Sıklıkla (günde bir veya bir kaç kez)	6
Sürekli (bir saatte veya bir kaç saatte bir)	10

Tablo 5. Fine-Kinney değerlendirme tablosu

Risk Değeri	Risk Önem Derecesi	Risk Kontrol Tedbirleri
400 < R	5.Derece Çok Yüksek Risk	Tolerans gösterilemez, derhal gerekli önlemler alınmalı veya iş durdurulmalıdır.
200 < R < 400	4.Derece Yüksek Risk	Kısa dönemde, bir kaç ay içinde iyileştirilmelidir.
70 < R < 200	3.Derece Önemli Risk	Uzun dönemde yıl içinde iyileştirilmelidir.
20 < R < 70	2.Derece Dikkate Değer Risk	Gözetim altında tutulmalıdır.
R < 20	1.Derece Kabul Edilebilir Risk	Acil önlem öncelikli değildir.

3.2.2. L Tipi (5x5) Matris Metodu

Metot uygulanması bakımından kolay olması nedeniyle Ülkemizde en çok tercih edilen risk analiz metotlarından biri olmuştur. Olasılık ve şiddet değeri için 5 farklı seviye belirlenmiştir. L Tipi (5x5) Matris metodu;

$R = O \times \text{Ş}$ olarak hesaplanır (Okumuş & Barlas, 2016).

(O = Olasılık, Ş = Şiddet derecesi, R = Risk derecesi)

Tablo 6. L Tipi (5x5) Matris Olasılık Değerleri

Kategori	Değer
Hemen hemen hiç	1- Çok düşük
Çok az (yılda bir kez)	2- Düşük
Az (yılda birkaç kez)	3- Orta
Sıklıkla (ayda bir kez)	4- Yüksek
Çok sık (haftada birkaç kez, her gün)	5- Çok yüksek

Tablo 7. L Tipi (5x5) Matris şiddet değerleri

Kategori	Değer
Çalışma saati kaybı yok, ilk yardım gerektiren durum.	1- Çok Hafif
Çalışma günü kaybı yok, ayakta tedavi gerektiren kalıcı etkisi olmayan durum.	2- Hafif
Hafif yaralanmaya yol açan, yatarak tedavi gerektiren durum.	3- Orta
Ölüm, ciddi yaralanma, uzun süreli tedavi gerektiren durum, meslek hastalığı	4- Ciddi
Birden çok ölüm, sürekli iş göremezliğe sebebiyet veren durum	5- Çok ciddi

Tablo 8. L Tipi (5x5) Matris değerlendirme tablosu

Risk Skoru	Düzeltilici Önleyici Faaliyet	Risk Önem Derecesi	Karar
$R \leq 1$	Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için ilave kontrol tedbirlerine ihtiyaç duyulmayabilir.	1.Derece	Kabul Edilebilir Risk
$1 < R < 8$	Mevcut kontrol tedbirleri sürdürülmeli ve bu kontrollerin sürdürüldüğü denetlenmelidir.	2.Derece	Dikkate Değer Risk
$8 \leq R < 15$	Belirlenen riskleri düşürmek için hemen faaliyetler başlatılmalıdır.	3.Derece	Önemli Risk
$15 \leq R \leq 20$	Bu riskler için acil önlem alınmalı ve faaliyetlerin kabul edilebilir seviyede devam etmesi sağlanmalıdır.	4.Derece	Yüksek Risk
$R > 20$	Risk kabul edilebilir seviyeye düşürülünceye kadar iş başlatılmamalıdır.	5.Derece	Çok Yüksek Risk

Tablo 9. Fine-Kinney Metodu ve L Tipi (5x5) Matris Metodu sonuçlarının kategori değerleri

Risk Derecesi	Risk Düzeyi	Kontrol Planlaması
1	Kabul Edilebilir	Tehlike yok denebilecek düzeydedir.
2	Dikkate Değer	Mevcut kontrol önlemleri yeterlidir, sürekliliği sağlanmalıdır.
3	Önemli	Kontrol tedbirleri belirlenmeli ve maksimum 1 yıl içerisinde uygulanmalıdır.
4	Yüksek	Kontrol tedbirleri belirlenmeli ve maksimum 3-6 ay içerisinde uygulanmalıdır.
5	Çok Yüksek	Kontrol tedbirleri belirlenmeli ve maksimum 1 ay içerisinde uygulanmalıdır.

Çalışmamızda, laboratuvarlardaki mevcut tehlikeler ve riskler analiz edilerek 35 tehlike kaynağı için risk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Tehlikelerin belirlenmesinde fiziksel etkenler, kullanılan araç-gereçler, kimyasal maddeler, çalışma yöntem ve şekilleri, acil durumlar, iş organizasyonu, çevresel etkiler, atıklar ile iş sağlığı ve güvenliği hizmetleri gibi konular öncelikli olacak şekilde değerlendirme yapılmıştır. Tespit edilen 35 tehlike kaynağından her biri ayrı ayrı Fine-Kinney Metodu ve L Tipi (5x5) Matris Metodu kullanılarak iki ayrı analiz gerçekleştirilmiştir.

Risk analizleri ile elde edilen sonuçlar çalışma ortamı, yapılan iş ve işlemlerin niteliği, sürekliliği, yasal zorunluluklar ve tahammül edilebilecek risk düzeyleri dikkate alınarak 5' li kategoriye göre ölçeklendirilmiştir (Tablo 9).

3.3. Cohen Kappa İstatistiği

Cohen kappa istatistiği, aynı bireylerin farklı zamanlarda, farklı kişiler tarafından veya farklı metodlarla üzerinde durulan kategorik özelliklerine ait sonuçlar arasındaki uyumun araştırılmasında yaygın olarak kullanılan bir istatistiktir. Puanlayıcılar arasında karşılaştırma yapma ve güvenilirlik belirlemede sıklıkla kullanılan Kappa istatistiği, Cohen (1960) tarafından önerilmiştir. Sınıflama düzeyinde puanlama yapan iki puanlayıcı arasındaki uyumun derecesini belirlemek için geliştirilmiştir. Bu istatistiğin hesaplanabilmesi için öncelikle uyum analizi sonucunda oluşturulacak çapraz tabloların satır sayısı ile sütun sayısı birbirlerine eşit olmalıdır (Cx C). Yani, 2x2'lik ve daha büyük boyutlardaki tablolarda, tablonun satır ve sütunlarına yerleştirilen değişkenler arası uyumu ölçmede kullanılır. Kappa istatistiği kolaylıkla hesaplanarak yorumlanabilmektedir. Yöntemin en

önemli katkısı ise şansla beklenen uyumu düzeltmeyi de hesaba katmasıdır. Şans eseri meydana gelen uyum puanlardaki tamamen tesadüfe dayalı oluşan benzerliktir. κ , puanlayıcılar arası gözlenen uyumun içinden şans/tesadüfe dayalı uyumun çıkarılmasına dayalı olarak aşağıda verilen formülle hesaplanmaktadır. \bar{P} gözlenen uyumluluk oranı, \bar{P}_e tesadüfi/şansla uyumluluk oranı olmak üzere kapa istatistiği (κ) formülüyle Eşitlik I' deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\kappa = \frac{\bar{P} - \bar{P}_e}{1 - \bar{P}_e}$$

Kappa istatistiğinin sonucunda değeri -1 ile +1 arasında bir değer elde edilmektedir. κ 'nın pozitif sonuçları puanlayıcılar arasındaki uyumun şansla beklenen uyumdan daha fazla olduğunu, κ 'nın negatif sonuçları puanlayıcılar arasındaki uyumun şansla beklenenden daha az olduğunu ifade eder. Bu sebeple negatif değerler şansla beklenenin altındaki uyum düzeyini gösterdiği için dikkate alınmamaktadır. κ istatistiğinin yorumlanmasında Tablo 10'de Landis ve Koch tarafından önerilen uyum düzeyleri kullanılmaktadır (Bıkmaz Bilgen & Doğan, 2017).

Tablo 10. Kappa istatistiğinin yorumlanmasına ilişkin değer aralıkları

κ	Uyumun gücü
< 0,00	Zayıf
0,00 – 0,20	Önemsiz
0,21 – 0,40	Düşük
0,41 – 0,60	Orta
0,61 – 0,80	Önemli
0,81 – 1,00	Çok Yüksek

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Risk Analizi ve Değerlendirmesi Sonuçları

Risk analizi metotları arasında sıklıkla tercih edilen iki metot arasındaki benzerlik ve farklılıkların analiz edilebilmesi amacıyla bir araştırma laboratuvarı için gerçekleştirilen risk analizi sonuçları Tablo 11' de verilmiştir. Bu değerler yaklaşık beş ay süresince laboratuvar gözlemleri, çalışanlar ve öğrencilerle yapılan görüşmeler, hafta sonu ve mesai saatleri dışında yapılan çalışmaların kontrolü sonucunda elde edilmiştir. Bir olayın meydana gelme olasılığı hesabında; çalışma yöntem ve teknikleri, fiziksel riskler, işyeri bina ve eklentilerinden kaynaklanabilecek tehlikeler, çevresel riskler ve yaşanması muhtemel kişisel kusurlar dikkate alınmıştır. Fine-Kinney metodunda olasılık ve şiddet değeri ile birlikte çarpıma eklenen frekans değeri ise çalışanların tehlikeye zaman içerisinde ne kadar sıklıkla maruz kaldıklarını derecelendirmektedir. Bu yönüyle riskin büyüklüğünün hesaplanması ve sonrasında en yüksek dereceli risklerle öncelikli olarak mücadele edilmesi planlamasında rolü hayati derecede önem kazanmaktadır.

Tablo 11. Risk Analizleri Tablosu

Tehlike Kaynağı	L Tipi (5x5) Matris Metodu				Fine-Kinney Metodu				
	Olasılık	Şiddet	Risk Puanı	R/Risk Derecesi	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk Puanı	R/Risk Derecesi
1- İş Sağlığı ve Güvenliği Kültürü ve Bilincinin Oluşmaması	2	3	6	2	1	7	6	42	2
2- Sağlık ve Güvenlik Eğitimi Eksikliği	3	3	9	3	3	7	6	126	3
3- Acil Çıkışlar	4	4	16	4	6	40	1	240	4
4- Acil Durum Eylem Planı	4	4	16	4	6	40	1	240	4
5- Sağlık ve Güvenlik İşaretleri ile Poster ve Görsellerin	3	3	9	3	3	7	6	126	3
6- MSDS' lerin olmaması, eksikliği veya ulaşılamaması	4	4	16	4	6	15	6	540	5

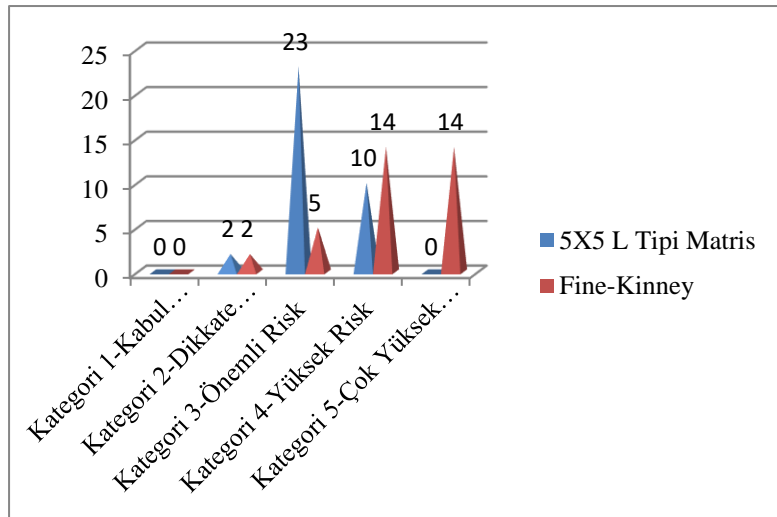
Tablo 11 (devamı). Risk Analizleri Tablosu

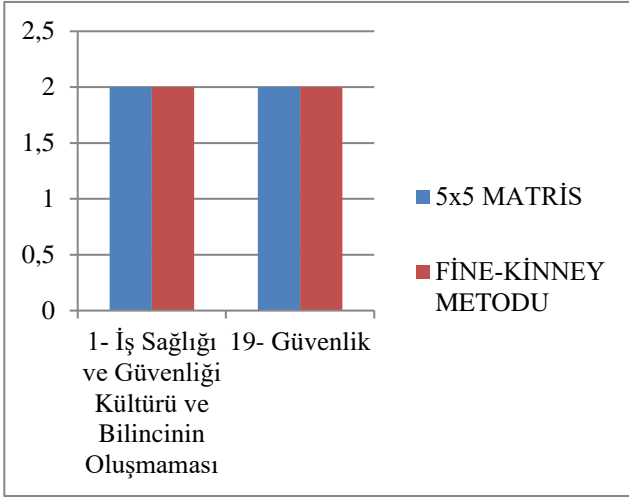
Tehlike Kaynağı	L Tipi (5x5) Matris Metodu				Fine-Kinney Metodu				
	Olasılık	Şiddet	Risk Puanı	R/Risk Derecesi	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk Puanı	R/Risk Derecesi
7- Kimyasal malzemelerin depolanması	4	4	16	4	6	15	6	540	5
8- Tehlikeli Kimyasal Maddelerle Çalışma	4	4	16	4	6	40	6	1440	5
9- Tehlikeli Kimyasal Maddelerle Çalışma	3	4	12	3	3	40	6	720	5
10- Depolama	4	3	12	3	6	7	2	84	3
11- İklimlendirme Havalandırma Sistemlerinin Bakımı	3	3	9	3	3	7	10	210	4
12- Çeker Ocak Kullanımı	3	4	12	3	3	40	6	720	5
13- Havalandırma	3	3	9	3	3	7	10	210	4
14- Elektrik ve Tehlikeleri	3	4	12	3	3	40	10	1200	5
15- Elektrik Kaçakları	3	4	12	3	3	40	10	1200	5
16- Topraklama ve Kaçak akım	3	4	12	3	3	40	10	1200	5
17- Yangın	4	4	16	4	6	40	1	240	4
18- Söndürme Araçları	2	4	8	3	1	40	10	400	4
19- Güvenlik	2	3	6	2	1	7	6	42	2
20- Atıkların Berterafı	3	4	12	3	3	15	3	135	3
21- Cam malzemeler	3	4	12	3	3	15	6	270	4
22- Endüstriyel Gaz Tüpleri	4	5	20	4	6	100	3	1800	5
23- Kişisel Eşyaların ve Gıdaların Laboratuvarında Açıkta Olması	4	4	16	4	6	15	6	540	5
24-Yetersiz Çalışma Alanı	4	4	16	4	6	15	10	900	5
25- Ergonomik Faktörler	3	3	9	3	3	7	10	210	4
26- Bölgesel Yıkama Ünitelerinin Kullanımı (Boy/göz duşları)	3	4	12	3	3	15	2	90	3
27- Psikososyal Riskler	3	3	9	3	3	7	10	210	4
28- Aydınlatma	2	4	8	3	1	40	10	400	4

Tablo 11 (devamı). Risk Analizleri Tablosu

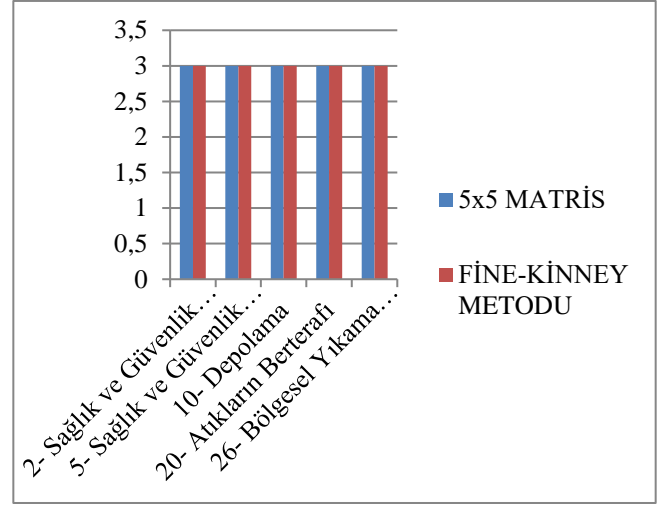
Tehlike Kaynağı	L Tipi (5x5) Matris Metodu				Fine-Kinney Metodu				
	Olasılık	Şiddet	Risk Puanı	R/Risk Derecesi	Olasılık	Şiddet	Frekans	Risk Puanı	R/ Risk Derecesi
29- Envanter Listesi	4	3	12	3	6	7	6	252	4
30- Silika	3	4	12	3	3	40	6	720	5
31- İlk Yardım	3	4	12	3	3	40	10	1200	5
32- Kişisel Koruyucu Donanım ihtiyacı uygun olmaması	2	4	8	3	1	40	6	240	4
33- Çalışma Alanı	2	4	8	3	1	40	10	400	4
34- Mesai saatleri dışında yapılan çalışmalar	4	4	16	4	6	40	2	480	5
35- Hijyen/Temizlik	3	3	9	3	3	7	10	210	4

Çalışmada, her iki metod için 1. derece kabul edilebilir risk tespit edilmemiştir. Şekil 2.a' da görüldüğü üzere bir üst kategori olan 2. derece dikkate değer risk düzeyinde ise 2 risk tespit edilmiş olup, her ikisinde tehlike kaynağı aynıdır. Bu sonuçlara göre Fine-Kinney metodu ile L Tipi (5x5) Matris metodu risk analiz sonuçlarındaki farklılıkların 3., 4. ve 5. derece risk kategorilerinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1).

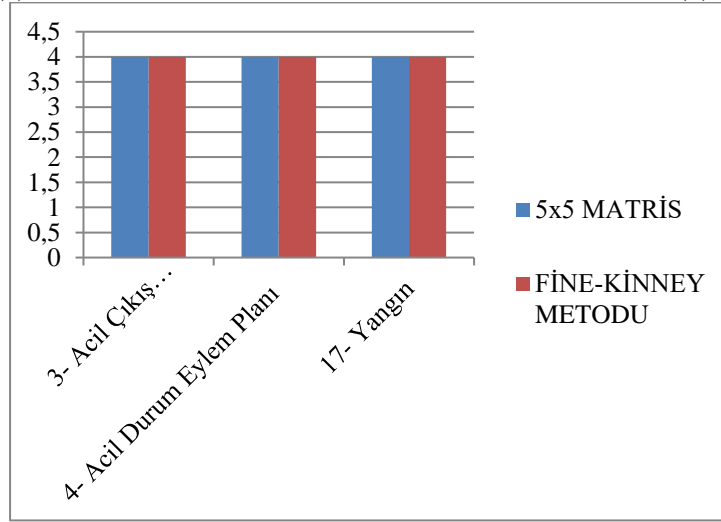
**Şekil 1.** Fine-Kinney ve L Tipi (5x5) Matris metodu uygulama sonuçları



(a)



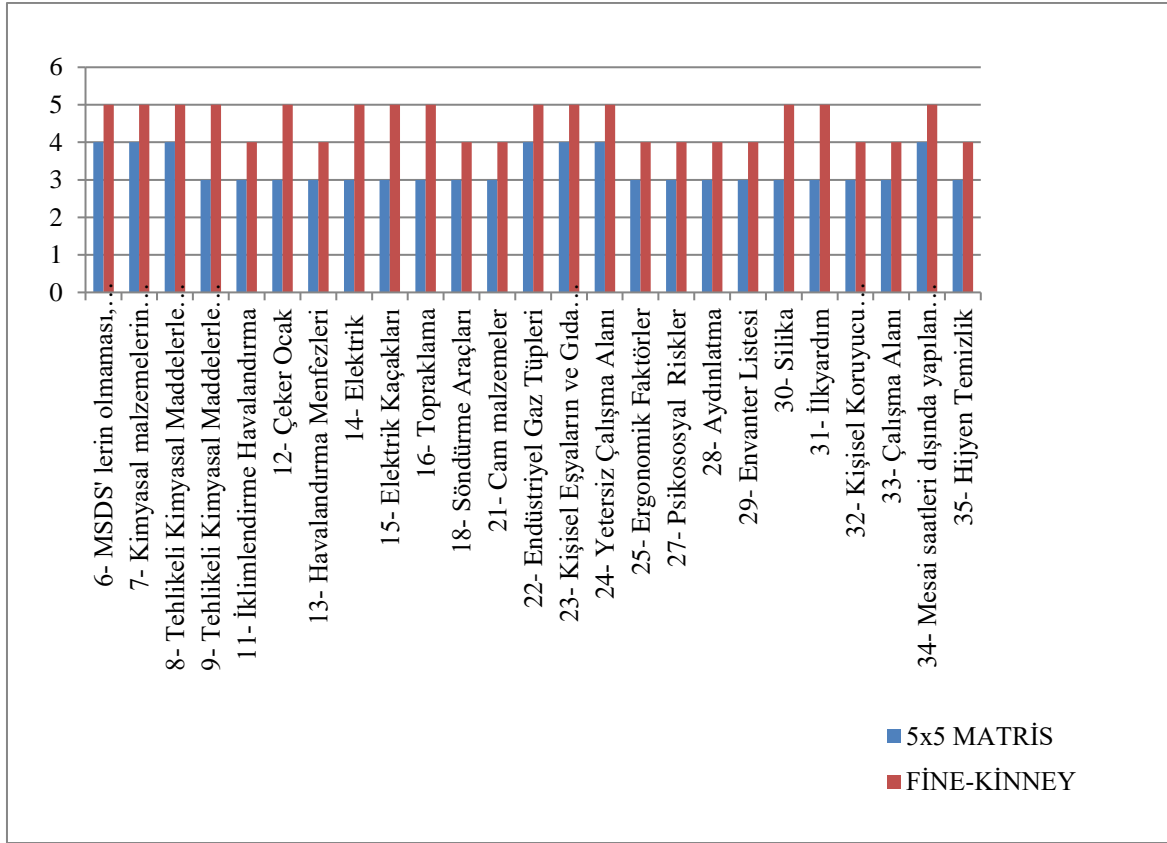
(b)



(c)

Şekil 2. Risk kategorileri eşit bulunan tehlike kaynakları (a) 2.derece, (b) 3.derece, (4) derece risk analizi sonuçları

Şekil 2.'de 2., 3. ve 4. derece risk kategorilerinde her iki metod uygulamasında da aynı sonuçların elde edildiği tehlike kaynakları gösterilmiştir. Nace kodu sınıflamasında tehlikeli sınıfta yer alan bir işyeri için acil durumlar, güvenlik kültürü ve eğitimleri, depolama, atıklar ve bertaraf işlemleri ile sağlık ve güvenlik tedbirlerini içeren konularda risk öncelik sıralaması beklenen düzeydedir.



Şekil 3. Risk kategorileri farklı olan tehlike kaynakları

Şekil 3' de yer alan 25 tehlike kaynağı için Fine-Kinney metodu ile L Tipi (5x5) Matris metodunda farklı sonuçlar elde edilmiştir. L Tipi (5x5) Matris sonuçlarının tamamı Fine-Kinney metoduna kıyasla daha alt derecelerde kategorilere sahiptir. Bu farklılıkların temel nedeni frekans parametresinden kaynaklanmaktadır. Tehlikeye zaman içerisinde maruz kalma sıklığı olarak tanımlanan frekans değeri hesaba katıldığında, tehlikenin önem derecesi değişmektedir. Bu durum önlem planlamasında çalışanların sıklıkla karşı karşıya kaldıkları tehlike kaynakları için daha kısa sürede iyileştirme yapılmasını gerektirmektedir.

4.2. Metotların İstatistiksel Analizi

İki farklı risk analizi metodu ile elde edilen sonuçlarının uyumlu olup olmadığını tespitinde Cohen Kappa testi kullanılmıştır. Kappa katsayısı -1 ile +1 arasında değişir. Tam uyum söz konusu olduğunda $\kappa = 1$ olur. Uyum düzeyleri bakımından kappa katsayısı 0.20'ye eşit yada küçük ise "zayıf uyum", 0.21-0.40 aralığında ise "ortanın altında uyum", 0.41-0.60 aralığında ise "orta düzeyde uyum", 0.61-0.80 aralığında ise "iyi düzeyde uyum" ve 0.81-1.00 aralığında ise "çok iyi düzeyde uyum" olarak tanımlanmıştır. Çalışmamızda kritik karar alma değeri 0,05 olarak seçilmiş ve SPSS 22.00 programı ile yapılmıştır. Hesaplama n değeri görülen uyum sayısını, P değeri ise gözlenen uyumluluk oranını ifade etmektedir. P değerinin istatistiksel açıdan anlamlı olabilmesi için ($p < 0,05$) olmalıdır.

Tablo 12. Olasılık Değerlendirmelerinin Uyumu

Olasılık 5x5 MATRİS	Olasılık FİNE-KİNNEY			K	p
	1	3	6		
2	n	6	0	0,34	0,01*
	%	100,0%	0,0%		
3	n	0	17	0,34	0,01*
	%	0,0%	100,0%		
4	n	0	0	0,34	0,01*
	%	0,0%	100,0%		

*anlamlı seviyede uyumu gösterir.

Çalışmada risklere göre öngörülen gerçekleşme olasılık değerlerinin 5x5 Matris ve Fine-Kinney yöntemlerine göre uyumlu olduğu görülmüştür ($K=0,34, p=0,01$). 5x5 Matris ve Fine-Kinney yöntemlerine göre uyumlu olasılık değerlerinin verildiği söylene de uyum düzeyinin zayıf olduğu görülmektedir. Çalışmada uyum gösteren olasılık değerlerinin her iki yöntem içinde olasılık 3 değerleri için olduğu (%100) görülmüştür (Tablo 12).

Tablo 13. Risk Değerlendirmelerinin Uyumu

R/Risk Derecesi 5x5 MATRİS	FİNE-KİNNEY R/ Risk Derecesi				K	p
	2	3	4	5		
2	n	2	0	0		
	%	100,0%	0,0%	0,0%		
3	n	0	5	11	0,29	0,03*
	%	0,0%	21,7%	47,8%		
4	n	0	0	3		
	%	0,0%	0,0%	30,0%		

*anlamli seviyede uyumu gösterir.

Çalışmada uyum gösteren risk değerlendirmelerinin iki yöntem içinde 2 seviyesi için (n=2, %100), 3 seviyesi için (n=5, %21,7), 4 seviyesi için (n=3, %30) olduğu görülmüştür. Fine-Kinney yöntemi ile risk derecesi 5 olarak tespit edilen konularda 5x5 Matris yöntemi ile uyum gösteren seviyeler 3 seviyesinde (n=7, % 30,4) ve 4 seviyesinde (n=7, %70) olduğu görülmüştür.

Analiz sonucunda risk değerlerinin 5x5 Matris ve Fine-Kinney yöntemlerine göre gözlenen olasılık değerlerinin uyumlu olduğu ($K=0,34$, $p=0,01$), ancak kappa katsayısı uyum düzeyinin zayıf seviyelerde ($K=0,29$, $p=0,03$) olduğu görülmektedir. Bu çalışma sonucunda her iki metot arasındaki uyumun gücünün Kappa istatistiğinin yorumlanmasına ilişkin değer aralıkları tablosu Tablo 10' a göre "düşük ($K=0,29$ - $K=0,34$)" seviyede olduğu hesaplanmıştır.

5. Sonuçlar

Fine-Kinney Metodu ile yapılan değerlendirme sonuçları L Tipi (5x5) Matris Metodu kullanılarak yapılan değerlendirme sonuçları karşılaştırılmıştır. Her iki metot uygulamasında da mevcut durumda minimum risk seviyesinde tehlike tespit edilmemiştir. Kimyasal maddelerle çalışma, iş ve işlem basamakları, kullanılan malzeme ve araç-gereçler, fiziksel ve çevresel faktörler, acil durumlar, kişisel kusurlar vb. dikkate alındığında mevcut kontrol tedbirlerine rağmen tehlike kaynaklarının hiçbirini için risklerin kabul edilebilir seviyede olmaması beklenen düzeydedir.

Bu çalışmamız, işyerlerinde yaşanan kazalarının ve mesleki hastalıkların yaşanmaması için planlanacak çalışmalara karar verilmesi amacıyla yapılan risk değerlendirme çalışmalarında yararlanılan metotların rolünün son derece büyük olduğunu ortaya koymuştur. Risk değerlendirmede metot seçiminin bütün iş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerine ne derece yön verdiği ortaya çıkarılmaya çalışılmış ve metot sonuçları karşılaştırılmıştır. Puanlayıcılar arasındaki güvenilirliğin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan Kappa istatistiğinden yararlanılarak yapılan karşılaştırma; aynı analist tarafından, aynı çalışma ortamı ve aynı tehlike kaynakları için gerçekleştirilmiş olmasına rağmen, sonuçlar arasında benzerlik düzeyinin düşük seviyede olduğu görülmüştür. Kappa katsayısının negatif değer aralığı şansa beklenenin altındaki uyum düzeyini gösterdiği için ihmal edildiğinde, sonuç değeri 0,29 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç değer aralıkları yorum tablosunda ilişkinin "(0,20-0,40) düşük" aralığına karşılık gelmektedir. Dolayısıyla iki metot arasında istatistiksel olarak uyumlu bir ilişkiden söz etmek mümkün değildir.

Uygun metot seçimi yapılmadığında etkin sonuçlar elde edilemeyeceği gibi ilave riskler ve kayıplar da ortaya çıkabilir. Risk önem seviyelerinin belirlenmesinde Fine-Kinney metodunda hesaba katılan frekans değerinin etkisi büyüktür. İki metot arasındaki en büyük farklılık tehlikeye zaman içerisinde maruz kalma sıklığı yani frekans değerinin risk önem seviyesi hesabındaki etkisidir. Matris metodunda yalnızca tehlikenin riske dönüşme olasılığı ve gerçekleştiğinde meydana gelecek zararın şiddet değeri hesaba katılmaktadır. Dolayısıyla hergün yapılan bir faaliyet ile yılda birkaç kez yapılan bir faaliyet için düzeltici ve önleyici faaliyet planlamasında risk skoru yüksek olan tehlike kaynağı için acil tedbir planlanmaktadır. Fine-Kinney metodunda ise zaman içerisinde sıklıkla karşı karşıya kalman riskler ön plana çıkarılmakta ve bu risklerle daha önce mücadele edilmektedir. Fine-Kinney Metodu ile yapılan analizlerde mevcut durumlar daha ayrıntılı biçimde ele alınmaktadır. Bu farklılıklar dikkate alındığında özellikle tehlikeli ve çok tehlikeli iş kollarında L Tipi (5x5) Matris metodu yerine Fine-Kinney metodunun uygulanması analizlerin daha geniş ölçekte yapılmasını sağlayarak, öncelikli tehlikelerin daha kısa sürede bertaraf edilmesini ve iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarında daha etkin sonuçlar elde edileceğini göstermektedir.

Referanslar

Bekdemir, E., & Erçetin, R. (2018). Uluslararası İş Sağlığı ve Güvenliği Kongresi ve Fuarı bildiri kitabı içinde (ss.331-342). İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi

- Bıkmaz Bilgen, Ö., & Doğan, N. (2017). Puanlayıcılar Arası Güvenilirlik Belirleme Tekniklerinin Karşılaştırılması. *Eğitimde ve Psikolojide Ölçme ve Değerlendirme*, 8(1), 63-78.
- Birgören, B. (2017). Fine Kinney Risk Analizi Yönteminde Risk Faktörlerinin Hesaplama Zorlukları ve Çözüm Önerileri, *International Journal of Engineering Research and Development*, 9(1), 19-25.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (2012). İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği. Resmi Gazete, 28512. Ankara.
- Erzurumluoğlu, K., Köksal, K.N., & Gerek, İ.H. (2015). İnşaat Sektöründe Fine-Kinney Metodu Kullanılarak Risk Analizi Yapılması, 5. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, 137–146.
- Okumuş, D., & Barlas, B. (2016). Gemi İnşaatı Sektöründe 5x5 Analiz Matrisi ve Fine-Kinney Yöntemlerinin Uygulamalı Bir Karşılaştırılması. *GMO*, 204–205, 95–106.
- Yiğit, Ö. (2015). Yem Üretim Proseslerinde Üç Farklı Risk Değerlendirme Metodunun Uygulanması ve Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Yayımlanmış İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi. İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Zaloğlu, D.I. (2019). İş Sağlığı ve Güvenliği Kapsamında Fosil Lokalitesinde Fine Kinney Metodu ile Risk Değerlendirmesi. Yayımlanmış yüksek lisans tezi. Başkent Üniversitesi, Ankara.



Design, Fabrication, and Characterization of a Water-Cooled Electromagnet and Magnetic Field Mapping

Hacı Sogukpınar¹ , Bayram Tali² , Mahmut Tepe³ 

¹Department of Electric and Energy, Vocational School, University of Adiyaman, Adiyaman 02040, TURKEY

²Department of Physics, Faculty of Art and Sciences, University of Adiyaman, Adiyaman, 02040, TURKEY

³Graduate School of Sciences, University of Adiyaman, Adiyaman, 02040, TURKEY

Başvuru/Received: 17/10/2019

Kabul / Accepted: 21/02/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/03/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Abstract

In this paper, a prototype solenoid magnet was designed and fabricated to be used in Micro Wave Discharge Ion Sources in the Turkish Accelerator Center Proton Accelerator Project and magnetic field mapping was performed with an experiment and also investigation was performed by using (FEM) finite element method. For this, a water-cooled electromagnet was designed and fabricated from 1010 steel with a thickness of 10 cm. Magnetic field sensor was connected to a newly designed robotic arm and 2570 magnetic field intensity measurements were performed in the core of magnet with the size of 20 cm diameter and 10 cm depth of cylinder. The robotic arm was driven by three stepper motors and the measurement was automated with the Arduino physical programming platform. The UGN3503U Hall Effect sensor was used to measure the magnetic field and for the data processing ROOT was used. The magnetic field distribution inside the core of the solenoid magnet was investigated by using the finite element method. The commercial version of The Flexible Generalized Minimal Residual method (FGMRES) solver (built-in COMSOL) was used for the numerical part and the magnetic field was calculated and compared with the experiment to correlate simulation accuracy of this study.

Key Words

“solenoid magnet, finite element method, water-cooled magnet, robotic arm, hall sensors.”

1. Introduction

Today, more than 30.000 particle accelerators are operating around the world, and only 1% of them are high-energy investigation machines bigger than 1 GeV, about 44% for radiotherapy, 41% for ion implantation, 9% for industrial operation and investigation, and 4% for biomedical and other low-energy study applications (Feder, 2010). There are 12 cyclotrons in Turkey and all 150 low energy electron linear accelerator for radiation therapy used for the generation of medical isotopes in Turkey (TAEK, 2012). However, detailed studies on the research-based accelerator system have started in 1996 and a feasibility report was completed in 2001 (TAC, 2019). TAC (Turkish Accelerator Center) project consists of 5 subprojects and they are SC linac based IR FEL & Bremsstrahlung facility in the span of 15-40 MeV, a third-generation light source based on a special 3 GeV electron synchrotron, a fourth-generation light source 1 GeV electron LINAC, mass-energy center 3.77 GeV and high electron-positron collider with power (2 GeV) and high flux proton accelerator facility. Turkish Accelerator Center (TAC-PAF), both normal conductor is based on the 1 MW and 2-GeV proton LINAC includes both superconducting accelerator structures (Algin et al., 2014). For the Proton Accelerator, Facility MDIS (Microwave Discharge Ion Source) ion source was planned to be used. 875 gauss is required to satisfy the ECR resonance condition in the ion source. Solenoid magnet with the iron jacket was designed and built for the confinement of the plasma produced by an electron cyclotron resonance source operating at 2.45 GHz (Jain et al., 2010). Magnetic field optimization was performed with Poision software and magnetic field mapping was presented. The magnetic field was calculated with a computer program (INTMAG) and compared with analytical solutions and precision measurements (Becker, 1990) by integrating the contributions of real filaments and the results are found to be more accurate than from any finite difference element method program. A high-performance integrated solenoid inductor with a magnetic core was fabricated and investigated. An inductance above 70 nH was achieved while keeping the coil resistance below 1 ohm and the device area below 1 mm using a solenoid design with a single magnetic layer (Lee et al., 2008). Solenoid magnets generate a nearly smooth field profile that is less than 1000 gauss that exceed the ECR (electron cyclotron resonance) resonance area (875 gauss) along the entire plasma chamber axis length. Owing to the external iron components, the magnetic field drops rapidly in the extraction zone (Maimone et al., 2011).

In this study, a solenoid coil with an iron jacket was designed for MDIS ion source in Turkish Accelerator Center Proton Accelerator and domestic production possibilities and the formation of domestic knowledge were investigated and also magnetic field mapping was performed in the core of the magnet. For the numerical part, commercial software COMSOL was used to investigate magnetic field patterns inside the cylinder and obtained data were compared with the experiment to correlate simulation accuracy of this approach.

2. Water-cooled Solenoid Magnet

The MDIS ion source is planned to be used in the Turkish Accelerator Center Proton Accelerator Project. This ion source needs a solenoid magnet, capable of producing 0.05-0.1 T of the magnetic field. For this, the iron yoke was made from 1010 steel with 10 mm thickness. The inner and outer diameters of the steel body are 200 mm and 1000 mm, respectively as it is shown in Fig. 1(a). For the winding, hollow, cylindrical copper tubes of 1 mm wall thickness were used. The outer diameter of the copper pipe is 6 mm and the inner diameter is 4 mm. On the surface of the cylinder, 335 windings were made and the surface was covered with steel sheet. In order to prevent heating during operation, water is circulated through the pipes with the help of a water pump. The final fabrication image of the solenoid magnet with the water inlet and outlet, electrical connections and other components is given in Fig.1(b).

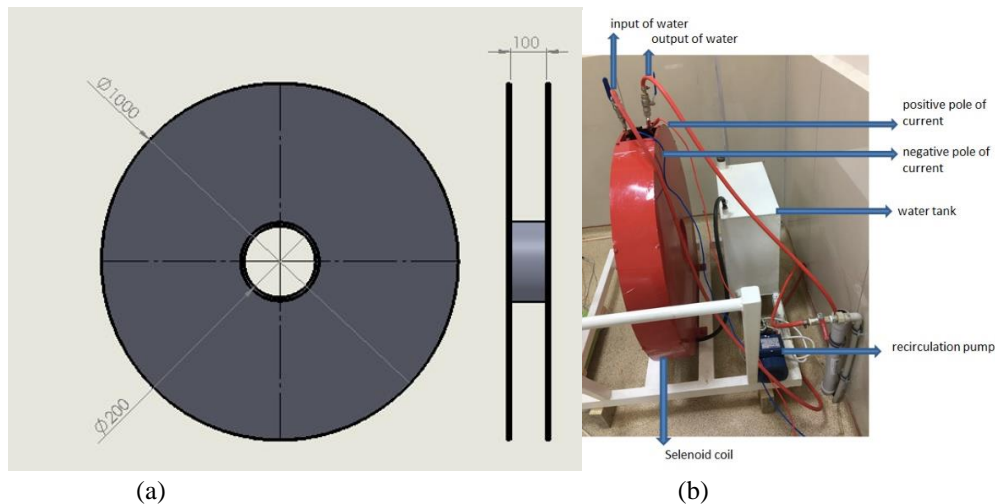


Figure 1. Design (a) and fabrication (b) of Solenoid magnet.

3. 3D Robotic Arm

The internal volume of the cylinder where the magnetic field was mapped is 4396 cm^3 . The robotic arm should be able to scan the entire volume in three dimensions. The movement of the robot arm is carried out with three-step motors. The stepper motors were connected to the arms that can move in three dimensions on the sled. In one step, stepper motors can move the arm 2 mm in the commanded direction (X-Y-Z). In order for the stepper motor to operate, the motor needs 9 volts and 0.1 A. These stepper motors are controlled by the Arduino (UNO) microprocessor. UGN3503U Hall effect sensor was used to measure the magnetic field. This sensor can accurately detect small changes in the magnetic flux. In order to make magnetic field measurements more accurate, the software was commanded to hold the head for 10 seconds delay. Then, 10 measurements were taken at the intervals of one second then they are averaged and recorded as the measurement result for that coordinate point. The calibration set was made in preliminary measurement so that the sensor can reach the target coordinates without error. The x, y, and z-axis were defined to the system as it is shown in Fig.2.

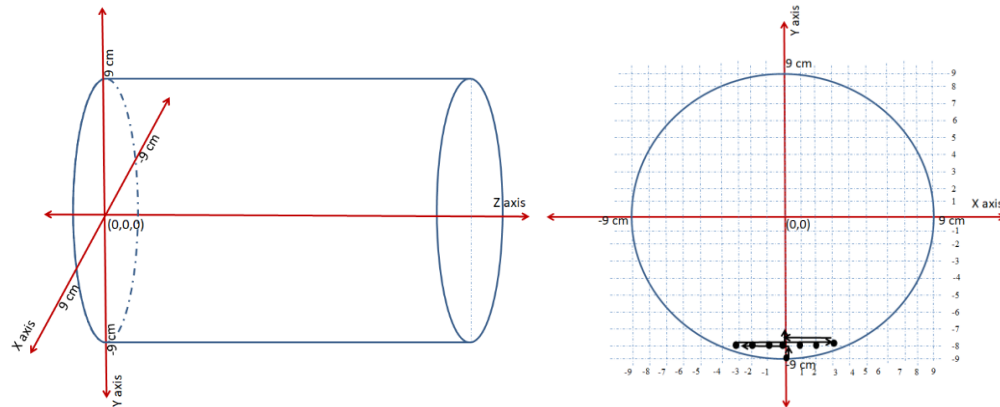


Figure 2. x-y-z coordinate axis (cm) of the cylinder; figure left to right: side (a) and front view (b).

Each coordinate has 10 s standby time for the sensor to reach saturation. Then, 10 measurements were taken at 1 s intervals and the results were recorded after averaging. For example, for the first layer measurements, the sensor was fixed behind the $z = 0$ coordinate ($z = -2 \text{ cm}$) and $y = -9 \text{ cm}$ and only one measurement was taken at $x = 0$ and there is no other point in this coordinate. Then head moved 1 cm in the y-axis and comes to the point at $y = -8 \text{ cm}$ and measurement were taken through the x-axis ($x = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$). Then head moves to $y = -7$ and scans related x-axis. In this way, the z-axis was held constant and the y-axis was scanned from -9 to +9, and the values for each x-axis were measured and saved for each stage. Then the z-axis was shifted by one unit (2 cm) and the measurements were continued and a totally of 2570 magnetic field data were measured and saved. Two measurements were taken in each determined x, y, z coordinate axis. The first one was performed without applying current to the solenoid magnet to measure the background magnetic field and the second one was performed with 8 A current.

4. Experimental Results

The magnetic field in the center of the magnet was mapped with the help of a Hall Effect sensor connected to a robotic arm. Two measurements were taken in each determined x, y, z coordinate axis point. The first one was performed without applying current to the solenoid magnet to measure the background magnetic field and the second one was performed with 8 A current. A modular scientific software toolkit, ROOT was used for data processing. ROOT is an open-access software. It provides all the functionalities needed to deal with big data processing, statistical analysis, visualization, and storage. When the root macro runs for all data, 3D magnetic field measurement data coordinates are given in Fig. 3.

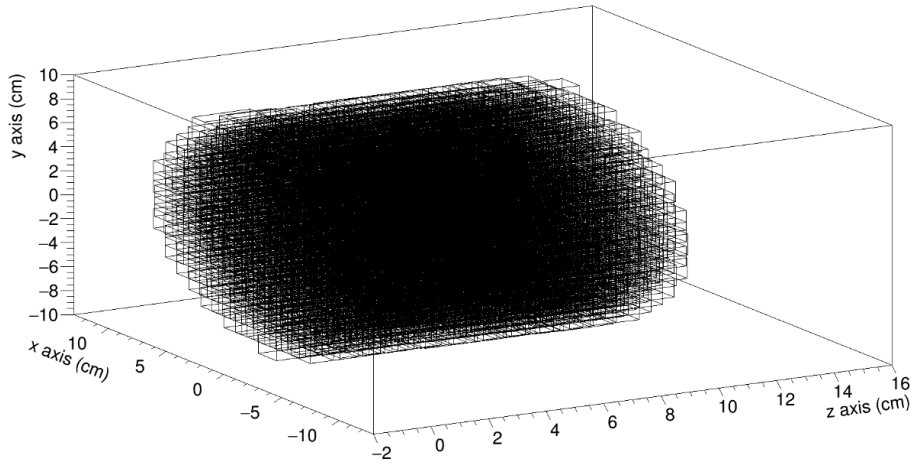


Figure 3. 3D magnetic field data

Magnetic field data were analyzed in three different ways. The first one was measured magnetic field data (B_0) without applying an electrical current, the second one was total magnetic field data (B_1) measured by applying current and the last one was the difference of the data set ($B_1 - B_0$). Statistical presentation of magnetic field measurement data (B_0 , B_1 , $B_1 - B_0$) for x, y and z-axis are as shown in Fig. 4. 257 measurements were taken for the $z = -2$ ($x, y, -2$) coordinate according to Fig. 4 and the average magnetic field without applying current were measured as 3.7 Gauss but when the current is applied, the average magnetic field was measured as 8.09 Gauss. In order to measure the magnetic field only by the electric current, both values should be subtracted. The average magnetic field produced by the only electric current was calculated as 4.375 Gauss. The two-dimensional ($y-x$) appearance of the magnetic field data for the layer at $z = 0$ ($x, y, 0$) is shown in Fig. 5.

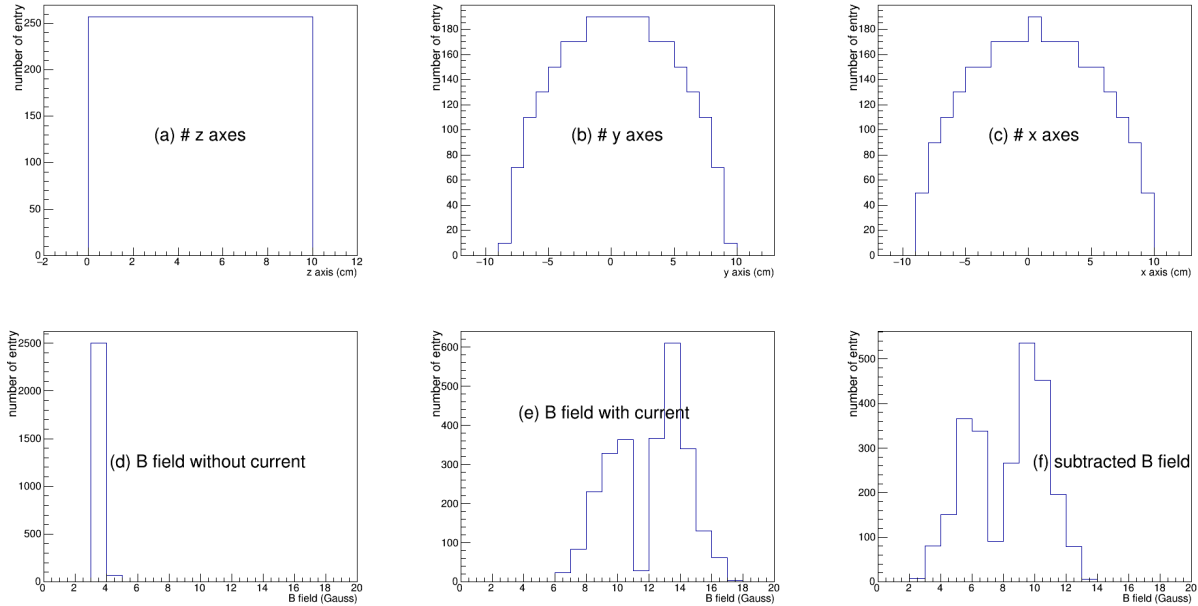


Figure 4. Statistical presentation of magnetic field measurement data for x, y, and z-axis; figure a to f: total number of measurement point (a) with respect to z-axis, total number of measured point in on y-axis (b), total number of measured point in on x-axis (c), number of point measured for background magnetic field (d), number of point measured with current (e), and number of point for the magnetic field subtracted from background magnetic field (f).

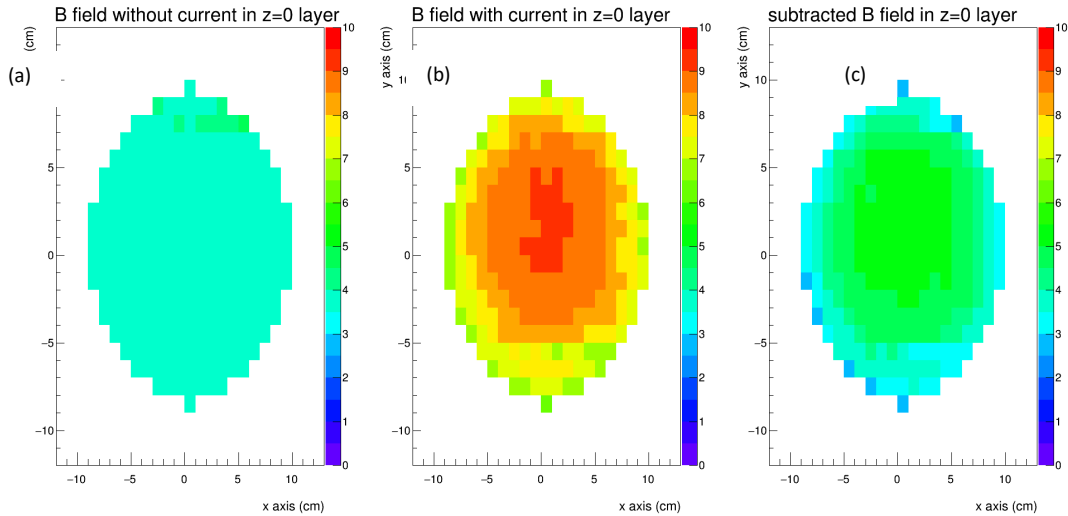


Figure 5. Measured Magnetic field data for the layer at $z = 0$ ($x,y,0$); figure left to right: magnetic field without applying current (a), the magnetic field with current (b), and difference of magnetic field with and without current (c).

As it is expected and shown in Fig. 5, there is a uniform magnetic field distribution in the center of the cylinder when there is no current as shown in Fig.5 (a) but when the current is applied, the maximum magnetic field is measured at the center of the cylinder as in Fig.5 (b) and it decreases towards the edges. However, as we subtract the background magnetic field data from the total magnetic field with current, a uniform transient magnetic field graph was obtained as shown in Fig. 5(c). In order to examine the change of the magnetic field in the cylinder according to the change in the x and y coordinates, the z -axis is held constant at a certain point and the x and y -axis are changed. The variation of the magnetic field at $z=0$ ($x,y,0$) coordinate with respect to changing x and y -axis is given in Fig. 6. There is no difference between the variation of the magnetic field with respect to x or y -axis (z is fixed) because one represents the horizontal and the other represents the vertical direction. As it is presented in Fig. 6(a) and Fig. 6(b) when the sensor moved from the inner tangent surface of the cylinder ($x=-9$) from one side to the other inner tangent surface ($x=+9$), magnetic field increases toward the center ($x=0$) first and becomes maximum at the center, then it starts to decrease to the inner side surface. Theoretically, the change of a magnetic field is expected to draw a curve along the x or y -axis (-10 to 10). However, there is not a uniform line but deviations due to the millimetric deviations during the movement of the robot arm. The background magnetic field measurement data along the x -axis are as shown in Fig.6 (a). Since the electric current is not applied, it is in the form of a straight line from top to bottom both for x and y axes.

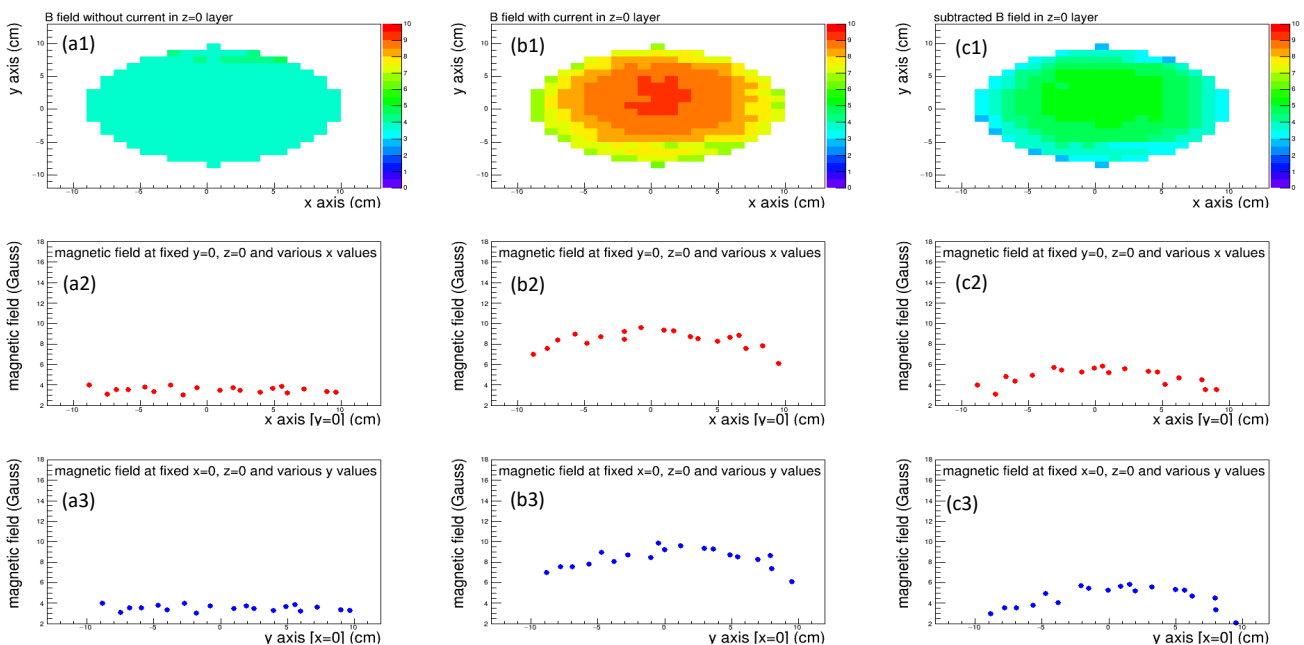


Figure 6. Magnetic field data for the layer at $z = 0$ ($x,y,0$); Figure left to right: background magnetic field (a1-a3), magnetic field with current (b1-b3) magnetic field difference with and without current (c1-c3)

The x and y coordinate axis is kept constant and the magnetic field distribution due to the change of the z-axis is given in Fig. 7. The first Fig. 7(a) is the magnetic field data, measured without applying the current and it is around 4 Gauss. The second Fig. 7(b) is the measured magnetic field data after the current is applied to the system. The magnetic field increases first along the z-axis and reaches the highest value in the middle and becomes maximum at 14 Gauss and then starts to decrease again. Fig. 7(c) represents the real magnetic field from the application of current to the coil. The magnet was cooled by passing water through the pipes and water circulation was performed with the help of a pump but no difference was observed between the measurements as the pipes weren't overheated.

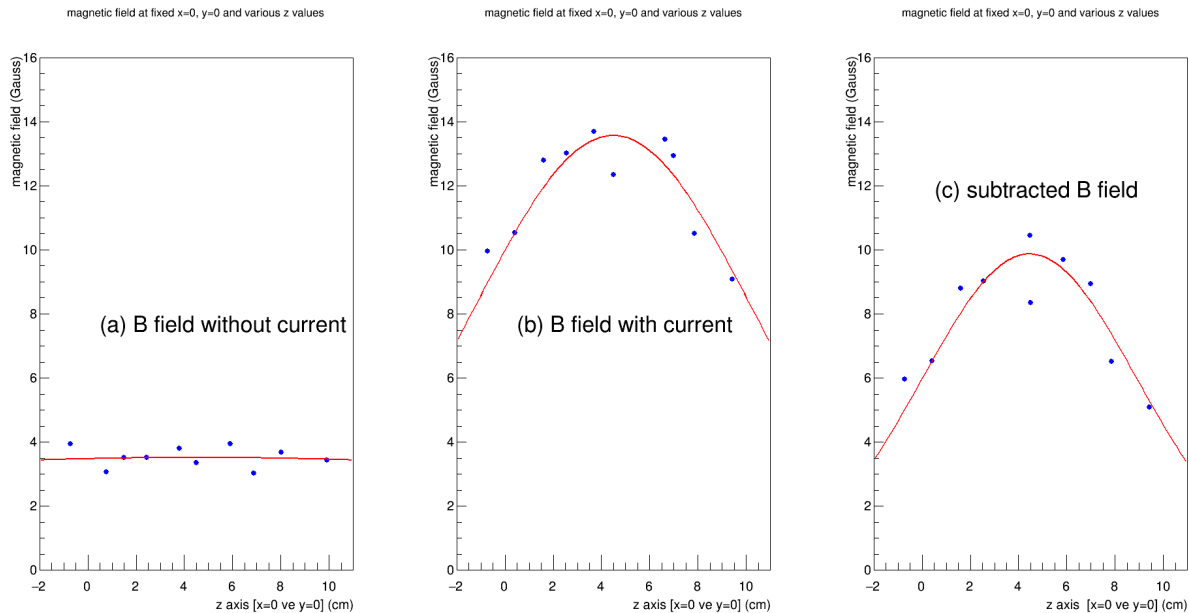


Figure 7. Magnetic field distribution with respect to the z-axis (0,0,z); Figure left to right: magnetic field without applying current, magnetic field with current, and magnetic field difference with and without current.

The z-axis was divided into 10 equal parts with 1 cm intervals along the center of the cylinder, and the magnetic field measurement performed in each slice along the x and y axes. The magnetic field intensity increases from the outside to the center of the cylinder along the z-axis as shown in Fig. 7 (c). Magnetic field intensity data at z=5 (x,y,5) with respect to x and y-axis is presented in Fig.8. The magnetic field at the inner tangent surfaces of the cylinder is measured higher than the middle parts. The magnetic field on the z-axis appears to be lower than the magnetic field near the inner surfaces of the cylinder. Normally, the magnetic field must be reduced from the z-axis to the inner tangent surface, but the field strength increased about by 2 Gauss as shown in Figure 8 (b). The body of the cylinder is made of 1010 iron steel and it is a ferromagnetic material. When current is applied to the solenoid magnet, the current coil increases the magnetic field intensity in the iron yoke, and the magnetic field intensity becomes maximum in the iron yoke compared to along the z-axis. The solid portions of the cylinder act as a source of a strong magnetic field, and causes an increased magnetic field area near the tangent surface of the cylinder. As it is seen in Fig.8 (b), the magnetic field decreases along the x-axis from x = 0 to x = 10 cm then it starts to increase again towards the inner tangent surface of the cylinder. When it moves to the other side of the cylinder from z = 5 to z=9, the ferromagnetic domain begins to disappear along the z-axis and finally, magnetic field distribution becomes like in Fig.6.

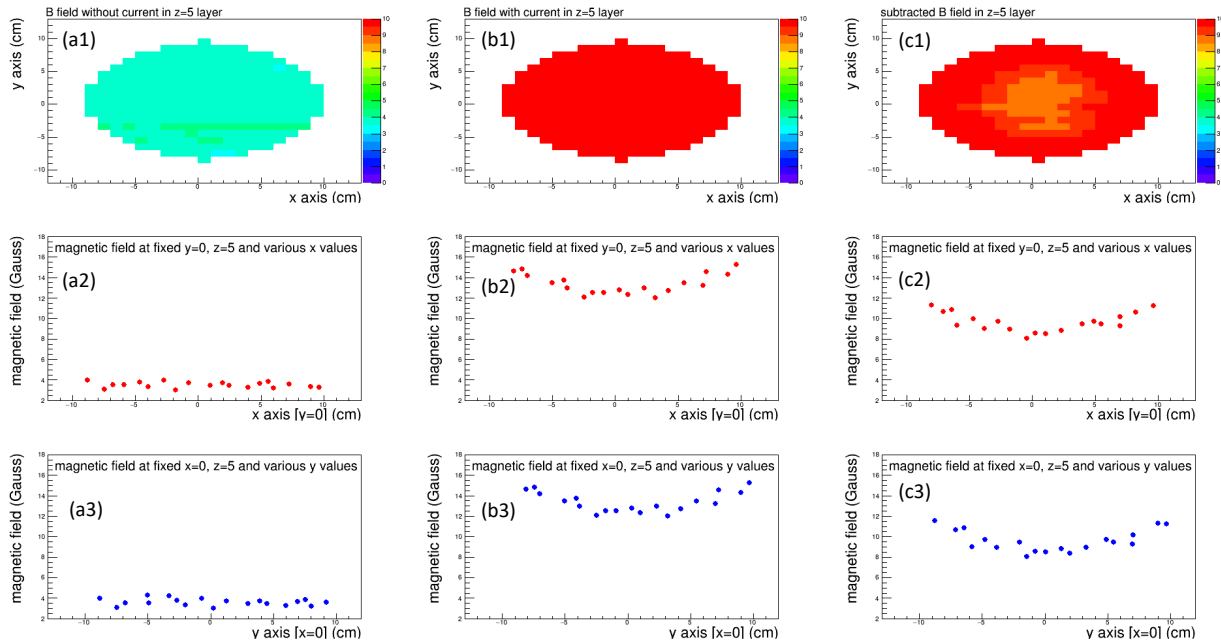


Figure 8. Magnetic field data for the layer at $z = 5$ ($x, y, 0$); Figure left to right: background magnetic field (a1-a3), magnetic field with current (b1-b3) magnetic field difference with and without current (c1-c3)

5. Numerical Approach

A commercial version of The Flexible Generalized Minimal Residual method (FGMRES) solver (built-in COMSOL) was chosen because it is an iterative method for the numerical solution of a nonsymmetric system of linear equations. This method approximates the solution by the vector in a Krylov subspace with minimal residual (GMRES, 2019). FGMRES generates a converging solution by minimizing at each iterative cycle of the Euclidean norm of the system residual (Saad, 1993). The computation was performed on a server with 32 processors and 64 GB RAM. Computation was conducted for an unstructured mesh with a tetrahedron mesh type. Extremely fine mesh type was applied to the model and totally 244,301 tetrahedral, 90,322 triangular mesh element was obtained. Mesh quality was checked in terms of skewness which is based on the equiangular skew that penalizes elements with large or small angles as compared to the angles in an ideal element (Gothäll, 2019). Quality of 1 indicates the best possible element (Comsol, 2019), on the other hand, 0 represents a degenerated element (Sogukpinar, 2019; 2020a; 2020b). The average element quality for the current study was calculated as 0.66. Final mesh distribution for the solenoid magnet is given in Fig.9.

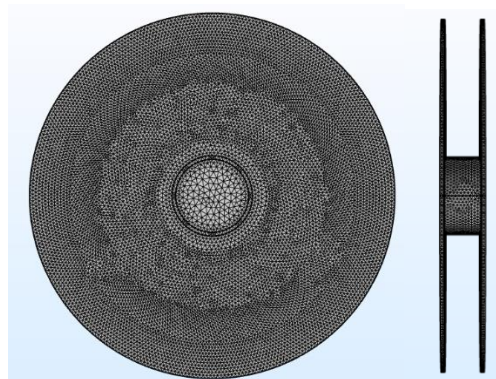


Figure 9. Mesh distribution for the water-cooled solenoid magnet

6. Numerical results

Magnetic flux density was calculated with commercial software COMSOL and front and side view central slice image is presented in Fig. 10. The magnetic field flux density is calculated as the highest in the center, and starts to decrease first and becomes minimum at a certain distance from the center and starts to increase up to the inner side tangential surface of the iron body. Because magnetic field flux density in the iron is much higher than the air and it is affecting the near-surface.

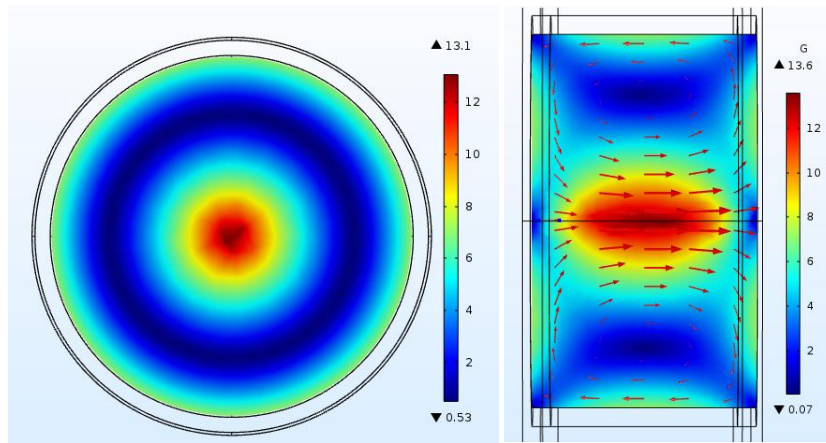


Figure 10. Magnetic field distribution on the central slice; Figure left to right: front view, and side view (Gauss)

Magnetic flux density was calculated and compared with the experimental measurement along the z-axis and through the x-axis at the central part of the solenoid magnet and is presented in Fig. 11. The magnetic field along the z-axis has increased and reached its highest value in the center and started to decrease again. There is a good correlation between the experiment and the numerical calculation. However, according to the calculation result along the x-axis, there are some differences between the experiment and the numerical result close to the inner tangent surface of the cylinder. In the design of an ideal solenoid magnet with iron yoke, the magnetic field along the x-axis must first decrease slightly and then increase again to the edge due to the ferromagnetic effect of the side surface as it is shown in Fig. 11(b). On the other hand, experimental magnetic field data showed a good correlation until distance at $x=6$ cm then deviation started until the inner surface of the magnet. The main reason for these differences is that the iron body is not smooth enough in the production process and experimental data reveal errors in the manufacturing process. Experimental data varies between 16 and 8 Gauss. However, numerical results vary between 1 and 17 Gauss.

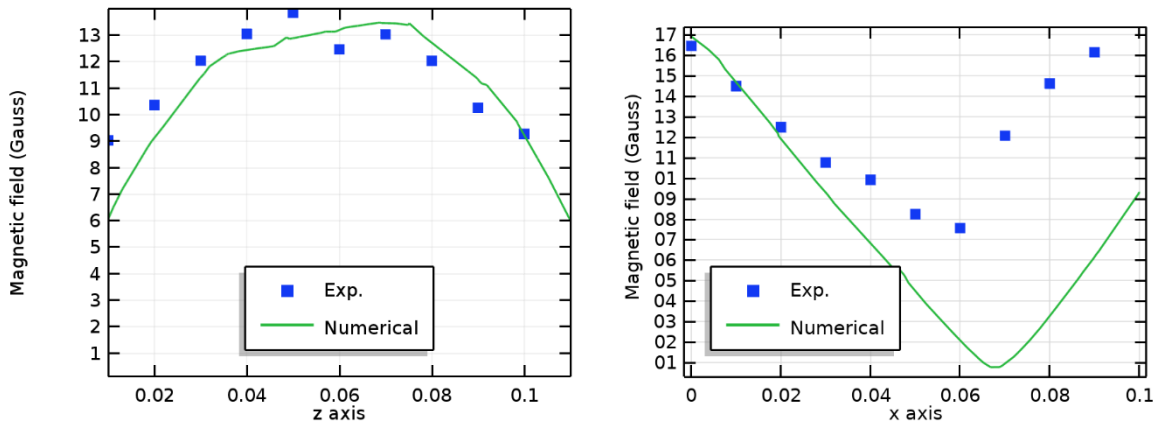


Figure 11. Magnetic flux norm density; figure left to right: along the z-axis, along the x-axis.

7. Conclusion

In this study, magnetic field mapping was performed for prototype water-cooled solenoid electromagnet, which was designed and produced for MDIS ion source in the Turkish Accelerator Center by using Hall sensor, which is attached to a robotic arm. Measurements were made in two stages. In the first stage, position and magnetic field values were measured without applying current to the solenoid magnet. In the second stage, position and magnetic field values were measured with applying current to the solenoid magnet. Magnetic field intensity was measured layer by layer perpendicular to the z-axis. Measurements were started from the first layer at $z = 0$ and measurements were performed on a total of 10 layers with 1 cm intervals. In each layer, 257 measurements were performed along the x and y-direction. The magnetic field measurement without applying electric current is approximately the same and the average of all the data was calculated as 3.72 Gauss. Magnetic field results after current applied to the solenoid magnet were analyzed and the average was calculated as 12.0 Gauss. Also, a numerical calculation was conducted for the same solenoid magnet and obtained data were compared with the experiment. For the numerical results, the same parameters with the experiment were used and the magnetic field

was calculated in the core of the solenoid magnet and compared with the experiment. There is a good correlation between experiment and the numerical data along the z-direction but deviations were observed in the x and y-direction.

Acknowledgment

This work was supported by the Adiyaman University Scientific Research Project (Project no: FEFLTP/2017-0001).

References

- Algin, E., Cetinkaya, H., Akkus, B., Sahin, L. (2014). TAC Proton Accelerator Facility: Normal Conducting Part. Proceedings of IPAC, Dresden, Germany.
- Becker, R. (1990). Magnetic fields calculated by Intmag compared with analytical solutions and precision measurements. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 298(1-3), 13-21.
- COMSOL, How to Inspect Your Mesh in. (2019). Author Retrieved from <https://www.comsol.com>.
- Feder, T. (2010). Accelerator school travels university circuit. Physics Today, 63 (2), 20–22.
- Gothäll, H. (2019). How to Inspect Your Mesh in COMSOL Multiphysics. Author Retrieved from <https://www.comsol.com>.
- GMRES, Generalized minimal residual method. (2019). Author Retrieved from <https://en.wikipedia.org>.
- Jain, S. K., Naik, P. A., & Hannurkar, P. R. (2010). Design, fabrication, and characterization of a solenoid system to generate magnetic field for an ECR proton source. Sadhana, 35(4), 461-468.
- Lee, D. W., Hwang, K. P., & Wang, S. X. (2008). Fabrication and analysis of high-performance integrated solenoid inductor with magnetic core. IEEE Transactions on Magnetics, 44(11), 4089-4095.
- Maimone, F., Gammino, S. L., Celona, G., Ciavola, D. Mascali, N. Gambino, R. Miracoli, F. Chines, G. Gallo, S. Passarello. (2011). Commissioning of the New Versatile Ion Source (VIS) for High Power Proton Accelerators. PACS: 29.25._t 52.50.Sw 07.77.Ka.
- Saad, Y. (1993). A flexible inner-outer preconditioned GMRES algorithm. SIAM Journal on Scientific Computing, 14 (2), 461–469.
- Sogukpinar, H. (2019). Seasonal temperature variation of solar pond under Mediterranean condition. Thermal Science, 23(6A), 3317-3326.
- Sogukpinar, H. (2020a). Numerical study for estimation of temperature distribution in solar pond in diverse climatic conditions for all cities of Turkey. Environmental Progress & Sustainable Energy, 39(1), pp 1-12.
- Sogukpinar, H. (2020b). Numerical Investigation of Influence of Diverse Winglet Configuration on Induced Drag. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering, 44(1):203–215.
- TAEK-Turkish Atomic Energy Agency. (2012). Proton Accelerator Facility. Author Retrieved from <http://www.taek.gov.tr/>.
- TAC, Turkish Accelerator Center project. (2019). Author Retrieved from <http://thm.ankara.edu.tr>.



Yalın Üretimde 6S Uygulamaları için Yeni bir Performans Denetim Yöntemi Önerisi

A New Performance Audit Methodology for 6S Applications in Lean Manufacturing

Sinem Çukurluöz¹, Burak Birgören¹, Meryem Yalçınkaya¹, Kenan Orçanlı²

¹Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71451, Kırıkkale, TÜRKİYE

²Toros Üniversitesi, İİSBF, 33140, Mersin, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 03/01/2020

Kabul / Accepted: 02/03/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 19/04/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Bir yalın üretim tekniği olan 6S; sınıflama, düzenleme, temizlik, standartlaştırma, disiplin ve iş güvenliği olmak üzere 6 adımdan oluşan ve sürekli iyileştirme felsefesine dayalı bir yöntemdir. 6S uygulama performansının denetimi için literatürde farklı denetim araçları önerilmiştir; fakat bu denetim araçlarına ait kontrol listelerinin ve puanlama sistemlerinin geçerliliğini gösteren bir çalışma yoktur. Ayrıca, bu denetim araçları iş güvenliğine ilişkin gözlem kontrol maddeleri açısından oldukça yüzeyseldir. Diğer yandan, iş güvenliği aşamasındaki iyileştirmelerin verimliliği artırıcı etkileri olduğu, benzer şekilde verimlilik artırıcı çalışmaların da iş sağlığı ve güvenliği (İSG) konularında iyileşmelere yol açtığı bilinen bir gerçektir. Elmeri yöntemi İSG denetiminde bilimsel anlamda geçerliliği gösterilmiş, kontrol listelerine dayalı bir yöntemdir. Bu çalışmada, Elmeri yöntemi baz alınarak, tüm imalat sanayinde kullanabilecek, uygulanabilirliği basit ve hızlı bir performans denetim yöntemi önerilmiştir. Yönteme 6S-Elmeri Bütünleşik Performans Denetim Yöntemi (6SE) adı verilmiştir. 6SE yöntemi, 18'i Elmeri yönteminden 22'si literatürde 6S için önerilen denetim unsurlarından olmak üzere toplam 40 maddelik gözlem kuralı içeren yeni bir kontrol listesi sunmaktadır. Yöntemin uygulaması Kırıkkale'de kurulu büyük ölçekli bir mobilya fabrikasında 5 atölyede yapılmıştır. Toplanan gözlem verileri üzerinden fabrikanın hem genel bazda hem de atölye bazında 6SE ve Elmeri endeksleri hesaplanmıştır; bu endeks değerlerine göre performanslar değerlendirilmiştir. Ayrıca Dikişhane atölyesinde yapılan sürekli iyileştirme çalışmalarının endeks değerlerine nasıl yansıdığı analiz edilip yorumlanmıştır. Sonuçlar önerilen 6SE yönteminin atölyedeki sürekli iyileşme düzeyini belirlemede yetenekli olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler

“Yalın üretim, 6S, Elmeri, Performans Denetimi”

Abstract

6S is a lean manufacturing technique based on continuous improvement philosophy, which is comprised of six steps: sort, set in order, shine, standardize, sustain and occupational safety. Different audit methods have been proposed in the literature for auditing 6S application performance; however, there is no study showing the validity of checklists and scoring systems of these audit methods. In addition, checklist items related to occupational safety are considered to be superficial. On the other hand, it is a well-known fact that improvements in the occupational safety have productivity-enhancing effects, and similarly, productivity-enhancing activities lead to improvements in occupational health and safety (OHS) issues. The Elmeri method is a OHS method based on checklists, whose performance has been scientifically validated for OHS supervision. In this study, a simple and fast performance audit method based on the Elmeri method has been proposed, which can be used in the manufacturing industry. The proposed method is called 6S-Integrated Performance Audit Method (6SE). The 6SE method presents a new checklist with a total of 40 items of observation rules, 18 of which are from the Elmeri method, 22 of which are derived from the 6S literature. The application of the 6SE method was carried out in 5 workshops in a large-scale furniture company in Kırıkkale. The 6SE and Elmeri indices of the factory were calculated on the basis of the collected observation data both on a general basis and on a workshop basis; performances were evaluated according to these index values. Also, the effect of the 6S improvement studies on the aforementioned indices has been analyzed and interpreted. The results showed that the proposed 6SE method is capable of determining the level of continuous improvement in the workshop.

Key Words

“Lean production, 6S, Elmeri method, Performance audit”

1. Giriş

Yalın üretim, Japonya kökenli bir kavram olup üretime yük getiren tüm israflardan arınmayı hedef alan ve sürekli iyileştirme teknikleri ile sıfır hatalı üretim, sıfır stok, sürekli azalan maliyetler, kalite gibi çabaların sürekliliğini amaçlayan bütünsel bir sistem yaklaşımıdır. Yalın üretimde israfın azaltılması için katma değer sağlamayan tüm unsurların üretimden ayrıştırılarak ortadan kaldırılması gerekmektedir (Tekin vd., 2018).

6S yöntemi, yalın üretimde kullanılan bir işyeri organizasyon yöntemi olup oldukça yaygın kullanılan 5S yöntemine iş güvenliğinin eklenmesiyle geliştirilmiştir. Dolayısıyla, 6S yönteminin adımları sınıflama, düzenleme, temizlik, standartlaştırma, disiplin ve iş güvenliği olarak tanımlanmıştır (Marria vd., 2014). 6S adımları iş alanları ya da prosesler bazında uygulanmaktadır. Bu çalışmada iş alanı terimi, 6S uygulama bölgeleri için kullanılmakta olup, her bir iş alanı bir veya birkaç prosesin yapıldığı bir fiziksel bölgeyi ifade etmektedir. 6S yönteminin sınıflandırma, düzenleme ve temizlik adımları; bir iş alanındaki gereksiz malzeme, araç ve gereçlerin ayıklanması, gerekli olanların kolayca erişilebilecek şekilde depolanması ve iş alanının düzenli temizlenmesiyle ilgili faaliyetleri içerir. Standartlaştırma adımında, ilk üç adımın uygulama sürekliliğini sağlamayı amaçlayan faaliyetler yürütülür. Disiplin adımında, standartlaşan uygulama ve prosedürlerin uzun vadede çalışanlarda alışkanlık haline getirilmesi ve bir işyeri geleneği oluşturulması sağlanır. Güvenlik adımında ise İSG önlemleri alınarak çalışanın olası hastalık ve kazalardan korunması hedeflenir (Marria vd., 2014; Gapp vd., 2008). 5S ve 6S uygulamalarının daha verimli ve güvenli işyerleri oluşturmada başarılı bir yöntem olduğu uzun yıllardır yapılan uygulamalarla ortaya konmuştur (Gapp vd., 2008; Marria vd. 2014; Willis, 2016).

Diğer taraftan pek çok 6S uygulamasında başarı düzeyi sınırlı kalmaktadır; bunun nedenleri arasında üst yönetimin uygulamaları yüksek maliyetli bulması ve çalışanların direnç göstermesi sayılabilir (Webber & Wallace, 2007). Ayrıca, 6S yönteminin bir kez uygulanıp tamamlanacak bir yöntem olarak görülmesi de başarıyı engellemektedir. Bu engelin ortadan kalkması 6S yönteminin süreklilik şartına bağlıdır; çünkü, 6S yöntemi sürekli iyileştirme felsefesinin temel bir aracıdır (Willis, 2016). Dolayısıyla, 6S yönteminde her adım, uygulama ekibi tarafından süreç problemlerinin keşfi ve çözümü için fırsat olarak değerlendirilmeli ve sürekli iyileştirme teknikleri ile revize edilmelidir. Bu işlemlerin sürekliliği ile işletmeler, verimlilik ve maliyetlerde devamlı artan kazanımlar sağlayacaktır. Bununla birlikte, 6S yönteminin sağladığı iyileştirmelerin finansal olarak ölçüm zorluğu bulunmaktadır. Bu da işletmeler açısından 6S uygulaması için gerekli bütçe teminini zorlaştırmakta ve uygulamaları sınırlandırmaktadır (Kumar vd., 2007). Bu probleme bir çözüm olarak 6S uygulamalarının performansını finansal olmayan yollarla ölçmeyi amaçlayan değişik denetim araçları geliştirilmiştir (Marria vd., 2014).

İş sağlığı ve güvenliği, yalın üretimden bağımsız bir şekilde gelişmiş bir bilimsel ve mesleki disiplindir, ayrıca uygulamaları ulusal mevzuatlarla düzenlenir. Dolayısıyla bu disiplin için geliştirilmiş birçok yöntem mevcuttur. Bunlardan biri olan Elmeri yöntemi, imalat sanayinde İSG denetimleri için geçerliliği bilimsel olarak ortaya konmuş, kontrol listesi bazlı bir yöntemdir (Laitinen, 1999; Laitinen, 2013). Elmeri yöntemi, iş yerinde gözlem için belirlenen iş alanlarının düzen, temizlik, makine güvenliği ve iş hijyeni gibi 7 ana başlık altında 18 maddeye göre puanlanma esasına dayanır. Bu puanlama sistemi ile iş kazası sayıları arasında ciddi düzeyde istatistiksel korelasyon tespit edilmiştir (Laitinen, 2013). Finlandiya’da yaygın şekilde kullanılan Elmeri yöntemi bir Avrupa Birliği projesi kapsamında Türkiye’deki işyerlerinde kullanılmak üzere uyarlanmış, kullanım kılavuzu hazırlanmış ve çok sayıda işyerinde uygulamaları yapılmıştır (Birgören & Laitinen 2012; Vahapassi vd., 2012). Elmeri yöntemi etkili 6S denetimleri yapılabilmesi için geçerli bir uygulama yaklaşımı sunmaktadır.

6S denetimleri kimi uzmanlara göre standartlaştırma adımının (Visco, 2016); kimi uzmanlara göre ise disiplin adımının bir faaliyetidir (Ortiz, 2015; Willis, 2016). Denetimler, 6S adımlarının uygulandığını doğrulamak amacıyla kullanılır, böylelikle eksiklikler saptanıp ve giderilebilir, iyileştirme fırsatları keşfedilebilir (Willis, 2016). 6S denetimleri görsel kontroller yapmaya odaklanır, gözlemler genellikle kontrol listelerine işaretlenir (Ho; 2010; Ortiz, 2015; Willis, 2016; Visco; 2016). 5S ve 6S kontrol listelerinde çeşitli puanlama sistemleri kullanılması önerilmektedir (Roll, 2008; Marria vd., 2014; Ortiz, 2015; Willis 2016; Visco 2016; Sukdeo 2017). Çalışma alanlarının puanları, bu alanlardaki 6S uygulama performanslarını kıyaslamak ya da aynı çalışma alanında zaman içindeki iyileşme ya da kötüleşmeyi nicel olarak ifade etmek amacıyla kullanılmaktadır. Puanlama sistemine dayalı kontrol listelerinin birçoğu 5S yöntemi için üretilmiştir. Bunlardan güvenlik adımını da içine alan 6S kontrol listeleri ise sadece Roll (2008) ve Sukdeo (2017) tarafından önerilmiştir; ancak bu iki çalışma güvenlikle ilgili maddeler açısından yüzeysel olup sağlık ve güvenliğin çeşitli boyutlarını içermekten uzaktır. Kontrol listelerinde güvenlik ile ilgili maddelere gerekli önem verilmelidir; çünkü, güvenlik adımı ile ilk 5 adım arasında önemli bir bağ bulunmaktadır. Bu konuda bilimsel çalışmalar, iş sağlığı ve güvenliği alanda yapılan iyileştirmelerin verimliliği arttırdığı ve maliyet tasarrufları sağladığını göstermiştir (Laitinen, 2012; Marria vd. 2014; Yılmaz & Birgören 2015). Ayrıca, literatürde 5S ve 6S kontrol listelerinin ve puanlama sistemlerinin geçerliliğine odaklanan herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Literatürdeki bu açıkların giderilmesi gerekliliği bu çalışmanın yapılma amacını ortaya koymuştur.

Bu çalışmanın amacı 6S yöntemi için güvenlik ile ilgili bölümün daha detaylı olduğu bir performans denetim yöntemi geliştirmektir. Bunun için daha önce 5S ve 6S için geliştirilmiş kılavuzların referansında Elmeri yönteminin 18 maddesine, 22 madde daha eklenerek yeni bir kontrol listesi önerilmiştir. Önerilen kontrol listesinde toplam 40 madde kullanılarak işyeri için hem 6S puanları hem de Elmeri puanları üretilebilmiştir. Dolayısıyla, 6S ve Elmeri yöntemi için bütünlük bir performans denetim yöntemi önerilmiştir. Yöntemin uygulaması büyük ölçekli bir mobilya fabrikasında yapılmış ve yöntemin hızlı bir şekilde uygulanabildiği ve puanların yapılan iyileştirmeleri yansıtmaya kabiliyetine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Makalenin ikinci bölümünde 6S ve Elmeri yöntemleri hakkında detaylı açıklama yapıp geliştirilen 6S-Elmeri Bütünlük Performans Denetim Yöntemi tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde ise bir mobilya fabrikasında 6S-Elmeri Bütünlük Performans

Denetim Yönteminin uygulaması hakkında bilgi verilmiş ve haftalık bazda toplanan verilere göre yöntem sonuçları analiz edilmiştir.

2. Yöntemler

2.1. Elmeri Yöntemi

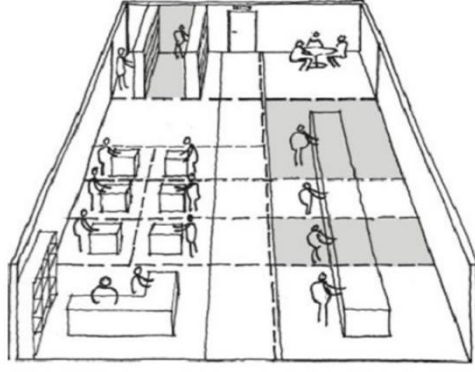
Elmeri yöntemi 7 ana başlık altında 18 maddeden oluşan bir kontrol listesi kullanır. Tablo 1’de bunlar gösterilmiştir (Vahapassi vd., 2012). Elmeri yöntemi, tüm imalat sanayi işyerlerinde kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Kontrol listesi çalışma alanları dolaşılırken elle doldurulabilir. Tablo 1’de bu kontrol listesinin başlıkları görülmektedir. İşyerinde o anki durumu temsilen gözlem alanları seçilir. Her alanda Elmeri gözlem kurallarına göre 18 madde ile ilgili işaretlemeler yapılır. Her madde için kaç adet işaret konulacağı ve hangi durumlarda “doğru”, hangi durumlarda “yanlış” işaretleme yapılacağı gözlem kurallarında net bir şekilde ifade edilmelidir. Örneğin; Madde 1.1’deki “Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) kullanımı ve risk alma” başlığı altında değerlendirme yapılırken gözlem alanındaki çalışan sayısı kadar işaret konulur. Her bir çalışanın bütün kişisel koruyucu donanımlarını kullanma durumları ile gözle görülür riskli bir davranış sergileme durumları incelenir ve gözlem sonuçları çalışan bazında kontrol listesine işlenir. Sonuç olumlu ise doğru; aksi taktirde, yanlış işareti konulur. Seçilen çalışma alanında tüm liste doldurulduktan sonra diğer çalışma alanlarıyla devam edilir. Bir çalışma alanı için listenin doldurulması yaklaşık 3-5 dakika sürmektedir. Yöntemin tüm alanlara uygulanması tamamlandıktan sonra 100 üzerinden bir Elmeri endeks puanı üretilir (Vahapassi vd., 2012). Ayrıca, gözlem alanlarındaki eksikliklerin kontrol listesine ek olarak not edilmesi ve fotoğraflanması önerilir. Yöntemin haftada 1 veya ayda 1 kez uygulanması tavsiye edilir.

Tablo 1. Elmeri yöntemi maddeleri

Başlıklar	Alt Başlıklar
1.Güvenlik Davranışları	1.1.Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) kullanımı ve risk alma 2.1. Çalışma tezgâhları, raflar, askılar, makine yüzeyleri
2.Düzen ve Temizlik	2.2. Atık kutusu 2.3. Zemin ve platformlar
3.Makine Güvenliği	3.1. Yapımı ve durumu koruyucular 3.2. Kontrol cihazları ve acil durum düğmesi 4.1. Gürültü 4.2. Aydınlatma
4.Endüstriyel Hijyen	4.3. Hava kalitesi 4.4. Sıcaklık koşulları 4.5. Kimyasallar
5.Ergonomi	5.1. Kas ve iskelet sistemi rahatsızlıkları 5.2. Çalışma ortamının tasarımı ve çalışma duruşu
6.Zemin ve Geçiş Yolları	6.1. Zemin ve geçiş yollarının yapısı 7.1. Elektrik dağıtım kutusu
7.İlk Yardım ve Yangın Güvenliği	7.2. İlk yardım kiti 7.3. Yangın kutusu 7.4. Acil durum çıkışları

Elmeri yönteminin doğru-yanlış puanlaması gözlemciler arası değişkenliği azaltan bir yaklaşımdır. Her madde için kural sağlanıyorsa doğru, aksi durumda yanlış işaretlenir. Elmeri yönteminde kurallar nettir, aynı alana bakan bağımsız iki gözlemcinin birinin yanlış birinin doğru deme olasılığı oldukça düşüktür. Diğer bir ifadeyle, eğer her madde için 1-2-3-4 gibi bir puan skalası olsaydı; sübjektif puanlama imkânı nedeniyle gözlemciler arası değişkenlik artardı.

Elmeri yönteminde temsili gözlem alanları seçiminde rastgele örneklem yöntemi kullanılmaktadır. Örneğin; Şekil 1’deki atölye örneğinde gri ile gösterilen bölgeler temsili gözlem alanlarıdır, beyaz alanlarda ise herhangi bir uygulama yapılmayacaktır. Bu yaklaşım yöntemin hızla uygulanabilmesini sağlamak ve her alanda uygulama yapılmamasına karşın Elmeri endeks değerlerinde ihmal edilebilir hatalar içermektedir (Laitinen, 2013).



Şekil 1: Örnek gözlem alanlarının seçimi

Laitinen vd. (2013) Elmeri yönteminin Finlandiya’da 3 yıl boyunca 128 imalat sanayi işletmesindeki uygulamalarını incelemiş ve Elmeri endeksi ve kaza istatistikleri arasında negatif korelasyon olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre Elmeri endekslerinde artış olduğunda 106 saat başına kaza sayısı ile işçi başına kayıp saat sayısında azalma olduğu gözlemlenmiştir; dolayısıyla, Elmeri yönteminin İSG denetimleri için geçerliliği ortaya konulmuştur.

Elmeri yöntemi hızlı uygulanabilen güvenilir bir yöntemdir. İşyerinde İSG kurallarına uyum düzeyini sağlıklı bir şekilde puanlar (Laitinen, 1999). Bahsi geçen korelasyon nedeniyle gelecekte yaşanacak iş kazası sayısını tahmin yeteneğine sahiptir. Dolayısıyla Elmeri puanlarını yükseltmeyi hedefleyen bir işyeri yönetimi, bunu başardığında kaza sayısında muhtemel düşüşler gözlemleyecektir. Bu perspektiften bakıldığında Elmeri yöntemi bir sürekli iyileştirme performans izleme aracı olarak değerlendirilebilir.

Elmeri yönteminin kapsamı sadece İSG konularından ibaret değildir. 5S yönteminin adımlarıyla geçişkenlik söz konusudur. Tablo 1 incelendiğinde Elmeri yönteminin “Düzen ve Temizlik” başlığı altındaki maddelerin 5S yöntemindeki ikinci ve üçüncü adımlara karşılık geldiği görülür. Çünkü temiz tutulan ve düzenli iş yapılan iş alanlarında İSG risklerinin azaldığı bilinen bir gerçektir. Bu nedenle, Elmeri yöntemi 5S yöntemini kısmen içermektedir. Ayrıca; altıncı 6S adımı olan iş güvenliği denetimi için de uygun bir yöntemdir.

2.2. 6S Yöntemi ve Denetimi

6S yöntemini uygulamak için iş yerlerinde yapılacak ilk iş geniş kapsamlı proaktif gözlemlerdir. Proaktif gözlem sonucu uygulamanın nasıl yapılacağı tasarlanır ve ardından Tablo 2’nin ilk sütununda verilen 6S adımları uygulanır. Uygulama sırası genellikle 1, 2, 3, 6, 4 ve 5 şeklindedir; iş güvenliği dördüncü sıradadır.

Tablo 2: 6S adımları ve literatürdeki kontrol listelerinin denetim unsurları

6S Adımları	Dikkat Ettiği Unsurlar
1.Sınıflandırma (Sort)	Gereksiz eşyalar, gereksiz alet ve ekipman, güvenlik tehlikeleri, eski malzemelerin atılması, zemin, duvarlar, gerekli/gereksiz ayrımı yapılması (örneğin etiketleme, kırmızı etiket vb.), kişisel eşyalar
2.Düzenleme (Set in Order)	Konum, miktar, etiket kullanımı, gerekli yer işaretlemeleri, uygun konuma yerleşim, çöp kutusunun yeri, araç kullanım noktaları, yükseklikler, evrak belge organizasyonu, koridor, çalışma alanı vb. işaretlemeleri
3.Temizlik (Shine)	Temizlik malzemesi erişimi, çalışma alan temizliği, kir, yağ vs. arındırılma, görsel kontrol, zemin, çalışma yüzeyi, depolama alanı temizliği, çöplerin geri dönüşüme uygun toplanması, periyodik bakım, aydınlatma, havalandırma, temizlik malzemelerinin yeri
4.Standartlaştırma (Standardize)	Standartların kontrol listesiyle kontrolü, görseller, aranan şeyin en kısa zamanda bulunması (örneğin 30 sn.de bulunması), miktar ve limit, organizasyon panosu, renklerin çalışanların tümünün anlayacağı şekilde standartlaştırılması, bakım programı ve kontrol listesi, renk standartları, çalışma talimatları, sürekli iyileştirme sonuçları, denetimin izlenmesi
5.Disiplin (Sustain)	Denetim sayısı, tamamlanmayan öge sayısı, kırmızı etiket, haftalık denetim ve sonuçlarının yayınlanması, 5S denetimleri, yönetim katılımı, 5S eğitimi
6.İş Güvenliği (Safety)	Acil durum çıkışları, yangın söndürme ekipmanları, İSG prosedürleri, KKD Kullanımı, eğitim

Birinci adım olan sınıflandırmada, alanda yapılan iş için gerekli ve gereksiz eşya, madde vs. ayrımı yapılır, daha sonra gereksiz olarak belirlenen eşya ve maddeler çalışma alanından uzaklaştırılır. İkinci adım olan düzenlemede, öncelikle eşya ve maddelerin yerleri için tasarım veya yerleşim planı yapılır, hepsine sabit bir yer belirlenir, daha sonra her şeyin yerinde olup olmamasının kontrolleri yapılır. Üçüncü adım olan temizlikte, öncelikle kirlilik kaynakları belirlenir, işyerinin üretim yöntemine göre temizleme yöntemi belirlenir, yöntemine göre temizlik araç ve gereçleri temin edilir, temizlik periyotları oluşturulur. Kontrol aşamasında ise

çöp, kir ve tozdan arındırılma durumu incelenir. Altıncı adım olan iş güvenliğinde, öncelikle yasal İSG mevzuatına tam uyum gözetilir, proaktif Batı yaklaşımı takip edilerek risk değerlendirmesi yapılır ve büyük risklerden başlanarak tüm riskler azaltılmaya çalışılır. Dördüncü adım olan standartlaştırmada, sürekli iyileştirmenin devamlılığı hedeflenir, bu amaçla konulan standartlar kontrol edilir ve uygunsuzlukların giderilmesi doğrultusunda çalışmalar yürütülür. Beşinci adım olan disiplinde ise çalışan eğitimi, ödül sistemi gibi yaklaşımlarla 6S'nin iş kültürünün bir parçası haline getirilmesi için çaba sarf edilir. Disiplin adımında belirlenen kurallarla, çalışanların 6S yönteminin sahibi ve uygulayıcısı konuma gelmesi ve içsel motivasyon ve öz disiplinle uygulama yapılması amaçlanır (Ortiz, 2015, Visco 2016).

6S uygulamalarının uzun süreli devamlılığı ve standartlaşması için düzenli denetime ihtiyaç duyulmaktadır (Roll, 2008). Bu denetimler kontrol listeleriyle hızlı ve kolayca yapılmakta ve maliyetleri düşük olmaktadır. Denetim, iş yerlerinde mevcut 6S uygulama düzeyinin analizini yapmak, belgelemek, bütünsel iyileşme için gerekli durum analizi yapmak, geri bildirim almak ve hedef belirlemede kullanılabilir. Ayrıca bu listelerle üretilen puanlar bir performans ölçütü olarak kabul edilebilir.

Giriş bölümünde de bahsedildiği gibi, literatürde 6S yöntemi için önerilen bazı kontrol listeleri bulunmaktadır (Roll, 2008; D. Willis, 2016; Ortiz, 2015; Visco, 2016; Marria vd., 2014; Sukdeo 2017). Ancak, bu listelerin yer aldığı çalışmaların amacı 6S denetimi için bir kontrol listesi tasarımı sunmak değildir; listeler sadece, uygulama kapsamında bir denetim aracı olarak çalışmalara dahil edilmiştir (Roll, 2008; D. Willis, 2016; Ortiz, 2015; Visco, 2016; Marria, 2014; Sukdeo 2017). Bununla birlikte, bu listeler, 6S adımlarında gözetilen hususlar da dikkate alınarak yeni kontrol listeleri tasarımında kullanılabilir. Bu amaçla, çalışmalarda önerilen kontrol listelerinin denetim unsurları derlenerek genişletilmiş formda 6S denetim unsurları olarak Tablo 2'de özetlenmiştir. Bu unsurlar, bu çalışma kapsamında geliştirilen 6S-Elmeri bütünlük denetimi yönteminin kontrol listesi içeriğinde kullanılmıştır.

İncelenen kontrol listelerinde (Roll, 2008; D. Willis, 2016; Ortiz, 2015; Visco, 2016; Marria vd., 2014; Sukdeo 2017) birçok probleme rastlanmıştır. Bu kontrol listelerinde puanlama sistemlerinin ve puan skalalarının birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Dolayısıyla aynı iş alanına uygulanan iki farklı kontrol listesi farklı sonuçlar verecektir. Aynı listenin farklı gözlemciler tarafından uygulanması durumunda bile farklı puanlar ortaya çıkması muhtemeldir. Ayrıca bu listelerin genel olarak imalat sanayinde her iş alanına uygulanabilir olması koşulu gözetilmemiştir. İSG ile ilgili birçok konu başlığına listelerde yer verilmemiş veya ilgili madde sayısı 3 ile 5 arasında sınırlı kalmıştır. Ek olarak belirtilen çalışmalarda, listelerin sistematik olarak bir atölye ya da fabrikada nasıl ve ne sıklıkla uygulanacağı, hangi iş alanlarının seçileceğine dair herhangi bir açıklama bulunmamaktadır.

2.3. 6S-Elmeri Bütünlük Performans Denetim Yöntemi

Bu çalışmada geliştirilen yöntemde, geçerliliği yaygın sanayi uygulamaları ve bilimsel çalışmalarla ortaya konmasından dolayı Elmeri yöntemi tümüyle korunmuştur. Bununla birlikte yöntem, 6S'nin sınıflama, düzenleme, temizlik, standartlaştırma, disiplin ve iş güvenliği boyutlarını ayrı ayrı bölümler halinde ele almıştır. Dolayısıyla, yöntemde 6S-Elmeri Bütünlük Performans Denetim Yöntemi adı verilmiştir; ancak, makalede çalışmaya kısaca 6SE Yöntemi denilecektir.

6SE yönteminde, Tablo 2'den seçilen 22 madde unsurun geleneksel Elmeri yöntemine eklenmesi ile toplam 40 maddelik gözlem kuralı içeren yeni bir kontrol listesi tasarlanmıştır. Geliştirilen 40 maddelik kontrol listesi Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'te gösterildiği gibi 40 madde, 6S'nin sınıflama, düzenleme, temizlik, standartlaştırma, disiplin ve iş güvenliği boyutlarına göre sınıflandırılmıştır. Elmeri'nin entegre edildiği maddeler orijinal halinde Tablo 3'te alt başlıkların hemen altında yazıyla ve gri renkle belirtilmiştir. Gözlem kurallarına göre elde edilen sonuçların 6SE kontrol listesine işlenmesi için de "Doğru", "Yanlış" ve "Gözlem yok" alanları düzenlenmiştir.

Tablo 3'te gösterildiği gibi, geleneksel Elmeri yöntemindeki 4 madde 6SE yönteminde güvenlik başlığı dışındaki diğer başlıklara kaydırılmıştır. Bunlar şöyledir; Elmeri yönteminin 2.1. Tezgah, raf, askılar vb. maddesi ile 6.1. Zemin ve geçiş yolları maddeleri düzenleme başlığına kaydırılırken 2.2. Atık/çöp kutuları ile 2.3. Zemin ve platformlar maddesi Temizlik başlığına dahil edilmiştir. Böylece geliştirilen kontrol listesinde doğrudan İSG ile ilgili 14 madde, diğer 5S adımı için ise 26 madde atanmıştır. Güvenlik başlığı ile diğer 5S başlık maddeleri arasındaki bu geçişkenlik, sadece Elmeri yöntemine has değildir; çünkü, İSG iyileştirmelerinin verimliliği artırıcı etkileri olduğu, benzer şekilde verimlilik artırıcı çalışmaların da İSG konularında iyileşmelere yol açtığı bilinen bir gerçektir. Bu konuda ayrıntılı bir değerlendirme için Laitinen vd. (2012) ve Marria vd. (2014)'nin çalışmaları incelenebilir.

6SE Yöntemi, geleneksel Elmeri yöntemi üzerine kurulu olduğu için temsili gözlem alanlarının rastgele örneklem yöntemiyle seçimi ve kontrol listesi maddelerin doğru-yanlış şeklinde puanlanma işlemlerinde bir değişiklik yapılmamıştır. Elmeri yöntemi puanlama esasları korunduğu için geliştirilen 6SE Yönteminin uygulanmasıyla aynı zamanda Elmeri denetimi de yapılmış olacaktır. Ek olarak, 6SE Yönteminin uygulanması, Elmeri yönteminde olduğu gibi haftada ya da ayda bir yapılabilir. Ancak uygulamanın zaman açısından maliyetine katlanıldığı takdirde daha sık yapılmasında bir sakınca yoktur.

6SE Yöntemi ile kontrol listesinin doldurulmasında izlenecek süreç akışı şöyledir: Her gözlem alanında 1.1 maddesinden 6.14 maddesine kadar her madde için "Doğru", "Yanlış" ya da "Gözlem Yok" başlıklı sütunlardan birine işaretleme yapılır (çetele yaklaşımıyla çentik atılması tavsiye edilir). Bunlardan hangisinin işaretleneceği Tablo 4'deki açıklamalar ışığında kararlaştırılır. Tablo 4'ün daha da ayrıntılı hali bir kılavuz şeklinde hazırlanmış ve internet ortamında paylaşımına sunulmuştur (Çukurluöz ve Birgören, 2019). Gözlem alanları dolaşıldıkça her maddenin karşısında Doğru ve Yanlış sütunlarındaki işaret sayıları artacaktır. Tüm gözlem alanları dolaşıldıktan sonra biriken işaretlerin toplam sayısı yan sütunlara kaydedilir, ardından bunlar kullanılarak Tablo 3'ün sağ altında Toplam Doğru ve Yanlış sayıları hesaplanır. Bu sayılar kullanılarak 6SE Performans Endeksi Denklem 1 ile hesaplanır.

$$6SE \text{ Performans Endeksi} = \frac{\text{Toplam doğru sayısı}}{\text{Toplam doğru sayısı} + \text{Toplam yanlış sayısı}} \times 100$$

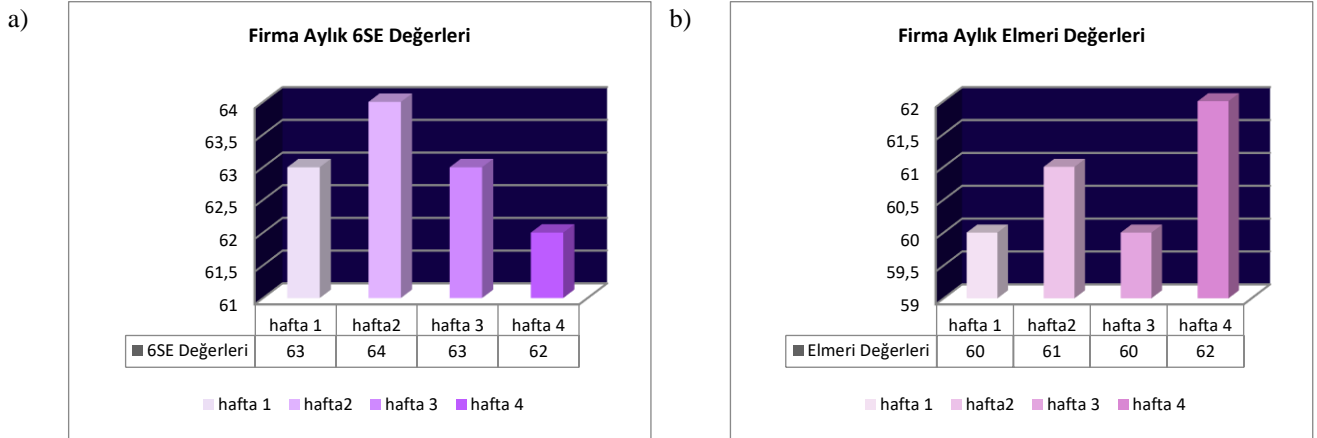
Eğer bu hesaplamada sadece Tablo 3’de gri tonlanmış Elmeri maddeleri dikkate alınırsa elde edilen 6SE değeri, Elmeri endeks değerini verir. Diğer yandan eğer her atölye için ayrı kontrol listesi doldurulursa her atölyenin 6SE ve Elmeri endeks değeri elde edilir, böylece atölyelerin 6S ve İSG performansları birbirleriyle kıyaslanabilir. Ayrıca Tablo 3’ün her başlıktaki maddeler için endeks formülü ayrı ayrı uygulandığında sınıflandırma, düzenleme ve iş güvenliği gibi her adım için birer performans endeksi üretilebilir. Bunların örnekleri çalışmanın uygulama bölümünde verilecektir.

3. Bir Mobilya Fabrikası Uygulaması

6SE yönteminin uygulaması Kırıkkale’de büyük ölçekli bir mobilya fabrikasında yapılmıştır. Uygulama için fabrikada 5 farklı atölye ve her bir atölye için rastgele örnekleme tekniği ile gözlem alanları belirlenmiştir. Her bir gözlem alanında 6SE yönteminin uygulaması yapılmıştır. Uygulama sırasında mesai saatleri içinde rastgele seçilen bir saat diliminde yine rastgele seçilen bir gözlem alanına gidilip 6SE kontrol listesi doldurulmuştur. Her gözlem alanı için listenin doldurulması yaklaşık 10 dakika sürmüştür. Ayrıca gözlem alanlarında uygulama sırasında görsel değişimin kronolojik olarak takip edilebilmesi için fotoğraflar da çekilmiştir. 6SE uygulaması fabrikada 4 hafta uygulanmıştır.

Mobilya fabrikasında 4 haftalık bir süre boyunca 6SE yönteminin Montaj atölyesine uygulanması ile doldurulan kontrol listesi formu Tablo 5’de gösterilmiştir. Tablo 5’de gösterildiği gibi, 6SE yöntemi kontrol listesi, gözlem kurallarına göre doğru, yanlış ve gözlem yok kısımlarına çentik atılarak doldurulmuş ve toplam sayıları toplam kısımlarına işaretlenmiştir.

4 haftalık 6SE kontrol listesi verilerine göre fabrikanın 5 atölyesini temsilen haftalık bazda bir 6SE endeksi hesaplanmıştır. Şekil 2.(a)’da gösterilen 6SE endeks değerleri, Tablo 3’teki tüm denetim maddelerinin dikkate alınması ile hesaplanmıştır. Şekil 2.(b)’de hesaplanan endeks değeri ise yine beş atölye için Tablo 3’de sadece gri ile gösterilen Elmeri maddelerinin dikkate alınması ile hesaplanmıştır ve bu değere Elmeri endeks değeri tanımı yapılmıştır. Görüldüğü gibi, 6SE kontrol listesiyle aynı anda hem 6SE hem de Elmeri düzeyleri haftalık ve aylık bazda takip edilebilmekte ve kıyaslanabilmektedir.



Şekil. 2. (a) 6SE Değerleri; (b) Elmeri Değerleri

Tablo 3. 6SE Bütünleşik Kontrol Listesi Şablonu

6S-ELMERİ BÜTÜNLEŞİK DENETİM LİSTESİ							4.STANDARDİZE/STANDARTLAŞTIRMA						
İŞLETME:			TARİH:				4.1.6S Prosedürlerini kontrol listesi						
GOZLEMÇİ(LER):			GOZLEM ALANI:				4.2.Etiketler,uyarılar vb. standartlaştırma						
							4.3.Bölüm istif alanı, yollar için ölçüler						
							5.SUSTAIN/DİSİPLİN						
							5.1.6S Faaliyet sistemi						
							5.2.6S-Yönetim						
							5.3.İlk 3S						
							5.4.Hatırlatıcılar						
							5.5.Eğitimler						
							6.SAFETY /İŞ GUVENLİĞİ						
							6.1.KKD kullanımı ve risk alma # (Elmeri 1.1.)						
							6.2. kurulum ve durum,koruyucular#(Elmeri 3.1.)						
							6.3.Kontrol cihazları #(Elmeri 3.2.)						
							6.4.Gürültü (Elmeri 4.1.)						
							6.5.Aydınlatma (Elmeri 4.2.)						
							6.6.Hava kalitesi(Elmeri 4.3.)						
							6.7.Sıcaklık koşulları(Elmeri 4.4.)						
							6.8.Kimyasallar(Elmeri 4.5.)						
							6.9.Kas dokusu ve iskelet sistemine binen yükler (Elmeri 5.1.)						
							6.10.Çalışma alanı, araçların tasarımı(Elmeri 5.2.)						
							6.11.Elektirik dağıtım kutusu ve elektrikli cihazlar (Elmeri 7.1)						
							6.12.İlk yardım dolapları (Elmeri 7.2)						
							6.13.Yangın söndürücüler(Elmeri 7.3)						
							6.14.Acil durum çıkışları(Elmeri 7.4)						
							TOPLAM:			TOPLAM:			
							ENDEKS:						
							ELMERİ ENDEKSİ:						
							NOTLAR:						
KONULAR	DOĞRU	TOPLAM	YANLIŞ	TOPLAM	GOZLEM YOK	AÇIKLAMA							
1.SORT/SINIFLANDIRMA													
1.1.Zemin alanı													
1.2.Dolap, raf, masa vb. kısımlar													
1.3.Malzeme depolama													
1.4.Duvarlar													
1.5.Görünüm													
2.SET IN ORDER/DUZENLEME													
2.1.Tezgah,raf,askılar vb. (Elmeri 2.1.)													
2.2. Zemin ve geçiş yollarının yapısı(Elmeri6.1)													
2.3.Ekipman kimlik etiketleri													
2.4.Oda, hücre vb. adlandırma													
2.5.Düzen görünümü													
2.6.Gecikmeler													
3.SHINE/TEMİZLİK													
3.1.Temizlik programları													
3.2. Atık/çöp kutuları (Elmeri 2.2.)													
3.3.Zemin ve platformlar(Elmeri 2.3.)													
3.4.Zemin, duvar, pencere, kapılar vb. temizlik													
3.5.Temizlik araçları													
3.6.Makine, ekipman, alet vb. temizliği													
3.7.Genel temizlik görünüm													

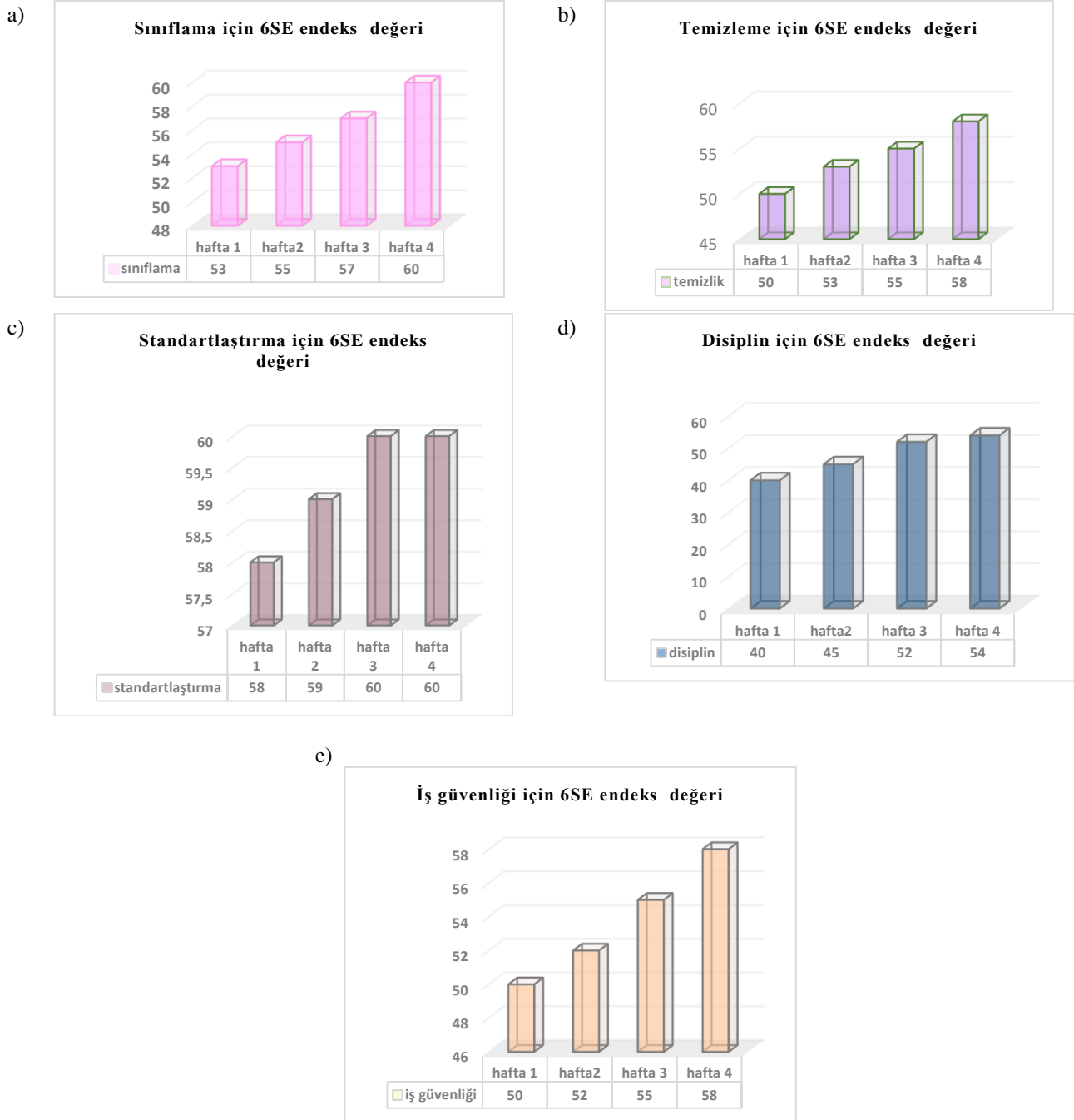
Tablo 4. 6SE Bütünleşik Kontrol Listesi Doldurulmasında Dikkate Alınacak Kriterler

KONULAR	"DOĞRU" PUANLAMASINDA DIKKATE ALINACAK KRİTERLER	4.STANDARDİZE/STANDARTLAŞTIRMA: Düzenli ve temiz bir çalışma alanı için standartlar oluştur.
1.SORT/SINIFLANDIRMA: Gerekli ve gereksiz şeylerin ayrımını yap. Gereksiz şeylerden kurtul.		* Bir çalışma alanında her bir madde için bir gözlem yapılır (1 işaret). Geçerli olmadığı maddeler "#" ile işaretlenmiştir.
* Bir çalışma alanında her bir madde için bir gözlem yapılır (1 işaret). Geçerli olmadığı maddeler "#" ile işaretlenmiştir.		4.1.65 Prosedürlerini kontrol listesi 65 prosedürlerini kontrol için günlük/haftalık/aylık kontrol listesi kullanıyor.
1.1.Zemin alanı	Zemin alanında gereksiz malzeme ve eşya yok.	4.2.Etiketler, uyarılar vb. standartlaştırma
1.2.Dolap, raf, masa vb. kısımlar	Dolap, raf, masa vb. üst ve iç kısımlarında gereksiz malzeme/eşya yok.	4.3.Bölüm, istif alanı, yollar için ölçüler
1.3.Malzeme depolama	Malzeme, alet, aparat ve ürünler kullanım sıklığına göre ve/veya etiketlerine göre sınıflandırılmış.	Bölüm, istif alanı ve yolların standart büyüklüğü ve rengi var.
1.4.Duvarlar	Duvarlarda gereksiz öğeler yok.	5.SUSTAIN/DİSİPLİN: Standartların düzenli uygulanmasını iş kültürünün bir parçası yap. Çalışma alanı organizasyonu süreç yönetiminin anahtarı olsun.
1.5.Görünüm	Çalışma alanında sınıflama yapılmış, gereksiz öğeler temizlenmiştir.	* Bir çalışma alanında her bir madde için bir gözlem yapılır (1 işaret). Geçerli olmadığı maddeler "#" ile işaretlenmiştir.
2.SET IN ORDER/DUZENLEME: Kolay, zamanında ve israfsız erişim için düzgün depolama yap. Her şey için bir yer olsun, her şey yerinde olsun.		5.1.65 Faaliyet sistemi 65 faaliyetlerinin nasıl ve ne zaman gerçekleşeceğini bir sistemi var.
* Bir çalışma alanında her bir madde için bir gözlem yapılır (1 işaret). Geçerli olmadığı maddeler "#" ile işaretlenmiştir.		5.2.65-Yönetim
2.1.Tezyah, raf, askılar vb. (Elmeri 2.1.)	Düzenli, gereksiz nesnelere yer yok, sağlam kuruluş taşıma durumu yok.	5.3.İlk 3S
2.2. Zemin ve geçiş yollarının yapısı (Elmeri 6.1)	Yürüyüş ve erişim yolları yeterli genişlik ve yükseklikte, işaretli, ayrıca yaya ve taşıt trafiği gerekli yerlerde ayrılmış. Zemin bozuk veya kaygan değil. 0,5 metreden yüksekte çalışılıyorsa düşmeleri önlemek için uygun tedbirler alınmış. Yüksekteki yerlere ulaşmak için uygun sabit merdivenler kullanılıyor.	5.4.Hatırlatıcılar
2.3.Ekipman kimlik etiketleri	Ekipmanlarda kimlik etiketleri var.	5.5.Eğitimler
2.4.Oda, hücre vb. adlandırma	Oda, hücre vb. alanlar açıkça adlandırılmış/numaralandırılmış.	6.SAFETY/İŞ GÜVENLİĞİ: Güvenli bir çalışma alanı için standartlar oluştur.
2.5.Düzen görünümü	Çalışma alanının genel görünümüne düzen hakimdir.	* Bir çalışma alanında her bir madde için bir gözlem yapılır (1 işaret). Geçerli olmadığı maddeler "#" ile işaretlenmiştir.
2.6.Gecikmeler	Gecikme olmaksızın malzeme/ekipman bulmak kolay.	6.1.KKD kullanımı ve risk alma # (Elmeri 1.1.)
3.SHINE/TEMİZLİK: Çöp, kir ve tozdan arındırılmış temiz bir çalışma alanı oluştur. Böylece sızıntı, akıntı, taşma, hasar vb. sıkıntılar daha kolay saptansın.		6.2.Kurulum, durum, koruyucular # (Elmeri 3.1.)
* Bir çalışma alanında her bir madde için bir gözlem yapılır (1 işaret). Geçerli olmadığı maddeler "#" ile işaretlenmiştir.		6.3.Kontrol cihazları # (Elmeri 3.2.)
3.1.Temizlik programları	Çalışma alanı belirli bir temizlik programına göre temizlenmekte.	6.4.Gürültü (Elmeri 4.1.)
3.2.Atık/çöp kutuları (Elmeri 2.2.)	Kutu dolup taşmamış.	6.5.Aydınlatma (Elmeri 4.2.)
3.3.Zemin ve platformlar (Elmeri 2.3.)	Temiz, düzenli, iyi durumda, dökülmüş yağ/su yok, vb.	6.6.Hava kalitesi (Elmeri 4.3.)
3.4.Zemin, duvar, pencere, kapılar vb. temizlik	Zemin, duvar, pencere, kapı vb. alanlarda toz, çöp, yabancı madde vb. yok.	6.7.Sıcaklık koşulları (Elmeri 4.4.)
3.5.Temizlik araçları	Gerekli temizlik araçları/malzemeleri hemen erişilebilir ve kullanılabilir durumda.	6.8.Kimyasallar (Elmeri 4.5.)
3.6.Makine, ekipman, alet vb. temizlik	Makine, ekipman, aletler yüksek düzeyde temiz tutuluyor ve program dahilinde bakımları yapılıyor.	6.9.Kas dokusu ve iskelet sistemine binen yükler (Elmeri 5.1.)
3.7.Genel temizlik görünümü	Genel bir temizlik görünümü var.	6.10. Çalışma alanı ve araçların tasarımı (Elmeri 5.2.)
		6.11.Elektrik dağıtım kutusu ve elektrikli cihazlar (Elmeri 7.1)
		6.12.İlk yardım dolapları (Elmeri 7.2)
		6.13.Yangın söndürücüler (Elmeri 7.3)
		6.14.Acil durum çıkışları (Elmeri 7.4)

Tablo 5: Doldurulmuş Elmeri Bütünleşik Kontrol Denetim Listesi

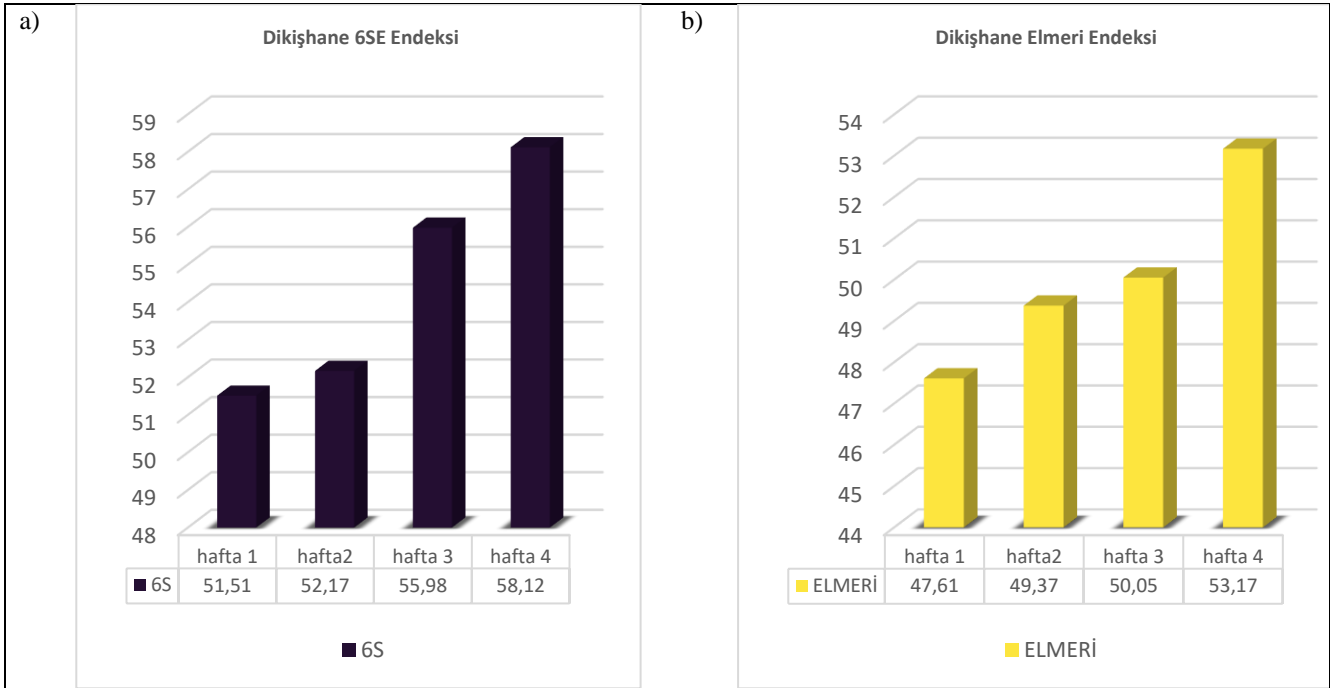
6S-ELMERİ BÜTÜNLEŞİK DENETİM LİSTESİ						
İŞLETME: XYZ MOBİLYA FABRİKASI			TARİH: 24.03.19			
GOZLEMCİ(LER): SİNEM ÇUKURLUOZ			GOZLEM ALANI: MONTAJ			
KONULAR	DOĞRU	TOPLAM	YANLIŞ	TOPLAM	GOZLEM YOK	AÇIKLAMA
1.SORT/SINIFLANDIRMA						
1.1.Zemin alanı	II	2	II	2	I	
1.2.Dolap, raf, masa vb. kısımlar	I	1	III	3	I	
1.3.Malzeme depolama	III	3	I	1	I	
1.4.Duvarlar		0	III	3	II	
1.5.Görünüm	II	2	III	3		
2.SET IN ORDER/DUZENLEME						
2.1.Tezgah,raf,askılar vb. (Elmeri 2.1.)	IIII	4	I	1		
2.2. Zemin ve geçiş yollarının yapısı(Elmeri6.1)	II	2	III	3		
2.3.Ekipman kimlik etiketleri	I	1	II	2	III	EKSİK ETIKET
2.4.Oda, hücre vb. adlandırma	III	3	I	1	I	
2.5.Düzen görünümü	I	1	III	3	I	
2.6.Gecikmeler	II	2	III	3		
3.SHINE/TEMİZLİK						
3.1.Temizlik programları	III	3	I	1	I	
3.2. Atık/çöp kutuları (Elmeri 2.2.)	II	2	I	1	II	
3.3.Zemin ve platformlar(Elmeri 2.3.)	II	2	III	3		
3.4.Zemin, duvar, pencere, kapılar vb. temizlik	III	3	II	2		
3.5.Temizlik araçları	I	1	II	2	II	
3.6.Makine, ekipman, alet vb. temizliği	IIII	4	I	1		
3.7.Genel temizlik görünüm	IIII	4	I	1		
4.STANDARDIZE/STANDARTLAŞTIRMA						
4.1.6S Prosedürlerini kontrol listesi	IIII	5		0		
4.2.Etiketler,uyarılar vb. standartlaştırma	III	3	I	1	II	
4.3.Bölüm istif alanı,yollar için ölçüler	I	1	II	2	III	
5.SUSTAIN/DİSİPLİN						
5.1.6S Faaliyet sistemi	II	2		0	III	
5.2.6S-Yönetim	III	3	I	1	I	
5.3.İlk 3S	II	2	II	2	I	
5.4.Hatırlatıcılar	IIII	4	I	1		
5.5.Eğitimler	IIII	5		0		
6.SAFETY/İŞ GUVENLİĞİ						
6.1.KKD kullanımı ve risk alma # (Elmeri1.1.)	III	3	II	2		
6.2. kurulum ve durum,koruyucular#(Elmeri 3.1.)	II	2	III	3		
6.3.Kontrol cihazları #(Elmeri 3.2.)	III	3	II	2		
6.4.Gürültü(Elmeri 4.1.)	III	3	II	2		
6.5.Aydınlatma (Elmeri 4.2.)	IIII	4	I	1		
6.6.Hava kalitesi(Elmeri 4.3.)	IIII	4	I	1		
6.7.Sıcaklık koşulları(Elmeri 4.4.)	IIII	5		0		
6.8.Kimyasallar(Elmeri 4.5.)	III	3	I	1	II	
6.9.Kas dokusu ve iskelet sistemine binen yükler (Elmeri 5.1.)	II	2	III	3		
6.10.Çalışma alanı, araçların tasarımı(Elmeri 5.2.)	III	3	II	2		
6.11.Elektirik dağıtım kutusu ve elektrikli cihazlar (Elmeri7.1)	IIII	4	I	1		
6.12.İlk yardım dolapları (Elmeri 7.2)	II	2	I	1	II	EKSİK
6.13.Yangın söndürücüler(Elmeri 7.3)	I	1	II	2	II	EKSİK
6.14.Acil durum çıkışları(Elmeri 7.4)	II	2	I	1	II	
TOPLAM: 106 TOPLAM: 65						
ENDEKS:75.19			ELMERİ ENDEKSİ:60.90			
NOTLAR:ATIK KUTULARI DÜZENLENMELİ, YÜK TAŞIMLARI AZALTILMALIDIR						

Uygulama yapılan 4 hafta boyunca firmada seçilen beş atölyeden sadece dikişhane bölümünde 6S adımları uygulanarak sürekli iyileştirme yapılmış ve veriler takip edilmiştir. Diğer dört atölyede herhangi bir 6S uygulaması yapılmamıştır. 6S uygulaması yapılan Dikişhane atölyesine ait 6SE endeks istatistikleri sınıflandırma, düzenleme, temizlik, standartlaştırma, disiplin ve iş güvenliği başlıkları için sırasıyla Şekil 3(a)-3(e)'de verilmiştir. Şekil 3(a)-3(e)'de gösterildiği gibi, Dikişhane atölyesinde 6S açısından iyileştirmeler devam ettikçe 6SE endeks değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu çıkarım, sınırlı sayıda istatistiğe dayansa da 6SE Yönteminin 6S uygulamalarındaki iyileşmeyi gösterme kabiliyetine sahip olduğunu teyit etmektedir. Burada dikkat edilecek bir diğer husus, 6SE yöntemi ile hem firmanın tamamı için hem de atölye bazlı olarak 6 alt başlığının denetimi yapılabilmekte ve çıkan sonuçlar kıyaslanabilmektedir.



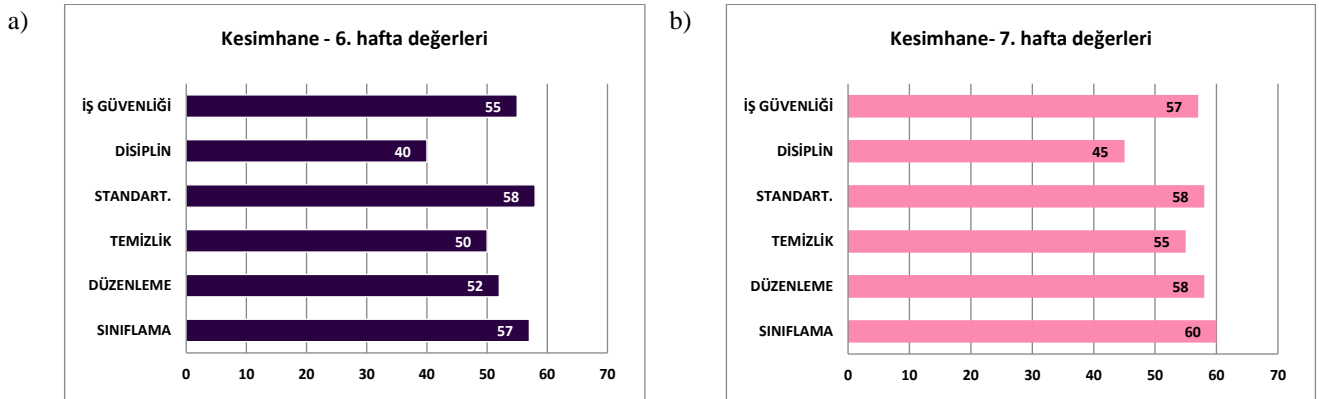
Şekil 3. (a) Sınıflama 6SE Endeks Değerleri; (b) Temizlik 6SE Endeks Değerleri; (c) Standartlaştırma 6SE Endeks Değerleri; (d) Disiplin 6SE Endeks Değerleri; (e) İş Güvenliği 6SE Endeks Değerleri

Dikişhane atölyesine ait 6SE endeks değerleri Şekil 4(a)'da, Elmeri endeks değerleri ise Şekil 4(b)'de özet olarak gösterilmiştir. Dikişhane atölyesi başlık bazında hesaplanan 6SE endeks sonuçlarında olduğu gibi, her hafta sürekli iyileştirmenin sağlanması ve denetimi ile endeks değerlerinde artış trendi gözlemlenmiştir.



Şekil 4. (a) Dikişhane 6SE Endeks Değerleri; (b) Dikişhane Elmeri Endeks Değerleri

Firmada 6SE yöntemi ile atölyelerin haftalık ve aylık denetimi yapılabilmektedir. Örneğin için Kesimhane atölyesi için 6. Hafta verileri ile hesaplanan alt başlık bazındaki 6SE endeks değerleri Şekil 5(a)'da; 7. Hafta verileri ile hesaplanan 6SE endeks değerleri ise Şekil 5(b)'de verilmiştir. Bir haftalık süre içerisinde, iş güvenliği başlığında 2 birimlik artış, disiplin ve temizlik başlıklarında 5 birimlik artış, düzenleme başlığında 6 birimlik artış ve son olarak sınıflama başlığında 3 birimlik artış gözlemlenmiştir. Standartlaştırma başlığında herhangi bir ilerleme gözlemlenmemiştir. Genel olarak, Kesimhane atölyesi için 6. haftaya nazaran 7. hafta içerisinde yapılan denetim sonuçları daha iyidir. Bu, 6 hafta veya önceki haftalarda yapılan denetimler ve bu denetimler sonucu yapılan sürekli iyileştirme faaliyetlerinin bir getirisi olarak yorumlanabilir.



Şekil 5. (a) 6. Hafta için Kesimhane 6SE Endeks Değerleri ; (b) 7. Hafta için Kesimhane 6SE Endeks Değerleri

4. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada, bir yalın üretim aracı olan 6S tekniğinin denetimi için iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili gözlem kontrol maddelerinin geniş yer bulduğu ve Elmeri yöntemi üzerine kurulu bütünsel bir performans denetim yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem 6S-Elmeri Bütünsel Performans Denetim Yöntemi (6SE) adı verilmiştir. Elmeri yöntemi, imalat sanayinde İSG denetimleri için geçerliliği bilimsel olarak ispatlanmıştır; 7 ana başlık altında 18 gözlem kontrol maddesi içeren, puanlanma esasına dayalı bir denetim yöntemidir. 6SE yöntemi, 18 maddelik Elmeri yöntemine literatürde 6S denetimi için önerilen denetim unsurlarından 22'sinin eklenmesi ile toplam 40 maddelik gözlem kuralı içeren yeni bir kontrol listesi sunmaktadır. Bu kontrol listesi, rastgele örneklem yöntemiyle seçilen gözlem alanlarının toplam 40 denetim maddesine göre kontrol edilmesi ve denetim sonuçlarının doğru-yanlış şeklinde listeye işlenmesi ile doldurulur. Haftalık veya aylık bazda toplanan veriler üzerinden 6SE endeksi hesaplanır; bununla birlikte Elmeri yönteminin 18 maddesi üzerinden Elmeri endeksi de hesaplanabilir. Bu endeks değerleri ile uygulama biriminin verimlilik ve iş sağlığı güvenliği açısından denetimi yapılabilmekte ve sürekli iyileştirmenin devamlılığı için gerekli tedbirler alınabilmektedir.

Geliştirilen 6SE yöntemi, Kırıkkale'nin büyük ölçekli bir mobilya fabrikasında 5 atölye iş alanı için uygulanmıştır. 4 haftalık bir süre boyunca yürütülen uygulamada gözlem saati ve gözlem alanları rastgele seçilmiştir. Gözlem alanları için kontrol listenin hızlı bir şekilde doldurulması, 6SE yönteminin kullanışlılığı ve zamandan tasarruf sağlama gibi önemli özelliklerini ortaya çıkarmıştır. 4

haftalık verilerle, mobilya firmasının 5 atölyesi için hem genel bazda hem de atölye bazında 6SE ve Elmeri endeksleri hesaplanmıştır; bu endeks değerlerine göre denetimler yapılabilmektedir. Atölye bazında sadece 6S çalışmalarının aktif olarak yürütüldüğü Dikişhane atölyesindeki uygulamada, 6S açısından iyileştirmeler devam ettikçe 6SE ve Elmeri endeks değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Sonuçlar, sınırlı sayıda istatistiğe dayansa da 6SE Yönteminin atölyedeki sürekli iyileşmeyi düzeyini belirlemede yetenekli olduğunu göstermektedir. Ayrıca 6SE yönteminin önemli bir kısmın Elmeri yönteminin oluşturması 6SE yönteminin geçerliliği açısından güven vermektedir, çünkü Elmeri yönteminin bilimsel açıdan geçerliliği gösterilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmayla literatürde ilk kez 6S uygulamalarının denetimi için bir yöntem tasarlanmıştır. Bugüne kadar literatürde çalışma prensipleri ve nasıl tasarlandığı açıklanmayan kontrol listeleri sunulmuştur. Ayrıca önerilen 6SE yönteminin geçerliliği ortaya konmuştur. Yöntem tüm imalat sanayinde kullanılabilecek yapıdadır, basit ve hızla uygulanabilmektedir.

Referanslar

Birgören, B., Laitinen, H. (2012). İş Sağlığı ve Güvenliğinde Elmeri Performans İzleme Yönteminin Türkiye Uygulamaları. Yöneyem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 32. Ulusal Kongresi Bildiri Özetleri Kitabı, 104, Doğuş Üniversitesi-İstanbul.

Çukurluöz, S., Birgören, B. (2019) 6S-Elmeri Bütünleşik Yöntemi Kitapçığı. Retrieved from <https://6selmeriaudit.blogspot.com/>.

Gapp, R., Fisher, R., & Kobayashi, K. (2008). Implementing 5S within a Japanese context: an integrated management system. *Management Decision*, 46(4), 565-579.

Ho, S.K. (2010). Integrated lean TQM model for global sustainability and competitiveness. *The TQM Journal*, 22(2), 143-158.

Kumar, S.P., Sudhakar, C., Dickson, J.F., Senthil, V., & Devadasan, S. R. (2007). Performance analysis of 5-S teams using quality circle financial accounting system. *The TQM Magazine*, 19(5), 483-496.

Laitinen, H., Vuorinen, M., & Simola, A. (2012). İmalat Sanayinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetimi, MESS yayımları.

Laitinen, H., Vuorinen, M., Simola, A., & Yrjänheikki, E. (2013). Observation-based proactive OHS outcome indicators—validity of the Elmeri method. *Safety science*, 54, 69-79.

Laitinen, H., Rasa, P.L., Räsänen, T., Lankinen, T., & Nykyri, E. (1999). ELMERI observation method for predicting the accident rate and the absence due to sick leaves. *American journal of industrial medicine*, 36(S1), 86-88.

Marria, P., Williams, S. J., & Naim, M. (2014). Six S: creating an efficient and safer work environment. *Total Quality Management & Business Excellence*, 25(11-12), 1410-1428.

Ortiz, C.A. (2015). *The 5S Playbook: A step-by-step Guideline for the Lean Practitioner*. Productivity Press.

Roll, D. (2008). *An Introduction to 6S*. Beaverton, OR, USA: Vital Enterprises.

Sukdeo, N. (2017). The application of 6S methodology as a lean improvement tool in an ink manufacturing company. Conference: IEEE-IEEM 2017, pp. 1666-1671.

Tekin, M., Arslanere, M., Etlioğlu, M. & Tekin, E. (2018). Büyük Ölçekli Bir İşletmede 5S Uygulaması. *International Journal of Social and Humanities Sciences*, 2(1), 106-122.

Webber, L., & Wallace, R. (2007). *Quality control for dummies*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Willis, D. (2016). *Process Implementation Through 5S: Laying the Foundation for Lean*. New York: Productivity Press.

Vahapassi, A., Laitinen, H., Campbell, S., Ersan, E., Birgören, B., Özese, M., Matisane, L., Şimşek, C., Atlı, K., Demirkol, D., Rodoplu, S. (2012). KOBİ'ler için İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Rehberi: Risk Değerlendirmesi, İSG Performans İzleme ve Sağlık Tehlikeleri – Metal Sektörü, Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliği Koşullarının İyileştirilmesi Projesi (İSGİP) – AB Projesi :TR0702.20-01/001.

Visco, D. (2016). *5S made easy: a step-by-step guide to implementing and sustaining your 5S program*. Productivity Press.

Yılmaz, F., Birgören, B. (2015). İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetiminde Kullanılan Teknikler ile Verimlilik Artışında Kullanılan 5S Tekniğinin Ortak Yönleri. 5. Ulusal Verimlilik Kongresi Bildiriler Kitabı, 194-201, Ankara



Bir Otomobil Radyatörünün Isı Transfer Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi

Experimental Investigation of Heat Transfer Performance of an Automobile Radiator

Bahadır Gemicioğlu¹, Tolga Demircan¹

¹ Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 23/01/2020

Kabul / Accepted: 02/03/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 19/04/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Günümüz otomotiv teknolojisinde sıklıkla kullanılan içten yanmalı motorlar çalışma anında yüksek sıcaklıklara ulaşabilmektedir. Yüksek sıcaklıklar, motor parçalarında termal gerilmelere sebep olmakta ve motorun çalışma performansını düşürmekte hatta tamamen çalışmamasına sebep olabilmektedir. Dolayısıyla yüksek sıcaklıklara ulaşan motor parçalarının emniyetli çalışma sıcaklıklarına kadar soğutulması büyük önem arz etmektedir. Bu soğutma işlemi, genellikle bir aracı akışkanın, radyatörde bir fan aracılığı ile soğutulması ve motor bloğu içinde bulunan kanalların içerisinde dolaştırılması ile gerçekleşmektedir. Bir motorun soğutma sistemi birçok farklı elemandan oluşmakla beraber, sistemin performansını etkileyecek en önemli faktörlerden biride kullanılan radyatörün verimli çalışmasıdır. Otomobil radyatörlerinin ısı transfer performansının artırılması ile, soğutma sisteminin soğutma performansının artırılabilmesi doğru orantılıdır. Bu amaçla, bu çalışma kapsamında, bir otomobil radyatörünün çalışmasını temsil eden bir deney düzeneği kurulmuş olup, farklı çalışma parametreleri için deneyler yapılmıştır. Radyatör olarak seçilen çapraz akışlı ısı esanjörüne giren suyun debisi 420-1250 l/h aralığında, giriş sıcaklığı 45-65 °C aralığında ve soğutucu fan hava debisi ise 0,2761-0,5272 m³/s aralığında değiştirilerek deneyler tekrarlanmıştır. Deneylerden elde edilen veriler aracılığı ile radyatör içerisindeki akışın Nusselt sayısı, ısı taşınım katsayısı vb. değerleri belirlenerek, radyatörün soğutma performansı deneysel olarak irdelenmiştir. Sonuç olarak, hava hızı artışının, giren su debisi artışının ve esanjöre giriş su sıcaklığındaki artışın, Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısında olumlu bir etki yaptığı, dolayısıyla radyatörden gerçekleşen ısı transferini artırdığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Otomobil radyatörleri, Soğutma performansı, Isı transferi, Nusselt sayısı”

Abstract

Nowadays automobile technology, internal combustion engine is frequently used and this engines can be reached high tempature in working process. High temperatures cause thermal stresses in the engine parts and decrease the operating performance of the engine or even cause it to fail completely. Therefore, it is very important to cool the engine parts that reach high temperatures to safe operating temperatures. This cooling process usually takes place by cooling an intermediate fluid by means of a fan in the radiator and circulating it in the channels inside the engine block. An interal combustion engine's cooling system consist of many different component and one of the most important component that will affect the efficient operation of the radiator used. It is directly proportional to increasing the cooling performance of the cooling system by increasing the heat transfer performance of automobile radiators. For this purpose, within the scope of this study, an experimental setup representing the operation of an automobile radiator has been established and experiments have been carried out for different operating parameters. Experiments were repeated by changing the volumetric flow rate of the water entering the cross flow heat exchanger selected as the radiator in the range of 420-1250 l/h, the inlet temperature in the range of 45-65 °C and the cooling fan air volumetric flow rate in the range of 0.2761-0.5272 m³/s. Through the data obtained from the experiments, the Nusselt number of the flow in the radiator, the heat transfer coefficient, etc. values and the cooling performance of the radiator was experimentally examined. As a result, it was determined that the increase in the air speed, the increase in the inlet water flow rate and the increase in the inlet water temperature to the heat exchanger had a positive effect on the Nusselt number and the heat transfer coefficient, thereby increasing the heat transfer from the radiator.

Key Words

“Automobile radiators, Cooling performance, Heat transfer, Nusselt number”

1. Giriş

Günümüzde yüksek sıcaklıklara ulaşan makine parçalarının emniyetli çalışma sıcaklıklarına kadar soğutulması büyük önem arz etmektedir. Bu soğutma işlemi, genellikle bir aracı akışkan vasıtasıyla yapılır. Aracı akışkanın (su, yağ, hava, vb.), sıcak makine parçalarının etrafında dolaştırılarak ısıyı kendi üzerine çekerek ısınması ve bir eşanjörde bir fan vasıtasıyla gönderilen hava ile tekrar soğutulması pratik bir uygulamadır. Bu soğutma uygulamasının en sık kullanıldığı mühendislik uygulamalarından biri de içten yanmalı motorların soğutulmasıdır. Bu motorların soğutma sistemi radyatör, fan, devridaim pompası, termostat vb. birçok farklı elemandan oluşmaktadır. Soğutma sisteminin performansı, tüm bu elemanların verimli ve birbirleri ile uyumlu çalışmasına bağlıdır. İçten yanmalı motorların soğutma sisteminin performansında radyatör kilit bir eleman rolündedir.

Araç radyatörleri, kompakt tip çapraz akışlı ısı eşanjör tipine girmektedir. Bu eşanjörler, motordan ısınmış olarak gelen suyun eşanjörün iç borularında dolaşması ve boruların dışında çapraz olarak akan soğuk havaya ısınıp vererek soğuması prensibi ile çalışmaktadır. Bu işlem soğutma sistemi vasıtasıyla bir çevrim şeklinde sürekli gerçekleştirilerek, motorun aşırı ısınması önlenmekte ve motorun hasar görmesi engellenebilmektedir.

Literatür incelendiğinde, otomobil radyatörleri üzerine yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmaların pompa basma debisi, fan basma debisi, su giriş sıcaklığı, eşanjör boru-kanatçık geometrisi ve kullanılan akışkan tipinin üzerine odaklanmış olduğu görülmektedir. Fakat eşanjörler, sadece içten yanmalı motorların soğutulması ile sınırlı kalmayarak, ısı transferinin olduğu her yerde kullanabilmeleri nedeniyle hala araştırmacıların yoğun ilgisini çekmektedir. Literatürde bulunan çalışmalardan bir kısmı aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

Canbolat (2014) otomobil radyatörlerinin ısı performans optimizasyonunun nümerik incelenmesi üzerine çalışmıştır. Çalışmasında otomobil radyatörünün enini ve boyunu sabit tutarak boru sayısı, boru çapı, hava hızı, kanatçık sayısı ve kanatçık malzemesi gibi değişkenleri kullanarak radyatörün ısı performansını ANSYS – Fluent paket programı kullanarak sayısal olarak incelemiştir. Hava hızı arttıkça, boru sayısı arttıkça, boruların çapı büyüdükçe, kanatçık sayısı arttıkça radyatörün etkenliğinin arttığını gözlemiştir. Radyatör malzemesi olarak bakır kullanımının, alüminyum kullanımına göre ısı performans bakımından üstün olduğu sonucuna varmıştır. Malapure ve ark. (2007), panjurlu tip kompakt ısı eşanjöründe akışkan akışını ve ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında tek sıralı ve çift sıralı panjurlu tip ısı eşanjörleri ele almışlardır. Simülasyonlarını çeşitli panjur kademeleri, panjur açıları, kanatçık kademeleri, boru kademeleri ve farklı Reynolds sayıları için farklı geometriler için yapmışlardır. ısı eşanjörünün hava tarafı performansını Stanton sayısı ve sürtünme katsayısını hesaplayarak değerlendirmişlerdir. Buldukları sonuçları deneysel bir çalışmayla karşılaştırmışlar ve iyi bir eşleşme olduğunu gözlemiştir. Nuntaphan ve ark. (2007), panjurlu tip ısı eşanjörlerinde eğim açısının doğal konveksiyonun ısı performansına etkisini incelemişlerdir. Eşanjörün ısı performansının kanatçığın, panjurun, borunun ve eğim açısının arasındaki etkileşimle bağlantı olduğunu tespit etmişlerdir. ısı transfer performansının eğim açısının artmasıyla genellikle düştüğünü belirlemişlerdir. Eğim açısının 30°-45° olduğu durumlarda ısı transfer performansının önemli ölçüde arttığını gözlemiştir. Ayrıca boru sıra sayısı arttıkça ısı transfer performansının azaldığını tespit etmişlerdir.

Vaisi ve ark. (2011), kompakt tip bir panjurlu ısı değiştiricisinde geometrinin etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Test örneklerini iki tip kanatçık konfigürasyonundan oluşacak şekilde tasarlamışlardır. Çalışmalarının sonucunda, panjur tip kanatçıkların simetrik yerleşiminde asimetrik yerleşim düzenine göre % 9,3'lük ısı transfer performansında artış ve %18,2'lik basınç kaybında azalış olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca sabit ısı transfer oranı ve basınç düşümü için kanatçıkların simetrik yerleşimi durumunda, kanatçık ağırlığında %17,6'lık bir azalma tespit etmişlerdir. Sonuç olarak panjur tip kanatçık konfigürasyonunun ısı transferi ve basınç kaybında dominant bir etkisi olduğunu gözlemiştir. Leu ve ark. (2001), kanatçıklı-boru tipi ısı eşanjöründe oval ve dairesel boru konfigürasyonunun etkisini nümerik olarak incelemişlerdir. Geometrik parametre olarak panjur açısı, panjur kademesi ve panjur uzunluğu incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, basınç kaybının panjur açısıyla artma eğiliminde olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca ısı transfer performansı için optimum değer, ısı sınır tabaka gelişiminin farklılığından dolayı panjurun alt ve üst yüzeylerinde olduğunu gözlemiştir. ısı transfer ve sürtünme performansının panjur uzunluğuyla arttığını tespit etmişlerdir. Cuevas ve ark. (2011) düz borulu ısı değiştiricisinin ısı-hidrolik performansını incelemişlerdir. Çalışmalarında glikol-su karışımını hacimce yüzde 60/40 oranlı, su debisini 100-7800 l/h ve besleme sıcaklığını 90°C olarak belirlemişlerdir. Soğutma havasının sıcaklığı 20°, hızı ise 0,5-7 m/s aralığında olacak şekilde testleri yapmışlardır. ısı eşanjörünün termohidrolik performansını literatür ile kıyaslamışlar ve yapmış oldukları tahminin literatürdeki klasik hesaplamaların sistem performansına göre %10 oranında düşük çıktığını gözlemiştir. Ayrıca yaptıkları yarı-ampirik modelin deneysel ısı transfer katsayısını belirlemede literatür ile örtüşüğünü belirtmişlerdir.

Karthik ve ark. (2015) kanatçıklı düz borulu kompakt tip bir ısı eşanjörünü deneysel ve hesaplamalı akışkanlar dinamiğini kullanarak analiz etmişlerdir. Analizlerini eşanjörün ön yüzüne vuran farklı hız değerleri için ve geometrik olarak çeşitli kanatçık kademesi, enlemesine boru kademesi, boylamasına boru kademesi, panjur kademesi ve panjur açısı olacak şekilde yapmışlardır. Eşanjörün hava tarafı performansını Colburn faktörü (j) ve Fanning sürtünme faktörü (f) hesaplayarak değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, panjur tip kanatçıklı düz borulu kompakt tip ısı eşanjörünün daha iyi termohidrolik performansı için optimizasyonunda faydalı olacağını ve pahalı deneylerin, zaman kaybının önüne geçeceğini belirtmişlerdir. Bošnjakovic ve ark. (2019) yıldız şekilli kanatçıklı ısı değiştiricisini deneysel olarak incelemişlerdir. Bu amaçla, birisi yuvarlak kanatçıklı diğeri yıldız şekilli kanatçıklı olmak üzere aynı ölçülerde iki adet ısı eşanjörü yapmışlardır. İki ısı değiştirici de aynı ekipmanlarla ve Reynolds sayısının 2000-13000 değer aralığında aynı koşullar altında deneysel olarak test edilmiştir. Sonuç olarak, yıldız şekilli kanatçık uygulanması durumunda, yuvarlak kanatçıklı geometriye göre ısı akışının %39,5 oranında arttığını, ısı eşanjörünün ağırlığının ise %23,8 oranında azaldığını tespit etmişlerdir. Ploskić ve ark. (2019) havalandırma radyatörlerinin ısı performanslarını EN 442-2 normunu

kullanarak sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmalarını, hava debisi 10 l/s ve hava sıcaklığı -5°C - 26°C aralığı için, su giriş sıcaklığı 45°C ve çıkış sıcaklığı 35°C için yapmışlardır. Bu sıcaklık değerlerinde odanın yerden olan 34 W/m^2 'lik ısı kaybını karşılayabilecek durumda olduğunu, fakat sadece konvektör plakası tasarımının radyatörden ısı atımında sınırlayıcı bir etkisi olduğunu da belirtmişlerdir. Sonuç olarak havalandırma radyatörlerinin düşük sıcaklıkta su beslemesiyle binanın ısı yükünü karşılayabileceğini gözlemlemişlerdir.

Çalışır ve ark. (2019) ise farklı konvektör ölçüleri için PCCP panel radyatörün ısı performansını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Bu amaçla, konvektör sac kalınlığının, konvektör yüksekliğinin, karşıt konvektörler arasındaki boşluğun (d), konvektör trapezoidal uzunluğunun ve konvektör uç yarıçapının, ısı performans üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak, deneysel sonuçlar ve nümerik sonuçların birbiriyle örtüşüğünü gözlemlemişlerdir. Taşınım kanatçıklı (konvektör) radyatörlerin ısı atımı ve toplam ağırlık üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu belirtmişler, ayrıca konvektörün sac kalınlığının ve uzunluğunun artması durumunda ısı transferinin arttığını gözlemlemişlerdir. Dwivedi ve Rai (2015), soğutucu akışkan olarak SiC+su karışımı kullanılan, dalgalı kanatçıklı bir otomobil radyatörünün içindeki akışı Ansys 14.0 CFX paket programı aracılığı ile sayısal olarak incelemişlerdir. Yapmış oldukları simülasyonlardan, soğutma sıvısı ve havanın sıcaklık ve hız dağılımını elde etmişlerdir. Sonuç olarak, geleneksel soğutucuya göre, soğutma sıvısı olarak nanoakışkan (SiC+su) kullanımının ısı transferinde olumlu bir artışa neden olduğunu belirtmişlerdir. Ravisankar ve ark. (2017) bir traktör radyatörün termal performansının iyileştirilmesi amacıyla radyatör akışkanı olarak CuO/Su nanoakışkan kullanımının gerçekleşen ısı transferi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla, CuO/su karışımının hacimsel oranı % 0,025-0,05 aralığı, Reynolds sayısı 8000-25000 aralığı ve giriş sıcaklıkları ise 50 - 60°C aralığı için sayısal ve deneysel olarak analizler yapmışlar ve elde ettikleri sonuçları birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, radyatör sıvısı olarak CuO/su kullanımının, sadece su kullanımına kıyasla gerçekleşen ısı transferinde artışa sebep olduğunu belirtmişlerdir.

Kilicaslan ve Saraç (1998) belirli bir aralıklardaki basınç düşüşünü sabit tutarak kompakt tip bir eşanjörde, ısı transferinin artırılmasını deneysel olarak incelemişlerdir. Bu amaçla, silindir ve üçgen olan iki farklı nervür geometrisini ele almışlar ve elde ettikleri sonuçları düz bir kanalla mukayese etmişlerdir. Çalışmalarını Reynolds sayısının 250 ile 7000 aralığı için gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, basınç kaybının ısı transferine dönüştürülmesinde optimum yöntemin silindirik nervür geometrisi ile elde edilebildiğini tespit etmişlerdir. Gorobets ve ark. (2019), ısı eşanjörlerinde boruların kompakt tip olarak düzenlenmesinin ısı transferi ve hidrodinamiğe olan etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Bu amaçla, küçük çaplı boruların kompakt dağılımlarının ısı eşanjöründeki ısı transfer ve akış özellikleri üzerine yoğunlaşmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, aynı ısı yükü için önerilen gövde-boru tipli ısı eşanjörünün geleneksel ısı eşanjörüne göre boyut olarak 1,7-2 kat daha küçük, kütle olarak ise %10-%15 daha az olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Yukarıda ki çalışmalardan da görüldüğü üzere, ısı eşanjörleri içten yanmalı motorların soğutulmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Ayrıca ısının bir yerden başka yere aktarıldığı birçok mühendislik uygulamasında karşımıza çıkabilmektedir. Bundan dolayı bu çalışmada, bir eşanjörün ısı performansını etkileyen birçok parametrenin ısı transferi üzerindeki etkisi, geniş bir yelpazede birlikte ele alınmıştır. Bu amaçla, incelenen eşanjörün çalışma şartlarına etki eden çeşitli parametreler değiştirilerek, bu parametrelerin otomobil radyatörünün ısı performansına olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. İncelenen eşanjörün optimum çalışma şartları tayin edilmeye çalışılmıştır.

2. Materyal ve Deneysel Metot

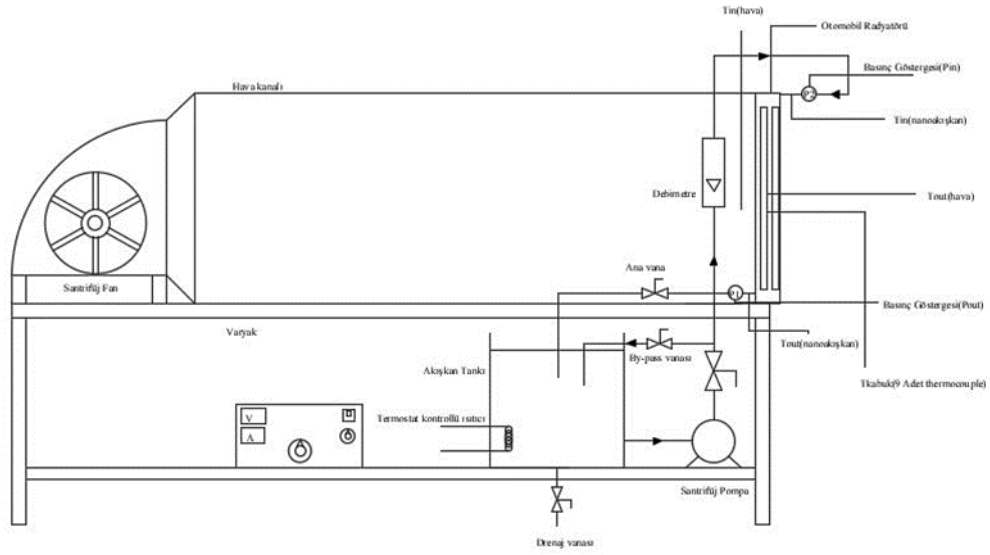
2.1. Deney Düzenekinin Tanıtımı

Bu çalışma kapsamında, bir otomobil radyatörünün çalışmasını temsil eden bir deney düzeneği tasarlanmış ve kurulmuştur. Kurulan bu deney düzeneği aracılığı ile, sistemin pompa su basma debisi, fan hızı ve eşanjör giriş sıcaklıkları değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiş ve ısı eşanjörünün çalışma performansı deneysel olarak incelenmiştir. Tasarlanan deney tesisatının şematize edilmiş hali Şekil 1'de ve kurulmuş halinin fotoğrafı ise Şekil 2 verilmiştir.

Kurulan deney düzeneği, birbirinden bağımsız 2 ana akış hattı ve 1 veri alma ünitesinden oluşmaktadır. Bunlardan ilki, bir pompa aracılığı ile devridaim yaptırılan ve radyatör içersinde dolaşan suyun akış hattıdır. Bu akış hattı, suyun depolandığı ve içersinde suyu ısıtmak için kullanılan bir rezistans bulunan bir tank, su pompası, su debisi ayar vanaları, suyun akış debisinin ölçüldüğü debimetre, radyatör ve suyun dolaştığı tesisat borularından oluşmaktadır.

İkincisi ise bir fan aracılığı ile kanal içersine gönderilen hava akışının sağlandığı hattır. Bu akış hattı ise, hava akışının sağlandığı bir fan, fanın voltajını değiştirerek hava debisinin ayarlanabilmesi için kullanılan bir varyak, havanın içinden geçtiği bir kanal ve radyatörden oluşmaktadır. Görüldüğü üzere radyatör iki akış hattında ortak elemandır. Radyatörün iç borularından sıcak su akmakta, dış yüzeyinden ise soğuk hava geçmektedir.

Veri alma ünitesi ise, radyatör üzerinde 9 farklı noktaya ve akış hatlarının bazı bölümlerine yerleştirilmiş olan ve sıcaklık ölçmek için kullanılan termokopullar, bu termokopulların bağlı olduğu veri toplama cihazı ve alınan verilerin aktarıldığı bir bilgisayar ve hava hızının ölçüldüğü anemometreden oluşmaktadır.



Şekil 1. Deneysel tesisatın şematik gösterimi



Şekil 2. Deneysel tesisatın fotoğrafı

2.2. Matematiksel Formülasyon

Kurulan deney düzeneği aracılığı ile yapılan deneylerden elde edilen veriler, aşağıda verilen matematiksel formülasyon kullanılarak irdelenmiş ve eşanjörün soğutma performansı deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, öncelikle suyun ve havanın hacimsel ve kütsel debileri aşağıdaki eşitlikler aracılığı ile belirlenmektedir. (Çengel ve Cimbala, 2006)

$$\dot{V}_h = V_h A_{kanal} \quad (1)$$

$$\dot{V}_s = V_s A_{boru} \quad (2)$$

$$\dot{m}_s = \dot{V}_s \rho_s \quad (3)$$

$$\dot{m}_h = \rho_h \dot{V}_h \quad (4)$$

Bu eşitliklerden elde edilen ortalama su ve ortalama hava hızları kullanılarak, suyun ve havanın Reynolds sayıları hesaplanmaktadır. (Çengel ve Cimbala, 2006)

$$Re = \frac{\rho_{su} V_{su} D_h}{\mu_{su}} \quad (5)$$

$$Re = \frac{\rho_{hava} V_{hava} D_h}{\mu_{hava}} \quad (6)$$

Yukarıdaki eşitlikte görülen D_h akışın hidrolik çapıdır ve Eşitlik 7 aracılığı ile elde edilmektedir. Burada, P akışkanın geçtiği ıslak çevreyi A_c ise akışkanın geçtiği kesit alanını temsil etmektedir. (Kakaç ve Liu, 2012)

$$D_h = \frac{4A_c}{P} \quad (7)$$

Radyatörün içinden geçen sudan, dışından geçen havaya transfer olan ısı aşağıda ki eşitlikler aracılığı ile belirlenebilmektedir. Burada T_{gs} ve $T_{çs}$ sırasıyla radyatöre giren ve çıkan suyun sıcaklıklarını temsil etmektedir. (Çengel ve Boles, 2006) (Kakaç ve Liu, 2012)

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p \Delta T = \dot{m}c_p (T_{gs} - T_{çs}) \quad (8)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p (T_{gs} - T_{çs}) = h_{ort} A F \Delta T_{lm} \quad (9)$$

Burada F logaritmik ortalama sıcaklık farkı doğrulama faktörüdür ve değeri 1 olarak alınmıştır. ΔT_{lm} ise logaritmik ortalama sıcaklık farkını temsil etmektedir. Bu değer su ve havanın giriş ve çıkış sıcaklıkları kullanılarak aşağıdaki eşitlikler yardımıyla belirlenmektedir. (Kakaç ve Liu, 2012)

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (10)$$

$$\Delta T_1 = T_{gs} - T_{çh} \quad (11)$$

$$\Delta T_2 = T_{çs} - T_{gh} \quad (12)$$

Eşitlik 9 kullanılarak, radyatörden geçen suyun ortalama ısı taşınım katsayısı (h_{ort}) belirlenmektedir. (Kakaç ve Liu, 2012)

$$h_{ort} = \frac{\dot{m}c_p (T_{gs} - T_{çs})}{A F \Delta T_{lm}} \quad (13)$$

Suyun ortalama ısı taşınım katsayısı (h_{ort}) yardımıyla, akışın Nusselt sayısı eşitlik 14 aracılığı ile hesaplanmaktadır. (Incropera vd., 2007)

$$Nu = \frac{h_{ort} D_h}{k} \quad (14)$$

Grashof sayısı, doğal taşınımında kaldırma kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı olarak tanımlanmakta ve aşağıdaki eşitlik aracılığı ile hesaplanmaktadır. (Incropera vd., 2007)

$$Gr = \frac{g \beta (T_y - T_{\infty}) L^3}{\nu^2} \quad (15)$$

Prandtl sayısı ise, momentum yayılımının ısı yayılımına oranı tanımlanmakta ve Eşitlik 16 yardımıyla belirlenebilmektedir. (Incropera vd., 2007)

$$Pr = \frac{\mu c_p}{k} = \frac{\nu}{\alpha} \quad (16)$$

Stanton sayısı ise, ısı transferiyle sürtünme arasındaki ilişkiyi temsil eden bir nevi düzeltilmiş Nusselt sayısıdır ve Eşitlik 17 aracılığı ile hesaplanabilmektedir. (Incropera vd., 2007)

$$St = \frac{h}{c_p \rho_{su} V_{su}} = \frac{Nu}{Pr Re_L} \quad (17)$$

2.3. Deneylerin Yapılışı

Yukarıdaki bölümlerde de belirtildiği üzere, deney düzeneği birbirinden bağımsız 2 ana akış hattı ve 1 veri alma ünitesi olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Deney düzeneğinin ana elemanları santrifüj pompa, santrifüj fan, akışkan tankı, termostatlı bir rezistans, otomobil radyatörü ve yardımcı tesisat elemanlarıdır. Yapılan deneylerde su debisi ölçümü şamandıralı tip bir debimetreye, sıcaklık verileri termokapullar ile, hava akış hızı ise hızı hot-wire tip anemometre kullanılarak elde edilmiştir. Ayrıca termokapullardan elde edilen veriler, bir veri toplama cihazına (datalogger) aracılığı ile bilgisayara aktararak sıcaklık değerleri elde belirlenmiştir.

Suyun radyatöre giriş sıcaklığı, rezistansa bağlanan bir termostat aracılığı ile sabitlenmiştir. Bu sayede radyatör giriş hattına sabit sıcaklığa sahip su, bir santrifüj pompa vasıtasıyla gönderilmiştir. Kullanılan pompaya by-pass ve basma vanası montajı yapılarak vanaları açma-kapama-kısmalı marifetiyle, şamandıralı tip debimetreden debi kontrolleri de yapılarak radyatöre giriş su debisi ayarlanmıştır. Radyatördeki suyu soğutmak için hava kanalından santrifüj fan vasıtasıyla hava basılmıştır. Bu fana bir varyak bağlanarak voltaj ayarlanmıştır. Bu sayede fanın beslendiği voltaj değerleri değiştirilerek, kanala gönderilen soğutma havasının hızı istenilen değerde ayarlanmıştır. Fanın devri, basma havasının hızı ve havanın basınç kaybı gibi değerler ölçme aletlerinden

okunarak, kanal içerisinde oluşan hava hızı tayin edilmiştir. Deney düzeneğinin çalıştırılmasından itibaren, sistem kararlı şartlara ulaşıncaya kadar beklenmiş ve ölçülen veriler stabil hale geldikten sonra kaydedilmeye başlanmıştır.

Tüm bu deneysel prosedür takip edilerek farklı su giriş debileri, su giriş sıcaklıkları ve hava hızları için deneyler tekrarlanmıştır. Daha sonra, hava ve su tablolarından yığın sıcaklık yaklaşımı yapılarak yoğunluk, viskozite, ısı iletkenlik katsayısı ve özgül ısı gibi değerler belirlenmiş ve deneylerden elde edilen ölçüm sonuçları da kullanılarak çeşitli hesaplamalar yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

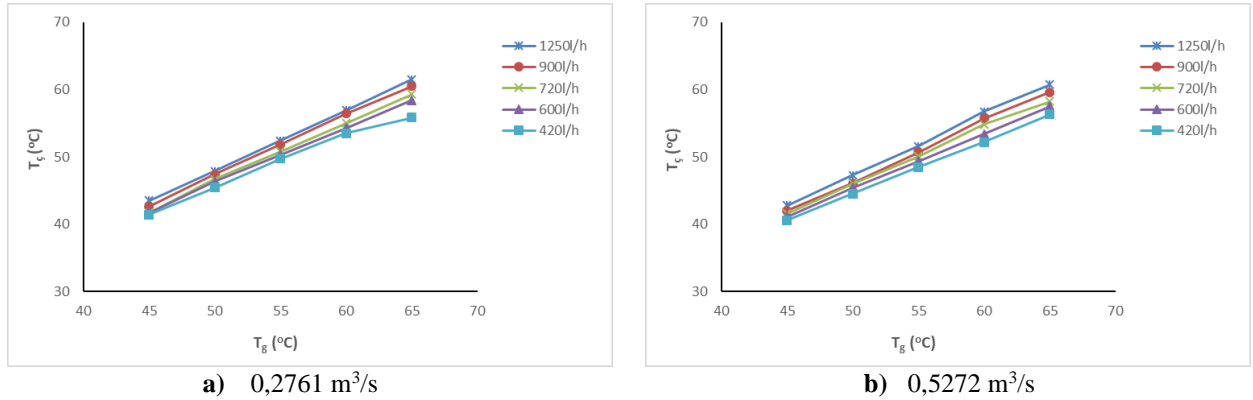
Bu çalışmada, radyatöre giren suyun sıcaklığı, radyatöre giren suyun debisi ve fanın basma hızı değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Bu amaçla, su giriş debisi 420-1250 l/h aralığında, giriş sıcaklığı 45-65 °C aralığında ve hava debisi ise 0,2761-0,5272 m³/s aralığında değiştirilerek deneyler tekrarlanmıştır. Yapılan deneylerde incelenen parametreler ve değerleri Tablo 1’de detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 1. Deneysel parametrelerin gösterimi

Su giriş sıcaklığı (°C)	45	50	55	60	65
Su giriş debisi (l/h)	420	600	720	900	1250
Hava debisi (m ³ /s)	0,2761	0,4085		0,5272	

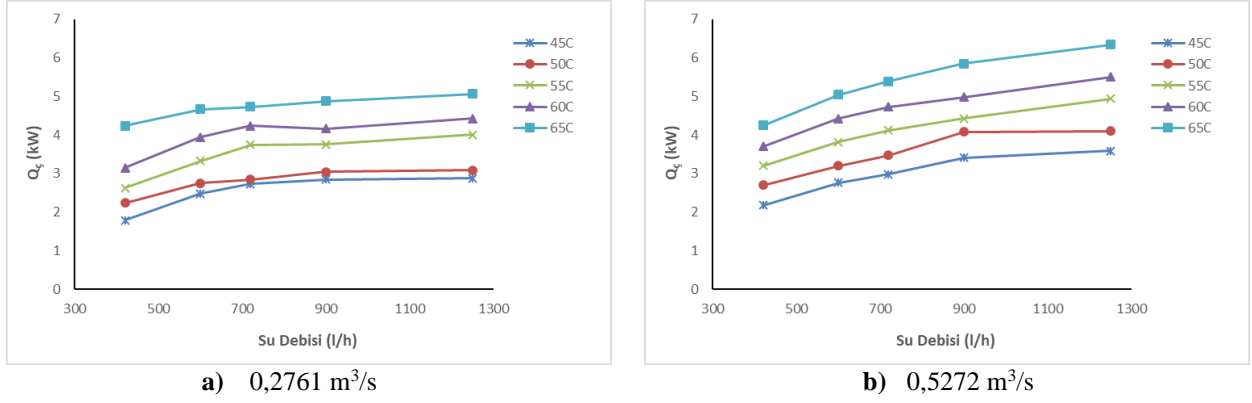
Bu çalışma kapsamında, tüm bu parametreler için toplam 75 farklı deney yapılmış ve elde edilen veriler aracılığı ile grafikler oluşturularak, incelenen radyatörün incelenen parametreler için ısı transfer performansı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlardan bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Şekil 3a ve 3b’de sırasıyla 0,2761 m³/s ve 0,5272 m³/s fan hava debileri için, radyatör su çıkış sıcaklığının su giriş sıcaklığı ile değişimi farklı su debileri için birlikte verilmiştir. Şekil 3a incelendiğinde, çizilen eğrilerin birbirine oldukça benzer davranış sergilediği görülmektedir. Genel olarak, artan su giriş sıcaklığı ile çıkan suyun sıcaklığı lineer olarak artış göstermektedir. Bu durum çalışılan tüm su debileri için benzer bir yapıdadır. Ayrıca, radyatörün içinden geçen suyun debisi arttıkça, su çıkış sıcaklığının da arttığı görülmektedir. Bu durum ise, çalışılan tüm su giriş sıcaklıkları için geçerlilik göstermektedir. Şekil 3a ve 3b birlikte değerlendirildiğinde, hava debisinin 0,2761 m³/s’den 0,5272 m³/s’ye artırılması ile, farklı su debileri için çizilen eğrilerin birbirine yaklaştığı, fakat genel davranışın değişmediği görülmektedir. Artan hava debisi ile, su çıkış sıcaklıklarının belli bir ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumun, çalışılan tüm su debileri ve su giriş sıcaklıkları için gerçekleştiği görülmüştür.



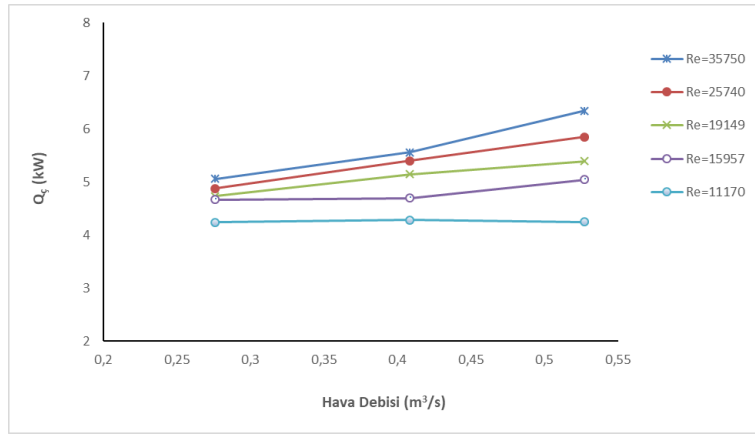
Şekil 3. Farklı su debileri için, su çıkış sıcaklığının su giriş sıcaklığı ile değişimi a) Hava debisi 0,2761 m³/s, b) Hava debisi 0,5272 m³/s

Şekil 4 incelendiğinde, farklı su giriş sıcaklıkları için radyatörden atılan ısının su giriş debisi ile değişimi, hava debisi 0,2761 m³/s ve 0,5272 m³/s için birlikte görülmektedir. Şekil 4a’dan da görüldüğü üzere, tüm su giriş sıcaklıkları için, artan su giriş debisi ile radyatörden gerçekleşen ısı transferi de bir miktar artış göstermektedir. Şekilde sabit su giriş debisi ele alındığında, su giriş sıcaklığının artışı ile radyatörden atılan ısıda önemli bir artış gerçekleştiği görülmektedir. Bu durum tüm su debilerinde benzerlik göstermektedir. Şekil 4a ile 4b birlikte incelendiğinde, her iki hava debisi için genel yapının oldukça benzer olduğu görülmektedir. Ancak artan hava debisi ile radyatörden atılan ısıda önemli bir artış söz konusudur.



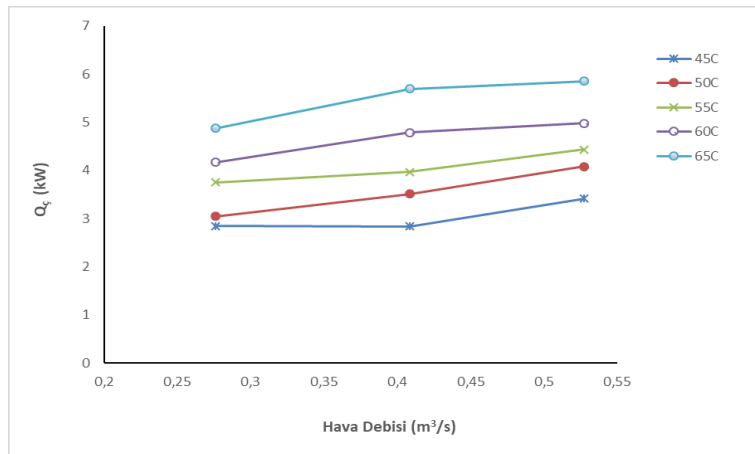
Şekil 4. Farklı su giriş sıcaklıkları için, gerçekleşen ısı transferinin su giriş debisi ile değişimi a) Hava debisi 0,2761 m³/s, b) Hava debisi 0,5272 m³/s

Şekil 5’de su giriş sıcaklığı 65°C’de sabit tutulduğunda, gerçekleşen ısı transferinin hava debisi ile değişimi farklı Reynolds sayıları için birlikte verilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere, Reynolds sayısı 11170 olduğunda, hava debisinin artışının atılan ısı üzerinde pek bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Fakat Reynolds sayısı arttıkça, hava debisi atılan ısı transferi üzerinde artırıcı bir etki göstermektedir. Yüksek Reynolds sayılarında, hava debisinin artışı ile radyatörden atılan ısı lineer bir eğri oluşturmaktadır. Sabit bir hava debisi ele alındığında ise, artan Reynolds sayısı ile radyatörden atılan ısının arttığı görülmektedir.



Şekil 5. Su giriş sıcaklığı 65°C olduğunda, farklı Reynolds sayıları için, gerçekleşen ısı transferinin hava debisi ile değişimi

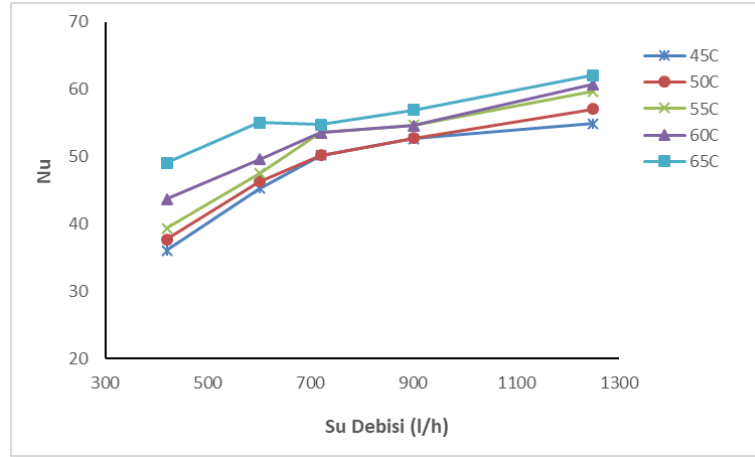
Şekil 6’da ise su giriş debisi 900 l/h’de sabit tutulduğunda, gerçekleşen ısı transferinin hava debisi ile değişimi farklı su giriş sıcaklıkları için birlikte verilmektedir. Şekil incelendiğinde, sabit su debisi için, artan hava debisi ile radyatörden atılan ısının arttığı görülmektedir. Bu eğilim tüm giriş sıcaklıkları için çizilen eğrilerde benzerlik göstermektedir. Ayrıca sabit hava debisi için şekil incelenirse, artan su giriş sıcaklığı ile atılan ısının arttığı görülmektedir.



Şekil 6. Su giriş debisi 900 l/h olduğunda, farklı su giriş sıcaklıkları için, gerçekleşen ısı transferinin hava debisi ile değişimi

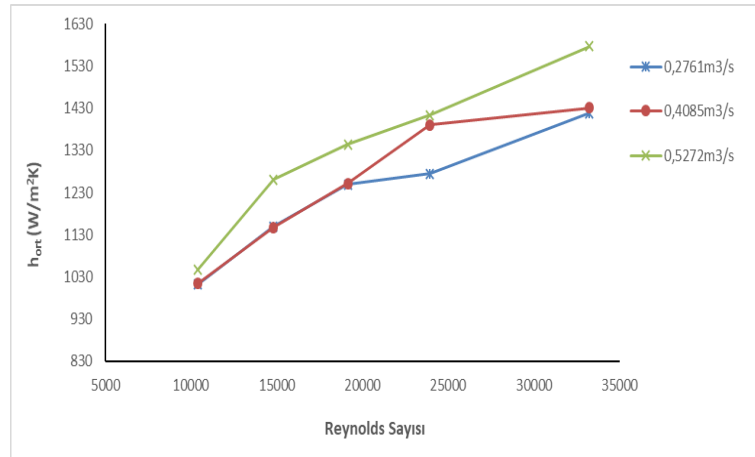
Şekil 7’de hava debisi 0,2761 m³/s’de sabit tutulduğunda, Nusselt sayısının su giriş debisi ile değişimi farklı su giriş sıcaklıkları için birlikte görülmektedir. Şekil incelendiğinde, su giriş debisinin artışı ile Nusselt sayısının artış gösterdiği görülmektedir. Bu

durum tüm su giriş sıcaklıkları için çizilen eğrilerde benzerlik göstermektedir. Ayrıca küçük su giriş debilerinde, su giriş sıcaklığının artışı ile Nusselt sayısının arttığı söylenebilir. Su giriş debisi arttıkça benzer bir eğilim gözlenmekle beraber, farklı su giriş sıcaklıkları için hesaplanan Nusselt sayılarının değerlerinin birbirine yaklaştığı görülmektedir.



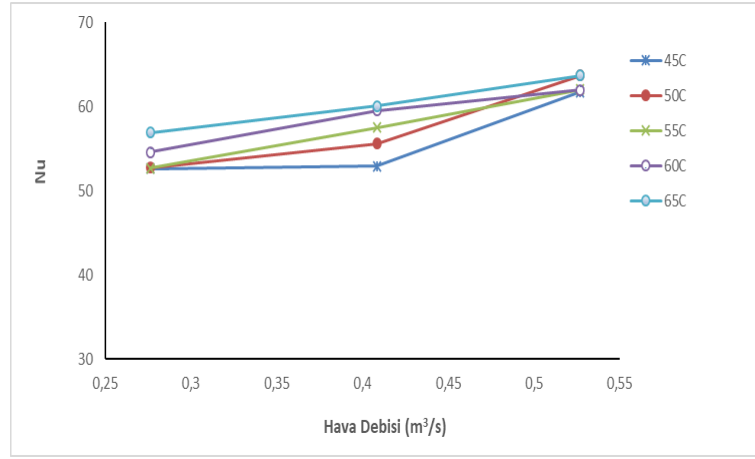
Şekil 7. Hava debisi 0,2761 m³/s olduğunda, farklı su giriş sıcaklıkları için, Nusselt sayısının su giriş debisi ile değişimi

Şekil 8’de ise su giriş sıcaklığı 60°C’de sabit tutulduğunda, ısı taşınım katsayısının (h_{ort}) Reynolds sayısı ile değişimi farklı hava debileri için birlikte verilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere Reynolds sayısının artışı ile ısı taşınım katsayısının değeri lineere yakın bir artış göstermektedir. Çizilen bu eğriler incelenen tüm hava debileri için benzerlik göstermekle beraber, hava debisi 0,2861 ve 0,4085 m³/s olduğunda küçük Reynolds sayıları için üst üste çakışmaktadır. Reynolds sayısı 2500 değerinden sonra ise bu hava debileri için hesaplanan ısı taşınım katsayısının değerleri birbirlerinden farklılık göstermektedir.



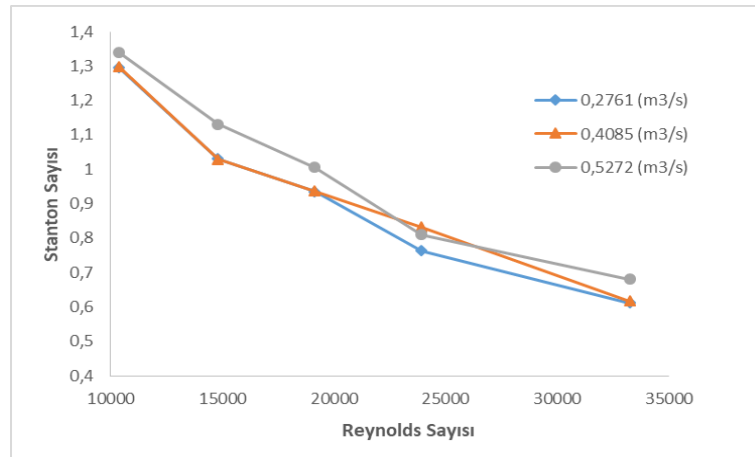
Şekil 8. Su giriş sıcaklığı 60°C olduğunda, farklı hava debileri için, Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 9’da ise su giriş debisi 900 l/h’de sabit tutulduğunda, Nusselt sayısının hava debisi ile değişimi farklı su giriş sıcaklıkları için birlikte verilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere sabit su giriş debisi ve sabit su giriş sıcaklığı için, akışın hava debisinin artırılması ile Nusselt sayısının değeri artmaktadır. Bu durum çalışılan tüm su debileri ve tüm su giriş sıcaklıkları için benzerlik göstermektedir. Ayrıca sabit bir hava debisi için Şekil 9 incelenirse, artan su giriş sıcaklığı ile gerçekleşen Nusselt sayısının değerinin de arttığı görülmektedir.



Şekil 9. Su giriş debisi 900 l/h olduğunda, farklı su giriş sıcaklıkları için, Nusselt sayısının hava debisi ile değişimi

Şekil 10'da ise suyun 60°C radyatöre giriş koşulu altında farklı fan debileri için, Stanton sayısının Reynolds sayısı ile değişimi verilmiştir. Şekil incelendiğinde, sabit Reynolds sayısı için radyatöre giren havanın giriş debisi artırıldığında Stanton sayısının da artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Fakat, sabit hava giriş debisi için akışın Reynolds sayısı arttıkça Stanton sayısı azalma eğiliminde olmaktadır. Bu durumun en büyük sebebi Stanton sayısının formülülasyonunda, Re sayısının bölen olarak yer alması olduğu söylenebilir. Ayrıca Reynolds sayısındaki artış suyun giriş hızının değerini artırmakta bu durum ise sürtünme katsayısının değerinin azalmasına sebep olmaktadır. Stanton sayısı ile sürtünme katsayısının birbirleri ile doğru orantılı olmasından dolayı, Reynolds sayısı arttıkça Stanton sayısının azalış gösterdiği düşünülmektedir.



Şekil 10. Su giriş sıcaklığı 60°C olduğunda farklı hava giriş debileri için, Stanton sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında, bir otomobil radyatörünün çalışmasını temsil eden bir deney düzeneği tasarlanmış ve kurulmuştur. Kurulan bu deney düzeneği aracılığı ile, radyatörün su giriş debisi 420-1250 l/h aralığında, giriş sıcaklığı 45-65 °C aralığında ve hava debisi ise 0,2761-0,5272 m³/s aralığında değiştirilerek deneyler tekrarlanmıştır. Deneylerden elde edilen veriler ışığında radyatör olarak kullanılan bir ısı eşanjörünün çalışma performansı deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, incelenen diğer parametreler sabit tutulurken radyatöre giren suyun sıcaklığının artırılması, suyun giriş debisinin artırılması veya soğutucu havanın debisinin artırılmasının, Nusselt sayısının değerini artırdığı ve radyatörden gerçekleşen ısı transferinde artışa sebep olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla incelenen parametre aralığında, suyun giriş sıcaklığının, debisinin ve soğutma havasının debisinin maksimum olduğu durumda radyatörün optimum soğutma performansı gerçekleştirdiği belirlenmiştir.

Teşekkürler

Bu çalışma Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası 2019/057, Proje adı "Nanoakışkanların Otomobil Radyatöründe Kullanımının Deneysel Olarak İncelenmesi" dir.

Referanslar

Bošnjakovic, M., Muhic, S., & Cikir, A. (2019). Experimental Testing of the Heat Exchanger with Star-Shaped Fins, International Journal of Heat and Mass Transfer, 149, doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.119190

- Calisir, T., Yazar, H. O., & Baskaya S. (2019). Thermal Performance of PCCP Panel Radiators for Different Convectur Dimensions -An Experimental and Numerical Study, *International Journal of Thermal Sciences*, 137, 375-387. doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2018.12.007
- Canbolat, A. S. (2014). Otomobil Radyatörlerinin Isıl Performans Optimizasyonunun Nümerik İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye.
- Cuevas, C., Makaire, D., Dardenne, & L, Ngendakumana, P. (2011). Thermo-Hydraulic Characterization of a Louvered Fin and Flat Tube Heat Exchanger, *Experimental Thermal And Fluid Science*, 35, 154-164 doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2010.08.015
- Çengel, Y. A., & Boles, A. M. (2006). *Thermodynamics an Engineering Approach* (5th. ed.). New York, McGraw-Hill.
- Çengel, Y. A., & Cimbala J. M. (2006). *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications* (1st. ed.). New York, McGraw-Hill.
- Dwivedi V.D. ve Rai R., Modeling and Fluid Flow Analysis of Wavy Fin Based Automotive Radiator, *Vishwa Deepak Dwivedi Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 5(1) (2015), pp.17-26.
- Gorobets, V., Bohdan, Y., Trokhaniak, V., & Antypov L., (2019). Investigations of Heat Transfer and Hydrodynamics in Heat Exchangers with Compact Arrangements of Tubes, *Applied Thermal Engineering*, 151, 46-54. doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.01.059
- Incropera, P.F., Dewitt, P. D., Bergman, L. T., & Lavine, S. A. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (6th. ed.). Hoboken, NJ, John Wiley & Sons.
- Kakaç, S., & Liu, H. Pramanjaroenkij A. (2012), *Heat Exchangers Selection, Rating, and Thermal Design* (3rd ed.). Boca Raton, FL, CRC Press.
- Karthik, P., Kumaresan, V., & Velraj R. (2015). Experimental And Parametric Studies Of A Louvered Fin And Flat Tube Compact Heat Exchanger Using Computational Fluid Dynamics, *Alexandria Engineering Journal*, 54, 905-915. doi.org/10.1016/j.aej.2015.08.003
- Kilicaslan, İ., & Sarac, H. İ. (1998). Enhancement of Heat Transfer in Compact Heat Exchanger by Different Type of Rib with Holographic Interferometry, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 17, 339-346. doi.org/10.1016/S0894-1777(98)00006-5
- Leu, J.S., Liu, M.S., Liaw, M.S., & Wang, C.C. (2001). A Numerical Investigation of Louvered Fin and Tube Heat Exchangers Having Circular and Oval Tube Configurations, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 44, 4235-4243. doi.org/10.1016/S0017-9310(01)00081-3
- Malapure, V.P., Sushanta, K. M., & Bhattacharya, A. (2007). Numerical Investigation of Fluid Flow and Heat Transfer over Louvered Fins in Compact Heat Exchanger, *International Journal of Thermal Sciences*, 46, 199-211. doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2006.04.010
- Nuntaphan, A., Vithayasai, S., Kiatsiriroat, T., & Wang, C.C. (2007). Effect of Inclination Angle on Free Convection Thermal Performance of Louver Finned Heat Exchanger, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50, 361-366. doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.06.008
- Ploskić, A., Wang, Q., & Sadrizadeh S. (2019). A Holistic Performance Evaluation of Ventilation Radiators - an Assessment According to EN 442-2 Using Numerical Simulations, *Journal of Building Engineering*, 25. doi.org/10.1016/j.job.2019.100818
- Ravisankar, R., Venkatachalapathy, V. S. K., & Alagumurthy N. (2017). Thermal Performance Improvement of Tractor Radiator Using CuO/Water Nanofluid, *Heat Transfer—Asian Research*, 46 1, 61-74. doi.org/10.1002/htj.21198
- Vaisi, A., Esmailpour, M., & Taherian, H. (2011). Experimental Investigation of Geometry Effects on the Performance of a Compact Louvered Heat Exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 31, 3337-3346. doi:10.1016/j.applthermaleng.2011.06.014



Açılı CFRP Ankrajlı Şeritler ile Beton Yüzey Arasındaki Gerilme-Deformasyon Davranışı için Yeni Bir Model Önerisi

A New Novel Model Proposal For Bond-Slip Behavior Between Angular CFRP Fan Type Anchored CFRP Strip and Concrete Surface

Rahim Ghoroubi ¹, Ömer Mercimek ², Özgür Anıl ³

¹Çankaya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06790, Ankara, TÜRKİYE

²Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06010, Ankara, TÜRKİYE

³Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06570, Ankara, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 26/02/2020

Kabul / Accepted: 06/03/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 19/04/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Betonarme, çelik veya yığma yapılar birçok farklı nedenden dolayı güçlendirilmeleri veya onarılmaları gerekmektedir. Karbon takviyeli elyaf kumaşlar (CFRP) deprem performansı yetersiz yapıların onarım ve güçlendirme çalışmalarında son 20 yıldır yaygın olarak kullanılmaktadır. CFRP ile geliştirilen onarım ve güçlendirme detaylarında önemli olan tasarım kriterlerinden biri CFRP elemanların yüzeyden soyulmalarını geciktirmektir. Bu amaçla CFRP ile geliştirilen güçlendirme detaylarında ankrajların kullanılması artış göstermiştir. Güçlendirme detaylarında kullanılan fan tipi CFRP ankrajlı CFRP şeritler ile ilgili gerilme-kayma deplasmanı modellerinin ankrajsız CFRP şeritlere göre çok daha sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Bu konudaki sınırlı sayıdaki çalışmada ankrajlar CFRP şeritlere uygulanan aksel çekme kuvvetine göre 90° açılı olacak şekilde yerleştirilmiştir. Yapılan literatür taramasında aksel yüke göre değişik açılarda yerleştirilen ankrajlı CFRP şeritlerin aksel kuvvet taşıma gücü ve gerilme kayma deplasmanı modelleri ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle deneysel bir çalışma düzenlenmiş ve 28 adet beton yüzeyine yapıştırılan açılı ankrajlı CFRP şerit deney elemanı aksel çekme kuvveti etkisinde yazarlar tarafından tasarlanan bir deney düzeneği kullanılarak test edilmiştir. Deneysel çalışmada incelenen değişkenler CFRP şerit genişliği ve CFRP şeritler üzerindeki CFRP fan tipi ankrajların açılarıdır. Deneysel çalışma sonucunda açılı ankrajlı CFRP şeritlerin maksimum taşıma gücü değerlerinin hesaplanması için bir denklem ve yeni bir gerilme kayma deplasmanı modeli önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“CFRP, Güçlendirme, Açılı Fan Tipi CFRP Ankraj, Gerilme- Kayma Deplasmanı Modeli”

Abstract

In the reinforced concrete, masonry or steel structures should be strengthened or repaired. Carbon fiber reinforced polymers (CFRP) have been widely used for the last 20 years for repairing and strengthening of inadequate earthquake performance of the structures. One of the most important developed design criteria in the retrofit and strengthening details are using CFRP to delay the debonding of the CFRP reinforcement elements. For this reason, the uses of anchors in the reinforcement details developed by using CFRP and also researches on this subject have increased substantially. In the literature, research on bond-slip models developed for fan type CFRP anchors and anchored CFRP strips used in reinforcement details are limited in comparison to non-anchored strips. However, in studies on this subject, anchors are placed at 90° to the axial tensile force applied to the CFRP strips. Axial force-bearing strength and bond-slip models of CFRP strips with the different anchored angle under axial tensile strengths have not been found in the literature. For this reason, an experimental study was carried out and 28 specimens of angled anchored CFRP strip test specimen, which was bonded to the concrete surface, was tested under the influence of axial tensile force with an experimental setup designed by the authors. The variables studied in the experimental study are the CFRP strip width and the fan type CFRP anchor angle placed on the CFRP strip. As a result of the experimental study, an equation was proposed for calculating the bearing strength values of angled anchored CFRP strips and a new proposal for the bond-slip model was developed.

Key Words

“CFRP, Strengthening, Angular Fan Type CFRP Anchor, Bond-slip Model”

1. Giriş

Karbon takviyeli elyaf kumaşlar ağırlıklarının hafif olması, çok yüksek mekanik dayanımları, ince olmaları nedeniyle uygulandıkları yapı elemanının mimari geometrik boyutlarını değiştirmemeleri, yapıya ek bir ağırlık oluşturmamaları nedeniyle yapının dinamik karakteristiklerini değiştirmemeleri, çevresel etkilere karşı yüksek dirençleri gibi birçok sebepten dolayı güçlendirme ve onarım uygulamalarında tercih edilen bir yapı malzemesi haline gelmiştir. Karbon takviyeli elyaf kumaşlar (CFRP) ile geliştirilen güçlendirme detaylarında dikkat edilmesi gerekli olan önemli noktaların başında, güçlendirilecek yapıya yapıştırılan CFRP elemanların yüzeyden soyulmasını geciktirerek, CFRP'nin yüksek mekanik dayanım değerlerinin avantajlarından mümkün olan en büyük oranda yararlanması gelmektedir. Bu nedenle araştırmalar bu konuya yönelmiş ve CFRP kullanılarak geliştirilen güçlendirme detaylarında çeşitli türde ankrajlar kullanılarak CFRP güçlendirme bileşenlerinin yüzeyden soyulmalarını geciktirmeye yoğunlaşmıştır. Yapılan araştırmalar özellikle CFRP kullanılarak geliştirilen güçlendirme detaylarında gerilme birikmelerinin meydana geldiği, yapıştırılan CFRP bileşenlerinin uç bölgeleri, bindirme bölgeleri, yapı elemanlarının kesit değiştirdiği bölgeler, köşe bölgeleri gibi yerlerde yapıştırılan CFRP elemanların yüzeyden soyuldukları ve güçlendirme amacıyla geliştirilen detaydan istenilen performans elde edilemeden çok daha düşük kapasitelerde bu soyulma olayının meydana geldiğini göstermiştir. Özellikle CFRP elemanlar ile yapılan güçlendirmenin düşük çekme ve kayma dayanımına sahip bir yapı elemanı yüzeyine uygulanması durumunda yüzeyden soyulmanın çok daha düşük kapasite değerlerinde ve ani bir şekilde meydana geldiği yapılan çalışmalar ile belirlenmiştir. Bu konularda yapılan araştırmalar CFRP ile uygulanan güçlendirme detaylarında yüzeyden soyulmanın geciktirilmesi için değişik türde ankraj uygulamaların kullanılabilmesini göstermiş ve çalışmalar bu konuda yoğunlaşmaya başlamıştır (Anıl ve Belgin, 2010; Anıl ve Belgin, 2009; Anıl vd., 2010; Baran ve Anıl, 2010; Mertoğlu vd., 2016).

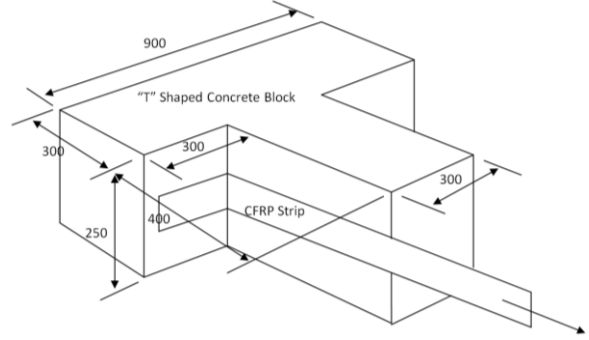
CFRP ile geliştirilen güçlendirme detayının uygulandığı yapı elemanı veya sisteminin taşıma gücü gibi özelliklerini ne ölçüde artırdığının doğru bir şekilde tespit edilmesi için uygulanan güçlendirme detayının ne kadar kapasitesi olduğunun doğru bir şekilde hesaplanabilmesi son derece önemlidir. Aynı şekilde yüzeyden soyulmayı geciktirerek taşıma gücünü artırmak için ankraj kullanılan CFRP güçlendirme detayları için de taşıma gücünün doğru bir şekilde hesaplanabilmesi önemli bir araştırma konusudur. Yapılan araştırmalar son yıllarda bu konulara yoğunlaşmış ve güçlendirme amacıyla yapıştırılan yapı ile CFRP bileşenlerin ara yüzeyindeki gerilme dağılımları, CFRP güçlendirme elemanlarının taşıma gücü ve yüzey ile CFRP arasındaki bond-slip malzeme modelleri konularında çalışmalar artmıştır. Yüzele yapıştırılan ankrajlı CFRP şeritler ile ilgili de bu konulardaki araştırmalar ankrajsız CFRP şeritlere göre çok daha sınırlı sayıda olmasına rağmen literatürde yer almaktadır (Anıl ve Belgin, 2010; Anıl ve Belgin, 2009; Anıl vd., 2010; Baran ve Anıl, 2010; Mertoğlu vd., 2016). Ancak ankrajlı CFRP şeritler ile ilgili araştırmalar incelendiğinde çalışmaların kapsamında CFRP şeritlere uygulanan eksenel çekme kuvvetlerine 90° açılı olarak yerleştirilen ankrajların incelendiği görülmektedir. Geliştirilen güçlendirme detaylarının türüne ve uygulama yerlerine göre CFRP şeritlerin yüzeyden soyulma risklerinin yüksek olduğu konulara yerleştirilen ankrajların her zaman CFRP şeritlere etkiyen çekme kuvvetlerine dik olarak konumlanması mümkün olmamaktadır. CFRP şeritler üzerine yerleştirilen ve şerit eksenine belirli açılar yapan ankrajların CFRP şerit taşıma gücüne olan etkileri, CFRP şerit ile yapıya yüzeyi arasındaki gerilme dağılımı üzerinde meydana getirdiği değişiklikler ve yapıya yüzeyi ile CFRP şerit arasındaki bond-slip modeli gibi konular incelenmesi gerekli olan önemli araştırma konularıdır. Yapılan literatür taraması sonucunda açılı ankrajlı CFRP şeritler ile ilgili bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle deneysel bir çalışma planlanarak bu konuların incelenmesi amaçlanmıştır. Literatürde yapılan incelemeler özellikle kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişlerin ve tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin güçlendirilme uygulamalarında açılı CFRP şeritlerin yaygın bir şekilde kullanıldığı ve tercih edildiğini göstermiştir. Bu tür güçlendirme detaylarında kullanılan açılı CFRP şeritlerin taşıma güçlerinin hesaplanabilmesi için bu konudaki yapılan çalışmaların literatüre önemli katkılar sağla yacağı düşünülmektedir.

Yürütülen deneysel çalışma kapsamında beton yüzeyine yapıştırılan açılı ankrajlı CFRP şeritlerin davranışının incelenmesi amacıyla 28 adet, "T" şeklinde kütle betonu üzerine "L" şeklinde CFRP şeritler yapıştırılarak eksenel çekme kuvveti etkisi altında monotonik yükleme uygulanarak test edilmiştir. Beton kütlelenin "T" şekilde üretilmesi ve CFRP şeritin "L" şeklinde yapıştırılması, şerit eksenine paralel olarak uygulanan çekme kuvvetine göre değişik açılarda CFRP fan tipi ankraj yerleştirilmesine imkan sağlamıştır. Deneysel çalışmada ankraj türü olarak literatürde de yaygın olarak tercih edilen CFRP fan tipi ankraj seçilmiştir. Araştırma kapsamında değişken olarak şeritlerin yapıştırıldığı beton basınç dayanımı, CFRP şerit genişliği ve uygulanan CFRP fan tipi ankrajın sayısı ile kuvvet eksenine göre açısı incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda açılı ankrajlı CFRP şeritlerin yük-deplasman davranışı, maksimum taşıma güçleri, CFRP şerit ile beton yüzey arasındaki gerilme dağılımları belirlenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak CFRP şeritler üzerinde kullanılan açılı ankrajların şerit taşıma gücü üzerindeki etkileri yorumlanmış ve maksimum taşıma gücü ile ilgili bir eşitlik önerilmiştir. Ayrıca açılı ankrajlı CFRP şeritler ve beton yüzey arasındaki gerilme-kayma deformasyonu davranışı ile ilgili bir model oluşturulmuştur.

2. Deneysel Çalışma

Deneysel çalışma kapsamında açılı ankrajlı CFRP şeritlerin eksenel çekme kuvveti etkisindeki yük-deplasman davranışları, eksenel çekme kuvveti kapasiteleri, yapıştırıldıkları beton yüzey ile CFRP şerit arasındaki gerilme dağılımları, yapıya yüzeyi bond-slip modeli ile ilgili araştırmaların yapılması için 28 adet deney elemanı üretilmiş ve test edilmiştir. Deneysel çalışmada incelenen değişkenler açılı ankrajlı CFRP şeritlerin yapıştırıldığı kütle betonunun basınç dayanımı, CFRP şerit genişliği ve CFRP şerit üzerinde kullanılan ankraj sayısı ile ankrajların uygulanan eksenel çekme kuvvet doğrultusu ile yapmış olduğu açıdır. Deneysel çalışmada test edilen elemanların özellikleri **Tablo 1**'de verilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında açılı ankrajlı CFRP şeritlerin test edilebilmesi amacıyla "T" şeklinde kütle betonları üretilmiştir. Her "T" kesitli kütle betonu üzerine 2 adet "L" şeklinde CFRP şerit yapıştırılarak her seferinde yazarılar tarafından üretilmiş özel bir single pull-out deney düzeneği kullanılarak

bir adet CFRP şerit monotonik artan aksel çekme yüklemesi etkisinde test edilmiştir. Üretilen deney elemanlarının geometrik boyutları **Şekil 1**'de verilmiştir. Deney elemanlarının üretilmesinde hedef beton basınç dayanımı olarak 25 MPa ve 10 MPa olarak iki farklı beton sınıfı seçilmiştir. Deney elemanlarının üretildiği beton karışımlarından her eleman için 5 adet 150x150 mm boyutlarında standart küp numunesi alınarak test gününe kadar deney elemanları ile aynı kür şartlarında saklanmıştır. Deney elemanlarının beton basınç dayanımları hedeflenen dayanım değerlerine oldukça yakın elde edilmiş olup, standart sapma ve varyasyon değerleri çok düşüktür. Deneysel çalışmada CFRP şerit genişliği olarak 50 mm ve 100 mm değerleri seçilmiştir. Deney elemanlarının üretilmesinde tek doğrultulu taşıyıcı liflere sahip Sika© firması tarafından üretilen CFRP ve yine aynı firma tarafından önerilen iki bileşenli epoksi malzemeleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan CFRP ve epoksi malzemesinin üretici firma tarafından verilen mekanik dayanım özellikleri **Tablo 2**'de verilmiştir.



Şekil 1. Testlerin Gerçekleştirildiği Beton Deney Elemanı (Ölçüler mm'dir.)

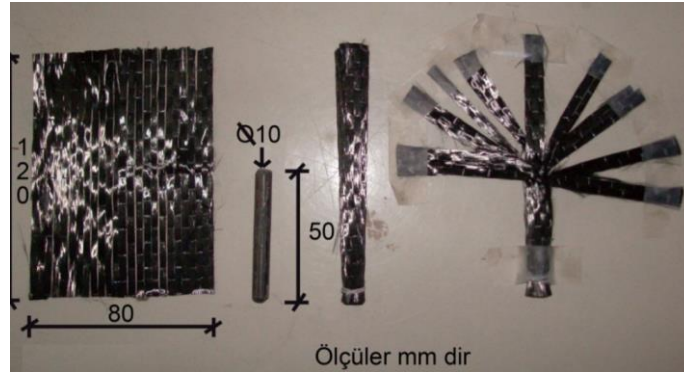
Tablo 1. Deney elemanlarının özellikleri

Deney El. No	f_c (MPa) Beton Basınç Dayanımı	CFRP Şerit Genişliği	Ankraj Sayısı	Ankraj Açısı
1	25.7			Referans
2	24.5		1	90
3	25.2		1	0
4	26.4	50	1	45
5	24.7		2	45/90
6	26.8		2	0/90
7	24.9		2	90/90
8	25.3			Referans
9	25.7		1	90
10	24.5		1	0
11	25.2	100	1	45
12	26.4		2	45/90
13	24.7		2	0/90
14	26.8		2	90/90
15	8.6			Referans
16	9.5		1	90
17	8.5		1	0
18	8.5	50	1	45
19	9.6		2	45/90
20	9.8		2	0/90
21	10.2		2	90/90
22	9.4			Referans
23	8.6		1	90
24	9.5		1	0
25	8.5	100	1	45
26	8.5		2	45/90
27	9.6		2	0/90
28	9.8		2	90/90

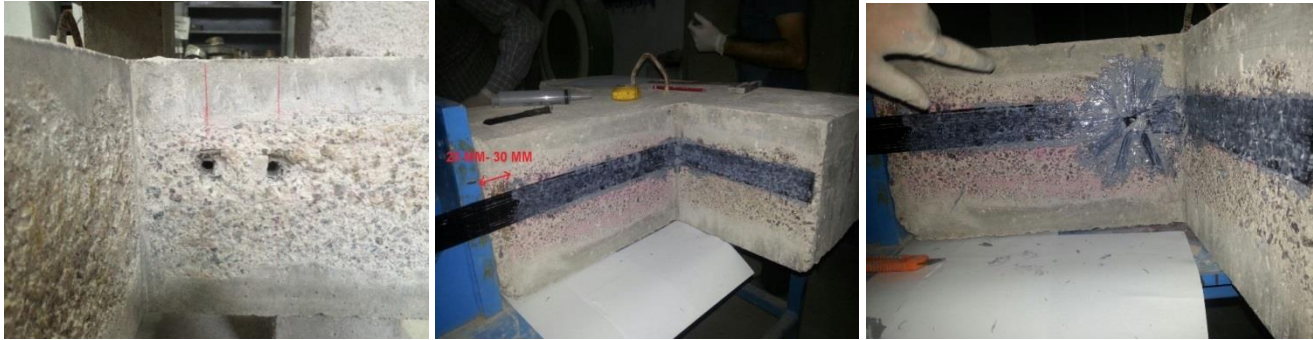
Deney elemanlarının üretilmesinde güçlendirme çalışmalarında da yaygın olarak tercih edilen CFRP fan tipi ankraj seçilmiştir. Deney elemanlarında kullanılan fan ankrajları, 50 mm uzunluğunda 10 mm çapındaki donatıya, 80 mm genişliğinde 120 mm uzunluğunda CFRP şerit sarılarak üretilmiştir. CFRP ankrajlarda donatının dışında kalan 70 mm'lik kısım 10 mm genişliğinde 8 adet parçaya fan olarak yapıştırılacak şekilde ayrılmıştır. Ankraj uygulaması yapılması için 14 mm çapında 50 mm derinliğinde delikler açılmıştır. Çalışmada kullanılan CFRP fan tipi ankrajın özellikleri ve geometrik boyutları **Şekil 2**'de verilmiştir.

Tablo 2. CFRP ve Epoksi Malzemelerin Özellikleri

CFRP'nin Özellikleri	
Ağırlık	220 gr/m ²
Kalınlık	0,12 mm
Çekme Dayanımı	4100 MPa
Elastisite Modülü	231000 MPa
Kopmadaki Uzama	% 1,7
Lif Yapısı	%99 ana doğrultuda, %1 destekleyici doğrultuda lif
Epoksinin Özellikleri	
Yoğunluk	1,31 kg/lt
Karışım Oranı	Beyaz Reçine: Gri Reçine = 4:1
Uygulama Sıcaklığı	min +10°C, max +35°C
Çekme Dayanımı	30 MPa (+23°C de 23 günlük kürden sonra)
Eğilmede Elastisite Modülü	3800 MPa (+23°C de 23 günlük kürden sonra)

**Şekil 2.** Deneysel Çalışmada Kullanılan Fan Tipi Ankraj Detayı

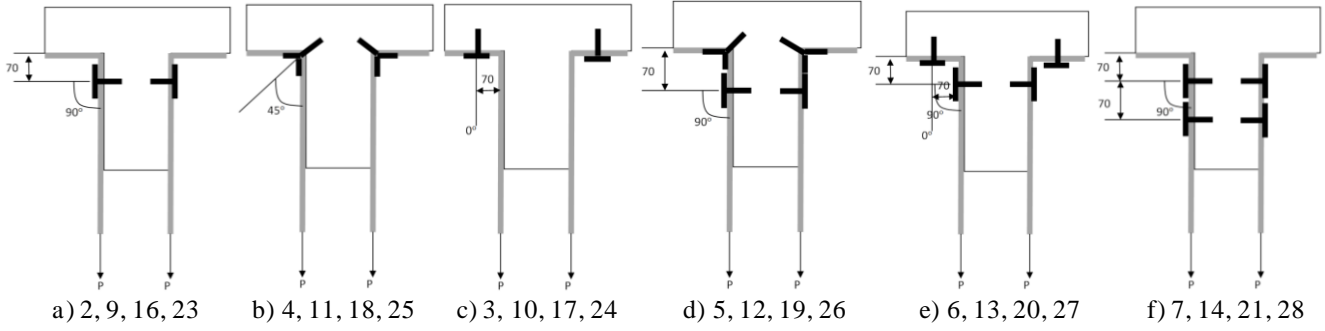
Deney elemanlarının üretilmesi aşamalarından alınan fotoğraflardan seçilen örnekler **Şekil 3'de** verilmiştir. Uygulama esnasında laboratuvar ortamındaki sıcaklığın 20 ± 2 C° olmasına özen gösterilmiştir. Deney elemanları üretildikten sonra epoksinin tam olarak dayanımını alması için yedi gün süre ile beklenilmiş ve daha sonra testlere başlanılmıştır.

**Şekil 3.** Deney Elemanlarının Üretimi Sırasında Alınan Fotoğraflardan Örnekler

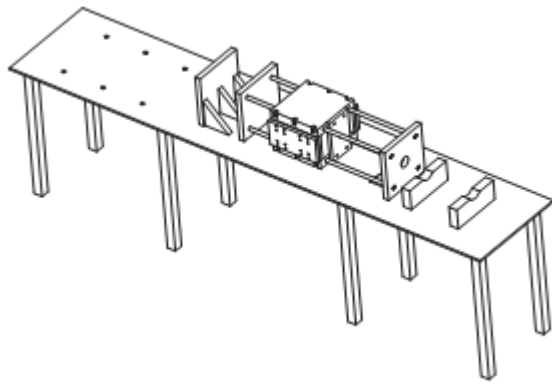
Deneyel çalışmada incelenen açılı ankrajların CFRP şeritlerin davranışı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla 1 ve 2 adet ankrajlı 3 farklı açıda ankraj uygulaması yapılarak her seri için ankrajsız bir adet referans elemanı ile birlikte 7 deney elemanı üretilmiştir. Deneyel çalışmada 2 farklı beton basınç dayanımı ve 2 farklı CFRP şerit genişliği için toplam $2 \times 2 \times 7 = 28$ deney elemanı üretilmiştir. Üretilen açılı ankrajların CFRP şerit yükleme eksenine göre açıları 90° , 0° ve 45° olarak seçilmiştir. Deney elemanlarında kullanılan açılı CFRP şeritlerin yerleşimi ile ilgili geometrik boyutlar **Şekil 4'de** verilmiştir. "T" şeklinde beton kütleyle yapıştırılan açılı CFRP şeritler monotonik olarak artırılan aksenal çekme kuvveti etkisinde göçme meydana gelene kadar yüklenmiştir. Testler sonucunda açılı CFRP şeritlerin maksimum taşıma gücü değerleri, yük-deplasman davranışları, beton yapışma yüzeyi ile açılı CFRP şeritler arasındaki gerilme dağılımları ve bond-slip davranışları elde edilerek yorumlanmıştır. Deneyel sonuçlar üzerinde incelenen değişkenlerin meydana getirdiği etkiler araştırılmıştır.

Deney elemanlarının testleri yazarlar tarafından bu tür deneyler için özel olarak tasarlanmış bir single pull-out test düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği **Şekil 5'de** verilmiştir. Deney düzeneği üzerine yerleştirilen 500 kN kapasiteli bir hidrolik kriko ile aksenal yükleme test elemanlarına uygulanmış ve 400 kN kapasiteli yük hücresi ile ölçülmüştür. Deneyle rde yükleme motorlu ve hızı ayarlanabilen bir hidrolik pompa ile tüm deney elemanlarında özdeş hızda uygulanmış olup, yükleme hızı 0.5 mm/sn olacak şekilde sabitlenmiştir. Deney elemanları CFRP şeritlerinin boyasal deplasman değerleri bir elektronik

deplasman ölçer ile ölçülmüştür. CFRP şeritler üzerindeki gerilme dağılımının şerit boyunca değişiminin ölçülmesi için belirli aralıklar ile birim deformasyon ölçerler yapılandırılmıştır. Testler sonucunda deney elemanlarının aksel yük-deplasman grafikleri ve CFRP şeritler boyunca birim deformasyon dağılımı grafikleri elde edilmiş olup, testler yük-deplasman grafikleri izlenerek yapılmıştır. Deney elemanlarından alınan tüm ölçümler elektronik sensörler ile alınarak bir veri toplama sistemi ile bilgisayar ara aktararak testler gerçekleştirilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır.



Şekil 4. Deney Elemanlarına Uygulanan CFRP Fan Tipi Ankraj Yerleşim Detayları (Ölçüler mm'dir.)



Şekil 5. Deney Düzenegi

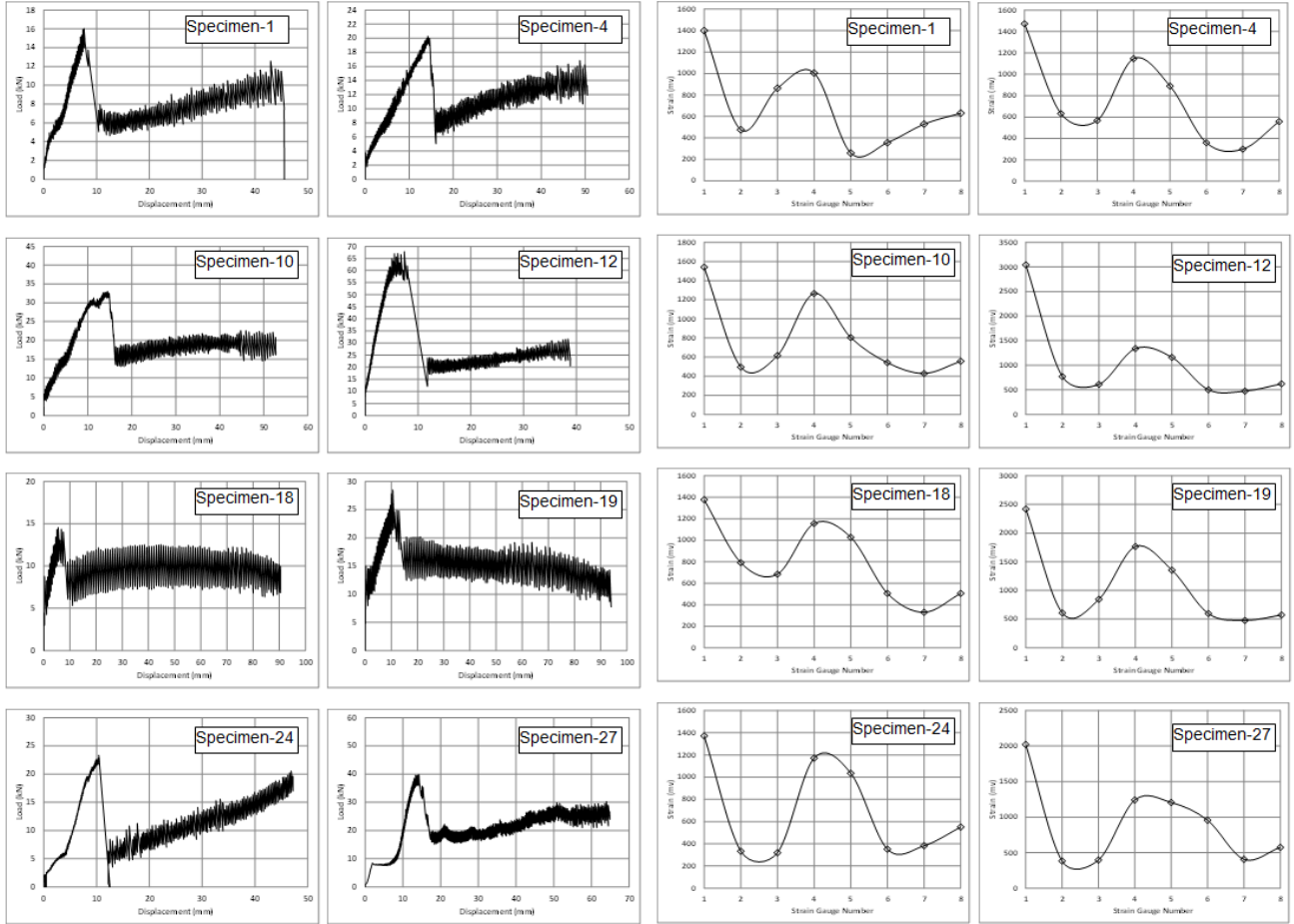
Deney elemanlarının testleri sonucunda CFRP şeritlere uygulanan aksel yük-kayma deplasmanı grafikleri elde edilmiştir. Ayrıca CFRP şerit yapışma boyunca birim deformasyon dağılımları da ölçülerek belirlenmiştir. Testler sonucunda elde edilen aksel kuvvet-kayma deplasmanı ve CFRP şeritler boyunca ölçülen birim deformasyon dağılımı grafiklerinden seçilen örnekler Şekil 6'da verilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ise Tablo 3'de sunulmuştur. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen maksimum taşıma gücü değerleri CFRP şerit yapışma alanına oranlanarak kayma gerilmesi değerleri hesaplanmış ve Tablo 3'de verilmiştir. CFRP şerit yapışma alanı şerit genişliği ile yapışma boyunun çarpılması ile belirlenmiştir. Ayrıca Tablo 3'de maksimum gerilme değerindeki kayma deplasmanı, enerji kapasitesi ve rijitlik değerleri de verilmiştir. Enerji kapasitesi Şekil 6'da verilen yük-deplasman grafiklerinin altında kalan alan hesaplanarak bulunmuştur. Rijitlik değeri ise maksimum taşıma gücü değerinin o noktadaki deplasman değerine oranlanması ile hesaplanmıştır.

Tablo 3. Deney Sonuçları

Deney El. No	Maksimum Kapasite (kN)	Maksimum Gerilme (MPa)	Maksimum Gerilmeye Deplasman (mm)	Kalıcı Gerilme (MPa)	Kalıcı Gerilmeye Deplasman (mm)	Maksimum Deplasmanda Gerilme (MPa)	Maksimum Deplasman (mm)	Enerji Tüketim Kapasitesi (kN-mm)	Maksimum Kapasitede Rijitlik (kN/mm)
1	16.02	0.80	7.63	0.25	10.39	0.57	45.58	396.25	2.10
2	22.95	1.15	9.22	0.34	11.46	0.72	44.27	510.76	2.49
3	18.76	0.94	7.23	0.38	10.90	0.71	46.44	512.08	2.59
4	20.27	1.01	14.23	0.32	15.90	0.70	50.47	605.91	1.42
5	40.50	2.03	7.68	0.50	11.53	1.27	51.17	1077.29	5.27
6	31.32	1.57	12.48	0.44	13.67	0.88	60.91	1105.59	2.51
7	36.35	1.82	9.13	0.59	13.90	0.92	45.00	890.69	3.98
8	29.54	0.74	7.77	0.22	13.91	0.34	67.99	1059.40	3.80
9	40.99	1.02	10.07	0.37	14.48	0.44	37.04	739.83	4.07
10	33.00	0.82	14.50	0.34	16.31	0.40	52.72	999.99	2.28
11	35.03	0.88	17.21	0.31	22.04	0.47	64.47	1274.40	2.04
12	67.80	1.70	7.41	0.50	11.79	0.70	38.88	1241.95	9.15
13	52.11	1.30	10.32	0.54	13.60	0.62	50.95	1430.39	5.05
14	61.03	1.53	16.81	0.51	18.43	0.71	52.32	1315.82	3.63
15	8.34	0.42	6.04	0.18	7.14	0.51	29.58	156.08	1.38
16	16.38	0.82	8.88	0.26	14.13	0.47	74.96	631.44	1.84
17	12.76	0.64	5.75	0.23	8.08	0.34	65.51	504.24	2.22
18	14.55	0.73	5.51	0.31	9.19	0.34	90.47	911.32	2.64

Tablo 3(devam). Deney Sonuçları

Deney El. No	Maksimum Kapasite (kN)	Maksimum Gerilme (MPa)	Maksimum Gerilmeye Deplasman (mm)	Kalıcı Gerilme (MPa)	Kalıcı Gerilmeye Deplasman (mm)	Maksimum Deplasmanda Gerilme (MPa)	Maksimum Deplasman (mm)	Enerji Tüketim Kapasitesi (kN-mm)	Maksimum Kapasitede Rijitlik (kN/mm)
19	28.48	1.42	10.54	0.63	15.77	0.72	93.97	1464.84	2.70
20	22.13	1.11	18.11	0.50	9.99	0.61	103.58	1619.29	1.22
21	25.64	1.28	8.80	0.35	10.53	0.76	47.99	768.27	2.91
22	15.43	0.39	19.48	0.09	21.04	0.17	21.83	185.80	0.79
23	30.17	0.75	9.40	0.13	14.76	0.28	37.66	403.97	3.21
24	23.31	0.58	10.42	0.11	12.22	0.43	47.19	550.82	2.24
25	26.68	0.67	7.95	0.13	13.07	0.28	38.33	390.26	3.36
26	51.60	1.29	12.61	0.46	13.75	1.00	45.85	1422.25	4.09
27	39.81	1.00	14.25	0.42	17.35	0.60	64.85	1361.99	2.79
28	45.71	1.14	18.07	0.45	19.86	0.76	77.02	1908.91	2.53



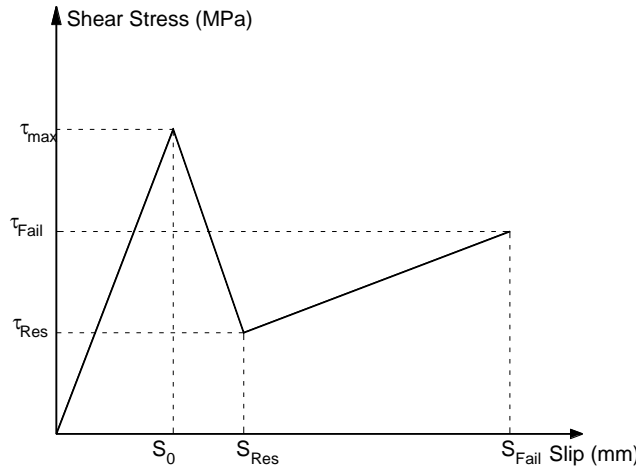
Şekil 6. Deney Elemanlarının Eksenel Kuvvet- Kayma Deplasmanı ve CFRP Şerit Boyunca Ölçülen Birim Deformasyon Dağılımı Grafiklerinden Seçilen Örnekler

3. Ankrajlı Cfrp Şeritler İçin Kayma Gerilmesi-Deplasman Modeli Önerisi

İkinci bölümde sonuçları özetlenen deneysel çalışmadan elde edilen veriler kullanılarak açılı ankrajlı CFRP şeritler ile beton yüzeyi arasında kayma gerilmesi-kayma deplasmanı davranışı için yeni bir matematiksel model önerisi oluşturulması amaçlanmıştır. Yapılan literatür taramasında ankrajsız CFRP şeritler için farklı kayma gerilmesi-kayma deplasmanı modelleri bulunduğu görülmüştür (Bilotta vd., 2011; Chen ve Teng, 2001; Hiroyuki ve Wu, 1997; Khalifa vd., 1998; Maeda vd., 1997; Sato vd., 2001; Tanaka, 1996; Yang vd., 2001; Lu vd., 2005). Ancak açılı ankrajlı CFRP şeritler ile beton yüzeyi arasında bu şekilde bir kayma gerilmesi- kayma deplasmanı matematiksel malzeme modeline literatürde rastlanmamıştır. Bu türdeki malzeme modelleri CFRP ile güçlendirilmiş betonarme elemanlarının sonlu elemanlar modellerinin oluşturulması ve genel yük-deplasman davranışları ile maksimum taşıma güçleri gibi önemli sonuçların elde edilebilmesi için son derece gerekli ve önemlidir.

Açılı ankrajlı CFRP şeritler ile beton yüzeyler arasında yeni bir kayma gerilmesi-kayma deplasmanı matematiksel malzeme modelinin oluşturulması için ankrajsız CFRP şeritler ile ilgili olarak en fazla tercih edilen modellerden biri olan ve ANSYS sonlu elemanlar yazılımına eklenmiş koheziv ara yüzey malzeme modeli olarak da kullanılan Lu v.d., 2005'in modeli üzerinden bir başlangıç yapılmıştır. Bu modelin açılı ankrajlı CFRP şeritler için kullanılabilmesi için nasıl modifikasyonların yapılması

gerektiği üzerinde yoğunlaşmıştır. İlk olarak Şekil 6'da verilen aksel çekme kuvveti-kayma deplasmanı grafikleri incelendiğinde açılı ankrajlı CFRP şeritlerin genel yük-deplasman davranışının ankrajsız olan şeritlerden özellikle maksimum taşıma gücüne ulaşıldıktan sonra önemli farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Açılı ankrajlı CFRP şeritlerin genel yük-deplasman davranışlarında maksimum taşıma gücüne ulaşıp bağlantı göçmeye ulaştığında ankrajsız şeritlerden farklı olarak kalıcı bir taşıma gücü değeri kalmakta ve kalıcı kapasite belirli bir deplasman değerine kadar korunmaktadır. Ek olarak kalıcı kapasite değerinin maksimum taşıma gücüne ulaşıldıktan sonra kalmasının yanısıra ankraj açısına ve sayısına bağlı olarak, artan kayma deplasmanı değeri ile kalıcı dayanım değerinde artış trendi görülmekte ve maksimum taşıma gücünden sonraki grafiğin kuyruk bölümünde açılı bir kapasite artışı meydana gelmektedir. Ankrajsız CFRP şeritlerin yük-deplasman davranışlarında ise maksimum taşıma gücü değerine ulaşıp bağlantı göçtükten sonra kapasite sıfıra inerek herhangi bir kalıcı dayanım değeri oluşmamakta, yük-deplasman grafiğinin çift doğrudan oluşacak şekilde modellenmesi mümkün olmaktadır. Buna karşılık açılı ankrajlı CFRP şeritlerin kayma gerilmesi-kayma deplasmanı grafiklerinin genel davranışı kalıcı dayanım bölümünü de modelleyecek şekilde 3 doğrudan oluşacak şekilde modellenmesinin gerektiği görülmüştür. Bu genel davranış farklılığına ek olarak açılı ankrajlı CFRP şeritlerin maksimum gerilme taşıma gücü değerleri ve tüketilen kırılma enerjisi değerleri de ankrajsız CFRP şeritlere göre çok daha büyüktür. İkinci bölümde sonuçları paylaşılan deneysel veriler kullanılarak açılı ankrajlı CFRP şeritler için oluşturulan kesme gerilmesi-kayma deplasmanı matematiksel malzeme modeli önerisi **Şekil 7'de** sunulmuştur.



Şekil 7. Ankrajlı CFRP Şeritler için Önerilen Kesme Gerilmesi-Kayma Deplasmanı Malzeme Modeli

Açılı ankrajlı CFRP şeritler için önerilen kayma gerilmesi-kayma deplasmanı ara yüzey malzeme modelinin tanımlanması için gerekli değerler Eşitlik 1-6'da verilmiş olup, bu değerler Şekil 7'de sunulan genel kantitatif model iskelet grafiği üzerinde gösterilmiştir. Sadece maksimum kesme gerilmesine ulaşıldığında ölçülen S_0 kayma deplasmanı değeri için bir eşitlik önerilmemiş olup, bu değer hesaplanması için ankrajsız CFRP şeritler için geliştirilen Lu v.d., 2005 tarafından önerilen eşitliğin kullanılabileceği görülmüştür.

$$\tau_{max} = f_1 \tau_{max,0} \quad (1)$$

$$f_1 = \left[\sum_{\theta=0}^{\theta=90} (0.0024\theta + 4.564) \right] (f'_c)^{-0.32} (b_f)^{-0.095} \quad (2)$$

$$\tau_{Res} = \frac{1}{n} \left[\sum_{\theta=0}^{\theta=90} (0.375 - 0.00068\theta) \right] \tau_{max} \quad (3)$$

$$\tau_{Fail} = \frac{1}{n} \left[\sum_{\theta=0}^{\theta=90} (0.6087 - 0.00084\theta) \right] \tau_{max} \quad (4)$$

$$S_{Res} = 1.31 \times S_0 \quad (5)$$

$$S_{Fail} = (-0.00018\theta^2 + 0.009\theta + 4.87) * n^{0.08} S_0 \quad (6)$$

Eşitlik 1'de verilen $\tau_{max,0}$ değeri Lu v.d., 2005 tarafından önerilen ankrajsız CFRP şeritler için önerilen eşitlik ile hesaplanabilen ankrajsız CFRP şerit kesme gerilmesi kapasitesidir. Bu değer f_1 katsayısı ile çarpılarak açılı ankrajlı CFRP şeritlerin kesme gerilmesi değeri hesaplanmaktadır. f_1 çarpanının hesaplanması için geliştirilen eşitlik 2'de beton basınç dayanımı, CFRP şerit genişliği ve CFRP şerit açısına bağlı olarak verilmiştir. Eşitlik 3'de verilen kalıcı kesme gerilmesi ve eşitlik 4'de gösterilen göçme kesme gerilmesi değerleri ise eşitlik 1'de verilen açılı ankrajlı CFRP şerit maksimum kesme gerilmesi τ_{max} değerine bağlı olarak verilmiştir. Kalıcı kayma deplasmanı ve göçme kayma deplasmanı değerleri ise maksimum kesme kapasitesinde ulaşılan deplasman değeri S_0 'a bağlı olarak eşitlik 5 ve eşitlik 6'da verilmiştir. Eşitlik 6'da n ankraj sayısını, Φ ise ankraj açısını ifade etmektedir.

4. Sonuçlar

Betonarme yapılar ve yapı elemanlarının güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan ve tercih edilen CFRP malzemesi ile birçok güçlendirme ve onarım detayı geliştirilmektedir. Bu güçlendirme detaylarının yük-deplasman davranışlarının, maksimum taşıma gücü değerlerinin ve gösterecekleri performansın gerçekçi ve tasarım aşamasında kabul edilebilir bir doğrulukta belirlenebilmesi için güçlendirme amacıyla kullanılan CFRP şeritlerin beton yüzeyine bağlantısı ve kapasitelerini belirleyen matematiksel kesme gerilmesi-kayma deplasmanı modellerinin gerçekçi ve deneysel sonuçlar ile uyumlu sonuçlar verebilecek

şekilde modellenmesi gerektiği unutulmamalıdır. Ankrajsız CFRP şeritler ile ilgili yapılan literatür taraması sonucunda bu konuda araştırmalara ve gerçekçi sonuçlar verebilen CFRP-beton yüzey bağlantı modellerine rastlanmıştır. Ancak CFRP şeritlerin performansını artırmak için son yıllarda çalışılmaya başlanılan ve kullanılan açılı ankrajlı CFRP şeritler için bu şekilde bir kesme gerilmesi- kayma deplasmanı modeline literatürde rastlanmamıştır. Bu nedenle bu araştırma düzenlenerek açılı ankrajlı CFRP şeritler ile ilgili bir deneysel çalışma planlanmış ve bu deneysel çalışmanın sonuçları kullanılarak açılı ankrajlı CFRP şeritler ile beton yüzey arasındaki kesme gerilmesi-kayma deplasmanı bağlantısı matematiksel modeli ile ilgili yeni bir öneri geliştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda önerilen malzeme modelinin açılı ankrajlı CFRP şeritlerin kullanıldığı güçlendirme detaylarının bilgisayar sonlu eleman modellerinin oluşturulmasında, gerçekçi olarak deneysel sonuçlar ile uyumlu kapasite değerlerinin hesaplanmasında son derece faydalı olacağı ve literatüre önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Referanslar

Anıl, Ö., Belgin, Ç. (2010). Anchorages Effects on CFRP-to-Concrete Bond-Strength. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(4):539-557.

Anıl, Ö., Belgin, Ç. (2009). Review of Bond-Strength Models and Application on CFRP to-Concrete Bonded Joints Across Crack. *Science and Engineering of Composite Materials*, 15(2):141-158.

Anıl, Ö., Belgin, Ç., Kara, ME. (2010) Experimental Investigation on CFRP to Concrete Bonded Joints Across Crack. *Techno Press, Structural Engineering and Mechanics*, 35(1): 1-18

Baran A, Anıl Ö. Nonlinear Finite Element Analysis of Effective CFRP Bonding Length and Strain Distribution along Concrete-CFRP Interface. *Techno Press, Computers and Concrete an International Journal*, 2010, 7(5):427-453.

Bilotta A, Di Ludovico M, Nigro E. FRP-to-concrete interface debonding: Experimental calibration of a capacity model. Department of Structural Engineering, University of Naples "Federico II", Via Claudio 21, Naples, P.O. Box 1-80125, Italy, 2011:1-13.

Chen JF, Teng JG. Anchorage strength model for FRP and steel plates attached to concrete. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 2001:127(7):784-791.

Hiroyuki Y, Wu Z. Analysis of debonding fracture properties of CFS strengthened member subject to tension. *Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, Proceedings of the 3rd International Symposium, Sapporo, Japan, 1997: 287-294.*

Khalifa A, Gold WJ, Nanni A, Aziz A. Contribution of externally bonded FRP to shear capacity of RC flexural members. *Journal of Composite for construction*, ASCE 1998: 2(4): 195-203.

Lu XZ, Teng JG, Ye LP, Jiang JJ. Bond-slip models for FRP sheets/plates bonded to concrete. *Engineering Structures*. 2005, 27(6),920-937

Maeda T, Asano Y, Sato Y, Yeda T, Kakuta Y. A study on bond mechanism of carbon fibre sheet. *Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, Proceedings of the 3rd International Symposium, Sapporo, Japan, 1997: 279-285.*

Mertoğlu Ç, Anıl Ö, Durucan C. Bond slip behavior of anchored CFRP strips on concrete surfaces, 2016, 123: 553-564.

Sato Y, Asano Y, Ueda T. Fundamental study on bond mechanism of carbon fiber sheet. *Concrete Library International*, JSCE, 2001: 37: 97-115.

Tanaka T. Shear resisting mechanism of reinforced concrete beams with CFS as shear reinforcement. *Graduation Thesis, Hokkaido University, Japan. 1996*

Yang YX, Yue QR, Hu YC. Experimental study on bond performance between carbon fibre sheets and concrete. *Journal of building structures*, 2001:22(3): 36-42 (in Chinese).



Alüminyum Esaslı Taşıt Jantlarının TIG Kaynak Yöntemi ile Tamiri Sonrası Kaynak Bölgesinin Mekanik ve Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi

Investigating the Mechanical and Microstructural properties of Aluminium based Alloy Wheel Rims after TIG Welding Repair

Aziz Barış Başıyigit*

*Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırıkkale Üniversitesi, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 07/02/2020

Kabul / Accepted: 23/03/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 19/04/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Dünyada olduğu üzere, Ülkemizde de motorlu taşıt sayısı her geçen gün artmaktadır. Binek taşıtlar başına en az 4 adet tekerleğin kullanılması gerçeğinden hareketle istatistiksel olarak yaşanan trafik kazalarındaki artışlar araçların çeşitli aksamalarında yüksek bir maliyetle zarar görmesine neden olmaktadır. Ayrıca mevcut yol koşulları da göz önüne alındığında kazalar taşıtların tekerlekleri başta olmak üzere lastiklerin zarar görmesinin yanı sıra jantların da eğilmelerine çatlamlarına ve hatta kırılmalarına yol açmaktadır. Göze hoş görünmelerinin yanında mekanik dayanım değerlerinin ağırlıklarına göre tatminkar sonuçlar sunduğu Alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen jantlar mevcut yol koşullarında bahse konu nedenlerle deformasyona uğramakta ve oto lastik tamircileri tarafından doğrultma işlemine tabi tutulmakta ve hatta bazen kaynak edilmektedir. Alüminyum esaslı motorlu taşıt jantlarının ilk satın alış maliyetinin yüksek olması nedeniyle tamir edilebilmektedirler. Bu sebeple, kaynaklı tamir sonrası kaynak bölgelerinin mukavemet yeterliliklerini karşılama durumları bu proje ile sorgulanabilir ve değerlendirilebilir hale geleceği hedeflenmiştir. Bu amaçla; alüminyum esaslı taşıt jantlarının TIG kaynak işlemi sonrası kaynak bölgesinin mekanik ve mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. TIG kaynak işlemi sonrasında ana malzeme ile kaynak metalinin yakın karakterde alüminyum silisyum esaslı çökeltiler içeren mikroyapılara sahip olduğu ve mikrovickers sertlik tarama sonuçlarının bölgesel olarak yaklaşık yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Alüminyum alaşımlı jantların muhtemel deformasyonları sonrasında TIG kaynak yöntemi ile tamir edilebileceği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Motorlu Taşıtlarda Jant Malzemeleri, Alüminyum Esaslı Alaşımların TIG Kaynağı, Metallerin Deformasyonu.”

Abstract

The quantity of motor vehicles is increasing in our country as also seen in the world. From the fact that usage of minimum 4 wheels per a motor vehicle, increasing traffic accidents results by deformation of vehicles parts especially wheels in economic considerations. As nowadays road conditions taken into account, the accidents damage especially tires, wheels and deform the rims and even can break them. The rims that produced from aluminium based alloys that presents a nice view and also maintains satisfactory mechanical values versus their weights are deformed by customary road conditions are being unbended and even welded by automobile wheel repairers. Because of the aluminium based alloy made motor vehicles wheel rims are too expensive to buy, they may be repaired. Hence; the aim of this research will be helpfull in determining and questioning whether qualification of their strength properties is adequate or not after the rims have been repaired by welding. For this purpose in this study; mechanical and microstructural properties of weld metal of motor vehicles Aluminium based alloy wheel rims were investigated after TIG welding. The microstructures of base and weld metals are determined to be in close structure mainly as aluminium based silicon precipitates and microvickers hardness test results are also in near values between each other regionally. Aluminium bases alloy wheel rims can be repaired by TIG welding after deformation of them.

Key Words

“Wheel materials in Motor Vehicles, TIG welding of Aluminium based alloys, Deformation of metals”

1. Giriş

Motorlu taşıtlar, çağımızda ulaşım araçları olarak önemlerini korumaktadırlar. Ülkemizde trafiğe kayıtlı motorlu taşıt sayısı, Türkiye İstatistik Kurumu rakamlarına göre; 2017 yılı Aralık ayı sonu itibarıyla 22.218.945 adet olarak gerçekleşmiştir. Bununla birlikte 2017 yılında Ocak-Aralık ayları arasında trafiğe kaydı yapılan motorlu taşıt sayısı 1.128.521 adet olarak kayıtlara geçmiştir. Aralık ayı sonu itibarıyla trafiğe kayıtlı toplam 22 milyon 218 bin 945 adet taşıtın %54,1'ini otomobil, %16,4'ünü kamyonet, %14'ünü motosiklet, %8,3'ünü traktör, %3,8'ini kamyon, %2,2'sini minibüs, %1'ini otobüs, %0,2'sini ise özel amaçlı taşıtlar oluşturmuştur. Görüleceği üzere; sadece binek tür otomobil olarak ifade edilen araçlar toplam miktarın %54.1 civarında kısmını teşkil etmektedir (www.tuik.gov.tr, 2020).

Sadece binek türde otomobillerin yarısının satış firmaları tarafından alüminyum alaşımlı jant içeren üst donanımlı modellerden satıldığı göz önüne alınırsa yaklaşık olarak toplam satış rakamının %27' si civarında 2017 yılı içerisinde alüminyum esaslı jantların piyasaya girdiği düşünülmektedir.

Bunun yanında ülkemizdeki mevcut kayıtlı toplam araç sayısı ve bir araçta 4 adet tekerlek olduğu dikkate alındığında toplam alüminyum esaslı jant sayısının 24.000.000 olduğu bu yaklaşımla tahmin edilmektedir. Bu miktarlarda kullanılan ve ayrıca otomobillere sonradan da görsellik ve estetik amaçlarıyla takılabilen alüminyum esaslı jantların yaz ve kış dönemlerinde çeşitli zorlu ve olumsuz yol şartlarında kullanılması sonucunda alınan şiddetli darbeler çukurlar tümsekler gibi muhtelif nedenlerle jantlar zarar görmekte, deformasyona uğrayabilmekte ve hatta çatlayıp kırılabilmektedirler (newagain.co.uk, 2020).

Teknik emniyet koşulları da dikkate alındığında çeşitli nedenlerle zarar görmüş taşıt jantlarının tamirine veya hurdaya ayrılmasına karar vermek önem taşımaktadır. Bu durumlarda karar verecek olan kişilerin bu alanda uzmanlaşmış Kaynak Mühendisi, Metalurji ve Malzeme mühendisi, Makine mühendisi veya Sertifikalı Kaynak Uzman Personeli olması önem arz etmektedir.

Otomotiv endüstrisinde birleştirme amaçlı kullanılan kaynak yöntemleri arasında TIG (Tungsten Asal Gaz Kaynağı) kaynak yöntemi de yer almaktadır. Bilhassa yüksek alaşımlı çelikler, paslanmaz çelik grupları ve alüminyum malzemelerden üretilmiş parçaların birleştirilmesi işleminde TIG kaynağı çoğunlukla kullanılabilir (Omar, 2011; Srivastava ve Sharma, 2017; Larsson, 2003).

Ancak kaynak ile tamir işlemi sonrasında kaynak bölgesinin işlem görmemiş ana malzemedeki istenilen teknolojik özellikleri karşılama durumu teyit edilmelidir. Bu amaçla kaynak bölgesinin mekanik mikroyapısal özelliklerinin incelenmesinin yanısıra tahribatsız muayene teknikleri ile kontrol edilmesi teknik emniyet açısından önem taşımaktadır. Araştırmacılar; taşıt jantlarının üretimleri sonrası kontrol edilmeleri amacıyla doğrudan jantların üzerlerinde tahribatlı ve tahribatsız birçok test uygulamışlar ve muhtemel kusurların öngörülmesi ile ilgili önemli bilgiler elde etmişlerdir (Sharma ve diğerleri, 2013).

Ayrıca araştırmacılar; taşıt jantlarının genel olarak tercih edilen malzemesi olan A356 alüminyum alaşımı için çeşitli mekanik dayanım özellikleri üzerinde deneysel ve yazılımsal çalışmalar yapmışlardır (Tajiri ve diğerleri, 2015; Tunçay, 2016; K.h. Borase, E.R. Deore, 2016; S.R. Gondhali, M.M. Banubakode, A.K. Biradar, 2017; Y. Lin ve diğerleri, 2015; P. Ramamurty ve diğerleri, 2011; A.Şık ve diğerleri, 2015). Araştırmacılar; jantların üretimleri sonrasında da; yorulma, darbe, çekme, sertlik taraması şeklinde testlerin uygulandığını ifade etmişlerdir (Akdoğan ve diğerleri, 2014). L. Wang ve diğerleri; alüminyum esaslı A356 kodlu (Al-Si-Mg) alüminyum alaşımından mamul jantların yorulma dayanımını incelemişler bu testin jantların kullanımı konusunda güvenilir bilgiler verdiğini ifade etmişlerdir (L.Wang ve arkadaşları, 2009).

Bu çalışmada; bir alüminyum alaşımlı yerli üretim jant malzemesi original yapısı bozulmadan kaynaklı birleştirme amaçlı şerit testere tezgahında su soğutmalı olarak kesilmiştir. Alüminyum esaslı alaşımlarda çoğunlukla tercih edilen TIG Kaynağı yöntemi birleştirme tekniği olarak seçilmiş kaynaklı birleştirme öncesi hazırlanan kesilen kaynak geometrisi hazırlığı yapılan deneysel numuneler hazırlanmıştır.

Birleştirme (kaynak) işlemi sonrasında bağlantının mekanik özellikleri; enine sertlik taramaları (mikro-vickers sertlik ölçümü) işlem görmemiş ana malzeme ile kıyaslanmış, kaynak bölgesi ile işlem görmemiş ana malzemenin mikroyapısal değişimleri incelenmiştir. Kaynaklı parçaların ve işlem görmemiş ana malzemenin yorulma dayanımları müteakip araştırmada gözden geçirilecektir.

Kaynak işlemlerinde muhtemel rastlanılabilecek uygunsuzlukların çözümü neticesinde hasar görebilecek alüminyum esaslı taşıt jantlarının emniyetli bir şekilde tamiri ile milli ekonomiye katkı sağlanabileceği durumu irdelenmiştir.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Deneysel Malzemeler

Çalışmada kullanılan deneysel malzeme yerli üretim bir otomobilden çıkarılmış yaklaşık 90.000 km kullanılmış 13 inch çapında orijinal yerli üretim alüminyum alaşımlı otomobil jantıdır. Jantın resimleri Şekil 1’ de gösterilmektedir.



Şekil 1. Orijinal 13 inch yerli üretim otomobil jantı

Orijinal jant şerit testere tezgâhında su soğutma sıvısı ile soğutulmuş önce 4 eşit parçaya bölünmüştür. Jantın şerit testerede kesilmesi Şekil 2 ‘de verilmektedir.



Şekil 2. Jantın şerit testerede kesilmesi

Jantın kesilmiş hali Şekil 3’ de görülmektedir. Buna göre önce 4 eşit parçaya kesilmiş ardından kaynaklı birleştirme numuneleri için tekrar kesilmiş ve hazırlanmıştır.



Şekil 3. Kesilmiş Jant

Orijinal jant üzerinden alınan test numunesinden AMETEK Spectromax Argon spektrometresi ile spektral analiz testi sonrası kimyasal bileşim sonuçları Tablo 1’ de verilmektedir.

Tablo 1. Jantın kimyasal bileşimi

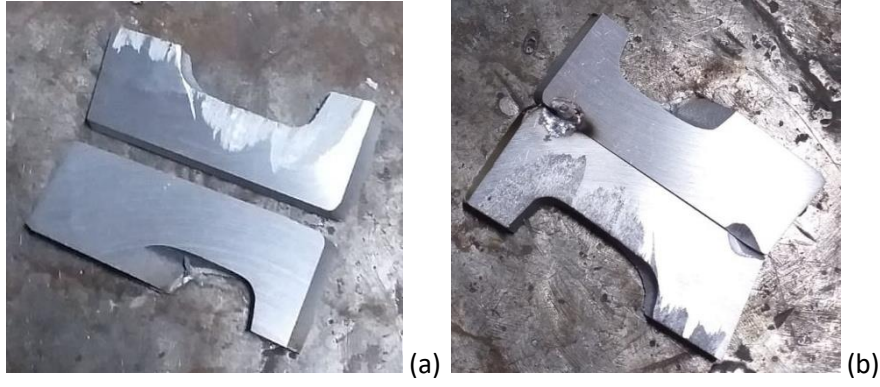
Malzeme	Analiz	Cu	Si	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Ti	Fe	Al	Diğerleri
Orijinal Jant	1	0.0049	7.0686	0.0073	0.2546	0.0015	0.0021	0.0376	0.0010	0.1156	0.1819	92.04	0.2849
	2	0.0019	7.0428	0.0049	0.1987	0.0013	0.0015	0.0166	0.0010	0.1230	0.1193	92.20	0.2890
A356 Alaşımı	ASTM ISO	<0.20	6.5-7.5	<0.10	0.25-0.45	---	---	<0.10	---	<0.20	<0.20	91.3-93.2	---

Spektral analiz sonuçlarına göre orijinal jantın kimyasal bileşimi ASTM A356 (ISO AISi7Mg) alüminyum alaşımına karşılık gelmektedir (TS EN 1706, 2010).

2.2. Deneysel Malzemelerin Birleştirilmeye Hazır Hale Getirilmesi

Jantın dekoratif amaçlı karmaşık geometrik ölçülere sahip olması nedeniyle Şekil 4-(a)’da görüleceği üzere deneysel numuneler 6x66x46 mm boyutlarında plaka halinde kesilip hazırlanmıştır. Kesim işleminde parçaların ısınmaması amacıyla soğutma sıvısı olarak bor yağı kullanılmıştır. Ardından parçalar alkol ve ardından saf su ile temizlenerek kurutulmuşlardır.

Plakalar Şekil 4-(b)’ de görüldüğü gibi parçalar arası 1 mm açıklık bırakılarak 30 derece ağız açıları ile kaynak ön hazırlık işlemi yapılmıştır. TIG kaynağı için plakalar alın altına getirilerek uç kısımlarından TIG Kaynağı ile sabitlenmişlerdir.



Şekil 4. (a) Kaynak edilecek numuneler (b) numunelerin kaynak ile uçlardan sabitleme işlemi sonrası görünüşleri
Plakaları birleştirmek için TIG (Tungsten Inert Gas-Tungsten Asal Gaz) kaynak yöntemi seçilmiştir.

2.3. TIG Kaynak Yönteminin Uygulanması

Hazırlanan plakalar, TIG kaynağı yöntemi ile Şekil 5' de olduğu gibi birleştirilmiştir.



Şekil 5. A356 Plakalara TIG Kaynağı yöntemi uygulaması

Uygulanan TIG Kaynak parametreleri Tablo 2' de verilmektedir. Kaynaklı parçalara tam nüfuziyet elde edilinceye kadar tecrübe edilerek denemeler yapılmıştır.

Tablo 2. TIG Kaynak parametreleri

Koruyucu Gaz Türü	Gaz Debisi (litre/dakika)	Tungsten Elektrot	Kaynak İlerleme Hızı (mm/sn)		Kaynak Akımı AC (Amper)		Kaynak Gerilimi (Volt)	
			Kök Paso	İkinci Paso	Kök Paso	İkinci Paso	Kök Paso	İkinci Paso
Saf argon	8	%2Th içeren tungsten elektrot	2	1.8	80A	110A	12V	13V
%100 Ar								

Çalışmada A356 plakaları birleştirmede 1.6 mm çapında DIN EN ISO 18273 Standardına göre; S AlSi7Mg Alüminyum kaynak ilave telleri kullanılmıştır (DIN EN ISO 18273, 2016).

Kaynak ilave telinin üretici standart kimyasal bileşimi Tablo 3’de verilmektedir.

Tablo 3. TIG kaynak ilave teli kimyasal bileşimi

İlave Tel	Element (%ağırlık)								
	Fe	Mg	Zn	Cu	Si	Mn	Ti	Be	Diğerleri
S-AISI7 Mg	0,20<	0.5-0.8	0,1<	0,05<	6.5-7.5	0.1<	0.2<	0,0003<	0.15

Tüm kaynak işlemlerinde kök ve kapak pasolarında toplam iki paso halinde olacak şekilde %99,999 saflıkta Argon gazı koruyucu gaz olarak kullanılmıştır.

Tablo 2’ de verilen kaynak parametrelerine göre birleştirilen örnek numunelerin ön ve arka görünüşleri Şekil 6’ da verilmektedir.



Şekil 6. Birleştirilen numuneler; (a) 1. Paso (b) 2. (son) paso

2.4. Mikroyapısal İncelemeler

Mikro-yapısal incelemeler için kaynaklı parçalar kesme tezgahında kesilerek bakalite alma (kalıplama) tezgahında kalıplanmışlardır.

Numuneler, zımparalama tezgahında sırasıyla 240, 320, 400, 600, 800 numaralı zımparalama kağıtları ile zımparalanarak parlatma tezgahında 6 µm pasta ile parlatılmışlardır.

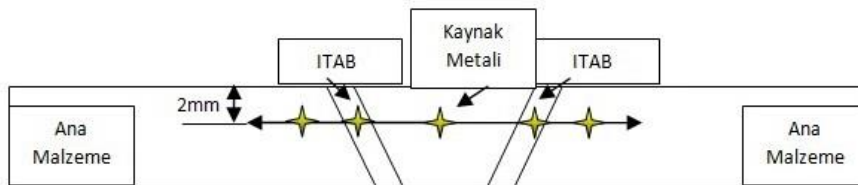
Parlatılmış numuneler mikroyapısal incelemelerde kullanılmak üzere faz ayrımı için %25 NaOH içeren saf su çözeltisinde 10 saniye süre ile daldırılarak dağlanmışlardır.

Mikroyapısal incelemelerde; Nikon marka Eclipse MA100 model metalurji mikroskopunda Clemex lisanslı yazılım desteği ile 100X ve 500X büyütme kapasitesi altında uygulanmış; ana malzeme, ısının tesiri altındaki bölge (ITAB) ve kaynak metali olmak üzere 3 bölgeden incelemeler yapılmıştır.

2.5. Sertlik Taramaları

Ana malzeme ile birlikte kaynaklı bağlantıların kaynak metali ve ısının tesiri altındaki bölgelerde mikro-vickers sertlik taramaları yapılmıştır. Her bölgeden (ana malzeme, ITAB, kaynak metali) 3 adet bağımsız ve yüzeyden 2 mm derinden Şekil 7’ de şematik olarak görüleceği üzere tek hat üzerinden sertlik ölçümü alınmıştır.

Sertlik ölçümlerinde 100 g hücresel yük kullanılmıştır (EN ISO 9015-2, 2016).



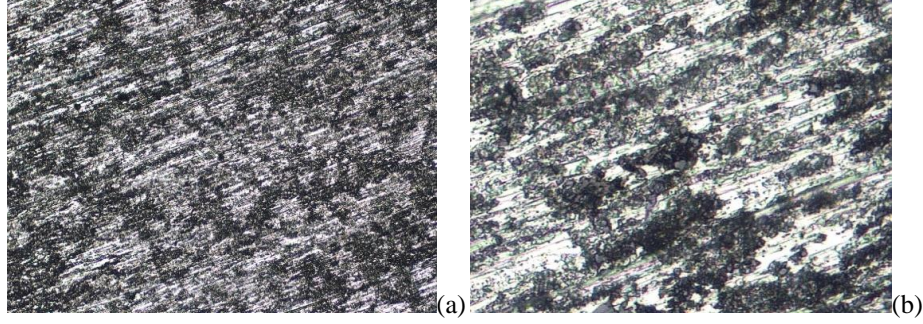
Şekil 7. Kaynaklı numunelerden sertlik ölçüm planı şematik görünümü

Sertlik ölçümünde; 22°C laboratuvar sıcaklığında Emcotest Durascan 20 Model HV10g-10kg yük kapasiteli mikro sertlik ölçüm tezgahı kullanılmıştır.

3. Deneysel Bulgular ve Tartışma

3.1. A356 Alaşımı Jant Ana Malzemesinin Mikroyapıları

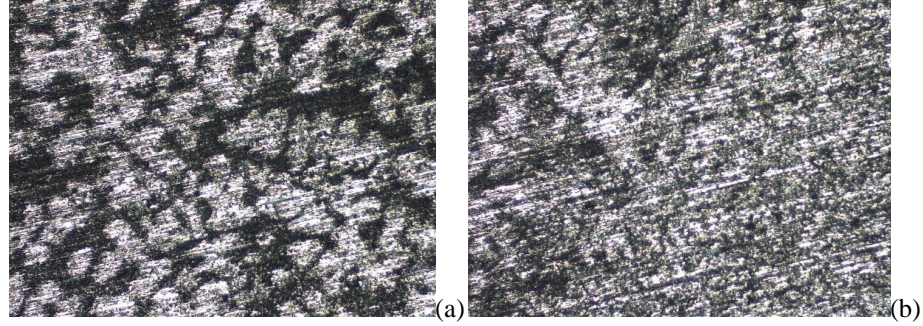
A356 alüminyum alaşımı orijinal jantın ana malzeme (işlem görmemiş haldeki) mikro-yapısı Şekil 8’ de görülmektedir. Açık renkli faz Al yoğun matristeki mikro-fazlar, koyu fazlar ise silisyum-alüminyum çökeltilerini ifade etmektedir.



Şekil 8. A356 Alüminyum alaşımının (jantın) mikroyapısı (a)100X, (b) 500X

3.2. Kaynaklı Parçaların Mikroyapıları

Kaynaklı birleştirme sonrası kaynaklı numunelerden alınan mikro-yapı test parçasının kaynak metali ve ısının tesiri altındaki bölge (ITAB) görüntüleri Şekil 9’ da görülmektedir.

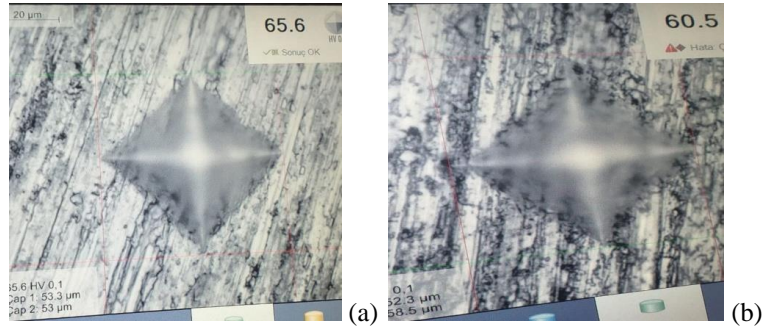


Şekil 9. Kaynaklı parçanın mikro yapı görüntüleri (a) kaynak metali (b) ITAB

Şekil 9’ da görüleceği üzere; alüminyum yoğun açık renkli kontrast kaynak metalinde bir miktar küreselleşmiş ve ITAB’ da ise küresellikten uzaklaşmış daha düzensiz bir yapı sergilemiştir. Mikro-yapılar literatürle uyum halindedir (Voort, 2004).

3.3. Ana Malzeme ve Kaynaklı Parçaların Sertlik Taramaları

Mikro-vickers örnek sertlik ölçüm ekran sonuçları Şekil 10’ da görülmektedir.



Şekil 10. Mikro-vickers sertlik ölçüm ekran görüntüleri (a) ITAB (b) kaynak metali

Mikro-vickers sertlik ölçüm tarama sonuçları Tablo 4’ de verilmektedir.

Tablo 4. Mikro-vikers sertlik ölçüm sonuçları

Ölçüm Bölgesi	Mikro-vikers sertlik ölçüm değeri (HV 0.1)			
	Ölçüm 1	Ölçüm 2	Ölçüm 3	Aritmetik Ortalama
Ana Malzeme	60	60	59	59.66
Isının Tesiri altındaki Bölge (ITAB)	65	66	65	65.33
Kaynak Metali	60	61	61	60.66

Isının tesiri altındaki bölge ortalama olarak 65 HV sertlik değeri sergilemiştir. Ana malzeme ile yakın değerler sergileyen kaynak metali ve ITAB bölgesi kaynaklı birleştirme işlemi sonrası yakın seviyelerde mekanik dayanım değerleri ortaya koymuştur.

4. Sonuçlar

Deneysel çalışmada A356 alüminyum alaşımından imal edilmiş otomobil jantı TIG kaynak yöntemi ile iki pasoda birleştirilmiş ve kaynak metali ile ısının tesiri altındaki bölge mikroyapıları ana malzeme (işlem görmemiş durum) mikroyapıları ile kıyaslanmış ancak özellik değişimlerini önemli ölçüde değişikliğe uğratabilecek bir mikroyapı farklılığı tespit edilmemiştir. Kaynaklı bağlantıda sadece ısının tesiri altındaki bölgelerde, işlem görmemiş ana malzemeye kıyasla bir miktar düzensiz mikroyapı profili mikroyapı resimlerinde gözlenmiştir.

Ana malzeme ile kaynaklı bağlantıların sertlik taramaları incelendiğinde ana malzeme ile kaynaklı bağlantının mikro-vikers sertlik ölçüm sonuçları birbirine yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında yapılan mikro-yapısal incelemeler ve mekanik sertlik dayanım değerleri incelendiğinde; otomobil jantlarının kullanımları sırasında karşılaşılan muhtemel deformasyonları, uzman ve sertifikalı profesyonel kaynakçılar ile tamir edilebilmekte ancak yoğun zarar görmüş deforme olmuş kırılmış durumdaki jantların tamiri yerine yenilerinin alınmasının daha güvenli olacağı dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmanın devamında alüminyum alaşım otomobil jantlarının kullanılmamış ana malzeme halleri ile belirli bir süre ve/veya kilometre kullanımları sonrasında yorulma dayanımları arasındaki ilişki irdelenecektir.

Teşekkür

Yazar; Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne deneysel çalışmalarda finansal desteği için teşekkür eder. (BAP Proje Kodu: 2018/025).

Referanslar

Ashok K. Srivastava, and Ashutosh Sharma. (2017). "Advances in Joining and Welding Technologies for Automotive and Electronic Applications." American Journal of Materials Engineering and Technology, vol. 5, No; 1 7-13. doi: 10.12691/materials-5-1-2

A. Şık, M. Önder, M. S. Korkmaz, (2015). Taşıt jantlarının yapısal analiz ile yorulma dayanımının belirlenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C, Tasarım ve Teknoloji, 3(3), 565-574.

A. Tajiri, Y. Uematsu, T. Kakiuchi, Y. Suzuki. (2015). Fatigue crack paths and properties in A356-T6 aluminum alloy microstructurally modified by friction stir processing under different conditions, Frattura ed Integrità Strutturale, 34, 347-354; doi: 10.3221/IGF-ESIS.34.38

EN ISO 9015-2, (2016). Metalik malzeme kaynaklarında tahribatlı deneyler-Sertlik deneyi-Kısım 2: Kaynaklı birleştirmelerde mikro-sertlik deneyi,

George F, Vander Voort; (2004). Metallography and Microstructures, ASM Metals Handbook Volume 9, ASM International,

<http://newagain.co.uk/contact-menu/alloy-wheel-refurbishment-00.htm> ; (erişim tarihi:06.02.2020).

<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=27640> (erişim tarihi:06.02.2020).

K. H. Borase, E.R. Deore, (2016). Fatigue failure analysis of rim, International Research Journal of Engineering and Technology, Vol. 03 Issue: 08, p.775-782.

- Larsson, J.K. (2003). Overview of joining technologies in the automotive industry, *Welding Research Abroad*. 49. 29-45.
- L. Wang, Y. Chen, C. Wang, Q. Wang; (2011). Fatigue Life Analysis of Aluminum Wheels by Simulation of Rotary Fatigue Test *Journal of Mechanical Engineering* 57-1, 31-39, doi:10.5545/sv-jme.2009.046.
- Mehmet Yener Akdoğan, Emre Esener, Süphan Ercan, Mehmet Fırat, 26 – 27 Mayıs (2014). Disk Tipi Bir Jantın Köşeleme Yorulma Davranışının Sonlu Elemanlar Analizi ile İncelenmesi, OTEKON'2014, 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi BURSA.
- Mohammed A. Omar; (2011). *The Automotive Body Manufacturing Systems and Processes*, Automotive Joining, Chapter3, p.117, John Wiley & Sons Ltd.
- P. Ramamurty, S. Rajesh, B. Satyanarayana, K. Ramji, (2011). Statistical Analysis of Fatigue life data of A356.2-T6 Aluminium alloy, *Tech Science Press, SDHM*, vol. 7, No.2, pp.139-152.
- S.L. Gondhali, M. M. Banubakode, A. K. Biradar, (2017). Structural simulation of car rim using finite element method, *International Research Journal of Engineering and Technology*, Vol. 4 Issue 7,
- Tansel TUNÇAY, (2016). A356 Alaşımında Cu Miktarının Mikroyapı ve Aşınma Davranışı Üzerine Etkisi, *Politeknik Dergisi*, 2016; 19 (4) : 585-592 *Journal of Polytechnic*. 19-(4), 585-592.
- T.Sharma, M. Shrivastava, P. Jayaswal, (2013). *International Journal of Automobile Engineering Research and Development*, Vol. 3 Issue 1.
- TS EN 1706, (2010). Alüminyum ve alüminyum alaşımları- Dökümler- Kimyasal bileşim ve mekanik özellikler.
- TS EN ISO 18273, (2016). Kaynak sarf malzemeleri - Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağı için tel elektrotlar, teller ve çubuklar – Sınıflandırma,
- Y. Liu, W. Jie, Z. Gao, Y. Zheng, H. Luo, W. Song, (2015). Rotary bending fatigue behaviour of A356-T6 aluminium alloys by vacuum pressurizing casting, *Research and development*, Vol.12 No.5.



Dizel Yakıtına Farklı Ağır Alkoller (1-Bütanol, 1-Pentanol ve 1-Hekzanol) İlave Edilmesinin Tek Silindirli Bir Dizel Motorunun Performans, Yanma ve Egzoz Emisyon Karakteristiklerine Etkileri

The Effects of Different Higher Alcohols (1-Butanol, 1-Pentanol, 1-Hexanol) Addition into the Diesel Fuel on the Performance, Combustion, and Exhaust Emission Characteristics of a Single-Cylinder Diesel Engine

Murat Kadir Yeşilyurt*

*Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 66200, Yozgat, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 17/03/2020

Kabul / Accepted: 01/04/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 19/04/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Petrol tüketiminin artmasına bağlı olarak tüm dünyada rezervlerin gün geçtikçe azalması ve çevre kirliliğinin ciddi boyutlara ulaşması araştırmacıları içten yanmalı motorlar için alternatif ve temiz enerji kaynakları araştırmaya yönlendirmiştir. Kısa zincirli alkollerin (metanol ve etanol) düşük enerji içerikleri ve setan sayıları gibi olumsuz özelliklerinden dolayı kimyasal yapılarında dört ya da daha fazla karbon atomu içeren ağır alkoller, dizel motorlar için ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı, dizel yakıtına hacimsel olarak %15 oranlarında 1-bütanol, 1-pentanol ve 1-hekzanol alkollerini eklenerek hazırlanan alternatif yakıtları (Bt15: %15 1-bütanol + %85 dizel yakıtı, Pt15: %15 1-pentanol + %85 dizel yakıtı, Hk15: %15 1-hekzanol + %85 dizel yakıtı) tek silindirli, dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda 1500 d/d sabit motor devri ve farklı yüklerde (%25, %50, %75 ve %100) test ederek performans, emisyon ve yanma karakteristiklerini referans dizel yakıt (D100) ile karşılaştırmaktır. Sonuç olarak, alkollerin dizel yakıtına göre düşük kalori değerlerine sahip olmalarından dolayı, alkol karışımli yakıtlar fren termal veriminin azalmasına, fren özgül yakıt tüketiminin ise yükselmesine neden olmuştur. %100 motor yükünde; D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 yakıtlarının maksimum net ısı salımı hızları sırasıyla 29,55 J/°, 31,14 J/°, 32,66 J/° ve 33,80 J/° olarak bulunurken, maksimum silindir basınçları ise sırasıyla 46,97 bar, 47,76 bar, 48,41 bar ve 48,91 bar olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca alkol karışımli yakıtların düşük setan sayılarından dolayı tutuşma gecikmesi süresini dizel yakıtına göre genel olarak artırdığı belirlenmiştir. Dizel yakıtına alkol ilavesi ile CO, HC ve NO_x emisyonları ile egzoz gazı sıcaklıkları azalırken, CO₂ ve O₂ emisyonları ise artmıştır. Tüm deneysel sonuçlar değerlendirildiğinde, Hk15 karışımının performans, emisyon ve yanma özellikleri açısından en iyi sonuçları verdiği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler

“Yanma karakteristikleri, egzoz emisyonları, performans, ağır alkol, dizel motor”

Abstract

The reduction of petroleum reserves day by day all over the world depending on the increase in petroleum consumption and the reaching serious levels of environmental pollution have led researchers to search alternative and clean energy sources for internal combustion engines. The higher alcohols having four or more carbon atoms in their chemical structure come to the fore for diesel engines due to the negative properties of short-chain alcohols (methanol and ethanol) such as low energy content and cetane number. The aim of this study is to compare the performance, emissions, and combustion characteristics of a single-cylinder, four-stroke, direct injection diesel engine operating with alternative fuels which contains 15% by volume of 1-butanol, 1-pentanol and 1-hexanol alcohols (Bt15: 15% 1-butanol + 85% diesel fuel, Pt15: 15% 1-pentanol + 85% diesel fuel, Hx15: 15% 1-hexanol + 85% diesel fuel) with reference diesel fuel (D100) by testing at a fixed engine speed of 1500 rpm and different loads (25%, 50%, 75%, and 100%). As a result, it is noticed to be that alcohol-infused fuel blends caused to decrease the brake thermal efficiency and increase brake specific fuel consumption due to the lesser calorific values of the alcohols according to the diesel fuel. At 100% engine load, the maximum cylinder pressures were observed as 46.97 bar, 47.76 bar, 48.41 bar, and 48.91 bar, respectively while the peak net heat release rates of D100, Bt15, Pt15, and Hx15 were found to be at 29.55 J/°, 31.14 J/°, 32.66 J/°, and 33.80 J/°, respectively. Besides, it is determined that the ignition delay period of the alcohol-treated fuel blends is generally extended as compared to the diesel fuel because of the lower cetane number of alcohol. CO₂ and O₂ emissions increased with the addition of alcohol to diesel fuel while CO, HC and NO_x emissions as well as exhaust gas temperatures reduced. When all experimental results were evaluated, it could be noted that the Hx15 blend gave the best results in terms of performance, emissions and combustion properties.

Key Words

“Combustion characteristics, exhaust emissions, performance, higher alcohol, diesel engine”

Terminoloji

HC	Yanmamış hidrokarbon
CO	Karbon monoksit
B15	%15 biyodizel + %85 dizel yakıtı
B20	%20 biyodizel + %80 dizel yakıtı
B50	%50 biyodizel + %50 dizel yakıtı
CO ₂	Karbon dioksit
NO _x	Azot oksitler
NO	Azot monoksit
NO ₂	Azot dioksit
O ₂	Oksijen
ASTM	American society for testing and materials
Bt15	%15 1-butanol + %85 dizel yakıtı
Pt15	%15 1-pentanol + %85 dizel yakıtı
Hk15	%15 1-hekzanol + %85 dizel yakıtı
D100	%100 dizel yakıtı
KMA, θ	Krank mili açısı
NISH	Net ısı salımı hızı
Q_{net}	Enerji miktarı
γ	Özgül ısılar oranı
P	Silindir basıncı
V	Silindir hacmi
EB	Enjeksiyon başlangıcı
YB	Yanma başlangıcı
TG	Tutuşma gecikmesi
FÖYT	Fren özgül yakıt tüketimi
FÖET	Fren özgül enerji tüketimi
η_t	Fren termal verimi
EGS	Egzoz gazı sıcaklığı
R	Bağımsız değişkenlere bağlı bir faktör
x	Bağımsız değişken
w	Belirsizlik değeri
MSBA	Maksimum silindir basıncının oluştuğu krank mili açısı
MSB	Maksimum silindir basıncı
MOGS	Maksimum ortalama silindir gaz sıcaklığı
MOGSA	Maksimum ortalama silindir gaz sıcaklığının oluştuğu krank mili açısı
MNISH	Maksimum net ısı salımı hızı
MNISHA	Maksimum net ısı salımı hızının oluştuğu krank mili açısı
MKIS	Kümülatif ısı salımı
MKIS	Maksimum kümülatif ısı salımı
MKISA	Maksimum kümülatif ısı salımının oluştuğu krank mili açısı
MBAO	Maksimum basınç artış oranı
MBAOA	Maksimum basınç artış oranının oluştuğu krank mili açısı
P_e	Efektif motor gücü
$\dot{m}_{yakıt}$	Yakıtın kütleli debisi
Q_{AID}	Yakıtın alt ısı değeri
\dot{m}_h	Havanın kütleli debisi
ρ_h	Havanın yoğunluğu
N	Motor devri
T	Motor torku
m	Motor yükü
g	Yer çekimi ivmesi
l	Bağlantı kolu uzunluğu
B90D5H5	%90 biyodizel + %5 dizel + %5 hekzanol
ÜÖN	Üst ölü nokta

1. Giriş

Dizel motorlar, benzinle motorlara kıyasla daha yüksek yakıt dönüşüm verimliliği, daha yüksek tork kapasitesi, daha yüksek dayanıklılık ve daha düşük yanmamış hidrokarbon (HC) ve karbon monoksit (CO) emisyonlarından dolayı tüm dünyada bir çok endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Kumar ve ark., 2016). Enerji ihtiyacının artması, petrol rezervlerinin giderek azalması, petrol fiyatlarındaki dalgalanmalar ve özellikle fosil kökenli yakıtların kullanılmasıyla birlikte hava kirliliği ile ilgili endişeler nedeniyle araştırmacıların alternatif, sürdürülebilir ve temiz yakıtlara olan ilgileri her geçen gün artmaktadır (Emiroğlu ve Şen, 2018a). Biyolojik kökenli yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanımı, emisyonların azaltılmasında kullanılabilir olan önemli bir adımdır (Park ve ark., 2012). Bu nedenle alkollerin motorlarda alternatif yakıt olarak tercih edilmesi ile hem çevresel kirlenmeler azalacak hem de petrole olan bağımlılık düşecektir.

Alkoller, sıvı fazda olmaları ve bünyelerinde yüksek oksijen içermeleri nedeniyle uygun bir dizel yakıt katkı maddesi olarak düşünülmektedir (Kumar ve ark., 2013). Birçok alkol çeşidi bulunmasına rağmen kısa zincirli alkoller (hafif alkoller) içten yanmalı motorlarda birçok araştırmacı tarafından test edilmiştir (Jamrozik ve ark., 2019; Ma ve ark., 2019; Duraisamy ve ark., 2020). Kısa zincirli alkoller, üç ya da daha az karbon atomu içeren alkollerdir. Bu alkollerin gelişmiş üretim teknolojilerinin bulunması ve motorların emisyon seviyelerini azaltılmasının yanı sıra yanma özelliklerini de iyileştirmesi en önemli avantajlarından (Xingcai ve ark., 2004). Ancak, düşük setan sayıları, yüksek gizli buharlaşma ısıları, dizel yakıt ile karışabilme ve kararlılık sorunları hafif alkollerin dizel motorlarda kullanımını sınırlandırmaktadır (Li ve ark., 2019).

Moleküler yapılarında, dört ya da daha fazla karbon atomu içeren uzun zincirli alkoller (ağır alkoller), düşük karbonlu alkollere göre dizel yakıt katkı maddesi olarak düşünüldüğünde ek avantajlar sağlayabilmektedir. Bütanol (4 karbon), pentanol (5 karbon), heksanol (6 karbon), heptanol (7 karbon), oktanol (8 karbon), dodekanol (12 karbon) ve fitol (20 karbon) ağır alkollerden bazılarıdır (Kumar ve Saravanan, 2016). Bu alkollerin yüksek setan sayılarına ve enerji içeriklerine sahip olmaları en büyük artılarıdır. Ayrıca, ağır alkoller daha iyi karışım oluşturma kabiliyetlerinden dolayı dizel yakıtlar ile daha yüksek karışım oranlarında harmanlanabilirler. Üstelik, ağır alkollerin sahip olduğu zayıf higroskopik özelliklerinden dolayı depolama ve taşıma sırasında herhangi bir olumsuz sorun oluşturmamaktadır (Ma ve ark., 2017). Diğer bir ifadeyle, ağır alkoller düşük korozyif etkilerinden dolayı yakıt enjeksiyon sistemine ve iletim hatlarına zarar vermemektedir (Rasskazchikova ve ark., 2004). Mevcut yakıt dağıtım altyapısı içinde daha güvenli depolama ve kullanım sağlayan yüksek parlama noktalarına sahiptirler (Doğan, 2011). Uzun zincirli alkoller daha düşük oksijen içeriğine sahip olmalarına rağmen hava/yakıt karışımının yeterli miktarda oluşmasına izin veren nispeten daha uzun tutuşma gecikmesi (TG) sayesinde ani yanma fazını ve dolayısıyla difüzyon yanma fazını iyileştirebilme özellikleri bulunmaktadır. (Kumar ve Saravanan, 2016). Ayrıca ağır alkollerin üretimi sırasında diğer hafif alkollere göre enerji tüketim seviyeleri düşüktür. Çünkü büyük makro molekülleri parçalamanın biyolojik süreci daha erken sonlanabilir (Campos-Fernández ve ark., 2012).

Bütanol, n-bütanol, n-bütül alkol ya da bütan-1-ol olarak da adlandırılan bütül alkol; renksiz, berrak, suyla karışmayan ve biyolojik kökenli kaynaklardan elde edilebilen bir alkoldür. Bütanol kalıcı olmayan orta dereceli bir kokuya sahiptir. Plastik, kozmetik, boya, yiyecek ve temelde izobütül asetat üretiminde çözücü olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda, motor yağlarında pas ve yıpranmaya karşı kullanılan maddelere ilave edilmektedir. Bütanol zehirli bir alkoldür. Yanma eğilimi gösterir. Isıl değeri dizel yakıtından azdır. %40 oranına kadar dizel yakıtına katılarak kullanılabilir (Özer, 2010). Bütanol ile ilgili çalışmalar incelediğinde, dizel yakıtına ve farklı hammaddelerden üretilmiş biyodizel yakıtına ilave edilerek kullanıldığı gibi bununla birlikte bu üç yakıtın değişik oranlarda harmanlanarak da sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda kullanıldığı çalışmalara rastlanmıştır. Bu çalışmalardan bazıları şu şekilde özetlemek mümkündür. Rakopoulos ve ark. (2010) dizel yakıtına hacimsel olarak %8, %16 ve %24 oranlarında n-bütanol ilave ederek hazırladıkları yakıtları tek silindirli, dört-zamanlı, direkt enjeksiyonlu bir araştırma motorunda sabit devir (2000 d/d) ve üç farklı motor yükü altında test ederek performans ve emisyon değişimlerini dizel yakıt ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, bütanol ilavesi ile duman koyuluğu, azot oksit (NO_x) ve CO emisyonlarının azaldığını, HC emisyonunun ise arttığı tespit etmişlerdir. Chen ve ark. (2013) dizel yakıtına bütanol katılmasının duman emisyonunu azalttığını ve düşük yüklerde NO_x emisyonlarını düşürdüğünü belirtmişlerdir. Yılmaz ve ark. (2014) atık kızartma yağı biyodizeline hacimsel olarak %5, %10 ve %20 oranlarında bütanol ilave etmişler ve test yakıtlarını iki silindirli, dört zamanlı, indirekt püskürtmeli bir dizel motorda denemişlerdir. Bütanol ilavesinin biyodizel yakıtına göre egzoz gazı sıcaklıklarını ve NO_x değerlerini düşürdüğünü, CO ve HC emisyonlarını ise yükselttiğini bulmuşlardır. Ayrıca, bütanolün kalorifik değerinin dizel yakıttan az olmasından dolayı özgül yakıt tüketimi değerlerinin arttığını belirlemişlerdir. Şahin ve ark. (2015) turbo şarjlı bir motorda dizel/n-bütanol karışımlarını kullanmışlar ve sonuçta duman koyuluğunun azaldığını, düşük alkol konsantrasyonlarında NO_x emisyonlarının hafifçe azaldığını, yüksek oranlarda ise tam tersi bir durumun söz konusu olduğunu bildirmişlerdir. Atmanlı (2016) aynı orandaki atık kızartma yağı biyodizeli/dizel yakıt karışımına %20 oranlarında propanol, n-bütanol ve 1-pentanol ilavesi yaparak hazırladığı üçlü alternatif yakıt karışımlarını dört silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı bir dizel motorda 1800 d/d sabit motor devri ve 1-9 kW yük koşulları altında test etmiş ve sonuçları B50 (50% biyodizel + %50 dizel yakıtı) karışım yakıtı ile karşılaştırmıştır. Alkollerin enerji içeriklerinin birbirlerinden farklı olmasından dolayı n-bütanol ve 1-pentanol karışımı yakıtların özgül yakıt tüketimlerinin B50 yakıtına göre sırasıyla %0,89 ve %0,95 oranlarında düşük olduğunu buna karşın propanol ilave edilen yakıtın ise %5,28 oranında özgül yakıt tüketimini artırdığını tespit etmiştir. Propanol, n-bütanol ve 1-pentanol katılan yakıt örnekleri CO emisyonlarını sırasıyla %39,95, %38,83 ve %12,60 oranlarında artırırken, NO_x emisyonlarını ise sırasıyla %15,05, %19,27 ve %27,44 oranlarında azaltmıştır. İbrahim (2016) %10 ve %20 oranlarında alkol ihtiva eden bütanol/atık kızartma yağı biyodizeli/dizel yakıt karışımlarını denediği çalışmada, bütanol ilavesinin performans, emisyon ve yanma davranışları noktasında ihmal edilebilir değişimlere yol açtığını ve dizel motorlarda bütanol kullanılmadan önce motorların optimize edilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Nabi ve ark. (2017) dizel yakıtına n-bütanol katılmasının motor performansında önemli bir değişikliğe neden olmadığını, ancak birçok egzoz emisyonunu düşürdüğünü bildirmişlerdir. Nanthagopal ve ark. (2018) çalışmalarında *Calophyllum inophyllum*

biyodizeline yüksek oranlarda (%40, %50 ve %60) 1-butanol ve 1-pentanol ilave ederek hazırladıkları yakıtları performans, emisyon ve yanma karakteristikleri açısından karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, her iki alkolün dizel bir motorda herhangi bir modifikasyona gerek duyulmadan katkı maddesi olarak kullanılabileceğini, saf biyodizel yakıtına kıyasla performansı kötüleştirdiğini, NO_x hariç diğer emisyonları azalttığını ve ağır alkollerin yüksek karışım oranlarından ziyade performans ve emisyonları iyileştirmek için daha düşük oranlarda kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır. Ashok ve ark. (2019a) *Calophyllum inophyllum* biyodizeline %20 oranında izobütanol ilavesinin fren termal verimini (FTV) %3 oranında iyileştirdiğini, alkol/biyodizel/dizel üçlü karışımlarının CO emisyonunu %29-60 aralığında, NO_x emisyonunu %12 oranında ve duman emisyonunu önemli miktarda azalttığını belirlemişlerdir. Isı salımı hızlarının ise tüm ikili ve üçlü karışımlarda daha yüksek meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Pentanol; n-pentanol, n-amil alkol ya da pentan-1-ol olarak adlandırılmaktadır ve yenilenebilir hammaddelerden üretilmektedir. Setan sayısı ve enerji içeriği diğer alkollere göre fazladır. %45 oranına kadar dizel yakıtına katılarak kullanılabilir (Li ve ark., 2015a). Literatürdeki kaynaklar incelendiğinde pentanol ile ilgili çalışma sayısının sınırlı olduğu ve genel olarak biyodizel ve biyodizel/dizel yakıt karışımlarına harmanlanarak dizel motorlarda kullanıldığı görülmüştür. Örneğin, Campos-Fernández ve ark. (2013) dizel yakıtına hacimsel olarak %10, %15, %20 ve %25 oranlarında 1-pentanol ilave etmiş ve bir dizel motorda performans testleri gerçekleştirmiştir. Karışım yakıt kullanıldığında motor gücü, FTV ve özgül yakıt tüketimi değerlerinde önemsiz değişikliklerin meydana geldiğini, motorun çalıştırılması esnasında herhangi bir zorluk ile karşılaşmadıklarını bildirmişlerdir. Li ve ark. (2015b) pentanolün, dizel yakıtın aksine daha düşük bir tepe basıncı artış oranıyla daha yumuşak bir ısı salımı oranı elde etmek için belirgin özellikler sunduğunu gözlemlemişlerdir. Imdadul ve ark. (2016a) tamanu yağı biyodizeli/dizel yakıt karışımlarına hacimsel olarak %15 ve %20 oranlarında n-bütanol ve 1-pentanol eklemişler ve tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli bir dizel motorda test ederek motor performans ve egzoz emisyonlarını B15 (%15 biyodizel + %85 dizel yakıtı) ve B20 (%20 biyodizel + %80 dizel yakıtı) karışım yakıtları ile karşılaştırmışlardır. Sonuçta, B15 ve B20 yakıtlarına göre alkol ilaveli karışımların özgül yakıt tüketimlerinin azaldığını, fren güçlerinin arttığını, karbon dioksit (CO₂) ve azot monoksit (NO) emisyonlarının arttığını, CO ve HC emisyonlarını ise azaldığını gözlemlemiştir. Imdadul ve ark. (2016b) bir başka çalışmalarında ise dizel yakıtına %10, %15 ve %20 oranlarında tamanu yağı biyodizeli ve pentanol ilave etmişler, motor performansı ve egzoz emisyon karakteristiklerini B20 yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Pentanol ilavesi ile özgül yakıt tüketimi ortalama %8,7 oranında azalırken, FTV %15 oranında ve fren gücü %10,4 oranında artmıştır. Alkol ilavesinin silindir basıncını artırdığını, yanmayı iyileştirdiğini ve yanma başlangıcını geciktirdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca, pentanolün CO, HC ve CO₂ emisyonlarını ortalama %21,2, %33,1, %43,45 ve %2,5 oranlarında düşürdüğünü gözlemlemişlerdir. Zhu ve ark. (2016) atık kızartma yağından ürettikleri biyodizeli hacimsel olarak sırasıyla %10, %20 ve %30 oranlarında n-pentanol ile harmanlamışlar ve dört silindirli- dört zamanlı bir dizel motorda denemişlerdir. Karışım içerisindeki pentanol oranının artmasına bağlı olarak yanma başlangıcının ve maksimum ısı salımının oluştuğu krank açısının üst ölü noktadan (ÜÖN) uzaklaştığını, silindir basıncının ve ısı salımı hızının yükseldiğini, HC ve CO emisyonlarının kötüleştiğini ortaya koymuşlardır. Yilmaz ve Atmanlı (2017a) yeni nesil ağır alkol olarak pentanolü %35 oranına kadar dizel yakıt ile harmanlamışlar ve bir dizel motorda deneysel olarak değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, egzoz gazı sıcaklığını, CO ve NO_x emisyonlarını azaltması nedeniyle %5 pentanol içeren yakıt karışımının dizel motorlar için potansiyel bir alternatif yakıt adayı olduğunu bildirmişlerdir. Pan ve ark. (2019) dizel yakıtına %50 oranında n-pentanol ilavesinin atomizasyon karakteristiklerini iyileştirdiğini, duman koyuluğunu azalttığını, ancak özgül yakıt tüketimi ile HC emisyonlarını önemli ölçüde artırdığını bulmuşlardır. Sridhar ve ark. (2020) %20 1-pentanol/%80 atık kızartma yağı biyodizeli ve 20% 1-pentanol/%80 dizel yakıt karışımlarının performans ve emisyon sonuçlarını hem dizel yakıt ile hem de %100 biyodizel ile karşılaştırmışlardır. 1-pentanolün NO_x, HC ve CO emisyonlarını azaltırken FTV'de kötüleşmeye neden olduğunu ortaya koymuşlardır.

Heksanol, kimyasal zincirinde altı adet karbon atomu içeren organik bir ağır alkoldür. Kimyasal formülü CH₃(CH₂)₅OH'tir. Renksiz bir sıvıdır, suda az çözünür, ancak dietil eter ve etanol ile karışabilir. Endüstriyel olarak ekinlerden, mısırlardan, sebzelerden, tarımsal gıda ve içecek işlemeden kaynaklanan atıklar gibi diğer hammaddelerden elde edilebilen etil alkolün oligomerizasyonu ile üretilir. Bundan dolayı yenilenebilir bir katkı maddesi olarak motorlarda değerlendirilebilir (Sundar ve Saravanan, 2011). Literatürde heksanol ile ilgili sınırlı sayıda çalışma olduğu açıkça söylenebilir. Bunlardan bazıları özet olarak sunulmuştur. Aloko ve ark. (2007) heksanol/dizel yakıt karışımlarının yoğunluk, parlama noktası, viskozite gibi birçok yakıt özelliğini ölçmüş ve bir dizel motor için ASTM (American Society for Testing and Materials) standardında verilen sınırlar değerleri karşıladıklarını belirlemişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, %5 heksanol/%95 dizel yakıt karışımının dizel yakıtına benzer özellikler sergilediğini ve anilin noktasının yüksek olduğunu, dolayısıyla yakıtın daha az emisyonla çevreyi çok fazla kirletmeyeceğini ortaya koymuşlardır. Zhang ve ark. (2008) zincir uzaması ile doğal olmayan bir metabolik süreç kullanarak heksanolün glikozdan biyosentez olasılığını göstermişlerdir. Machado ve ark. (2012) anaerobik büyüme seçimi için altı karbonlu ve sekiz karbonlu ağır alkollerin sentezini arttıran enzimlerin seçilmesine veya zenginleştirilmesine izin veren bir metot geliştirmişlerdir. Babu ve Anand (2017) bir dizel motorda %5 ve %10 oranlarında alkol ihtiva eden n-pentanol/biyodizel/dizel ve n-heksanol/biyodizel/dizel yakıt karışımlarını test etmişlerdir. Alkollerin ilave edilmesiyle performans ve yanma davranışlarının iyileştiğini, emisyonlarında azaldığını göstermişlerdir. De Pours ve ark. (2017) bir dizel motorda dizel ile %10, %20 ve %30 oranlarında 1-heksanol karışımlarını kullanmışlar ve karışım içerisindeki 1-heksanol konsantrasyonunun artışına bağlı olarak duman yoğunluğunun azaldığını ancak yüksek yüklerde NO_x emisyonlarının arttığını tespit etmişlerdir. Pandian ve ark. (2018) çalışmalarında, kaju yağından üretilen biyodizel %10 ve %20 oranlarında heksanol katmışlar ve bir dizel motorda deneyerek performans ve emisyon analizi gerçekleştirmişlerdir. Sonuçta, heksanolün CO, HC, NO_x ve duman emisyonlarını azaltıcı yönde etki yaptığını, FTV'yi düşürürken özgül yakıt tüketimini yükselttiğini belirlemişlerdir. Ashok ve ark. (2019b) *Calophyllum inophyllum* biyodizeli/dizel yakıt karışımına %30 ve %40 oranlarında heksanol ve dekanol ağır alkollerini ilave etmişler ve bir dizel motorda deneyerek sonuçları karşılaştırmışlardır. Ağır alkollerin kullanılmasıyla HC, CO, NO_x ve duman emisyonlarının azaldığını, ancak ticari boyutta bu alkollerin kullanılabilmesi için uzun süreli testlere ihtiyaç olduğunu vurgulamışlardır. Ramesh ve ark. (2019)

Calophyllum inophyllum biyodizeli/dizel yakıt karışımına hacimsel olarak %10, %15, %20, %30 ve %40 oranlarında hekzanol ilave ettikleri yakıt karışımlarında dizel yakıt miktarını (%50) sabit tutmuşlardır. Hekzanol ilavesinin HC, CO, NO_x ve duman emisyonlarını azalttığını, silindir basıncının ve ısı salımı oranı değerlerinin iyileştiğini ve bu nedenle %30 ve %40 hekzanol oranlarının ileride dizel yakıtının yerine potansiyel bir alternatif aday olabileceğini bildirmişlerdir.

Yukarıda da bahsedildiği gibi, literatürde çeşitli alkol/dizel karışım yakıtlarının kullanıldığı sıkıştırma ile ateşlemeli motorların performans ve emisyon karakteristiklerinin araştırıldığı bir çok çalışma mevcuttur. Fakat, alkol karışımlı yakıtların yanma davranışları ile ilgili literatürdeki çalışmalar performans ve emisyon çalışmalarıyla karşılaştırıldığında oldukça sınırlıdır. Kapsamlı bir analiz yürütmek için, farklı zincir uzunluklarına sahip ağır alkoller aynı motorda ve aynı test koşullarında deneyerek yanma karakteristikleri, egzoz emisyonları ve motor performansı üzerindeki etkilerini analiz etmek ve karşılaştırmak gereklidir.

Bu deneysel çalışmanın temel amacı, dizel yakıtı ile harmanlanan farklı ağır alkollerin yanma, emisyon ve performans davranışlarını sistematik olarak incelemek ve sonuçları güncel literatür ışığında tartışmaktır. Bu doğrultuda, dizel yakıtı hacimsel olarak %15 oranlarında 1-bütanol (4 karbonlu), 1-pentanol (5 karbonlu) ve 1-hekzanol (6 karbonlu) ağır alkoller ile harmanlanmışlar ve elde edilen yakıtların tamamı ve referans olarak kullanılan dizel yakıtı tek silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda sabit devir (1500 d/d) ve farklı yük (%25, %50, %75 ve %100) koşulları altında test edilmiştir. Sonuçlar hem dizel yakıtı ile hem de birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

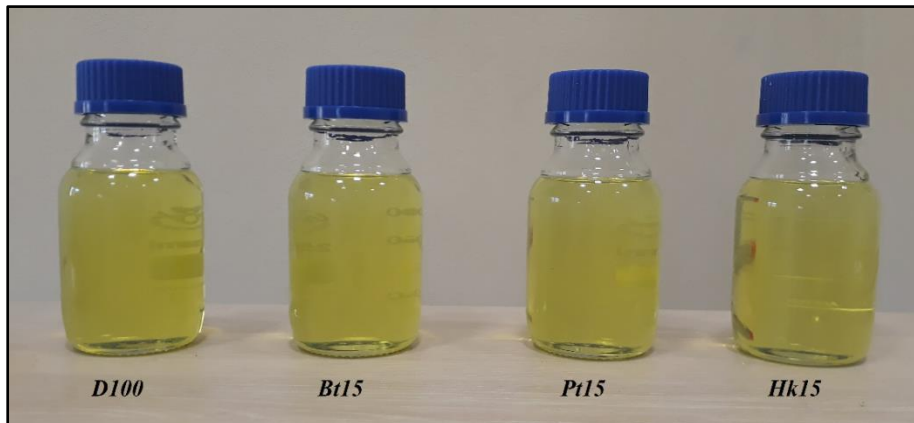
Bu çalışmada, farklı zincir uzunluklarına sahip ağır alkollerin motor performansı, egzoz emisyonları ve yanma karakteristikleri üzerine etkilerini anlayabilmek için 1-bütanol, 1-pentanol ve 1-hekzanol alkollerini petrol kökenli dizel yakıtı ile harmanlanmıştır. 1-bütanol (%99 saflıkta) Emir Kimya (Ankara, Türkiye) firmasından, 1-pentanol (%99 saflıkta) Acros Organics (New Jersey, ABD) firmasından ve 1-hekzanol (\geq %98 saflıkta) Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından temin edilmiştir. Referans verilerini elde edebilmek için kullanılan dizel yakıtı (D100) ise Yozgat ilinde bulunan bir petrol istasyonundan satın alınmıştır.

Karışım yakıtları hazırlamak için 1-bütanol, 1-pentanol ve 1-hekzanol dizel yakıtı ile hacimsel olarak %15 oranında harmanlanmıştır. Bu karışım yakıtlar Bt15 (%15 1-bütanol + %85 dizel yakıtı), Pt15 (%15 1-pentanol + %85 dizel yakıtı) ve Hk15 (%15 1-hekzanol + %85 dizel yakıtı) olarak isimlendirilmiştir. Testlerde kullanılan yakıtların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Alkollerin yüksek oksijen içeriğine sahip olmalarına rağmen, düşük setan sayısı ve ısıl değerleri nedeniyle zayıf yanma davranışlarını en aza indirebilmek için karışımlardaki alkol oranı %15 olarak tercih edilmiştir.

Tablo 1. Testlerde Kullanılan Yakıtların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

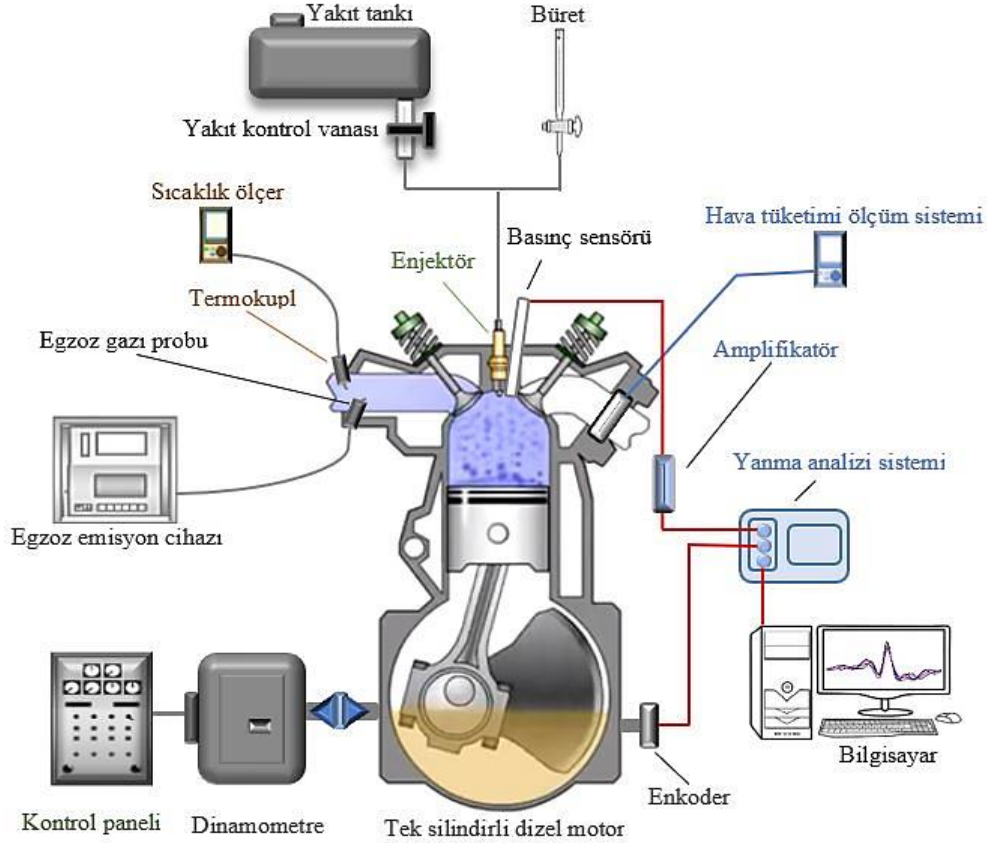
No	Özellik	Birim	D100	Bt15	Pt15	Hk15
1	Yoğunluk	g/cm ³	0,825	0,820	0,821	0,823
2	Parlama noktası	°C	59	38	49	59
3	Kinematik viskozite	mm ² /s	2,647	2,588	2,687	2,971
4	Alt ısısal değer	kJ/kg	42553	40972	41368	42035
5	Setan sayısı	-	55	49,30	49,75	50,2
6	Karbon	% m/m	87,05	83,72	84,21	84,57
7	Hidrojen	% m/m	12,95	13,03	13,05	13,06
8	Oksijen	% m/m	0	3,25	2,74	2,37
9	Karbon/hidrojen	-	6,722	6,425	6,453	6,476

Karışım yakıtlar hazırlandıktan sonra faz ayrışması oluşması ihtimaline karşı laboratuvar şartlarında Şekil 1'de gösterildiği gibi vida kapaklı cam şişelerde bir hafta boyunca bekletilmiştir. Bir haftanın sonunda herhangi bir faz ayrışmasının oluşmadığı gözlemlenmiştir. Yine de motor testlerinden önce de karışım yakıtlar tekrar karıştırılmıştır.



Şekil 1. Test Yakıtları

Motor deneyleri, motor üzerinde herhangi bir modifikasyon yapılmadan ve motorun tam yük koşulunda sabit çalışabileceği en düşük hız olan 1500 d/d motor hızında %25, %50, %75 ve %100 değişken motor yüklerinde gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan karışım yakıtlar, petrol kökenli dizel yakıt ile karşılaştırılabilmesi için aynı koşullar altında test edilmiştir. Motor test düzeneğinin şematik görünümü Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Motor Test Düzeneğinin Şematik Görünümü

Testler için; tek silindirli, dört zamanlı, doğal emişli, su soğutmalı, direkt püskürtmeli bir araştırma motoru kullanılmıştır. Test motorunun teknik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Test Motorunun Teknik Özellikleri

Firma	Apex Innovations Pvt. Ltd
Marka	Kirloskar
Model	TV1
Ateşleme sistemi	Sıkıştırma ile ateşlemeli
Enjeksiyon sistemi	Direkt enjeksiyonlu
Yakıt püskürtme avansı	23° KMA
Yakıt püskürtme basıncı	210 bar
Silindir sayısı	1
Zaman sayısı	4
Silindir çapı	87.5 mm
Strok uzunluğu	110 mm
Silindir hacmi	661,45 cm ³
Sıkıştırma oranı	17.5
Maksimum motor gücü	3,5 kW
Motor hızı	1500 d/d
Soğutma sistemi	Su soğutmalı
Yakıt tankı kapasitesi	15 L
Enjektör delik sayısı	4

Motoru farklı yük koşullarında test edebilmek için krank miline su soğutmalı Baturalp Taylan marka bir eddy-current dinamometre monte edilmiştir. Yakıt tüketiminin ölçümünde standart büret düzeneği kullanılmıştır. Her bir test yakıtının 100 mL’lik tüketim süresi dijital kronometre ile bulunmuştur. Silindir içine emilen hava miktarının ölçümü bir orifismetre yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Motor suyu giriş-çıkış, motor yağı ve egzoz gazı sıcaklıklarının ölçümü için k tipi termokupllar kullanılmıştır.

Egzoz gazlarının (CO, CO₂, HC, O₂ ve NO_x) ölçümü için K-Test marka bir egzoz gazı analizörü kullanılmıştır. Bu cihaz yüzdesel ve ppm cinsinden ölçüm yapmaktadır. Egzoz gazı test cihazı; HC emisyonunu 0-4000 ppm aralığında 1 ppm hassasiyetle, CO emisyonunu 0-10 %vol aralığında 0,001 %vol hassasiyetle, CO₂ emisyonunu 0-20 %vol aralığında 0,01 %vol hassasiyetle, O₂ emisyonunu 0-25 %vol aralığında 0,01 %vol hassasiyetle ve son olarak NO_x emisyonunu 0-4000 ppm aralığında 1 ppm hassasiyetle ölçebilmektedir. Deneyler tamamlandıktan sonra ölçümü gerçekleştirilen emisyonlar literatürde önerilen eşitlikler kullanılarak g/kWh birimine dönüştürülmüştür (Pilusa ve ark., 2012; Ağbulut ve ark., 2019). Bu eşitlikler aşağıda sunulmuştur.

$$CO \left(\frac{g}{kWh} \right) = 3,591 \times 10^{-3} \times CO \text{ (ppm)} \quad (1)$$

$$NO_x \left(\frac{g}{kWh} \right) = 6,636 \times 10^{-3} \times NO_x \text{ (ppm)} \quad (2)$$

$$HC \left(\frac{g}{kWh} \right) = 2,002 \times 10^{-3} \times HC \text{ (ppm)} \quad (3)$$

$$O_2 \left(\frac{g}{kWh} \right) = 41,024 \times O_2 \text{ (% vol)} \quad (4)$$

$$CO_2 \left(\frac{g}{kWh} \right) = 63,470 \times CO_2 \text{ (% vol)} \quad (5)$$

Ayrıca silindir içinde meydana gelen yanma davranışlarını gözlemleyebilmek için silindir içi yanma analiz sistemi test motoruna eklenmiştir. Bu sistemde PCB Piezotronics marka S111A22 model 5000 psi'a kadar ölçüm yapabilen ve 1,0 mV/psi hassasiyete sahip olan bir basınçölçer kullanılmıştır. Silindir basıncı ölçümü sırasındaki hataları en aza indirebilmek için uygun kablolar tercih edilmiştir. Krank mili açısını (KMA) ve ÜÖN'yı belirleyebilmek için Kübler marka 8.KIS40.1361.0360 model enkoder kullanılmıştır. Tüm test yakıtları için elde edilen silindir basıncı ve KMA verileri National Instrument marka NI USB-6210 model bir veri işleme ünitesinde toplanmış ve net ısı salımı hızı, tutuşma gecikmesi, basınç artış oranı gibi değerler hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar bilgisayar tabanlı bir yanma analiz programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Testlere başlamadan önce, kullanılacak olan tüm cihazların kalibrasyonları yapılmıştır. Test edilen motorun çalışma koşullarını gözlemlemek için ön testler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, motorun kararlı bir şekilde çalışabilmesi için ihtiyacı olan çalışma süresi belirlenmiş ve böylece motor, test edilen tüm yakıt örneklerini aynı koşullarda deneyebilmek için kararlı hale getirilmiştir. Ana test süreci, ön test aşamalarında karşılaşılan tüm eksikliklerin giderilmesinden sonra başlatılmıştır. Deneyler boyunca ortam sıcaklığı 20-25 °C aralığında ve bağıl nem %60-65 aralığında ölçülmüştür. Tüm yakıt örnekleri %25, %50, %75 ve %100 motor yüklerinde ve 1500 d/d sabit motor devrinde çalıştırılan bir dizel motorda test edilmiş ve motor performansı, egzoz gazı emisyonları ve yanma karakteristikleri belirlenmiştir. Dizel motorun silindir basıncı, yukarıda da belirtildiği gibi tüm motor yüklerinde ve her bir krank mili açısında kaydedilmiştir. Çevrimsel farklılıkları ortadan kaldırmak için en az 50 çevrimin ortalaması alınmış ve uygun bir filtreleme yöntemi kullanılarak değerler hesaplanmıştır. Ek olarak, doğru ve tatmin edici sonuçlar ortaya koyabilmek için denemeler üçer kez tekrar edilmiştir.

Test edilen tüm yakıtların net ısı salımı hızı (NISH) değerleri Eşitlik 6 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\frac{dQ_{net}}{d\theta} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{\gamma - 1} V \frac{dP}{d\theta} \quad (6)$$

burada; Q_{net} yanma sonunda silindir duvarı ve yanma odası duvarına geçen enerji miktarını, θ krank mili açısını, γ özgül ısılar oranını, P silindir basıncını ve V silindir hacmini ifade etmektedir.

Enjeksiyon başlangıcı (EB) enjektörün püskürtme basıncına ulaştığı krank açısı olarak tanımlanmaktadır. Yanma başlangıcı (YB) ise NISH diyagramında eğrinin negatif bölgeden pozitif bölgeye çıktığı anda x eksenini kestiği krank açısı olarak belirlenebilmektedir (Alagumalai, 2015). EB ile YB arasındaki fark ise TG süresidir. Yakıtın enjektörde püskürtüldüğü andan itibaren silindir içerisinde ilk alev çekirdeğinin oluştuğu ana kadar geçen süreye TG denir (Acaroğlu ve ark., 2018).

Fren gücü, fren termal verimi (η_t), fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT), fren özgül enerji tüketimi (FÖET) ve volümetrik verim (η_v) değerleri aşağıda verilen eşitlikler yarımıyla hesaplanmıştır (Doğan ve ark., 2017; Rocha ve ark., 2017; Nanthagopal ve ark., 2018).

$$P_e = \frac{2 \times \pi \times N \times T}{60 \times 1000} \quad (7)$$

$$T = m \times g \times l \quad (8)$$

$$\eta_t = \frac{P_e}{\dot{m}_{yakıt} \times Q_{AID}} \quad (9)$$

$$FÖYT = \frac{\dot{m}_{yakıt}}{P_e} \quad (10)$$

$$FÖET = FÖYT \times Q_{AID} \quad (11)$$

$$\eta_v = \frac{2 \times \dot{m}_h}{\rho_h \times V \times N} \quad (12)$$

burada; P_e efektif motor gücünü, n motor devrini, T motor torkunu, m motor yükünü, g yer çekimi ivmesini, l bağlantı kolu uzunluğunu, $\dot{m}_{yakıt}$ yakıtın kütleli debisini, Q_{AID} yakıtın alt ısıl değerini, \dot{m}_h havanın kütleli debisini ve ρ_h havanın yoğunluğunu ifade etmektedir.

Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar kadar önemli bir başka parametrede, ölçülen değerlerin doğruluğudur. Bu durumu etkileyen en önemli faktör ise deneylerin yapılması sırasında ortaya çıkması muhtemel hatalardır. Burada gerçekleştirilen deneysel çalışmada kullanılan test cihazlarının hassasiyetleri, çevresel koşullar, vb. gibi parametreler dikkate alınarak test ekipmanlarının ve deneylerin toplam belirsizlikleri hesaplanmıştır. Belirsizlik analizinde Holman (2012) tarafından önerilen eşitlik uygulanmıştır. Bu eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (13)$$

burada; R bağımsız değişkenlere bağlı faktörü, $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ bağımsız değişkenleri, w_R belirsizlik değerini ve w_1, w_2, \dots, w_n ise bağımsız değişkenlerin belirsizliklerini belirtmektedir.

Fren gücü, kütleli yakıt tüketimi, FTV ve FÖYT için belirsizlik değerlerinin hesaplanması Ek 1’de gösterilmiş ve sonuçlar Tablo 3’te sunulmuştur. Bu deneysel çalışmanın toplam belirsizliği ise Eşitlik 14 ile hesaplanmış ve %3,760 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak elde edilen belirsizlik değerinin izin verilen sınırlar içerisinde olduğu söylenebilir (Rajak ve ark., 2019; Shrivastava ve ark., 2020).

Tablo 3. Ölçülen ve hesaplanan parametrelerin belirsizlik değerleri

No	Parametre	Ölçüm aralığı	Hassasiyet	Belirsizlik (%)
1	Motor gücü	0-3.5 kW	$\pm 0,3$ kW	1,668
2	Motor hızı	0-9999 d/d	± 1 d/d	0,067
3	Motor yükü	0-12 kg	$\pm 0,1$ kg	1,67
4	Kütleli yakıt tüketimi	-	-	0,968
5	Egzoz gazı sıcaklığı (EGS)	-	$\pm 0,1$ °C	1,0
6	Dijital kronometre	-	$\pm 0,2$ s	0,2
7	Büret	0-100 cc	$\pm 0,1$ cc	1,0
8	Basınç sensörü	0-5000 psi	1,0 mV/psi	1,0
9	Enkoder	0-360°	$\pm 1^\circ$	0,2
10	η_t	-	-	1,929
11	FÖYT	-	-	1,929
12	Hava tüketimi	-	-	1,0
13	CO	0-10 % vol	$\pm 0,001$	1,0
14	HC	0-4000 ppm	± 1 ppm	1,5
15	CO ₂	0-20 % vol	$\pm 0,01$	0,9
16	NO _x	0-4000 ppm	± 1 ppm	0,8
17	O ₂	0-25 % vol	$\pm 0,01$	1,0

$$\text{Toplam belirsizlik} = \sqrt{\left\{ (w_{\dot{m}_{yakıt}})^2 + (w_{\eta_t})^2 + (w_{P_e})^2 + (w_{CO})^2 + (w_{NO_x})^2 + (w_{HC})^2 + (w_{O_2})^2 + (w_{CO_2})^2 + (w_{EGS})^2 \right\}} \quad (14)$$

$$= \sqrt{\{(0,968)^2 + (1,929)^2 + (1,668)^2 + (1,0)^2 + (0,8)^2 + (1,5)^2 + (1,0)^2 + (0,9)^2 + (1,0)^2\}} \quad (15)$$

$$= \sqrt{\{(0,968)^2 + (1,929)^2 + (1,668)^2 + (1,0)^2 + (0,8)^2 + (1,5)^2 + (1,0)^2 + (0,9)^2 + (1,0)^2\}} \quad (16)$$

$$= \%3,760 \quad (17)$$

3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde; D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 test yakıtlarının bir dizel motorda test edilmesiyle ortaya çıkan yanma karakteristikleri, motor performans parametreleri ve egzoz emisyon değerleri sunulmuş ve güncel literatür dikkate alınarak detaylı bir şekilde tartışılmıştır.

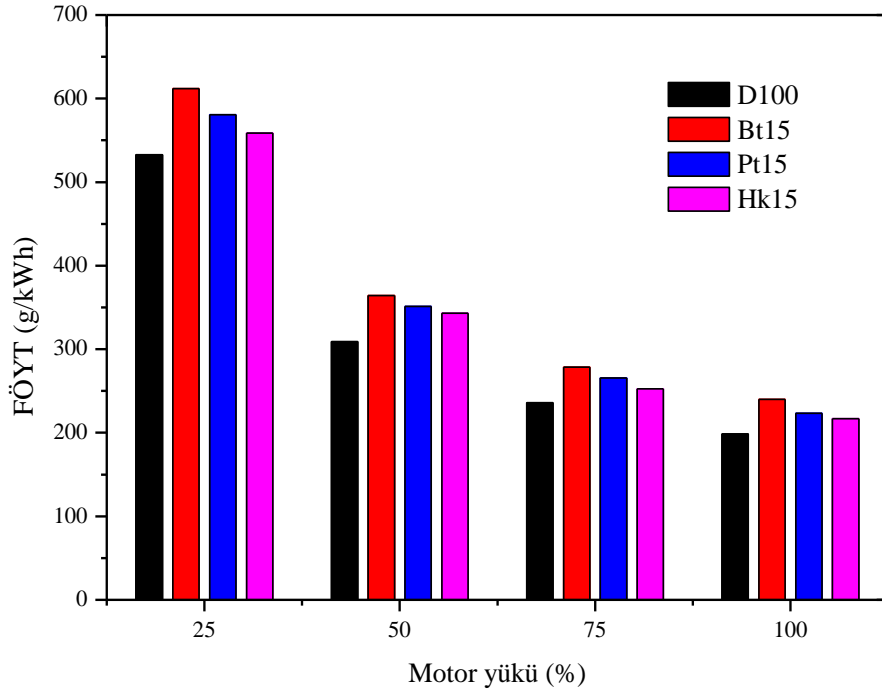
3.1. Performans sonuçları

Bu bölümde; D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 test yakıtlarının bir dizel motorda sabit devirde ve farklı yüklemeye koşullarında elde edilen motor karakteristik sonuçları (fren özgül yakıt tüketimi, fren termal verimi, fren özgül enerji tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı ve volümetrik verim) sunulmuştur.

3.1.1. Fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT)

D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 test yakıtlarının bir dizel motorda test edilmesiyle elde edilen fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT) değerleri motor yüküne bağlı olarak Şekil 3’de gösterilmiştir. Denemelerde motor yükünün artışı ile birlikte FÖYT değerlerinin tüm test yakıtları için azaldığı ve en düşük FÖYT değerlerinin maksimum motor yükünde olduğu tespit edilmiştir. Düşük motor

yüklerinde, silindir içi türbülans olaylarının zayıflaması ve motorun hareketli parçalarındaki atalet kuvvetlerinin yükselmesi FÖYT değerlerini artırmıştır. Buna ek olarak, yüksek motor yüklerinde ise yanma için gereken zamanın yeterli olması, silindir içindeki türbülansın iyileşmesi ve hava/yakıt karışımının homojen bir şekilde silindir içinde dağılması yanma verimini artırmış ve böylece FÖYT değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Dizel yakıtına farklı ağır alkollerin katılması sonucunda FÖYT değerleri artış göstermiştir. %100 motor yükünde; Bt15, Pt15 ve Hk15 karışım yakıtlarının FÖYT değerleri sırasıyla 239,92 g/kWh, 223,15 g/kWh ve 216,74 g/kWh olarak bulunurken bu değer D100 yakıtı için 198,71 g/kWh'tir. Dizel yakıtına %15 oranında 1-bütanol, 1-pentanol ve 1-hekzanol ağır alkollerinin katılması sonucunda elde edilen yakıtların enerji içerikleri Tablo 1'de verilmiştir. Bt15, Pt15 ve Hk15 karışım yakıtlarının alt ısıl değerleri dizel yakıtından sırasıyla %3,72, %2,81 ve %1,22 oranlarında düşüktür. Bu durum motorun aynı gücü üretebilmesi için daha fazla yakıt harcamasına neden olmaktadır. FÖYT'ü etkileyen en önemli parametrelerden biri de gizli buharlaşma ısısıdır. Bütanol, pentanol ve hekzanolün gizli buharlaşma ısıları sırasıyla 581,4 kJ/kg, 308,05 kJ/kg ve 486 kJ/kg iken dizel yakıtınınki ise 270-375 kJ/kg aralığında olduğu bilinmektedir (Kumar ve Saravanan, 2016). Görüldüğü üzere alkollerin gizli buharlaşma ısılarının dizel yakıtına göre daha yüksek olması sonucunda yanma kalitesi bozulmaktadır. Bu etkininde FÖYT değerleri üzerinde olumsuz sonuçları bulunmaktadır. Ayrıca, alkoller kendi aralarında karşılaştırıldığında en iyi sonucu 1-hekzanol katkılı yakıt karışımında elde edildiği görülmektedir. Bu durumun temel sebebi 1-hekzanolün diğer alkollere göre daha yüksek kalori değerine ve daha düşük gizli buharlaşma ısısına sahip olmasıdır. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir (Yao ve ark., 2010; Sayın ve ark., 2010; Campos-Fernandez ve ark., 2013; Zhang ve Balasubramanian, 2016). Örneğin, Karabektas ve Hosoz (2009) %5 isobütanol/%95 dizel yakıtı ve %20 isobütanol/%80 dizel yakıtı karışımlarının FÖYT değerlerinin dizel yakıtından sırasıyla ortalama %2,06 ve %8,55 oranlarında yüksek çıktığını rapor etmiştir. Aksoy ve Bayrakçeken (2010) dizel yakıtına hacimsel olarak %5 ve %10 oranlarında izopropil alkol eklendiğinde FÖYT değerlerinin dizel yakıtına göre sırasıyla %2,05 ve %4,5 oranlarında arttığını ve bu durumun izopropil alkolün ısıl değerinin dizel yakıtına kıyasla daha düşük olduğundan kaynaklandığını bildirmiştir. Yılmaz ve Atmanlı (2017a) dizel yakıtına %5-35 arasında değişen oranlarda pentanol ilave etmişler ve FÖYT değerlerinin dizel yakıtına göre %7,77-%12,71 oranlarında arttığını gözlemlemişlerdir. Bu durumun, pentanolün sahip olduğu yüksek gizli buharlaşma ısısından dolayı buharlaşma esnasında yanma odasından ısı çekmesi ve dolayısıyla soğutma etkisinde dolayı yanma veriminin düşmesinden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Emiroğlu ve Şen (2018a) ise dizel yakıtına %10 oranlarında metanol, etanol ve bütanol eklendiğinde alkol ilaveli yakıtlar arasında en düşük FÖYT değerinin bütanol içeren yakıt ile oluştuğunu, en yüksek FÖYT değerinin ise metanol ihtiva eden yakıt ile gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Bunun temel nedeninin ise alkollerin kalori değerlerinin farklı olmasına ve en yüksek kalori değerinin bütanol karışımly yakıt ile elde edilmesine bağlamaktadırlar.

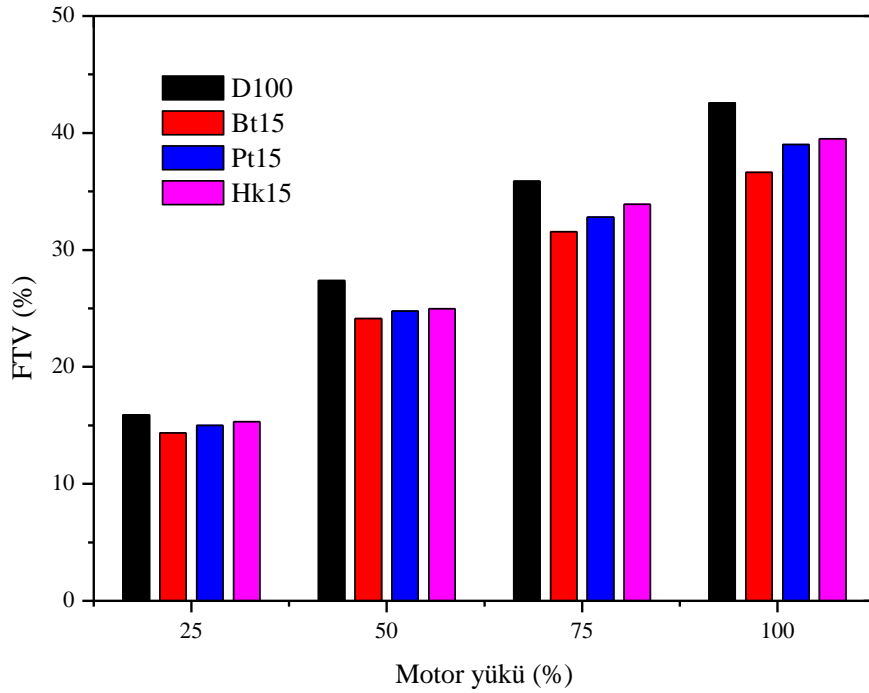


Şekil 3. Dizel yakıtına farklı alkol ilavelerinin FÖYT Üzerine Etkisi

3.1.2. Fren termal verimi (FTV)

FTV, alternatif yakıtlar ile yapılan çalışmaların sonuçlarının karşılaştırılması açısından önemli bir parametre olduğundan detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 test yakıtları ile yapılan denemeler sonucunda motor yüküne bağlı olarak elde edilen fren termal verim (FTV) sonuçları Şekil 4'de grafik halinde verilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4 birlikte değerlendirildiğinde FTV'nin FÖYT ile ters orantılı olduğu anlaşılmaktadır. Zaten bu durum Eşitlik 9 ve Eşitlik 10'a bakıldığı zamanda rahatlıkla görülebilir. Bu bakımdan, motor yükünün artışına bağlı olarak FTV değerlerinin arttığı ve en yüksek değerlerin tüm yakıtlar için %100 motor yükünde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bölüm 3.1.1.'de de bahsedildiği gibi yüksek motor yüklerinde hava/yakıt karışımının silindir içerisinde homojen bir şekilde dağılması ve tam yanma için yeterli sürenin bulunması FTV değerlerinin yüksek çıkmasına neden olmuştur. Maksimum motor yükünde, en yüksek FTV değeri %42,58 ile D100 yakıtı ile elde edilirken; Bt15, Pt15 ve Hk15 yakıtlarının FTV değerleri dizel yakıttan sırasıyla %14,00, %8,41 ve %7,19 oranlarında düşük çıkmıştır. Şekil 4'den de anlaşılacağı üzere tüm motor yüklerinde alkol ilaveli yakıtların FTV değerleri dizel yakıtından düşük

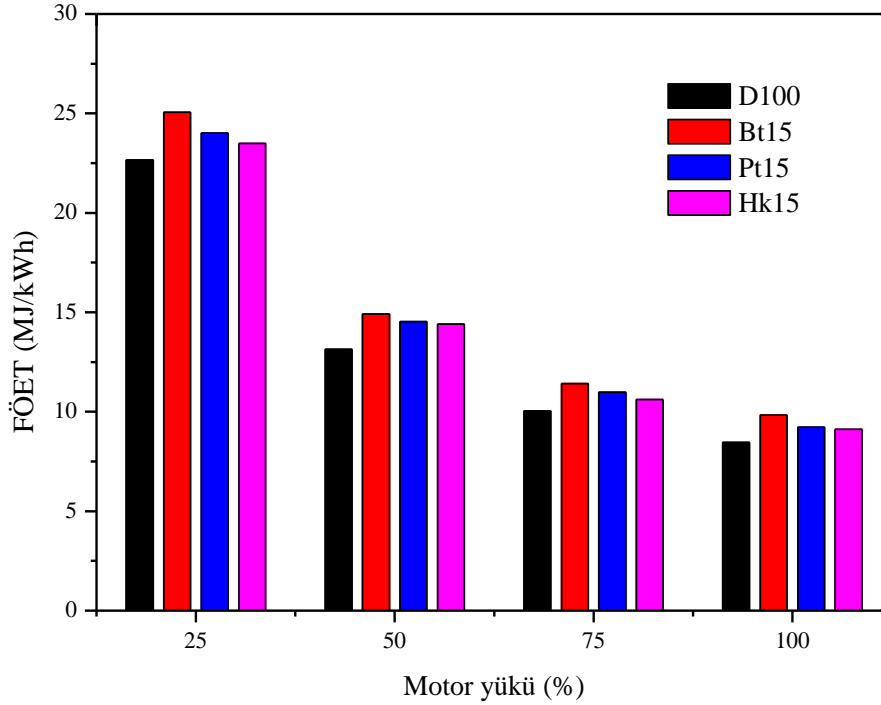
bulunmuştur. Bunun temel sebebi, alkollerin sahip olduğu düşük enerji içerikleridir. Silindir içerisine emilen yakıtın kalori değerinin azalmasının yanma sonu sıcaklığını düşürdüğü için FTV değerlerinin de azalacağı ifade edilebilir. Yanma sonu sıcaklığının Şekil 6 dikkate alınarak değerlendirilmesi yapıldığında alkol ilaveli yakıtların gerçekten de sıcaklığı azalttığı söylenebilir. Ek olarak, alkollerin dizel yakıtından daha düşük setan sayısına sahip olması TG süresini uzatmaktadır. Bu durum FTV değerlerinin azalmasına neden olmaktadır. Bütanol, pentanol ve hekzanol alkollerinin setan sayıları sırasıyla 17, 20 ve 23 olarak bulunmuştur (Kumar ve Saravanan, 2016). Alkoller kendi aralarında karşılaştırıldıklarında, 1-hekzanol katkılı yakıt örneğinin en yüksek sonucu verdiği gözlemlenmiştir. Çünkü 1-hekzanol diğer alkollere kıyasla daha yüksek ısı değere ve setan sayısına sahiptir. Yılmaz ve Atmanlı (2017b) tüm test yakıtları için en yüksek FTV değerlerinin motorun maksimum yükünde oluştuğunu ve karışımdaki pentanol oranının artışına bağlı olarak FTV değerlerinin azaldığını gözlemlemiştir. Babu ve Anand (2017) dizel/biyodizel karışımlarına %5 ve %10 oranlarında n-pentanol ve n-hekzanol katılmasının FTV değerlerini düşürdüğünü belirlemişlerdir. Yeşilyurt ve ark. (2018) sarı hardal yağı biyodizeli/dizel yakıt karışımlarına %5 ve %10 oranlarında 1-bütanol ve n-pentanol katılmasının dizel yakıtına göre FÖYT değerlerini artırırken FTV değerlerini azalttığını tespit etmişlerdir. Emiroğlu ve Şen (2018a) metanol/dizel, etanol/dizel ve bütanol/dizel yakıt karışımlarının dizel yakıtına kıyasla daha düşük FTV değerleri oluşturduğunu bildirmişlerdir. Ramalingam ve Mahalakshmi (2020) *Moringa oleifera* biyodizel/dizel yakıtı karışımlarına %5, %10 ve %15 oranlarında etanol ve hekzanol eklediklerinde FTV değerlerinin dizel yakıtına göre azaldığını ve karışım yakıt içerisindeki alkol oranının artışına bağlı olarak FTV değerlerinin daha da düştüğünü gözlemlemiştir. Pan ve ark. (2019) dizel yakıtına hacimsel olarak %25 ve %50 oranlarında n-pentanol ilavesinin, alkolün dizel yakıtına göre daha düşük kalori değerinden dolayı FTV değerlerini azalttığını tespit etmiş olmalarına rağmen, Kattela ve ark. (2019) dizel yakıtına hacimsel olarak %20'ye kadar bütanol katılmasının FTV değerlerini dizel yakıtına göre %4,5'e kadar artırdığını, %30 bütanol karışımında ise FTV'nin azaldığını belirlemişlerdir. Campos-Fernandez ve ark. (2013) dizel yakıtına pentanol ilavesinin FTV değerlerinin belli belirsiz artırdığını ve karışım oranları arasında herhangi önemli bir farkın olmadığını bulmuşlardır. Wei ve ark. (2014) dizel yakıtına pentanol ilavesinin FTV'yi olumsuz yönde etkilemediğini ortaya koymuşlardır.



Şekil 4. Dizel yakıtına farklı alkol ilavelerinin FTV üzerine etkisi

3.1.3. Fren özgül enerji tüketimi (FÖET)

Dizel yakıtına farklı zincir uzunluklarına sahip alkollerin eklenmesinin fren özgül enerji tüketimine (FÖET) etkileri Şekil 5'te görülmektedir. D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 test yakıtlarının maksimum motor yükü koşulunda FÖET değerleri Eşitlik 11 kullanılarak sırasıyla 8,46 MJ/kWh, 9,83 MJ/kWh, 9,23 MJ/kWh ve 9,11 MJ/kWh olarak hesaplanmıştır. Grafikten de görüleceği üzere dizel yakıtına alkol ilavesinin FÖET'ni artırdığı ancak alkoller içerisinde en düşük sonuçların 1-hekzanol ilaveli yakıtta elde edildiği anlaşılmaktadır. Tüm test yakıtları içerisinde ise en düşük değerler tüm motor yüklerinde dizel yakıt ile meydana gelmiştir. Bunun temel sebebi, dizel yakıtın test yakıtları içerisinde en yüksek enerji içeriğine sahip olmasıdır. Test yakıtlarının alt ısı değerleri Tablo 1'de görülebilir. Alkoller içerisinde ise 1-hekzanol en yüksek kalori değerine sahiptir. 1-hekzanolü sırasıyla 1-pentanol ve 1-bütanol takip etmektedir. Benzer sonuçlar El-Seesy ve ark. (2017) tarafından da bulunmuştur. Bu araştırmacılar, biyodizel/dizel/alkol karışımları ile karşılaştırdıklarında dizel yakıtının minimum FÖET değerlerine sahip olduğunu, bu durumun ise dizel yakıtının yüksek kalori değerine sahip olmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Babu ve Anand (2017) dizel/biyodizel yakıt karışımlarına n-pentanol ve n-hekzanol eklenmesinin FÖET değerlerini dizel yakıtına kıyasla artırdığını bulmuşlardır. Bu durumu ise yakıt harmanlarının düşük kalori değerlerine bağlamışlardır. Ramalingam ve Mahalakshmi (2020) karışım yakıtlar içerisinde en düşük FÖET'nin B90D5H5 (%90 biyodizel + %5 dizel yakıtı + %5 hekzanol) yakıtında oluştuğunu ve bu değer dizel yakıtından %2 oranında fazla olduğunu bildirmişlerdir.



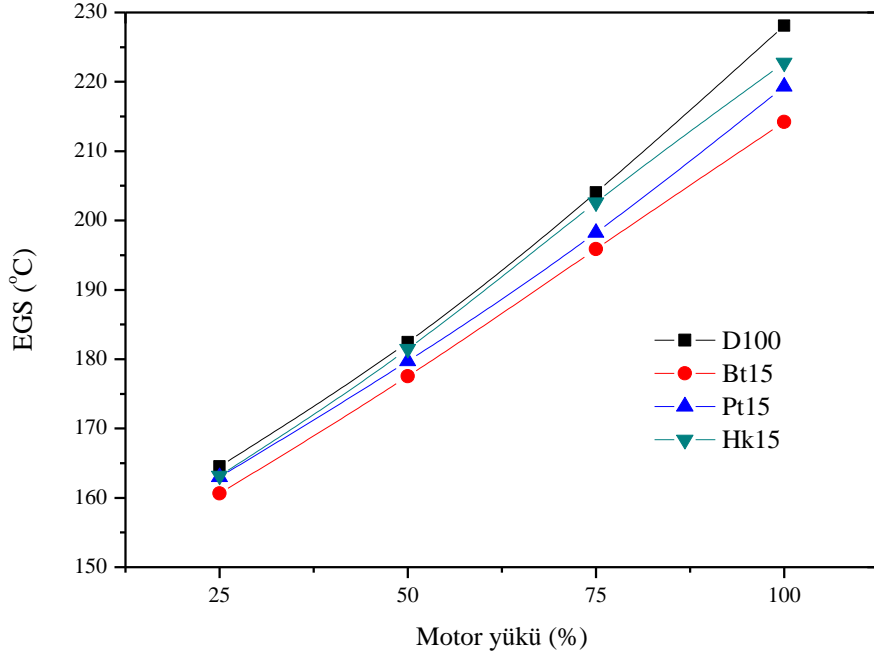
Şekil 5. Dizel yakıtına farklı alkol ilavelerinin FÖET üzerine etkisi

3.1.4. Egzoz gazı sıcaklığı (EGS)

D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 test yakıtlarının tek silindirli bir dizel motorda sabit motor devri ve farklı yük koşullarında test edilmesiyle ortaya çıkan egzoz gazı sıcaklık (EGS) değerleri Şekil 6'da sunulmuştur. EGS, egzoz gazı emisyonlarını etkileyen önemli bir faktör olmasından dolayı motor denemelerinde ölçülmesi ve üzerinde durulması gerekli olan bir parametredir. EGS, test edilen yakıtın kalori değeri, setan sayısı, yoğunluk, viskozite vb. özelliklerine bağlı olduğu gibi aynı zamanda püskürtme basıncı, avans, devir, sıkıştırma oranı gibi motor işletme parametrelerine de bağlıdır. Bu çalışmada kullanılan test yakıtlarının EGS sonuçları değerlendirildiğinde, motor yükünün artmasına bağlı olarak EGS değerlerinin arttığı ve en yüksek sonuçların maksimum motor yükünde elde edildiği görülmektedir. Yılmaz ve Atmanlı (2017b)'ya göre, motor yükünün %0'dan %100'e kadar artırılması yanma odasına püskürtülen yakıt miktarının artmasına ve dolayısıyla silindir içerisindeki oksijen varlığının yükselmesine neden olduğundan silindir içi sıcaklığı artmaktadır. %100 motor yükünde, D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 test yakıtlarının EGS değerleri sırasıyla 228,07 °C, 214,20 °C, 219,31 °C ve 222,75 °C olarak ölçülmüştür. Dizel yakıtına alkol eklenmesinin EGS'yi düşürdüğü görülmektedir. Bu durum alkollerin gizli buharlaşma ısılarından kaynaklanmaktadır. Çünkü alkollerin sahip yüksek gizli buharlaşma ısılarından dolayı silindir içerisinde buharlaşabilmek için ortamdan daha fazla ısı çekerek soğutma etkisine neden olmaktadır. Bu nedenle de yanma sonu sıcaklıkları, dolayısıyla EGS'ler azalmaktadır. EGS, yanma sonu sıcaklığının ve TG süresinin de bir göstergesidir. EGS'yi etkileyen bir diğer parametre ise yakıtların sahip olduğu düşük ısı değerleridir. Alkoller kendi aralarında karşılaştırıldıklarında, en yüksek EGS değerlerinin 1-hekzanol katkılı yakıt karışımında meydana geldiği görülmüştür. Bu durum, 1-hekzanolün diğer yakıtlara göre daha yüksek kalori değerine sahip olmasından dolayı olduğu söylenebilir.

Literatürde bulunan diğer çalışmalar incelendiğinde dizel ya da biyodizel yakıtlarına ilave edilen farklı alkollerin EGS değerlerini azalttığını belirleyen araştırmacıların olduğu göze çarpmaktadır. Cheung ve ark. (2009) metanolün sahip olduğu düşük enerji seviyesi ve yüksek gizli buharlaşma ısı nedeniyle biyodizel/dizel yakıt karışımına %5, %10 ve %15 oranlarında metanol eklenmesinin EGS değerlerini azalttığını, EGS'nin azalmasının da NO_x emisyonlarını düşüren önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde Anand ve ark. (2011)'da biyodizel/metanol karışımlarının dizel yakıtına göre EGS değerlerini düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Suhaimi ve ark. (2018) dizel yakıtına %5, %10 ve %20 oranlarında 2-ethyl 1-hexanol katılmasının EGS'yi azalttığını bulmuşlardır. Nour ve ark. (2019) dizel yakıtına %10 ve %20 oranlarında bütanol, oktanol ve heptanol ilave etmişler ve bu karışım yakıtları farklı motor yükü (%0-100) ve devirlerinde (900 d/d ve 1500 d/d) test etmişlerdir. Sonuç olarak, orta ve yüksek yüklerde alkol/dizel karışımlarının EGS değerlerinin dizel yakıtınınkinden az olduğunu göstermişlerdir. Emiroğlu (2019) dizel yakıtına bütanol ilavesinin EGS'nin azalmasına neden olduğunu ortaya koymuştur.

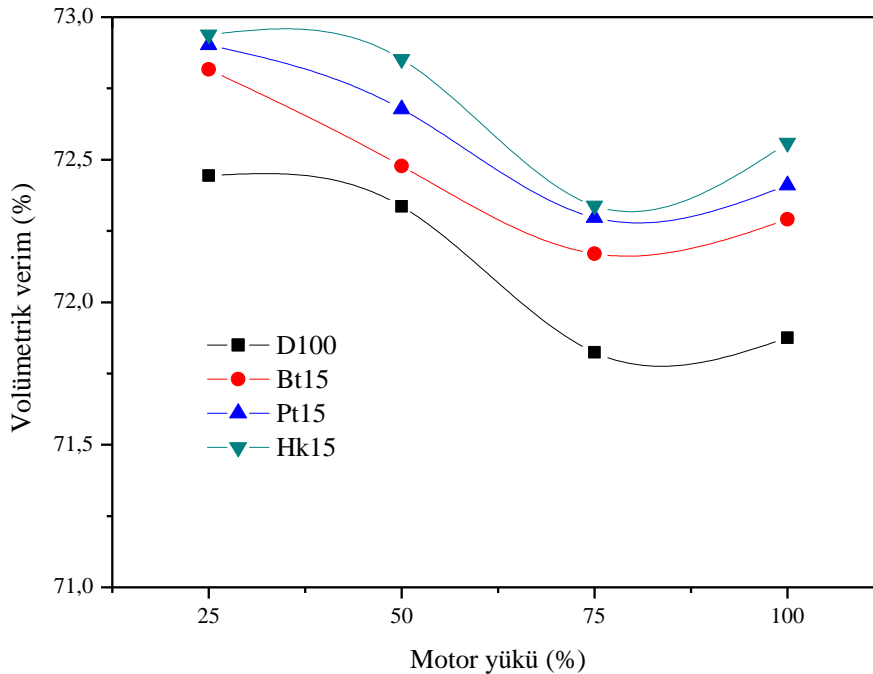
Fakat Atmanlı (2016) eşit oranda harmanlanan biyodizel/dizel yakıtı karışımına %20 oranlarında propanol, bütanol ve pentanol eklenmesinin EGS değerlerini artırdığını çalışmasında rapor etmiştir. Alkollerin sahip olduğu yüksek oksijen içeriğinin yanma odasında oksijence zengin bölgeler oluşturarak maksimum silindir basıncını ve sonuçta EGS'yi artırdığını belirtmektedir. Yılmaz ve Atmanlı (2017a) dizel yakıtına %5 ve %10 oranlarında pentanol ilavesinin dizel yakıtına kıyasla EGS'yi sırasıyla %8,65 ve %3,40 oranlarında azalttığını, ancak %20, %25 ve %35 oranlarında pentanolün EGS'yi sırasıyla %3,58, %14,65 ve %12,54 oranlarında artırdığını gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar, pentanolün sahip olduğu düşük setan sayısının TG'yi artırdığını aynı zamanda yüksek oksijen içeriğinin de yanma verimi üzerinde olumlu etki yaparak EGS'yi artırdığını bildirmişlerdir.



Şekil 6. Dizel yakıtına farklı alkol ilavelerinin EGS üzerine etkisi

3.1.5. Volümetrik verim

Dizel yakıtına farklı alkol ilavelerinin volümetrik verim üzerine etkisi Şekil 7'de gösterilmiştir. Volümetrik verim kısaca bir motorun nefes alma kabiliyeti olarak belirtilebilir. Volümetrik verim, bir motorda silindire alınan hava miktarının toplam silindir hacmine yani pistonun süpürdüğü hacme oranı olarak tanımlanabilir (Ramesh ve ark., 2019). Volümetrik verim; vuruntu, emme havası sıcaklığı, manifold basıncı, motor soğutma sisteminin verimi, yanma odasının sıcaklığı gibi birçok parametreden etkilenmektedir (Nanthagopal ve ark., 2019). Bu çalışmada volümetrik verim Eşitlik 12 kullanılarak hesaplanmıştır. Ortalama volümetrik verim D100 yakıtı için %72,11, Bt15 karışım yakıtı için %72,44, Pt15 karışım yakıtı için %72,57 ve Hk15 karışım yakıtı için %72,67 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki, dizel yakıtına farklı ağır alkollerin ilave edilmesinin volümetrik verim üzerinde olumlu etkisi vardır. Volümetrik verimin iyileşmesi yanma veriminin de iyileşmesi anlamına gelmektedir. Ancak motor yükünün artışına bağlı olarak volümetrik verimin belirli bir yüke kadar düştüğü, bu yükten sonra ise bir miktar arttığı fark edilmiştir. Volümetrik verimi etkileyen bir diğer parametre ise EGS'dir. Diğer bir ifadeyle, EGS'nin artışı volümetrik verimi düşürmektedir (Rajak ve Verma, 2018). Bu durum, alkollerin gizli buharlaşma ısılarının yüksek olmasından dolayı sıkıştırma zamanı sonuna doğru püskürtülen yakıtın emilen havanın sıcaklığını düşürmesi ve daha fazla havanın silindire alınması olarak açıklanabilir (Wu ve ark., 2019). Appavu ve Venu (2019) dizel/biyodizel/bitkisel yağ karışımına farklı oranlarda pentanolün ilave edilmesi sonucunda volümetrik verimin arttığını ve bununla alkolün atomizasyon karakteristiklerini iyileştirerek hava/yakıt oranına olumlu katkı yapmasından dolayı olabileceğini belirtmişlerdir.



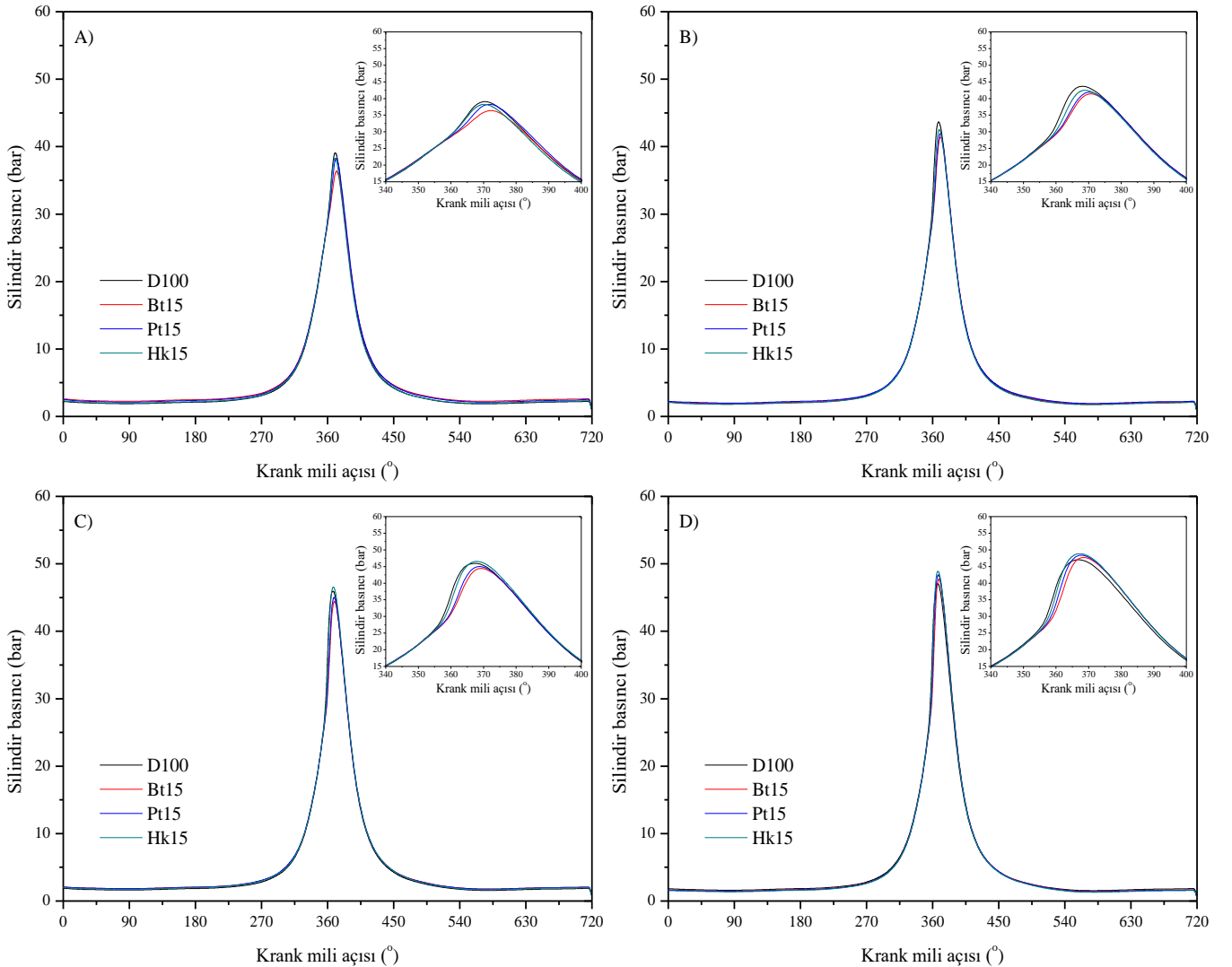
Şekil 7. Dizel yakıtına farklı alkol ilavelerinin volümetrik verim üzerine etkisi

3.2. Yanma analizi sonuçları

Farklı karbon atomlarına sahip ağır alkollerin (1-butanol, 1-pentanol ve 1-hekzanol) dizel yakıtına hacimsel olarak %15 oranlarında ilave edilmesiyle hazırlanan alternatif yakıt karışımlarının bir dizel motorda test edilmesiyle ortaya çıkan yanma karakteristiklerinin farklı motor yükü koşullarındaki etkileri (silindir basıncı, net ısı salımı hızı, kümülatif ısı salımı, basınç artışı oranı, tutuşma gecikmesi ve diğer yanma parametreleri) grafikler halinde aşağıdaki bölümlerde sunulmuş ve tartışılmıştır.

3.2.1. Silindir basıncı

D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 test yakıtlarının farklı motor yüklerinde meydana gelen silindir basınçlarının KMA'nın bir fonksiyonu olarak değişimleri Şekil 8'de verilmiştir. Tablo 4'de ise maksimum silindir basınçları ve bunların meydana geldiği KMA'lar görülebilmektedir. Motor yükünün artışıyla bağlı olarak yakıtların silindir basınçlarının arttığı, bunların gözlemlendiği KMA'ların ise ÜÖN'ya yaklaştığı tespit edilmiştir. Silindir basıncının maksimumuna ulaştığı KMA; yakıtın karakterizasyonuna, motor yüküne ve yanmanın başladığı açığa bağlı olarak değişim göstermektedir. Yanmanın genel olarak dizel yakıtından daha sonra başladığı görülmektedir. Bunun nedeni alkollerin sahip olduğu düşük setan sayısıdır. Düşük setan sayısı TG süresini artırmaktadır. Maksimum motor yükünde, en yüksek silindir basınçları D100 için 368°'de 46,97 bar, Bt15 için 368°'de 47,76 bar, Pt15 için 368°'de 48,41 bar ve Hk15 için 367°'de 48,91 bar olarak bulunmuştur. Görüldüğü üzere, dizel yakıtına eklenen ağır alkoller silindir içi basınçlarını artırmış ve en fazla artış ise Hk15 yakıt karışımında meydana gelmiştir. Bu durum alkollerin sahip olduğu yüksek oksijen içeriği ile açıklanabilir. Oksijen miktarının alkollerde yüksek olması ve TG periyodunun uzun olması yanma odasında daha fazla yakıtın birikmesine neden olmakta ve bu biriken yakıtın da ani bir şekilde yanması sonucunda silindir içinde oluşan basınç artmaktadır (Qi ve ark., 2010a). Benzer sonuçlar ve nedenleri birçok araştırmacı tarafından da ifade edilmiştir. Emiroğlu ve Şen (2018a) 10 Nm maksimum motor yükünde dizel yakıtın en yüksek silindir basıncını 365,26°'de 81,03 bar olarak bulurken, metanol/dizel, etanol/dizel ve bütanol/dizel alternatif yakıt karışımlarınınkini ise sırasıyla 365,28°'de 83,41 bar, 365,31°'de 83,28 bar ve 365,19°'de 83,47 bar olarak tespit etmişlerdir. Wei ve ark. (2014) orta ve yüksek yüklerde, n-pentanol/dizel yakıt karışımlarının TG sürelerinin fazla olması nedeniyle hızlı yanma periyodunda yanan yakıt miktarının artarken, silindir içindeki sıcaklığın fazla olmasından dolayı n-pentanolün soğutma etkisinin azalabileceğini ve sonuçta silindir basıncının artacağını belirtmişlerdir. Zhu ve ark. (2016) biyodizel/pentanol karışım yakıtlarındaki pentanol oranının artmasının silindir içi basıncını biyodizel ile kıyasla artırdığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar bu durumu pentanolün sahip olduğu düşük viskozitesinden dolayı biyodizelin atomizasyon karakteristiklerini ve yakıt/hava karışımını iyileştirmesine bağlamışlardır.



Şekil 8. Test edilen yakıtların farklı motor yüklerindeki (A:%25, B:%50, C:%75, D:%100) silindir basıncı diyagramları

3.2.2. Net ısı salımı hızı (NISH)

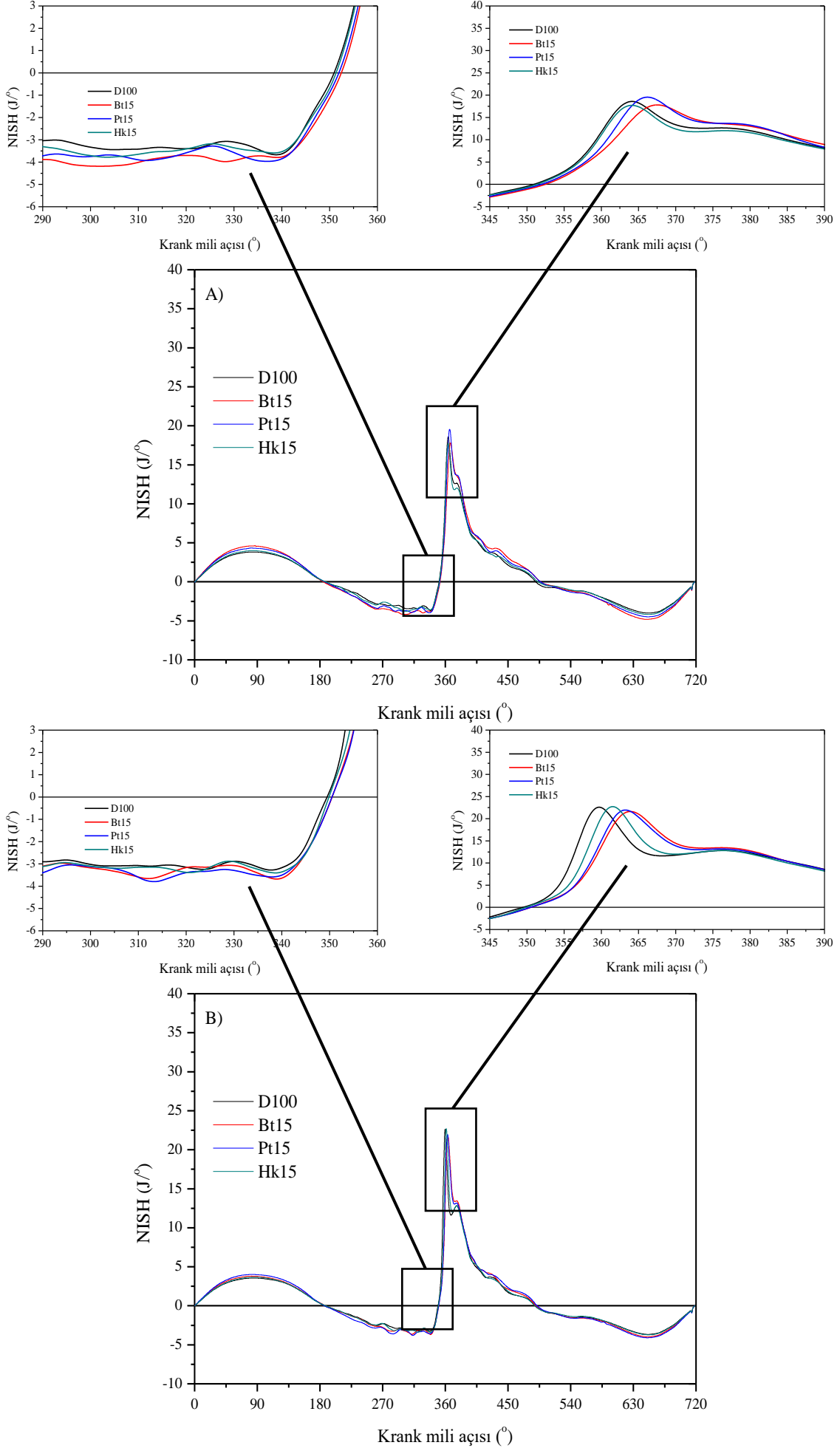
Isı salımı hızının analizi silindir içerisindeki yanma sürecinin daha iyi anlaşılabilmesi için önemli bir yaklaşımdır (Imdadul ve ark., 2016b). Test edilen yakıtların farklı motor yüklerinde meydana gelen net ısı salımı hızı (NISH) diyagramları Şekil 9'da verilmiştir. Yanma sürecinin başlangıcından önce, TG periyodunda yakıtın silindir içerisinde buharlaşarak hava ile homojen bir karışım oluşturmasından dolayı negatif NISH değerlerinin oluştuğu, ancak yanma başladığında bu değerlerin pozitif bölgesine çıktığı görülmektedir (Qi ve ark., 2010b). Motor yükünün artmasına bağlı olarak maksimum NISH değerlerinin de tüm yakıtlar için yükseldiği Tablo 4'e bakılarak görülebilir. Tüm yakıtlar için maksimum NISH değerleri maksimum motor yükünde görülmüştür. %100 motor yükünde maksimum NISH değerleri dizel yakıtında 357°'de 29,55 J/°, Bt15 yakıtında 361°'de 31,14 J/°, Pt15 yakıtında 359°'de 32,66 J/° ve Hk15 yakıtında 358°'de 33,80 J/° olarak gerçekleşmiştir. Alkol ilavesi yapılan yakıtların maksimum NISH değerleri incelendiğinde genel olarak artışların meydana geldiği söylenebilir. Bu durum, alkollerin yanma hızını artırmadaki etkisi ve ısı transferi hızının da azalması olarak açıklamak mümkün olabilir (Yeşilyurt ve ark., 2018). Ek olarak, alkollerin sahip olduğu düşük setan sayısı TG süresini artırarak silindir içerisinde daha fazla yakıtın birikmesine neden olmaktadır. Böylece yanma odasında biriken yakıtın ani bir şekilde yanması ve yine alkollerin kimyasal yapılarında bulunan fazla oksijen içeriğinin yanma hızını artırmadaki rolü sonucunda NISH değerlerinin arttığı düşünülebilir (Emiroğlu ve Şen, 2018a). Alkollerin dizel yakıtından daha düşük kalori değerlerine sahip olmalarına rağmen yapılarındaki oksijen muhtevası sayesinde maksimum NISH değerleri dizel yakıtından yüksek çıkmaktadır (Huang ve ark., 2004; Tutak ve ark., 2015). Zhu ve ark. (2016) biyodizel/pentanol karışım yakıtlarında ki pentanol oranının artışının maksimum NISH değerlerini artırdığını ve bu değerlerin oluştuğu KMA'ların ÜÖN'dan uzaklaştığını rapor etmişlerdir. Çünkü pentanolün düşük viskozite değeri silindir içerisindeki atomizasyon karakteristiklerini ve hava/yakıt oranını iyileştirmiştir. Tse ve ark. (2015) alkollerin sahip olduğu düşük setan sayısına bağlı uzun TG periyodu, iyi uçuculuk özelliği ve düşük viskozite ani yanma fazı için tutuşma gecikmesi süresince yanma odasında daha fazla yakıtın birikmesine neden olacağını ve böylece maksimum NISH değerlerinin artacağını belirtmişlerdir. Örs ve ark. (2017) aspir yağı biyodizeli/dizel yakıt karışımlarına bioetanol ilavesinin maksimum NISH değerlerini artırdığını tespit etmişlerdir. Nanthagopal ve ark. (2018) *Calophyllum inophyllum* biyodizeli/1-pentanol karışım yakıtlarının NISH değerlerinin biyodizel/1-bütanol karışım yakıtlarından fazla olduğunu, bunun da 1-pentanolün 1-bütanolden daha yüksek kalori değerine sahip olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

3.2.3. Kümülatif ısı salımı (KIS)

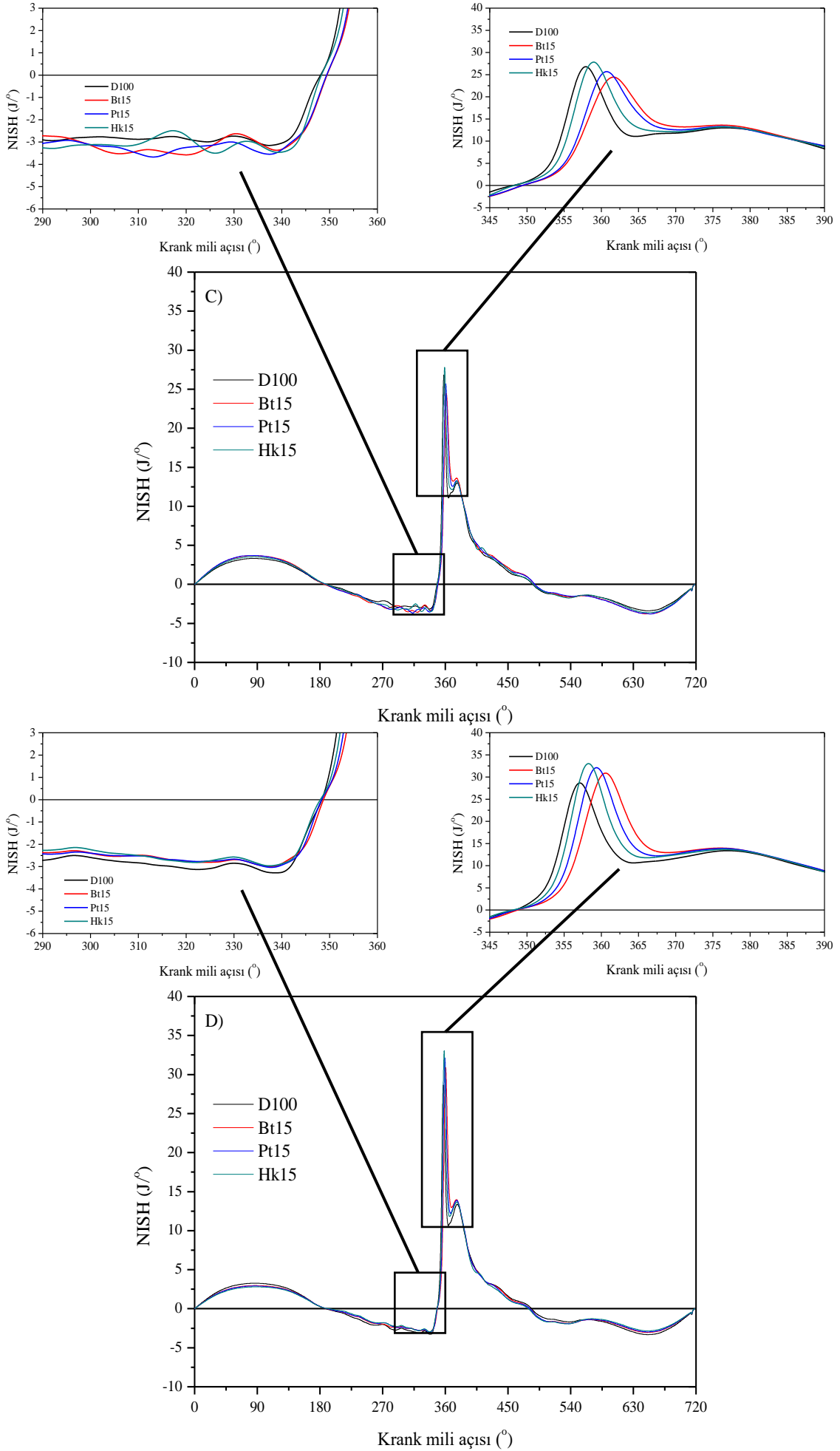
Dizel yakıtına çeşitli karbon atomlarına sahip alkollerin ilave edilmesi ile elde edilen yakıt harmanlarının bir dizel motordaki farklı motor yüklerinde meydana gelen kümülatif ısı salımı (KIS) değerlerinin karşılaştırılması Şekil 10'da gösterilmiştir. Ayrıca, maksimum KIS değerleri ve bunların oluştuğu KMA'lar da Tablo 4'de verilmiştir. Tahmin edildiği gibi motor yükünün artışına bağlı olarak KIS değerlerinin arttığı görülmektedir (Emiroğlu ve Şen, 2018b). Ancak maksimum KIS'ların oluştuğu KMA'ların ÜÖN'ya yaklaştığı görülmektedir. Alkol ilaveli yakıtların genel olarak dizel yakıtından daha yüksek KIS değerleri oluşturduğu tespit edilmiştir. D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 yakıtlarının ortalama KIS değerleri sırasıyla 864,25 J, 896,49 J, 896,77 J ve 862,68 J olarak bulunmuştur. Hk15 karışım yakıtı hemen hemen dizel yakıtı ile aynı sonuçları göstermiştir. Tablo 1 incelendiğinde alt ısı değeri dizel yakıtına oldukça yakın olması, karbon ve hidrojen miktarlarının dizel yakıtının ki ile benzerlik göstermesi KIS değerlerinin de yakın olarak çıkmasına neden olmuştur. Ancak, Bt15 ve Pt 15 karışım yakıtları diğer iki yakıttan da yüksek KIS değerlerine sahiptirler. Bunun temel sebebi 1-bütanol ve 1-pentanol ilaveli yakıtların sahip olduğu yüksek oksijen içeriği nedeniyle yanma sürecini iyileştirmesidir. Ayrıca bu alkollerin setan sayılarının oldukça düşük olması TG periyodunda silindir içerisinde fazla miktarda yakıtın birikmesine neden olmuştur. Bu yakıtın da ani bir şekilde yanması sonucunda KIS değerlerinin yükseldiği sonucuna varılabilir. Bununla beraber alkollerin düşük kalori değerine sahip olması motorun aynı gücü üretebilmek için yanma odasına daha fazla yakıt göndermesine, bu durumda alkol katkılı yakıtların KIS değerlerinin artmasına neden olduğu söylenebilir (Geo ve ark., 2017). Balamurugan ve Nalini (2014) dizel yakıtı, %96 dizel yakıtı + %4 n-propanol, %92 dizel yakıtı + %8 n-propanol, %96 dizel yakıtı + %4 n-bütanol ve %92 dizel yakıtı + %8 n-bütanol test yakıtlarının %80 motor yükünde ki KIS değerlerini sırasıyla 978,585 kJ/m³, 1222,912 kJ/m³, 1249,827 kJ/m³, 1206,554 kJ/m³ ve 1249,595 kJ/m³ olarak bulmuşlardır. Araştırmacılar, dizel yakıtına alkol ilavesi ile viskozitenin azaldığını ve uçuculuğun artması ile püskürtme karakteristiklerinin iyileştiğini ve böylece yanma veriminin arttığını gözlemlemişlerdir. Bu doğrultuda düşünüldüğünde, mevcut çalışmada ki Hk15 karışım yakıtının viskozite değerinin dizel yakıttan çok yüksek olması da KIS değerlerini düşürmüş olabilir.

3.2.4. Basınç artış oranı

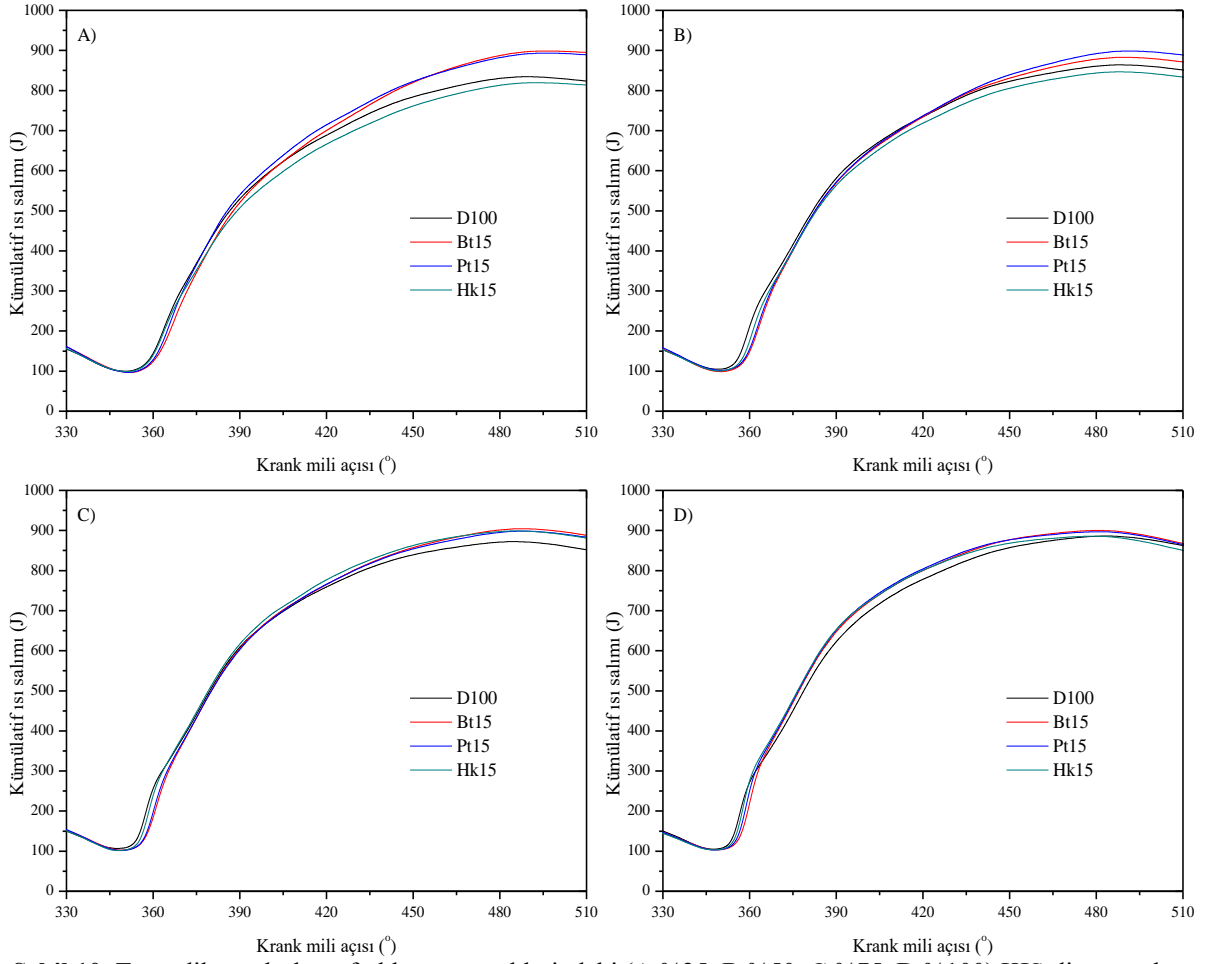
D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 test yakıtlarının farklı motor yüklerinde meydana gelen basınç artış oranlarının KMA'ya göre değişimleri Şekil 11'de sunulmuştur. Şekil 11'den de görüleceği üzere, motor yükünün artışına bağlı olarak tüm test yakıtları için basınç artış oranlarının arttığı ve maksimum değerlerin ise %100 motor yükü koşullarında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Shrivastava ve ark. (2020)'da basınç artış oranının motor yükünün yanı sıra sıkıştırma oranının da artması ile yükseldiğini ifade etmişlerdir. Maksimum motor yükünde, D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 test yakıtlarının en yüksek basınç artış oranları sırasıyla 3,3 bar/°, 3,09 bar/°, 3,40 bar/° ve 3,63 bar/° olarak bulunmuştur. Hem diğer yüklerdeki hem de maksimum motor yükünde oluşan maksimum basınç artış oranları dikkate alındığında önemli bir değişimin olmadığı hemen hemen dizel yakıtına yakın sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Basınç artış oranı herhangi bir motordaki vuruntu oluşumunu gözlemek için çok önemli bir parametredir. Ayrıca basınç artış oranı, motorda yüksek orandaki NO_x oluşumunun açıklanmasına da yardımcı olmaktadır (Shrivastava ve Verma, 2019).



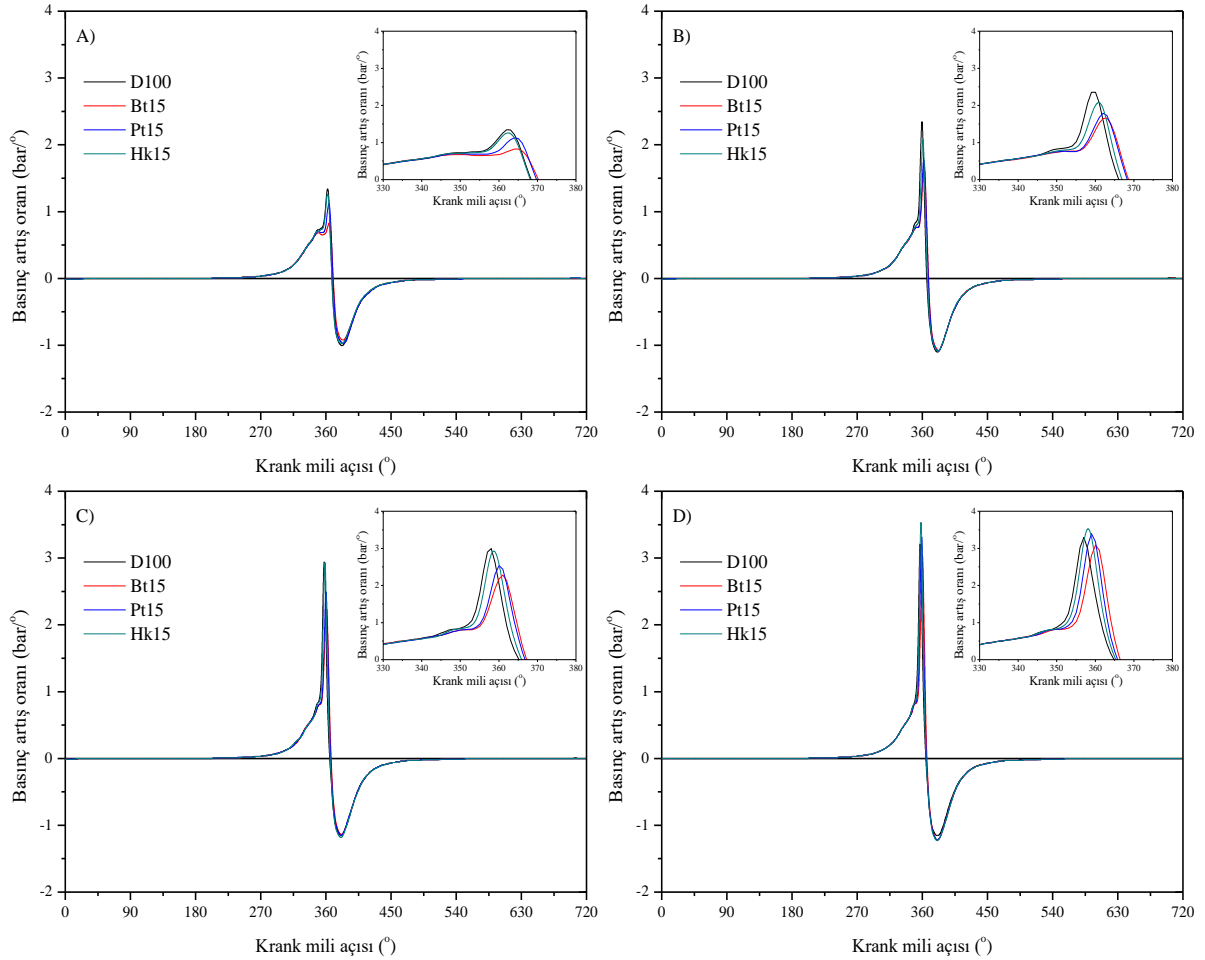
Şekil 9. Test edilen yakıtların farklı motor yüklerindeki (A:%25, B:%50, C:%75, D:%100) NISH diyagramları



Şekil 9. Devam



Şekil 10. Test edilen yakıtların farklı motor yüklerindeki (A:%25, B:%50, C:%75, D:%100) KIS diyagramları



Şekil 11. Test edilen yakıtların farklı motor yüklerindeki (A:%25, B:%50, C:%75, D:%100) basınç artış oranı diyagramları

3.2.5. Diğer yanma parametreleri

Dizel motorlarda yanma; TG, kontrolsüz (ön) yanma, kontrollü yanma ve gecikmiş (art) yanma safhalarından oluşmaktadır (Acaroğlu ve ark., 2018). TG sırasında, yanma odasına yakıt püskürtülür ve hava ile homojen bir karışım oluşturabilmek için yakıt buhar fazına geçer. TG periyodu, yukarıda da bahsedildiği gibi yakıtın silindire püskürtüldüğü andan yanma odasında ilk alev çekirdeğinin oluştuğu ana kadar geçen süre olarak ifade edilmektedir. Bir başka ifade ile TG, püskürtme başlangıcından silindir içerisinde ani basınç artışının görüldüğü noktaya kadar geçen süredir. Bu süre içerisinde, yakıtın yanmaya hazırlanabilmesi için gerekli fiziksel ve kimyasal süreçler devreye girmektedir. Yanma odasının sıcaklığı ile yanma odasına enjekte edilen yakıtın sıcaklığı arasında bir fark bulunmaktadır. Yakıtın sıcaklığı sıkıştırma periyodu boyunca artış gösterirken yakıtın buharlaşma eğilimi artmaktadır. Bu esnada yakıt silindir içerisindeki ısıyı absorbe ederek buharlaşır ve silindirdeki sıcaklık ve basınç artışını bir dereceye kadar yavaşlatır (Yardım, 2008). D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 test yakıtlarının farklı motor yüklerinde gözlenen enjeksiyon başlangıcı, yanma başlangıcı ve TG gibi diğer yanma parametreleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Test edilen yakıt örneklerinin sabit devir ve farklı yüklerde meydana gelen yanma ve enjeksiyon karakteristikleri

No	Motor yükü (%)	Yakıt türü	EB (°)	YB (°)	TG (°)	MSBA (°)	MSB (bar)	MOGS (°C)	MOGSA (°)	MNISH (J/°)	MINISH (°)	KIS (J)	MKISA (°)	MBAO (bar/°)	MBAOA (°)		
1	25	D100	336	351	15	370	39,11	884,30	385	18,74	364	834,52	489	1,35	362		
		Bt15	337	353	16	372	36,42	884,57	388	17,84	367	898,67	496	0,83	365		
		Pt15	336	352	16	372	38,30	910,68	387	19,69	366	893,34	496	1,13	364		
		Hk15	336	351	15	370	38,33	856,09	385	17,85	364	819,45	493	1,27	362		
		D100	336	349	13	368	43,71	953,36	385	22,85	360	864,03	488	2,36	360		
2	50	Bt15	338	351	13	371	41,44	938,54	385	21,80	364	882,87	490	1,66	363		
		Pt15	338	350	12	370	41,96	937,24	385	22,18	363	898,51	491	1,79	362		
		Hk15	336	349	13	369	42,56	922,52	385	22,80	362	846,63	488	2,12	361		
		D100	338	348	10	367	45,98	969,03	385	27,51	358	872,23	485	3,00	358		
		Bt15	338	350	12	369	44,46	975,07	385	24,64	362	904,41	488	2,28	361		
3	75	Pt15	338	349	11	369	45,07	969,94	384	26,00	361	898,40	488	2,54	360		
		Hk15	338	349	11	368	46,61	984,66	384	28,51	359	898,95	486	2,98	359		
		D100	338	348	10	368	46,97	986,73	385	29,55	357	886,22	483	3,30	357		
		Bt15	338	349	11	368	47,76	1022,89	384	31,14	361	900,02	481	3,09	360		
		Pt15	338	349	11	368	48,41	1024,72	384	32,66	359	896,84	481	3,40	359		
4	100	Hk15	337	348	11	367	48,91	1024,87	384	33,80	358	885,67	479	3,63	358		
		MSBA	Maksimum silindir basıncının oluştuğu krank mili açısı														
		MSB	Maksimum silindir basıncı														
		MOGS	Maksimum ortalama silindir gaz sıcaklığı														
		MOGSA	Maksimum ortalama silindir gaz sıcaklığının oluştuğu krank mili açısı														
		MNISH	Maksimum net ısı salımı hızı														
		MNISHA	Maksimum net ısı salımı hızının oluştuğu krank mili açısı														
		MKIS	Kümülatif ısı salımı														
		MKIS	Maksimum kümülatif ısı salımı														
		MKISA	Maksimum kümülatif ısı salımının oluştuğu krank mili açısı														
		MBAO	Maksimum basınç artış oranı														
		MBAOA	Maksimum basınç artış oranının oluştuğu krank mili açısı														

Dizel motorlarda yanma analizi sırasında gözlemlenen diğer önemli yanma parametreleri ise enjeksiyon başlangıcı, yanma başlangıcı, yanma sonu ve yanma süresidir. Enjeksiyon avansı ya da enjeksiyon başlangıcı yakıtın yanma odasına püskürtüldüğü KMA olarak tanımlanmaktadır. Yanma başlangıcı NISH diyagramında grafiğin negatif bölgeden pozitif bölgeye geçerken x eksenini kestiği noktadaki KMA olarak bilinirken, yanma sonu ise NISH'nin sıfıra tekrar ulaştığı KMA olarak bulunabilir. Yanma süresi yanmanın başlangıcı ile yanmanın sonu arasındaki farktır (İbrahim, 2016). Tablo 4 değerlendirildiğinde, motor yükünün artmasına bağlı olarak TG sürelerinin kısaldığı gözlemlenmektedir. Motor yükü artışı silindir içindeki sıcaklıkların da artmasına neden olmaktadır. Maksimum ortalama silindir içi gaz sıcaklıklarına bakıldığında da bu bilgi doğrulanabilir. Silindir sıcaklığının artmasının TG üzerine olumsuz etkisi bulunmaktadır.

Çelik ve ark. (2017) çalışmalarında motor hızının artmasına bağlı olarak silindir içi sıcaklıklarının arttığını ve böylece TG sürelerinin kısaldığını vurgulamışlardır. Qi ve ark. (2010c) ise motor yükünün artırılmasının silindir içinde yüksek sıcaklığa ulaşılmasında etkili olduğunu ve dolayısıyla TG süresinin kısaldığını belirtmişlerdir. Silindir içi sıcaklıklarının bir göstergesi olarak test yakıtlarının EGS değerleri de Şekil 6'da incelenebilir. Bu nedenle tüm parametreler değerlendirildiğinde, elde edilen sonuçların büyük ölçüde beklenen sonuçlara yakın olduğu görülmektedir. Test yakıtlarının TG süreleri incelendiğinde alkol ilave edilen yakıtların TG değerlerinin genel olarak yüksek olduğu ancak, Hk15 yakıtının TG periyodunun dizel yakıtına yakın olduğu görülmektedir. TG'yi etkileyen en önemli parametrelerden bir tanesi yakıtın setan sayısıdır (Zhong ve ark., 2016). Düşük setan sayısına sahip yakıtların kullanılması sonucunda yanma odasında daha fazla yakıtın birikmesi muhtemeldir. Bu da, yanma odasında daha yüksek miktarda ısı oluşumuna neden olmaktadır (Devan ve Mahalakshmi, 2009).

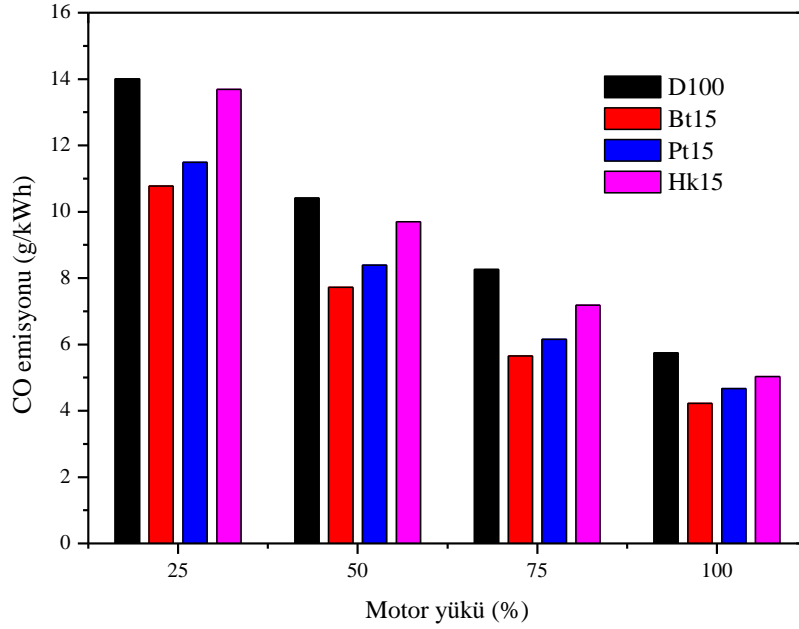
Elbette Şekil 6 göz önünde bulundurulduğunda alkol katkılı yakıtların EGS değerlerinin dizel yakıtından az olduğu sonucuna varılabilir. Ancak alkollerin yüksek gizli buharlaşma ısılarına sahip olduğunu ve bunun da silindir içinde soğutma etkisine neden olduğu unutulmaması gereken bir gerçektir. Alkollerin setan sayısı dizel yakıtından düşüktür. 1-hekzanol alkolünün setan sayısının diğer alkollere kıyasla yüksek olması TG sürelerini azaltmıştır. Dizel yakıtına ilave edilen alkol miktarının da hacimsel olarak %15 olması bu karışım yakıtın setan sayısını dizel yakıtına yaklaştırmıştır. Özener ve ark. (2014) yakıtın yüksek viskozite özelliğinin motorda zayıf atomizasyon özelliğine, hava/yakıt karışımının yavaş gerçekleşmesine ve yüksek penetrasyona neden olarak TG süresini uzattığını belirtmişlerdir. Öte yandan, alkol katkılı yakıtların viskozite ve yoğunluk değerlerinin düşük olması hava/yakıt karışımını iyileştirir ve böylece yanma odasında yüksek miktarda yakıtın kontrolsüz yanma aşamasında hızlı bir şekilde yanmasına neden olur. Ayrıca dizel yakıtına alkol ilave yüzey geriliminin azalmasına, sonuçta alkolün buharlaşması ve atomizasyon karakteristiğinden dolayı hava ile iyi bir karışım oluşturmasında etkilidir (Hulwan ve Joshi, 2011). Tse ve ark. (2015) yakıttaki etanol oranının artırılmasının TG'yi uzattığını ve böylece yanmanın daha geç başladığını bulmuşlardır. Alptekin ve ark. (2015) püskürtme başlangıcının gecikmesinin de yanma başlangıcını uzatabileceğini bildirmişlerdir. Koivisto ve ark. (2015) TG süresinin moleküler yapısında 16'ya kadar karbon atomu bulunan ağır alkollerin kullanımıyla uzadığını belirtmişlerdir.

3.3. Egzoz emisyon sonuçları

Bu bölümde dizel yakıtına farklı zincir uzunluklarına sahip ağır alkollerin ilave edilmesi ile hazırlanan alternatif yakıtların tek silindirli bir dizel motorda farklı motor yüklerinde test edilmesi sonucunda elde edilen egzoz gazı emisyonları (CO, CO₂, HC, O₂ ve NO_x) tartışılmıştır.

3.3.1. CO emisyonu

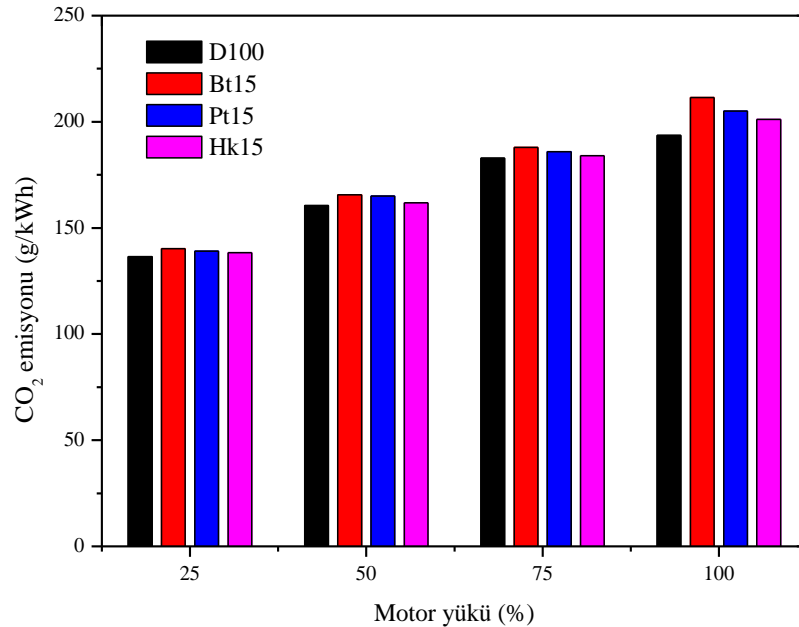
Karbon monoksit (CO), yoğunluğu atmosferde bulunan havadan yüksek olan ve insan vücudu için zehirli olan renksiz ve kokusuz bir gazdır. Şekil 12 dizel yakıtına farklı ağır alkollerin ilave edilmesinin CO emisyonu üzerine etkilerini göstermektedir. Test edilen tüm yakıt örnekleri için motor yükünün artmasına bağlı olarak CO emisyonlarının azaldığı görülmektedir. Yüksek yük koşullarında termal verimin fazla olması ve artan silindir içi basıncın etkisi ile erken alevlenme süresi gibi faktörler, CO emisyonlarında yukarıda bahsedilen azalmalara neden olmuştur. Şekil 12 incelendiğinde, saf dizel yakıtının düşük motor yüklerinde en yüksek CO emisyonunu ürettiği anlaşılmaktadır. Düşük yüklerde, silindir içindeki sıcaklığın artışı az olduğundan dolayı zayıf yanma karakteristikleri CO emisyonunun artmasına neden olmaktadır. Yüksek enerji içeriği ve silindir içi sıcaklık, motor veriminin artmasına ve dolayısıyla karbon oksit ve azot oksit emisyonlarının artmasına yol açmaktadır. Yanma odasında oksijen muhteviyatının yeterli olmaması CO emisyonunun oluşmasına önemli derecede katkı yapmakta ve CO'nun CO₂'ye dönüşümünü de önlemektedir. Bu sebeple alkollerin moleküler zincirlerinde bulunan oksijen, dizel yakıtına kıyasla daha az CO emisyonunun salımına yol açmaktadır. Üstelik yanma süreci boyunca oluşan kararlı olmayan ketonlar ve aldehidler, CO ve N₂ gazlarını oksitleyerek CO₂ ve NO_x oluşumlarına neden olur. CO emisyonunu kontrol edebilmek için giriş havası sıcaklığını artırmak önemli bir tekniktir. D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 yakıtlarının %25 motor yükündeki CO emisyonları sırasıyla 14,01 g/kWh, 10,77 g/kWh, 11,49 g/kWh ve 13,69 g/kWh olarak ölçülmüştür. Yakıtların CO emisyon sonuçları değerlendirildiğinde 1-bütanol ilaveli yakıtların en iyi sonuçları ortaya koyduğunu, bu durumun da 1-bütanolün diğer alkollerden daha fazla oksijen içeriğine sahip olması ile açıklamak mümkün olmaktadır. Babu ve Anand (2017) n-pentanol ve n-hekzanolü CO emisyonları yönünden karşılaştırdıklarında, pentanolün sahip olduğu yüksek oksijen muhtevası nedeniyle daha düşük CO emisyonu salımı yaptığını bildirmişlerdir. Ullman ve ark. (1994) çalışmalarında, silindir içerisindeki oksijen konsantrasyonunun artmasının tam yükte atomizasyon özelliklerini ve volümetrik verimi iyileştirmesinden dolayı CO emisyonlarını azaltan bir etki gösterdiğini rapor etmişlerdir. Zhang ve Blasubramanian (2016) bir sıkıştırma ile ateşlemeli motorda 1-oktanol alkolünü katkı maddesi olarak kullandıkları çalışmalarında, duman ve CO emisyonlarının dizel yakıtına göre önemli ölçüde azaldığını, NO_x emisyonlarının ise artış gösterdiğini bulmuşlardır. Ramesh ve ark. (2019) hekzanolün dizel/biyodizel karışım yakıtına harmanlanmasının CO emisyonlarını tüm motor yüklerde önemli oranda azalttığını belirlemişlerdir.



Şekil 12. Dizel yakıtına farklı alkol ilavelerinin CO emisyonu üzerine etkisi

3.3.2. CO₂ emisyonu

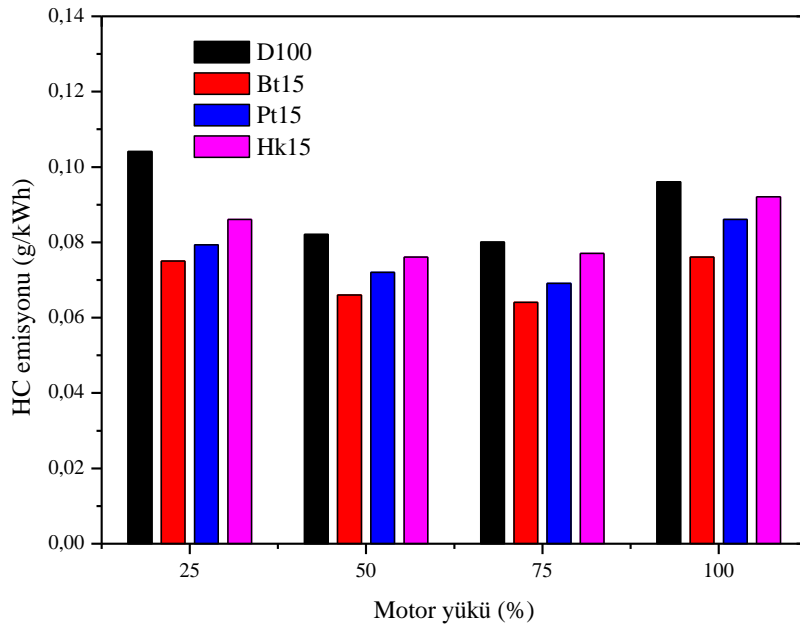
Test edilen tüm yakıtlar için motor yükünün bir fonksiyonu olarak CO₂ emisyonlarındaki değişim Şekil 13’de gösterilmiştir. Grafik, motor yükü ve silindir basıncı arttıkça CO₂ emisyonlarının arttığını göstermektedir. CO₂ emisyonlarındaki artış FTV’nin motor yükü ile artışı ile ilişkilendirilebilir. Test edilen yakıtlar arasında en yüksek CO₂ emisyonlarının Bt15 yakıtında üretildiğini, bu yakıtı sırasıyla Pt15 ve Hk15’in izlediği belirlenmiştir. Tüm motor yüklerinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Dizel yakıtı yüksek enerji içeriği, yüksek FTV değeri ve hatta büyük damlacık boyutu ve atomizasyon karakteristikleri nedeniyle CO₂ emisyonlarının azalmasına neden olmuştur (Tesfa ve ark., 2010). Alkoller ise kimyasal zincirlerinde bulunan oksijen molekülleri yanma odasında CO gazı ile reaksiyona girer ve CO₂ gazının oluşumunu sağlar. Egzoz gazları içerisindeki CO₂ emisyonunun artışı silindir içerisindeki yanmanın tam yanmaya yakın olduğu anlamına gelmektedir (Doğan ve ark., 2017). Alkollerin yapısındaki oksijen miktarları incelendiğinde 1-bütanolün en fazla oksijene sahip olduğu 1-hekzanolünde en düşük oksijene sahip olduğu Tablo 1 dikkate alındığında görülebilir. Bu nedenle en yüksek CO₂ emisyonu salımı Bt15 yakıtında gerçekleşirken en düşük ise Hk15 karışım yakıtında olmuştur. %100 motor yükünde, D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 test yakıtlarının CO₂ emisyonları sırasıyla 193,58 g/kWh, 211,36 g/kWh, 205,01 g/kWh ve 201,20 g/kWh olarak kaydedilmiştir. Cheung ve ark. (2008) etanol/dizel ve dodekanol/dizel karışımlarının bir dizel motorda kullanılmasıyla yukarıda verilen sonuçlara benzer eğilimler meydana geldiğini belirtmişlerdir. Babu ve Anand (2017) kinematik viskozite ve yoğunluk değerlerinin düşük olmasının yakıtın buharlaşmasını iyileştirdiğini, böylece CO₂ emisyonunun arttığını rapor etmişlerdir. Mevcut deneysel çalışmadaki yakıt örnekleri bu bağlamda değerlendirildiğinde yoğunluk ve viskozite açısından yine 1-bütanolün en düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Fakat Alptekin (2017) dizel yakıtına eklenen %15 oranlarındaki etanol ve izopropanolün CO₂ emisyonları üzerinde önemli bir değişikliğe yol açmadığını tespit etmiştir.



Şekil 13. Dizel yakıtına farklı alkol ilavelerinin CO₂ emisyonu üzerine etkisi

3.3.3. HC emisyonu

Yanmamış HC emisyonu, yanma prosesinin kalitesinin değerlendirilmesi açısından önemli bir göstergedir (Babu ve Anand, 2017). Test yakıtlarının tek silindri bir dizel motorda kullanılmasıyla ortaya çıkan yanmamış HC emisyonlarının motor yükünün bir fonksiyonu olarak değişimi Şekil 14’de gösterilmiştir. Şekil 14 incelendiğinde, tüm test yakıtları için HC emisyonlarının, motor yükünün %0’dan %75’e yükselmesiyle azaldığı, bununla birlikte tam yükte volümetrik verimin artması nedeniyle HC emisyonlarında hafif bir artışın meydana geldiği görülebilir (Ramesh ve ark., 2019). Teorik olarak, dizel yakıtı moleküler yapısında hiç oksijen bulundurmadığı için en yüksek yanmamış HC emisyonlarına neden olmalıdır. Bu bilgi doğrultusunda grafik değerlendirildiğinde, gerçekten de katkısız dizel yakıtı tüm motor yüklerinde en fazla HC emisyonu salıyan yakıt olmuştur. Termodinamik verimin yüksek olması, düşük oksijen molekülü içeriği ve yüksek karbon muhtevası gibi faktörler HC emisyonunun artmasına neden olmaktadır. Dizel yakıtına ağır alkollerin ilavesi ile HC emisyonlarının azaldığı görülmektedir. D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 test yakıtlarının %100 motor yükündeki HC emisyonları sırasıyla 0,096 g/kWh, 0,076 g/kWh, 0,086 g/kWh ve 0,092 g/kWh olarak ölçülmüştür. Alkoller kendi aralarında değerlendirildiğinde, en düşük sonuçların 1-bütanol alkolü ile gerçekleştiği, bunu sırasıyla 1-pentanol ve 1-heksanolün izlediği tespit edilmiştir. Bu durum, 1-bütanolün sahip olduğu yüksek oksijen içeriği ile ilişkilendirilebilir. Hazar ve Uyar (2015) dizel yakıtına %2, %8, %12 ve %16 oranlarında izopropil alkol ilavesinin HC emisyonlarını düşürdüğünü belirlemişlerdir.



Şekil 14. Dizel yakıtına farklı alkol ilavelerinin HC emisyonu üzerine etkisi

3.3.4. NO_x emisyonu

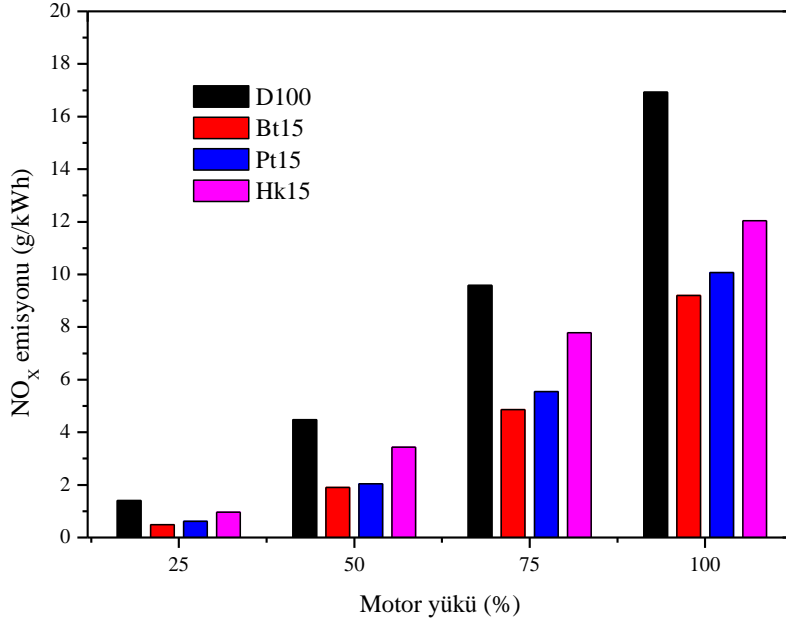
Hava yaklaşık olarak %78 oranında azot gazından oluşmaktadır. Bu gaz, normal şartlar altında yanma sırasında reaksiyona girmemekte ve yanma sonu ürünlerinde N₂ gazı olarak çıkmaktadır. Fakat içten yanmalı motorlarda silindir içerisindeki yanma sonucu ulaşılan yüksek sıcaklık neticesinde yanma odasına emilen hava içindeki N₂ gazı oksijen molekülleri ile reaksiyona girerek istenmeyen azot oksit gazları oluşturmaktadır. Azot oksitleri oluşturan en fazla gaz azot monoksit (NO)'tir. Bu gazın çevreye salınması sırasında NO gazının bir bölümü azot dioksit (NO₂) ve diğer NO_x gazlarına dönüşmektedir (Özsezen ve ark., 2006). Ancak N₂O, N₂O₅ ve NO₃ gazları çok düşük miktarlarda oluştuğu için genel olarak dikkate alınmamaktadır. Dizel motorlarda meydana gelen en zararlı emisyonlardan olan NO_x, insanlar ve çevre üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Çevre bilincinin giderek arttığı dönemde sıkı emisyon düzenlemelerini karşılamak için NO_x emisyonunun kontrol altında tutulması ve hatta azaltılması gereklidir (Atmanlı ve Yılmaz, 2020).

Shu ve ark. (2018) doğal gaz/dizel yakıt karışımı ile test edilen bir dizel motorunda pilot enjeksiyon açısının geciktirilmesinin NO_x emisyonlarını azaltmada efektif bir yol olabileceğini önermiştir. Oksijen moleküllerine sahip biyoyakıtların NO_x oluşum reaksiyonları oldukça karmaşıktır (Atmanlı ve Yılmaz, 2020). NO_x emisyonlarının oluşması açısından NO_x oluşum mekanizmalarının anlaşılması önem arz etmektedir. Dizel motorlarda yanma sırasında meydana gelen NO_x emisyonlarının oluşumunu açıklayan birçok mekanizma bulunmasına rağmen, en yaygın mekanizmalar Zeldovich ve Fenimore mekanizmalarıdır (Palash ve ark., 2013).

D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 test yakıtlarının farklı motor yüklerinde NO_x emisyonlarında meydana gelen değişim Şekil 15’de sunulmuştur. Tüm test yakıtları için motor yükünün artışına bağlı olarak silindir içi sıcaklığının artması ile NO_x emisyonlarının arttığı görülmektedir (İleri, 2016). D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 test yakıtlarının %100 motor yükündeki NO_x emisyonları sırasıyla 16,93 g/kWh, 9,20 g/kWh, 10,08 g/kWh ve 12,04 g/kWh olarak tespit edilmiştir. Dizel yakıtı test edilen yakıtlar içerisinde en yüksek NO_x emisyonlarına sahip yakıt olarak dikkat çekmektedir. Dizel yakıtına ağır alkollerin ilave edilmesi ile NO_x emisyonlarının azaldığı görülmektedir. NO_x emisyonlarının oluşmasındaki en önemli faktörler silindir içerisindeki sıcaklık, basınç, oksijen miktarı ve süredir. Alkollerin gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması, moleküler yapılarında oksijen bulundurmaları ve dizel yakıtına göre kalori değerlerinin oldukça düşük olması silindir içi sıcaklığının azalmasına yol açmaktadır.

Şekil 6’da verilen test yakıtlarının EGS değerleri de göz önünde bulundurulduğunda, alkollerin dizel yakıtına katılmasının silindir içerisinde soğutma etkisi yaptığı anlaşılmakta ve dolayısıyla azot ve oksijen gazları tepkimeye girmesi zayıflamaktadır. Sonuç olarak bu durum NO_x emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır.

Çelik ve ark. (2017)’de alkollerin yüksek gizli buharlaşma ısılarından dolayı yanma odası sıcaklığını azalttığını ve böylece NO_x emisyonlarının azalmasına neden olduğunu vurgulamışlardır. Babu ve Anand (2017) dizel/biyodizel yakıt karışımına n-pentanol ve n-hekzanol ilavelerinin NO emisyonlarını azalttığını ve bu duruma alkollerin sahip olduğu düşük kalori değeri ve yüksek gizli buharlaşma ısılarının neden olduğunu rapor etmişlerdir. Atmanlı ve Yılmaz (2018) dizel yakıtına %5, %25 ve %35 oranlarında n-bütanol ve n-pentanol ilave ettikleri yakıtların NO_x emisyonlarının dizel yakıtına kıyasla n-bütanol katkılı yakıtlarda ortalama %15,86 ve 1-pentanol katkılı yakıtlarda ortalama %12,67 oranlarında düşük çıktığını bulmuşlardır. Benzer sonuçlar ve nedenleri birçok araştırmacı tarafından da açıklanmıştır (Kumar ve Saravanan, 2015; Atmanlı, 2016; Zhu ve ark., 2016; Coughlin ve Hoxie, 2017; Yılmaz ve ark., 2017).

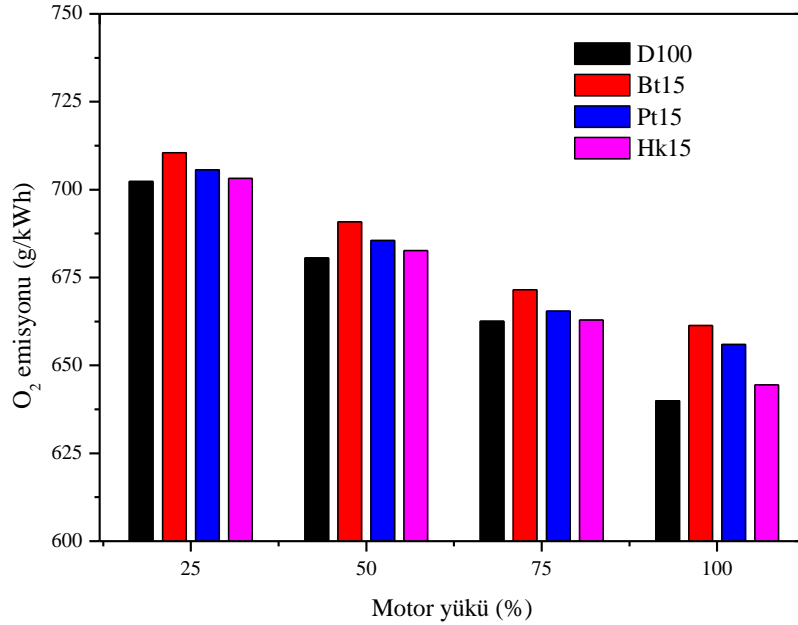


Şekil 15. Dizel yakıtına farklı alkol ilavelerinin NO_x emisyonu üzerine etkisi

3.3.5. O_2 emisyonu

Dizel yakıtına farklı alkol ilavelerinin O_2 emisyonu üzerine etkileri motor yükünün bir fonksiyonu olarak Şekil 16’da verilmiştir. Şekil 16 incelendiğinde, motor yükünün artmasına bağlı olarak O_2 emisyonlarının azaldığı ve minimum değerlerin maksimum motor yükünde elde edildiği görülmektedir. D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 test yakıtlarının %100 motor yükündeki O_2 emisyonları sırasıyla 639,97 g/kWh, 661,31 g/kWh, 655,97 g/kWh ve 644,49 g/kWh olarak tespit edilmiştir. Dizel yakıtına alkol ilavesi ile O_2 emisyonlarının arttığı tespit edilirken, tüm motor yüklerinde en yüksek değerlerin ise 1-bütanol katkılı yakıt karışımında elde edildiği belirlenmiştir. 1-bütanol ilaveli yakıtı sırasıyla 1-pentanol ve 1-hekzanol katkılı yakıtlar takip etmiştir. Bu durum alkollerin bünyesinde bulunan yüksek orandaki oksijen molekülleri ile açıklanabilir. Dizel yakıtı moleküler yapısında oksijen barındırmadığı için en düşük O_2 emisyonlarına neden olmuştur (Ağbulut ve ark., 2019).

Düşük motor yüklerinde volümetrik verimin yüksek olması O_2 emisyonlarının artmasına neden olmuştur. Motor yükünün artması ile yanma odasında ideal karışım koşullarının sağlanması ve bundan dolayı yanma hızının da artış göstermesi yanma kalitesini iyileştirmiş ve daha az O_2 emisyonunun salımına neden olmuştur. Benzer sonuçlar Aydın ve Öğüt (2017) ve Yeşilyurt ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir.



Şekil 16. Dizel yakıtına farklı alkol ilavelerinin O₂ emisyonu üzerine etkisi

4. Sonuçlar

Bu çalışmada; tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli bir dizel motorda farklı yükler (%25, %50, %75 ve %100) altında dizel/1-bütanol, dizel/1-pentanol ve dizel/1-hekzanol karışım yakıtları test edilmiş ve motor performans, egzoz emisyon ve yanma karakteristik sonuçları referans dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Alkoller dizel yakıtına hacimsel olarak %15 oranında ilave edilmişlerdir. Test yakıtlarının dizel motorda çalıştırılması sırasında herhangi bir sorun ile karşılaşmamıştır. Bu çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- FTV değerleri tüm motor yüklerinde D100 yakıtı ile elde edilirken, alkol karışımli yakıtlarda en yüksek sonuca Hk15 karışım yakıtı ile ulaşılmıştır. Çünkü alkoller içerisinde enerji içeriği en yüksek olan alkol 1-hekzanol olarak bulunmuştur.
- Alkol/dizel yakıt karışımlarının kalori değerlerinin dizel yakıtından düşük olması FÖYT ve FÖET değerlerinin dizel yakıtına kıyasla yüksek çıkmasına neden olmuştur.
- D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 test yakıtları için ortalama volümetrik verim değerleri sırasıyla %72,11, %72,44, %72,57 ve %72,67 olarak bulunmuştur.
- Dizel yakıtına ağır alkollerin eklenmesi sonucunda EGS değerlerinin azaldığı, bu durumun alkollerin gizli buharlaşma ısılarından kaynaklandığı, çünkü alkollerin sahip olduğu yüksek gizli buharlaşma ısılarından dolayı silindir içerisinde buharlaşabilmek için ortamdan daha fazla ısı çekerek soğutma etkisine neden olduğu bulunmuştur.
- Motor yükünün artmasına bağlı olarak test yakıtlarının maksimum silindir içi basınçlarının arttığı ve en yüksek silindir içi basıncının 1-hekzanol katkılı yakıt karışımında meydana geldiği tespit edilmiştir.
- Test yakıtlarının NISH değerleri incelendiğinde, %100 motor yükünde maksimum NISH değerleri dizel yakıtında 357°'de 29,55 J/°, Bt15 yakıtında 361°'de 31,14 J/°, Pt15 yakıtında 359°'de 32,66 J/° ve Hk15 yakıtında 358°'de 33,80 J/° olarak belirlenmiştir. Düşük setan sayısına sahip alkollerin dizel yakıtına eklenmesi sonucunda TG periyodunun genel olarak uzadığı ve yanma odasında daha fazla yakıtın birikmesi ile bu yakıtın ani bir şekilde yanması ve alkollerin sahip olduğu yüksek oksijen içeriğinin yanma hızını artırması sonucunda NISH değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.
- Ağır alkol/dizel yakıt karışımlarının egzoz emisyon davranışları değerlendirildiğinde, dizel yakıtına göre alkol içeren yakıtların CO, HC ve NO_x emisyonlarının azaldığı; CO₂ ve O₂ emisyonlarının ise arttığı belirlenmiştir. Alkoller kendi içerisinde karşılaştırıldıklarında; CO, HC ve NO_x emisyonları açısından Hk15 yakıtının en yüksek sonuçları verdiğini, CO₂ ve O₂ emisyonları açısından ise Bt15 karışım yakıtını en yüksek sonuçları verdiğini görülmüştür.

Tüm sonuçlar göz önünde bulundurularak; 1-bütanol, 1-pentanol ve 1-hekzanol ağır alkollerinin dizel yakıtına %15 oranında katılmasının egzoz emisyon ve yanma karakteristiklerini iyileştirdiği, bu alkoller içerisinde ise diğerlerine göre enerji seviyesinin yüksek olması nedeniyle 1-hekzanolün en iyi sonuçları verdiğini söylenebilir. Bu alkollerin ülkemizde üretimlerinin gerçekleştirilmesiyle dizel yakıtı için ucuz bir katkı maddesi olacağı gibi ekonomik olarak da dışa bağımlılık azalacaktır. Ancak bu çalışmada kullanılan yakıtlar farklı test motorlarında olduğu kadar taşıt motorlarında da kullanılarak elde edilen sonuçlar genelleştirilmeli hatta uzun süreli testler ile motor parçalarına olan etkileri araştırılmalıdır. Ayrıca; püskürtme avansı, püskürtme basıncı ve sıkıştırma oranı gibi motor işletme parametrelerinin değiştirilmesinin motor performansı, egzoz emisyonları ve yanma davranışları üzerine etkileri incelenerek ağır alkol/dizel yakıt karışımları için en ideal çalışma koşulları belirlenmelidir.

Ek 1

Motor yükünün (Δm) hassasiyet değeri $\pm 0,1$ kg ve motor hızının (ΔN) hassasiyet değeri 1 d/d olduğu bilinmektedir. Yakıt örnekleri için hacim (Δf) ve zaman (Δt) değişkenlerinin belirsizlik değerleri sırasıyla ± 0.1 cc ve ± 0.2 s olarak kabul edilmiştir. Bu çerçevede, dizel yakıtı için %50 motor yükü ve sabit 1500 d/d motor devrinde belirsizlik analizinin hesaplanması aşağıda sunulmuştur. %50 yük şartlarında ki motor parametreleri ve bunların değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Motor parametreleri ve değerleri

No	Parametre	Değer
1	Yük (m)	6 kg
2	Motor devri (N)	1500 d/d
3	Yakıt tüketimi zamanı (t)	60 s
4	Tüketilen yakıtın hacmi (f)	11 cc
5	Yoğunluk (ρ)	0,825 g/cm ³
6	Yakıtın alt ısıl değer (Q_{AID})	42553 kJ/kg

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{1}{1500} = \%0.0667 \quad (1)$$

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{0,1}{6} = \%1,6667 \quad (2)$$

- Fren gücü için belirsizlik analizi**

$$P_e = \frac{2\pi NT}{60 \times 1000} = \frac{2\pi Nmgl}{60000} = \frac{2 \times 3.14 \times 1500 \times 6 \times 9,81 \times 0.185}{60000} = 1,710 \text{ kW} \quad (3)$$

$$\frac{\partial P_e}{\partial N} = \frac{2\pi mgl}{2 \times 3.14 \times 6 \times 9,81 \times 0,185} = 0,001140304 \quad (4)$$

$$\frac{\partial N}{\partial P_e} = \frac{60000}{2\pi Ngl} = \frac{60000}{2 \times 3.14 \times 1500 \times 9,81 \times 0,185} = 0,28507597 \quad (5)$$

$$\frac{\partial m}{\partial P_e} = \frac{60000}{60000} = 1 \quad (6)$$

$$\Delta P_e = \sqrt{\left(\Delta N \frac{\partial P_e}{\partial N}\right)^2 + \left(\Delta m \frac{\partial P_e}{\partial m}\right)^2} \quad (7)$$

$$\Delta P_e = \sqrt{(1 \times 0,001140304)^2 + (0,1 \times 0,28507597)^2} \quad (8)$$

$$\frac{\Delta P_e}{P_e} = \frac{0,028598676}{1,710} = 1,668 \% \quad (9)$$

- Kütleli yakıt tüketimi için belirsizlik analizi**

$$\dot{m}_{yakıt} = \frac{f \times 3600 \times \rho}{t \times 1000} = \frac{11 \times 3600 \times 0,825}{60 \times 1000} = 0,5445 \frac{kg}{h} \quad (10)$$

$$\frac{\partial \dot{m}_{yakıt}}{\partial t} = -\frac{f \times 3600 \times \rho}{(t)^2 \times 1000} = -\frac{11 \times 3600 \times 0,825}{60 \times 60 \times 1000} = -0,009075 \quad (11)$$

$$\frac{\partial \dot{m}_{yakıt}}{\partial f} = \frac{3600 \times \rho}{t \times 1000} = \frac{3600 \times 0,825}{60 \times 1000} = 0,0495 \quad (12)$$

$$\Delta \dot{m}_{yakıt} = \sqrt{\left(\Delta t \frac{\partial \dot{m}_{yakıt}}{\partial t}\right)^2 + \left(\Delta f \frac{\partial \dot{m}_{yakıt}}{\partial f}\right)^2} \quad (13)$$

$$\Delta \dot{m}_{yakıt} = \sqrt{(0,2 \times -0,009075)^2 + (0,1 \times 0,0495)^2} \quad (14)$$

$$\Delta \dot{m}_{yakıt} = 0,00527225995 \frac{kg}{h} \quad (15)$$

$$\frac{\Delta \dot{m}_{yakıt}}{\dot{m}_{yakıt}} = \frac{0,00527225995}{0,5445} = \%0,968 \quad (16)$$

- Fren termal verimi için belirsizlik analizi**

$$\eta_t = \frac{P_e \times 3600 \times 100}{\dot{m}_{yakıt} \times Q_{AID}} = \frac{1,710 \times 3600 \times 100}{0,5445 \times 42553} = \%26,5687146 \quad (17)$$

$$\frac{\partial \eta_t}{\partial P_e} = \frac{3600 \times 100}{\dot{m}_{yakıt} \times Q_{AID}} = \frac{3600 \times 100}{0,5445 \times 42553} = 15,53726 \quad (18)$$

$$\frac{\partial \eta_t}{\partial \dot{m}_{yakıt}} = -\frac{P_e \times 3600 \times 100}{(\dot{m}_{yakıt})^2 \times Q_{AID}} = -\frac{1,710 \times 3600 \times 100}{(0,5445)^2 \times 42553} = -48,79470083 \quad (19)$$

$$\Delta\eta_t = \sqrt{\left(\Delta P_e \frac{\partial\eta_t}{\partial P_e}\right)^2 + \left(\Delta\dot{m}_{yakıt} \frac{\partial\eta_t}{\partial\dot{m}_{yakıt}}\right)^2} \quad (20)$$

$$\Delta\eta_t = \sqrt{(0,028530393 \times 15,53726)^2 + (0,00527225995 \times -48,79470083)^2} \quad (21)$$

$$\Delta\eta_t = \%0,512525785 \quad (22)$$

$$\frac{\Delta\eta_t}{\eta_t} = \frac{0,512525785}{26,5687146} = \%1,929 \quad (23)$$

• **Fren özgül yakıt tüketimi için belirsizlik analizi**

$$F\ddot{O}YT = \frac{\dot{m}_{yakıt}}{P_e} = \frac{0,5445}{1,710} = 0,31842 \frac{kg}{kWh} \quad (24)$$

$$\frac{\partial F\ddot{O}YT}{\partial P_e} = -\frac{\dot{m}_{yakıt}}{(P_e)^2} = -\frac{0,5445}{(1,710)^2} = -0,18621 \quad (25)$$

$$\frac{\partial F\ddot{O}YT}{\partial \dot{m}_{yakıt}} = \frac{1}{P_e} = \frac{1}{1,710} = 0,584795 \quad (26)$$

$$\Delta F\ddot{O}YT = \sqrt{\left(\Delta P_e \frac{\partial F\ddot{O}YT}{\partial P_e}\right)^2 + \left(\Delta\dot{m}_{yakıt} \frac{\partial F\ddot{O}YT}{\partial \dot{m}_{yakıt}}\right)^2} \quad (27)$$

$$\Delta F\ddot{O}YT = \sqrt{(0,028530393 \times -0,18621)^2 + (0,00527225995 \times 0,584795)^2} \quad (28)$$

$$\Delta F\ddot{O}YT = 0,00614249621 \frac{kg}{kWh} \quad (29)$$

$$\frac{\Delta F\ddot{O}YT}{F\ddot{O}YT} = \frac{0,00614249621}{0,31842} = \%1,929 \quad (30)$$

Kaynaklar

Acaroğlu, M., Aydoğan, H., Özçelik, A. E. (2018). Yakıtlar ve Yanma. Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti., Yayın No: 2143, Teknik Bilimler: 177, Ostim, Ankara, 2. Basım. ISBN: 978-605-7928-52-8.

Ağbulut, Ü., Sarıdemir, S., Albayrak, S. (2019). Experimental investigation of combustion, performance and emission characteristics of a diesel engine fuelled with diesel–biodiesel–alcohol blends. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 41(9):389.

Aksoy, F., Bayrakçeken, H. (2010). Dizel Yakıtına% 5 ve % 10 İzopropil Alkol (IPA) İlavesinin Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi. Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2(3):37-43.

Alagumalai, A. (2015). Combustion characteristics of lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*) oil in a partial premixed charge compression ignition engine. Alexandria Engineering Journal, 54(3):405-413.

Aloko, D., Adebayo, G. A., Oke, O. E. (2007). Evaluation of diesel-hexanol blend as diesel fuel. Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, 10(6):151-156.

Alptekin, E. (2017). Evaluation of ethanol and isopropanol as additives with diesel fuel in a CRDI diesel engine. Fuel, 205:161-172.

Alptekin, E., Canakci, M., Ozsezen, A. N., Turkcan, A., Sanli, H. (2015). Using waste animal fat based biodiesels–bioethanol–diesel fuel blends in a DI diesel engine. Fuel, 157:245-254.

Anand, K., Sharma, R. P., Mehta, P. S. (2011). Experimental investigations on combustion, performance and emissions characteristics of neat karanja biodiesel and its methanol blend in a diesel engine. Biomass and Bioenergy, 35(1):533-541.

Appavu, P., Venu, H. (2019). Quaternary blends of diesel/biodiesel/vegetable oil/pentanol as a potential alternative feedstock for existing unmodified diesel engine: Performance, combustion and emission characteristics. Energy, 186:115856.

Ashok, B., Nanthagopal, K., Saravanan, B., Azad, K., Patel, D., Sudarshan, B., Ramasamy, R. A. (2019a). Study on isobutanol and Calophyllum inophyllum biodiesel as a partial replacement in CI engine applications. Fuel, 235:984-994.

Ashok, B., Nanthagopal, K., Darla, S., Chyuan, O. H., Ramesh, A., Jacob, A., Sahil, G., Thiyagarajan, S., Geo, V. E. (2019b). Comparative assessment of hexanol and decanol as oxygenated additives with calophyllum inophyllum biodiesel. Energy, 173:494-510.

Atmanli, A. (2016). Comparative analyses of diesel–waste oil biodiesel and propanol, n-butanol or 1-pentanol blends in a diesel engine. Fuel, 176:209-215.

- Atmanli, A., Yilmaz, N. (2018). A comparative analysis of n-butanol/diesel and 1-pentanol/diesel blends in a compression ignition engine. *Fuel*, 234:161-169.
- Atmanli, A., Yilmaz, N. (2020). An experimental assessment on semi-low temperature combustion using waste oil biodiesel/C3-C5 alcohol blends in a diesel engine. *Fuel*, 260:116357.
- Aydın, F., Ögüt, H. (2017). Effects of using ethanol-biodiesel-diesel fuel in single cylinder diesel engine to engine performance and emissions. *Renewable Energy*, 103:688-694.
- Babu, D., Anand, R. (2017). Effect of biodiesel-diesel-n-pentanol and biodiesel-diesel-n-hexanol blends on diesel engine emission and combustion characteristics. *Energy*, 133:761-776.
- Balamurugan, T., Nalini, R. (2014). Experimental investigation on performance, combustion and emission characteristics of four stroke diesel engine using diesel blended with alcohol as fuel. *Energy*, 78:356-363.
- Campos-Fernández, J., Arnal, J. M., Gómez, J., Dorado, M. P. (2012). A comparison of performance of higher alcohols/diesel fuel blends in a diesel engine. *Applied Energy*, 95:267-275.
- Campos-Fernandez, J., Arnal, J. M., Gomez, J., Lacalle, N., Dorado, M. P. (2013). Performance tests of a diesel engine fueled with pentanol/diesel fuel blends. *Fuel*, 107:866-872.
- Chen, Z., Liu, J., Han, Z., Du, B., Liu, Y., Lee, C. (2013). Study on performance and emissions of a passenger-car diesel engine fueled with butanol–diesel blends. *Energy*, 55:638-646.
- Cheung, C. S., Di, Y., Huang, Z. (2008). Experimental investigation of regulated and unregulated emissions from a diesel engine fueled with ultralow-sulfur diesel fuel blended with ethanol and dodecanol. *Atmospheric Environment*, 42(39):8843-8851.
- Cheung, C. S., Zhu, L., Huang, Z. (2009). Regulated and unregulated emissions from a diesel engine fueled with biodiesel and biodiesel blended with methanol. *Atmospheric Environment*, 43(32):4865-4872.
- Coughlin, B., Hoxie, A. (2017). Combustion characteristics of ternary fuel Blends: Pentanol, butanol and vegetable oil. *Fuel*, 196:488-496.
- Çelik, M., Örs, İ., Bayindirli, C., Demiralp, M. (2017). Experimental investigation of impact of addition of bioethanol in different biodiesels, on performance, combustion and emission characteristics. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31(11):5581-5592.
- De Pours, M. V., Sathiyagnanam, A. P., Rana, D., Kumar, B. R., Saravanan, S. (2017). 1-Hexanol as a sustainable biofuel in DI diesel engines and its effect on combustion and emissions under the influence of injection timing and exhaust gas recirculation (EGR). *Applied Thermal Engineering*, 113:1505-1513.
- Devan, P. K., Mahalakshmi, N. V. (2009). A study of the performance, emission and combustion characteristics of a compression ignition engine using methyl ester of paradise oil–eucalyptus oil blends. *Applied Energy*, 86(5):675-680.
- Doğan, B., Erol, D., Yaman, H., Kodanlı, E. (2017). The effect of ethanol-gasoline blends on performance and exhaust emissions of a spark ignition engine through exergy analysis. *Applied Thermal Engineering*, 120:433-443.
- Doğan, O. (2011). The influence of n-butanol/diesel fuel blends utilization on a small diesel engine performance and emissions. *Fuel*, 90(7):2467-2472.
- Duraisamy, G., Rangasamy, M., Govindan, N. (2020). A comparative study on methanol/diesel and methanol/PODE dual fuel RCCI combustion in an automotive diesel engine. *Renewable Energy*, 145:542-556.
- El-Seesy, A. I., Abdel-Rahman, A. K., Bady, M., Ookawara, S. J. E. C. (2017). Performance, combustion, and emission characteristics of a diesel engine fueled by biodiesel-diesel mixtures with multi-walled carbon nanotubes additives. *Energy Conversion and Management*, 135:373-393.
- Emiroğlu, A. O. (2019). Effect of fuel injection pressure on the characteristics of single cylinder diesel engine powered by butanol-diesel blend. *Fuel*, 256:115928.
- Emiroğlu, A. O., Şen, M. (2018a). Combustion, performance and emission characteristics of various alcohol blends in a single cylinder diesel engine. *Fuel*, 212:34-40.

- Emiroğlu, A. O., Şen, M. (2018b). Combustion, performance and exhaust emission characterizations of a diesel engine operating with a ternary blend (alcohol-biodiesel-diesel fuel). *Applied Thermal Engineering*, 133:371-380.
- Geo, V. E., Sonthalia, A., Nagarajan, G., Nagalingam, B. (2017). Studies on performance, combustion and emission of a single cylinder diesel engine fuelled with rubber seed oil and its biodiesel along with ethanol as injected fuel. *Fuel*, 209:733-741.
- Hazar, H., Uyar, M. (2015). Experimental investigation of isopropyl alcohol (IPA)/diesel blends in a diesel engine for improved exhaust emissions. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 4(1):1-6.
- Holman, P. (2012). *Experimental Methods for Engineers*. Eighth ed. New York, USA: McGraw-Hill.
- Huang, Z., Lu, H., Jiang, D., Zeng, K., Liu, B., Zhang, J., Wang, X. (2004). Combustion behaviors of a compression-ignition engine fuelled with diesel/methanol blends under various fuel delivery advance angles. *Bioresource technology*, 95(3):331-341.
- Hulwan, D. B., Joshi, S. V. (2011). Performance, emission and combustion characteristic of a multicylinder DI diesel engine running on diesel–ethanol–biodiesel blends of high ethanol content. *Applied Energy*, 88(12):5042-5055.
- Ibrahim, A. (2016). Performance and combustion characteristics of a diesel engine fuelled by butanol–biodiesel–diesel blends. *Applied Thermal Engineering*, 103:651-659.
- Ileri, E. (2016). Experimental study of 2-ethylhexyl nitrate effects on engine performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with n-butanol or 1-pentanol diesel–sunflower oil blends. *Energy Conversion and Management*, 118:320-330.
- Imdadul, H. K., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Zulkifli, N. W. M., Alabdulkarem, A., Kamruzzaman, M., Rashed, M. M. (2016a). A comparative study of C4 and C5 alcohol treated diesel–biodiesel blends in terms of diesel engine performance and exhaust emission. *Fuel*, 179:281-288.
- Imdadul, H. K., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Zulkifli, N. W. M., Alabdulkarem, A., Rashed, M. M., Teoh, Y. H., How, H. G. (2016b). Higher alcohol–biodiesel–diesel blends: an approach for improving the performance, emission, and combustion of a light-duty diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 111:174-185.
- Jamrozik, A., Tutak, W., Gnatowska, R., Nowak, Ł. (2019). Comparative analysis of the combustion stability of diesel-methanol and diesel-ethanol in a dual fuel engine. *Energies*, 12(6):971.
- Karabektas, M., Hosoz, M. (2009). Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends. *Renewable Energy*, 34(6):1554-1559.
- Kattela, S. P., Vysyaraju, R. K. R., Surapaneni, S. R., Ganji, P. R. (2019). Effect of n-butanol/diesel blends and piston bowl geometry on combustion and emission characteristics of CI engine. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(2):1661-1674.
- Koivisto, E., Ladommatos, N., Gold, M. (2015). Systematic study of the effect of the hydroxyl functional group in alcohol molecules on compression ignition and exhaust gas emissions. *Fuel*, 153:650-663.
- Kumar, B. R., Saravanan, S. (2015). Effect of exhaust gas recirculation (EGR) on performance and emissions of a constant speed DI diesel engine fueled with pentanol/diesel blends. *Fuel*, 160:217-226.
- Kumar, B. R., Saravanan, S. (2016). Use of higher alcohol biofuels in diesel engines: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60:84-115.
- Kumar, B. R., Saravanan, S., Rana, D., Nagendran, A. (2016). A comparative analysis on combustion and emissions of some next generation higher-alcohol/diesel blends in a direct-injection diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 119:246-256.
- Kumar, S., Cho, J. H., Park, J., Moon, I. (2013). Advances in diesel–alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22:46-72.
- Li, L., Wang, J., Wang, Z., Xiao, J. (2015a) Combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with diesel/biodiesel/pentanol fuel blends, *Fuel*, 156:211-218, 2015a.
- Li, L., Wang, J., Wang, Z., Liu, H. (2015b). Combustion and emissions of compression ignition in a direct injection diesel engine fueled with pentanol. *Energy*, 80:575-581.
- Li, F., Yi, B., Fu, W., Song, L., Liu, T., Hu, H., Lin, Q. (2019). Experimental study on spray characteristics of long-chain alcohol-diesel fuels in a constant volume chamber. *Journal of the Energy Institute*, 92(1):94-107.

- Ma, B., Yao, A., Yao, C., Wang, B., Gao, J., Chen, C., Wu, T. (2019). Experimental study on energy balance of different parameters in diesel methanol dual fuel engine. *Applied Thermal Engineering*, 159:113954.
- Ma, Y., Huang, S., Huang, R., Zhang, Y., Xu, S. (2017). Ignition and combustion characteristics of n-pentanol–diesel blends in a constant volume chamber. *Applied Energy*, 185:519-530.
- Machado, H. B., Dekishima, Y., Luo, H., Lan, E. I., Liao, J. C. (2012). A selection platform for carbon chain elongation using the CoA-dependent pathway to produce linear higher alcohols. *Metabolic engineering*, 14(5):504-511.
- Nabi, M. N., Zare, A., Hossain, F. M., Bodisco, T. A., Ristovski, Z. D., Brown, R. J. (2017). A parametric study on engine performance and emissions with neat diesel and diesel-butanol blends in the 13-Mode European Stationary Cycle. *Energy Conversion and Management*, 148:251-259.
- Nanthagopal, K., Ashok, B., Saravanan, B., Patel, D., Sudarshan, B., Ramasamy, R. A. (2018). An assessment on the effects of 1-pentanol and 1-butanol as additives with Calophyllum Inophyllum biodiesel. *Energy Conversion and Management*, 158:70-80.
- Nanthagopal, K., Ashok, B., Saravanan, B., Pathy, M. R., Sahil, G., Ramesh, A., Nabi, M. N., Rasul, M. G. (2019). Study on decanol and Calophyllum Inophyllum biodiesel as ternary blends in CI engine. *Fuel*, 239:862-873.
- Nour, M., Attia, A. M., Nada, S. A. (2019). Combustion, performance and emission analysis of diesel engine fuelled by higher alcohols (butanol, octanol and heptanol)/diesel blends. *Energy conversion and management*, 185:313-329.
- Ors, I., Kahraman, A., Ciniviz, M. (2017). Performance, emission and combustion analysis of a compression ignition engine using biofuel blends. *Thermal Science*, 21(1 Part B):511-522.
- Özener, O., Yüksek, L., Ergenç, A. T., Özkan, M. (2014). Effects of soybean biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. *Fuel*, 115:875-883.
- Özer, S. (2010). Bütanol kullanımının dizel motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2010.
- Özsezen, A.N., Çanakçı, M., Sayın, C. (2006). Atık kızartma yağı kökenli biyodizelin ön yanma odalı bir dizel motorun emisyonları üzerine etkisi. *Biyoyakıt (Biyodizel-Biyooetanol) Sempozyumu*, Bursa, 41-51, 29-30 Haziran.
- Palash, S. M., Kalam, M. A., Masjuki, H. H., Masum, B. M., Fattah, I. R., Mofijur, M. (2013). Impacts of biodiesel combustion on NOx emissions and their reduction approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23:473-490.
- Pan, M., Huang, R., Liao, J., Jia, C., Zhou, X., Huang, H., Huang, X. (2019). Experimental study of the spray, combustion, and emission performance of a diesel engine with high n-pentanol blending ratios. *Energy Conversion and Management*, 194:1-10.
- Pandian, A. K., Munuswamy, D. B., Radhakrishnan, S., Devarajan, Y., Ramakrishnan, R. B. B., Nagappan, B. (2018). Emission and performance analysis of a diesel engine burning cashew nut shell oil bio diesel mixed with hexanol. *Petroleum Science*, 15(1):176-184.
- Park, S. H., Cha, J., Lee, C. S. (2012). Impact of biodiesel in bioethanol blended diesel on the engine performance and emissions characteristics in compression ignition engine. *Applied Energy*, 99:334-343.
- Pilusa, T. J., Mollagee, M. M., Muzenda, E. (2012). Reduction of vehicle exhaust emissions from diesel engines using the whale concept filter. *Aerosol and Air Quality Research*, 12(5):994–1006.
- Qi, D. H., Chen, H., Lee, C. F., Geng, L. M., Bian, Y. Z. (2010a). Experimental studies of a naturally aspirated, DI diesel engine fuelled with ethanol–biodiesel–water microemulsions. *Energy & Fuels*, 24(1):652-663.
- Qi, D. H., Chen, H., Geng, L. M., Bian, Y. Z., Ren, X. C. (2010b). Performance and combustion characteristics of biodiesel–diesel–methanol blend fuelled engine. *Applied Energy*, 87(5):1679-1686.
- Qi, D. H., Chen, H., Geng, L. M., Bian, Y. Z. (2010c). Experimental studies on the combustion characteristics and performance of a direct injection engine fueled with biodiesel/diesel blends. *Energy Conversion and Management*, 51(12):2985-2992.
- Rajak, U., Nashine, P., Verma, T. N., Pugazhendhi, A. (2019). Alternating the environmental benefits of Aegle-diesel blends used in compression ignition. *Fuel*, 256:115835.
- Rajak, U., Verma, T. N. (2018). Spirulina microalgae biodiesel–A novel renewable alternative energy source for compression ignition engine. *Journal of Cleaner Production*, 201:343-357.

- Rakopoulos, D. C., Rakopoulos, C. D., Giakoumis, E. G., Dimaratos, A. M., Kyritsis, D. C. (2010). Effects of butanol–diesel fuel blends on the performance and emissions of a high-speed DI diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 51(10):1989-1997.
- Ramalingam, S., Mahalakshmi, N. V. (2020). Influence of *Moringa oleifera* biodiesel–diesel–hexanol and biodiesel–diesel–ethanol blends on compression ignition engine performance, combustion and emission characteristics. *RSC Advances*, 10(8):4274-4285.
- Ramesh, A., Ashok, B., Nanthagopal, K., Pathy, M. R., Tambare, A., Mali, P., Phuke, P., Patil, S., Subbarao, R. (2019). Influence of hexanol as additive with *Calophyllum Inophyllum* biodiesel for CI engine applications. *Fuel*, 249:472-485.
- Rasskazchikova, T. V., Kapustin, V. M., Karpov, S. A. (2004). Ethanol as high–octane additive to automotive gasolines. production and use in russia and abroad. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 40(4):203-210.
- Rocha, H. M. Z., da Silva Pereira, R., Nogueira, M. F. M., Belchior, C. R. P., de Lima Tostes, M. E. (2017). Experimental investigation of hydrogen addition in the intake air of compressed ignition engines running on biodiesel blend. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(7):4530-4539.
- Sayin, C., Ozsezen, A. N., Canakci, M. (2010). The influence of operating parameters on the performance and emissions of a DI diesel engine using methanol-blended-diesel fuel. *Fuel*, 89(7):1407-1414.
- Shrivastava, P., Verma, T. N. (2019). An experimental investigation into engine characteristics fueled with Lal ambari biodiesel and its blends. *Thermal Science and Engineering Progress*, 100356.
- Shrivastava, P., Salam, S., Verma, T. N., Samuel, O. D. (2020). Experimental and empirical analysis of an IC engine operating with ternary blends of diesel, karanja and roselle biodiesel. *Fuel*, 262:116608.
- Shu, J., Fu, J., Liu, J., Zhang, L., Zhao, Z. (2018). Experimental and computational study on the effects of injection timing on thermodynamics, combustion and emission characteristics of a natural gas (NG)-diesel dual fuel engine at low speed and low load. *Energy conversion and management*, 160:426-438.
- Suhaimi, H., Adam, A., Mrwan, A. G., Abdullah, Z., Othman, M. F., Kamaruzzaman, M. K., Hagos, F. Y. (2018). Analysis of combustion characteristics, engine performances and emissions of long-chain alcohol-diesel fuel blends. *Fuel*, 220:682-691.
- Sridhar, R., Jeevahan, J., Chandrasekaran, M. (2020). Effect of the addition of 1-pentanol on engine performance and emission characteristics of diesel and biodiesel fuelled single cylinder diesel engine. *International Journal of Ambient Energy*, 41(1):58-63.
- Sundar, R. C., Saravanan, G. (2011). Influence of hexanol-diesel blends on constant speed diesel engine. *Thermal Science*, 15(4):1215-1222.
- Şahin, Z., Durgun, O., Aksu, O. N. (2015). Experimental investigation of n-butanol/diesel fuel blends and n-butanol fumigation–evaluation of engine performance, exhaust emissions, heat release and flammability analysis. *Energy Conversion and Management*, 103:778-789.
- Tesfa, B., Mishra, R., Gu, F., Powles, N. (2010). Prediction models for density and viscosity of biodiesel and their effects on fuel supply system in CI engines. *Renewable energy*, 35(12):2752-2760.
- Tse, H., Leung, C. W., Cheung, C. S. (2015). Investigation on the combustion characteristics and particulate emissions from a diesel engine fueled with diesel-biodiesel-ethanol blends. *Energy*, 83:343-350.
- Tutak, W., Lukacs, K., Szwaja, S., Bereczky, A. (2015). Alcohol–diesel fuel combustion in the compression ignition engine. *Fuel*, 154:196-206.
- Ullman, T. L., Spreen, K. B., Mason, R. L. (1994). Effects of cetane number, cetane improver, aromatics, and oxygenates on 1994 heavy-duty diesel engine emissions. *SAE transactions*:682-702.
- Wei, L., Cheung, C. S., Huang, Z. (2014). Effect of n-pentanol addition on the combustion, performance and emission characteristics of a direct-injection diesel engine. *Energy*, 70:172-180.
- Wu, F., Xu, B., Liu, Y., Wu, J. (2019). Performance and Emission Characteristics of a Diesel Engine Fueled with Alcohol–Diesel Fuel Blends Containing Low Ratio of Alcohols. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 38(3):e13035.
- Xingcai, L., Zhen, H., Wugao, Z., Degang, L. (2004). The influence of ethanol additives on the performance and combustion characteristics of diesel engines. *Combustion Science and Technology*, 176(8):1309-1329.
- Yao, M., Wang, H., Zheng, Z., Yue, Y. (2010). Experimental study of n-butanol additive and multi-injection on HD diesel engine performance and emissions. *Fuel*, 89(9):2191-2201.

Yardımcı, M. H. (2008). Motor Teknolojisi. Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti., Yayın No: 1298, Teknik Bilimler: 101, Ostim, Ankara.

Yeşilyurt, M. K., Eryılmaz, T., Arslan, M. (2018). A comparative analysis of the engine performance, exhaust emissions and combustion behaviors of a compression ignition engine fuelled with biodiesel/diesel/1-butanol (C4 alcohol) and biodiesel/diesel/n-pentanol (C5 alcohol) fuel blends. *Energy*, 165:1332-1351.

Yılmaz, N., Atmanlı, A. (2017a). Experimental evaluation of a diesel engine running on the blends of diesel and pentanol as a next generation higher alcohol. *Fuel*, 210:75-82.

Yılmaz, N., Atmanlı, A. (2017b). Experimental assessment of a diesel engine fueled with diesel-biodiesel-1-pentanol blends. *Fuel*, 191:190-197.

Yılmaz, N., Vigil, F. M., Benalil, K., Davis, S. M., Calva, A. (2014). Effect of biodiesel-butanol fuel blends on emissions and performance characteristics of a diesel engine. *Fuel*, 135:46-50.

Yılmaz, N., Atmanlı, A., Trujillo, M. (2017). Influence of 1-pentanol additive on the performance of a diesel engine fueled with waste oil methyl ester and diesel fuel. *Fuel*, 207:461-469.

Zhang, K., Sawaya, M. R., Eisenberg, D. S., Liao, J. C. (2008). Expanding metabolism for biosynthesis of non-natural alcohols. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(52):20653-20658.

Zhang, Z. H., Balasubramanian, R. (2016). Investigation of particulate emission characteristics of a diesel engine fueled with higher alcohols/biodiesel blends. *Applied Energy*, 163:71-80.

Zhong, W., Xuan, T., He, Z., Wang, Q., Li, D., Zhang, X., Huang, Y. Y. (2016). Experimental study of combustion and emission characteristics of diesel engine with diesel/second-generation biodiesel blending fuels. *Energy Conversion and Management*, 121:241-250.

Zhu, L., Xiao, Y., Cheung, C. S., Guan, C., Huang, Z. (2016). Combustion, gaseous and particulate emission of a diesel engine fueled with n-pentanol (C5 alcohol) blended with waste cooking oil biodiesel. *Applied Thermal Engineering*, 102:73-79.



Düzensiz Olmayan Yönlü Süzgeç Bankası Yöntemi ile Yere Nüfuz Eden Radar Görüntülerinde Gürültü Giderme

Ground Penetrating Radar Image Denoising via Nonuniform Directional Filter Bank Method

Şeyma Gündüz Günay¹ , Deniz Kumlu² 

¹Milli Savunma Üniversitesi, Barbaros Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü, 34942 İstanbul, TÜRKİYE

²Milli Savunma Üniversitesi, Deniz Harp Okulu, 34942 İstanbul, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 17/03/2020

Kabul / Accepted: 04/04/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 19/04/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Yere nüfuz eden radar (YNR) engel arkası hedefleri görüntülemek için kullanılan önemli bir teknolojidir. Fakat çok geniş bantlı bir yapısı olmasından dolayı, alıcı tarafından toplanan sinyal gürültü içermektedir. Gürültü, hedef sinyalinin zayıf olmasından dolayı onu maskeleyebilir ve engel arkasındaki hedefin tespitini güçleştirir. Bu sebeple, YNR görüntülerinde gürültü giderme amacıyla birçok yöntem önerilmiştir. Bunlar arasında çok çözünürlüklü yöntemler önemli bir yer tutmaktadır. Bu yöntemlerden en bilineni Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD)'dür. ADD ile hedef çeşitli detay alt-bantlara ayrıştırılarak gürültü bileşeni eşikleme yöntemi ile giderilmeye çalışılır. Fakat bu yöntemde alt-bantlara ayrıştırma işlemi sınırlıdır ve bu yüzden performansı iyi değildir. ADD' den sonra, daha kapsamlı bir ayrıştırma yapan Eğricik Dönüşümü (ED) gürültü giderme amacı ile YNR görüntülerinde uygulanmış ve iyi bir performans sergilemiştir. Fakat ED yönteminde frekans bölgesinde sabit bir bölümeleme işlemi yapılmaktadır. Bu çalışmada önerilen düzensiz olmayan yönlü süzgeç bankası (DOYSB)' in da ise, ED gibi görüntüyü sabit frekans aralıklarına bölmek yerine esnek bir yapıda frekans bölme imkânı sağlamaktadır. Bu sayede, YNR görüntüsünde hedefi daha iyi koruyabilecek frekans bölgesi ayrışımı yapılabilmektedir. Gürültü daha efektif ve hedef sinyalini bozmadan giderilmektedir. Önerilen DOYSB yöntemi, mevcut yöntemler ile zorlayıcı bir simülasyon veri seti kullanılarak karşılaştırılmıştır. DOYSB yönteminin üstünlüğü hem görsel hem sayısal olarak gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Yere nüfuz eden radar, gürültü giderme, ayrık dalgacık dönüşümü, eğricik dönüşümü, düzensiz olmayan yönlü süzgeç bankası dönüşümü.”

Abstract

Ground penetrating radar (GPR) is an important technology that is used for imaging target through obstacle. Since it has ultrawide band structure, the signal obtained by receiver contains noise component. This component can corrupt the target signal and make target detection difficult. Thus, there are numerous methods are proposed for denoising purposes in GPR community and multiresolution based methods are one of them. The most popular one is the discrete wavelet transform (DWT) where it decomposes the GPR image into detail subbands then the obtained wavelet coefficients are thresholded to remove the noise. However, DWT decomposition is very limited and the performance is not satisfying in GPR denoising. Then, the curvelet transform (CT) is proposed which makes more detailed decomposition compared to DWT thus it obtains better results. However, the frequency partitioning of the CT is fixed and it cannot be changed. In this study, we proposed a nonuniform directional filter bank (NUDFB) which has arbitrary frequency partitioning unlike CT. Thus, it gives us ability to make more effective frequency partitioning by preserving the target signal structure and the noise component can be removed more efficiently. The proposed NUDFB method is compared with the other available methods by using our simulated dataset which contains challenging scenarios. Both visual and quantitative results which obtained for the simulated dataset are proved the superiority of our proposed method.

KeyWords

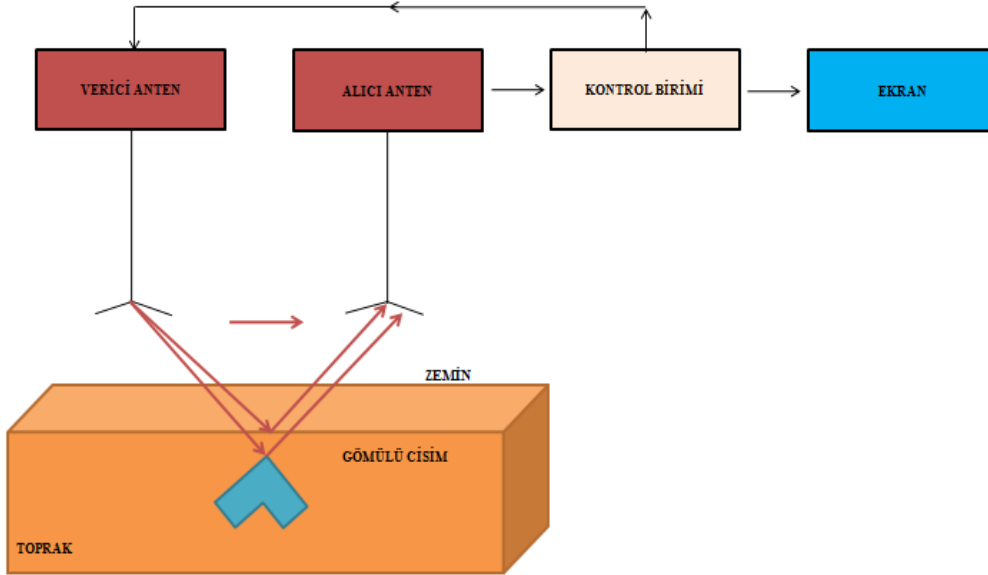
“Ground penetrating radar, denoising, discrete wavelet transform, curvelet transform, nonuniform directional filter bank.”

1. Giriş

Ultra Geniş Bant (UGB) radarları, elektromanyetik dalgalar kullanarak yeraltı algılama, duvar görüntüleme, inşaat mühendisliği, arkeolojik araştırma, tıbbi görüntüleme, gömülü hedefleri tespit etme, engel arkası nesnelere bulma ve özellikle düşük metal içeriğine sahip plastik kara mayınlarının tespiti vb. gibi çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılan bir uzaktan algılama teknolojisidir.

UGB radar sistemleri, büyük bir merkez frekans yüzdesi ile etkili bir sinyal bant genişliğine sahiptir. Bant genişliğinin yeterince büyük olması radar sistemine, yüksek uzamsal çözünürlük sağlayarak, iyi bir görüntüleme performansı kazandırır. UGB radarı, gömülü nesne tespiti amaçlı kullanılan yere nüfuz eden radar (YNR) ve duvarın arkasındaki nesnelere tespit etmek için kullanılan duvar arkası görüntüleme radarı (DAR) gibi özel isimler alabilir (Kumlu, 2018).

Tipik bir YNR; verici ve alıcı anten, kontrol birimi ve ekran birimlerinden meydana gelir. Temel prensibi gömülü hedef tespiti olan YNR' de, anten birimi vasıtasıyla yüzeyden toprağa iletilen elektromanyetik dalgalar, zeminin yüzeyine nüfuz eder. Bu dalgaların bir kısmı yüzeyden geri yansırken bir kısmı gömülü nesneye ulaşır. Nesneye ulaşan elektromanyetik dalgalar nesne tarafından yansıtılır ve alıcı anten vasıtasıyla geri alınır.



Şekil 1. YNR Blok Diyagramı

Alıcı anten vasıtasıyla toplanan sinyaller işlenerek ekran ünitesinde gösterilir. YNR sisteminin genel blok diyagramı Şekil 1' de gösterilmiştir. YNR tarafından alınan sinyaller genellikle alıcı ve verici antenler tarafından indüklenen kuplajdan, zemin yüzeylerinden gelen yansımalarından, YNR sisteminin kendisinden veya çevreden kaynaklanan elektromanyetik girişim ve yeraltı hedeflerinin yansımalarından oluşur. İletilen sinyal alıcı antenlere, kısa mesafeden ve hedef yansımalarının toprak gibi yeraltı ortamı tarafından zayıflatılmasından dolayı gömülü hedef yansımalarından çok daha yoğun olan kargaşa ile birlikte ulaşır.

Temel olarak bakıldığında YNR, iyi bir uzamsal çözünürlüğe, hedef karakteristik özelliklerinin çıkarılması ve yakalanma olasılığı düşük bir sinyal dalga formuna sahip olması, toprağın geçirgenlik ve iletkenliğindeki değişikliklere karşı duyarlı olması gibi etkili özellikleri olmasına rağmen alıcı antenlerden kontrol birimine gelerek ekrana gelen sinyaldeki bozulmalara sebep olan kargaşalar ve toprak altı süreksizliklerin YNR görüntüsü üzerinde bütünüyle yayılması ile oluşan gürültüler en büyük problemi olmuştur.

Literatürde YNR görüntülerindeki gürültüyü gidermek için önerilen çeşitli yöntemler vardır. Dalgacık Dönüşümü (DD) (Baili vd., 2006; Gupta & Choubey, 2015), Eğricik Dönüşümü (ED) (Bao vd., 2014; Terrasse vd., 2017; Terrasse vd., 2015), Çoklu Çözünürlüklü Yönlü Bilateral Süzgeç Yöntemi (ÇYBS) (Tomasi & Manduchi, 1998; Kumlu & Erer, 2017), Shearlet Dönüşümü (Wang & Liu, 2016), Örnek Seyretilmemiş Çevritsel Dönüşümü (ÖŞÇD) (Peng vd., 2016; Da Cunha vd., 2006) gibi birçok çoklu ölçek ve yönlerde çeşitli dönüşüm yöntemleri geliştirilmiştir. Son zamanlarda, blok eşleştirme ve 3 boyutlu filtreleme ile gürültü giderme algoritmasının özellikle düşük gürültü seviyesi için hesaplama yükü ve yüksek gürültü seviyesi için keskin bir performans düşüklüğü dezavantajlarına sahiptir. Bu nedenle, dijital görüntü karakteristiğini ilave gürültü seviyeleri ile birleştiren ve gruplama aşamasında blok eşleştirme eşliğini uyarlamalı olarak seçen eşleştirme ve 3 boyutlu filtreleme yönteminin yeni bir sürümü (Dai vd., 2013) önerilmiştir. Çoklu çözünürlük tabanlı yöntemler ile gürültü giderilirken, YNR görüntüsü ilk önce bu yöntemler kullanılarak çok ölçekli ve çok yönlü altbantlara ayrıştırılır. Ayrıştırılmış bu alt bantlardaki katsayılar belirli eşikleme kurallarına göre eşiklenir. Kalan katsayılar ise yeniden ters dönüşüm uygulanarak gürültüden arındırılmış görüntü elde edilir. Hedef hakkında yararlı bilgiler elde edebilmek, hedefi tespit edebilmek ve tanımlayabilmek için YNR verilerine uygun gürültü giderme tekniğinin kullanılması çok önemlidir.

Aynı zamanda YNR görüntüleri üzerinde kargaşa giderme için birçok çalışma yapılmıştır. YNR görüntüsünün, her bir seviyesinin yaklaşık ve yönlü alt bantlar içerdiği Kafes süzgeci ile birkaç seviyeye ayrışmasına dayanan ve düşük karmaşıklıkta sahip bir kargaşa giderme yöntemi (Kumlu vd., 2020) tarafından önerilmiştir. Temel Bileşen Analizi, Tekil Değer Ayrışımı,

Morfolojik Bileşen Analizi, ED, ÇYBS teknikleri ile YNR görüntüleri üzerinde çalışılarak performansları (Kumlu & Erer, 2019) tarafından sunulmuştur. (Kumlu & Erer, 2018) tarafından çok ölçekli yönlü Komşu Filtresi ile YNR görüntüsü üzerinde hedef nesne ve kargaşanın içsel geometrik özelliklerinden yararlanılarak hedef ve kargaşa bilgisi edinilip kargaşa giderme algoritması çalışılmış ve sonuçları sunulmuştur. Literatürde yer alan çoklu ölçekli ve yönlü ayırışmaya dayalı yöntemler kargaşayı etkili bir şekilde kaldırırken aynı zamanda yüksek bir hesaplama karmaşıklığını da beraberinde getirir. Buna dayanarak (Kumlu vd., 2019) ile YNR görüntüsünün yalnızca satırlarının bir boyutlu hızlı alt bant ayırışmasını gerektiren çok ölçekli bir yöntem önerilmiştir. Farklı bir alan olarak pankromatik uydu görüntülerinin detaylarını çoklu çözünürlük analizine dayalı yöntemler ile elde ederek bu detayların multispektral uydu görüntülerine aktarımında gereksiz detay aktarımının da meydan gelmesi sebebi ile füzyon sonuçlarında aşırı bir genişleme oluşur. Bu dezavantajın ortadan kaldırılması için (Kaynak vd., 2017) tarafından ÇYBS yöntemi ile pankromatik uydu görüntüsünün ayırışmasına dayanan füzyon şeması önerilmiştir. (Kaplan vd., 2012) tarafından ise pankromatik ve multispektral uydu görüntüleri için Bilateral Piramit yöntemine dayanan yeni bir füzyon yöntemi sunulmuştur.

Temeli Fourier dönüşümüne dayanan ve 1982 yılında Jean Morlet tarafında geliştirilen DD, gürültü giderme, veri sıkıştırma gibi çeşitli sinyal işleme alanlarında kullanılan farklı boyutlu pencereleme yöntemi olup, radar veya YNR sinyali gibi sabit olmayan sinyallerin analizinde kullanılan bir yöntemdir. Gürültü gidermede, gürültülü YNR görüntüsünün dalgacık ve ayırıştırma seviyesi seçilir ve görüntüye dalgacık dönüşümü uygulanarak katsayı matrisleri ve bu dalgacık katsayılarından yaklaşık ve detayları elde edilir. Her bir ayırıştırma seviyesi için eşikleme seçilerek detay katsayılarının gürültü bileşenleri eşiklenir. En son ayırıştırma seviyesindeki sinyalin yaklaşık katsayıları ile eşiklenmiş detay katsayıları kullanılarak orijinal görüntü tekrar elde edilir. (Gupta & Choubey, 2015)

Yönlü ayırıştırma kabiliyeti olan ve diğer çoklu çözünürlük dönüşümlerine nazaran kenarları göstermede ve etkin özellik çıkarma yeteneği olan ED, Candes ve Donoho tarafından geliştirilmiştir. ED, farklı ölçek ve yönlerde çoklu çözünürlükte görüntüyü temsil etmek için DD' nin yüksek boyutlu bir genellemesidir (Kumlu & Erer, 2017). ED yöntemi DD' ye kıyasla görüntüyü daha fazla sayıda yöne ayırıştırır fakat bu yönlerin bölünmesi sabittir (Bao vd., 2014). Temel olarak ED' de gürültü giderme, görüntünün her bir eğricik katsayısının belirli bir eşik kuralı ile eşiklenmesine dayanmaktadır. Katsayı, eşik değerinden küçük ise sifra ayarlanır. Katsayı eşik değerinden büyük ise bir işlem yapılmaz ve geri kalan katsayılar ile görüntü geri çatılır.

DD ve ED gibi çok ölçekli çok yönlü dönüşümler geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Ancak bu uygulamalarda da sabit frekans bölümlendirme sorunu ile görüntüler verimli ve doğru bir şekilde temsil edilememiştir. Önerilen örnek seyreltilmemiş Düzgün Olmayan Yönlü Süzgeç Bankası (DOYSB) yöntemi ile istenilen yönlerde frekans bölünmesinin sağlanabildiği ve gürültü giderme işleminin verimli bir şekilde yapılabildiği gözlemlenmiştir. DOYSB sadece düzgün olmayan kama şeklinde alt-bantlara sahip olmakla kalmaz aynı zamanda istenilen yönde frekans bölünmesi sağlar. Bu sayede görüntülerin gerçek geometrik özelliklerine göre yönlü ayırışım ve gösterim yapabilme yeteneği elde edilmiş olur. Önerilen yöntem iki boyutlu Yalancı Kutupsal Fourier Dönüşümüne (YKFD) dayanmaktadır (Averbuch vd., 2006). YKFD'ye bir boyutlu Örnek Seyreltilmemiş Düzgün Olmayan Süzgeç Bankası (ÖSDSB) uygulandığında iki boyutlu DOYSB elde edilir.

2. Dalgacık Dönüşümü

Temeli Fourier dönüşümüne dayanan, örüntü tanıma, bilgisayar grafikleri, gürültü giderme ve veri sıkıştırma gibi çeşitli sinyal işleme alanlarında kullanılan DD, sinyali farklı frekans değerlerinde ve farklı çözünürlüklerde inceler. Genel olarak DD ile gürültü gidermede uygulanan ilk adımda, gürültülü bir görüntü sinyalinin dalgacık dönüşümü hesaplanır. Daha sonra gürültülü dalgacık katsayıları eşiklenir. Son adım olarak ise kalan kat sayılar ile orijinal görüntü geri çatılır. Uygulanan yöntem, belirli bir genlikten daha küçük dalgacık katsayılarını bastırmak (yumuşak veya sert eşikleme) ve son olarak verileri orijinal haline geri dönüştürmek için dalgacık bazında ayırıştırmaktan oluşur (Baili vd., 2006).

2.1. Ayrık Dalgacık Dönüşümü

Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) çoklu çözünürlük analizi kavramına dayanmaktadır (Baili vd., 2009). Bir görüntü sinyalinde, sinyal işaretine ait bilgi büyük oranda düşük frekanslı bileşenlerde tutulurken yüksek frekanslı bileşenlerde, ayrıntı ve gürültüyü temsil eden detay bilgi tutulmaktadır (Gupta & Choubey, 2015). ADD' de görüntünün tek seviyeli, alçak ve yüksek geçiren olmak üzere iki filtreden geçirilmesi ile ADD katsayıları $C(\alpha, \tau)$ yaklaşık ve ayrıntı katsayıları olmak üzere iki kısma ayrılır. Burada α parametresi ölçekleme, τ parametresi ise öteleme değeridir.

ADD, görüntü sinyalini, yaklaşık ve detay bilgilerine ayırarak farklı frekans bantlarında ve farklı çözünürlüklerde analiz eder. Yaklaşık katsayıları, $f(k)$ görüntü sinyalinin yüksek ölçekli düşük frekanslı bileşenleri, ayrıntı katsayıları ise düşük ölçekli yüksek frekanslı bileşenlerdir. Alçak geçiren filtrenin çıkışı sinyalin yaklaşık bileşenlerini içerirken, yüksek geçiren filtrenin çıkışı ayrıntı bileşenlerini içermektedir (Baili vd., 2009).

j . seviyedeki $f(k)$ görüntü sinyalinin ADD yaklaşık katsayıları aşağıdaki gibi ifade edilir:

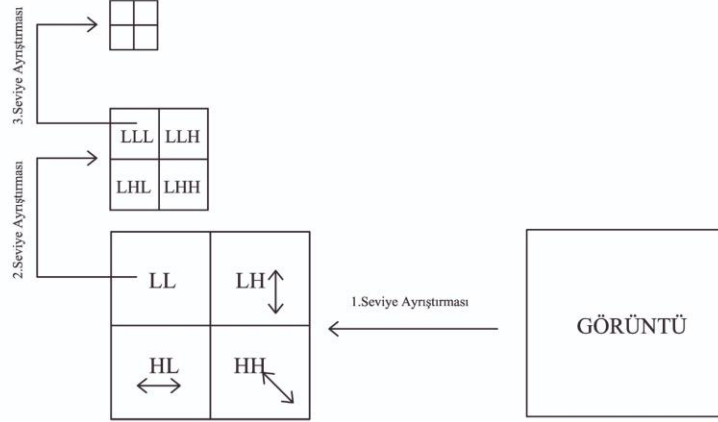
$$A_j = \sum_{n=0}^{\infty} f(n) \phi_{j,k}(n) = \sum_{n=0}^{\infty} f(n) \frac{1}{\sqrt{2^j}} \phi\left(\frac{n - k2^j}{2^j}\right) \quad (1)$$

Burada $\phi_{j,k}(n)$, dalgacık fonksiyonu ile ilişkili ölçekleme fonksiyonudur.

Aynı şekilde j . seviyedeki $f(k)$ sinyalinin ADD ayrıntı katsayıları aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$D_j = \sum_{n=0}^{\infty} f(n) \frac{1}{\sqrt{2^j}} \psi\left(\frac{n - k2^j}{2^j}\right) \quad (2)$$

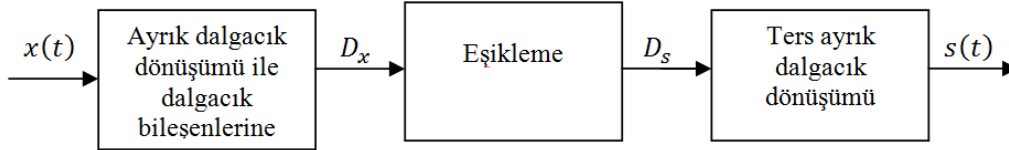
ADD, farklı frekans bantları için değişken boyutlu zaman pencereleri kullanır. Görüntü üzerinde gezdirilen zaman pencereleri ile *LH* (düşük-yüksek geçişli katsayı) ve *HL* (yüksek-düşük geçişli katsayı) bantlarının ortalama filtre ile enerjileri hesaplanır. Filtre çıkışındaki alt bantlarda orijinal görüntüye ait diyagonal, yatay ve dikey bileşenler bulunmaktadır. Şekil 2' de gösterildiği gibi giriş görüntüsü *LH*, *HL*, *HH* (yüksek-yüksek geçişli katsayı) ve dalgacık katsayılarının analiz edilebildiği *LL* (düşük-düşük geçişli katsayı) alt bandı olmak üzere toplamda 4 alt banda ayrılarak analiz edilmektedir (Gupta & Choubey, 2015).



Şekil 2. ADD için 3 Seviyeli Ayrıştırma.

ADD, dalgacık katsayıları düşük frekansta yavaş geçici değişiklikler ve yüksek frekansta ani değişiklikler gösteren YNR sinyalleri gibi sabit olmayan sinyalleri modellemek için kullanılan güçlü bir tekniktir. ADD kullanılarak bir sinyalin görüntüsü giderilirken, ayrıntı katsayıları çoğunlukla görüntüyü temsil ettiği için ayrıntı katsayıları eşiklenir (Donoho, 1995).

Temel olarak bir ayrık dalgacık dönüşümü yöntemi ile gürültülü bir görüntü sinyalinden gürültü giderme süreci Şekil 3' de sunulmuştur.



Şekil 3. DD ile Temel Gürültü Giderme Süreci

3. Eğricik Dönüşümü

DD yöntemi görüntü işlemede popüler hale gelmesine rağmen, rastgele yönlendirilmiş kenarları işleyememesi sebebi ile bu eksikliğin giderilmesi için ED önerilmiştir. ED, eğriler boyunca tekillikleri göstermede oldukça başarılı ve yönsel kabiliyeti gelişmiş yöntemdir. ED, her uzunluk ölçeğinde birçok yön ve pozisyona sahip çok ölçekli bir piramittir. Temel olarak ED gürültü giderme algoritması YNR görüntüsüne ait her eğricik katsayısının belirli bir eşik kuralı ile eşiklenmesine dayanmaktadır.

Hızlı Ayrık Eğricik Dönüşümü (HAED) iki ayırıcı yöntem ortay çıkar (Candes vd., 2006):

- Eşit araklı olmayan hızlı Fourier dönüşümü tabanlı ED
- Sarma işlemi tabanlı ED

ED, $C(j, l, k) = \langle f, \phi_{j,l,k} \rangle$ olarak gösterilir ve ifadede yer alan j , l , k sırasıyla ölçek, yön ve konum parametreleridir. Burada $C(j, l, k)$ ölçek, konum ve yöne bağlı bulunan ED katsayılarıdır.

HAED algoritmasının mimarisi sırasıyla aşağıdaki adımlarda verilmiştir:

$\hat{f}[n_1, n_2]$, dijital eğricik dönüşümün giriş olarak kartezyen koordinatlarında aldığı form olan $f[t_1, t_2]$ 'ye ait Fourier dönüşümü olsun. $U_j(w)$ sınırlandırılmış bir pencere olsun ve $U_{j,l}[n_1, n_2]$ $L_{1,j}$ uzunluğunda ve $L_{2,j}$ genişliğinde bir dikdörtgen alan üzerinde sağlansın.

- Öncelikle Fourier örneklerini almak için imgeye iki boyutlu Hızlı Fourier Dönüşüm (HFD) uygulanır.

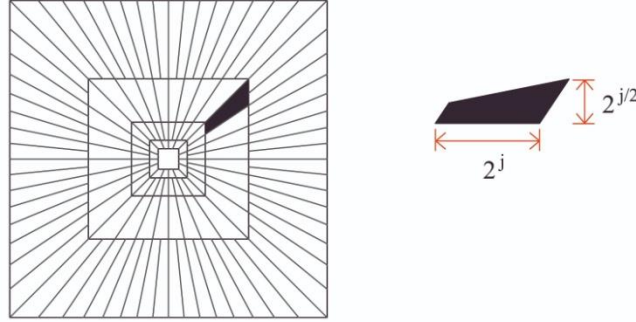
$$f[t_1, t_2], 0 \leq t_1, t_2 < n$$



$$\hat{f}[n_1, n_2], -\frac{n}{2} \leq n_1, n_2 < n/2$$

- Herbir j ölçeği ve l açısı için;

$U_{j,l}[n_1, n_2]\hat{f}[n_1, n_2]$ çarpımı bulunur ve Şekil 4' de sunulan iki boyutlu Fourier frekans düzlemi parabolik kamalara parçalanır. Radyal ve açısal parçalara ayrılan her kama aslında belirli bir ölçek ve açıdaki eğricik katsayısına denk gelir.



Şekil 4. Parabolik Kamalar

- Bulunan çarpım orijin etrafında sarmalanır,

$$\hat{f}_{j,l}[n_1, n_2] = W(\tilde{U}_{j,l}\hat{f})[n_1, n_2]$$

elde edilir. Burada n_1 , ve n_2 aralığı aşağıda gösterildiği gibidir:

$$0 \leq n_1 < L_{1,j}$$

$$0 \leq n_2 < L_{2,j}$$

- Her bir $\hat{f}_{j,l}$ 'e ters iki boyutlu hızlı Fourier dönüşümü uygulanır ve,
- $C^D(j, l, k)$ ve ayrık katsayıları elde edilir (Candes vd., 2006).

HAED algoritması, Fourier örneklerinin sarmalanmasına dayanmaktadır. Bu tersinir bir dönüşümdür ve ters HAED algoritması aşağıdaki adımlarda verilen tüm işlemleri tersine çevirerek hesaplanabilir:

- Her örnek ve açı çifti (j, l) , $W(|\tilde{U}_{j,l}|^2 \hat{f})[m, n]$ ' yi veren; diziyeye karşılık gelen $W(\tilde{U}_{j,l}\hat{f})[m, n]$ ile sarmalanmış eğricik $W(\tilde{U}_{j,l}\hat{f})[m, n]$ çarpılır.
- Frekans düzlemindeki her $W(|\tilde{U}_{j,l}|^2 \hat{f})[m, n]$ dizisi açılır ve $f[m, n]$ ' e eklenir.
- Görüntünün geri çatılması için iki boyutlu ters Fourier Dönüşümü uygulanır (Kumlu, 2018).

ED ile gürültü giderme algoritmasında yapılan ilk adımda Reel değerli eğricik dönüşümü gürültülü görüntüye uygulanır. Daha sonra her bir ED alt bandı için bir eşik değeri hesaplanarak bulunan eşik değerleri;

$$\text{Sert Eşikleme} = \begin{cases} |C_{i,j}| \leq E, & \hat{C}_{i,j} = 0 \\ |C_{i,j}| > E, & \hat{C}_{i,j} = C_{i,j} \end{cases} \quad (3)$$

denklem (3) ile sunulan sert eşikleme kuralı ile en fazla enerji yoğunluğa sahip olan ilk seviye göz ardı edilerek eşik uygulanmamıştır. En küçük katsayılarla sahip en düşük enerji yoğunluklu son seviye ise gürültüden en çok etkilenen kısım olup

bu seviyenin tamamına eşik uygulanmaktadır. Son adım olarak ise kalan kat sayılara ters ED uygulanarak gürlütüsü giderilmiş görüntü elde edilir (Engin & Çavuşoğlu, 2014). ED' de, ölçek ve konum parametrelerinin yanı sıra, görüntünün oldukça fazla sayıda farklı açıya kadar analiz etmesini sağlayan benzersiz bir yön parametresi vardır. Bu nedenle görüntülerde oluşabilecek kenarlar ilgili görüntülerin anizotropik analizi mümkündür (Bao vd., 2014).

4. Önerilen Örnek Seyreltilmemiş Düzgün Olmayan Yönlü Süzgeç Bankası Metodu

Farklı çözünürlüklerde yönlü bilgi elde etmek birçok görüntü işleme uygulamasında önemlidir. Bu nedenle, görüntülerin yön bilgilerini çıkarmak için güçlü bir araç olarak, alt-bant ve esnek yön seçiciliğine sahip Yönlü Süzgeç Bankaları (YSB) büyük ilgi görmektedir (Rosiles ve Smith, 2001; Park vd., 2004). Yönlü süzgeç bankaları yön hassasiyetleri nedeniyle yapı sınıflandırması, özellik çıkarma gibi birçok iki boyutlu sinyal işleme uygulamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. YSB' ler ile orijinal görüntü, mükemmel bir şekilde ayrıştırılmış alt bant çıktılarından geri çatılabilir.

YSB' lerin ana dezavantajı, ayrıştırılan alt bantların sabit bir kama şeklinde olması ve başarılı bir şekilde yönlü frekans ayrışımı yapmasına rağmen, ayrışan alt bant çıktılarının, orijinal giriş görüntüsünü görsel olarak farklı frekans bölmesi eşleşmesinden kaynaklanarak deforme etmesidir. Bu çalışmada önerdiğimiz DOYSB, Laplace Piramidi özelliğine sahip olup görüntüleri işlemeyi verimli bir haline getirmektedir. DOYSB' nin düzgün olmayan kama şeklinde alt bantlara sahip olmakla kalmayıp aynı zamanda istenilen yönde frekans bölümlenmesi sağlaması, esnek yön bilgisi çıkarma ve çeşitli yönlü ayrıştırma yöntemlerine kıyasla daha üstün performans sunacağını göstermektedir (Fang vd., 2018).

Temeli ayrı zamanlı YKFD' ye dayanan iki boyutlu DOYSB, YKFD' ye bir boyutlu ÖSDSB uygulanarak elde edilir. Kısaca açıklayacak olursak iki boyutlu DOYSB tasarlamak, bir boyutlu ÖSDSB ile YKFD' nin kombine edilmiş halidir (Liang vd., 2010).

YKFD, yalancı kutupsal ızgarasındaki görüntülerin iki boyutlu ayrık Fourier dönüşümünü hesaplar. Bu ızgara temel olarak dikey (TD) ve temel olarak yatay (TY) olmak üzere iki alt gruba ayrılır (Liu, vd., 2005).

Sonlu bir değer dizisinden oluşan bir $N \times N$ görüntüsü verildiğinde, $\{x(n_1, n_2)\}_{n_1, n_2=0}^{N-1, N-1}$, de verilen $N \in \mathbb{N}'$ dir. TD ve TY alt kümeleri ise matematiksel olarak;

$$TD = \begin{cases} \omega_y = \frac{\pi l}{N}, & -N \leq l < N \\ \omega_x = \omega_y \cdot \frac{2m}{N}, & -\frac{N}{2} \leq m < \frac{N}{2} \end{cases} \quad (4)$$

$$TY = \begin{cases} \omega_x = \frac{\pi l}{N}, & -N \leq l < N, \\ \omega_y = \omega_x \cdot \frac{2m}{N}, & -\frac{N}{2} < m \leq \frac{N}{2}. \end{cases} \quad (5)$$

şeklinde ifade edilir (Fang vd., 2018).

Burada, ω_x , ω_y sırasıyla x eksen ve y eksen boyunca ızgara noktalarının koordinatlarıdır. N , zaman alanında karşılık gelen görüntü sinyalinin boyutudur. Aynı zamanda $\omega_x/\omega_y = 2m/N$ ve $\omega_y = \pi l/N$; $\omega_y/\omega_x = 2m/N$ ve $\omega_x = \pi l/N$ eşitliklerinden yola çıkarak m ' nin eğim yönünü, l ' nin ise radyal yönü ifade ettiği görülmektedir (Fang vd., 2018).

Kartezyen frekans koordinatlarında ayrıştırılamayan TD ve TY alt kümeleri, YKFD koordinatlarında ayrıştırılabilir. TD ve TY alt kümelerindeki $N \times N$ görüntüsünün $x(n_1, n_2)$ YKFD' si sırasıyla (3) ve (4) numaralı denklemler ile gösterilmiştir. Yatay eksenlere göre $X_{TD}(m, l)$ ve $X_{TY}(m, l)$ ye bir boyutlu ÖSDSB uygulanırsa $X_{TD}(m, l)$ ve $X_{TY}(m, l)$ düzgün olmayan dikdörtgen desteklerle alt bantlara ayrıştırılmış olurlar. Her bir dikdörtgen desteğinin, Kartezyen frekans koordinatlarında kama şeklindeki bölgeye karşılık geldiği (Liang vd., 2010) tarafından gösterilmiştir.

Tasarımın basitleştirilmesi amacıyla iki alt kümede birleştirilerek bir boyutlu ÖSDSB uygulanmalıdır. Eğer iki alt kümede ayrı bir şekilde ele alınacak olursa gerekli diyagonal bilgiler YNR görüntüsünden çıkarılamaz.

TD ve TY alt kümelerinin birleştirilmesi için yapılması gereken ilk adım; her iki alt kümenin de başlangıç noktasının sağ veya sol tarafta bulunmasını sağlamaktır. TD ve TY alt kümelerinin birleştirilebilmesi için iki alt küme sol tarafta toplanır. Daha sonra $X_{TD}(m, l)$ $3N/2$ kadar sola; $X_{TY}(m, l)$ önce sağa/sola çevirip sonrasında $N/2$ kadar sola kaydırılır (Liang vd., 2010).

$$\begin{aligned} X_{TD}(\omega_x, \omega_y) &= X_{TD}(m, l) = \sum_{n_1=0}^{N-1} \sum_{n_2=0}^{N-1} x(n_1, n_2) \exp(-i(n_1 \omega_x + n_2 \omega_y)) \\ &= \sum_{n_1=0}^{N-1} \sum_{n_2=0}^{N-1} x(n_1, n_2) \exp\left(-i\left(n_1 \frac{2\pi m l}{N^2} + n_2 \frac{\pi l}{N}\right)\right) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
 X_{TY}(\omega_y, \omega_x) &= X_{TY}(m, l) = \sum_{n_1=0}^{N-1} \sum_{n_2=0}^{N-1} x(n_1, n_2) \exp(-i(n_1\omega_x + n_2\omega_y)) \\
 &= \sum_{n_1=0}^{N-1} \sum_{n_2=0}^{N-1} x(n_1, n_2) \exp\left(-i\left(n_1 \frac{\pi l}{N} + n_2 \frac{2\pi m l}{N^2}\right)\right)
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$X_{PPFD}(k_1, k_2) = \begin{cases} X_{TD}\left(k_1 + \frac{3N}{2}, k_2\right), & -2N \leq k_1 < -N, -N \leq k_2 < N \\ X_{TY}\left(-\frac{N}{2} - k_1, k_2\right), & -N \leq k_1 < 0, -N \leq k_2 < N \end{cases} \tag{8}$$

TD ve TY alt kümelerinin bir koordinat sisteminde birleştirilmiş hali (Liang vd., 2010) tarafından gösterilmiştir.

$X_{PPFD}(k_1, k_2), [-\pi, 0] \times [-\pi, \pi]$ bölgesi için, iki boyutlu sinyalin Kartezyen iki boyutlu ayrık Fourier dönüşümü olarak ele alınırken, $[0, \pi] \times [-\pi, \pi]$ karşı bölgesi için, iki boyutlu sinyalin ayrık Fourier dönüşümü 0 olarak ayarlanır (Liang vd., 2010).

$x'(n_1, n_2)$ iki boyutlu sinyalinde;

$$n_1 = 0, 1, \dots, 4N - 1 \text{ ve}$$

$$n_2 = 0, 1, \dots, 2N - 1 \text{ dir.}$$

$X'(k_1, k_2)$ iki boyutlu Kartezyen ayrık Fourier dönüşümü için ise;

$$k_1 = -2N, -2N + 1, \dots, 2N - 1 \text{ ve}$$

$$k_2 = -N, -N + 1, \dots, N - 1 \text{ olarak ifade edilir.}$$

İki boyutlu Kartezyen ayrık Fourier dönüşüm ızgarası ile $\omega_x = 2\pi k_1/4N$ ve $\omega_y = 2\pi k_2/2N$ eşitliklerinden (6) ve (7) numaralı denklemler yazılabilir (Liang vd., 2010).

$$X'(k_1, k_2) = \begin{cases} X_{PPFD}(k_1, k_2), & -2N \leq k_1 < 0, & -N \leq k_2 < N \\ 0, & 0 \leq k_1 < 2N - 1, & -N \leq k_2 < N \end{cases} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
 X'(\omega_x, \omega_y) &= X'(k_1, k_2) = \sum_{n_1=0}^{4N-1} \sum_{n_2=0}^{2N-1} x'(n_1, n_2) \exp(-i(n_1\omega_x + n_2\omega_y)) \\
 &= \sum_{n_1=0}^{4N-1} \sum_{n_2=0}^{2N-1} x'(n_1, n_2) \exp\left(-i\left(n_1 \frac{2\pi k_1}{4N} + n_2 \frac{2\pi k_2}{2N}\right)\right)
 \end{aligned} \tag{10}$$

$X_{PPFD}(k_1, k_2), X'(\omega_x, \omega_y)$ ' nin Kartezyen ızgarası göstermektedir. $X'(\omega_x, \omega_y)$ ' nin ω_x koordinatı boyunca periyodu 2π ' dir.

İki boyutlu DOYSB tasarımı için bir boyutlu ÖSDSB tasarım tekniğinden yola çıkılır ve geri çatma tekniği olan ve (Chen vd., 2006)' de sunulan tasarım tekniği seçilir.

İlk olarak k_1 yatay eksenini boyunca $X'(\omega_x, \omega_y)$ ' nin ayrık versiyonu olan örneklenmemiş ÖSDSB'den $X'(k_1, k_2)$ ' e M kanalı seçilir. Bu, $H_k(k_1)$ ' nin kullanılan bir boyutlu ÖSDSB' nin analiz filtrelerinin Kartezyen ayrık Fourier Dönüşümü olduğu M düzgün olmayan alt bantlar $X_k'(k_1, k_2), k = 0, 1, \dots, M - 1$ oluşturur. Her $X_k'(k_1, k_2)$ ' nin bir dikdörtgen desteği vardır ve her dikdörtgen desteği Kartezyen frekans koordinatlarındaki kama şeklindeki bir bölgeye karşılık gelir (Liang vd., 2010).

Bu oluşan alt bantların uzamsal versiyonlarını elde etmek için ilk adım olarak aşağıda gösterilen kombinasyon ve dönüşümün ters işlemleri yapılır:

Her bir $X_k'(k_1, k_2)$ alt bandı $X_{PPFD,k}(k_1, k_2)$ ' ye dönüştürülür.

$$X_{PPFD,k}(k_1, k_2) = X_k'(k_1, k_2), \quad -2N \leq k_1 < 0, -N \leq k_2 < N \tag{11}$$

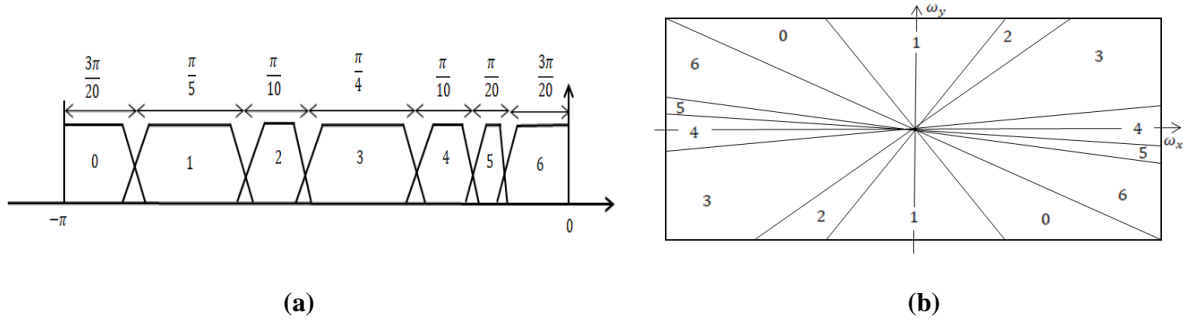
$X_{PPFD,k}(k_1, k_2)$ TD ve TY alt kümelerine göre YKFD, $X_{TD,k}(m, l)$ ve $X_{TY,k}(m, l)$ haline bölünür (Liang vd., 2010).

$$\begin{cases} X_{TD,k}(m, l) = X_{PPFD,k}\left(m - \frac{3N}{2}, l\right), & -\frac{N}{2} \leq m < \frac{N}{2}, -N \leq l < N \\ X_{TY,k}(m, l) = X_{PPFD,k}\left(-\frac{N}{2} - m, l\right), & -\frac{N}{2} < m \leq \frac{N}{2}, -N \leq l < N \end{cases} \quad (12)$$

Bir sonraki adıma gelince, ters YKFD algoritması ile $X_{TD,k}(m, l)$ ve $X_{TY,k}(m, l)$, YKFD koordinat düzleminde uzamsal alana dönüştürülür. Elden edilen uzamsal alt bantlar düzdün olmayan kama şeklindeki frekans desteklerine sahiptir ve

$x_k(n_1, n_2), k = 0, 1, \dots, M - 1$ olarak belirtilirler.

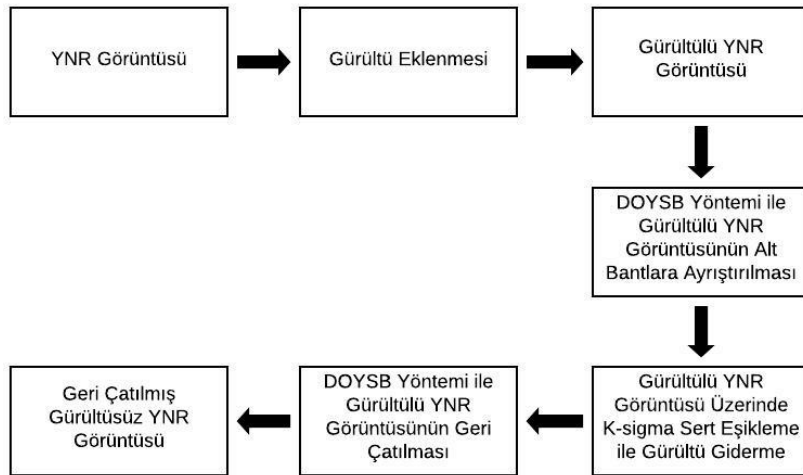
Bu iki adımın sonucu olarak iki boyutlu DOYSB yönlü alt bantları elde edilir. Ayırıştırma prosedürlerinin ters işlemleri yapılarak giriş görüntüsü geri çatılabilir. YKFD tam olarak tersine çevrilebildiği için bu makalede önerilen DOYSB' nin geri çatılma performansı sadece bir boyutlu ÖSDSB' nin performansına dayanmaktadır. Aynı zamanda yönlü alt bantların frekans seçiciliği, bir boyutlu ÖSDSB filtrelerinin frekans seçiciliğine bağlıdır (Liang vd., 2010).



Şekil 5. (a) Bir Boyutlu 7 Kanallı ÖSDSB Frekans Bölümlemesi (b) İki Boyutlu DOYSB Karşılık Geldiği Frekans Bölümlemesi

Esnek frekans bölümlemesinin daha iyi anlaşılabilmesi için ortaya çıkan yönlü alt bantların tek tip olmadığı, diyagonal, dikey ve yatay alt bantların elde edilebileceği örnek bir yedi kanallı ÖSDSB seçilsin. Bir boyutlu ÖSDSB' nin frekans bölümlemesi, Şekil 5 (a) 'da gösterilmiştir. Burada 0 ile 6 arasındaki sayı, bant endeksini gösterir. Şekil 5(b) de gösterildiği gibi Kartezyen frekans düzleminin düzgün olmayan bölümlenme elde edilir. Ayrıca diyagonal, yatay ve dikey alt bantlar elde edilir. Bu örnekle, önerilen iki boyutlu DOYSB' nin bölümlendirilmesinin yalnızca bir boyutlu ÖSDSB bölümlemesine bağlı olduğunu görebiliriz (Fang vd., 2018; Liang vd., 2010).

Önerilen DOYSB' nin görüntü detaylarını yakalama yeteneğini göstermek için görüntü üzerinde iki seviyeli düzgün olmayan bir ayırıştırma yapılır. Birinci seviye ayırıştırma ile alçak geçişli x_a^1 , yüksek geçişli x_d^1 katsayıları elde edilir. İkinci seviye ayırıştırma ise birinci seviye ayırıştırma elde edilen alçak geçişli x_a^2 , alçak geçişli x_d^2 ve bant geçişli x_b^2 katsayılarına ayırıştırılır. Yüksek geçişli x_d^1 ve bant geçişli x_b^2 katsayıları benzer yön frekans dağılımına sahiptir. Ayırıştırmanın sonunda ters DOYSB işlemi yapılarak giriş görüntüsü geri çatılır (Liang vd., 2010).



Şekil 6. DOYSB Gürültü Giderme Algoritması Akış Diyagramı

Şekil 6'da DOYSB yöntemi ile gürültü giderme algoritmasına ait akış diyagramı sunulmuştur. DOYSB yönteminde, görüntüde gürültü giderme algoritması için ÖŞÇD' nin iyi performansı dikkate alınarak (Da Cunha vd., 2006), daha önce yapılan çalışmalar tekrar edilir ve algoritmada her alt bant katsayısı üzerinde eşik değeri $T_{i,j} = K\sigma_{Nij}$ olarak seçilerek sert eşikleme uygulanır. Birkaç

normalize edilmiş gürültülü görüntü için varyansların hesaplandığı ve daha sonra sonuçların stabilize edileceği bir ortalamanın alındığı Monte Carlo tekniği kullanılmıştır. Bu işlem de *K-sigma* eşliği olarak adlandırılmıştır (Starck vd., 2002).

Çalışmada, alçak geçiş katsayıları için $K = 0$, bant geçiş ve yüksek geçiş katsayıları için sırasıyla $K = 3$ ve $K = 4$ ayarlanmıştır. Burada DOYSB için beş ölçekli ayrışma ve 4, 8, 8, 16, 16 yönlerini kullanılmıştır. Önerilen DOYSB için filtre boyutu 33' tür ve Kaiser penceresi kullanılmıştır.

5. Bulgular ve Tartışmalar

DD, ED ve önerilen DOYSB yöntemlerinin performansı, gprMax benzetim programı kullanılarak üretilen benzetim veri seti üzerinde çalışılarak farklı deneme senaryoları ile karşılaştırılmıştır. GprMax farklı kurulumlar altında elektromanyetik dalga yayılımı simülasyonu yapan açık kaynaklı bir yazılımdır (Warren & Giannopoulos, 2011). Özel senaryolar bu simülasyon programı kullanılarak kolayca oluşturulabilir. GprMax benzetim programının önemli özelliklerinden biri, birçok YNR uygulaması için farklı hedef materyali tiplerine sahip nesnelere ile birlikte gerekli olan farklı toprak tipi ve gömülme derinliklerine sahip senaryolar oluşturabilmesidir. Bu çalışmada 0,1,2,4 ve 10 cm gömülme derinliklerine ve kuru kum, nemli kum, ıslak kum, kuru kil, ıslak kil ve kuru kum kil toprak tiplerine, her biri özelinde sırasıyla alüminyum ve plastik hedef materyali tipine sahip hedefler yerleştirilerek her senaryo için çalışma yapılmış olup sonuçları sunulmuştur.

Oluşturulan benzetim veri setinde iki farklı nesne, altı farklı toprak tipi ve beş farklı gömülme derinliği ile görüntüler bulunmaktadır. Bu değişkenlerin YNR performansı üzerinde önemli etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir. Performansı etkileyebilecek en önemli iki parametre dielektrik sabiti ve iletkenliktir. Bu nedenle, toprak tipi YNR performansının önemli parametrelerinden biridir, çünkü daha iletken bir toprak (daha ıslak veya daha fazla kil içeriğine sahip olan) kuru kum gibi düşük iletken olan toprak tipine kıyasla daha fazla enerji sömürmesine neden olur. Gömülü nesnenin elektriksel özellikleri de performansı etkiler. Yüksek iletkenlik, YNR sinyalinin zayıflamasına neden olur ve metal olmayan nesnelere algılanmasını zorlaştırır. Diğer önemli parametre ise gömülü nesnenin derinliğidir. Çünkü elektromanyetik dalgalar nüfuz etme derinliği arttıkça zayıflar.

Hedef materyali tipi farklı iki nesne imgesine de sırasıyla gürültü (SNR=20 dB ve SNR=30 dB) eklenerek farklı toprak tiplerine ve farklı derinliklere gömülmesi ile gerçekleştirilen çalışma, DD, ED ve DOYSB yöntemleri ile birlikte tüm deneme senaryoları için tekrarlanmıştır.

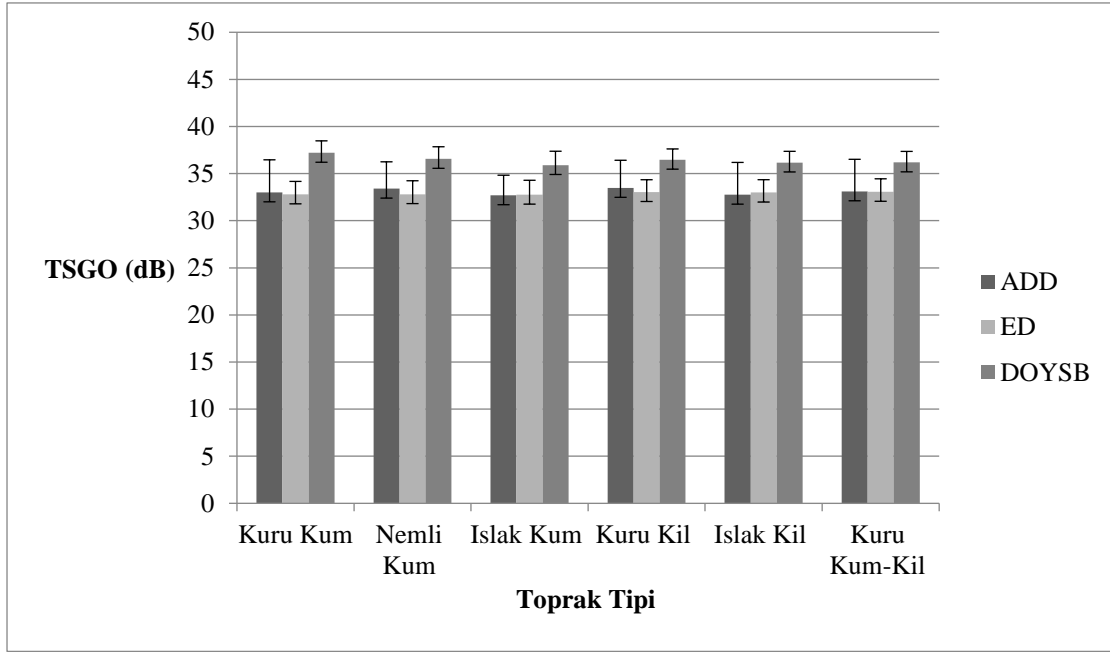
Önerilen yöntemin başarımı ve görüntü kalitesini ölçmek için gürültü giderimi sonrasında her gürültü giderme tekniği ve her senaryo için geri çatılan görüntülerin TSGO (Tepe Sinyal- Gürültü- Oranı) değerleri hesaplanmıştır.

$$TSGO = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad 13$$

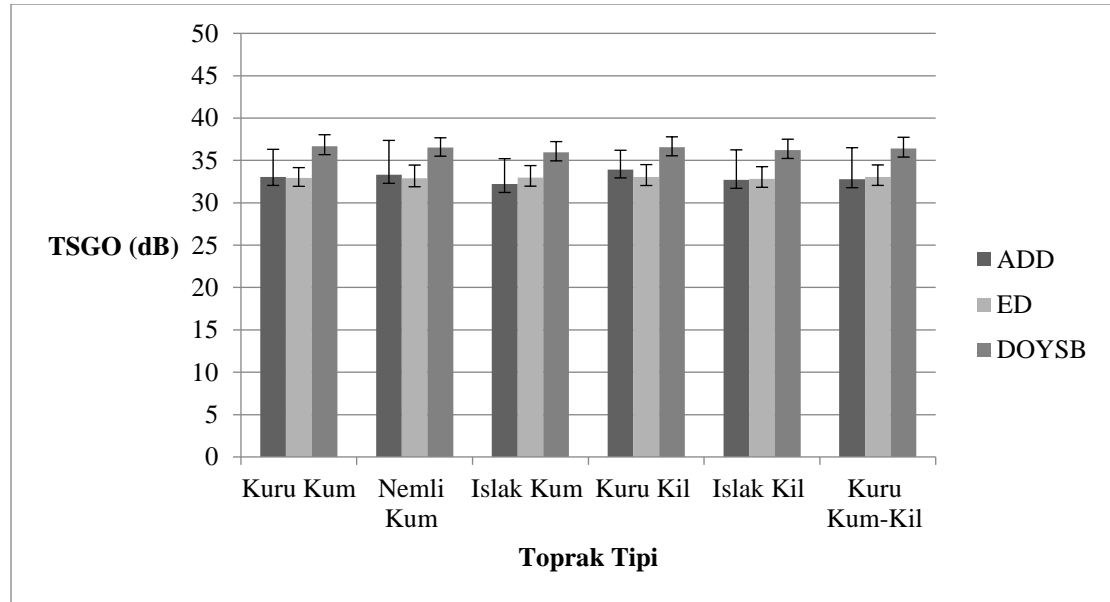
$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (X(i,j) - Y(i,j))^2}{M \times N} \quad 14$$

14 numaralı denklemde ifade edilen M ve N giriş YNR veri matrisinin boyutları olup $X(i,j)$ referans görüntü ve $Y(i,j)$ ise geri çatılan gürültüden arındırılmış görüntüsü temsil etmektedir.

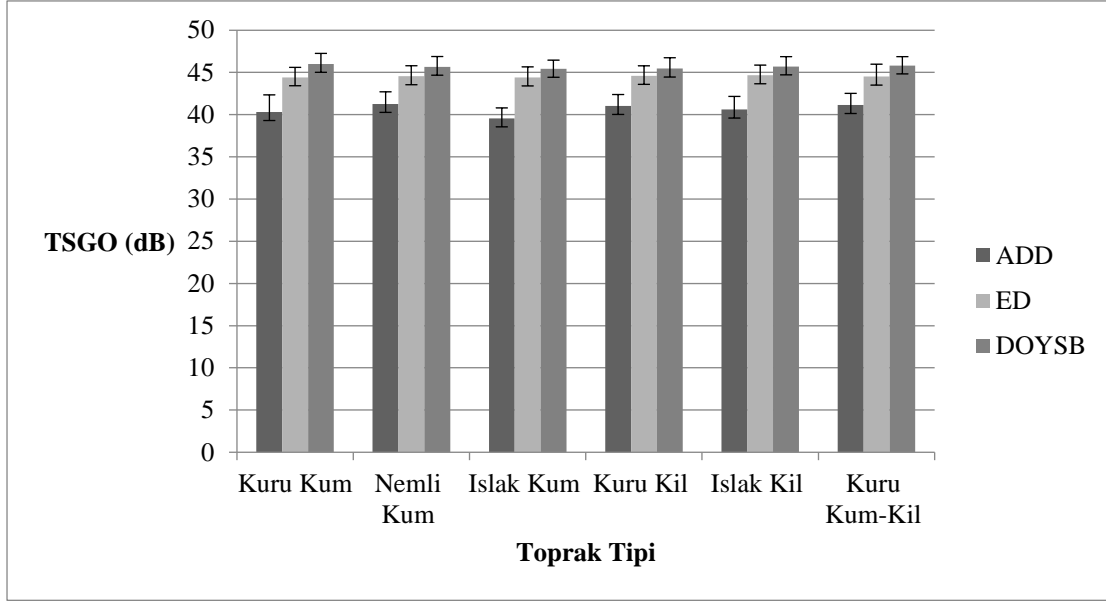
Tüm algoritmalar dört farklı senaryoda test edilmiştir ve sonuçlar Şekil 7-14' de gösterilmiştir. Orijinal giriş YNR görüntüsüne rastgele olacak şekilde gürültü eklendiği için ve TSGO değerlerinin değişmesi nedeniyle her yöntemde tüm senaryolar 100 kere çalıştırılarak ortalama TSGO değeri raporlanmış ve standart sapmaları hata barları ile birlikte sunulmuştur. Şekil 7, 8, 9 ve 10' da, sırasıyla SNR=20 dB ve SNR=30 dB gürültü ile 2 cm gömülme derinliğinde, alüminyum ve plastik nesne için çeşitli toprak tiplerinin etkileri çalışılmıştır. Genel olarak, çoklu-çözünürlük temelli yöntemlerden, önerilen DOYSB, ED ve DD' ye kıyasla tüm toprak tipleri için üstün performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Gömülen her iki farklı hedef materyali tipine sahip nesne için tüm algoritmaların toplam TSGO değerleri incelendiğinde, DOYSB' nin, en yakın takip eden algoritma olan ED' ye kıyasla yaklaşık %6 daha yüksek TSGO değerine sahip olduğu görülmektedir.



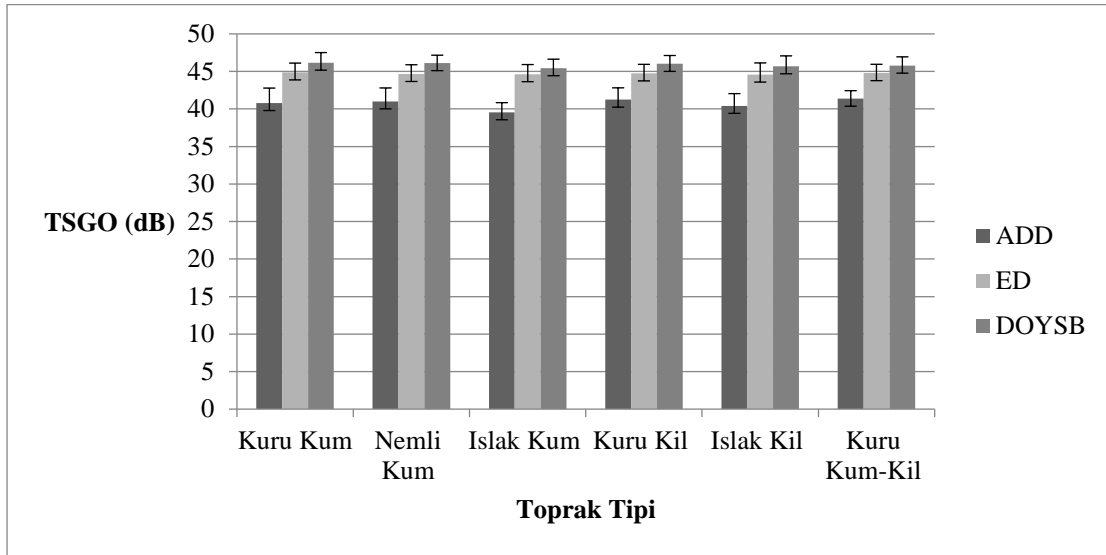
Şekil 7. SNR=20 dB için Alüminyum Nesne



Şekil 8. SNR=20 dB için Plastik Nesne

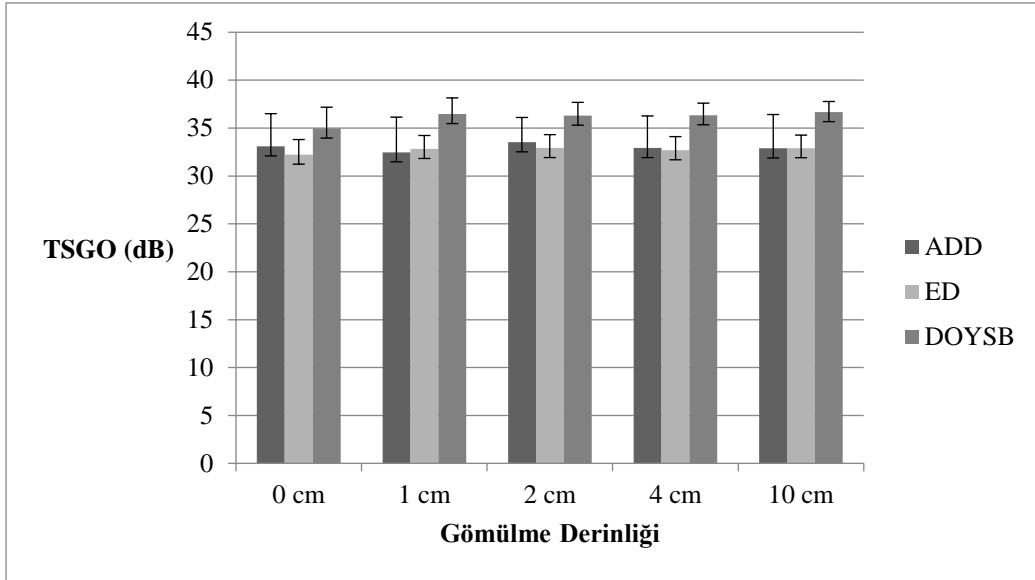


Şekil 9. SNR=30 dB için Alüminyum Nesne

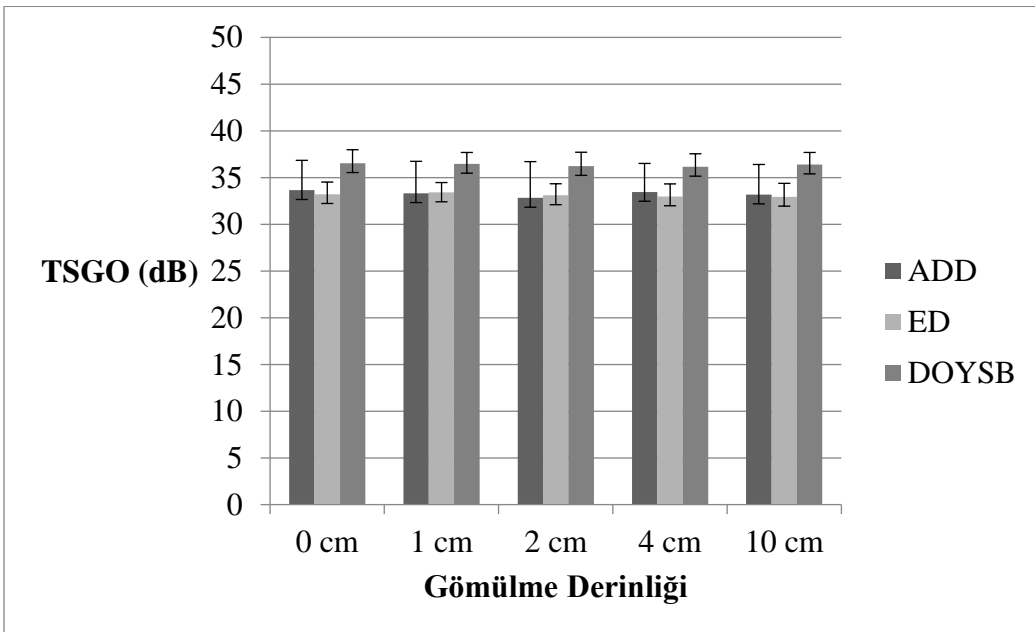


Şekil 10. SNR=30 dB için Plastik Nesne

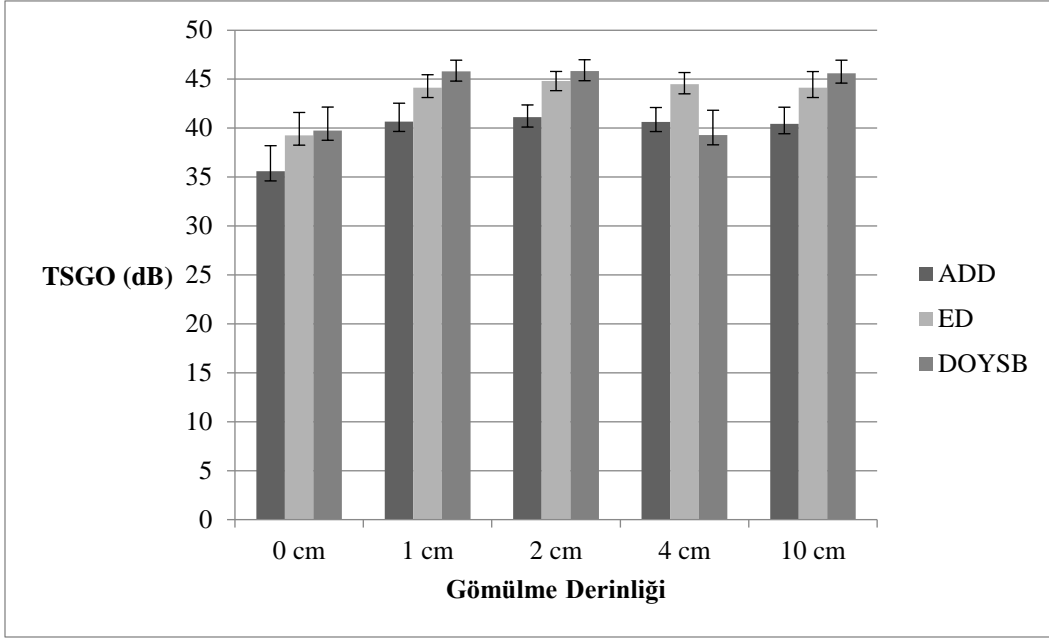
Şekil 11, 12, 13 ve 14' de alüminyum ve plastik nesne için her ikisinin aynı toprak tipinde sırasıyla SNR=20 dB ve SNR=30 dB gürültü ile farklı gömülme derinliklerinin etkisi araştırılmış ve TSGO sonuçları rapor edilmiştir. Önceki senaryoda olduğu gibi önerdiğimiz DOYSB, ED ve DD' ye kıyasla daha iyi performans göstermiştir. Gömülen her iki farklı hedef materyali tipine sahip nesne için tüm algoritmaların toplam TSGO değerleri incelendiğinde, SNR=20 dB gürültü seviyesinde alüminyum hedef materyali tipine sahip nesne için, DOYSB' nin en yakın takip eden algoritma olan ED' ye kıyasla yaklaşık %10, plastik hedef materyali tipine sahip nesne için DOYSB' nin en yakın takip eden algoritma olan ED' ye kıyasla yaklaşık %9 daha yüksek TSGO değerine sahip olduğu; SNR=30 dB gürültü seviyesinde alüminyum hedef materyali tipine sahip nesne için, DOYSB' nin en yakın takip eden algoritma olan ED' ye kıyasla yaklaşık % 3, plastik hedef materyali tipine sahip nesne için DOYSB' nin en yakın takip eden algoritma olan ED' ye kıyasla yaklaşık % 3 daha yüksek TSGO değerine sahip olduğu görülmekte olup, önerilen yöntemin, yüksek TSGO değerleri ile tüm derinliklerde en iyi sonuçları sunduğu gözlemlenmiştir.



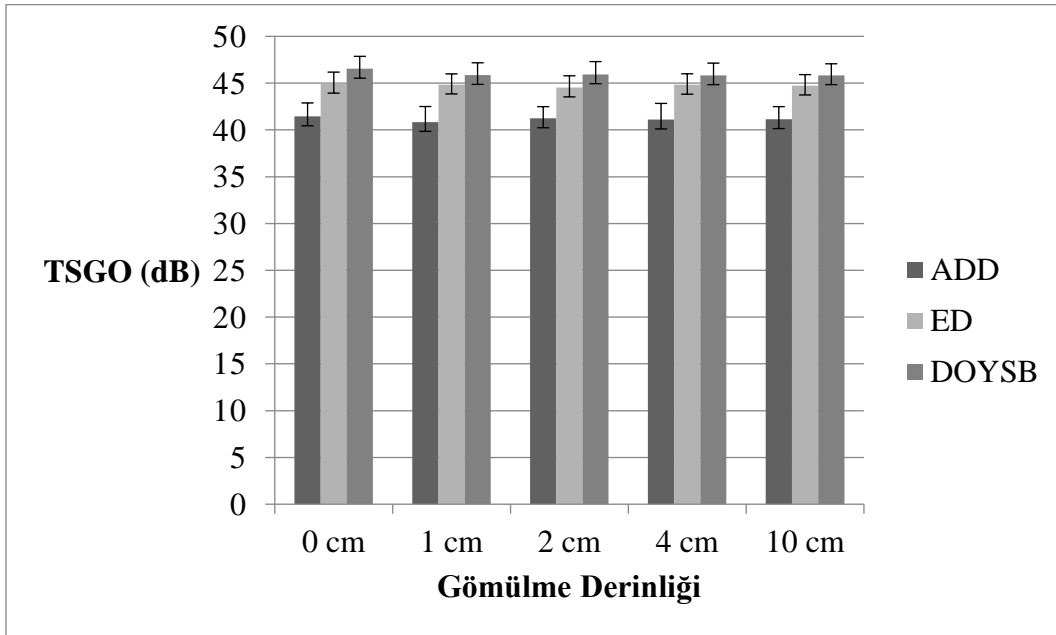
Şekil 11. SNR =20 dB için Alüminyum Nesne



Şekil 12. SNR=20 dB için Plastik Nesne

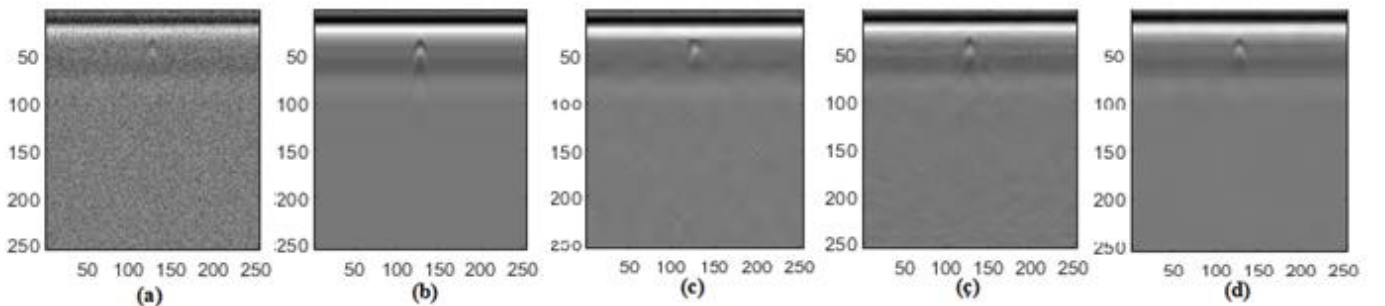


Şekil 13. SNR=30 dB için Alüminyum Nesne

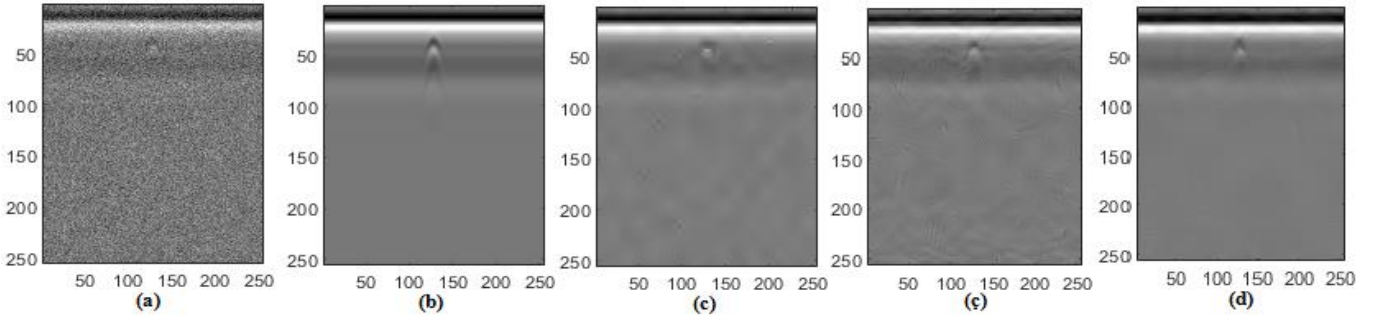


Şekil 14. SNR=30 dB için Plastik Nesne

Şekil 15 ve 16, sırasıyla görsel inceleme için tüm algoritmaların bir sonucu olarak gürültülü (SNR=20 dB ve SNR=30 dB), referans ve gürültüden arındırılmış görüntüleri göstermektedir. Sonuçlar DOYSB' nin görsel olarak en iyi performansı sunduğunu, ancak diğer çoklu çözünürlük yöntemlerinin de hedef tespiti ve sinyal gücü anlamında kabul edilebilir bir performans gösterdiğini göstermektedir.



Şekil 15. (a) Gürültülü ham görüntü (SNR=20 dB) Görüntü (b) Referans görüntü (c) ADD (ç) ED (d) DOYSB.



Şekil 16. (a) Gürültülü ham görüntü (SNR=30 dB) Görüntü (b) Referans görüntü (c) ADD (ç) ED (d) DOYSB.

Aynı zamanda DD, ED ve önerilen DOYSB yöntemlerinin sahip oldukları işlem yükleri Tablo 1' de sunulmuştur (Candes vd., 2006; Liang vd., 2010) ve DOYSB' nin işlem yükü ED ile aynıdır fakat performans açısından DOYSB ED' ye göre üstünlük göstermektedir.

Tablo 1. Yöntemlerin İşlem Yüğü

Yöntem	İşlem Yüğü
DOYSB	$O(N^2 \log N)$
ED	$O(N^2 \log N)$
ADD	$O(N \log N)$

6.Sonuçlar

Bu çalışma temelde YNR görüntülerindeki gürültü giderme tekniklerinin performans değerlendirmelerine yönelik, çeşitli senaryolar altında çoklu çözünürlük tabanlı yöntemlerin birbiri ile ayrıntılı bir karşılaştırmasını sunmaktadır. YNR gürültü giderme günümüzde önemli sorunlardan biri olduğu için, literatürde bu konu ile ilgili birçok çok çözünürlüklü çalışma mevcuttur. Ancak mevcut çalışmalar, sabit frekans bölümlenmesi yapması sebebiyle YNR görüntülerinde yetersiz kalabilmektedir. Bu çalışmada toprak tipi, gömülme derinliği ve hedef materyal tipi gibi farklı YNR görüntüleri içeren simülasyon veri seti kullanılarak, önerilen yöntem ve literatürde var olan mevcut yöntemlerin performans değerlendirmesi yapılmıştır. Yapılan sayısal ve görsel analizler kapsamında önerilen DOYSB' nin, esnek frekans bölme ve alt bant aralığı görüntü frekans dağılımına uyarlanabilir olması nedeniyle, ölçüm metriğimiz olan TSGO cinsinden karşılaştırılan DD ve ED yöntemlerinden üstün olduğu görülmektedir. Aynı zamanda, popüler ED ve önerilen DOYSB yöntemi aynı işlemsel karmaşıklığa sahip olduğu halde önerilen yöntemin daha iyi bir performans sergilediği gösterilmiştir. Her iki yöntemde DD' ye göre daha iyi bir performans sergilemiştir. Simülasyon veri setleri için görsel ve sayısal sonuçlarda önerilen DOYSB yönteminin üstünlüğü vurgulanmıştır.

Kaynaklar

- Averbuch, A., Coifman, R. R., Donoho, D. L., Elad, M., & Israeli, M. (2006). Fast and accurate polar Fourier transform. *Applied and computational harmonic analysis*, 21(2), 145-167. doi: 10.1016/j.acha.2005.11.003.
- Baili, J., Lahouar, S., Hergli, M., Al-Qadi, I. L., & Besbes, K. (2009). GPR signal de-noising by discrete wavelet transform. *Ndt & E International*, 42(8), 696-703. doi: 10.1016/j.ndteint.2009.06.003.
- Baili, J., Lahouar, S., Hergli, M., Amimi, A., & Besbes, K. (2006). Application of the discrete wavelet transform to denoise GPR signals. In *2nd International Symposium on Communications, Control and Signal Processing, Marrakech, Morocco* (p. 11).
- Bao, Q. Z., Li, Q. C., & Chen, W. C. (2014). GPR data noise attenuation on the curvelet transform. *Applied Geophysics*, 11(3), 301-310.
- Brunzell, H. (1999). Detection of shallowly buried objects using impulse radar. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing*, 37(2), 875-886. doi: 10.1109 / 36.752207.
- Candes, E., Demanet, L., Donoho, D., & Ying, L. (2006). Fast discrete curvelet transforms. *Multiscale Modeling & Simulation*, 5(3), 861-899. doi: 10.1137/05064182X.
- Chen, X. Y., Xie, X. M., & Shi, G. M. (2006, May). Direct design of near perfect reconstruction linear phase nonuniform filter banks with rational sampling factors. In *2006 IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing Proceedings* (Vol. 3, pp. III-III). IEEE. doi: 10.1109/ICASSP.2006.1660638.
- Da Cunha, A. L., Zhou, J., & Do, M. N. (2006). The nonsubsampling contourlet transform: theory, design, and applications. *IEEE transactions on image processing*, 15(10), 3089-3101. doi: 10.1109/TIP.2006.877507.

- Dai, L., Zhang, Y., & Li, Y. (2013). Bm3d image denoising algorithm with adaptive distance hard-threshold. *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, 6(6), 41-50.
- Donoho, D. L. (1995). De-noising by soft-thresholding. *IEEE transactions on information theory*, 41(3), 613-627. doi: 10.1109 / 18.382009.
- Engin, M. A., & Çavuşoğlu, B. (2014, April). Curvelet transform based image denoising via Gaussian mixture model. In *2014 22nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1499-1502). IEEE. doi: 10.1109/SIU.2014.6830525
- Fang, L., Ye, L., Tie, Y., Zhong, W., & Zhang, Q. (2018). Design of linear-phase nonsubsampling nonuniform directional filter bank with arbitrary directional partitioning. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 51, 23-28. doi: 10.1016/j.jvcir.2017.12.013.
- Gupta, D., & Choubey, S. (2015). Discrete wavelet transform for image processing. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4(3), 598-602.
- Kaplan, N. H., & Erer, I. (2012, July). Bilateral pyramid based pansharpening of multispectral satellite images. In *2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 2376-2379). IEEE.
- Kaynak, S., Kumlu, D., & Erer, I. (2017). Multiscale directional bilateral filter based fusion of satellite images. In *2017 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)* (pp. 1161-1165). IEEE.
- Kumlu, D., & Erer, I. (2017, July). Multiscale directional bilateral filter based clutter removal in GPR image analysis. In *2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)* (pp. 2345-2348). IEEE. doi: 10.1109 / IGARSS.2017.8127461.
- Kumlu, D., & Erer, I. (2017, April). A comparative study on clutter reduction techniques in GPR images. In *2017 4th International Conference on Electrical and Electronic Engineering (ICEEE)* (pp. 323-328). IEEE. doi: 10.1109/ICEEE2.2017.7935843.
- Kumlu, D. (2018). New Clutter Removal Methods For Through Obstacle Target Detection, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Kumlu, D., & Erer, I. (2018). The multiscale directional neighborhood filter and its application to clutter removal in GPR data. *Signal, Image and Video Processing*, 12(7), 1237-1244.
- Kumlu, D., & Erer, I. (2019). Clutter removal techniques in ground penetrating radar for landmine detection: A Survey. In *Operations Research for Military Organizations* (pp. 375-399). IGI Global.
- Kumlu, D., Erer, I., & Kaplan, N. H. (2020). Low complexity clutter removal in GPR images via lattice filters. *Digital Signal Processing*, 102724.
- Kumlu, D., Karasakal, G., Kaplan, N. H., & Erer, I. (2019). Ground-penetrating Radar Clutter Removal via 1D Fast Subband Decomposition. *Defence Science Journal*, 69(1).
- Liang, L., Shi, G., & Xie, X. (2010). Nonuniform directional filter banks with arbitrary frequency partitioning. *IEEE transactions on image processing*, 20(1), 283-288. doi: 10.1109/TIP.2010.2052267.
- LIU, Hanzhou; GUO, Baolong; FENG, Zongzhe. Pseudo-log-polar Fourier transform for image registration. *IEEE Signal Processing Letters*, 2005, 13.1: 17-20. doi: 10.1109/LSP.2005.860549.
- Park, C. H., Lee, J. J., Smith, M. J., Park, S. I., & Park, K. H. (2004). Directional filter bank-based fingerprint feature extraction and matching. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 14(1), 74-85. doi:10.1109/TCSVT.2003.818355.
- Peng, W., Hongling, X., & Pengcheng, X. (2016). Research on ground penetrating radar image denoising using nonsubsampling contourlet transform and adaptive threshold algorithm. *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, 9(5), 219-228.
- Rosiles, J. G., & Smith, M. J. (2001, May). Texture classification with a biorthogonal directional filter bank. In *2001 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Proceedings (Cat. No. 01CH37221)* (Vol. 3, pp. 1549-1552). IEEE. doi: 10.1109/ICASSP.2001.941228.
- Starck, J. L., Candès, E. J., & Donoho, D. L. (2002). The curvelet transform for image denoising. *IEEE Transactions on image processing*, 11(6), 670-684.
- Terrasse, G., Nicolas, J. M., Trouvé, E., & Drouet, É. (2015, July). Application of the curvelet transform for pipe detection in GPR images. In *2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)* (pp. 4308-4311). IEEE. doi: 10.1109 / IGARSS.2015.7326779.
- Terrasse, G., Nicolas, J. M., Trouvé, E., & Drouet, E. (2017). Application of the Curvelet Transform for clutter and noise removal in GPR data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(10), 4280-4294. doi: 10.1109 / JSTARS.2017.2717960.

Tomasi, C., & Manduchi, R. (1998, January). Bilateral filtering for gray and color images. In *Sixth international conference on computer vision (IEEE Cat. No. 98CH36271)* (pp. 839-846). IEEE. doi: 10.1109 / ICCV.1998.710815.

Wang, X. N., & Liu, S. X. (2016, June). Noise suppressing and direct wave removal in GPR data based on shearlet transform. In *2016 16th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR)* (pp. 1-5). IEEE. doi: 10.1109/ICGPR.2016.7572615.

Warren, C., & Giannopoulos, A. (2011). Creating finite-difference time-domain models of commercial ground-penetrating radar antennas using Taguchi's optimization method. *Geophysics*, 76(2), G37-G47. doi: 10.1190/1.3548506.



Dönmeli Eş-Eksenli Hava Jetinin Isıl Davranışının Yakın Çarpma Mesafeleri için Deneysel Olarak İncelenmesi

Experimental Investigation of Thermal Behavior of Swirling Coaxial Impinging Air Jet for Near-Field Impingement Cases

Burak Markal

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 53100 Rize, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 17/03/2020

Kabul / Accepted: 17/04/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 19/04/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Bu çalışmada, yakın çarpma mesafesi değerlerinde, dönmeli eş-eksenli çarpan jetlerin ısı transfer karakteristikleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu kapsamda, farklı boyutsuz lüle-plaka arası mesafeler ($H / D = 0.2, 0.5, 0.75, 1.0$) ve debi oranlarında ($Q^* = 0.33, 0.5, 0.66$) çalışılmış ve boyutsuz lüle-plaka arası mesafe ile debi oranının ısı performans üzerindeki bütünlük etkisi araştırılmıştır. Deneysel olarak, toplam debi 30 L/dk değerinde sabit tutulmuş olup; ısıtma gücü, tüm koşullarda 18.2 W değerine ayarlanmıştır. Ayrıca, çarpma plakasının sıcaklık dağılımları üzerinden konvansiyonel dairesel jetlerle karşılaştırma da yapılmıştır. Genel eğilim olarak, artan debi oranı ile alan ağırlıklı ortalama Nusselt sayıları artmakta ve yerel Nusselt sayısı dağılımları radyal doğrultuda daha üniform karaktere sahip olmaktadır. En küçük debi oranı ve lüle-plaka arası mesafe için çarpma bölgesinde ısı transferinin üniformluğunda belirgin bir iyileşme meydana gelmektedir. Dönmeli eş-eksenli jetler, konvansiyonel tip jetlere kıyasla ısı performansı önemli ölçüde artırmaktadır.

Anahtar Kelimeler

“Yakın çarpma mesafesi, ısı performans, dönmeli eş-eksenli jet”

Abstract

In this study, at the near-field impingement cases, the heat transfer characteristics of swirling coaxial impinging jets are experimentally investigated. In this context, different values of the dimensionless nozzle-to-plate distance ($H / D = 0.2, 0.5, 0.75, 1.0$) and the flow rate ratio ($Q^* = 0.33, 0.5, 0.66$) are studied; and the combined effect of dimensionless nozzle-to-plate distance and flowrate ratio on thermal performance is researched. In the experiments, the total flow rate is kept constant at the value of 30 L/min; while the heating power is adjusted at the value of 18.2 W. A comparison with the conventional round jets is also performed over the temperature distribution of impingement plate. As a general trend, with increasing flowrate ratio, the area averaged Nusselt numbers increase, and the distribution of local Nusselt numbers has a more uniform character in the radial direction. For the smallest flowrate ratio and nozzle-to-plate distance, a significant enhancement occurs in the uniformity of heat transfer at the impingement region. Swirling coaxial jets improve the thermal performance much more compared to the conventional type jets.

Key Words

“Near-field impingement, thermal performance, swirling co-axial jets”

1. Giriş

Teknolojinin ivmelenerek gelişmesi, malzeme işleme tekniklerinin çeşitliliğini ve hassasiyetini artırmakta ve mikro ölçekli boyutlara sahip iletken ve/veya yarı iletken bileşenlerin üretimine olanak sunmaktadır. İlgili bileşenleri içeren elektronik sistemlerin boyutları küçülürken, işlem kapasiteleri artmakta ve bunun sonucu olarak da birim yüzey alanında açığa çıkan ısı yoğunluk değerleri yükselmektedir. Bu kapsamda, sistem performansının sürdürülebilirliğini sağlamak ve cihazların kullanım ömrünü uzatmak için etkili soğutma yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Çarpan hava jetleri, ilgili gereksinimi karşılama potansiyeline sahip olan ısı kontrol teknikleri arasında yer almaktadır. Çarpan jet akışlarını önemli kılan yönlerden biri, sadece elektronik bileşenlerin soğutulmasında değil, hızlı ve yüksek düzeyli ısı ve kütle transferi gerektiren birçok endüstriyel uygulamada aktif olarak kullanılmakta olmasıdır. Kağıt ürünleri ve yiyeceklerin kurutulması (Kurnia vd., 2013), gaz türbini kanatlarının soğutulması (Biegger et al., 2018), hurda metallerin eritilmesi ve camın şekillendirilmesi (Singh ve Chander, 2018) ve benzer örnekler, uygulama alanları arasında yer almaktadır.

Çarpan jetler; çarpma (durma) bölgesi, duvar jet bölgesi ve serbest jet bölgesi olmak üzere üç temel akış bölgesine sahiptir (Ikhlaf vd., 2019; Chang ve Shen, 2020). İlgili bölgelerdeki hidrodinamik davranış, lüle ve çarpma plakasının tasarımı gibi geometrik özelliklere ve akışkan türü, akışkanın debisi (veya jetin lüleden çıkış hızı) ve lüle-plaka arası mesafe gibi çalışma koşullarına kuvvetle bağlıdır. Ayrıca, hidrodinamik özellikler ile ısı transferi arasında güçlü bir ilişki vardır. Ahmed vd. (2017) tarafından ifade edildiği gibi, akış karışımının iyileşmesi ve hedef yüzey üzerindeki vorteks oluşumları ısı performansı artırmaktadır. Bu sebeple, dönmeli jet oluşturan lüle tasarımlarına yönelik çok sayıda çalışma yapılmaktadır.

Huang ve El-Genk (1998) karşılaştırmalı bir analiz yaparak çok kanallı, dönmeli ve geleneksel çarpan jetlerin ısı performansını incelemiştir. Dönmeli ve çok kanallı jetleri oluşturmak için kullanılan lüle; bir tüpün içerisine yerleştirilmiş ve dış yüzeyi boyunca helisel veya düz kanallar açılmış çubuk şeklinde tasarlanmıştır. Akış görüntüleme destekli (duman akışı ve duman tel yöntemi) yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, dönmeli jetlerin hem ısı üniformluk hem de ısı aktarım hızı açısından diğer türlerden daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir. Lee vd. (2002) yaptıkları deneysel çalışmada, farklı dönme açılarına sahip kanatçıklı tip lüle kullanmıştır. Boyutsuz lüle-plaka mesafesinin küçük değerlerinde ($H/D = 2$); dönmeli jetlerin, dönme üretici kullanılmayan duruma kıyasla, ortalama Nusselt sayısını artırdığını; çarpma mesafesinin büyük değerlerinde dönme etkisinin sönümlendiğini ve dönmeli akışın plaka merkezi yakınında daha etkin olduğunu belirtmişlerdir. Bakirci ve Bilen (2007) sıvı kristal tekniği kullanarak dönmeli, çok kanallı ve geleneksel çarpan jet akışlarının ısı davranışını deneysel olarak incelemiştir. Çok kanallı çarpan jetler için elde edilen yerel Nusselt sayısı değerlerinin dönmeli ve geleneksel jetler için elde edilenlerden daha yüksek olduğunu, artan dönme açısının ısı performansı azalttığını ancak üniformluğu artırdığını ve ısı transferinin pik yaptığı noktanın plaka merkezinden dışa doğru uzaklaştığını ifade etmişlerdir. Yang vd. (2010), içerisine yönlendirme kanadı takılabilen halkasal bir boşluktan salınan çarpan jet akışının ısı ve akış karakteristiklerini deneysel olarak incelemiştir. Halkasal dönmeli akışın hem basınç dağılımı hem de ısı açıdan sağladığı üniformluk düzeyinin, çarpma mesafesiyle belirgin bir şekilde değiştiğini ve çarpma mesafesinin büyük değerlerinde klasik halkasal jete göre üstünlük sağladığını belirtmişlerdir. Nuntadusit vd. (2012) 3 x 3 formunda düzgün sıralı olarak konumlandırılmış çoklu dönmeli jetlerin ısı transferi ve akış karakteristiklerini deneysel olarak incelemiş ve sonuçları çoklu konvansiyonel jetlerle karşılaştırmışlardır. Jete dönme hareketini kazandırmak için dairesel kanalların içerisine bükümlü şeritler yerleştirmişlerdir. Değişken parametre olarak jet merkezleri arasındaki mesafeyi kullanmışlar ve tüm koşullarda dönmeli jetlerin konvansiyonel jetlerden daha iyi ısı transfer performansı gösterdiğini belirtmişlerdir. Nanan vd. (2012) dönmeli çarpan jetlerin ısı transfer karakteristiklerini deneysel olarak incelemiştir. Jet üretici olarak kullanılan lüleler, farklı büküm oranlarına sahip şeritlerin dairesel bir kanal içerisine yerleştirilmesiyle elde edilmiştir. Küçük çarpma mesafelerinde ($H/D = 2$ ve 4) ve büküm oranının büyük değerlerinde ısı transferinin belirgin bir şekilde arttığını ve ilgili koşullarda dönmeli jetlerin konvansiyonel jetlerden daha iyi bir performans sergilediğini belirtmişlerdir. Eiamsa-ard vd. (2015) termokromik sıvı kristal tekniğini kullanarak, aynı ve ters yönlerde dönme hareketinin sağlandığı jet akışlarının ısı karakteristiklerini incelemiştir. Isı transferinin artan Reynolds sayısı ve azalan lüle-plaka arası mesafe ile arttığını ve küçük çarpma mesafelerinde ($H/D = 1$ ve 2) dönmeli jetlerin geleneksel jetlerden çok daha iyi ısı performans sunduğunu belirtmişlerdir. Wannassi ve Monnoyer (2015) kaydırılmış sıralı çoklu dönmeli ve konvansiyonel jet akışlarını hem deneysel hem de sayısal olarak incelemiştir. Dönme hareketinin, lüle çıkışından sonraki kısa bir mesafe boyunca etkin olduğunu ve mesafe arttıkça çevresel yayılma nedeniyle etkisini hızlıca kaybettiğini vurgulamışlardır. Ahmed vd. (2016) dönme sayısı, boyutsuz lüle-plaka mesafesi ve Reynolds sayısının dönmeli çarpan jetlerin ısı transfer karakteristikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Artan dönme sayısı ile ısı performansta meydana gelen iyileşmenin yakın çarpma mesafelerinde ($H/D \leq 2$) görüldüğünü; artan çarpma mesafesinin ısı transferini olumsuz etkilediğini ve büyük çarpma mesafelerinde ve yüksek dönme sayılarında Nusselt sayısı dağılımının daha üniform bir karaktere sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Xu vd. (2017) bir çubuk içerisine vida oyuğu formunda açılmış helisel dört kanala sahip lüle kullanarak, dönmeli jetlerin ısı davranışını sayısal olarak incelemiştir. Dönmeli jetin, ısı transferi açısından radyal üniformluğu artırdığını ve bu durumun küçük çarpma mesafelerinde ($H/D \leq 3$) daha belirgin olduğunu ifade etmişlerdir. Lüle-plaka arasındaki mesafenin önemini vurgulamışlardır. Uddin vd. (2019); dönmeli jet üretici kullanımı, akışın belli bir frekans ve genlikte uyarılması ve akış boyunca bir silindir yerleştirilmesi şeklinde üç farklı yöntemin ısı transfer performansı üzerindeki etkilerini sayısal olarak incelemiştir. Uyarım frekans düzeyinin (jet hızındaki değişimle ilgili) ısı transferindeki iyileşme üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Chang ve Shen (2020) farklı dizilişlere sahip dönmeli çarpan çoklu jetlerin karşılaştırmalı analizini yapmıştır. Dönmeli jetler bükümlü şeritlerle oluşturulmuştur. Artan çarpma mesafesi ile ortalama Nusselt sayılarının (merkez bölgedeki) azaldığını fakat ısı transferinin üniform dağılımının iyileştiğini belirtmişlerdir.

Yukarıda özetlenen çalışmalar incelendiği zaman, dönmeli jetlerin ısı performansıyla lüle-plaka arasındaki mesafe ve dönmeli jetin oluşum şekli (geometrik tasarım) arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Dönmeli jetlerin ısı transferi açısından sunduğu avantajın altında yatan fiziksel sebep, teğetsel hız bileşenine sahip olmalarıdır (Huang ve El-Genk,1998; Ianiro ve Cardone, 2012). Teğetsel hız bileşeni, akışın radyal yönde dış bölgelere doğru açılmasını sağlayarak çarpma plakasının akışkanla etkileşen alanlarının genişlemesine yol açar; ancak bu durumda, eksenel hızda (jet merkez doğrultusu) meydana gelecek azalma, özellikle durma bölgesinde ısı transferinin kötüleşmesine sebep olur (Huang ve El-Genk,1998). Ahmed vd. (2017) de eksenel hızın azaldığı merkezi bölgeyi ölü bölge olarak nitelendirmiş ve ısı transferindeki azalmanın bu bölgenin varlığına atfedildiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle, dönmeli akışın eksenel akış ile desteklendiği jetler, bir başka ifade ile dönmeli eş eksenli jetler, plaka boyunca ısı transferi şiddetinin (*intensity*) ve dağılım düzgünlüğünün (*uniformity*) iyileştirilmesi açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Isı transferinin üniformluğu, hedef yüzey boyunca sıcaklığın üniform dağılımı ile ilgili olup; pratikte, ısı gerilmelerin oluşmaması ve/veya minimuma indirilmesi açısından önem arz etmektedir. Buna rağmen, mevcut literatür incelendiğinde, dönmeli eş-eksenli çarpan jetlerin ısı transferi uygulamalarına yönelik çok az sayıda deneysel çalışma yapıldığı görülmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmalar, genellikle, turbo motor, endüstriyel fırın, brülör ve benzeri sistemlerde karışımı iyileştirerek yanma işleminin daha verimli gerçekleşmesini temel alan (Dixon vd. 1983; Ahmed ve Sharma, 2000) veya jet sesini azaltmayı hedefleyen (Balakrishnan ve Srinivasan, 2017) serbest jetlerin hidrodinamik incelemesine yönelik çalışmalardır. Isıl kontrol açısından ise deneysel olarak sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Markal (2018) debi oranı ve lüle-plaka arası mesafenin dönmeli eş-eksenli çarpan jetlerin ısı transferi ve akış (duvar basınç dağılımı) karakteristikleri üzerindeki; Markal (2019) ise toplam debi ve lüle-plaka arası mesafenin ısı transferi üzerindeki etkilerini incelemiş ve konvansiyonel tek dairesel jetlere kıyasla üstün olduklarını göstermiştir.

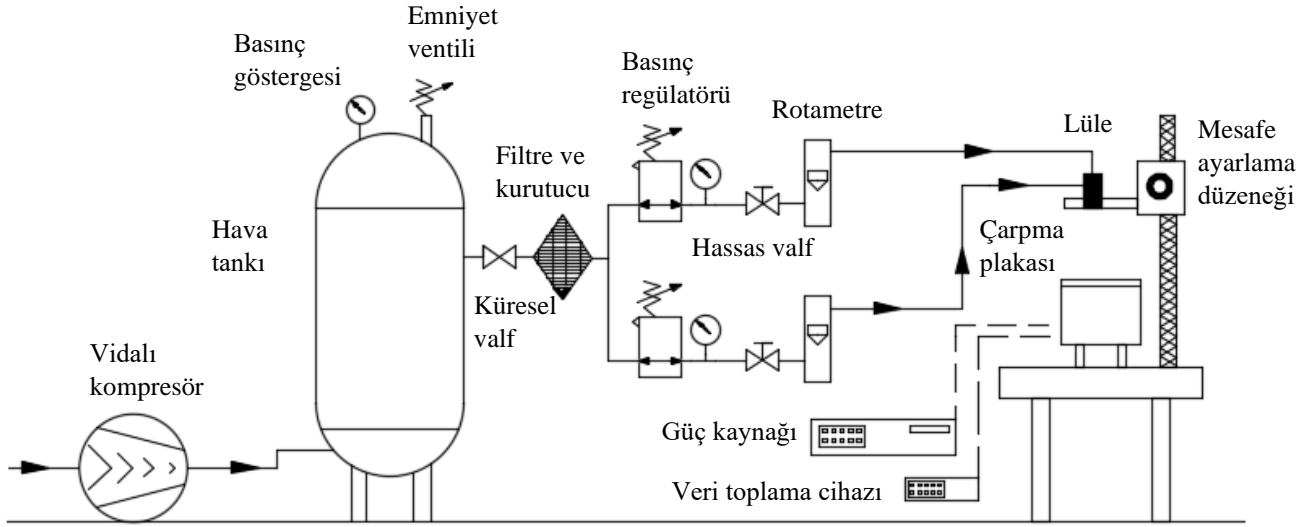
İlgili literatür dikkate alındığında, dönmeli jetlerin genellikle yakın çarpma mesafelerinde etkin olduğu görülmektedir. Ayrıca, önceki paragraflarda vurgulandığı üzere, dönmeli eş-eksenli çarpan jetlerin ısı transfer davranışını inceleyen az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı, yakın çarpma mesafeleri için ($H/D \leq 1$), kapsamlı deneyler yaparak dönmeli eş-eksenli sınırlandırılmış çarpan jetlerin ısı transfer davranışını incelemektir. Bu kapsamda, mevcut literatürden farklı olarak, ilk kez, yakın çarpma mesafelerinde detaylı bir tarama yapılmış ve düşük bir debi değerinde çalışılmıştır. Ayrıca, yüzeydeki sıcaklık dağılımı üzerinden konvansiyonel jetlerle karşılaştırma yapılmıştır.

2. Deneysel Kurulum ve Hesaplama Yöntemi

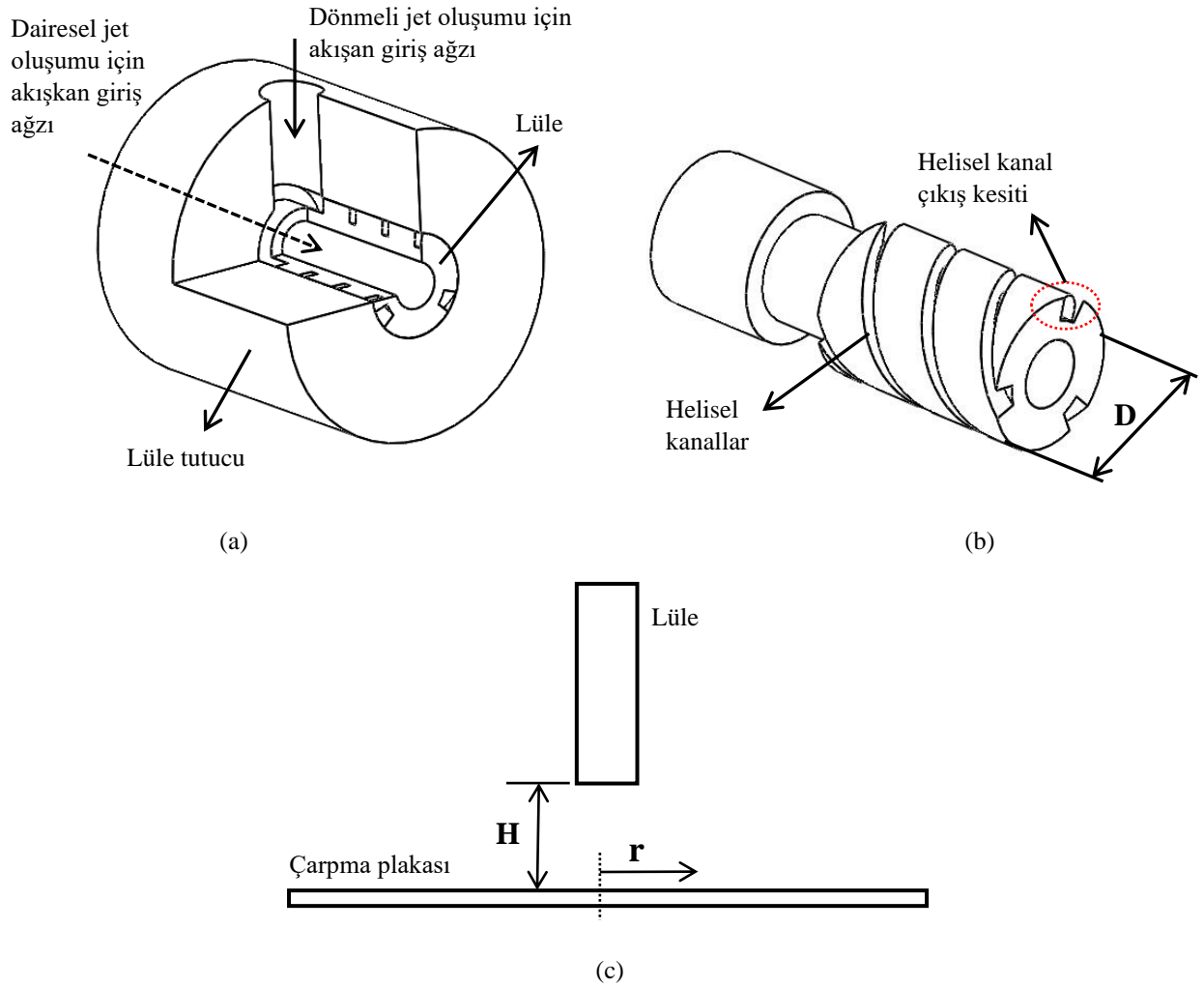
Çalışmada kullanılan deneysel ekipmanın şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. İlgili deney düzeneği, yazarın önceki çalışmaları (Markal, 2018; Markal ve Aydın, 2018) kapsamında da kullanılmıştır. Hava akışının kaynağı vidalı kompresör olup, ortam koşullarındaki hava, kompresör aracılığıyla bir tanka doldurulmaktadır. Hava tankı kullanımı iki önemli avantaj sağlar: (1) akışın sürekliliğinde rol oynar ve (2) kompresörün sürekli olarak devrede kalmasını önler. Tanktan çıkan iş akışkanı, filtre ve kurutucu ünitesinden geçirilir. Böylece iş akışkanı; sistemde bulunan cihazları olumsuz etkileyebilecek nem ve kirlenici partiküllerden arındırılmış olur. Filtreden sonra akış hattı iki kola ayrılmaktadır. Bunlardan biri eş-eksenli lülenin dönme hareketi sağlayan helisel akış pasajlarıyla, diğeri ise lüle merkezinde yer alan ve dairesel jet oluşturan akış pasajıyla irtibatlıdır. Her bir hat üzerinde üç farklı cihazdan oluşan bir ölçüm ve ayar seti bulunmaktadır. Bu cihazlar: (1) basınç regülatörü, (2) hassas ayar valfi ve (3) rotametredir. Böylece, lülenin her bir bölümündeki debi değeri birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilmektedir. Lüle ile plaka arasındaki düşey mesafe, bir başka ifade ile çarpma mesafesi (H), lülenin bağlı olduğu hassas bir düzenekle istenilen değere ayarlanabilmektedir. Lüle ile mesafe ayarlama düzeneği arasındaki bağlantı ise çarpma plakasına paralel olarak konumlandırılan sınırlandırma plakası ile sağlanmaktadır. Lüle çıkışı ile sınırlandırma plakası yüzeyi Şekil 1'den görüldüğü üzere aynı paralelde bulunmaktadır. Lüleden salınan jet, hedef yüzeye (çarpma plakası) çarpar. Lüle ve hedef yüzeye ait detaylar ileriki paragraflarda verilmiştir. Çarpma plakası, AC güç kaynağı ile irtibatlı olan esnek bir ısıtıcı aracılığıyla ısıtmakta olup, test bölgesindeki sıcaklık değerleri bir veri toplama cihazı yardımıyla bilgisayarda depolanmaktadır. Deney düzeneğinde yer alan cihazların marka/model bilgileri ve doğruluk düzeyleri yazarın önceki çalışmasında (Markal, 2018) belirtilmiştir.

Deney sistemindeki en önemli parça lüle olup, lüleyi de kapsayacak şekilde test bölgesine ait detaylar Şekil 2.a, b ve c'de verilmiştir. Şekil 2a'da Delrin malzemeden üretilmiş bir tutucu içerisine yerleştirilen lülenin montajlı halinin bölgesel kesit görüntüsü; Şekil 2b'de çevresel olarak özdeş üç helisel akış pasajını ve iç bölümde dairesel akış pasajını içeren lülenin tekil görüntüsü; Şekil 2c'de ise lüle ile çarpma plakasının yerleşimine ait şematik resim verilmiştir. Lüle pirinç malzemeden imal edilmiş olup, toplam uzunluğu, dış çapı ve içerisinde yer alan dairesel kanalın çapı, sırasıyla, 29 mm, 10 mm ve 4.5 mm'dir. Her bir helisel kanalın yüksekliği 1.5 mm, genişliği ise 2 mm'dir. Çalışma kapsamında tek bir lüle kullanılmış olup, lüledeki helislere ait dönme sayısı ve dönme açısı, sırasıyla, 0.86 ve 45°'dir. Delrin tutucunun dış çap ve uzunluk değerleri ise, sırasıyla, 30 mm ve 29 mm'dir. Delrin parça, hem helisel kanallar için kapalı akış pasajı oluşumunu sağlamakta, hem de dönmeli ve dairesel jet girişleri için rakor bağlantılarının yapılmasına olanak sunmaktadır.

Lüleden çıkan akışkan, dairesel bir hedef yüzeye çarpmaktadır. Isı transferinin gerçekleştiği bu yüzey de test bölgesinin bir diğer önemli bileşenidir. Çarpma plakası bakır malzemeden üretilmiş olup, çapı 46 mm ve kalınlığı 1.5 mm'dir. Plakanın alt yüzeyine sıcaklık ölçümleri için merkez hattı boyunca (radyal doğrultuda) mikro termoelemanlar yerleştirilmiştir. Termoeleman ile plaka üst yüzeyi arasındaki mesafe 0.2 mm'dir. Çarpma plakasının alt yüzeyine AC güç kaynağı ile bağlantılı olan esnek bir ısıtıcı yapıştırılmıştır. Böylece deneyler boyunca test bölgesine 18.2 W değerinde sabit ısı yük uygulanmıştır. İlgili plaka kalınlığı ve esnek ısıtıcının yerleşimi (aynı çap değeri), plaka boyunca üniform ısı akısına ve tek boyutlu ısı geçişi kabulüne olanak sunmaktadır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan deneysel ekipmanın şematik gösterimi



Şekil 2. Test bölgesine ait detaylar: (a) Lüle tutucu içindeki lülenin bölgesel kesit görünüşü; (b) Eş-eksenli lüle; (c) Lüle-plaka yerleşimi

Deney prosedürü kısaca şu şekilde ifade edilebilir: Mesafe ayarlama düzeneği yardımıyla lüle çıkışı ile hedef yüzey arasındaki düşey mesafe bir başka ifade ile çarpma mesafesi ayarlanır. Kompresör çalıştırılır ve lülenin her iki bölümüne giden hatların üzerinde yer alan basınç regülatörü-hassas ayar valfi-rotametre üçlüsü aracılığıyla istenilen debi oranı ayarlanmış olur. Güç kaynağı

çalıştırılarak test bölgesine istenilen ısı yük değeri uygulanır. Kararlı rejime erişilince veri toplama cihazı yardımıyla sıcaklık değerleri bilgisayarda depolanır. Daha sonra debi oranı veya yükseklik değiştirilerek bir sonraki deney koşuluna geçilir ve belirtilen işlem adımları tekrarlanır.

Belirsizlik analizinde, Kline ve McClintock (1953) tarafından önerilen yöntemden yararlanılmış; Eşitlik I, III, VI ve VII kullanılarak Reynolds sayısı ve Nusselt sayısı için maksimum belirsizlik değerleri, sırasıyla, $\pm \% 3.8$ ve $\pm \% 4.6$ olarak belirlenmiştir.

Dönmeli eş-eksenli jetlerin farklı çalışma koşulları için ısı performans incelemesi, Nusselt sayıları üzerinden yapılmıştır. Bu kapsamda; alan-ağırlıklı ortalama, yerel ve durma noktası (plaka merkezi) Nusselt sayıları göz önüne alınmıştır. Yerel ve alan-ağırlıklı ortalama Nusselt sayıları, sırasıyla, aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (I)$$

$$Nu_{avg}(r) = \frac{1}{A_r} \int_{A_r} Nu dA_r \quad (II)$$

Burada; D , h , k ve A_r terimleri, sırasıyla, lüle dış çapını (Şekil 2b'de gösterilmiştir.), yerel ısı transfer katsayısını, ısı iletim katsayısını ve hedef yüzey merkezinden itibaren radyal mesafe (r) ile değişen yüzey alanını ifade etmektedir. Radyal mesafe (r), Şekil 2c'de gösterilmiş olup, bu değer lüle dış çapına bölünmesi ile boyutsuz radyal mesafe ($r^* = r / D$) elde edilmektedir. Lülenin geometrik yapısı sebebiyle (farklı kesite sahip eş eksenli iç ve dış kanalların varlığı), Nusselt sayısının hesaplanmasında, ilgili literatüre uygun olarak (Markal, 2018) lüle dış çapı kullanılmıştır. Isı transfer katsayısı ise aşağıdaki formüle göre belirlenir:

$$h = \frac{q_{cv}}{A_{hs}(T_s - T_j)} \quad (III)$$

Eşitlik (III)'te yer alan terimler arasında; q_{cv} , taşınım ile ısı transfer miktarını; A_{hs} , yüzey alanını; T_s , yüzey sıcaklığını ve T_j , jet sıcaklığını (lüle çıkış sıcaklığı) simgelemektedir. Taşınım ile ısı transfer miktarı ise, literatüre (Öztek vd., 2013; Ahmed vd., 2016) uygun olarak, uygulanan ısı yük değerinden iletim ve ışınım sonucu gerçekleşen ısı transfer miktarlarının (ısı kayıpların) çıkartılmasıyla belirlenir.

Çalışmada etkisi incelenen parametreler, boyutsuz lüle-plaka arası mesafe (H / D) ve debi oranıdır (Q^*). Boyutsuz lüle plaka arası mesafe, lüle çıkışı ile hedef yüzey arasındaki düşey mesafenin (H), lüle çapına (D) bölünmesiyle elde edilir. Debi oranı ise, helisel akış pasajlarındaki toplam hacimsel debinin (Q_s), helisel ve dairesel akış pasajlarındaki debilerin toplamına (Q_{tot}) bölünmesiyle aşağıdaki gibi elde edilir:

$$Q^* = \frac{Q_s}{Q_{tot}} \quad (IV)$$

Deneysel yöntemin doğrulanması kapsamında, konvansiyonel tek dairesel jet sonuçları üzerinden (çalışmadaki debi aralığını içerecek şekilde) literatürle karşılaştırma yapılmış ve sonuçlar ayrı bir başlık altında verilmiştir. Şekil 3'te, durma noktası Nusselt sayısının, Reynolds sayısı ile değişimi verilmiş olup, her iki boyutsuz sayının konvansiyonel tek dairesel jetlere yönelik tanımlanmış ifadeleri sırasıyla aşağıda verilmiştir:

$$Nu_{st} = \frac{hD_i}{k} \quad (V)$$

$$Re = \frac{\rho u_m D_i}{\mu} \quad (VI)$$

Yukarıdaki eşitliklerde; D_i , lülenin dairesel akış pasajının çapı (lülenin iç çapı); ρ , yoğunluk; μ , dinamik viskozite ve u_m ortalama hızdır. Eşitlik (V)'teki durma noktası ifadesi, çarpma plakasının geometrik merkezini ifade etmektedir. Ortalama hız aşağıdaki eşitlikle belirlenebilir:

$$u_m = \frac{Q}{A_i} \quad (\text{VII})$$

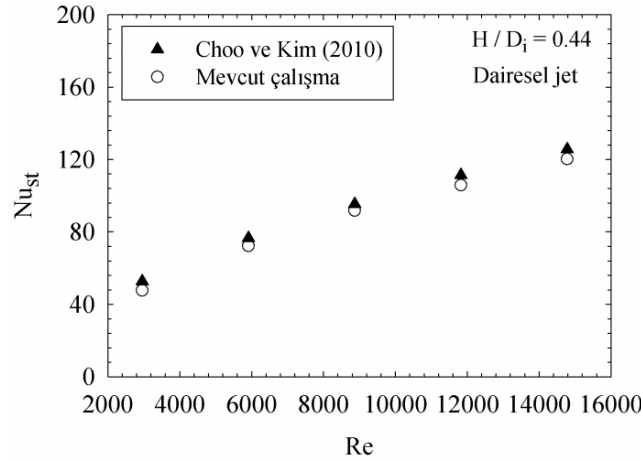
Burada; A_i , lülenin dairesel akış pasajının kesit alanını ifade etmektedir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu deneysel çalışmada, yakın çarpma mesafelerinde ($H/D = 0.2, 0.5, 0.75, 1.0$), farklı debi oranları için ($Q^* = 0.33, 0.5, 0.66$), dönmeli eş-eksenli jetlerin ısıl incelemesi yapılmıştır. Sabit bir ısıl yük (18.2 W) ve toplam debi değerinde (30 L/dk) çalışılmıştır.

3.1 Doğrulama deneyleri

En yaygın çarpan jet akışı türü, dairesel (veya dörtgen formundaki geometriler) tekil çarpan jetler olup, ilgili literatürde konvansiyonel tip olarak adlandırılırlar. Bu doğrultuda, deneysel prosedürün kontrolü için dairesel tek jetlerle ilgili olarak literatürde yer alan ve benzer deneysel koşullarda (hava, sınırlanmış jet ve $H/D \leq 1$) geliştirilen bir bağıntı seçilmiş ve karşılaştırma sonuçları Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü üzere, dairesel jetler için elde edilen deneysel veriler, Choo ve Kim (2010) tarafından önerilen korelasyon kullanılarak elde edilen tahmin değerleriyle yakın sonuçlar vermektedir. Karşılaştırmalı sonuçlara ek olarak, plaka merkezindeki yerel Nusselt sayısını ifade eden durma noktası Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimine bakıldığında, artan Reynolds sayısı ile durma noktası Nusselt sayılarının arttığı görülmektedir. Bu davranış, jet momentumunda meydana gelen artışın bir sonucudur (Nanan vd., 2012; Eiamsa-ard vd., 2015).

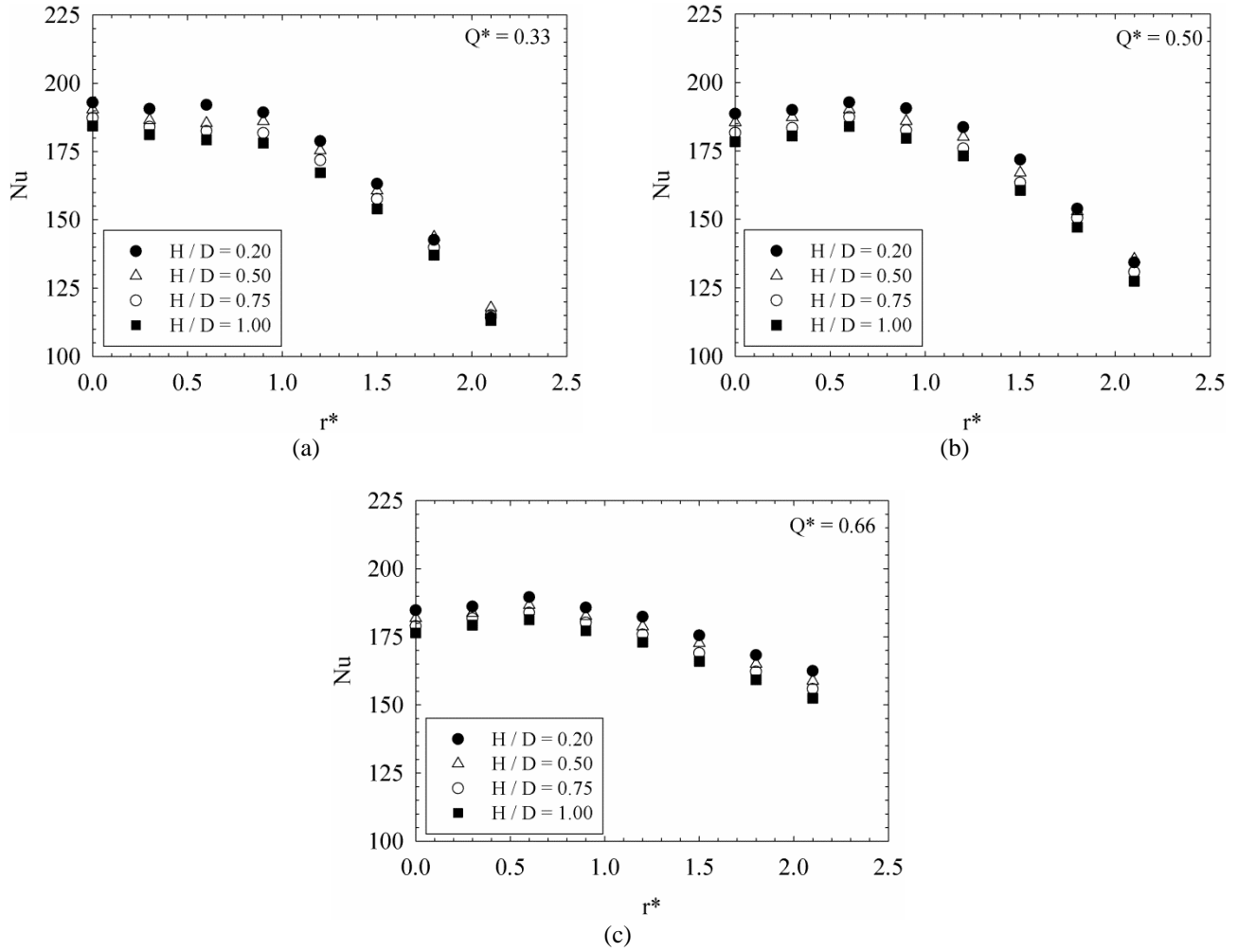


Şekil. 3. Doğrulama deney sonuçları

3.2 Çarpma mesafesinin ısıl karakteristikler üzerindeki etkisi

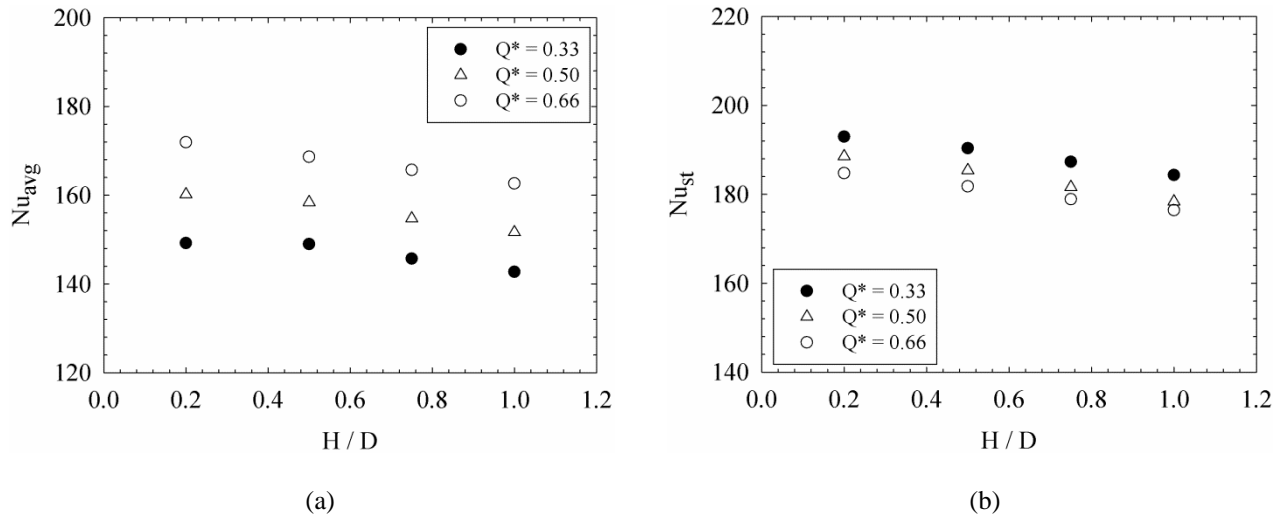
Lüle çıkışı ile hedef yüzey arasındaki düşey mesafenin, bir başka ifade ile çarpma mesafesinin, ısı transfer davranışı üzerindeki etkisi, farklı debi oranları için Şekil 4'te verilmiştir. Bütün debi oranlarında, genel karakter olarak, artan çarpma mesafesi ile yerel Nusselt sayıları tüm radyal doğrultu boyunca azalmaktadır. Giriş bölümünde de vurgulandığı gibi çarpma mesafesi, jet akışlarının ısıl performansı ile yakından ilişkilidir. Burada, altta yatan etkin fiziksel mekanizma, jetin durgun olan çevre ortamına doğru yayılması ve yayılım düzeyinin artan çarpma mesafesi ile artış göstermesidir. Yayılımın sonucu olarak, jetin hedef yüzeye çarpmadan önce eksenel momentumunda azalma meydana gelir, dolayısıyla hızı azalmış olur ve ısı transferi kötüleşir (Eiamsa-ard vd., 2015). Walker vd., (1987) ve Colucci ve Viscanta, (1996) tarafından yapılan çalışmaların analiz edilmesiyle, bir diğer muhtemel sebep girdap oluşumları ve girdap-yüzey etkileşimleriyle ilişkilendirilebilir. Azalan çarpma mesafesi ile hedef yüzeye yakın olan vorteks halkaları, sınır tabakaya etki ederek daha kaotik ve/veya türbülanslı akışa yol açar. Sınır tabakanın parçalanması veya incilmesi sonucu ısı transferinde iyileşme görülür. Ayrıca, Ahmed vd. (2017) tarafından vurgulandığı gibi akış karışımındaki iyileşme ve yüzey üzerindeki vorteks oluşumları ısıl performansı artırıcı yönde etki yapmaktadır.

Şekil 4'te, yerel Nusselt sayılarının radyal yöndeki dağılımlarına bakıldığında, ($r^* \geq 0.6$ için) artan radyal mesafeyle Nusselt sayılarının genel karakter olarak azaldığı görülmektedir. Azalmanın sebebi, duvar jeti bölgesinde sınır tabaka kalınlığının artmasına atfedilebilir (Ianiro ve Cardone, 2012). Burada, azalma hızının debi oranıyla değiştiği de belirtilmelidir. Ayrıca, Nusselt sayısı dağılımına bakıldığında, en küçük lüle-plaka arası mesafe ve debi oranı için çarpma bölgesinde ısı transferinin üniformluğunda belirgin bir iyileşme olduğu görülmektedir. Bu iyileşmenin sebebi, düşük debi oranları ve oldukça yakın (2 mm) çarpma mesafesinin birleşik etkisiyle açıklanabilir. Düşük debi oranlarında merkez hattındaki jetin (dairesele jetin) debi değeri fazladır. Çok kısa çarpma mesafesinde, sınırlandırma plakasının da etkisiyle, iç dairesel ve dış helisel jetler arasındaki etkileşim şiddeti artar. Bu olay, çarpma bölgesinde ısıl üniformluğun artmasına yol açar. Ayrıca, Colucci ve Viscanta (1996) tarafından sunulan bulgular incelendiği zaman, türbülanslı karışım bölgesinin jet eksenine nüfus etmesinin, olası fiziksel sebeplerden biri olacağı da belirtilebilir.



Şekil. 4. Çarpma mesafesinin farklı debi oranları için ısııl davranış üzerindeki etkisi

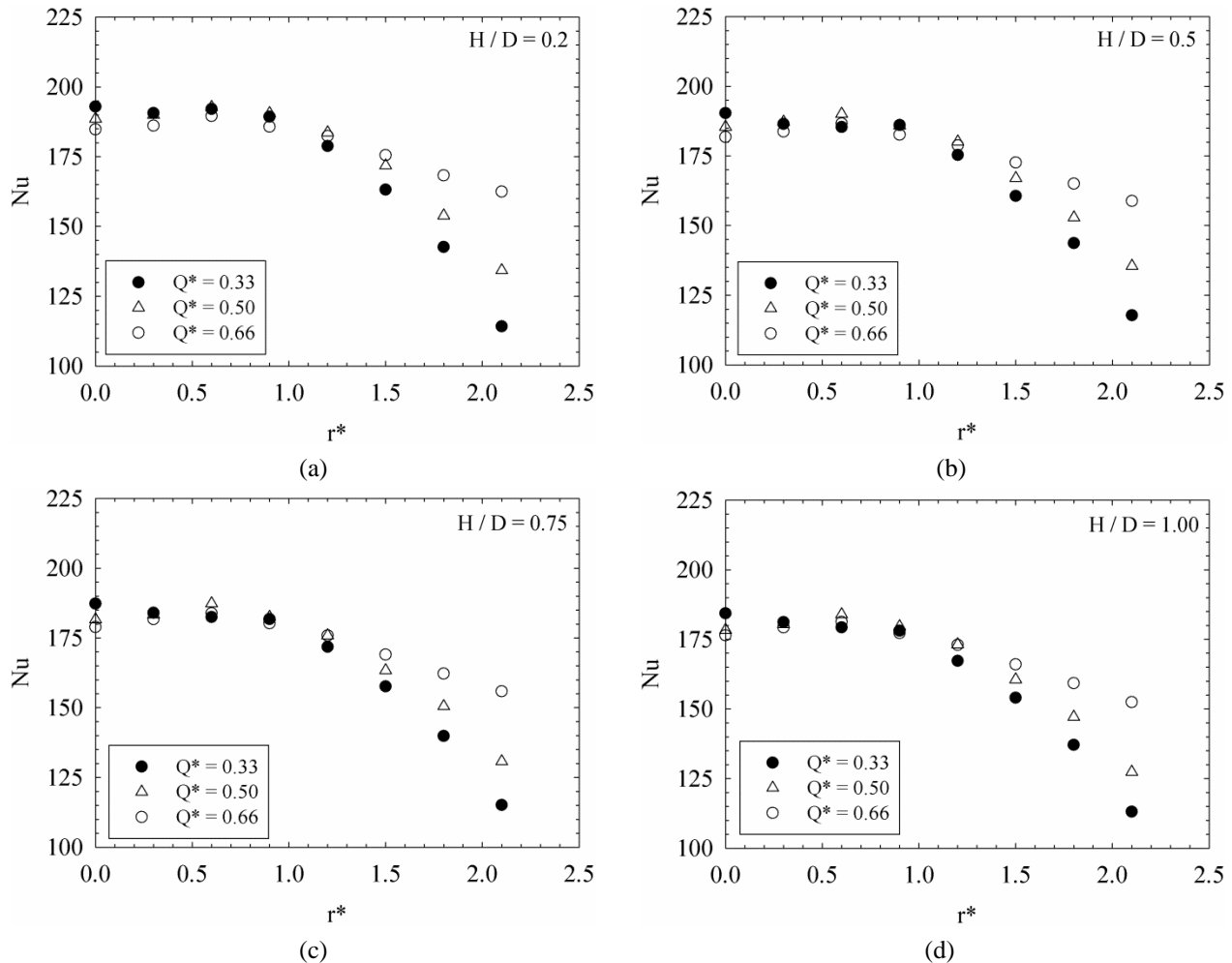
Şekil 5a ve b'de, sırasıyla, alan ağırlıklı ortalama Nusselt sayıları ve durma noktası Nusselt sayılarının farklı çalışma koşullarındaki değişimleri verilmiştir. Lüle-plaka mesafesinin etkisi açısından değerlendirildiğinde, ilgili grafiklerden, hem ortalama Nusselt sayısının hem de durma noktası Nusselt sayısının artan çarpma mesafesi ile azaldığı veya tam tersi olarak azalan çarpma mesafesi ile arttığı görülmektedir. Yüzdesel değişimler üzerinden sayısal olarak değerlendirme yapıldığında, ortalama Nusselt sayısı ve durma noktası Nusselt sayılarının her ikisinin de ilgili deneysel aralık kapsamında, azalan lüle-plaka arası mesafe ile yaklaşık olarak %5.7 oranında (maksimum değişim miktarı) arttığı görülmektedir.



Şekil. 5. (a) Ortalama Nusselt sayısı ve (b) durma noktası Nusselt sayısının farklı debi oranlarında çarpma mesafesi ile değişimi

3.3 Debi oranının ısı karakteristikler üzerindeki etkisi

Şekil 6a-d'de, farklı çarpma mesafeleri için, debi oranının ısı davranış üzerindeki etkilerini veren grafikler sunulmuştur. Isı transfer karakteristikleri; yerel Nusselt sayılarının büyüklükleri, ortalama Nusselt sayısı (Şekil 5'ten yararlanarak), ısı transfer üniformluğu ve durma noktası Nusselt sayısı olmak üzere dört farklı açıdan değerlendirilecektir. Nusselt sayısı dağılımı dikkate alındığında, artan debi oranı ile radyal doğrultuda dış bölgelerde (plaka merkezine göre), yerel Nusselt sayılarının daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Dönmeli akışlarda, dönme hareketinin sebebi akışın teğetsel hız bileşenine sahip olmasıdır. Bu hareket şekli, akışın radyal doğrultuda dışa doğru açılmasına yol açarak, literatürde de belirtildiği üzere (Huang ve El-Genk,1998; Ianiro ve Cardone, 2012), hedef plaka yüzeyinin jet akışından etkilenen bölümünün genişlemesini sağlar. Dönmeli çarpan jetlerin akış yapısı, konvansiyonel jetlerin üç bölgeli akış yapısından farklıdır. Huang ve El-Genk (1998) tarafından sunulan akış bölgeleri dikkate alındığı zaman, dönmeli çarpan jetlere özgü olarak iki farklı akış bölgesinin oluştuğu söylenebilir: (1) çarpma bölgesinin merkezinde oluşan iç akış karışım bölgesi ve (2) çarpma bölgesinden sonraki radyal bölümde oluşan spiral akış karışım bölgesidir. Debi oranı, dönmeli jet akışı debisinin toplam debiye oranı olarak tanımlanmıştır. Artan debi oranı, dönmeli jet akışının kütle akışının artması anlamına gelmektedir. Böylece artan debi oranıyla; (1) çarpma bölgesi ve özellikle spiral akış karışım bölgesi genişler, (2) jetin aksenal, radyal ve teğetsel momentumu artar ve dolayısıyla yüzeyi süpüren akışkanın hızı artar, (3) türbülans ve akış karışımı iyileşir ve (4) vorteks halkalarının etki düzeyi artarak sınır tabakanın yenilenme frekansı artar (sınır tabaka daha etkin bir şekilde bozulur). Belirtilen fiziksel olaylar özellikle plaka merkezinden uzak bölgelerde görülür veya bir başka ifade ile uzak bölgelere doğru yayılmış olur. Bu nedenle, artan debi oranıyla, radyal yönde dış bölgelere doğru Nusselt sayıları daha yüksek değerler almaktadır. Bu sonuç, plaka merkezinden uzak bölgelerde, jet yayılımı ve sınır tabakanın kalınlığındaki artışla ısı transferinde meydana gelen kötüleşmeyi belli ölçüde önleyerek, ısı transferinin üniformluğunun artmasına da sebep olur.



Şekil. 6. Debi oranının farklı çarpma mesafeleri için ısı karakteristikler üzerindeki etkisi

Debi oranı ile durma noktası ve ortalama Nusselt sayıları arasındaki ilişki Şekil 5'te verilmişti. Verilen bir lüle-plaka arası mesafe için, artan debi oranıyla, durma noktası Nusselt sayılarında belirli düzeyde azalma görülmektedir. Bu azalmanın muhtemel sebepleri şu şekilde açıklanabilir: Dönmeli jet akışlarında, Huang ve El-Genk (1998) tarafından belirtildiği gibi, çarpma bölgesi merkezinde iç akış karışım bölgesi oluşur. İlgili bölümde, ters akış meydana gelir ve bu durum akışkanla yüzeyin temasının kesilmesine yol açabilir. Ahmed vd. (2017) tarafından plaka merkezi için ifade edilen ölü bölge tanımı da bu fiziksel olayla ilişkilendirilebilir. Sonuç olarak,

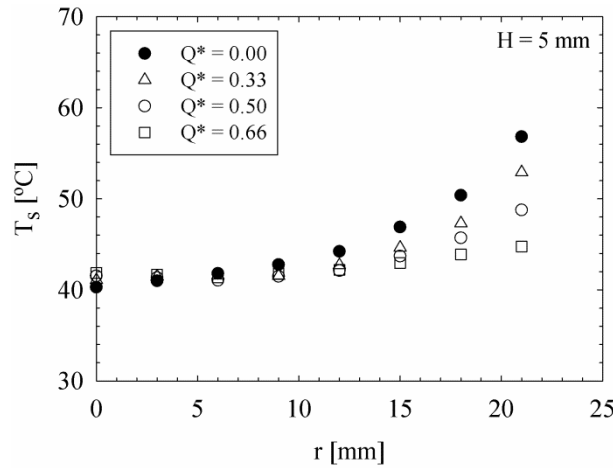
plaka merkezi yakınında Nusselt sayıları azalmış olur. Belirtilen durum, klasik dönmeli jetlere özgü olup, bu çalışmada eş-eksenli jet kullanılmasının amaçlarından biri de ilgili bölgede ısı transferindeki kötüleşmeyi önlemek veya azaltmaktır. Bu kapsamda iç dairesel akış pasajından, debi oranına bağlı olarak, farklı kütle akımlarında akışkan gönderilmekte ve ölü bölgenin ortadan kaldırılması veya olumsuz yöndeki etki düzeyinin azaltılması sağlanmaktadır. Debi oranının artması, iç dairesel jetin etki düzeyinin azalması (dairesel jetin momentumu azalır) ve dönmeli jet şiddetinin artması anlamına gelmektedir. Bu sebeple, artan debi oranıyla, durma noktası Nusselt sayısında azalma meydana gelmektedir ancak tüm durumlarda iç dairesel jetin varlığı (eş-eksenli jet) bu azalmayı sınırlandırarak özellikle yüksek debi oranlarında ısı transferinin üniform dağılımına katkı sunmaktadır. Artan debi oranıyla, durma noktası Nusselt sayılarındaki azalma düzeyi maksimum % 4.5'tir.

Şekil 5 incelendiği zaman, ortalama Nusselt sayılarının artan debi oranıyla belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. Bu durum, dış bölgede ortaya çıkan etkin süpürmenin bir sonucudur. Burada, Nusselt sayısının, alan ağırlıklı ortalama üzerinden hesaplandığı belirtilmelidir. Bu çalışmadaki deneysel aralık için artan debi oranıyla ortalama Nusselt sayılarında % 15.2'ye kadar artış meydana gelmektedir.

3.4 Dönmeli eş-eksenli jetlerin dairesel jetlerle karşılaştırılması

Dönmeli eş-eksenli jet için elde edilen sonuçlar, konvansiyonel dairesel tekil jet sonuçlarıyla da karşılaştırılmıştır. Her iki jeti kapsayan ortak bir karakteristik uzunluk tanımının yapılamaması sebebiyle (boyutsuzlaştırma açısından), sonuçlar yüzey sıcaklıkları üzerinden boyutlu formda Şekil 7'de verilmiştir. Burada, genel karakterin incelenmesine yönelik sadece $H = 5$ mm için sıcaklık dağılımı sunulmuştur. İlgili grafikte, debi oranının sıfır değeri, klasik dairesel jete karşılık gelmekte olup, bu durumda toplam debi sadece lülenin merkezindeki dairesel akış pasajına yönlendirilmektedir.

Şekil 7'den görüldüğü gibi, dönmeli eş-eksenli jet kullanıldığı zaman, sıcaklık dağılımının üniformluğunda belirgin bir iyileşme görülmektedir. Konvansiyonel jet durumundaki yüzey sıcaklıkları, özellikle radyal doğrultudaki dış bölgelerde, belirgin bir artış göstererek merkezdeki ve/veya merkez yakınındaki sıcaklık değerlerinden sapmaktadır. Buna karşın dönmeli eş-eksenli jet kullanıldığında, plaka merkezi yakınındaki ve dış bölgelerdeki sıcaklık değerleri arasındaki fark azalmaktadır. Bu durum ısıl üniformluğun bir göstergesidir. Ayrıca, artan debi oranıyla üniform dağılım iyileşmekte veya bir başka ifade ile radyal doğrultuda komşu istasyonlar arasındaki sıcaklık farkı değerleri azalmaktadır. Bu sonucun arkasındaki fiziksel mekanizmalar önceki başlıklar altında detaylı olarak ifade edilmiştir. Kısaca, eş-eksenli dönmeli jet kullanımı; akışı radyal olarak dış bölgelere doğru genişletir, akış karışımını iyileştirir, girdap oluşumunu tetikler, ısıl sınır tabakanın etkin bir şekilde bozulmasına yol açar ve böylece ısı transferini iyileştirir. Buna karşın, eş-eksenli jet durumunda, plaka merkezindeki sıcaklık değerlerinde kısmi bir artış görülmektedir. Bunun sebebi de debi oranı arttıkça dairesel akış pasajındaki akışkan debisinin azalması ile açıklanabilir.



Şekil 7. Dönmeli eş-eksenli jet ile konvansiyonel jetin karşılaştırılması

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, dönmeli eş-eksenli jetlerin yakın çarpma mesafelerindeki ısıl davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Farklı lüle-plaka arası mesafeler ve debi oranlarında çalışılmıştır. Önemli sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

1. Bütün debi oranlarında, genel karakter olarak, artan çarpma mesafesi ile yerel Nusselt sayıları tüm radyal doğrultu boyunca azalmaktadır.
2. Artan radyal mesafeye bağlı olarak ($r^* \geq 0.6$ için) Nusselt sayılarının azaldığı görülmektedir. Nusselt sayısındaki bu azalma debi oranına bağlı olmakta ve bu durum artan radyal mesafe ile daha belirgin bir hale gelmektedir.

3. En küçük lüle-plaka arası mesafe ve debi oranı için çarpma bölgesinde ısı transferinin üniformluğunda belirgin bir iyileşme görülmektedir.
4. Ortalama Nusselt sayısı ve durma noktası Nusselt sayılarının her ikisinin de ilgili deneysel aralık kapsamında, azalan lüle-plaka arası mesafe ile yaklaşık olarak % 5.7 oranında (maksimum değişim miktarı) arttığı görülmektedir.
5. Artan debi oranı ile radyal doğrultuda dış bölgelerde (plaka merkezine göre), yerel Nusselt sayılarında belirgin bir artış olduğu görülmektedir.
6. Sabit bir lüle-plaka arası mesafe için, artan debi oranıyla, durma noktası Nusselt sayılarında belirli düzeyde bir azalma görülmektedir. Artan debi oranıyla, durma noktası Nusselt sayılarındaki azalma düzeyi maksimum % 4.5'tir.
7. Bu çalışmadaki deneysel aralık için artan debi oranıyla ortalama Nusselt sayılarında % 15.2'ye kadar artış meydana gelmektedir.
8. Dönmeli eş-eksenli jetler, konvansiyonel jetlere kıyasla üniforma yakın sıcaklık dağılımı sunmaktadır. Bu nedenle, özellikle, elektronik sistemlerin soğutulması gibi ısı transferinin üniformluğunun da ön planda olduğu ısıl kontrol uygulamalarında iyi bir seçenek olarak değerlendirilebilirler.

Referanslar

- Ahmed, M.R., & Sharma, S.D. (2000). Effect of velocity ratio on the turbulent mixing of confined, co-axial jets. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 22, 19–33. doi:10.1016/S0894-1777(00)00006-6
- Ahmed, Z.U., Al-Abdeli, Y.M., & Guzzomi, F.G. (2016). Heat transfer characteristics of swirling and non-swirling impinging turbulent jets. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 102, 991–1003. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.06.037
- Ahmed, Z.U., Al-Abdeli, Y.M., & Guzzomi, F.G. (2017). Flow field and thermal behaviour in swirling and non-swirling turbulent impinging jets. *International Journal of Thermal Sciences*, 114, 241–256. doi:10.1016/j.ijthermalsci.2016.12.013
- Bakirci, K., & Bilen, K. (2007). Visualization of heat transfer for impinging swirl flow. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 32, 182–191. doi:10.1016/j.expthermflusci.2007.03.004
- Balakrishnan, P., & Srinivasan, K. (2017). Jet noise reduction using co-axial swirl flow with curved vanes. *Applied Acoustics*, 126, 149–161. doi:10.1016/j.apacoust.2017.05.009
- Biegger, C., Rao, Yu., & Weigand, B. (2018). Flow and heat transfer measurements in swirl tubes with one and multiple tangential inlet jets for internal gas turbine blade cooling. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 73, 174–187. doi:10.1016/j.ijheatfluidflow.2018.07.011
- Chang, S.W., & Shen, H.D. (2020). Heat transfer characteristics of swirling impinging jet-arrays issued from nozzle plates with and without webbed grooves. *International Journal of Thermal Sciences*, 148, 106155. doi:10.1016/j.ijthermalsci.2019.106155
- Choo, K.S., & Kim, S.J. (2010). Comparison of thermal characteristics of confined and unconfined impinging jets. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53, 3366–3371. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2010.02.023
- Colucci, D.W., & Viskanta, R. (1996). Effect of nozzle geometry on local convective heat transfer to a confined impinging air jet. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 13, 71–80. doi:10.1016/0894-1777(96)00015-5
- Dixon, T.F., Truelove, J.S., & Wall, T.F. (1983). Aerodynamic studies on swirled coaxial jets from nozzles with divergent quarls. *Journal of Fluids Engineering*, 105, 197–203. doi:10.1115/1.3240964
- Eiamsa-ard, S., Nanan, K., & Wongcharee, K. (2015). Heat transfer visualization of co/counter-dual swirling impinging jets by thermochromic liquid crystal method. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 86: 600–621. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.03.031
- Ianiro, A., & Cardone, G. (2012). Heat transfer rate and uniformity in multichannel swirling impinging jets. *Applied Thermal Engineering*, 49, 89–98. doi:10.1016/j.applthermaleng.2011.10.018
- Ikhlaq, M., Al-Abdeli, Y.M., & Khiadani, M. (2019). Transient heat transfer characteristics of swirling and non-swirling turbulent impinging jets. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 109, 109917. doi:10.1016/j.expthermflusci.2019.109917
- Huang, L., & EL-Genk, M.S. (1998). Heat transfer and flow visualization experiments of swirling, multi-channel, and conventional impinging jets. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 41, 583–600. doi:10.1016/S0017-9310(97)00123-3

- Kline, S.J., McClintock, F.A. (1953). Describing uncertainties in single-sample experiments. *Mechanical Engineering*, 75(1) 3–8.
- Kurnia, J.C., Sasmito, A.P., Tong, W., & Mujumdar, A.S. (2013). Energy-efficient thermal drying using impinging-jets with time-varying heat input – A computational study. *Journal of Food Engineering*, 114, 269–277. doi:10.1016/j.jfoodeng.2012.08.029
- Lee, D.H., Won, S.Y., Kim, Y.T., & Chung, Y.S. (2002). Turbulent heat transfer from a flat surface to a swirling round impinging jet. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45(1), 223–227. doi:10.1016/S0017-9310(01)00135-1
- Markal, B. (2018). Experimental investigation of heat transfer characteristics and wall pressure distribution of swirling coaxial confined impinging air jets. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 124: 517–532. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.03.101
- Markal, B. (2019). The effect of Total flowrate on the cooling performance of swirling coaxial impinging jets. *Heat and Mass Transfer*, 55, 3275–3288. doi:10.1007/s00231-019-02653-7
- Markal, B., & Aydin, O. (2018). Experimental investigation of coaxial impinging air jets. *Applied Thermal Engineering*, 141, 1120–1130. doi:10.1016/j.applthermaleng.2018.06.066
- Nanan, K., Wongcharee, K., Nuntadusit, C., & Eiamsa-ard, S. (2012). Forced convective heat transfer by swirling impinging jets issuing from nozzles equipped with twisted tapes. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39, 844–852. doi:10.1016/j.icheatmasstransfer.2012.05.002
- Nuntadusit, C., Wae-hayee, M., Bunyajitradulya, A., & Eiamsa-ard, S. (2012). Heat transfer enhancement by multiple swirling impinging jets with twisted-tape swirl generators. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39, 102–107. doi:10.1016/j.icheatmasstransfer.2011.10.003
- Öztekin, E., Aydin, O., & Avci, M. (2013). Heat transfer in a turbulent slot jet flow impinging on concave surfaces. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 44, 77–82. doi:10.1016/j.icheatmasstransfer.2013.03.006
- Singh, P., & Chander, S. (2018). Heat transfer and fluid flow characteristics of a pair of interacting dual swirling flame jets impinging on a flat surface. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 124, 90–108. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.03.034
- Uddin, N., Weigand, B., & Younis, B.A. (2019). Comparative study on heat transfer enhancement by turbulent impinging jet under conditions of swirl, active excitations and passive excitations. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 100, 35–41. doi:10.1016/j.icheatmasstransfer.2018.12.002
- Walker, J.D.A., Smith, C.R., Cerra, A.W., & Doligalski, T.L. (1987). The impact of a vortex ring on a wall. *Journal of Fluid Mechanics*, 181, 99-140. doi:10.1017/S0022112087002027
- Wannassi, M., & Monnoyer, F. (2015). Fluid flow and convective heat transfer of combined swirling and straight impinging jet arrays. *Applied Thermal Engineering*, 78, 62–73. doi:10.1016/j.applthermaleng.2014.12.043
- Xu, L., Lan, J., Ma, Y., Gao, J., & Li, Y. (2017). Numerical study on heat transfer by swirling impinging jets issuing from a screw-thread nozzle. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 115, 232–237. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.07.053
- Yang, H.Q., Kim, T., Lu, T.J., & Ichimiya, K. (2010). Flow structure, wall pressure and heat transfer characteristics of impinging annular jet with/without steady swirling. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53, 4092–4100. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2010.05.029



Çelik Tel Donatılı Betonların Kırılma Parametrelerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi

Modelling of the Fracture Parameters of Steel Fiber Reinforced Concretes Using Artificial Neural Networks

Yunus Gündüz¹, Eyüp Taşkan¹, Yuşa Şahin²

¹Yozgat Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 66900, Yozgat, TÜRKİYE

²Yozgat Bozok Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 66900, Yozgat, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 16/08/2019

Kabul / Accepted: 13/05/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Beton basınç kuvvetlerine karşı yüksek direnç göstermekte bununla birlikte çekme kuvvetlerine karşı ise yeterli direnci gösterememektedir. Betonun çekme direncini arttırmak amacıyla içerisine yüksek çekme dayanımına sahip kısa kesilmiş çelik teller katılmaktadır. Çelik tel katılmasıyla betonların çekme dayanımının yanında süneklik ve tokluğunda da artışlar görülmektedir. Çelik tel donatılı beton (ÇTDB)'lar geleneksel donatılı betonlara göre daha sünek bir davranış gösterdiklerinden dolayı bu betonlar tasarlanırken kırılma parametreleri de bir kriter olarak dikkate alınmaktadır. Çalışma kapsamında, farklı çelik tel özelliklerine ve miktarına sahip betonların kırılma parametreleri üzerine deneysel bir araştırma yapılmıştır. Araştırmada, farklı kanca tipi ve dayanıma sahip çelik teller farklı miktarda betonlara katılmıştır. Elde edilen betonlar üzerinde üç noktalı eğilme deneyi yapılmış ve betonların kırılma parametreleri belirlenmiştir. Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi ile deneysel araştırma sonucu elde edilen kırılma parametreleri kullanılarak bir modelleme yapılmıştır. Yapılan modelleme sonucu betonların kırılma parametrelerinin YSA yöntemi ile elde edilebileceği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler

“Beton, Çelik tel, Kırılma Parametreleri, Tokluk, Yapay sinir ağları”

Abstract

Concrete exhibits higher strength under compression loads, however, it does not provide sufficient performance under tension loads. Short cut steel fibers are usually added in concrete in order to defeat this disadvantage against tension loads. Besides tension strength, also ductility and toughness of concretes are increased by addition of steel fibers in concrete. Effects of the properties of the fibers on concretes were investigated and some parameters were suggested to use in the design of Steel Fiber Reinforced Concretes (SFRCs). Fracture parameters are taken as a criterion in the design of SFRCs due to their more ductile behavior. In this study, the effect of type and amount of hooked-ended steel fibers on the fracture parameters of concretes was investigated by an experimental research. In mixtures, different types of hooked-ended steel fibers added in different amounts in concretes having different strength class. The three-point bending test was performed on concretes and fracture parameters were determined according to this test. Fracture parameters of SFRCs were modelled based on the experimental results by an Artificial Neural Network (ANN). It is revealed that fracture parameters were successfully predicted by this model.

Key Words

“Concrete, Steel fiber, Fracture parameters, Toughness, Artificial neural networks.”

1. Giriş

Beton basınç kuvvetlerine karşı dayanımı yüksek bir malzeme olmasına karşın çekme kuvvetlerine karşı yeterli performans sergilememektedir. Betonun bu dezavantajını gidermek için çeşitli biçimlerde ve özellikle lifler beton içerisine katılmaktadır. Bu lifler çelik, plastik, cam ve doğal malzemeler olabilmektedir. Lifler farklı geometrilere üretiltikleri gibi çelik olanlarının dayanımları karbon miktarına bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir.

Çelik tellerin ana görevi, çatlak yüzlerini köprüleyerek çatlağın açılmasını ve ilerlemesini kontrol etmektir (Yıldırım vd., 2019, Yoo vd., 2014). Köprüleme etkisinin başarılı olması genellikle telin yüzeyden sıyrılma mekanizmasına bağlıdır. Sıyrılma ise sadece tel ve çimento matrisi arasındaki bağın sağlamlığına bağlı olmayıp aynı zamanda çelik telin kanca boyunun uzunluğu ve tipi gibi tel özelliklerine de bağlıdır. Sıyrılma dayanımını arttırmak amacıyla mekanik olarak deforme edilmiş teller düz tellere kıyasla tercih edilmektedir (Banthia&Trottier, 1994, Cunha vd., 2010, Feng vd., 2014, Robins vd., 2002). Lif kullanımının betonların işlenebilirlik özelliğine lif miktarı arttıkça, lif tipinden bağımsız olarak olumsuz etkisi görülmektedir (Korkut vd., 2017).

ÇTDB'ler çok çeşitli alanlarda kullanılmakla beraber endüstriyel zeminlerde, tünel ve şev kaplamalarında ve prefabrike elemanların üretiminde geleneksel donatılı betonların yerine tercih edilebilmektedir (Knapton, 2003, Taşdemir vd., 2002, Taşdemir vd., 2006, Demir, 2009). ÇTDB'lerin normal betonlara göre üstünlükleri başta tokluk ve süneklikte sağladıkları artışlardır. Çelik tellerin betonlara katılmasıyla sağlanan diğer yararlar ise; etkin çatlak kontrolü, dayanıklılığın artması, korozyonun oluşmaması ve işçilikte görülen azalma olarak sayılabilir (Taşdemir ve Bayramov, 2002).

Betonların işlenebilirlik ve mekanik özelliklerinin tahmininde ve betona çelik tel gibi ilave edilen katkıların etkilerinin belirlenmesinde çeşitli analitik ve sayısal yöntemlerle modelleme yapılmaktadır (Demirbaş ve Çakır, 2019, Gencel vd., 2013, Saatçi ve Batarlar, 2017, Topçu ve Sarıdemir, 2008, Yaprak ve Karacı, 2009). Beton bileşenlerinin çeşitliliği, dayanımı ve çelik tel özellikleri dikkate alındığında tüm bu etkenlerin değerlendirildiği bir deneysel çalışma yapmak mümkün görülmektedir. Bu nedenle bir modellemeye ihtiyaç bulunmaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen deneysel veriler kullanılarak ÇTDB'lerin kırılma parametreleri yapay sinir ağı yöntemi ile modellenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

2.1.1. Çimento

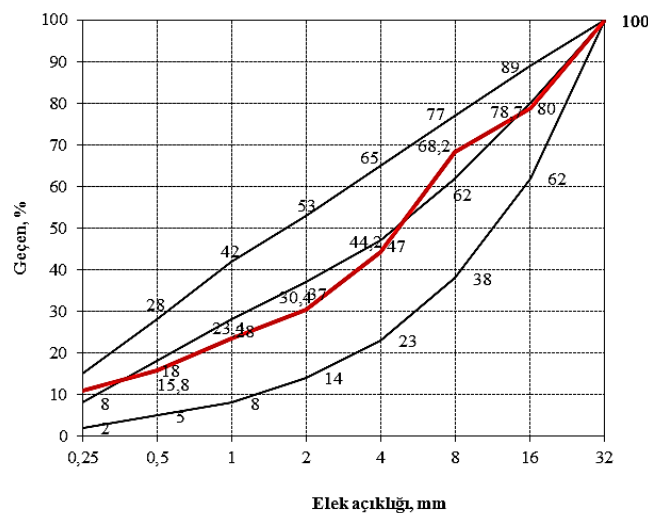
Çalışma kapsamında CEM I 42,5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun yoğunluğu $3,10 \text{ g/cm}^3$, inceliği (Blaine) $3320 \text{ cm}^2/\text{g}$ 'dir. Çimentoya ait kimyasal bileşim Tablo 1'de verilmektedir. Çimento kimyasal bileşimi analizleri, aynı zamanda çimentoyu tedarik eden, Votorantim Yozgat Çimento Fabrikası tarafından yapılmıştır.

Tablo 1. Çimentonun kimyasal bileşimi (%)

CaO	Serbest CaO	SO ₃	MgO	Cl	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Çöz. kalıntı	Kızd. kaybı
62,30	0,69	3,25	2,6	0,01	1,11	0,23	18,7	5,48	3,01	0,84	2,57

2.1.2. Agregalar

Çalışma kapsamında kalker esaslı agregalar kullanılmıştır. Agregaların yoğunlukları kırma kum, kırma taş I ve kırma taş II için sırasıyla $2,63$, $2,70$ ve $2,71 \text{ g/cm}^3$ olarak elde edilmiştir. Agregalara ait karışım granülometri eğrisi ve referans eğriler Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Agregalar karışımına ait granülometri eğrisi

2.1.3. Kimyasal Katkı

Çalışma kapsamında, polikarboksilik eter esaslı (BASF Glenium Sky™ 650 M) yüksek oranda su azaltıcı/yeni ikinci nesil süperakışkanlaştırıcı (SA) özellikte bir beton katkısı kullanılmıştır.

2.1.4. Silis dumanı

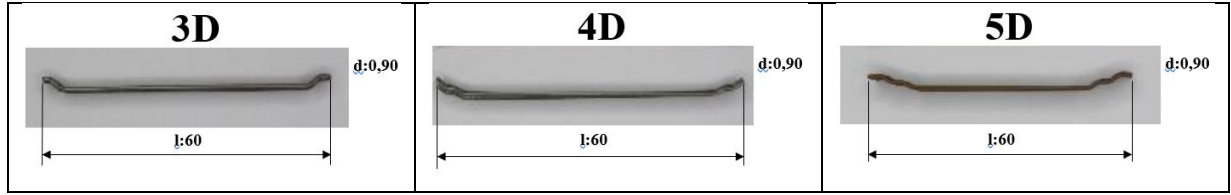
Ukrayna menşeli silis dumanı (SD) kullanılmıştır. SD'nin yoğunluğu 2,23 g/cm³'tür ve kimyasal bileşiminde %85 oranında SiO₂ bulunmaktadır.

2.1.5. Çelik tel

Çalışmada, 6 cm uzunluğunda ve 0,9 mm çapında çelik teller kullanılmıştır. Çelik tellerin kanca tipleri ve dayanımları farklılık göstermektedir. Çelik teller Bekaert İzmit Çelik Kord San. Tic. A. Ş'den temin edilmiştir. Çelik tellerin özellikleri Tablo 3'te verilmektedir. Çelik tellere ait görseller Şekil 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2. Çelik tellere ait özellikler

Çelik Tel Tipi	Boy, l (mm)	Çap, d (mm)	Narinlik (l/d) (uzunluk/çap)	Çekme Dayanım, f _{su} (N/mm ²)
3D	60	0,90	65	1160
4D				1500
5D				2300



*Ölçüler mm olarak yazılmıştır.

Şekil 2. Çelik teller

2.2. Karışımlar

Deneysel çalışma için 3 farklı su/çimento (S/Ç) oranında beton karışımları seçilmiş ve çelik teller 4 farklı oranda bu karışımlara katılmıştır. Beton karışımları ve bileşen miktarları Tablo 3'te verilmektedir.

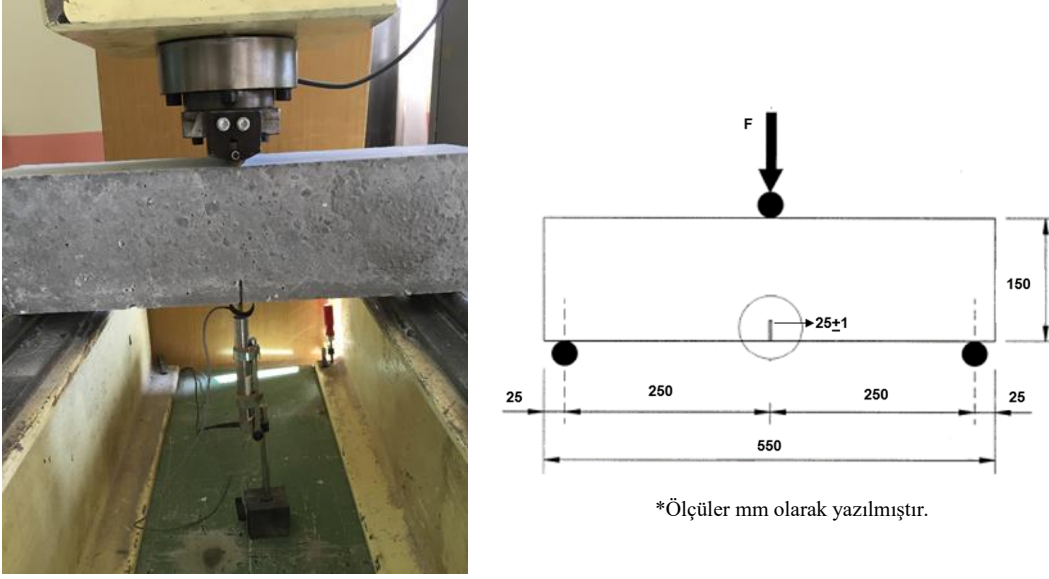
Tablo 3. Beton karışımları ve bileşen miktarları (kg/m³)

S/Ç	Tel İçeriği	Çimento	Su	Kum	No I	No II	SA	SD
0,60	0			892	515	479		
	15			890	514	478		
	30	300	180	887	512	476	2,0	-
	45			885	511	475		
	60			883	510	474		
0,45	0			856	494	459		
	15			853	493	458		
	30	400	180	851	491	457	1,6	-
	45			849	490	455		
	60			846	489	454		
0,30	0			847	489	455		
	15			845	488	454		
	30	450	149	843	487	452	5,4	45
	45			840	485	451		
	60			838	484	450		

2.3. Deney Programı ve Hesaplamalar

2.3.1. Eğilmede çekme dayanımı tayini

Eğilmede çekme dayanımı tayini deneyleri TS EN 14651 standardına uygun olarak yapılmıştır. Eğilme deneyinde standarda uygun olarak 150 mm genişlik ve yüksekliğe sahip 550 mm uzunlukta kiriş numuneler kullanılmıştır. Numunelerin orta noktasından 25 ± 1 mm derinliğinde çentikler açılmıştır. Yükleme, sehim kontrollü geri beslemeli bir yükleme çerçevesinde 0,2 mm/dk yükleme hızında yapılmıştır. Yükleme düzeneği Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Yükleme düzeneği

2.3.2. Kırılma parametreleri

Kırılma enerjisi: Kırılma enerjisi değerleri RILEM (1985) tarafından önerilen yöntemle göre belirlenmiştir. Bu yöntemle göre kırılma enerjisi aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$G_F = \frac{W_0 + m(1-k^2)g\delta}{B(D-a)} \quad (1)$$

Burada W_0 yük-sehim eğrisi altında kalan alan, m numune ağırlığı (mesnetler arasında kalan kısım), g yerçekimi ivmesi ($9,81 \text{ m/s}^2$), δ açıklık ortasındaki sehim, B numune genişliği, D numune yüksekliği, a çentik derinliği, k ise numune boyutlarına bağlı bir katsayıdır ($k=(U/S)-1$ ve U numunenin boyu, S ise mesnetler arası uzunluktur).

Beton için önerilen kırılma mekaniği modellerinden Hillerborg (1976)' un önerdiği modelde betonun sünekliğinin bir ölçüsü olarak karakteristik boy (l_{ch}) tanımlanmaktadır. Eğilme deneyi ile elde edilen yük-sehim eğrileri kullanılarak hesaplanan kırılma enerjilerine bağlı olarak l_{ch} aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$l_{ch} = \frac{G_F E}{f_t^2} \quad (2)$$

Burada G_F kırılma enerjisi, E elastisite modülü ve f_t ise tek eksenli çekme dayanımıdır (çalışmada f_t yerine yarmada çekme dayanımı kullanılmıştır.).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Taze Beton Deney Sonuçları

Taze betonlar üzerinde çökme (TS EN 12350-2), VeBe (TS EN 12350-3) ve birim ağırlık (TS EN 12350-6) deneyleri yapılmıştır. Taze betonlara ait sıcaklık değerlerinin $22 \pm 2^\circ\text{C}$ aralığında sabit kalması sağlanmıştır. Çelik tel kullanılmayan karışımların çökme değerleri S4 (16-21 cm) kıvam sınıfında belirlenmiştir. Çelik tel eklenmesiyle karışımların çökme değerlerinde düşmeler görülmüştür. Çalışmada sertleşmiş beton özellikleri ve kırılma parametrelerinin modellenmesine odaklanılmıştır, ilgi duyulduğu takdirde taze beton deney sonuçlarının tamamına Gündüz (2015)'den ulaşılabilir.

3.2. Sertleşmiş Beton Deneysel Sonuçları

3.2.1. Basınç dayanımı, elastisite modülü ve yarmada çekme dayanımı

Karışımlara ait mekanik özellik deney sonuçları aşağıdaki Tablo 4'te verilmektedir. Tablo 'da basınç dayanımları sonuçlarının değerlendirilmesinden sonra TS EN 206 standardına göre karışımların sahip oldukları beton dayanımı sınıfları ve bu sınıflardaki betonların ortalama elastisite modülü ve yarmada çekme dayanımı değerleri sunulmaktadır. S/Ç oranının azalmasıyla mekanik özelliklerin arttığı görülmüştür. Çelik tel kullanılmasının basınç dayanımı ve elastisite modülü üzerine belirgin bir etkisi görülmezken, karışımlarda çelik tel miktarının artmasıyla yarmada çekme dayanımlarında belirgin olarak artışlar elde edilmiştir. Çalışmada sertleşmiş beton özellikleri ve kırılma parametrelerinin modellenmesine odaklanılmıştır, ilgi duyulduğu takdirde sertleşmiş beton deney sonuçlarının tamamına Gündüz (2015)'den ulaşılabilir.

Tablo 4. Mekanik özellik deney sonuçları

S/Ç	Beton Dayanım Sınıfı	Elastisite Modülü (GPa)	Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)
0,60	C40/50	30	3,0
0,45	C50/60	35	3,5
0,30	C80/95	40	4,0

3.2.2. Kırılma parametreleri

Kırılma parametrelerinin hesaplanmasında Madde 2.3.1'de anlatılan yöntemle göre 5 mm sehim değerine kadar ölçülen yük-sehim grafikleri kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen eğri altında kalan alan ve kırılma parametreleri değerleri yazarlara ait daha önceki çalışmalarda (Gündüz vd., (2016a), Gündüz vd., (2016b) ve Gündüz vd., (2018)) yayımlanmıştır. Bu çalışmada ise bu değerler kullanılarak kırılma parametrelerinin modellenmesi yapıldığından ilgili sonuçlar referans verilerek Tablo 5'te sunulmaktadır. Karışım kodlamalarında kanca tipi (3D, 4D ve 5D) ve tel miktarları değerleri kullanılmıştır. Örneğin, 4DV30 kanca tipi 4D olan ve 30 kg/m³ tel miktarına sahip karışımı göstermektedir. Lif miktarının artmasının yük-sehim eğrisi altında kalan alanı artırdığı görülmüştür. Kırılma parametreleri üzerinde ise lif miktarının yanında lif kanca tipinin etkisinin olduğu söylenebilir.

Tablo 5. Yük-sehim eğrisi altında kalan alan ve kırılma parametreleri değerleri

Karışım kodu	S/Ç:0,60			S/Ç:0,45			S/Ç:0,30		
	W_0 kN.mm	G_F N/m	I_{ch} mm	W_0 kN.mm	G_F N/m	I_{ch} mm	W_0 kN.mm	G_F N/m	I_{ch} mm
Kontrol	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3DV15	9,20	564	1,42	13,75	809	2,35	8,7 ¹	496 ¹	0,83 ¹
3DV30	12,45	736	1,62	15,50	900	2,50	23,20	1311	1,87
3DV45	21,40	1209	2,58	27,70	1529	3,46	27,80	1553	1,99
3DV60	46,00	2523	5,74	19,30	1094	2,77	40,20	2215	2,89
4DV15	15,00	870	2,26	17,60	1012	3,06	9,1 ²	550 ²	0,9 ²
4DV30	18,10	1035	2,42	20,10	1141	3,15	22,65	1283	1,84
4DV45	26,78	1499	3,14	29,10	1615	3,91	28,30	1582	2,15
4DV60	42,30	2330	4,57	37,40	2059	5,21	43,80	2386	3,30
5DV15	16,00	926	2,24	39,15	2159	5,50	27,10	1521	2,51
5DV30	20,35	1155	2,60	49,50	2702	5,88	38,10	2108	2,98
5DV45	22,50	1257	2,61	49,95	2727	5,68	38,65	2137	2,88
5DV60	68,75	3724	7,20	50,65	2766	5,90	60,30	3292	4,07

4. Kırılma Parametrelerinin Modellenmesi

4.1. Yapay Sinir Ağları Modellerinin Yapısı

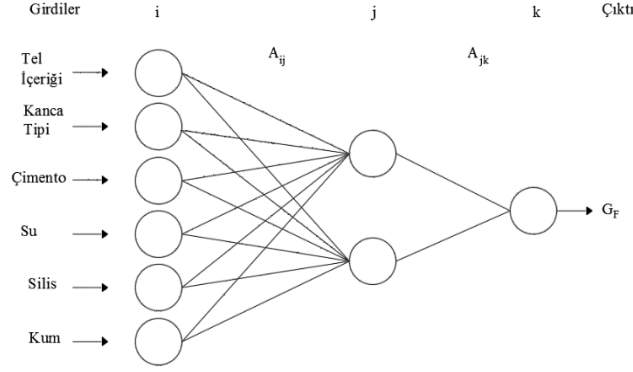
Bu çalışmada giriş tabakası, ara tabaka ve çıkış tabakasından oluşan 3 katmanlı yapay sinir ağları (YSA) modeli oluşturulmuştur. Deneysel araştırma sonucu elde edilen toplam 36 adet verinin 27 tanesi modeli oluşturma (eğitime) aşamasında, 9 tanesi de modelin test aşamasında kullanılmıştır. Test aşamasında kullanılan veriler, deney veri sayısının %25'i kadar ve rasgele seçilmiştir.

¹ Numuneler ortalama 1,7 mm sehim değerinde göçmüştür.

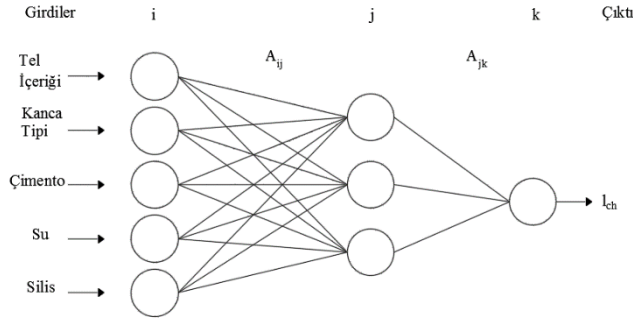
² Numuneler ortalama 3,5 mm sehim değerinde göçmüştür.

Kırılma enerjisi (G_F)'nin tahmin edildiği modelde, girdi olarak tel içeriği, tel kanca tipi (tel dayanımı), çimento, su, silis ve kum miktarları kullanılmıştır. Yapılan denemelerde ara tabaka hücre sayısı 2 olarak belirlenmiştir.

Karakteristik boy (l_{ch})'un tahmin edildiği modelde, girdi olarak tel içeriği, tel kanca tipi (tel dayanımı), çimento, su ve silis miktarları kullanılmıştır. Yapılan denemelerde ara tabaka hücre sayısı 3 olarak belirlenmiştir. Kırılma enerjisi ve karakteristik boy için oluşturulan YSA modellerine ait yapılar sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Kırılma Enerjisi YSA Modeli Yapısı



Şekil 5. Karakteristik Boy YSA Modeli Yapısı

p örneğinde eğitime aşamasın için toplam hata (H_p) gerçek çıktılar ve tahmin edilen değerler arasındaki kareler farkına bağlı olarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$H_p = \sum_{k=1}^N (G_{pk} - \zeta_{pk})^2 \quad (3)$$

Burada N iterasyon sayısı, G_{pk} ve ζ_{pk} ise sırası ile p örneği için gerçek ve tahmin edilen çıktı değerleridir. Bağlantı aralıkları, A_{ij} , aşağıdaki eşitlik ile yenilenmektedir.

$$A_{ij}^{yeni} = A_{ij}^{eski} - [J^T J + \mu I]^{-1} J^T H_p \quad (4)$$

Burada hataların ağırlıklara göre türevlerini içeren Jacobian matrisi J ile, birim matris I ile ve yakınsama hızını etkileyen bir parametre ise μ ile ifade edilmektedir.

4.2. YSA Modeli Sonuçları

Yapılan modellerde girdi verileri olarak tel içeriği (Tİ), kanca tipi (tel dayanımı) (TD), çimento (Çİ), su, silis (Si), kum ve kırma taş (KTAş) miktarları kullanılmıştır. Bu veriler kullanılarak girdi kombinasyonları oluşturulmuştur. Kombinasyonlar oluşturulurken her bir girdinin kırılma enerjisi ve karakteristik boy ile yaptıkları korelasyon değerleri göz önüne alınarak yapılmıştır. Girdilerin kırılma enerjisi ve karakteristik boy ile korelasyonları Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 6. Girdilerin Kırılma Enerjisi ve Karakteristik Boy ile Korelasyonları

Girdi	Kırılma Enerjisi Korelasyonu	Karakteristik Boy Korelasyonu
Tel içeriği (Tİ)	0,663	0,531
Tel Dayanımı (TD)	0,543	0,458
Çimento (Çİ)	0,153	-0,145
Su	-0,109	0,400
Silis (Sİ)	0,107	-0,403
Kum	-0,245	-0,002
Kırma Taş (KTAş)	-0,244	-0,003

Ağırlıkları ayarlamak için başka tekniklerden daha başarılı ve hızlı olan Levenberg-Marquardt yöntemi kullanılmıştır. Gizli katmandaki birimlere ait aktivasyon fonksiyonu logaritma sigmoid (logsig) olarak seçilmiş ve performansının diğer fonksiyonlara göre daha iyi olduğu görülmüştür. Çıkış fonksiyonu olarak doğrusal fonksiyon (purelin) kullanılmıştır.

Karşılaştırma kriteri olarak, ortalama karesel hata (*OKH*), ortalama mutlak hata (*OMH*) ve belirginlik katsayısı (R^2) kullanılmıştır. *OKH* ve *OMH* aşağıdaki eşitlikler ile bulunur;

$$OKH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{i_{Deneyse}} - Y_{i_{Model}})^2 \quad (5)$$

$$OMH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Y_{i_{Deneyse}} - Y_{i_{Model}}| \quad (6)$$

Burada N, toplam veri sayısını Y_i ise kırılma enerjisi ve karakteristik boy değerlerini ifade etmektedir. Bu çalışmada kırılma enerjisi tahmininde en düşük ortalama karesel hata (*OKH*) ve en düşük ortalama mutlak hata (*OMH*) değerleri 2 ara tabaka hücre sayısı ve 300 iterasyon kullanılarak oluşturulan model ile elde edildi. Karakteristik boy tahmininde ise en düşük *OKH* ve en düşük *OMH* değerleri 3 ara tabaka hücre sayısı ve 250 iterasyon kullanılarak oluşturulan model ile elde edilmiştir. Çok katmanlı yapay sinir ağları (ÇKYSA) modelinin kombinasyonları Tablo 7 ve Tablo 8'de verilmiştir. Bu kombinasyonların yapılan denemeler sonucunda en düşük hata ve en yüksek belirginlik katsayıları veren ara tabaka hücre sayısı ve değerler Tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 7. Kırılma Enerjisi Tahmini İçin ÇKYSA Modeli, Kombinasyonlar, Hatalar ve Belirginlik Katsayıları

Girdiler	Ara Tabaka Hücre Sayısı	İterasyon Sayısı	OKH	OMH	R^2
Tİ ve TD	2	30	62916	216	0,901
Tİ, TD ve Çİ	6	100	44897	173	0,944
Tİ, TD, Çİ ve Su	3	20	26737	136	0,949
Tİ, TD, Çİ, Su ve Si	1	200	31806	149	0,947
Tİ, TD, Çİ, Su, Si ve Kum	2	300	13551	94	0,966
Tİ, TD, Çİ, Su, Si, Kum ve KTAş	3	10	38394	158	0,924

Tablo 8. Karakteristik Boy Tahmini İçin ÇKYSA Modeli, Kombinasyonlar, Hatalar ve Belirginlik Katsayısı

Girdiler	Ara Tabaka Hücre Sayısı	İterasyon Sayısı	OKH	OMH	R^2
Tİ ve TD	2	100	0,53	0,68	0,701
Tİ, TD ve Çİ	4	200	0,31	0,46	0,806
Tİ, TD, Çİ ve Su	4	200	0,15	0,31	0,922
Tİ, TD, Çİ, Su ve Si	3	250	0,09	0,25	0,967
Tİ, TD, Çİ, Su, Si ve Kum	4	200	0,28	0,40	0,886
Tİ, TD, Çİ, Su, Si, Kum ve KTAş	4	150	0,27	0,40	0,837

Yapılan denemeler sonucu kırılma enerjisi tahmini için, 2 ara tabaka hücre sayısı ve bu hücre sayısı için 300 iterasyonun en düşük hataları ve en yüksek belirginlik katsayısını verdiği görülmüştür. Karakteristik boy tahmini için, 3 ara tabaka hücre sayısı ve bu hücre sayısı için 250 iterasyonun en düşük hataları ve en yüksek belirginlik katsayısını verdiği görülmüştür. Denemeler sonucu kırılma enerjisi tahmininde 5, karakteristik boy tahmininde ise 6 ara tabaka hücre sayısından fazla ara tabaka hücre sayısı ve iterasyon sayısının bu modeller için etkili olmadığı belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar ve modelde bulunan değerlerin karşılaştırılması Tablo 9 ve Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 9. Kırılma Enerjilerinin Deneysel Sonuçları ile Modelde Bulunan Değerlerin Karşılaştırılması

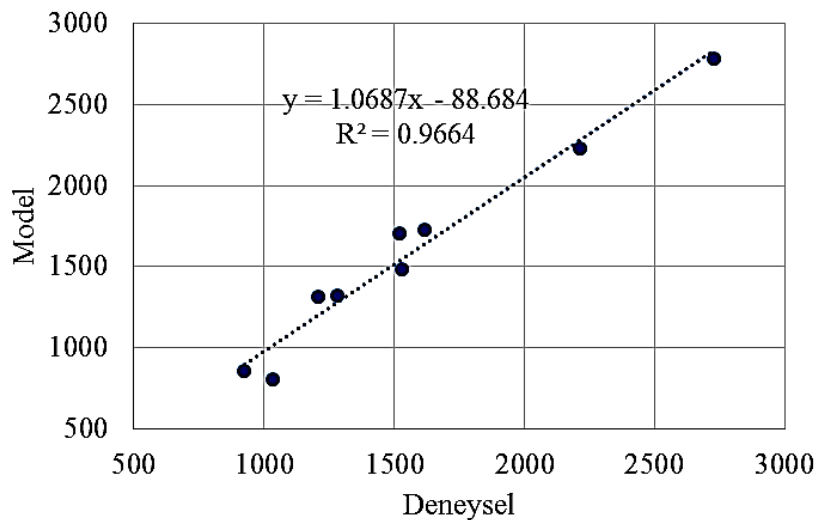
Kırılma Enerjisi, G_F , N/m		
Deneysel	Model Sonucu	Deneysel/Model
1209	1317	0,91
1615	1727	0,935
1521	1704	0,89
1529	1483	1,03
1035	804	1,29
2215	2225	0,995
926	862	1,07
2727	2781	0,98
1283	1321	0,97

Tablo 10. Karakteristik Boyun Deneysel Sonuçları ile Modelde Bulunan Değerlerin Karşılaştırılması

Karakteristik Boy, l_{ch} , mm		
Deneysel	Model Sonucu	Deneysel/Model
2,58	2,30	1,11
3,91	3,89	1,00
2,51	2,61	0,96
3,46	2,91	1,18
2,42	2,06	1,17
2,89	2,67	1,07
2,24	2,32	0,96
5,68	6,03	0,94
1,84	1,56	1,17

Kırılma enerjisi değerleri için deneysel ve model sonuçları arasındaki belirginlik katsayısı 0,9664 olarak elde edilmiştir. Modele ait doğru grafiği Şekil 6'da verilmiştir. Modelin denklemleri aşağıda verilmektedir.

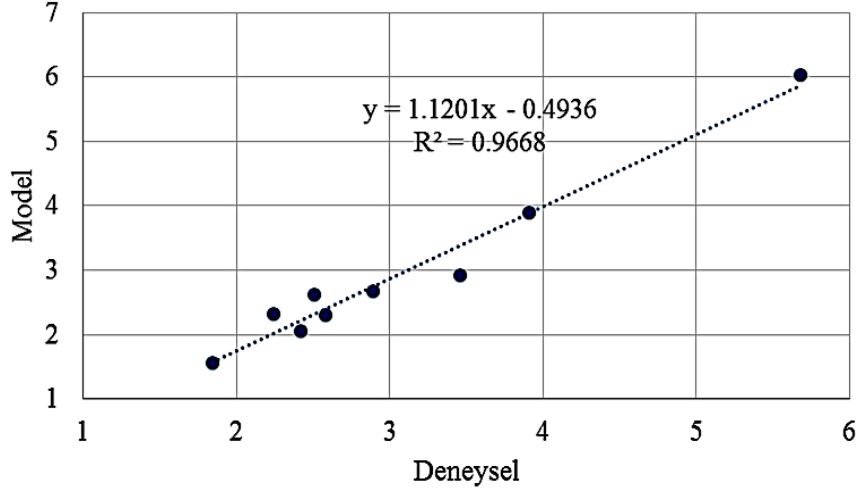
$$y = 1.0687x - 88.684 \quad (7)$$



Şekil 6. Kırılma Enerjisi Modelinin Doğru Grafiği

Karakteristik boy değerleri için deneysel ve model sonuçları arasındaki belirginlik katsayısı 0.9668 olarak elde edilmiştir. Modele ait doğru grafiği Şekil 7’de verilmiştir. Modelin doğru denklemi ise aşağıda verilmiştir.

$$y = 1.1201x - 0.4936 \quad (8)$$



Şekil 7. Karakteristik Boy Modelinin Doğru Grafiği

5. Sonuç

Deneysel çalışma sonucunda farklı S/Ç oranlarında betonlar üretilmesiyle normal (C40/50) ve yüksek (C80/95) dayanıma sahip betonlar elde edilmiştir. Beton dayanımının artmasıyla diğer mekanik özellikler olan elastisite modülü ve yarmada çekme dayanımlarının da arttığı görülmüştür. Elastisite modülü değerlerinin artmasında lif tipi ve içeriğinin etkisi görülmezken, yarmada çekme dayanımı değerleri üzerinde lif tipi ve içeriğinin belirgin etkisi görülmüştür.

Eğilme dayanımı deneyi sonucunda çelik tel kullanılmasıyla her bir dayanım sınıfındaki betonlar için yük sehim eğrisi altında kalan alan değerlerinin arttığı bununla beraber kırılma parametresi değerleri olan kırılma enerjisi ve karakteristik boy değerlerinde de belirgin artışlar elde edilmiştir. Kırılma parametresi değerleri üzerinde özellikle tel içeriği ve tel tipinin etkisi olduğu görülmüştür.

Çalışma kapsamında üretilen farklı beton sınıflarına sahip karışımlar üzerinde yapılan deneylerde, kırılma parametreleri üzerinde çimento ve su miktarlarının ve bunlara bağlı olarak S/Ç oranının korelasyonlarının daha düşük olduğu görülmemiştir. Bununla birlikte, kırılma parametreleri üzerinde tel miktarı ve tel dayanımı (tel kanca tipi) değerlerinin etkili olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Kırılma enerjisi modelinde Tİ, TD, Çİ, Su, kum miktarı ve SD'nin de yer aldığı kombinasyon en iyi sonucu verirken, karakteristik boy modellemesinde ise kum miktarı sonucu olumsuz etkilemiştir.

Çelik tel donatılı betonların kırılma parametreleri yapay sinir ağları kullanılarak düşük hata ve daha yüksek belirginlik katsayısına sahip model ile elde edilmiştir. Modelleme sonucunda kırılma parametreleri üzerinde sırasıyla Tel İçeriği (Tİ), Tel Dayanımı (TD), Çimento (Çi) ve Su değerlerinin daha etkili olduğu görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma Yozgat Bozok Üniversitesi Proje Koordinasyon Araştırma ve Uygulama Merkezi tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2015FBE/T212).

Referanslar

Banthia, N., & Trotter, J. (1994). Concrete reinforced with deformed steel fibers, part 1: bond-slip mechanisms. *ACI Materials Journal*, 91, 435–446. doi: 10.14359/9765

Cunha, V. M. C. F., Barros, J.A.O., & Sena-Cruz, J. M. (2010). Pullout behavior of steel fibers in self-compacting concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22 (1), 1–9. doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000001

Demir, İ. (2009). Aynı oranlarda ikame edilen silis dumanı ve uçucu külün betonun mekanik özelliklerine etkisi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 1, 2.

- Demirbaş, D.M., & Çakır, D. (2019). Yapay sinir ağı eğitim algoritmaları ile iki yönlü fonksiyonel kademelendirilmiş plakalarda termal gerilme analizi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11(2), 442-450. doi: 10.29137/umagd.485604
- Feng, J., Sun, W. W., Wang, X. M., & Shi, X. Y. (2014). Mechanical analyses of hooked fiber pullout performance in ultra-high-performance concrete. *Construction and Building Materials*, 69, 403–410. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.07.049
- Gencil, O., Ozel, C., Köksal, F., Barrere, G.M., Brostow, W., & Polat, H. (2013). Fuzzy logic model for prediction of properties of fiber reinforced self-compacting concrete. *Materials Science*, 19 (2), 203-215. doi: 10.5755/j01.ms.19.2.4439
- Gündüz, Y. (2015). Çelik tel donatılı betonlarda kırılma parametrelerinin yapay sinir ağı ile modellenmesi. Yüksek lisans tezi. Yozgat Bozok Üniversitesi.
- Gündüz, Y., Taşkan E., & Şahin, Y. (2016a). Using hooked-end fibres on high performance steel fibre reinforced concrete. The 2016 International Conference on High Performance and Optimum Design of Structures and Materials, Siena, Italy. doi: 10.2495/HPSM160241
- Gündüz Y., Taşkan E., & Şahin, Y. (2016b). The effect of type of hooked-end on the mechanical properties of steel fiber reinforced concretes. 12th International Congress on Advances in Civil Engineering, Istanbul, Turkey.
- Gündüz, Y., Taşkan, E., Köksal, F., & Şahin, Y. (2018). Farklı kanca tipine sahip çelik tel donatılı betonların özellikleri ve optimum tasarımı. *Hazır Beton*, 147, 79-86.
- Hillerborg, A., Modeer, M., & Peterson, P.E. (1976). Analysis of crack formation and crack growths in concrete by means of fracture mechanics and finite elements. *Cement and Concrete Research*, 6, 773–782. doi: 10.1016/0008-8846(76)90007-7
- Knapton, J. (2003). *Ground bearing concrete slabs*. Thomas Telford, London.
- Korkut, F., Türkmenoğlu, Z.F., Taymuş, R.B., & Güler, S. (2017). Çelik ve sentetik liflerin kendiliğinden yerleşen betonların taze ve mekanik özellikleri üzerine etkisi. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 6, Sayı 2, 560-570.
- Rilem 50-FMC committee fracture mechanics of concrete. (1985). Draft recommendation. *Materials and structures*, 18 (106), 285–290.
- Robins, P., Austin, S., & Jones, P. (2002). Pull-out behaviour of hooked steel fibres. *Materials and Structures*, 35 (251), 434–442.
- Saatçi, S., & Batarlar, B. (2017). Çelik fiber katkılı etriyesiz betonarme kirişlerin davranışı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32:4, 1143-1154. doi: 10.17341/gazimmfd.369512
- Taşdemir, M.A., & Bayramov F. (2002). Yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı. *İtü dergisi/d*, Cilt 1, Sayı 2, 125-144.
- Taşdemir, M.A., İlki, A., & Yerlikaya, M. (2002). Mechanical behaviour of steel fibre reinforced concrete used in hydraulic structures. *Proceedings of HYDRO, International Conference of Hydropower and Dams*, Antalya, Turkey.
- Taşdemir, M.A., Şengül, Ö., Şamhal, E., & Yerlikaya, M. (2006). Endüstriyel zemin betonları. *İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi*, İstanbul.
- Topçu, İ.B., & Sarıdemir, M. (2008). Prediction of compressive strength of concrete containing fly ash using artificial neural networks and fuzzy logic. *Computational Materials Science*, 41, 305–311. doi: 10.1016/j.commatsci.2007.04.009
- Yaprak, H., & Karacı, A. (2009). Polipropilen lifli betonların yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımlarının yapay sinir ağı ile tahmini. *International Journal of Engineering Research and Development*, 1, 2.
- Yıldırım, T., Felekoğlu, T.K., Gödek, E., Keskinateş, M., Felekoğlu, B., & Önal, O. (2019). Çimento esaslı lifli kompozitlerin dijital görüntü korelasyonu yöntemi ile çoklu çatlak davranışının incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34:1, 479-493. doi: 10.17341/gazimmfd.416508
- Yoo, D. Y., Shin, H. O., Yang, J. M., & Yoon, Y. S. (2014). Material and bond properties of ultra high performance fiber reinforced concrete with micro steel fibers. *Composites Part B: Engineering*, 58, 122–133. doi: 10.1016/j.compositesb.2013.10.081



Türkiye'deki Farklı Sektörlere Ait Sera Gazı Emisyon Değerlerinin Çok Katmanlı Algılayıcılar ve Topluluk Öğrenmesi Yöntemleri ile Tahmin Edilmesi

Prediction with Ensemble Learning Methods and Multi-layer Perceptions of Greenhouse Gas Emission Belonging to Different Sectors in Turkey

Okan Oral¹ , Sinan Uğuz² 

¹Akdeniz Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 07070, Antalya, TÜRKİYE

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 12/11/2019

Kabul / Accepted: 14/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Küresel ısınmaya neden olan karbondioksit (CO₂), Nitroz oksit (N₂O) ve Metan (CH₄) çeşitli sektörler tarafından oluşturulan sera gazlarıdır. Birleşmiş milletler iklim değişikliği çerçeve sözleşmesince (UNFCCC) Türkiye'nin de içinde olduğu ülkelerin çeşitli sektörleri tarafından oluşturulan sera gazı emisyon değerleri kayıt altına alınarak takip edilmektedir. Ülkelerin oluşturdukları sera gazı emisyon değerleri zaman içinde birçok etkene göre farklılık oluşturabilir. Bu değerlerin tahmin edilmesi ülkeler açısından önemlidir. Çalışmada 1990-2014 yılları arasındaki farklı sektörlerdeki sera gazı emisyon değerleri ile yapay sinir ağı modeli ve topluluk öğrenme yöntemleri kullanılarak en iyi tahmin modelini oluşturmak için çeşitli deneyler gerçekleştirilmiştir. Çok katmanlı algılayıcı (ÇKA) modeli ile en yüksek R² performans değeri üretim, enerji endüstrisi, yerleşim ve ulaşım sektörleri için sırasıyla 0.86, 0.93, 0.91 ve 0.95 olarak bulunmuştur. Topluluk öğrenme yöntemlerine dayanan algoritmalar da ise ortalama R² değerleri bakımından en iyi performansı Extra Tree regresyon ile kurulan model sağlamıştır. Kullanılan tahmin modellerinde en iyi performans Çok Katmanlı Algılayıcı tabanlı model ile elde edilmiştir. Çalışmada yer alan sektörlerden 2020 yılında doğaya salınacağı öngörülen sera gazı emisyon değerleri açısından geçmiş dönemi kapsayan salınım değerlerinin ortalamaları ile önemli farklılıklar olduğu görülmektedir. Ayrıca geçmiş döneme oranla üretim sektörü alanında ortalama %36, enerji endüstrisi sektöründe %64 ve ulaşım sektöründe %63 oranında bir artış öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler

"Sera gazı emisyonu, Makine öğrenmesi, Çok katmanlı algılayıcı, Yapay sinir ağları, Topluluk öğrenmesi yöntemleri"

Abstract

Global warming causatives such as carbon dioxide (CO₂), Nitrous oxide (N₂O) and Methane (CH₄) are greenhouse gases created by various sectors. Greenhouse gas emission values created by various sectors of countries including Turkey are registered and tracked by the United Nations framework agreement on climate change (UNFCCC). The greenhouse gas emission values created by the countries may vary over time depending on many factors. Estimating this value is important for countries. In the study, various experiments were carried out to create the best estimation model with artificial neural network model and community learning methods by using greenhouse gas emission values in different sectors between 1990-2014. The highest R² performance value with the multi-layer sensor (MLS) model was 0.86, 0.93, 0.91 and 0.95 respectively for the production, energy industry, residential and transportation sectors. Algorithms based on community learning methods also provided the best performance in terms of average R² values with a model established by Extra Tree regression. The best performance in the prediction models used was achieved with the Multi-Layer Sensor-based model. It is observed that there are significant differences between the averages of the oscillation values covering the past period in terms of greenhouse gas emission values, which are projected to be released into nature in 2020 from the sectors involved in the study. In addition, an average increase of 36% is expected in the field of production sector, 64% in the energy industry sector and 63% in the transportation sector compared to the past period.

Key Words

"Greenhouse gas, Machine learning, Multi-layer perceptron, Artificial neural networks, Ensemble Methods"

1.Giriş

Atmosfer içerisinde, küçük miktarda asal gazların da yer aldığı birçok farklı gaz bulunmaktadır. Yer küreyi ısıtan güneş ışınları ile kısa dalga boyuna sahip ışınların bir kısmı atmosferi geçerken bu gazlar tarafından tutulmaktadır. Atmosferin ısıyı tutma özelliği sayesinde yeryüzünün sıcaklığı dengede kalırken okyanus, akarsu vb. donması engellenmiş olur. Öte yandan, ısıyı tutan atmosfer gazlarının miktarındaki aşırı artış, atmosfer ısısının gereğinden fazla yükselmesi ile sonuçlanarak küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Küresel ısınma ise doğal afetlere neden olarak iklim değişimlerine yol açmaktadır. Bu şekilde oluşan atmosfer kaynaklı ısıtma ve yalıtma etkisine sera etkisi adı verilirken (Dam, 2014; Özmen, 2009), atmosferde kızıl ötesi ışınları soğuran gaz bileşimlerine ise sera gazı denilmektedir (Kara, Yalınız, & Sayar, 2019). Sera gazı; atmosferde farklı miktarlarda mevcut su buharı (H₂O), karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), azotoksit (N₂O), ozon (O₃) gazları ve endüstriyel üretim sürecinde meydana gelen Hidroflorokarbon (HFC), Perflorokarbon (PFC), Sülfürhekzaflorid (SF₆) vb. florlu bileşiklerden oluşmaktadır (Dam, 2014). Bu gazlardan CO₂, içlerinde en baskın olanlarından birisidir ve toplam sera gazı miktarının %80'i civarındadır (Ersoy, 2017; Işık, 2014; Jatmiko vd., 2016; Nwulu & Agboola, 2012). Sera etkisi yaratma ve iklim değişiminde CO₂ gazının oranı %50 düzeyindedir (Kovancılar, 2001). CO₂ gazı, kloroflorokarbonlar (CFCs), CH₄ ve N₂O'ye göre insanlığın meydana getirdiği sera gazlarının en önemlisidir. ABD ve Çin, CO₂ salınımının büyük miktarını yapan ülkelerin başında gelmektedir. Sera gazı salınımında etkin olan ülkelerdeki CO₂ emisyonunun sektörlere göre dağılımı incelendiğinde, %22'lik oran ile birinci sırada sanayi sektörü, ikinci sırada %20'lik oran ile ulaşım sektörü gelmektedir (Işık, 2014; Kumar & Muhuri, 2019). N₂O, SO₂ gibi kükürt oksitleri ve ayrıca CH₄ gibi diğer sera gazları da inorganik gübrelerden oluşmaktadır (Fu vd., 2019; Kolasa-Więcek, 2018; Mahesh, 2018).

Endüstriyel dönemin başlamasıyla insan faaliyetine bağlı sera gazı üretiminin, dünya sıcaklığındaki anormal artışın ana nedeni olduğu anlaşılmıştır (Araabi, 2012; Cui, Sham, Lo, & Lum, 2011; Quesada-Rubio, Villar-Rubio, Mondéjar-Jiménez, & Molina-Moreno, 2011). Sıcaklık artışının geçen yüzyıl boyunca yaklaşık 0.4°C ile 0.8°C arasında olduğu ve yüzyılın sonuna kadar bu değer yaklaşık 2°C olacağı öngörülmektedir (Fu vd., 2019; Kumar & Muhuri, 2019). Sera gazlarının miktarlarındaki anormal artışın canlıların yaşamında birçok olumsuz faktörü beraberinde getirdiği bir gerçektir. Bu problemin önüne geçilebilmesi için dünya çapında organizasyonlar başlatılmıştır. İlk olarak 1988 yılında BM Çevre Programı ve Dünya Meteoroloji Örgütü'nün desteğiyle hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) oluşturulmuştur (Dam, 2014; Güçlü, 2006). IPCC raporunda, küresel yüzey sıcaklığının yirmi birinci yüzyılda 1.1°C ile 6°C arasında artacağı öngörülmüştür (Solomon et al., 2007). Sera gazlarındaki olağan dışı bu artışın devamıyla IPCC'de 2030 yılı için bazı olumsuz senaryolar çizilmiştir. Bunlar arasında en öne çıkanları sıcak hava dalgaları, okyanus tuzluluğu, orman yangınları, tarımsal haşereler, kasırgalar, tropikal fırtınalar, biyolojik çeşitlilik, tarımsal ürün depolama zorlukları ve hastalık taşıyan zararlıların yayılmaları olarak gösterilebilir (Change, 2007; Özmen, 2009). 1992 yılında Rio de Janeiro'da düzenlenen Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda imzalanan IPCC Sözleşmesi ve 1997 yılının aralık ayında Japonya'da düzenlenen Kyoto Protokolü (KP) iklim değişikliği ve küresel ısınma için önlem alınması hakkında düzenlenen diğer önemli girişimler arasındadır (Dam, 2014). KP, 37 sanayi ülkesi ile Avrupa'nın sera gazı emisyon miktarlarının düşürülmesi için ağır sorumluluklar yüklemektedir. Protokolün ana amacı altı sera gazının (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, HFC, PFC) 2008-2012 yıllarını kapsayan beş yıllık dönemde 1990'lardaki oran ortalamasının %5'inden daha az olmasını sağlamasıdır (Özmen, 2009; Yılmaz & Yılmaz, 2013). 2015'de yapılan Paris İklim Zirvesi'nde Türkiye'nin de içinde bulunduğu 196 ülke, geleceğe dönük çevresel verilerin daha da kötüleşmemesi için anlaşma yapmışlardır (Işık, 2014; Pabuçcu & Bayramoğlu, 2016). Paris anlaşmasına göre, gelişmekte olan ekonomilere, istenen sera gazı emisyon seviyelerine ulaşmaları için daha fazla zaman tanınmıştır (Abid, 2017). Çünkü sanayileşmede kullanılan altyapı ve hizmetler, araçlar, elektrikli makine ve fabrikalar enerjilerini biyo yakıtlardan (Fan, Zhang, Zhang, & Peng, 2015) sağlamaktadır. Baskın sera gazı olan CO₂, bu yakıtlardan türemektedir (Kumar & Muhuri, 2019).

Günümüzde küresel ısınma sorunları tüm uluslar için evrensel bir sorun haline gelmiştir. IPCC'ye katılan bilim insanları, küresel ısınmanın çoğunun artan sera gazı ve diğer insan faaliyet konsantrasyonlarından kaynaklandığından emin olduklarını bildirmişlerdir (IPCC, 2014). Küresel iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasında sera gazı emisyonlarının azaltılmasının önemi hakkında yaygın bir kanı mevcuttur (Işık, 2014). 2002'de ABD, dünya genelinde atmosfere salınan sera gazlarının % 36.1'den, Çin % 13.6, Hindistan %4.2, Avustralya'nın ise %2.1 den sorumlu olduğu ve en büyük sorumluluğun gelişmiş sanayi ülkelerinin olduğu görülmektedir. Türkiye'deki durum ise kısaca şöyle ifade edilebilir. IPCC, Küresel İklim Modelleri ile yaptığı projeksiyonlara göre 2030'da Türkiye'nin genelinin artan kuru ve sıcak bir iklim etkisine girebileceği ve kışın 2°C, yazın ise 2°C ile 3°C arasında bir sıcaklık artışının olabileceği belirtilmektedir (Özmen, 2009). Sera Gazı Emisyonları ve Niyet Edilen Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı Belgesi (INDC), Türkiye'nin IPCC sözleşmesi kapsamında 2017 yılında sunduğu ulusal envanter raporuna göre, 2015 yılı için toplam emisyonun %72 enerjiden, %13 endüstriyel proseslerden, %12 tarımdan, %3 atıktan kaynaklandığını bildirmektedir. Türkiye, sektörlere göre sera gazı emisyonları dağılımını, alınan önlemler ile 2030 yılı itibarıyla %21 azaltmayı kabul etmiştir (Ağaçayak & Öztürk, 2017). Bu bağlamda sera gazı salınımının kontrollü olarak gerçekleşmesi için geleceğe dair emisyon değeri tahminleri önemli bir gereksinim olarak ortaya çıkmaktadır. Literatürde birçok araştırmacı sera gazı salınımının azaltılarak küresel ısınmanın kararlı bir duruma getirilebilmesine katkıda bulunmak için geleceğe dönük emisyon değerlerinin tahmininde Yapay Sinir Ağları (YSA) gibi yöntemler kullanmıştır (Baghban, Ahmadi, & Shahraki, 2015; Behrang, Assareh, Assari, & Ghanbarzadeh, 2011; Kainuma, Matsuoka, & Morita, 2000; Yılmaz & Yılmaz, 2013). Bu çalışmada Türkiye'deki üretim, enerji endüstrisi, yerleşim ve ulaşım sektörlerine ait 1990-2014 yılları arasındaki sera gazı emisyon değerleri ile yapay sinir ağı modeli olan çok katmanlı algılayıcının yanı sıra topluluk öğrenme yöntemlerinden olan Random Forest Regresyon, Extra Tree Regresyon ve XGBoost Regresyon algoritmaları kullanılarak en iyi tahmin modelini oluşturmak için çeşitli deneyler gerçekleştirilmiştir.

2. Literatür Çalışmaları

Literatürde birçok araştırmacı sera gazı salınımının azaltılarak küresel ısınmanın kararlı bir duruma getirilebilmesine katkıda bulunmak için geleceğe dönük emisyon değerlerinin tahmininde makine öğrenmesine dayalı yöntemler kullanmışlardır. Yapay sinir ağı (YSA) modeli olan Çok katmanlı algılayıcı (ÇKA) ve Topluluk öğrenme yöntemleri (TÖY) algoritmalarından Random forest regresyon (RFR), Extremely randomized tree regresyon (ERTR) ve XGBoost regresyon (XGR) modelinin kullanıldığı bu çalışmanın literatür araştırması ÇKA tabanlı ve TÖY tabanlı araştırmalar olarak iki bölümde incelenmiştir.

2.1. ÇKA Tabanlı Literatür Çalışmaları

Sera gazı emisyonlarının büyük bölümünün fosil yakıtların kullanılması sonucu meydana gelmesi, küresel ısınma etkilerini azaltmak-önlemek için etkili stratejiler benimsenmede CO₂ emisyonlarının öngörülmesi, çevre üzerindeki artan etkilerin araştırılmasını önemli hale getirmiştir. Son yıllarda, CO₂ emisyonunun değerinin tahmin edilmesi konusunda birçok araştırma yapılmıştır (Assareh & Nedaei, 2018; Cui vd., 2011; Liao, Lu, & Tseng, 2011; Lu, Lewis, & Lin, 2009; Sangeetha & Amudha, 2018; Yılmaz & Yılmaz, 2013). Araştırmacılar atmosferdeki sera gazı salınımının gün geçtikçe yükseldiğini bilimsel çalışmalarla göstermişlerdir (Dam, 2014). Li, Zhou, & Ma, (2010) çalışmalarında Çin'in CO₂ emisyonlarını tahmin etmek için bir YSA modeli geliştirmişlerdir. YSA ağını 1990 ile 2004 yılları arasındaki verileri kullanarak eğitmiş ve 2008 yılına kadar olan verileri ise geliştirilen modelin uygunluğunu test etmek için test veri seti olarak kullanmışlardır. Krstanoski (2006) çalışmasında, Makedonya taşımacılık sektörü kaynaklı CO₂ emisyonu için bir model oluşturmuştur. Çalışmasını önce emisyonu azaltıcı politika tedbirlerinin olmadığı, sonraki 25 yıl sürecinde ise önlemlerin uygulandığı iki aşamada gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda, 2030 yılına kadar karayolu sektörü CO₂ emisyonunun, politika uygulanmayan durumdan uygulanan durumun %32 oranında azalacağını vurgulamıştır. Hamzacebi & Karakurt, (2015) çalışmalarında Gri Tahmin Yöntemi ile Türkiye'de 1965-2012 ile 2013-2025 yılları arası enerji sektörü verileri ile sera gazı emisyon tahmininde bulunmuşlardır. Çalışma sonucu, CO₂ tahmininin 2015'de 354,879 Mt, 2020'de 424,245 Mt ve 2025'de 530,370 Mt değerlerinde olduğunu belirterek Gri Tahmin yönteminin uygunluğundan bahsetmişlerdir. Diğer bir çalışmada yazarlar (Saleh, Dzakiyullah, & Nugroho, 2016), CO₂'yi tahmin etmek için adaptif bir nöron bulanık girişim sistemi ve ÇKA yapay sinir ağı modeli geliştirilmişlerdir. Geliştirilen her iki yöntemde de CO₂ emisyonunu tahmin edebileceği öngörülmektedir. Assareh & Nedaei (2018) çalışmalarında, CO₂ emisyonlarının gelecekteki tahmini için Ray Optimizasyonu adlı yeni bir optimizasyon yöntemini uygulamışlar ve bu yöntem ile beraber ÇKA kullanmışlardır. 1980'den 2006'ya kadar olan veriler hem modelleri eğitmek (1980-1999), hem de modelleri test etmek için (2000-2006) kullanılmaktadır. Çalışma sonucunda küresel CO₂ emisyonlarının 2025 yılına kadar tahmini yapılabilmektedir. Nwulu & Agboola, (2012) çalışmalarında Nijerya'daki CO₂ emisyonlarını modelleme için iki sinir ağını araştırmışlardır. Kullandıkları ÇKA ağları sayesinde, CO₂ emisyonlarının modellenmesinde önceki çalışmalardan daha fazla cesaret verici sonuçlar elde etmişlerdir. Yazarlar çalışmada öncelikle kullanılan veri setini tanıtip, veri seti için geliştirilen iki sinir modelini açıklamışlardır. Ardından elde ettikleri sonuçları ayrıntılandırıp tartışmışlardır. Kolasa-Więcek (2018) çalışmalarında temel olarak ÇKA ağları kullanarak ülkelerin tarımsal emisyonlarının modellenmesini gerçekleştirmeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda ÇKA yönteminin sera gazı emisyonlarını modellemek için etkili bir araç olduğu sonucuna varmışlardır. Diğer bir çalışmada (Jatmiko vd., 2016), algoritmayı optimize etmede ÇKA'yı aynı zamanda Kanonik Parçacık Sürü Optimizasyonu (KPSO) ile birleştirilmişlerdir. Sonuçta ÇKA-KPSO kullanarak modellemenin göreceli mutlak hatada orijinal ÇKA ve ÇKA-PSO'dan sırasıyla %25 ve %15 daha doğru olduğunu göstermiştir.

Çeşitli sektörler için sera gazı emisyonlarının öngörülmesi, tahminin çeşitli modelleme yöntemleri kullanılarak yapılması ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur (Azid vd., 2014; Bolanča, Strahovnik, Ukić, Stankov, & Rogošić, 2017; Chen, Li, Grace, & Mosier, 2008; Khoshnevisan, Rafiee, Omid, Yousefi, & Movahedi, 2013). Tarımsal üretimin özellikle de sera gazı emisyonlarının çevre üzerindeki etkisi, yapılan bazı çalışmalarda (Kolasa-Więcek, 2018; Krstanoski, 2006) tartışılmaktadır. Wang, Li, Zhang, & Lu (2012) çalışmalarında, Çin'in karayolu taşımacılığının karbon emisyonu üzerindeki etki faktörlerini araştırmıştır. Ayrıca Assareh & Nedaei (2018) çalışmalarında, IPCC tarafından sunulan bir tekniği kullanarak karayolu yük taşımacılığında kaynaklanan karbon emisyonlarını belirlemiştir. Bu çalışmaların yanında sera gazı emisyonu ile ilgili çok sayıda araştırma yapılmıştır (Çoban & Şahbaz Kılınç, 2014; Ergün & Atay Polat, 2017; Fu vd., 2019; Hamzacebi & Karakurt, 2015; Yan & Crookes, 2010).

2.2. Topluluk Öğrenme Yöntemleri Tabanlı Literatür Çalışmaları

Sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik hedeflerin formüle edilmesinde gelecekteki iklim tahminleri büyük öneme sahiptir. Tahmin sürecinde ortaya çıkan bir dizi belirsizlik kaynağı ile başa çıkmak ve tahmindeki doğruluğu arttırmak için yeni yaklaşımlar geliştirilmiştir (Collins, 2007). TÖY, aynı öğrenmeyi çözmek için tek bir sınıflandırıcı yerine birden çok sınıflandırıcıyı eğitmektedir (Zhou 2012). Ortaya çıkan sınıflandırıcı, genellikle topluluğu oluşturan her bir sınıflandırıcıdan daha doğrudur (Khan & Awasthi, 2020; Parker, 2010). Topluluk öğrenmesinin amacı, tek bir sınıflandırıcı üzerindeki öngörüğü genelleştirerek doğruluğu arttırmada çeşitli temel sınıflandırıcıların kararlarını veya tahminlerini birleştirmektir (Chen, Zahiri, & Zhang, 2017). Çeşitli çalışmaların sonuçları, geçmiş veri özelliklerini kullanan topluluk öğrenme tabanlı modelin, varsayılan özelliklere sahip tek bir model kullanarak gerçekleştirilenden daha doğru performans sağladığını göstermiştir (Choi & Hur, 2020; Li, Han, Wang, & Zhao, 2018). Topluluk yöntemleri kullanılarak CO₂ emisyonunun değerinin tahmin edilmesi konusunda çeşitli araştırmalar yapılmıştır (Choi & Hur, 2020; Parker, 2010). Khan & Awasthi (2020), çalışmalarında Kanada'daki yolcu ve yük karayolu taşımacılığında kaynaklanan sera gazı emisyonlarını tahmin etmek için veri madenciliği ve denetimli makine öğrenme algoritmalarına (regresyon ve sınıflandırma) dayalı yeni modeller önermişlerdir. YSA ÇKA, çoklu doğrusal regresyon, çok terimli lojistik regresyon ve karar ağacı modellerini araştırmışlardır. Sonuçta YSA ÇKA modelinin, diğerlerine göre daha iyi öngörücü performans gösterdiği bulunmuştur. Geliştirilmiş ÇKA modeline, topluluk yöntemi (Bagging & Boosting)

uygulandığında ise bu modelin öngörücü performansının önemli ölçüde artırdığını tespit etmişlerdir. Diğer bir çalışmada Buisson, Grenouillet, Casajus, & Lek (2010), Fransa genelindeki dere balık türünün mevcut ve gelecekteki dağılımlarını modellemeyi sera gazı emisyon senaryoları ve her bir bileşene bağlı olarak gelecekteki balık türleri dağılımındaki değişkenliği ölçmek ve iklim değişikliğinin balık türleri üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirerek gelecekteki oluşabilecek değişkenliği açıklayan bir topluluk tahmini yönteminden yararlanmışlardır. Zhu (2012) çalışmasında karbon miktarını tahmin etmek için ampirik mod ayrışmasını (EMD), genetik algoritmayı (GA) ve YSA'ni birleştiren çok ölçekli bir topluluk tahmin modeli önermiştir. Zhou, Yu, & Yuan (2018) çalışmalarında Çin'de yine karbon miktarını tahmin etmek için EMD'ye dayanan çok ölçekli bir topluluk tahmin modeli önermiştir. Mohammed & Aung (2016) çalışmalarında, 24 saatlik ileri güneş enerjisi tahminleri oluşturmak için yedi bireysel makine öğrenimi modelinden türetilen olasılık tahmini için üç farklı yöntem önermişlerdir. Tüm makine öğrenme modelleri geleneksel kıyaslama modellerinden daha doğru olmasına rağmen, topluluk modellerinin tek başına herhangi bir bireysel makine öğrenme modelinden daha doğru sonuçlar sunduğunu göstermişlerdir.

2.3. Araştırma Motivasyonu ve Literatüre Katkı

Literatür incelendiğinde dünya genelinde CO₂ emisyonu tahmini konusunda çalışmaların yapılmış olduğu ancak sektörel bazda CO₂, N₂O ve CH₄ gazlarının tümünün ve ayrıca sadece Türkiye özelinde ileri tarihteki emisyon miktarının ÇKA ve TÖY kullanılarak tahmini konusunda çalışmaların sınırlı düzeyde olduğu görülmüştür. Bu bağlamda bu çalışmada Türkiye'deki üretim, enerji endüstrisi, yerleşim ve ulaşım sektörlerine ait 1990-2014 yılları arasındaki sera gazı emisyon değerleri kullanılarak ÇKA ve TÖY temelli bir tahmin modeli oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda oluşturulan model ile bu sektörler tarafından doğaya salınımı yapılan CO₂, N₂O ve CH₄ gazlarının 2020 yılına ait değerleri tahmin edilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen bulguların ÇKA ve TÖY performanslarının karşılaştırılması bakımından da literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3. Materyal ve Metod

Türkiye'deki farklı sektörler için sera gazı emisyon değerlerinin tahminine dönük gerçekleştirilen bu çalışmanın ilk aşamasını veri setinin elde edilmesi oluşturmaktadır. Eğitim ve test veri setlerinin oluşturulmasının ardından ÇKA ve TÖY için modeller kurulmuştur. Tüm modeller için farklı parametre optimizasyonları ile deneyler gerçekleştirilmiş ve performans değerlendirme ölçütleri ile en iyi performansı veren modeller oluşturulmuştur. Hem ÇKA hem de topluluk öğrenme modelleri için Python programlama dili kütüphanelerinden yararlanılmıştır. Numpy, Pandas, Scipy gibi temel Python kütüphanelerinin yanı sıra makine öğrenmesi uygulamaları için geliştirilmiş olan Scikit-learn ve Keras kütüphaneleri de kullanılmıştır. Analizler Python 3.6.5 ve Keras 2.0.6 sürümleri kullanılarak geliştirilmiş kodlar ile gerçekleştirilmiştir.

3.1. Veri Setinin Elde Edilmesi

UNFCCC, (2019) v19 veri seti, Türkiye'nin de aralarında bulunduğu 35 Avrupa Birliği ülkesine ait çeşitli sektörler tarafından yayılan sera gazlarına ait emisyon değerlerini içermektedir. 1990-2014 yılları arasındaki döneme ait olan veri setinde yaklaşık 550 bin veri örneği bulunmaktadır. Veri setinde Türkiye'ye ait veri sayısı ise toplam 13575 adettir. Veri setinde 8 farklı seragazı türü için enerji, toprak kullanımı ve ormanlar, tarım, atık yönetimi, endüstriyel süreçler, üretim gibi sektörler ve bunlara ait alt sektörler için emisyon verileri bulunmaktadır. Bazı seragazı emisyon değerleri veri setinde yer almadığı için tüm sektörler ve seragazı türleri çalışmaya dahil edilmemiştir. Bu sebeple çalışmada Türkiye'deki üretim, enerji endüstrisi, yerleşim ve ulaşım sektörleri tarafından salınımı gerçekleştirilen CO₂, N₂O ve CH₄ türü sera gazlarına ait emisyon değerleri kullanılmıştır. Veri setinde bu dört ana sektöre ait alt sektörler de yer almaktadır. Bu alt sektörlerin toplamı alınarak 4 ana sektöre ait emisyon değerleri üzerinden çalışma gerçekleştirilmiştir. Örneğin enerji endüstrisi sektörünün alt sektörleri olan kamu elektriği ve ısı üretimi, petrol arıtma, katı yakıtların üretimi, demir ve çelik, kimyasallar, taşıma vb. sektörlerin emisyon değerleri toplanarak enerji endüstrisi sektörüne ait tek bir değer elde edilmiştir. Tablo 1'de, çalışmada kullanılan veri setine ait en küçük değer, en büyük değer, ortalama ve standart sapma değerlerinden oluşan tanımlayıcı istatistik ifadeleri görülmektedir.

Tablo1. Veri setine ait bazı tanımlayıcı istatistik değerleri

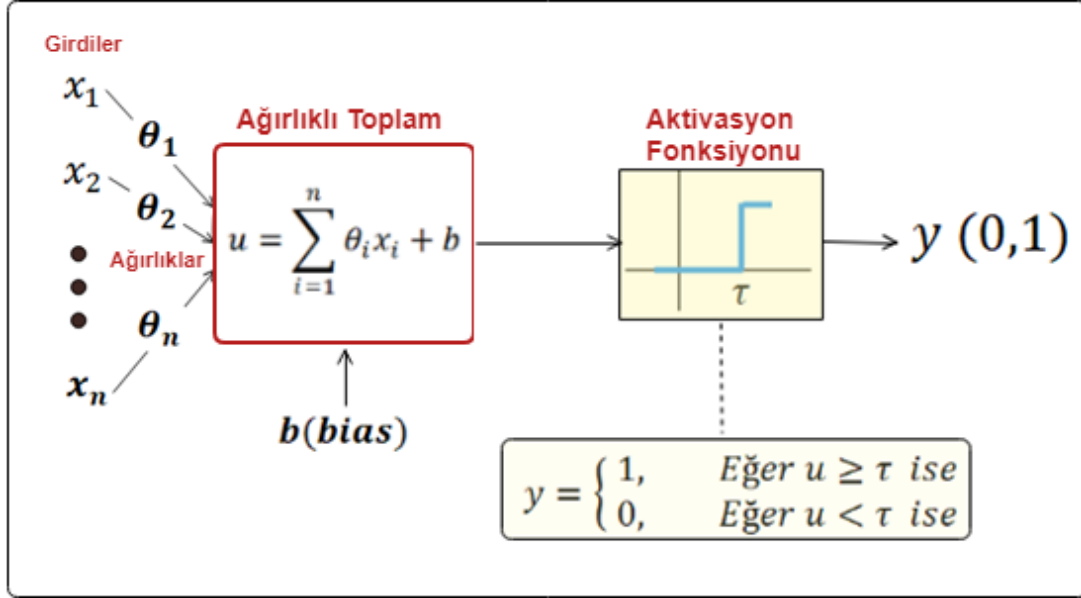
	Üretim Sektörü			Enerji endüstrisi Sektörü			Yerleşim Sektörü			Ulaşım Sektörü		
	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂
Ek	1.9343	0.3241	34975	0.4601	0.3546	33820	95.81	0.8885	19934	3.8501	2.0019	25013
Eb	5.5312	0.8881	92111	1.8119	1.2257	131827	160.45	1.4736	56481	14.149	3.8482	72199
Ort	3.3082	0.5390	58956	1.0679	0.7065	74939	120.55	1.2352	33123	8.5822	2.6496	40535
Std	0.9757	0.1595	16810	0.4307	0.2431	30169	19.20	0.1724	12377	3.0501	0.4162	12310

Ek: En Küçük Değer, **Eb:** En Büyük Değer, **Ort:** Ortalama, **Std:** Standart Sapma

3.2. Çok Katmanlı Algılayıcı Modelinin Kurulması

1958 yılında Rosenblatt tarafından geliştirilen Algılayıcı (Perceptron) modeli (Rosenblat, 1958), Hebb öğrenme modelini (Hebb, 1949) temel alarak geliştirilmiş, öğrenen bir yapay sinir ağı modelidir. Modelde, girdiler ve girdilere ait ağırlıkların çarpımlarının toplanması ile elde edilen değere bias ilave edilerek ağırlıklı toplam hesaplanır. Daha sonra bu toplam değeri bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilir. Aktivasyon fonksiyonunun temel görevi ağırlıklı toplam değerini belirlenen eşik değerine göre 0 ya da 1 olarak sınırlamaktır. Eğer ağırlıklı toplam belirlenen eşik değerine eşit ya da büyük ise çıktı 1, aksi durumda çıktı 0 olarak

belirlenir. İşte Şekil 1’de görülen bu basit model aynı zamanda girdilerden çıktılara doğru ileri beslemeli bir ağ yapısı örneğini de oluşturmaktadır.



Şekil 1. Algılayıcı Modeli

Bir algılayıcı eğer sadece girdi katmanı ve çıktı katmanından meydana geliyor ise tek katmanlı sinir ağları olarak ifade edilebilir. Girdi katmanı ve çıktı katmanı arasında gizli katmanlar eklendiğinde oluşan yapay sinir ağı mimarisi ise, çok katmanlı sinir ağları olarak ifade edilir (S. Khan, Rahmani, Shah, & Bennamoun, 2018). Basit bir yapıya sahip olan algılayıcı modelinin aksine çok katmanlı algılayıcı modelleri girdi ve çıktı katmanları arasında en az bir adet gizli katman içeren bir mimariye sahiptirler. 1980’li yıllarda geliştirilmiş olan çok katmanlı algılayıcı modeli, algılayıcı modelinin çözemediği XOR gibi problemlerde başarı sağlayarak yapay sinir ağları alanında yeni bir dönemin başlangıcını oluşturmuştur (Theodoridis & Koutroumbas, 2003). Çok katmanlı algılayıcılar kullanılan geri yayılım algoritması ile bu ve benzeri problemlerin çözümünde büyük başarı elde etmiştir (Uğuz, 2019). Geri yayılım algoritmasında ilk aşama, ağı ait girdilerin girdi katmanından çıktı katmanına doğru ilerlemesidir. İkinci aşamasında ise, çıktı biriminde gerçek değer ile hesaplanan değer arasındaki fark olarak ifade edilebilen hatanın hesaplanması ve hatanın geriye doğru yayılımı gerçekleştirilir. Geriye doğru yayılan hata dikkate alınarak katmanlar arasındaki ağırlıkların ve bias değerlerinin güncellenmesi gerçekleştirilir. Bu döngüsel yapı istenen iterasyon sayısına ya da başta belirlenen hata değerine ulaşıldığında sona erer.

Bir ÇKA modelinin performansını etkileyen birçok unsur bulunmaktadır. Bunlar gizli katman sayısı, katmanlardaki nöron sayısı, aktivasyon fonksiyonunun türü, kullanılan normalizasyon tekniği, öğrenme algoritmasının türü, öğrenme oranı ve momentum faktörü gibi parametreler olarak sıralanabilir. En iyi ÇKA performansını elde etmek, bu sayılan faktörlerde denemeler yapmayı gerektirir (Gurney, 2014; Nunes & Silva 2018). Çalışmada öncelikle veri setindeki örnekler normalizasyon işlemine tabi tutularak belirli bir değer aralığında ifade edilmiştir. Literatürde en çok kullanılan veri tiplerinden biri olan (Priddy & Keller 2005) ve Denklem 1’de görülen min-max normalizasyonu uygulanmıştır.

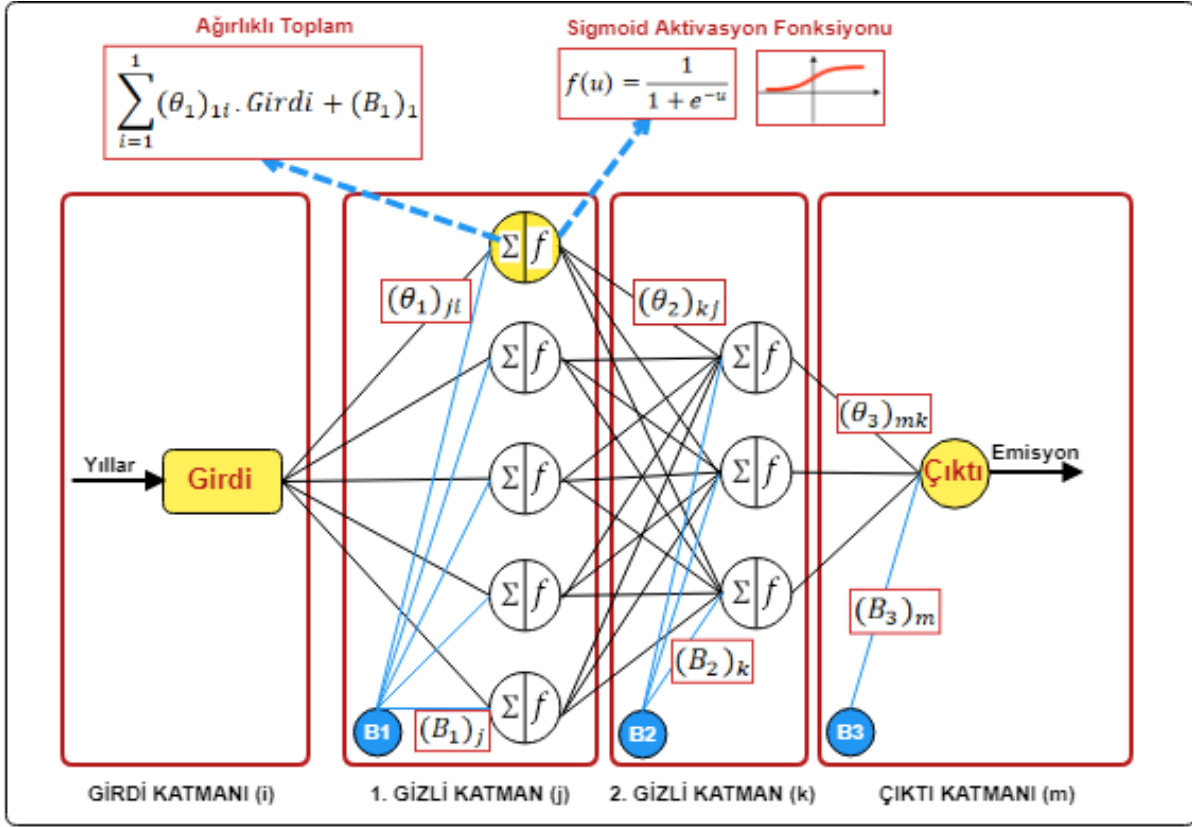
$$x'_i = (max_t - min_t) \left[\frac{(x_i - min_d)}{(max_d - min_d)} \right] + min_t \quad (1)$$

Denklem 1’de, min_d ve max_d veri setindeki her bir örneğe ait minimum ve maksimum değerleri, min_t ve max_t ise sırasıyla dönüştürülmek istenen değer aralığına ait en küçük ve en büyük değerleri ifade etmektedir.

Şekil 2’de kurulan ÇKA modellerini temsil eden bir ağ mimarisi görülmektedir. En iyi sonucu veren ÇKA ağının oluşturulması için katman sayısı, her bir katmana ait nöron sayısı ve aktivasyon fonksiyonları gibi parametrelerin aldığı değerler döngüsel olarak değiştirilerek birçok deneme gerçekleştirilmiştir. Her bir sektöre ait en iyi ağ performansını veren parametreler ise bulgular kısmında gösterilmiştir. Şekil 2’de iki gizli katmandan (j, k) oluşan ve her gizli katmanda sırasıyla 5 ve 3 yapay nöron bulunan örnek bir ÇKA mimarisi görülmektedir. Girdi katmanında bir adet girdi değişkeni yer almaktadır. Öncelikle min-max normalizasyon işlemi ile tüm girdi değerleri aynı sayısal aralıkta ifade edilmiştir. Daha sonra birinci gizli katmandaki nöronların çıktı değerleri hesaplanmıştır. Bunun için girdilerin ve bias değerinin kendi ağırlık değerleri ile çarpımlarının birleştirme fonksiyonu ile toplamı, sigmoid aktivasyon fonksiyonundan geçirilmiştir. Bu değer aynı zamanda ikinci gizli katmanın girdi değerlerini oluşturmaktadır ve aynı işlem ikinci gizli katman içinde tekrarlanarak, ikinci gizli katmanın çıktı değerleri hesaplanmaktadır. İkinci gizli katmandaki çıktı değerleri ile çıktı katmanındaki ağırlık değerleri kullanılarak çıktı katmanının çıktı değeri hesaplanmaktadır. Bu aşamadan sonra hatanın hesaplanması ve geriye yayılım süreci gerçekleşir. Örnekte aktivasyon

fonksiyonu olarak sigmoid görülmektedir. Ancak uygulamalarda Relu aktivasyon fonksiyonu da denenmiştir. Katmanlar arasındaki ağırlık değerleri ve her bir katmandaki nöronlara ait bias ağırlık değerleri mimari üzerinde gösterilmiştir.

Makine öğrenmesi uygulamalarında veri setindeki örneklerin eğitim ve test olarak ayrılması gerekmektedir. Bu çalışmada veri setindeki örneklerin %70'i eğitim için, %30'u ise test için ayrılmıştır.



Şekil 2. Çok katmanlı algılayıcı mimarisi

3.3. Topluluk Öğrenme Yöntemlerine Ait Modellerin Oluşturulması

Topluluk yöntemlerinin temel fikri, tek bir öğrenciye ait tahmin hatalarının diğer öğrenciler tarafından telafi edilmesi sonucunda, tek bir öğrencinin tahmin performansından ziyade topluluğun genel tahmin performansının ön plana çıkarılmasıdır (Sagi & Rokach, 2018). Topluluk yöntemleri ile çoklu makine öğrenmesi yöntemlerinin performansları birleştirilerek daha güçlü tahmin yeteneğine sahip modeller geliştirilmesi amaçlanır. Topluluk yöntemlerine ait algoritmalar hem sınıflandırma problemlerinin hem de regresyon problemlerinin çözümünde kullanılabilirler. Topluluk yöntemlerinde bagging ve boosting gibi tekniklere dayanan çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları geliştirilmiştir. Bagging yöntemini (Breiman, 1996) kullanan algoritmaların genel olarak yaptığı iş şöyle özetlenebilir. Kullanılan temel veri setinden örneklerin rastgele olarak seçilmesi koşuluyla yeni veri setleri elde edilir. Elde edilen yeni veri setleri ile temel veri seti aynı boyuttadır ve rastgele örnek seçiminin doğası gereği yeni veri setleri içerisinde tekrar eden örnekler yer alabilecektir. Ayrıca rastgele örnek seçimi temel veri setindeki tüm örneklerin yeni veri setlerinde olmasını garanti etmeyecektir (Harrington, 2012). Popüler bagging algoritmaları arasında Random Forest, Bagged Decision Tree ve Extremely Randomised Trees gibi ağaç tabanlı algoritmalar sayılabilir.

Bir diğer topluluk yöntemi ise Gradient Tree Boosting ve XGBoost gibi algoritmalara dayanan Boosting tekniğidir. Bu teknikte “weak” olarak ifade edilebilecek bir öğrencinin hatalı olarak tahmin ettiği örnekler daha fazla ağırlık değeri verilerek bir alt veri setinde toplanır. Daha sonra hatalı olarak tahmin edilen örnekleri içeren veri seti yeni öğrencilere verilir. Her yeni öğrenci bir önceki hatalı örneklere odaklandığı için başta “weak” olarak ifade edilen öğrencinin performansı nihai modelde tüm öğrencilerin bireysel tahminlerinin toplamı ya da ağırlıklı toplamı olarak “strong” bir tahmin performansına dönüşür (Julian, 2016).

3.4. Makine Öğrenmesi Modellerinin Performans Değerlendirmesi

Gerçekleştirilen çalışmada tahmin edilmesi arzulanan emisyon değerleri sürekli sayısal verilerden oluşmaktadır. Makine öğrenmesinde veri setinin tahmin edilecek olan özneliği eğer sürekli sayısal verilerden oluşuyor ise MSE (Ortalama Kare hata) ve MAE (Ortalama mutlak hata) gibi hata ölçütlerinin yanı sıra R^2 gibi veri setine ait örneklerin bir doğru ile ne ölçüde temsil edilebileceğini veren performans değerlendirme ölçütü de kullanılabilir (Al-Ghobari vd, 2018). Denklem 2, 3 ve 4 'de sırasıyla MSE, MAE ve R^2 ölçütlerinin matematiksel olarak gösterimi görülmektedir.

$$MSE(y, \hat{y}) = \frac{1}{n_{\text{örnekler}}} \sum_{i=0}^{n_{\text{örnekler}}-1} (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2)$$

$$MAE(y, \hat{y}) = \frac{1}{n_{\text{örnekler}}} \sum_{i=0}^{n_{\text{örnekler}}-1} |y_i - \hat{y}_i| \quad (3)$$

$$R^2 = (y, \hat{y}) = 1 - \frac{\sum_{i=0}^{n_{\text{örnekler}}-1} (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=0}^{n_{\text{örnekler}}-1} (y_i - \bar{y})^2}, \quad \bar{y} = \frac{1}{n_{\text{örnekler}}} \sum_{i=0}^{n_{\text{örnekler}}-1} y_i \quad (4)$$

Denklemlerde \hat{y}_i ifadesi $i + 1$ 'nci örneğin tahmin değerini, \bar{y} ifadesi ortalama değeri ve y_i değeri ise $n_{\text{örnekler}}$ sayısı kadar veri seti örneğine karşılık gelen doğru değerleri ifade etmektedir.

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Çok Katmanlı Algılayıcı için Gerçekleştirilen Deneylere Ait Bulgular

Çok katmanlı algılayıcının eğitimi 3 adet gizli katman üzerinden gerçekleştirilmiştir. Algoritmanın iterasyon sayısı, gizli katmanlardaki nöron sayıları ve kullanılan aktivasyon fonksiyonlarına farklı değerler vererek en iyi performans değerleri elde edilene kadar eğitimler gerçekleştirilmiştir. İterasyon sayısı 1000 ile 50000 arasında belirlenmiş 20 farklı değer ile oluşturulmuştur. Aktivasyon fonksiyonu olarak Sigmoid ve Relu aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. Nöron sayısı ise 2 ile 200 arasında belirlenmiş 30 farklı değer ile oluşturulmuştur. Tüm alternatif değerler ağı eğitimi üzerinde denenmiş ve test veri kümeleri denenerek elde edilen en dikkat çekici sonuçlar Tablo 2, 3, 4 ve 5'de verilmiştir.

Tablo 2'de, üretim sektörüne ait üç farklı sera gazı için oluşturulan ÇKA ağına ait bulgular yer almaktadır. Koyu renkli olarak ifade edilen satırlar en iyi performansı veren değerleri içermektedir. Buna göre, CH_4 , N_2O ve CO_2 gazlarına ait en iyi ÇKA modellerinin R^2 değerleri sırasıyla 0.86, 0.84 ve 0.81 olarak elde edilmiştir.

Tablo 2. Üretim sektörüne ait Emisyon verileri için kurulan ağ bilgileri ve elde edilen performans değerlendirme ölçütleri

	GK 1		GK 2		GK3		İ	MAE	MSE	R^2
	NS	AF	NS	AF	NS	AF				
CH_4	32	Relu	64	Relu	128	Relu	32000	0.11	0.01	0.86
	1024	Relu	256	Relu	512	Relu	32000	0.11	0.01	0.81
	32	Relu	64	Relu	128	Relu	4096	0.13	0.02	0.78
	100	Sigmoid	105	Sigmoid	64	Sigmoid	10000	0.13	0.02	0.77
	1000	Relu	1000	Relu	1000	Relu	10000	0.14	0.03	0.74
N_2O	64	Relu	128	Relu	256	Relu	4096	0.10	0.01	0.84
	64	Relu	128	Relu	256	Relu	16384	0.11	0.02	0.82
	30	Relu	60	Relu	90	Relu	12000	0.10	0.01	0.82
	8	Relu	16	Relu	32	Relu	4096	0.12	0.02	0.81
	32	Relu	64	Relu	128	Relu	4096	0.11	0.02	0.80
CO_2	30	Relu	18	Relu	20	Relu	9000	0.11	0.01	0.81
	40	Relu	18	Relu	20	Relu	10000	0.12	0.01	0.80
	30	Relu	18	Relu	20	Relu	10000	0.11	0.01	0.80
	256	Relu	512	Relu	1024	Relu	48000	0.11	0.01	0.79
	16	Relu	18	Relu	20	Relu	7000	0.13	0.02	0.74

GK: Gizli katman, **NS:** Nöron Sayısı, **AF:** Aktivasyon Fonksiyonu, **İ:** İterasyon

Tablo 3'de, enerji endüstrisi sektörüne ait üç farklı sera gazı için oluşturulan ÇKA ağına ait bulgular yer almaktadır. Buna göre, CH_4 , N_2O ve CO_2 gazlarına ait en iyi ÇKA modellerinin R^2 değerleri sırasıyla 0.92, 0.86 ve 0.93 olarak elde edilmiştir.

Tablo 3. Enerji endüstrisi sektörü emisyon verileri için kurulan ağ bilgileri ve elde edilen performans değerlendirme ölçütleri

	GK 1		GK 2		GK3		İ	MAE	MSE	R ²
	NS	AF	NS	AF	NS	AF				
CH ₄	6	Sigmoid	4	Sigmoid	2	Sigmoid	10000	0.07	0.007	0.92
	90	Sigmoid	90	Relu	95	Relu	1000	0.07	0.007	0.91
	16	Sigmoid	8	Sigmoid	4	Sigmoid	12000	0.07	0.008	0.91
	100	Relu	80	Relu	80	Relu	7000	0.07	0.009	0.90
	6	Sigmoid	8	Sigmoid	14	Sigmoid	12000	0.1	0.014	0.84
N ₂ O	12	Sigmoid	6	Sigmoid	4	Sigmoid	12000	0.10	0.01	0.86
	36	Sigmoid	16	Sigmoid	6	Sigmoid	20000	0.10	0.01	0.84
	16	Relu	8	Relu	4	Relu	8000	0.10	0.01	0.83
	48	Sigmoid	24	Sigmoid	4	Sigmoid	24000	0.11	0.01	0.82
	10	Relu	8	Relu	4	Relu	6000	0.11	0.01	0.81
CO ₂	16	Sigmoid	8	Sigmoid	4	Sigmoid	12000	0.07	0.006	0.93
	16	Sigmoid	8	Sigmoid	4	Sigmoid	16000	0.06	0.005	0.92
	16	Sigmoid	8	Relu	4	Sigmoid	18000	0.06	0.005	0.92
	50	Sigmoid	55	Relu	90	Relu	1000	0.09	0.01	0.86
	100	Relu	90	Relu	90	Relu	2000	0.10	0.01	0.81

GK: Gizli katman, **NS:** Nöron Sayısı, **AF:** Aktivasyon Fonksiyonu, **İ:** İterasyon

Tablo 4’de, yerleşim sektörüne ait üç farklı sera gazı için oluşturulan ÇKA ağına ait bulgular yer almaktadır. Buna göre CH₄, N₂O ve CO₂ gazlarına ait en iyi ÇKA modellerinin R² değerleri sırasıyla 0.73, 0.68 ve 0.91 olarak elde edilmiştir.

Tablo 4. Yerleşim sektörüne ait Emisyon verileri için kurulan ağ bilgileri ve elde edilen performans değerlendirme ölçütleri

	GK 1		GK 2		GK3		İ	MAE	MSE	R ²
	NS	AF	NS	AF	NS	AF				
CH ₄	64	Relu	128	Relu	256	Relu	48000	0.16	0.04	0.73
	10	Relu	16	Relu	20	Relu	10000	0.16	0.04	0.72
	20	Sigmoid	20	Sigmoid	20	Sigmoid	120000	0.18	0.05	0.71
	64	Relu	128	Relu	256	Relu	48000	0.16	0.04	0.71
	100	Sigmoid	100	Sigmoid	100	Sigmoid	24000	0.18	0.05	0.70
N ₂ O	16	sigmoid	18	sigmoid	20	sigmoid	18000	0.10	0.02	0.68
	60	sigmoid	30	sigmoid	15	sigmoid	18000	0.10	0.02	0.66
	10	sigmoid	12	sigmoid	16	sigmoid	12000	0.10	0.02	0.65
	12	sigmoid	14	sigmoid	16	sigmoid	12000	0.11	0.02	0.63
	24	Relu	18	Relu	12	Sigmoid	9000	0.09	0.02	0.63
CO ₂	8	Sigmoid	10	Sigmoid	14	Sigmoid	4000	0.10	0.01	0.91
	10	Sigmoid	12	Sigmoid	16	Sigmoid	10000	0.10	0.01	0.90
	10	Relu	12	Relu	16	Relu	10000	0.10	0.01	0.90
	6	Sigmoid	8	Sigmoid	10	Sigmoid	3000	0.12	0.02	0.85
	10	Relu	20	Relu	16	Sigmoid	10000	0.12	0.02	0.84

GK: Gizli katman, **NS:** Nöron Sayısı, **AF:** Aktivasyon Fonksiyonu, **İ:** İterasyon

Tablo 5’de ise, ulaşım sektörüne ait üç farklı sera gazı için oluşturulan ÇKA ağına ait bulgular yer almaktadır. Buna göre, CH₄, N₂O ve CO₂ gazlarına ait en iyi ÇKA modellerinin R² değerleri sırasıyla 0.95, 0.80 ve 0.91 olarak elde edilmiştir.

Tablo 5. Ulaşım sektörüne ait Emisyon verileri için kurulan ağ bilgileri ve elde edilen performans değerlendirme ölçütleri

	GK 1		GK 2		GK3		İ	MAE	MSE	R ²
	NS	AF	NS	AF	NS	AF				
CH ₄	16	Sigmoid	18	Sigmoid	20	Sigmoid	14000	0.05	0.003	0.95
	60	Relu	100	Relu	100	Relu	10000	0.05	0.003	0.94
	12	Sigmoid	8	Sigmoid	6	Sigmoid	14000	0.06	0.006	0.93
	200	Relu	80	Sigmoid	150	Relu	12000	0.05	0.006	0.93
	20	Sigmoid	15	Sigmoid	30	relu	4000	0.10	0.013	0.85
N ₂ O	32	Sigmoid	64	Sigmoid	48	Sigmoid	24000	0.11	0.02	0.80
	32	Sigmoid	64	Sigmoid	128	Sigmoid	24000	0.11	0.02	0.79
	64	Sigmoid	64	Sigmoid	128	Sigmoid	24000	0.11	0.02	0.78
	32	Sigmoid	64	Sigmoid	128	Sigmoid	14000	0.12	0.02	0.77
	32	Sigmoid	64	Sigmoid	48	Sigmoid	30000	0.12	0.02	0.77
CO ₂	6	Sigmoid	8	Sigmoid	10	Sigmoid	24000	0.09	0.01	0.91
	6	Sigmoid	8	Sigmoid	10	Sigmoid	18000	0.10	0.01	0.88
	10	Sigmoid	12	Sigmoid	15	Sigmoid	10000	0.10	0.01	0.86
	16	Sigmoid	18	Sigmoid	20	Sigmoid	12000	0.10	0.01	0.86
	6	Sigmoid	8	Sigmoid	15	Sigmoid	7000	0.11	0.02	0.84

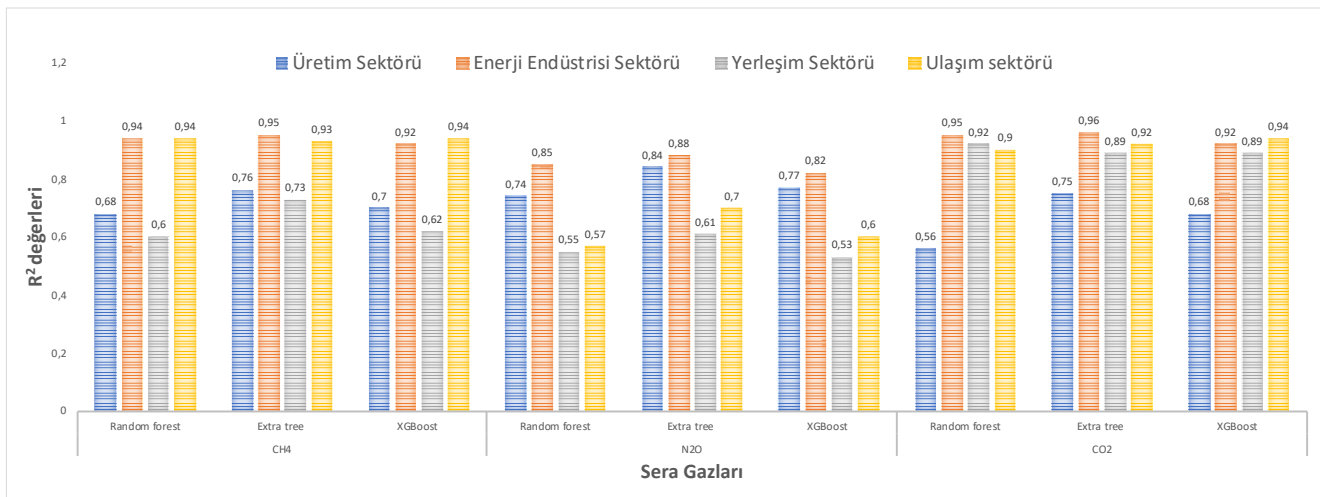
GK: Gizli katman, **NS:** Nöron Sayısı, **AF:** Aktivasyon Fonksiyonu, **İ:** İterasyon

Tüm sektörler için tüm emisyon verileri için elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, en iyi R² tahmin performansının ortalama %90.1 değeri ile enerji endüstrisi sektörü deneylerinde elde edildiği görülmektedir. Tüm emisyon değerleri içerisinde en yüksek R² tahmin performansının ise ortalama % 89 değeri ile CO₂ gazına ait olduğu belirlenmiştir. Her bir gizli katman için kullanılan nöron sayısı ve aktivasyon fonksiyonunun yanı sıra iterasyon sayısının da farklı değerler verilerek gerçekleştirilen deneylerde bu parametrelerin aldığı değerlerin ağırlık performansı üzerine etkisi noktasında net bir yorum yapılamamaktadır.

4.2. Topluluk öğrenme yöntemleri için gerçekleştirilen deneylere ait bulgular

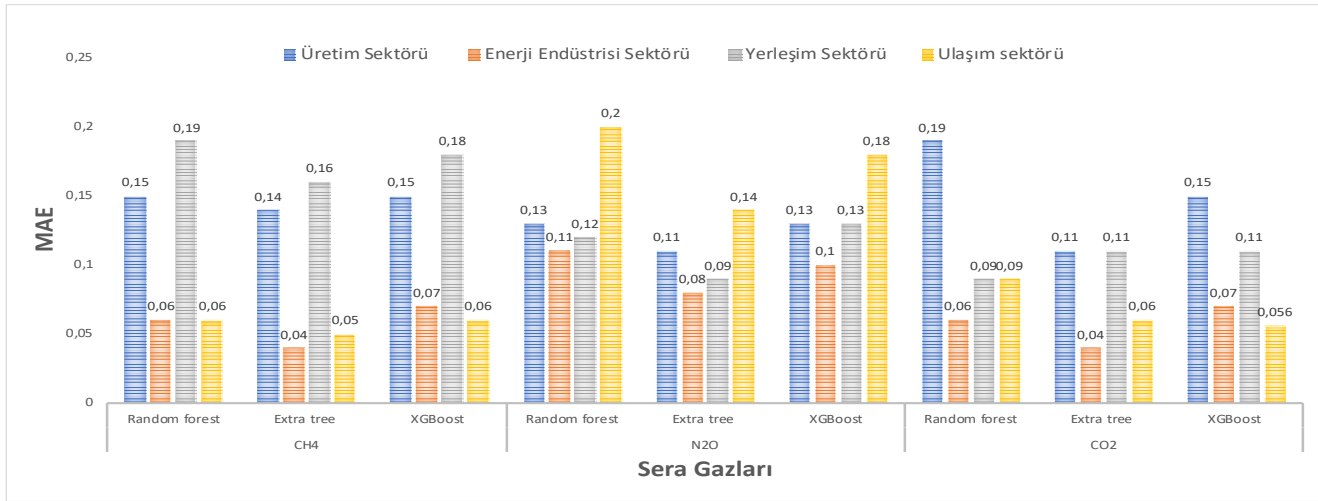
Bu çalışmada popüler topluluk öğrenme yöntemleri olan RFR, ERTR ve XGR teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen performans değerleri sırasıyla Şekil 3, 4 ve 5’de verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde üretim, enerji endüstrisi ve yerleşim sektörüne ait veriler için en iyi R² performansı sırasıyla 0.79, 0.93 ve 0.74 ortalama değerleri ile ERTR ile elde edilmiştir. Ulaşım sektörü için en iyi performans değeri ise 0.94 ortalama değeri ile RFR ile elde edilmiştir.

Buna göre Şekil 3’deki R² değerlerinin kıyaslandığı grafik incelendiğinde, tüm sektörler ve sera gazları için Random forest, Extra tree ve XGBoost regresyon tekniklerinin ortalama değerleri sırasıyla 0.77, 0.82 ve 0.76 olarak elde edilmiştir.



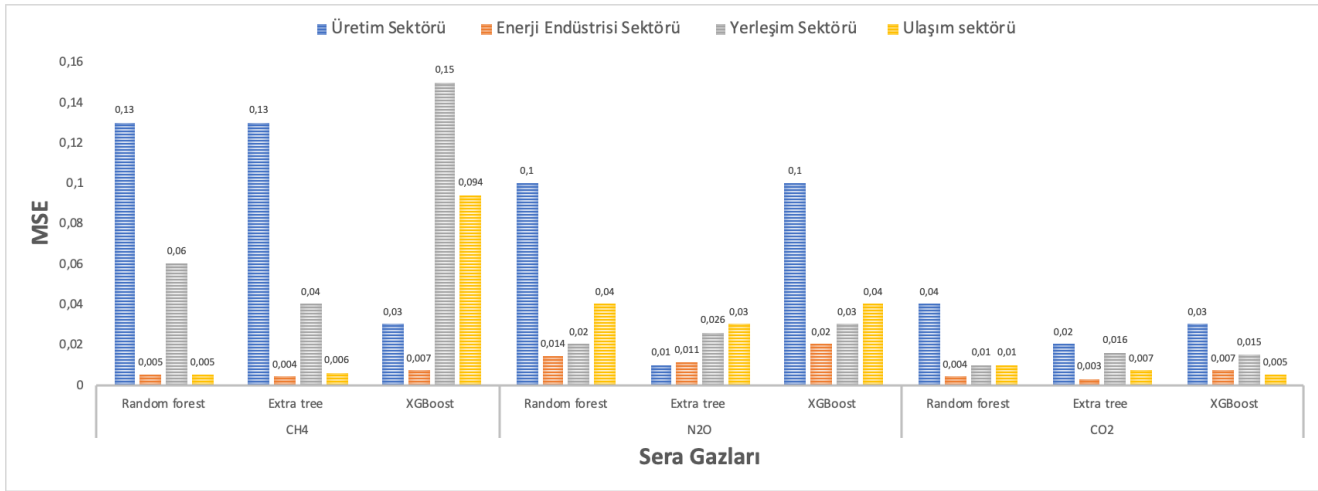
Şekil 3. Tüm sektörüne ait emisyon verileri için elde edilen R² değerleri

Şekil 4 incelendiğinde, tüm sektörler için seragazı emisyon değerlerinin ortalama mutlak hata bakımından kıyaslaması görülmektedir. Buna göre CH₄ ve CO₂ için enerji endüstrisi ve ulaşım sektörüne ait modellerin daha düşük hata değerine ulaştığı görülmektedir. N₂O için ise enerji endüstrisi ve yerleşim sektörlerinde daha düşük hata değerlerine ulaşılmıştır.



Şekil 4. Tüm sektörüne ait emisyon verileri için elde edilen MAE değerleri

Şekil 5'deki grafik Şekil 4'den farklı olarak tüm sektörler için seragazı emisyon değerlerinin ortalama kare hata bakımından kıyaslaması görülmektedir. Buna göre üretim sektörüne ait MAE değerlerinin daha yüksek olması, diğer sektörler için daha zayıf bir tahmin performansı gösterdiği yorumu yapılabilir.



Şekil 5. Tüm sektörüne ait emisyon verileri için elde edilen MSE değerleri

Tablo 6'da, 2020 yılı için ÇKA ve TÖY içinde en iyi ortalama performansı gösteren ERTR algoritmasının tahmin ettiği sera gazı emisyon değerleri görülmektedir. ÇKA için sunulan değerler Tablo 2, 3, 4 ve 5'de en yüksek performans değerine sahip model kullanılarak elde edilmiştir.

Tablo 6. 2020 yılına ait tahmin edilen sera gazı emisyon değerleri

	Üretim (Gg)	Enerji Endüstrisi (Gg)	Yerleşim (Gg)	Ulaşım (Gg)	
ÇKA	CH ₄	4.5923	1.7531	95.813	14.1490
	N ₂ O	0.758	1.1382	1.1177	3.8472
	CO ₂	76397	124026.6	54132.3	72193.9
Extra Tree	CH ₄	5.4478	1.8211	116.102	16.8662
	N ₂ O	0.8644	0.0987	0.9596	3.8954
	CO ₂	83241	130855	56141.3	78128.6

Gg: Gigagram

Tablo 7’de tüm modeller arasında en iyi sonucu veren ÇKA modeli ile geliştirilen 2020 yılında üretim, enerji endüstrisi, yerleşim ve ulaşım sektörleri tarafından doğaya salınacağı öngörülen sera gazı emisyon değerlerinin, 1990-2014 yılları arasında ortalama salınım değerlerinden ne ölçüde farklılık gösterdiği görülmektedir. Tablo 7’deki c sütunlarına ait değerler 2020 yılındaki emisyon değerlerinin yüzde kaçlık bir değişim gösterdiğini ifade etmektedir. Dört sektör arasında sadece yerleşim sektörüne ait tahmin değerlerinde geçmiş 14 yıllık döneme ait ortalamanın altında sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Tablo 7. 1990-2014 yılları arası ortalama salınım ile 2020 yılına ait tahmin edilen sera gazı emisyon değerlerinin kıyaslanması

	Üretim (Gg)			Enerji Endüstrisi (Gg)			Yerleşim (Gg)			Ulaşım (Gg)		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
CH ₄	3.3082	4.5923	38.8	1.0679	1.7531	64.1	120.55	95.813	-20.5	8.5822	14.1490	64.8
N ₂ O	0.5390	0.758	40.6	0.7065	1.1382	61.1	1.2352	1.1177	-9.5	2.6496	3.8472	45.1
CO ₂	58956	76397	29.5	74939	124026.6	65.5	33123	54132.3	63.4	40535	72193.9	78.1

a: 1990-2014 yılları arasında ortalama salınım değerleri b: 2020 yılına ait tahmin edilen salınım değeri c: Değişim (%)

5. Sonuç ve Öneriler

Küresel ısınmanın olumsuz etkileri artık günümüzde yaşanmaya başlanmış ve bir çok ülke küresel ısınmaya sebep olan sera gazlarına ait emisyon değerlerinin düşürülmesi için bazı önlemler almaya başlamıştır. Bir çok sektör sera gazı kaynaklı yüksek emisyon değerleri bakımından küresel ısınmaya tesir etmektedir. Ülkelerin sera gazı salınımlarının gelecek dönemler için tahmin edilmesi gerekli önlemlerin erken alınması bakımından önemlidir. Literatür araştırmalarında farklı tahmin modelleri ile ülke bazında emisyon değeri tahminine dönük çalışmalar yürütüldüğü görülmektedir.

Bu çalışmada Türkiye’deki üretim, enerji endüstrisi, yerleşim ve ulaşım sektörlerine ait 1990-2014 yılları arasındaki sera gazı emisyon değerleri kullanılarak yapay sinir ağı modellerinden olan ÇKA ve topluluk öğrenme yöntemlerinden olan ERTR, RFR ve XGR algoritmaları kullanılarak en iyi tahmin modelini oluşturmak için çeşitli deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın en önemli kısıtı bazı sera gazı emisyon değerlerinin veri setinde yer almaması sebebiyle tüm sektörlerin ve sera gazı türlerinin çalışmaya dahil edilememesidir. Oluşturulan model ile bu sektörler tarafından doğaya salınımı yapılan CH₄, N₂O ve CO₂ gazlarının 2020 yılına ait değerleri tahmin edilmiştir. Avrupa Çevre Ajansından elde edilen veriler ön işleme aşamasından geçirildikten sonra normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. ÇKA ağının oluşturulması için katman sayısı, her bir katmana ait nöron sayısı ve aktivasyon fonksiyonları gibi parametrelerin aldığı değerler dögüsel olarak değiştirilerek birçok deneme gerçekleştirilmiştir. Sigmoid ve Relu aktivasyon fonksiyonları kullanılarak, nöron sayısı olarak 2 ile 200 arasında değişen 30 farklı değer için ağı eğitimi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Kurulan ÇKA modellerinin performansı ise MAE, MSE ve R² değerleri ile değerlendirilmiştir. Üç farklı sera gazı için kurulan modeller incelendiğinde elde edilen en yüksek R² değeri üretim, enerji endüstrisi, yerleşim ve ulaşım sektörleri için sırasıyla 0.86, 0.93, 0.91 ve 0.95 olarak bulunmuştur.

Çalışmada gerçekleştirilen TÖY’e dayanan algoritmalar da ise ortalama R² değerleri bakımından en iyi performansı ERTR algoritması ile kurulan model sağlamıştır. Hem ÇKA hem de TÖY yöntemleri ile elde edilen performans bakımından ise en iyi performans ÇKA tabanlı model ile elde edilmiştir.

2020 yılında bu sektörler tarafından doğaya salınacağı öngörülen sera gazı emisyon değerleri incelendiğinde, 14 yıllık geçmiş dönemi kapsayan salınım değerlerinin ortalamaları ile önemli farklılıklar olduğu görülmektedir. Buna göre 14 yıllık geçmiş döneme oranla üretim sektörü alanında ortalama % 36, enerji endüstrisi sektöründe % 64 ve ulaşım sektöründe % 63 oranında bir artış öngörülmektedir. Yerleşim sektöründe ise N₂O ve CH₄ gazlarının salınımlarında 2020 yılı için tahmin edilen değerde, 14 yıllık geçmiş döneme oranla ortalama %15’lik bir düşüş görülmektedir. Bu düşüşün nedeni olarak yerleşim sektöründe son yıllarda konutlarda doğalgaz kullanımının artışının etkili olduğu düşünülmektedir.

Gerçekleştirilen çalışma ile ortaya koyulan tahmin modellerinin Türkiye özelinde sera gazı emisyonları için alınacak önlemler bakımından önemli olduğu düşünülmektedir. Çalışmada kullandığımız veri seti 1990-2014 yılları arasındaki sera gazı emisyon değerlerini içermektedir. Tahmin modellerinin kurulduğu çalışmalarda özellikle zaman serisi temelli uygulamalarda veri aralığının çok olması daha iyi performans sonuçları alınmasını sağlamaktadır. Bu sebeple bu tür çalışmaların performansının daha da yüksek olabilmesi için güncel verilere ulaşım oldukça önemlidir. Bu çalışmada kullanılan makine öğrenmesi teknikleri ayrıca zaman serisine dayalı teknikler ya da recurrent ağlar kullanılarak da gerçekleştirilebilir. Yapılacak sonraki çalışmalarda farklı sektörler ve sera gazı türleri için zaman serisine ve recurrent ağlarına dayalı yeni çalışmalara odaklanılabilir.

Referanslar

- Abid, M. (2017). Does economic , fi nancial and institutional developments matter for environmental quality? A comparative analysis of EU and MEA countries. *Journal of Environmental Management*, 188(2), 183-194. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.007>.
- Al-Ghobari, H. M., El-Marazky, M. S., Dewidar, A. Z., & Mattar, M. A. (2018). Prediction of wind drift and evaporation losses from sprinkler irrigation using neural network and multiple regression techniques. *Agricultural Water Management*, 195, 211-221.
- Ağaçayak, T., & Öztürk, L. (2017). Türkiye ' De Tarım Sektöründen Kaynaklanan Sera GazıEmisyonlarının. *İPM – MercatoPolitika Notu*, 3–15.
- Araabi, N. (2012). Prediction of Climate Change Induced Temperature Rise in Regional Scale Using Neural Network. *International Journal of Environmental Research*, 6(3), 677–688.
- Assareh, E., & Nedaei, M. (2018). A metaheuristic approach to forecast the global carbon dioxide emissions. *International Journal of Environmental Studies*, 75(1), 99–120. <https://doi.org/10.1080/00207233.2017.1374075>.
- Azid, A., Juahir, H., Toriman, M. E., Kamarudin, M. K. A., Saudi, A. S. M., Hasnam, C. N. C., ... Yamin, M. (2014). Prediction of the level of air pollution using principal component analysis and artificial neural network techniques: A case study in Malaysia. *Water, Air, and Soil Pollution*, 225(8). <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2063-1>.
- Baghban, A., Ahmadi, M. A., & Shahraki, B. H. (2015). Prediction carbon dioxide solubility in presence of various ionic liquids using computational intelligence approaches. *Journal of Supercritical Fluids*, 98, 50–64. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.01.002>.
- Behrang, M. A., Assareh, E., Assari, M. R., & Ghanbarzadeh, A. (2011). Using bees algorithm and artificial neural network to forecast world carbon dioxide emission. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 33(19), 1747–1759. <https://doi.org/10.1080/15567036.2010.493920>.
- Bolanča, T., Strahovnik, T., Ukić, Š., Stankov, M. N., & Rogošić, M. (2017). Modeling of policies for reduction of GHG emissions in energy sector using ANN: case study—Croatia (EU). *Environmental Science and Pollution Research*, 24(19), 16172–16185. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9216-x>.
- Breiman, L. (1996). Bagging Predictors. *Machine Learning*, 24(421), 123–140. <https://doi.org/10.1007/BF00058655>.
- Buisson, L., Grenouillet, G., Casajus, N., & Lek, S. (2010). Predicting the Potential Impacts of Climate Change on Stream Fish Ass javascript :: emblages. *American Fisheries Society Symposium*, 5, 327–346.
- Change, I. P. O. C. (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers. *Geneva: IPCC*, 996. <https://doi.org/10.1038/446727a>.
- Chen, D., Li, Y., Grace, P., & Mosier, A. R. (2008). N2O emissions from agricultural lands: A synthesis of simulation approaches. *Plant and Soil*, 309(1–2), 169–189. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9634-0>.
- Chen, X. (Michael), Zahiri, M., & Zhang, S. (2017). Understanding ridesplitting behavior of on-demand ride services: An ensemble learning approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 76, 51–70. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.12.018>.
- Choi, S., & Hur, J. (2020). An ensemble learner-based bagging model using past output data for photovoltaic forecasting. *Energies*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/en13061438>.
- Çoban, O., & Şahbaz Kılınç, N. (2014). Yenilenebilir enerji tüketimi ve karbon emisyonu ilişkisi: tr örneği *. *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (38), 195–208.
- Collins, M. A. T. (2007). Ensembles and probabilities: A new era in the prediction of climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1857), 1957–1970. <https://doi.org/10.1098/rsta.2007.2068>.
- Cui, H. Z., Sham, F. C., Lo, T. Y., & Lum, H. T. (2011). Appraisal of alternative building materials for reduction of CO2 emissions by case modeling. *International Journal of Environmental Research*, 5(1), 93–100.

- Dam, M. M. (2014). Sera Gazı Emisyonlarının Makroekonomik Değişkenlerle İlişkisi: OECD Ülkeleri için Panel Veri Analizi. *Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adnan Menderes Üniversitesi*, 1–159.
- Ergün, S., & Atay Polat, M. (2017). G7 Ülkelerinde CO2 Emisyonu, Elektrik Tüketimi ve Büyüme İlişkisi. *Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, (2).
- Ersoy, A. E. (2017). Türkiye'nin Hayvansal Gübre Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları Durumu ve Biyogaz Enerjisi Potansiyeli. *Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi*, 1–127.
- Fan, J. L., Zhang, X., Zhang, J., & Peng, S. (2015). Efficiency evaluation of CO2 utilization technologies in China: A super-efficiency DEA analysis based on expert survey. *Journal of CO2 Utilization*, 11(2015), 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2015.01.004>.
- Fu, W., Han, W., Xu, T., Kim, Y., Lyu, C., & Zheng, A. (2019). Exploring the Interconnection of Greenhouse Gas Emission and Socio-economic Factors. *SAR Journal*, 2(3), 115–120. <https://doi.org/10.18421/SAR23-05>.
- Güçlü, B. S. (2006). Kyoto protokolü ve türkiyede'nin protokol karşısında durumu. *Metalurji Dergisi*, 142, 1-4.
- Gurney, K. (2014). *An introduction to neural networks*. London and New York: CRC press. Retrieved from http://www.ghbook.ir/index.php?name=فرهنگ_و_رساله_های_فرهنگ http://www.ghbook.ir/index.php?option=com_dbook&task=readonline&book_id=13650&page=73&chkhask=ED9C9491B4&Itemid=218&lang=fa&tmpl=component.
- Hamzacebi, C., & Karakurt, I. (2015). Forecasting the energy-related CO₂ emissions of Turkey using a grey prediction model. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 37(9), 1023–1031. <https://doi.org/10.1080/15567036.2014.978086>.
- Harrington P (2012) Machine learning in action. *Manning Publications Co*.
- Hebb, D. O. (1949). *The Organization of Behavior A Neuropsychological Theory*. Central Institute of Education, New York: Wiley (Vol. 65). <https://doi.org/10.1901/jaba.1992.25-575>.
- IPCC. (2014). Climate Change 2014 Synthesis Report. *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Eds.)]*. IPCC, Geneva, Switzerland, (1), 151. <https://doi.org/10.1177/0002716295541001010>.
- Işık, N. (2014). Sosyo Ekonomi Ulaştırma Sektöründe CO2 Emisyonu ve Enerji Ar-Ge Harcamaları İlişkisi. *Sosyoekonomi /*, 2014–2(December), 322–346.
- Jatmiko, W., Purnomo, D. M. J., Alhamidi, M., Wibisono, A., Wisesa, H., Mursanto, P., ... Addana, F. (2016). Algal growth rate modeling and prediction optimization using incorporation of MLP and CPSO algorithm. *2015 International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science, MHS 2015*, (November), 1–8. <https://doi.org/10.1109/MHS.2015.7438293>.
- Julian, D. (2016). *Designing Machine Learning Systems with Python. PACKT Publishing open source community experience distilled* (Vol. 53).
- Kainuma, M., Matsuoka, Y., & Morita, T. (2000). The AIM/end-use model and its application to forecast Japanese carbon dioxide emissions. *European Journal of Operational Research*, 122(2), 416–425. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00243-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00243-X).
- Kara, G., Yalınz, İ., & Sayar, M. (2019). Konya İli Hayvansal Gübre Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları Durumu. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2(2), 57–60.
- Khan, M. J. U. R., & Awasthi, A. (2020). Machine learning model development for predicting road transport GHG emissions in Canada. *WSB Journal of Business and Finance*, 53(2), 55–72. <https://doi.org/10.2478/wsbjbf-2019-0022>.
- Khan, S., Rahmani, H., Shah, S. A. A., & Bennamoun, M. (2018). A Guide to Convolutional Neural Networks for Computer Vision. *Synthesis Lectures on Computer Vision*, 8(1), 1–207. <https://doi.org/10.2200/s00822ed1v01y201712cov015>.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., & Movahedi, M. (2013). Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy*, 52, 333–338. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.01.028>.

- Kolasa-Więcek, A. (2018). Neural Modeling of Greenhouse Gas Emission from Agricultural Sector in European Union Member Countries. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229(6), 7–9. <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3861-7>.
- Kovancılar, B. (2001). Küresel Isınma Sorununun Çözümünde Karbon Vergisi ve Etkinliği. *Yönetim ve Ekonomi*, 8(2), 10–13.
- Krstanoski, N. (2006). Defining The Policy For Reduction Of CO2 Emissions From The Road Transport Sector In Republic Of Macedonia, 1–15.
- Kumar, S., & Muhuri, P. K. (2019). A novel GDP prediction technique based on transfer learning using CO2 emission dataset. *Applied Energy*, 253(May), 113476. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113476>.
- Li, Y., Han, Y., Wang, J., & Zhao, Q. (2018). A MBCRF algorithm based on ensemble learning for building demand response considering the thermal comfort. *Energies*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/en1123495>.
- Li, S., Zhou, R., & Ma, X. (2010). The forecast of CO2emissions in China based on RBF neural networks. *2010 2nd International Conference on Industrial and Information Systems, IIS 2010, 1*, 319–322. <https://doi.org/10.1109/INDUSIS.2010.5565845>.
- Liao, C. H., Lu, C. S., & Tseng, P. H. (2011). Carbon dioxide emissions and inland container transport in Taiwan. *Journal of Transport Geography*, 19(4), 722–728. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2010.08.013>.
- Lu, I. J., Lewis, C., & Lin, S. J. (2009). The forecast of motor vehicle, energy demand and CO2 emission from Taiwan's road transportation sector. *Energy Policy*, 37(8), 2952–2961. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.03.039>.
- Mahesh, G. U. (2018). Prediction of Transportation Carbon Emission using Spatio-temporal Datasets and Multilayer Perceptron Neural Network. *International Journal of New Innovations in Engineering and Technology Prediction*, 8(2), 39–48.
- Mohammed, A. A., & Aung, Z. (2016). Ensemble learning approach for probabilistic forecasting of solar power generation. *Energies*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/en9121017>.
- Nwulu, N. I., & Agboola, O. P. A. (2012). Modelling CO2 Emissions Using Artificial Neural Networks. *AWER Procedia Information Technology & Computer Science*, 2, 407–411.
- Özmen, M. T. (2009). Sera Gazı - Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 42–46.
- Pabuçcu, H., & Bayramoğlu, T. (2016). Yapay Sinir Ağları ile CO2 Emisyonu Tahmini: Türkiye Örneği. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(3), 762–778.
- Parker, W. S. (2010). Predicting weather and climate: Uncertainty, ensembles and probability. *Studies in History and Philosophy of Science Part B - Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 41(3), 263–272. <https://doi.org/10.1016/j.shpsb.2010.07.006>.
- Priddy, K.L., & Keller, P.E., (2005). Artificial neural networks: An introduction. *SPIE- The International Society for Optical Engineering*, Washington, USA.
- Quesada-Rubio, J. M., Villar-Rubio, E., Mondéjar-Jiménez, J., & Molina-Moreno, V. (2011). Carbon dioxide emissions vs. allocation rights: Spanish case analysis. *International Journal of Environmental Research*, 5(2), 469–474. <https://doi.org/10.22059/ijer.2011.331>.
- Rosenblat, F. (1958). The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, 65(6), 386.
- Sagi, O., & Rokach, L. (2018). Ensemble learning: A survey.
- Saleh, C., Dzakiyullah, N. R., & Nugroho, J. B. (2016). Carbon dioxide emission prediction using support vector machine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 114(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/114/1/012148>.
- Sangeetha, A., & Amudha, T. (2018). A Novel Bio-Inspired Framework for CO2 Emission Forecast in India. *Procedia Computer Science*, 125, 367–375. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.12.048>.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M. B., Chen, Z. H. (2007). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.Summary>.

Theodoridis, S., & Koutroumbas, K. (2009). Pattern recognition. 2003. *Elsevier Inc.*

Uğuz, S. (2019). Makine öğrenmesi- Teorik yönleri ve Python uygulamaları ile bir yapay zeka ekolü. *Nobel akademik yayın*, 1,312.

Wang, T., Li, H., Zhang, J., & Lu, Y. (2012). Influencing Factors of Carbon Emission in China's Road Freight Transport. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 43, 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.04.077>.

Yan, X., & Crookes, R. J. (2010). Energy demand and emissions from road transportation vehicles in China. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36(6), 651–676. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2010.02.003>.

Yılmaz, H., & Yılmaz, M. (2013). Forecasting Co₂ Emissions For Turkey By Using The Grey Prediction Method. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, (444), 141–148.

Zhou, J., Yu, X., & Yuan, X. (2018). Predicting the carbon price sequence in the shenzhen emissions exchange using a multiscale ensemble forecasting model based on ensemble empirical mode decomposition. *Energies*, 11(7), 1–17. <https://doi.org/10.3390/en11071907>.

Zhou, Z. H. (2012). Ensemble methods: foundations and algorithms. *CRC press*.

Zhu, B. (2012). A novel multiscale ensemble carbon price prediction model integrating empirical mode decomposition, genetic algorithm and artificial neural network. *Energies*, 5(2), 355–370. <https://doi.org/10.3390/en5020355>.



Web Sitesi Kalitesinin AHS-MULTIMOORA Yöntemiyle Değerlendirilmesi

Assessment of the Quality of Websites with AHP-MULTIMOORA

Aşır Özbek¹

¹Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale MYO, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 15/12/2019

Kabul / Accepted: 30/04/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Bilişim teknolojilerinin hızla gelişmesine paralel olarak web siteleri ticaretin vazgeçilmez unsuru haline gelmiştir. Web siteleri, satıcı ile müşterinin etkileşiminin gerçekleştiği ilk platformlar olmaktadır. Müşteriler, işletme hakkında temel verileri öncelikle ilgili işletmelerin web sitelerinden elde etmektedirler. Web sitelerinin müşterilerin üzerinde oluşturduğu etki düşünüldüğünde, bu sitelerin kalitesinin çok önemli olduğu anlaşılmaktadır. Web sitelerinin kalitesinin değerlendirilmesine yönelik olarak çok farklı yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir. Web sitelerinin kalitelerini değerlendirmede birbirlerini etkileyen birçok faktörün sürece dâhil olduğu görülmektedir. Bu çalışma ile lojistik alanında faaliyette bulunan firmaların web sitelerinin kalitesi çok kıstaslı karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve MULTIMOORA yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Belirlenen kıstasların ağırlıkları; AHS, firmaların web sitelerinin değerlendirilmesi ise MULTIMOORA yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma; lojistik firmaların web sitelerinin değerlendirilmesinde iki yöntemin bütünleşik olarak kullanılabilirliğini göstermiştir. Bu çalışma; yazılım firmalarının daha kaliteli web siteleri tasarlayabilmeleri ve araştırmacıların ise web sitesi değerlendirme problemini teorik olarak daha iyi kavrayabilmeleri açısından literatüre katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler

"AHS, MULTIMOORA, Çok Kıstaslı Karar Verme, ÇKKV, Lojistik, Web Sitesi"

Abstract

With the rapid development of information technologies, websites have become indispensable for trade. Websites are the platforms where the first interaction between the vendor and the customer takes place. Customers obtain basic information on the company primarily from the website of the related company. Considering the influence of the websites on the customers, it is not difficult to understand that the quality of these websites is very important. It seems that there are many different methods used in the assessment of the quality of websites, and there can be many factors affecting each other in this assessment process. This study deals with the quality of websites of companies operating in the logistics field. Two multi-criteria decision making (MCDM) methods, the analytical hierarchy process (AHP) in the determination of the weights of the criteria and MULTIMOORA method in the assessment of the websites of the companies, were conducted in the study. The study has demonstrated that the integral usage of the two methods in the evaluation of the websites of logistics companies can be useful. This work can contribute to the literature as it may help software companies design better websites and also the researchers better understand the website evaluation problem theoretically.

Key Words

"AHP, MULTIMOORA, Multi Criteria Decision Making, MCDM, Logistics, Website"

1. Giriş

Türk Dil Kurumu lojistiği; "kişilerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere her türlü ürünün, hizmetin ve bilgi akışının çıkış noktasından varış noktasına kadar taşınmasının etkili ve verimli bir biçimde planlanması ve uygulanması" olarak tanımlamıştır (TDK, 2018). Lambert'e göre ise lojistik; müşteri ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla üretim noktasından tüketim noktasına ulaşana kadar geçen zaman boyunca her türlü ürün, bilgi ve para akışının yönetilmesini sağlayan faaliyetlerinin tamamını kapsayan süreçler olarak tanımlanmaktadır (Lambert vd, 1998).

Bilişim teknolojilerindeki çok hızlı adımlar, müşteri beklentileri ve taleplerindeki artış, kalite anlayışındaki gelişmeler, şirketleri küresel pazarda rekabetçi davranmaya itmiştir. Şirketlerin müşterilerinin talep ve beklentilerini zamanında, en uygun şekilde, müşteri memnuniyetini sağlayacak tarzda gerçekleştirmesi için en temel faktör hizmet kalitesini sürekli iyileştirmektir.

Lojistik sektöründe de diğer sektörlerde olduğu gibi verilen hizmetin kalitesini sürekli olarak artırmak oldukça önemlidir. Lojistik firmaların potansiyel ve mevcut müşterileriyle bilgi alışverişinde bulunmak, firma ve marka tanınırlığını artırmak ve mümkün olabilecek bazı hizmetlerini internet ortamında gerçekleştirmek için web sitelerinden faydalanılmaktadır. İnternet üzerinde yazı, animasyon vb. öğeleri bir görüntüleyici üzerinden verebilen, belli bilgilerin bir arada bulunduğu etkileşimli sayfalara web sitesi ismi verilmektedir. Web siteleri, son yıllarda firmaların ayrılmaz bir iletişim ve tanıtım aracı haline gelmiştir. Söz konusu olan lojistik firmaları olunca bu durum daha da önemli hale gelmektedir. Çünkü lojistik firmaların işlem ağı, ulusal sınırları aşarak uluslararası boyuta ulaştığında en hızlı ve etkili iletişim bu web siteleri üzerinden gerçekleşmektedir (Büyüközkan ve Güleriyüz, 2011:890).

İşletmenin hizmetleri, fiyat baremi ya da iletişim noktaları gibi konularda bilgi almak isteyen kişi ya da şirketlerin sadece internete girerek aradığı firmanın sitesine ulaşması yeterli olmaktadır. Ülke dışında hizmet verilecek müşterilere ulaşmada ayrıca yabancı dil seçeneğinin olması ise firmalara ilave avantaj getirmektedir. Coğrafi koşullar, dil zorlukları, ülkeler arası saat farkları gibi durumlar göz önüne alındığında, lojistik firmalarının kaliteli web sitelerine sahip olması bir avantaj değil bir zorunluluk haline gelmektedir.

Web siteleri, müşteriler ile firma arasında ilk iletişimin gerçekleştiği platformlar olmasından dolayı bu mecraların etkin ve etkili bir yapıda tasarlanması, müşterilerin beklentilerine hızlı ve kolay cevap verecek şekilde dizayn edilmesi kalite ve performans açısından oldukça önemli olmaktadır. Bir web sitesinin başarılı bir tasarıma sahip olması, dil seçenekleri, güncelliği ve kullandığı kodlara göre ortaya koyacağı avantajlar ise firmaya yeni müşteri kazandırmada ya da müşteri sadakati oluşturmada etkin rol oynamaktadır. Sayılan bu unsurların eksikliği ise tam tersi, firmaya müşteri kaybettirmekte ve potansiyel müşterileri ise caydırabilmektedir (Büyüközkan ve Güleriyüz, 2011:890).

Bu çalışmada ulusal ve uluslararası alanda faaliyette bulunan 7 adet lojistik firmasının web siteleri, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ve MULTIMOORA yöntemlerinden oluşan bütünlük bir modelle değerlendirilmiştir. Modelde; kıstasların ağırlıkları AHS ile belirlenirken, firmaların hizmet kalitesi ise MULTIMOORA yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Literatürde web sitelerinin performansını ölçen birçok çalışma olmasına rağmen lojistik sektöründe faaliyette bulunan firmaların web sitelerinin kalitesinin ölçümünde; Büyüközkan ve Güleriyüz (2016) ve Özbek ve Ergün'ün (2018) yaptığı çalışmanın dışında bir başka çalışmaya rastlanılmamıştır. Büyüközkan ve Güleriyüz'ün (2016) geliştirdiği model AHS ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemlerine dayanırken; Özbek ve Ergün'ün ortaya koyduğu çalışma EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution) yöntemini temel almıştır. AHS-MULTIMOORA yöntemlerinin lojistik sektöründe faaliyette bulunan firmaların web sitelerinin ölçümünde bütünlük olarak kullanıldığına yönelik literatürde bir veriye rastlanılmamıştır. Bu çalışma; yazılım firmalarının daha kaliteli web siteleri tasarlayabilmeleri ve araştırmacıların ise web sitesi değerlendirme problemini teorik olarak daha iyi kavrayabilmeleri açısından literatüre katkı sağlamaktadır.

2. Literatür Özeti

Genel olarak web sitelerinin değerlendirilmesi ve incelenmesi alanında literatürde birçok çalışmanın yapıldığı belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmaların bazılarında burada değinilmiştir:

Dündar vd. (2007), bulanık TOPSIS yöntemi ile dört sanal mağazanın web sitelerini; "dizayn", "ürün çeşitliliği", "müşteri hizmetleri" ve "bilgi zenginliği" kıstaslarına göre değerlendirmişlerdir. Chiang vd. (2009), internet kullanıcılarının portal web sitelerinin hizmet kalitesini, bulanık integral ve AHS'ye dayanan katıksız bir modelle ölçmüşlerdir. Tsai vd. (2010), "hız", "navigasyon", "linkler", "uygunluk", "zenginlik", "geçerlilik" ve "çekicilik" ana kıstaslarına göre DEMATEL (Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory), Analitik Ağ Süreci (AAS) ve VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemlerini bütünlük olarak uygulayarak altı adet doğal yaşam parklarının web sitelerini değerlendiren sistematik ve kapsamlı bir yapı önermişlerdir. Cheng (2011), "web sitesi hizmet kalitesi" ve "toplu taşıma aktarım bilgilerinin kalitesi" başlıkları altında 899 web sitesi ziyaretçisine 27 soru yönelterek, toplu taşıma sistemlerinin web sitelerinin kalitesini ölçmüştür. Büyüközkan vd. (2011) özel hastanelerin web sitelerinin değerlendirilmesi için yeni bir model geliştirmişlerdir. Önerdikleri modelde altı ana kıstas altında toplamda 19 alt kıstasa göre bulanık AHS yöntemi ile web siteleri değerlendirilmiştir. Tsai vd. (2011), beş havayolu firmasının web sitesinin etkinliğini değerlendirmek için bütünlük bir model önermişlerdir. Önerilen modelde ölçütlerin ağırlıkları, DEMATEL; web sitelerinin etkinliği ise AAS ve VIKOR yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Kaya ve Kahraman (2011), bulanık AHS-ELECTRE (Elimination and Choice Translating Reality English) yaklaşımına dayalı bütünlük bir modelle bankaların web sitelerinin kalitesini ölçmüşlerdir. Bu modelde değerlendirme faktörleri "ürün kalitesi",

"güvenirlilik", "çabukluk ve kolaylık", "yeterlilik", "erişim", "bilgi içeriği", "kullanım kolaylığı" ve "güvenlik" olmak üzere 8 kıstastan oluşmuştur. Chou ve Cheng (2012), "sistem kalitesi", "bilgi kalitesi" ve "hizmet kalitesi" ana kıstasları altında yer alan 16 adet alt ölçüte göre Tayvan'daki dört adet yeminli mali müşavirlik firmasının web sitelerini bulanık AAS ve bulanık VIKOR yöntemlerinden oluşan bir modelle değerlendirmişlerdir. Özgüven (2012), "taksit imkânı", "teslimat süresi", "indirim çekleri", "kampanya geçerlilik süresi", "kampanyalı kredi kartı sayısı" ve "güncel kampanya sayısı" kıstaslarını kullanarak PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) yöntemi ile özel alışveriş sitelerini değerlendirmiştir. Stanujkic ve Jovanovic (2012), 3 fakültenin web sitelerini, "doğru bilgi", "site yönetimi", "objektiflik", "güncellik" ve "kullanışlılık ve hiyerarşi" olmak üzere 5 kıstasa göre ARAS (Additive Ratio Assessment) yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Ecer (2014), AHS-COPRAS-G (Complex Proportional Assessment) bütünleşik yöntem yaklaşımı ile Türkiye'de faaliyet gösteren mevduat bankalarının web sitelerini "bilgi kalitesi", "hizmet kalitesi" ve "sistem kalitesi" ana kıstasları altında yer alan 10 adet alt kıstasa göre değerlendirmiştir. Akıncılar ve Dağdeviren (2014), AHS-PROMETHEE yöntemlerini temel alan bir model geliştirilerek otel web sitelerinin performansını ölçmüşlerdir. Uyguladıkları modelde kıstasların ağırlıklarını AHS ile otellerin web sitelerinin performansını ise PROMETHEE yöntemiyle değerlendirmişlerdir. Uyguladıkları modelde 16 otel web sitesi, altı ana kıstas altında yer alan 27 alt kıstasa göre değerlendirilmiştir. Alptekin vd. (2015), 5 Türk kitapçısının web sitelerinin kalitesini değerlendirmede dört ana kıstas altında on beş alt kıstasa göre bulanık TOPSIS yöntemiyle değerlendirmişlerdir. Büyüközkan ve Güleriyüz (2016), Türk lojistik sektöründe faaliyette bulunan 15 firmanın web sitelerini "bilgi kalitesi", "güvenirlilik", "görsel ve fiziksel yapı", "empati", "güvence" ve "karşılık verebilme" ana kıstasları altında yer alan 20 adet alt kıstasa göre bulanık AHS ve bulanık TOPSIS tekniği ile değerlendirmişlerdir. Zaim ve Haddi (2016), fabrikadan tüketiciye e-ticaret web sitelerinin kalitesinin değerlendirilmesinde kendilerinin geliştirdiği yaklaşık ağırlıklandırma yöntemini (approximate weighting) önermişlerdir. En iyi web sayfasını değerlendirmede "güvenlik ve gizlilik", "içerik netliği", "grafik arayüzü", "çevrimiçi servis", "kullanışlılık", "saatinde bulunma" ve "ödeme seçenekleri" kıstaslarını kullanmışlardır. Lian vd. (2017), kâr amacı gütmeyen turizm, doğrudan turizm ve aracı turizm web sitelerinin her birinden iki adet olmak üzere toplamda altı web sitesini incelemişlerdir. Yazarlar, bu web sitelerini on iki kıstasa göre üçgen bulanık sayılar kullanılarak değerlendirme indeks sistemi olarak adlandırdıkları yönteme göre analiz etmişlerdir. Wahyuningrum vd. (2017), Endonezya'da eğitim-öğretim yapan üniversitelerin web sitelerini değerlendirmek için SAW (simple additive weighting) ve Doğrusal Ağırlık Modeli (linear weightage model) bütünleşik olarak kullanmışlardır. Ecer (2018), 16 mobil bankacılığın bankacılık hizmetlerini bulanık AHS ve ARAS yöntemlerinden oluşan bütünleşik bir modele göre değerlendirmiştir. "algılanan fayda", "algılanan kullanım kolaylığı" ve "algılanan risk" ana kıstasları altında toplam 8 alt kıstasa göre bankaların mobil bankacılık hizmetleri değerlendirilmiştir. Kıstas ağırlıkları bulanık AHS ile belirlenirken, mobil bankacılık hizmetlerinin değerlendirilmesi ise ARAS yöntemine göre yapılmıştır.

3. Yöntem

Günlük yaşamda çok kıstaslı karar verme (ÇKKV) problemleri ile özel ya da tüzel kişilerin sıkça karşılaştıkları bir gerçekliktir. Örneğin bir kişi konut satın almaya ya da kiralamaya karar verirken birbirlerini etkileyen birçok faktörü dikkate alarak, kendisi için en uygun olan seçeneği belirlemelidir. Aynı durum ticari faaliyette bulunan işletmeler için de geçerlidir. Firmalar da iş süreçlerinde kararlarını alırken, kalite, uygunluk, miktar, zamanında teslimat, müşteri memnuniyeti gibi kıstasları hesaba katmaktadır (Wu, 2006: 209-217). Karar verici için ÇKKV'nin amacı, genellikle birbirleriyle çelişen alternatifler, opsiyonlar, politikalar, eylemler ya da seçenekler arasından birden çok özelliği, kıstası ya da amacı dikkate alarak en uygun olanı belirlemektir (Kuo vd., 2008:81).

3.1. AHS Yöntemi

AHS, Saaty tarafından 1977 yılında, karmaşık problemlerin çözümü için geliştirilmiş olan ve ÇKKV problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan bir yöntemidir (Özbek ve Eren, 2013:181). AHS, problemi hiyerarşik bir yapı ile tanımlamaktadır. Hiyerarşinin en üst seviyesinde amaç, bir alt seviyesinde ana kıstaslar ve gerekli ise ana kıstasların altında alt kıstaslar yer almaktadır (Saaty, 1994:70). Hiyerarşik yapıda alt seviyedeki bir kıstasın, üst seviyedeki bir kıstası etkilediği varsayılmaktadır. Etkileme oranı, kıstasların bir üst faktöre göre ikili olarak karşılaştırmalar yoluyla belirlenmektedir (Saaty, 1994:71; Özbek,2017:79).

AHS yönteminde hiyerarşik yapının oluşturulmasının ardından, kıstaslar, kendi aralarındaki önem ağırlıklarının belirlenmesi için her bir düzeydeki kıstasın, aynı düzeydeki diğer kıstaslarla amaç dikkate alınarak ikili olarak karşılaştırılır. Bu karşılaştırmada Saaty'nin önerdiği Tablo 1'de gösterilen karşılaştırma ölçeği kullanılır (Saaty, 1994:71). Bu karşılaştırma neticesinde ikili karşılaştırma matrisi olarak adlandırılan karar matrisi oluşturulur (Özbek ve Erol, 2016:97, Özbek, 2017:79).

Tablo 1. Karşılaştırma Ölçeği

Önemi	Tanım	Açıklama
1	Eşit öneme sahip	Her iki seçenek eşit değerde öneme sahiptir
3	Biraz önemli	Bir faktör diğerine göre biraz daha önemli sayılmıştır
5	Fazla önemli	Bir faktör diğerine göre çok daha önemli sayılmıştır
7	Çok fazla önemli	Faktör diğer faktöre göre kesinlikle çok fazla önemli sayılmıştır
9	Son derece önemli	Bir faktörün diğerine göre son derece önemli olduğu çeşitli bilgilere dayandırılmıştır.
2, 4, 6, 8	Ara dereceler	Gerektiğinde kullanılabilir ara değerler.

AHS işlem adımları bütüncül olarak Tablo 2'de verilmiştir (Özbek, 2015a:5).

Tablo 2. AHS İşlem Basamakları

İkili karşılaştırma matrisi	$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{21} & \dots & a_{21} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$	(1)
İkili karşılaştırma matrisinin normalleştirilmesi	$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$	(2)
Öncelik vektörünün belirlenmesi	$w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n a'_{ij} i, j = 1, 2, \dots, n$	(3)
	$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left[\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot w_j}{w_i} \right]$	(4)
Tutarlılık oranının belirlenmesi	$TI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$	(5)
	$TO = \frac{TI}{RI}$	(6)

3.2. MOORA Yöntemi

Multi-objective optimization on the basis of ratio analysis (MOORA) yöntemi Brauers ve Zavadskas tarafından 2006 yılında geliştirilen ve ÇKKV problemlerinin çözümünde son yıllarda sıkça kullanılan bir yöntemdir. MOORA yöntemi, farklı öngörülerin gruplandırılmasına dayanmaktadır (Brauers ve Zavadskas, 2006: 445-469). Bu yöntem, karar seçeneklerini sıralama ve seçmede etkili bir araç niteliği taşımaktadır (Gadakh, 2011:743-744; Mandal & Sarkar, 2012:302; Dey vd., 2012:652). Oransal analize dayalı çok amaçlı optimizasyon yöntemi olan MOORA'nın, MOORA-Oran, MOORA-Referans Noktası, MOORA-Önem Katsayısı, MOORA-Tam Çarpım Formu ve MULTIMOORA adında farklı yaklaşımları geliştirilmiştir (Özbek, 2017:183).

Chakraborty (2011), MOORA yöntemini "basitlik", "güvenirlik", "hesaplama süresi", "matematiksel işlem" ve "veri türü" açısından çok bilinen ÇKKV yöntemleri ile kıyaslamıştır. Karşılaştırılan yöntemlere göre MOORA yönteminin üstün olduğunu belirtmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. MOORA ile ÇKKV Yöntemlerinin Kıyaslanması

ÇKKV Yöntemi	Basitlik	Hesaplama Süresi	Güvenirlik	Matematiksel İşlemler	Veri Türü
MOORA	Çok basit	Çok az	İyi	Asgari	Nicel
AHS	Çok kritik	Çok fazla	Zayıf	Azami	Karma
ELECTRE	Makul kritik	Fazla	Orta	Makul	Karma
PROMETHEE	Makul kritik	Fazla	Orta	Makul	Karma
TOPSIS	Makul kritik	Makul	Orta	Makul	Nicel
VIKOR	Basit	Az	Orta	Makul	Nicel

MOORA yaklaşımlarının işlem adımları MOORA-oran metodu ile başlamaktadır. Tüm MOORA yaklaşımları ilgili eşitlikler Tablo 4'de verilmiştir.

MOORA yönteminin uygulanışı şu şekildedir (Brauers ve Zavadskas, 2006; 2010; 2012; 2013; Özbek, 2017:186; Stanujkic vd., 2012:331-363; Özbek, 2015b:24).

İlk olarak Eşitlik (7) ile gösterildiği şekilde karar seçeneklerinin kısıtlara göre performansını gösteren başlangıç karar matrisi oluşturulur. Bu matriste, m karar seçeneklerinin; n ise kısıtların sayısını göstermektedir. Bir sonraki adımda kısıtların maksimizasyon ya da minimizasyon yönlü olup olmadığına bakılmaksızın Eşitlik (8) kullanılarak matris normalize edilir. (9) numaralı Eşitlik ile MOORA-Oran yöntemine göre seçeneklerin performansı hesaplanır. g, maksimize edilecek, (n - g) ise minimize edilecek kısıtların sayısını ve y_i^* ise i. alternatifin performans değerini göstermektedir. y_i^* değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanır ve birinci sıradaki seçenek en uygun alternatif olarak değerlendirilir.

MOORA-Oran yöntemi ile elde edilen normalize veriler, kısıtlara farklı önem atfetmek için "önem katsayısı" (w_j) denilen bir oranla çarpılır (Brauers ve Zavadskas, 2012:10). Bu yaklaşım MOORA-Önem Katsayısı Yaklaşımı olarak nitelendirilir. Bu yaklaşıma göre seçeneklerin performans değerleri Tablo 4'de verilen (10) numaralı Eşitlik ile hesaplanır. y_i^* , değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanır ve ilk sıradaki seçenek en uygun alternatif olarak belirlenir.

MOORA Referans Noktası Yaklaşımında, MOORA-Oran yöntemi ile elde edilen normalize edilmiş veriler temel alınır. Bu yaklaşımda alternatiflerin her bir kıstasa göre maksimizasyon durumunda en iyi değeri, minimizasyon durumunda ise en düşük değeri referans noktası r_j olarak alınır. Eşitlik (11) kullanılarak alternatiflerin her bir kıstasa göre referans noktasına olan uzaklıkları bulunur. Alternatiflerin sıralanması Eşitlik (12) kullanılarak yapılır. Her alternatifin performansını gösteren en yüksek değeri P_i bulunur. Alternatifler küçükten büyüğe doğru sıralanır. Birinci sıradaki alternatif en iyi seçenek olarak kabul edilir. Karar verici gerek gördüğü takdirde Eşitlik (13) ile gösterildiği gibi her bir kıstasın önemini gösteren w_j değerini bu yaklaşımda da uygulayabilmektedir.

MOORA-Tam Çarpım Formu yaklaşımda, her bir seçeneğin maksimizasyon yönlü verileri çarpılarak minimizasyon yönlü verilerin çarpımına bölünmektedir. Bu hesaplama Eşitlik (14) ile gösterilmiştir. X_i ve Z_i değerleri, Eşitlikler (15) ve (16) ile hesaplanır.

Tablo 4. MOORA İşlem Basamakları

Başlangıç matrisi	$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$	(7)
Matrisinin normleştirilmesi	$a_{ij}^* = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}$	(8)
MOORA-Oran Yaklaşımı	$y_i^* = \sum_{j=1}^g a_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n a_{ij}^*$	(9)
MOORA-Önem Katsayısı Yaklaşımı	$y_i^* = \sum_{j=1}^g w_j a_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n w_j a_{ij}^*$	(10)
MOORA-Referans Noktası Yaklaşımı	$d_{ij} = r_j - a_{ij}^* $	(11)
	$P_i = \min_i(\max_j d_{ij})$	(12)
	$d_{ij} = w_j r_j - a_{ij}^* $	(13)
	$U_i = \frac{X_i}{Z_i}$	(14)
MOORA-Tam Çarpım Formu	$X_i = \prod_{g=1}^j a_{gj}, \quad i = 1, 2, \dots, m$	(15)
	$Z_i = \prod_{k=j+1}^n a_{ki}$	(16)
MULTIMOORA Yaklaşımı	MOORA yöntemlerinin sonuçlarının tek bir sırada birleştirilmesi	

MULTIMOORA Yöntemi; MOORA-Oran, Referans Noktası ve Tam Çarpım Yaklaşımlarının "sıra baskınlık teorisine" göre değerlendirilerek tek bir sıralamada birleştirilmesidir (Özbek, 2017:188).

4. Veri Seti ve Bulgular

Lojistik sektöründe faaliyette bulunan 7 adet firmanın web siteleri 11 kıstasa göre MULTIMOORA yöntemi ile değerlendirilmiştir. Değerlendirme kıstasları literatür taraması ve uzman görüşü doğrultusunda oluşturulmuştur. Uzman ekip, üniversite İİBF öğretim elemanlarından oluşturulmuştur. Kıstasların tamamı maksimizasyon yönlüdür. Kıstas ağırlıkları AHS ile hesaplanmıştır. Değerlendirme kıstasları Tablo 5'de verilmiştir.

Algısal açıklık, dikkat odaklama, işlevlerin görünebilirliği (C1): Kullanıcının ihtiyaçlarını karşılayacak noktalara yoğunlaşması, dikkatini dağıtacak öğelerden uzak tutulmasının sağlanmasıdır.

Bilgi zenginliği (C2): Web sitesinden doyurucu ve yeterli bilgi elde edebilmesidir.

Görsel çekicilik (C3): Bir web sitesinin tasarım kalitesi, canlılığı ve çekiciliği incelenmesini sağlayan en temel faktörlerin başında gelmektedir.

Güncellik (C4): Web sitesinde incelenen bilgilerin firmanın son durumunu gösteren güncellikte olması gerekmektedir.

İçerik, serbest kaynaklar v.s. yararları ve kalitesi (C5): Bir web sitesi içinde yer alan bilgilerin içeriğinin doyuruculuğu, sektöre ve firmanın hizmetlerine göre farklılıklar gösterebilmesi ayrıca farklı kaynaklarca doğrulanabilir olması gerekir.

Kullanım kolaylığı (C6): Aranılan bilgiye rahat, hızlı ve en az çaba ile ulaşılmalıdır.

Müşteri ilişkileri (C7): Müşteri istek ya da şikayetlerine cevap verebilmek için doğrudan etkileşimli formların mevcudiyeti önemli bir kıstastır.

Online sipariş kabul (C8): İş yükünü hafifletmek ve zamandan tasarruf sağlamak için online sipariş sistemlerine yer verilmesi web sitesi için önemli bir unsurdur.

Özel misyon ya da web sitesi amaçları (C9): Müşterilerin web sitesine daha fazla güven duymasını sağlamak için vizyon, misyon gibi kurumsal kimlik öğelerine yer verilmelidir.

Ürün kataloğu (C10): Güncel ürün ve hizmetlerin tamamının birden verilmesini sağlayan ürün kataloglarının web sitelerinde yer alması firmaların faaliyetlerini etkin olarak yürütebilmelerine katkı sağlamaktadır.

Yabancı dil seçenekleri (C11): Yabancı dil seçeneği, firmalarının uluslararası boyutlarda faaliyetlerini etkin olarak sürdürebilmeleri için mutlaka olması gereken bir durumdur.

Tablo 5. Değerlendirme Kıstasları

Kod	Kıstas Adı
C1	Algısal açıklık, dikkat odaklama, işlevlerin görünebilirliği
C2	Bilgi zenginliği
C3	Görsel çekicilik
C4	Güncellik
C5	İçerik, serbest kaynaklar vs.nin yararları ve kalitesi
C6	Kullanım kolaylığı
C7	Müşteri ilişkileri
C8	Online sipariş kabul
C9	Özel misyon ya da web sitesi amaçları
C10	Ürün kataloğu
C11	Yabancı dil seçenekleri

4.1. AHS İle Kıstasların Ağırlıklarının Bulunması

İlk olarak kıstasların ağırlıklarını elde etmek için Tablo 1'de verilen karşılaştırma ölçeği temel alınarak kıstaslar birbirleri ile ikili olarak karşılaştırılmıştır. Böylece Tablo 6'da verilen ikili karşılaştırma matrisi elde edilmiştir. İkili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı 0,10'dan küçük olmalıdır. Tutarlılık oranı (4), (5) ve (6) numaralı Eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır. Tutarlılık oranını hesaplayabilmek için "random indeks" değerinin bilinmesi gerekmektedir. 11x11 boyutundaki matrisin random indeks değeri 1,51'dir. İkili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı 0,10'dan küçük olduğu için matris tutarlıdır.

Tablo 6. Kıstasların İkili Olarak Karşılaştırılması

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
C1	1,000	1,000	1,000	0,200	3,000	0,333	1,000	0,200	4,000	1,000	0,200
C2	1,000	1,000	1,000	0,200	1,000	0,111	0,143	0,143	4,000	0,200	0,111
C3	1,000	1,000	1,000	0,200	1,000	0,200	0,200	0,143	7,000	0,143	0,143
C4	5,000	5,000	5,000	1,000	5,000	1,000	1,000	1,000	7,000	1,000	1,000
C5	0,333	1,000	1,000	0,200	1,000	0,200	0,200	0,143	5,000	0,200	0,143
C6	3,000	9,000	5,000	1,000	5,000	1,000	1,000	1,000	7,000	3,000	1,000
C7	1,000	7,000	5,000	1,000	5,000	1,000	1,000	1,000	7,000	3,000	1,000
C8	5,000	7,000	7,000	1,000	7,000	1,000	1,000	1,000	7,000	1,000	1,000
C9	0,250	0,250	0,143	0,143	0,200	0,143	0,143	0,143	1,000	0,143	0,111
C10	1,000	5,000	7,000	1,000	5,000	0,333	0,333	1,000	7,000	1,000	1,000
C11	5,000	9,000	7,000	1,000	7,000	1,000	1,000	1,000	9,000	1,000	1,000

Tablo 6'da gösterilen matrisin AHS yöntemi ile değerlendirilmesi neticesinde kıstasların ağırlıkları hesaplanmış ve Tablo 7'de öncelik vektörü (ÖV) sütununda verilmiştir.

Tablo 7. Normalize Matris ve Kıstas Ağırlıkları

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	ÖV
C1	0,042	0,022	0,025	0,029	0,075	0,053	0,142	0,030	0,062	0,086	0,030	0,054
C2	0,042	0,022	0,025	0,029	0,025	0,018	0,020	0,021	0,062	0,017	0,017	0,027
C3	0,042	0,022	0,025	0,029	0,025	0,032	0,028	0,021	0,108	0,012	0,021	0,033
C4	0,212	0,108	0,125	0,144	0,124	0,158	0,142	0,148	0,108	0,086	0,149	0,137
C5	0,014	0,022	0,025	0,029	0,025	0,032	0,028	0,021	0,077	0,017	0,021	0,028
C6	0,127	0,195	0,125	0,144	0,124	0,158	0,142	0,148	0,108	0,257	0,149	0,152
C7	0,042	0,151	0,125	0,144	0,124	0,158	0,142	0,148	0,108	0,257	0,149	0,141
C8	0,212	0,151	0,174	0,144	0,174	0,158	0,142	0,148	0,108	0,086	0,149	0,150
C9	0,011	0,005	0,004	0,021	0,005	0,023	0,020	0,021	0,015	0,012	0,017	0,014
C10	0,042	0,108	0,174	0,144	0,124	0,053	0,047	0,148	0,108	0,086	0,149	0,108
C11	0,212	0,195	0,174	0,144	0,174	0,158	0,142	0,148	0,138	0,086	0,149	0,156

4.2. MOORA Yöntemi için Başlangıç Matrisi Oluşturma

Belirlenen bu kıstaslar dikkate alınarak lojistik firmaların web siteleri, 6 uzman tarafından 1-5 arası (1: en düşük, 5: en yüksek) ölçekte değerlendirilmiştir. Değerlendirme neticesinde uzmanların verdikleri puanların geometrik ortalaması alınarak ilgili firmanın ilgili kıstasa göre performansları belirlenmiştir. Bu verilerin bir matris altında birleştirilmesiyle Tablo 8'de gösterilen başlangıç karar matrisi elde edilmiştir. Her bir sütun, seçenekleri gösterirken, her bir satır, seçeneklerin ilgili kıstasa göre aldığı performans değerlerini göstermektedir.

Tablo 8. Başlangıç Karar Matrisi

Kıstaslar	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
C1	4,152	3,957	4,309	4,472	3,813	3,464	3,634
C2	4,817	5,000	4,309	5,000	4,642	3,634	4,817
C3	3,957	4,642	3,464	4,309	4,309	3,026	3,147
C4	4,472	4,817	3,595	5,000	5,000	2,570	5,000
C5	3,772	3,957	4,309	4,309	4,152	3,175	2,828
C6	4,817	4,309	4,152	4,263	3,957	3,238	3,295
C7	4,152	4,642	5,000	4,817	4,472	3,000	3,000
C8	4,642	4,424	5,000	5,000	4,817	3,175	2,621
C9	3,772	3,839	4,642	5,000	4,472	4,063	4,472
C10	4,642	4,642	4,472	4,817	4,642	3,238	2,449
C11	4,592	4,263	4,472	4,472	4,309	4,472	3,873

4.3. MOORA-Oran Yaklaşımına Göre Web Sitesi Kalitesinin Belirlenmesi

Tablo 8'de verilen karar matrisi, (8) numaralı Eşitlik kullanılarak normalize edilmiştir. Yani kıstasların aldıkları değerlerin 0-1 arasında olması sağlanmıştır. (9) numaralı Eşitlik kullanılarak firmaların web sitelerinin performans değerleri elde edilmiştir. Normalize edilmiş matris ve firmaların MOORA-Oran Yaklaşımına göre web sitesi performans değerleri Tablo 9'da verilmiştir. MOORA-Oran Yaklaşımına göre A4 ve A5 firmaları 1. ve 2. sırayı alırken, son sırayı A6 firması almıştır. Sıralama A4>A5>A2>A1>A3> A7>A6 şeklinde gerçekleşmiştir.

Tablo 9. MOORA-Oran Yaklaşımına Göre Sıralama

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
C1	0,394	0,375	0,409	0,424	0,362	0,328	0,345
C2	0,394	0,409	0,352	0,409	0,379	0,297	0,394
C3	0,385	0,452	0,337	0,420	0,420	0,295	0,307
C4	0,381	0,410	0,306	0,426	0,426	0,219	0,426
C5	0,373	0,391	0,426	0,426	0,410	0,314	0,280
C6	0,451	0,403	0,389	0,399	0,370	0,303	0,308
C7	0,371	0,415	0,447	0,431	0,400	0,268	0,268

Tablo 9. MOORA-Oran Yaklaşımına Göre Sıralama (*devam*)

C8	0,405	0,386	0,436	0,436	0,420	0,277	0,229
C9	0,328	0,334	0,404	0,435	0,389	0,354	0,389
C10	0,416	0,416	0,401	0,432	0,416	0,290	0,220
C11	0,398	0,370	0,388	0,388	0,374	0,388	0,336
Performans	4,297	4,363	4,296	4,626	4,367	3,334	3,501
Sıralama	4	3	5	1	2	7	6

4.4. MOORA-Önem Katsayısı Yaklaşımına Göre Web Sitesi Kalitesinin Belirlenmesi

Eşitlik (10) kullanılarak web sitelerinin kalite noktasında performansı hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler büyükten küçüğe doğru sıralanarak Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. MOORA-Önem Katsayısı Yaklaşımına Göre Sıralama

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	w _j
C1	0,021	0,020	0,022	0,023	0,020	0,018	0,019	0,0540
C2	0,011	0,011	0,010	0,011	0,010	0,008	0,011	0,0270
C3	0,013	0,015	0,011	0,014	0,014	0,010	0,010	0,0332
C4	0,052	0,056	0,042	0,058	0,058	0,030	0,058	0,1367
C5	0,011	0,011	0,012	0,012	0,012	0,009	0,008	0,0283
C6	0,069	0,061	0,059	0,061	0,056	0,046	0,047	0,1524
C7	0,052	0,058	0,063	0,061	0,056	0,038	0,038	0,1408
C8	0,061	0,058	0,065	0,065	0,063	0,041	0,034	0,1497
C9	0,005	0,005	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,0139
C10	0,045	0,045	0,043	0,046	0,045	0,031	0,024	0,1076
C11	0,062	0,058	0,061	0,061	0,058	0,061	0,053	0,1564
Performans	0,401	0,398	0,394	0,418	0,398	0,297	0,306	
Sıralama	2	3	5	1	4	7	6	

Bu yaklaşımda AHS ile hesaplanan kıstasların ağırlıkları dikkate alınmıştır. MOORA-Oran Yaklaşımında olduğu gibi MOORA-Önem Katsayısı Yaklaşımına göre de A4'ün 1. ve A6 firmasının da 7. sırayı aldığı belirlenmiştir. Bir önceki yaklaşıma göre A1 ve S5 seçeneklerinin yer değiştirdiği gözlenmiştir. Sıralama A4>A1>A2>A5>A3>A7>A6 şeklinde gerçekleşmiştir.

4.5. MOORA-Referans Noktası Yaklaşımına Göre Web Sitesi Kalitesinin Belirlenmesi

Eşitlik (11) ve (12) kullanılarak web sitelerinin performans değeri hesaplanmıştır. r_j , j. kıstasın en büyük değerini göstermektedir. r_j değerinden her bir seçeneğin aynı indisli kıstasa göre olan değeri çıkarılır ve mutlak değeri alınır. Bir sonraki adımda seçeneklerin değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanır ve ilk sıradaki seçenek en uygun alternatif olarak değerlendirilir. Tablo 11'de hesaplanan değerler ve seçeneklerin sıralanması verilmiştir.

Tablo 11. MOORA-Referans Noktası Yaklaşımına Göre Sıralama

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	r _j
C1	0,030	0,049	0,015	0,000	0,062	0,096	0,079	0,424
C2	0,015	0,000	0,056	0,000	0,029	0,112	0,015	0,409
C3	0,067	0,000	0,115	0,032	0,032	0,157	0,146	0,452
C4	0,045	0,016	0,120	0,000	0,000	0,207	0,000	0,426
C5	0,053	0,035	0,000	0,000	0,016	0,112	0,146	0,426
C6	0,000	0,048	0,062	0,052	0,080	0,148	0,142	0,451
C7	0,076	0,032	0,000	0,016	0,047	0,179	0,179	0,447
C8	0,031	0,050	0,000	0,000	0,016	0,159	0,208	0,436
C9	0,107	0,101	0,031	0,000	0,046	0,082	0,046	0,435
C10	0,016	0,016	0,031	0,000	0,016	0,142	0,212	0,432
C11	0,000	0,029	0,010	0,010	0,025	0,010	0,062	0,398
Performans	0,107	0,101	0,120	0,052	0,080	0,207	0,212	
Sıralama	4	3	5	1	2	6	7	

MOORA-Referans Noktası Yaklaşımına göre A4 firmasının web sitesi 1. sırayı alırken, son sırayı A7 firması almıştır. Sıralama A4>A5>A2>A1>A3>A6>A7 şeklinde gerçekleşmiştir. Önceki yaklaşımlarda da ortaya konduğu gibi bu yaklaşımda da A4 seçeneği ilk sırayı almıştır.

4.6. Önem Katsayısı Dikkate Alınarak Referans Noktasına Göre Web Sitesi Kalitesinin Belirlenmesi

Bu yaklaşımda kıstasların ağırlıkları sürece dâhil edilmiştir. Eşitlik (12) ve (13) kullanılarak web sitelerinin performansı hesaplanmıştır. Hesaplanan bu performans değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanmıştır. İlk sıradaki seçenek en iyi alternatif olarak değerlendirilmiştir. Tablo 12'de hesaplanan performans değerleri ve seçeneklerin sıralaması verilmiştir.

Önem katsayısı dikkate alınarak MOORA-Referans Noktası Yaklaşımında önceki yaklaşımlardan farklı olarak A2 firmasının web sitesinin 1. sırayı aldığı belirlenmiştir. Son sırayı ise MOORA-Referans Yaklaşımında olduğu gibi A7 seçeneği almıştır. Önceki tüm yaklaşımlarda 1. sırayı yerleşen A4 seçeneğinin bu uygulamada 2. sıraya indiği görülmüştür. Sıralama A2>A4>A1>A5>A3>A6>A7 şeklinde gerçekleşmiştir.

Tablo 12. Önem Katsayısı Dikkate Alınarak MOORA-Referans Noktası Yaklaşımına Göre Sıralama

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
C1	0,002	0,003	0,001	0,000	0,003	0,005	0,004
C2	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,003	0,000
C3	0,002	0,000	0,004	0,001	0,001	0,005	0,005
C4	0,006	0,002	0,016	0,000	0,000	0,028	0,000
C5	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003	0,004
C6	0,000	0,007	0,009	0,008	0,012	0,023	0,022
C7	0,011	0,005	0,000	0,002	0,007	0,025	0,025
C8	0,005	0,008	0,000	0,000	0,002	0,024	0,031
C9	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
C10	0,002	0,002	0,003	0,000	0,002	0,015	0,023
C11	0,000	0,004	0,002	0,002	0,004	0,002	0,010
Kalite Değerleri	0,011	0,008	0,016	0,008	0,012	0,028	0,031
Sıralama	3	1	5	2	4	6	7

4.7. Tam Çarpım Yaklaşımına Göre Web Sitesi Kalitesinin Belirlenmesi

Bu yaklaşımda minimizasyon yönlü kıstas olmadığından sadece Eşitlik (15) kullanılarak web sitelerinin performans değerleri hesaplanmıştır. Web sitelerinin sıralarının belirlenmesi için performans değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanarak Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13. Tam Çarpım Formu Yaklaşımına Göre Sıralama

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Performans	9.965.322	11.768.449	9.600.909	22.956.476	12.072.680	563.996	856.031
Sıralama	4	3	5	1	2	7	6

Bu yaklaşımın sonucuna göre en iyi web sitesinin önceki birçok yaklaşımda da ortaya konduğu gibi A4 firmasına ait olduğu görülmüştür. İşletmelerin web sitelerinin kalitesine göre sıralanmasının A4>A5>A2>A1>A3>A7>A6 şeklinde olduğu ortaya konmuştur.

4.8. MULTIMOORA Yaklaşımına Göre Web Sitesi Kalitesinin Belirlenmesi

MOORA-Oran, MOORA-Referans Noktası ve MOORA-Çarpım Formu Yaklaşımlarının sonucunda yapılan sıralamaların "Sıra Baskınlık Teorisine" göre değerlendirilerek tek bir sıralamada birleştirilmesi ile MULTIMOORA sıralaması oluşturulmuştur. Bu sıralama Tablo 14'de verilmiştir.

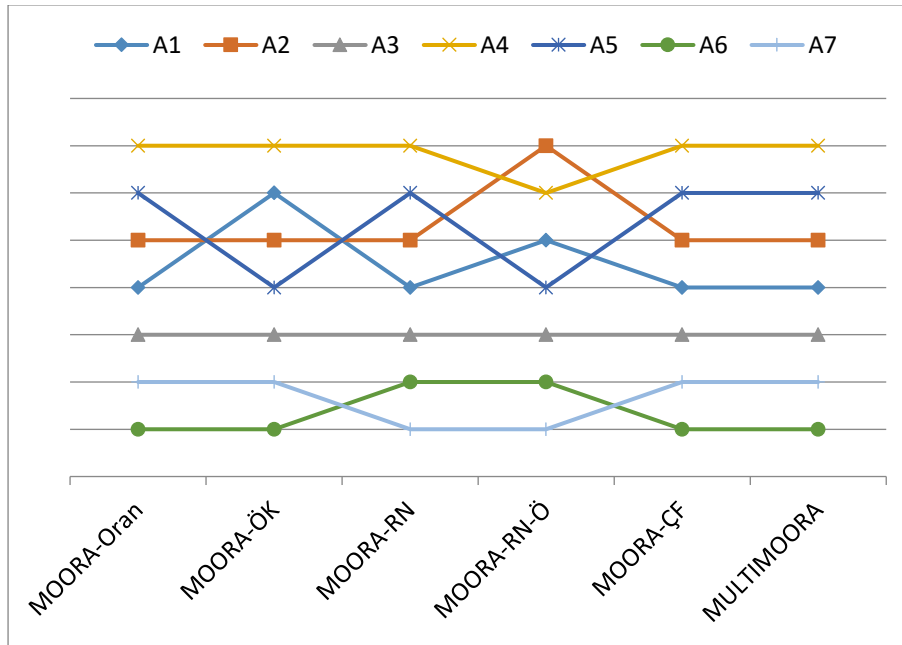
Tablo 14. MULTIMOORA Yaklaşımına Göre Sıralama

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
MOORA-Oran	4	3	5	1	2	7	6
MOORA-Referans Noktası	4	3	5	1	2	6	7
MOORA-Çarpım Formu	4	3	5	1	2	7	6
MULTIMOORA	4	3	5	1	2	7	6

MULTIMOORA yaklaşımına göre A4 firmasının web sitesinin kalite noktasında en iyi performansı gösterdiği belirlenmiştir. Firmaların web site kalitesine göre nihai sıralanması A4>A5>A2>A1>A3>A7>A6 şeklinde gerçekleşmiştir. MOORA yaklaşımlarına göre yapılan seçeneklerin sıralanması Tablo 15'de verilmiş ve çizgi grafiği formatında da Şekil 1'de gösterilmiştir.

Tablo 15. MOORA-Yaklaşımları Sıralaması

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
MOORA-Oran	4	3	5	1	2	7	6
MOORA-Önem Katsayısı	2	3	5	1	4	7	6
MOORA-Referans Noktası	4	3	5	1	2	6	7
MOORA-Referans Noktası-Önem	3	1	5	2	4	6	7
MOORA-Çarpım Formu	4	3	5	1	2	7	6
MULTIMOORA	4	3	5	1	2	7	6



Şekil 1. Seçeneklerin Performansının Çizgi Grafiği

Tablo 15 ve Şekil 1 birlikte değerlendirildiğinde A4 seçeneğinin kıstasların önem katsayılarının dikkate alındığı MOORA-Referans Noktası Yaklaşımı dışındaki yöntemlerde ilk sıraya aldığı görülmektedir. Son sıralara ise dönüşümlü olarak A6 ve A7 seçeneğinin yerleştiği görülmektedir. A3 seçeneğinin tüm yöntemlere göre 5. pozisyonu aldığı belirlenmiştir. A2 seçeneğinin MOORA-Referans Noktası-Önem Katsayısı dışındaki diğer tüm yaklaşımlarda 3. sırayı aldığı ortaya konmuştur. A1 ve A5 seçeneklerinin 2. ile 4. sıralar arasında dönüşümlü olarak pozisyon aldıkları görülmektedir. Bu çalışmanın ortaya koyduğu sonuç şu olmuştur: A6 ve A7 seçenekleri zaman geçirmeden gerekli tedbirleri alarak web sitelerini iyileştirmeleri gerekmektedir.

5. Sonuç

İşletmelerin temel amaçları arasında yeni müşteriler kazanmak ve mevcut müşterileri kaybetmemek düşüncesi yatmaktadır. Bu durum lojistik sektöründe faaliyette bulunan firmalar içinde geçerli olmaktadır. Bu açıdan bakıldığında potansiyel müşterilerin firmayı profesyonel olarak algılamalarında web sitelerinin önemi çok daha artmaktadır.

Fortune 500'de yer alan yedi lojistik firmasının web siteleri, 6 kişiden oluşan uzman grup tarafından "algısal açıklık, dikkat odaklama, işlevlerin görünebilirliği", "bilgi zenginliği", "görsel çekicilik", "güncellik", "içerik, serbest kaynaklar vs.nin yararları ve kalitesi", "kullanım kolaylığı", "müşteri ilişkileri", "online sipariş kabul", "özel misyon ya da web sitesi amaçları", "ürün kataloğu" ve "yabancı dil seçenekleri" kıstasları dikkate alınarak ÇKKV yöntemlerinden AHS ve MULTIMOORA ile değerlendirilmiştir.

Kıstasların ağırlıkları AHS ile belirlenmiştir. Önem katsayısı en yüksek olan kıstas 0,156 ile "yabancı dil seçeneği" olurken, ikinci sırada ise 0152 ile "kullanım kolaylığı" ve üçüncü sırada ise 0150 ile "online sipariş kabul" yer almıştır. 0,014 ile "özel misyon ya da web sitesi amaçları" kıstası ise son sırada yer almıştır.

Uzmanların firmaların web sitelerini belirlenen kıstaslara göre değerlendirilmesi neticesinde ortaya konan veriler, MOORA ve türevleri olan beş farklı yaklaşımla ile analiz edilmiştir.

MOORA-Referans Noktası-Önem Katsayısı Yaklaşımı dışındaki tüm yaklaşımlarda A4 seçeneği birinci sırayı alırken adı geçen yaklaşımda da 2. sıraya yerleşmiştir. A3 seçeneği tüm yaklaşımlara göre 5. sırayı elde etmiştir. A6 ve A7 seçeneklerinin kendi aralarında 6. ya da 7. sıraya farklı yaklaşımlara göre yerleştikleri görülmüştür. A2 seçeneği her zaman ilk üç seçenek içerisinde yer almıştır. A1 ve A5 seçeneklerinin 2., 3. veya 4. sıraları farklı yaklaşımlara göre aldıkları belirlenmiştir. MOORA yöntemlerinin özeti sayılan MULTIMOORA Yaklaşımına göre ise 7 firma içerisinde web sitesi en etkin olanın A4 olduğu anlaşılmıştır. MULTIMOORA Yaklaşımına göre firmaların sıralaması $A4 > A5 > A2 > A1 > A3 > A7 > A6$ şeklinde gerçekleşmiştir. MULTIMOORA Yaklaşımının bu uygulamada başarılı olduğu görülmüştür.

Son sıralara yerleşen A6 ve A7 firmalarının web siteleri, firma yönetim tarafından acilen gözden geçirilerek etkin hale getirilmesi sağlanmalıdır. A6 firması için özellikle "güncellik", "kullanım kolaylığı", "müşteri ilişkileri" ve "online sipariş kabul" kıstaslarının kalitesinin mutlaka iyileştirilmesi gerekmektedir. A7 firması da "kullanım kolaylığı", "müşteri ilişkileri", "online sipariş kabul" ve "ürün kataloğu" kıstaslarını zaman kaybetmeden gözden geçirmelidir.

Elde edilen bulgular, performans ölçümü ve değerlendirmesi ile ilgili yapılacak çalışmalarda, AHS-MULTIMOORA yöntemlerinin bütünleşik olarak kullanılmasının iyi bir araç olabileceğini göstermektedir. İleride yapılacak çalışmalarda lojistik firmalarının web siteleri MULTIMOORA yöntemiyle farklı kıstaslara göre de değerlendirilebilir. Ayrıca AHS, AAS, COPRAS, EDAS ve WASPAS gibi yöntemlerle de aynı kıstaslar ya da farklı kıstaslara göre lojistik firmalarının web siteleri analiz edilebilir ve sonuçlar karşılaştırılabilir.

Referanslar

- Akıncılar, A., & Dağdeviren, M. (2014). A Hybrid Multi Criteria Decision Making Model To Evaluate Hotel Websites, *International Journal of Hospitality Management*, 36, 263-271.
- Alptekin, N., Hall, E. E., & Sevim, N. (2015). Evaluation Of Websites Quality Using Fuzzy TOPSIS Method, *International Journal of Academic Research in Business And Social Sciences*, 5(8), 221-242.
- Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2006). The Moora Method And Its Application To Privatization in A Transition Economy, *Control And Cybernetics*, 35(2), 445-469.
- Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2010). Project Management By MULTIMOORA As An Instrument For Transition Economies, *Technological And Economic Development of Economy*, (1), 5-24.
- Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2012). Robustness of MULTIMOORA, A Method For Multi-Objective Optimization, *Informatica*, 23(1), 1-25.
- Brauers, W. K., & Zavadskas, E. K. (2013). Multi-Objective Decision Making With A Large Number Of Objectives. An Application For Europe 2020, *International Journal of Operations Research*, 10(2), 67-79.
- Büyüközkan, G., Çifçi G., & Güleriyüz, S. (2011). Strategic Analysis of Healthcare Service Quality Using Fuzzy AHP Methodology, *Expert Systems With Applications*, 38, 9407-9424.
- Büyüközkan, G., & Güleriyüz, S. (2016). Lojistik Firma Web Sitelerinin Performanslarının Çok Kriterli Değerlendirilmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(4), 889-902.
- Chakraborty, S. (2011). Applications Of The Moora Method For Decision Making In Manufacturing Environment, *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 54(9), 1155-1166.
- Cheng, Y.H. (2011). Evaluating Web Site Service Quality in Public Transport, Evidence From Taiwan High Speed Rail, *Transportation Researchpart C*, 19, 957-974.
- Chiang, C., Lee, C. C., & Tzeng, G. H. (2009). A Non-Additive Model For The Evaluation Of Portal Website Service Quality, *Journal Of The Chinese Institute Of Industrial Engineers*, 26(5), 355-366.
- Chou W.C., & Cheng Y.P. (202). A Hybrid Fuzzy MCDM Approach For Evaluating Website Quality Of Professional Accounting Firms, *Expert Systems With Applications*, 39, 2783-2793.
- Dey, B., Bairagia, B., Sarkar, B., & Sanyal, S. (2012). A MOORA Based Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Approach For Supply Chain Strategy Selection, *International Journal Of Industrial Engineering Computations*, 3, 649-662.
- Dündar, S., Ecer, F., & Özdemir, Ş. (2007). Fuzzy TOPSIS Yöntemi ile Sanal Mağazaların Web Sitelerinin Değerlendirilmesi, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(1), 287-305.

- Ecer, F. (2014). A Hybrid Banking Websites Quality Evaluation Model Using AHP And COPRAS-G, A Turkey Case, *Technological And Economic Development Of Economy*, 20(4), 758-782.
- Ecer, F. (2018). An Integrated Fuzzy AHP And ARAS Model To Evaluate Mobile Banking Services, *Technological And Economic Development Of Economy*, 24(2), 670-695.
- Gadakh, V. S. (2011). Application Of MOORA Method For Parametric Optimization Of Milling Process, *International Journal Of Applied Engineering Research*, Dindigul, 1(4), 743-758.
- Kaya, T., & Kahraman, C. (2011). A Fuzzy Approach To E-Banking Website Quality Assessment Based On An Integrated AHP-ELECTRE Method, *Technological And Economic Development Of Economy*, 17(2), 313-334.
- Kuo, Y., Yang, T., & Huang, G.W. (2008). The Use Of Grey Relational Analysis In Solving Multiple Attribute Decision-Making Problems, *Computers & Industrial Engineering*, 55, 80-93.
- Lambert, D. M., James R. Stock, Lisa M. Ellram (1998). *Fundamentals Of Logistics Management*, USA, Irwin -Hill.
- Lian, T., Yu, C., Wang, Z., & Hou, Z. (2017). The Evaluation Study On Tourism Websites, From The Perspective Of Triangular Intuitionistic Fuzzy Multiple Attribute Group Decision Making, *Journal Of Applied Statistics*, 44(16), 2877-2889.
- Mandal, U. K., & Sarkar, B. (2012). Selection Of Best Intelligent Manufacturing System Under Fuzzy MOORA Conflicting MCDM Environment, *International Journal Of Emerging Technology And Advanced Engineering*, 2(9), 301-310.
- Özbek, A. (2015a). Akademik Birim Yöneticilerinin MOORA Yöntemiyle Seçilmesi, *Kırıkkale Üzerine Bir Uygulama*, *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 38, 1-18.
- Özbek, A. (2015b). Efficiency Analysis Of Foreign-Capital Banks in Turkey By OCRA and MOORA, *Research Journal of Finance And Accounting*, 6(13), 21-30.
- Özbek, A. (2017). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü. Ankara, 1. Baskı, Seçkin Yayıncılık.
- Özbek, A., & Eren, T. (2013). Multiple Criteria Decision Making Methods For Selecting Third Party Logistics Firms, *A Literatur Review*, *Sigma*, 31, 178-202.
- Özbek, A., & Erol, E. (2016). Analitik Hiyerarşi Süreci ve VIKOR Yöntemleriyle İşgören Seçimi, *Tekstil Sektöründe Bir Uygulama*, *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(1), 93-108.
- Özbek, A., & Engür, M. (2018). EDAS Yöntemi ile Lojistik Firma Web Sitelerinin Değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 21(2), 417-429.
- Özgüven, N. (2012). PROMETHEE Sıralama Yöntemi ile Özel Alışveriş Siteleri Üzerine Bir Araştırma, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 27, 195-201.
- Saaty, T. L. (1994). *Fundamentals Of Decision Making And Priority Theory With The Analytical Hierarchy Process*. Pittsburg, Rws Publ.
- Stanujkic, D. & Jovanovic, R. (2012). Measuring A Quality Of Faculty Website Using ARAS Method, *Contemporary Issues In Business, Management And Education*, Issn 2029-7963/Isbn 978-609-457-323-1 Doi, 10.3846/Cibme.2012.45.
- Stanujkic, D., Magdalino, N., Stojanovic, S., & Jovanovic, R. (2012). Extension Of Ratio System Part Of MOORA Method For Solving Decision-Making Problems With Interval Data, *Informatica*, 23(1), 141-154.
- Tdk (2018), [Http://www.tdk.gov.tr/](http://www.tdk.gov.tr/)(Erişim Tarihi, 10.07.2018).
- Tsai, W. H., Chou, W. C., & Leu, J. D. (2011). An Effectiveness Evaluation Model For The Web-Based Marketing Of The Airline Industry, *Expert Systems With Applications*, 38(12), 15499-15516.
- Tsai, W.H., Chou, W.C., & Lai, C.W. (2010). An Effective Evaluation Model And Improvement Analysis For National Park Websites, *A Case Study Of Taiwan*, *Tourism Management*, 31, 936-952.
- Wahyuningrum, T., Rokhman, N., & Musdholifah, A. (2017). Algorithm Comparison Performance In Assessing The Quality Of University Websites, In *New Media Studies (Conmedia)*, 2017 4th International Conference On (Pp. 19-24). IEEE.

Wu, H. H. (2006). A Comparative Study Of Using Grey Relational Analysis In Multiple Attribute Decision Making Problems, *Quality Engineering*, 15(2), 209-217.

Zaim, H., Ramdani, M., & Haddi, A. (2016). Multi-Criteria Analysis Approach Based On Consumer Satisfaction To Rank B2c E-Commerce Websites, In *Intelligent Systems, Theories And Applications (Sita)*, 2016 11th International Conference On (Pp. 1-6). IEEE.



Çekirge Optimizasyon Algoritmasını Kullanarak Eliptik Anten Dizisinin Optimum Tasarımı

Optimum Design of Elliptical Antenna Array Using Grasshopper Optimization Algorithm

Ali Durmuş¹

¹Kayseri Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, 380030, Kayseri, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 25/12/2019

Kabul / Accepted: 05/05/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Günümüzde araştırmacılar, modern haberleşme uygulamalarında bulunan birçok optimizasyon problemlerini çözmek için farklı sezgisel optimizasyon algoritmalarına ilgi duymaktadır. Bu kapsamda Çekirge Optimizasyon Algoritması, literatürde yerini almış bir sürü optimizasyon algoritmasıdır. Önerilen bu yöntem, çekirge sürülerinin doğadaki optimizasyon problemlerini çözmek için davranışlarını taklit eden matematiksel bir modelidir. Eliptik anten dizi sentezi son zamanlarda anten dizi tasarımı çalışmaları içerisinde yerini almış ve oldukça da popüler bir alan haline gelmektedir. Bu çalışmada Çekirge Optimizasyon Algoritması ile farklı sayıda dizi elemanına sahip eliptik anten dizilerinin sentezi gerçekleştirilmiştir. Dizi elemanlarının optimum genlik değerlerini belirlemek için Çekirge Optimizasyon Algoritması kullanılarak, eliptik anten dizi tasarımı yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmada maksimum yan demet seviyesi ve yarı demet güç genişliği gibi parametrelerde optimizasyon problemleri içerisine dahil edilmiştir. Çekirge Optimizasyon Algoritması ile bulunan sonuçlar, Simbiyotik Organizmalar Arama algoritmasıyla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Anten dizi sentezi, eliptik diziler, çekirge optimizasyon algoritması”

Abstract

Nowadays, Researchers are interested in new heuristic algorithms for optimization problems in many modern communications applications. Within this scope Grasshopper Optimization Algorithm is a newly released optimization algorithm. The proposed method is a mathematically models which mimics the behavior of grasshopper swarms in nature for solving optimization problems. Elliptical antenna array design has recently become a very popular field of antenna array studies. In this work, Grasshopper Optimization Algorithm is used to synthesis of elliptical antenna arrays having different number of array elements. For the purpose of elliptical antenna array synthesis, Grasshopper Optimization Algorithm is employed for determine the optimum amplitudes of the array elements. In this paper, the problems are solved by using antenna array synthesis together with maximum sidelobe levels and half-power beam width constraints. The results obtained by Grasshopper Optimization Algorithm are compared with Symbiotic Organisms Search Algorithm.

Key Words

“Antenna arrays synthesis, elliptical arrays, grasshopper optimization algorithm”

1. Giriş

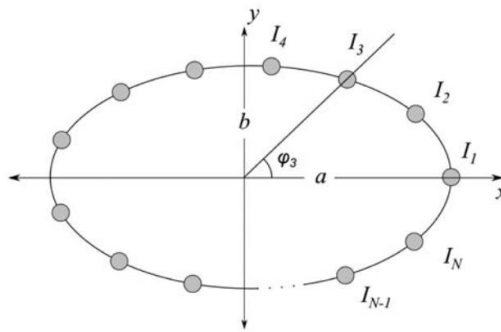
Anten dizileri tekli antenlere oranla daha yüksek kazanç ve yönlendirme sağladıklarından radar, haberleşme, navigasyon ve savunma sistemleri gibi birçok farklı alanda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Balanis,1997). Ayrıca anten dizileri ile bazı yönlerdeki sinyaller bastırılabilir ve diziyi mekanik olarak hareket ettirmeye gerek kalmadan belirli yönlerde sinyalleri iletmek ya da almak için elektronik olarak yönlendirilebilirler (Balanis,1997). Haberleşme sistemlerinin performansı, etkin bir anten dizi tasarımına büyük oranda bağlıdır. Etkin bir anten dizisi için de genlik, yer ve faz gibi dizi elemanlarının parametrelerinin optimize edilmesi gerekmektedir. Anten dizilerinin ışın diyagramları dizi elemanlarının genlik, yer ve faz parametrelerinin belirlenmesiyle ortaya çıkmaktadır. İstenilen ışın diyagramına sahip anten dizilerinin tasarımı literatürde oldukça ilgi çekmektedir (Yuan&Su, 1991; Lotfi Neyestanak vd., 2008; Sharaqa&Dib, 2013; Zare, 2013; Dib vd., 2019; Amaireh, vd., 2020). Anten dizileri birçok farklı geometriye sahip olabilmektedirler. Genellikle geometrik yapılarına göre doğrusal, dairesel, eliptik, eş merkezli dairesel anten dizileri gibi isimler almaktadırlar. Eliptik anten dizileri ise son yıllarda yoğun olarak üzerinde çalışılan bir araştırma konusudur. Literatürde doğrusal ve dairesel diziler ile ilgili birçok çalışma mevcut iken eliptik anten dizileri ile ilgili yeterince yayın yoktur. Bunun bir nedeni ise eliptik anten dizilerinin sentezi, doğrusal ve dairesel anten dizilerine oranla daha zor olmasındandır. Anten dizi sentezinde birçok farklı metod kullanılmaktadır (Sharaqa&Dib, 2014; Guney&Durmuş, 2016; Saremi, vd.,2017; Rao, vd., 2016; Guo, vd., 2019). Ancak son yıllarda yazılım ve sezgisel algoritmalarındaki gelişmeler ile birlikte klasik yöntemlerin yerini modern metotlar almıştır. Sezgisel algoritmaların optimizasyon problemlerine kolay uygulanabilir olması ve esnek bir yapıda olmaları bu metotları klasik yöntemlere göre daha popüler hale getirmiştir. Anten dizisi sentezi konusundaki çalışmaların çoğu, doğrusal ve dairesel anten dizilerine odaklanmaktadır. Bununla birlikte, dairesel anten dizilerinin ışın özelliklerinin eliptik anten dizisinin ışın karakteristiğine benzer olduğu iyi bilinmektedir. Ayrıca eliptik dizinin ana demeti istenilen yöne kolayca yönlendirilebilir. Eliptik anten dizileri kenar elemana sahip olmadıkları için doğrusal ve dikdörtgenel anten dizilerine oranla karşılıklı kuplajdan daha az etkilenirler (Güney&Durmuş, 2016). Eliptik anten dizi sentezi için literatürde birçok farklı yöntem kullanılmıştır (Yuan&Su, 1991; Lotfi Neyestanak vd., 2008; Sharaqa&Dib, 2013; Zare, 2013; Dib, vd., 2019; Sharaqa&Dib, 2014; Guney&Durmuş, 2016; Saremi vd.,2017; Bera&Roy, 2013; Lema, vd., 2016; Pinho&Carvalho, 2018). Bu çalışmada farklı sayıda dizi elemanına sahip eliptik anten dizilerinden istenilen ışın diyagramları elde edebilmek için dizi elemanlarının genlikleri Çekirge Optimizasyon Algoritması (Grasshopper Optimization Algorithm-GOA) kullanılarak optimum şekilde bulunmuştur. İlk olarak 8 elemanlı sonra 12 elemanlı ve son olarak da 20 elemanlı eliptik anten dizilerinin sentezi gerçekleştirilmiştir. Anten dizi sentezi yapılırken maksimum yan demet seviyesi (Maximum Sidelobe Levels-MSL) ve yarı demet güç genişliği (Half Power Beam Width-HPBW) gibi parametrelerde göz önüne alınmıştır. Bu parametreler GOA yardımı ile optimize edilmiştir. Dizilerin ışın diyagramlarının MSL ve HPBW değerleri, GOA kullanılarak kolayca kontrol edilebilir. GOA ile elde edilen sentez sonuçları Simbiyotik Organizmalar Arama (Symbiotic Organisms Search Algorithm-SOS) (Dib vd., 2019) Algoritmasının sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma, GOA algoritmasının eliptik anten dizilere uygulanması açısından önemli bir çalışmadır. Ayrıca elde edilen sonuçların literatürde var olan SOS algoritmasının sonuçları ile karşılaştırılması yapılmış ve GOA algoritması başarılı bir şekilde eliptik anten dizi sentezine uygulanmıştır.

2. Problem Formülasyonu

N elemanlı bir eliptik anten dizinin dizi faktörü aşağıdaki denklemde verilmektedir (Lotfi Neyestanak vd., 2008).

$$AF(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N I_n \cdot e^{[j.k.(x_n \cdot \sin\theta \cdot \cos\varphi + y_n \cdot \sin\theta \cdot \sin\varphi + z_n \cdot \cos\theta) + j\alpha_n]} \quad (1)$$

Bu denklemde I_n n. elemanın genlik katsayısını, α_n n. elemanın faz katsayı değerini, k dalga sayısını ve x_n, y_n, z_n n. elemanın kartezyen koordinat sistemindeki yerini göstermektedir. x-y düzlemine yerleştirilmiş N elemana sahip eliptik anten diziyi ait geometrik yapı Şekil 1'de gösterilmiştir. Buradaki a ve b değerleri sırasıyla, yarı ve ana eksen uzunluklarıdır.



Şekil 1. N elemana sahip eliptik anten dizisi.

Eşitlik 2'de verilen formülasyon eliptik anten diziyi tasarlamak için kullandığımız maliyet fonksiyonudur. Buradaki amacımız daha düşük MSL ve sabit ya da daha dar HPBW değerlerine sahip eliptik anten dizisi elde etmektir.

$$MF = W_{MSL} \cdot P_{MSL} + W_{HPBW} \cdot P_{HPBW} \quad (2)$$

Burada W_{MSL} ve W_{HPBW} maliyet fonksiyonunun ağırlık değerleridir. P_{MSL} ve P_{HPBW} sırasıyla MSL ve HPBW değerlerinin kısıtlanması için kullanılan fonksiyonlardır. P_{MSL} fonksiyonu aşağıdaki gibi formüle edilir,

$$P_{MSL} = \int_{-\pi}^{\theta_{m/1}} \vartheta_{MSL}(\theta) \cdot d\theta + \int_{\theta_{m/2}}^{\pi} \vartheta_{MSL}(\theta) \cdot d\theta \quad (3)$$

$\theta_{m/1}$ ve $\theta_{m/2}$ ana demetin her iki tarafında bulunan ilk sıfırların açılı değerlerini gösterir. $\vartheta_{MSL}(\theta)$ fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir,

$$\vartheta_{MSL}(\theta) = \begin{cases} \rho_0(\theta) - \gamma_d, & \rho_0(\theta) > \gamma_d \\ 0, & \text{diğerlerinde} \end{cases} \quad (4)$$

γ_d ifadesi MSL'nin arzu edilen değerini ve ρ_0 ise dizi faktörünün dB cinsinden değerini göstermektedir. P_{HPBW} fonksiyonu ise,

$$P_{HPBW} = \begin{cases} \tau_0 - \mu_d, & \tau_0 > \mu_d \\ 0, & \text{diğerlerinde} \end{cases} \quad (5)$$

τ_0 , GOA algoritması tarafından bulunan HPBW değerini, μ_d ise arzu edilen maksimum HPBW değerini ifade etmektedir.

3. Çekirge Sürüsü Optimizasyon Algoritması

Çekirgeler böcek familyasında yer alan canlılardır. Genellikle tarımsal ürünlere verdikleri hasarlar nedeniyle zararlı olarak kabul edilirler. Çekirgelerin yaşam döngüsü Şekil 2'de gösterilmiştir. Çekirgeler doğada ayrı ayrı görüldüğü gibi büyük sürüler halinde de görülmektedirler. Çekirge sürüleri atlayan ve yuvarlanan silindirler gibi hareket ederler. Çekirge optimizasyon algoritması yeni ortaya çıkmış ve optimizasyon problemlerinde oldukça geniş kullanım alanına sahip bir algoritmadır. Bu algoritma çekirge sürüsünün davranışını taklit eden ve bunu matematiksel olarak modelleyen sürüye dayalı doğadan esinlenmiş bir optimizasyon algoritmasıdır (Saremi vd.,2017).



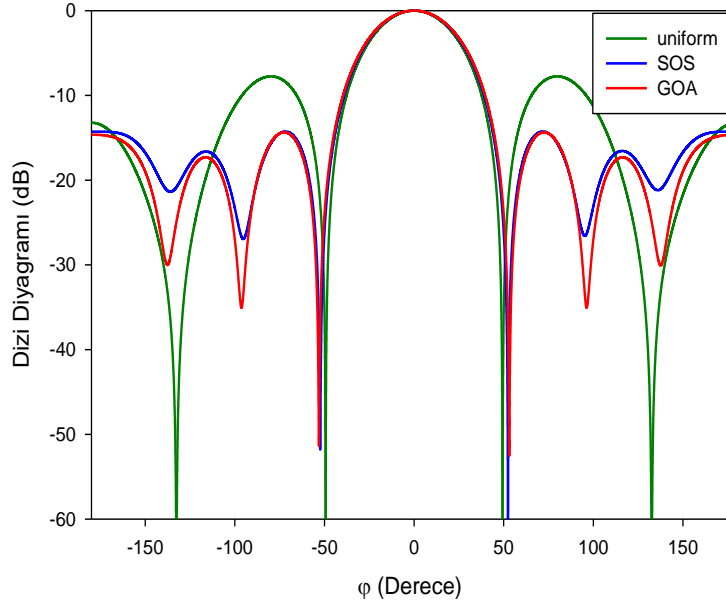
Şekil 2. Çekirgenin yaşam döngüsü.

Önerilen bu algoritmada çekirgeler, çözüm uzayında optimizasyon problemi için en uygun çözümü ararlar. İlk olarak çekirgeler aramaya başladığı noktaların yakınında arama yaparken daha sonra geniş bir alanda serbest arama gerçekleştirmektedirler. GOA algoritması ile ilgili detaylı bilgi (Saremi vd.,2017)'da yer almaktadır.

4. Analiz Bulguları

Bu çalışmada tüm simülasyonlar 2.6 GHz i5 işlemcili ve 8 Gb RAM'li bir bilgisayarda yapıldı. GOA'yı uygulamak için kullanılan yazılım MATLAB'dir. GOA algoritmasının popülasyon parametresi 30'a sabitlenmiştir. Anten dizi sentezi problemlerinin temel amacı, istenilen ışımaya özelliklerine sahip bir diyagram elde edebilmek için en düşük MSL ve HPBW değerlerine sahip anten dizisi tasarlamaktır. Arzu edilen ışımaya özelliklerine, düşük MSL ve HPBW değerlerine sahip eliptik anten dizi elemanlarının genlikleri GOA kullanılarak belirlenmiştir. 8, 12 ve 20 elemana sahip eliptik anten dizilerinin sentezi bu çalışmada yapılmıştır.

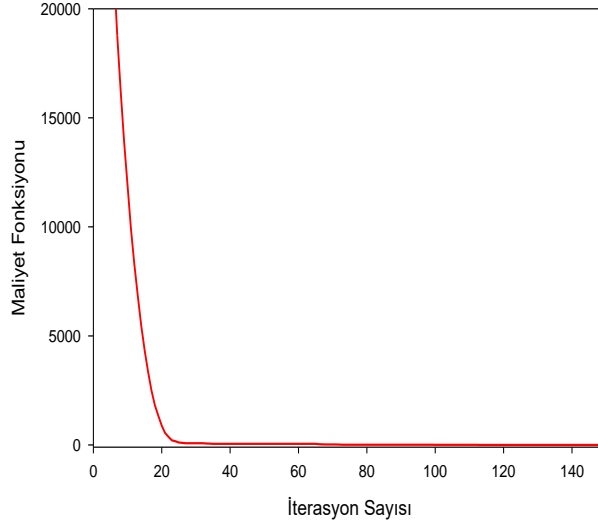
İlk örnekte, 8 elemanlı eliptik bir anten dizisinin genlik değerleri GOA tarafından elde edilmiştir. GOA, SOS (Dib vd., 2019) ve uniform olarak elde edilen ışımaya diyagramları Şekil 3'de gösterilmiştir. Tablo 1'de ise 8 elemanlı eliptik dizi için GOA, SOS (Dib vd., 2019) ve uniform tarafından elde edilen MSL ve HPBW değerleri verilmiştir. Tablo 1 ve Şekil 3'e göre GOA ile elde edilen ışımaya diyagramının MSL değeri SOS (Dib vd., 2019) algoritmasının değerinden daha iyidir. HPBW değerine bakacak olursak her iki algoritmanın değerleri aynıdır. Bu örnek için elde edilen yakınsama eğrisi Şekil 4'de verilmiştir. Bu şekilde göre yaklaşık 70 iterasyonda optimizasyon tamamlanmıştır.



Şekil 3: 8 elemanlı eliptik anten dizinin GA ve SOS ile elde edilmiş ışımaya diyagramları

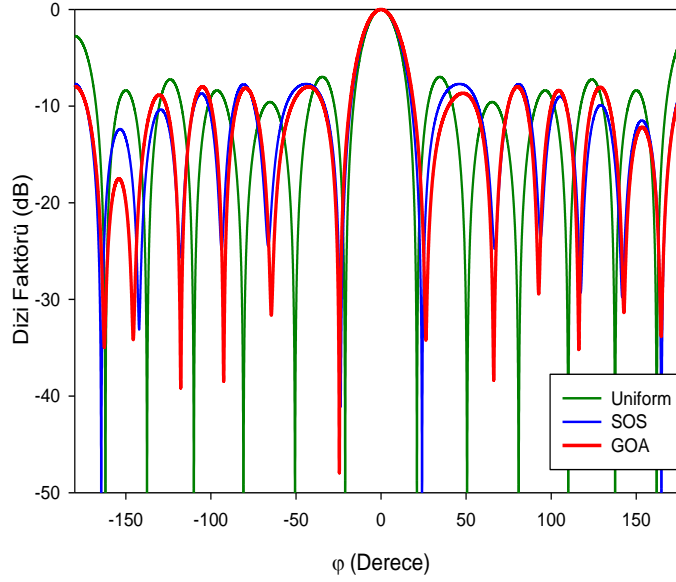
Tablo 1. 8 elemanlı eliptik dizi için GOA, SOS (Dib vd., 2019) ve uniform tarafından elde edilen MSL ve HPBW değerleri.

	GOA	SOS	Uniform
MSL (dB)	-14.36	-14.28	-7.76
HPBW (derece)	48	48	46



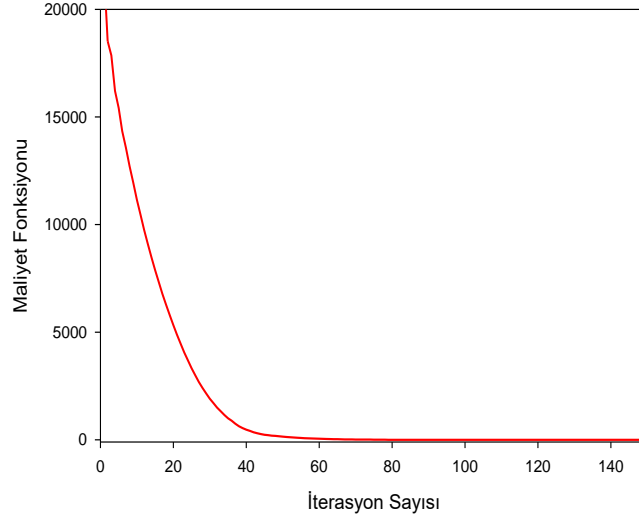
Şekil 4. 8 elemanlı eliptik anten dizi için GOA'ya ait yakınsama eğrisi

İkinci örnekte 12 elemanlı eliptik anten dizisi ele alınmıştır. GOA, SOS (Dib vd., 2019) tarafından elde edilen ışın diyagramları Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. GA ve SOS yöntemleri ile elde edilmiş 12 elemanlı eliptik anten dizinin ışın diyagramları.

Tablo 2'de 12 elemanlı eliptik anten dizi için GOA, SOS (Dib vd., 2019) ve uniform tarafından elde edilen MSL ve HPBW değerleri verilmiştir. Şekil 5 ve Tablo 2'den açıkça görüleceği üzere HPBW değeri sabit tutularak GOA ile daha düşük MSL değeri elde edilmiştir. Ayrıca 12 elemanlı eliptik dizi için elde edilen yakınsama eğrisi Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere yaklaşık 80 iterasyonda optimizasyon işlemi tamamlanmıştır.

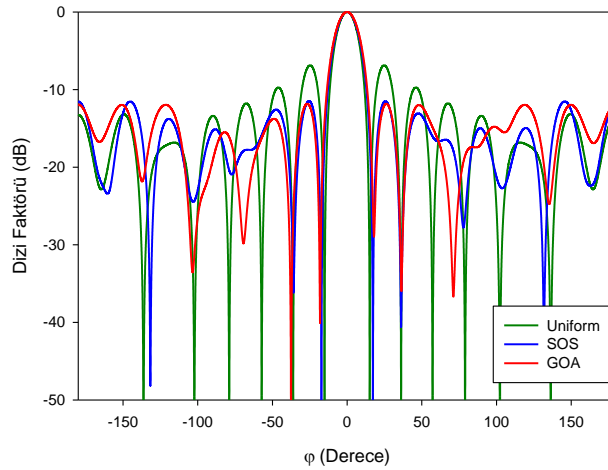


Şekil 6. 12 elemanlı eliptik anten dizi için GOA'ya ait yakınsama eğrisi

Tablo 2. 12 elemanlı eliptik dizi için GOA, SOS (Dib vd., 2019) ve uniform tarafından elde edilen MSL ve HPBW değerleri.

	GOA	SOS	Uniform
MSL (dB)	-8.01	-7.70	-2.75
HPBW (derece)	22	22	20

Üçüncü örnekte ise 20 elemanlı eliptik anten dizi sentezi yapılmıştır. GOA ve SOS (Dib vd., 2019) ile elde edilen ışınma diyagramına sahip eliptik anten dizisi Şekil 7'de gösterilmiştir.



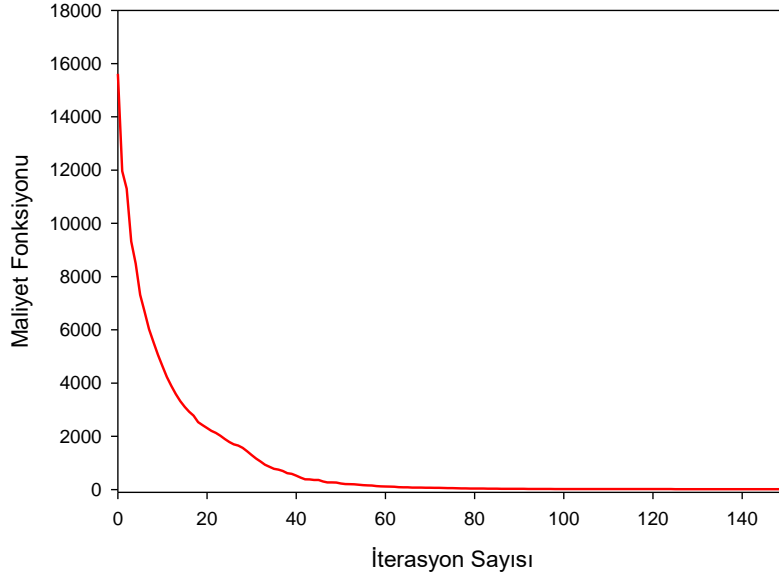
Şekil 7. GA ve SOS yöntemleri ile elde edilmiş 20 elemanlı eliptik anten dizinin ışınma diyagramları.

20 elemanlı eliptik anten dizi için GOA ve SOS (Dib vd., 2019) tarafından elde edilen HPBW ve MSL değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. 20 elemanlı eliptik dizi için GOA, SOS (Dib vd., 2019) ve uniform tarafından elde edilen MSL ve HPBW değerleri.

	GOA	SOS	Uniform
MSL (dB)	-11.84	-11.48	-6.88
HPBW (derece)	16	16	14

Tablo 3 ve Şekil 7’de görüldüğü üzere HPBW değeri sabit tutularak GOA’nın elde ettiği MSL değeri SOS (Dib vd., 2019) algoritmasının değerinden daha iyidir. 20 elemanlı eliptik anten dizi için elde edilen yakınsama eğrisi Şekil 8’de verilmiştir. Yaklaşık 90 iterasyonda optimizasyon işlemi neticelenmiştir.

**Şekil 8.** 20 elemanlı eliptik anten dizi için GOA’ya ait yakınsama eğrisi

8, 12 ve 20 elemanlı eliptik anten dizinin GOA tarafından elde edilen genlik değerleri Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. GOA tarafından elde edilen eliptik anten dizilerin genlik değerleri.

N eleman sayısı	[I ₁ , I ₂ , I ₃ ,I _N]
8 (Şekil 3)	[0.5123 0.9479 0.1443 0.9471 0.5131 0.9998 0.0736 1.0000]
12 (Şekil 5)	[1.0000 0.1998 0.2565 0.3906 0.2976 0.0686 0.9943 0.1665 0.4424 0.3873 0.2409 0.0361]
20 (Şekil 7)	[1.0000 0.6882 0.5113 0.0046 0.7341 0.2370 0.2524 0.0862 0.5352 0.1893 0.8865 0.2478 0.4687 0.0922 0.1956 0.4458 0.4730 0.2453 0.5434 0.6767]

5. Sonuçlar

Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmelere paralel olarak optimizasyon algoritmaları üzerindeki çalışmalarda oldukça hız kazanmıştır. Bu durumda artık klasik yöntemlerin yerini daha hızlı ve esnek yapıya sahip olan sezgisel optimizasyon yöntemlerini ön plana çıkarmıştır. Bu kapsamda literatüre yeni kazandırılan GOA metodu anten tasarımcıları için oldukça zor ve karmaşık bir problem olan eliptik anten dizi tasarımına uygulanmıştır. Bu çalışmada 8, 12 ve 20 elemana sahip eliptik anten dizileri GOA kullanılarak başarılı bir şekilde sentezlenmiştir. Elde edilen ışın diyagramlarının daha düşük MSL ve sabit ya da daha dar bir HPBW değerine sahip olması istenmiştir. Bu amaçla eliptik anten dizi elemanlarının optimum genlik değerleri GOA metodu ile belirlenmiştir. GOA ile bulunan genlik parametrelerine sahip ışın diyagramları literatürde mevcut SOS algoritması ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda genelde GOA yöntemi ile elde edilen MSL ve HPBW değerlerinin SOS metodu ile bulunan sonuçlardan daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bütün simülasyon sonuçları GAO'nun eliptik anten dizisi sentezinde başarıyla kullanılabilceğini göstermektedir. Ayrıca, algoritmada iyileştirmeler ya da başka algoritmalarla hibrit yapılar oluşturularak sonraki çalışmalarda daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

Referanslar

- Amairah, A. A., Dib, N. I., & Al-Zoubi, A. S. (2020). The optimal synthesis of concentric elliptical antenna arrays. *International Journal of Electronics*, 107(3), 461-479.
- Balanis, C.A. (1997). *Antenna Theory: Analysis and Design*. New York, MA: Wiley Publications.
- Bera, R., & Roy, J. S. (2013). Thinning of elliptical and concentric elliptical antenna arrays using particle swarm optimization. *Microwave Review*, 19(1), 2-7.
- Dib, N., Amairah, A., & Asem A. (2019). On the optimal synthesis of elliptical antenna arrays. *International Journal of Electronics*, 106 (1), 121-133. doi:10.1080/00207217.2018.1512658
- Guney, K., & Durmuş, A. (2016). Elliptical Antenna Array Synthesis Using Backtracking Search Optimisation Algorithm. *Defence Science Journal*, 66, 272-277. doi:10.14429/dsj.66.9583
- Guo, H., Jing, G., Dong, M., Zhang, L., & Zhang, X. (2019). Position-only synthesis of uniformly excited elliptical antenna arrays with minimum element spacing constraint. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2019(1), 253.
- Lema, G. G., Tesfamariam, G. T., & Mohammed, M. I. (2016). A novel elliptical-cylindrical antenna array for radar applications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 64(5), 1681-1688. doi:10.1109/TAP.2016.2539370
- Lotfi Neyestanak, A., Ghiamy, M., Naser-Moghaddasi, M., & Saadeghzadeh, R.A. (2008). Investigation of hybrid elliptical antenna arrays. *IET Microwaves Antennas Propagation*, 2(1), 28-34. doi:10.1049/iet-map:20070003
- Pinho, P., & Carvalho, N. (2018). Evaluation of planar elliptical antenna array with inner counter-elliptical slot. *Radioengineering*, 27(4), 937. doi: 10.13164/re.2018.0937
- Rao, A. V. L. N., Ankaiah, N. B., & Cheruku, D. R. (2016). Antenna performance improvement in elliptical array using RMI method of mutual coupling compensation. *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, 8(1), 8-21.
- Saremi, S., Mirjalili, S., & Lewis, A. (2017). Grasshopper optimisation algorithm: Theory and application. *Advances in Engineering Software*, 105, 30-47. doi:10.1016/j.advengsoft.2017.01.004
- Sharaqa, A., & Dib, N. (2013). Position-only side lobe reduction of a uniformly excited elliptical antenna array using evolutionary algorithms. *IET Microwaves, Antennas Propagation*, 7(6), 452-457. doi: 10.1049/iet-map.2012.0541
- Sharaqa, A., & Dib, N. (2014). Design of linear and elliptical antenna arrays using biogeography based optimization. *Arabian J. Sci. Eng.*, 39(4), 2929-2939. doi:10.1007/s13369-013-0794-8
- Yuan, H. & Su, C.W. (1991). Characteristics of frequency scanning elliptical array, *IEEE in Antennas and Propagation Society International Symposium*, Ontario, Canada, June, 1416-1419. doi:10.1109/APS.1991.175115
- Zare A. (2013). Elliptical antenna array pattern synthesis with fixed side lobe level and suitable main beam beamwidth by genetic algorithm. *Majlesi J. Telecommun. Dev.*, 1(4), 113-120.



İnşaat Mühendisliğinde Teknik Resim Eğitiminin İncelenmesi

An Investigation of Technical Drawing Education in Civil Engineering

Kıvanç Bayat¹ 

¹Milli Savunma Üniversitesi, Kara Harp Okulu K.lığı, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06654, Ankara, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 13/01/2020

Kabul / Accepted: 04/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Bu çalışma ile Türkiye’de inşaat mühendisliğinde teknik resim eğitiminin mevcut durumunun ortaya konması ve profesyonel inşaat mühendislerinin teknik resim eğitiminin meslekteki yeri ve önemine ilişkin görüşlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda ilk olarak Türkiye’de inşaat mühendisliği eğitimi veren 25 devlet ve 15 vakıf üniversitesinin müfredatlarında teknik resim eğitimi ne şekilde yer aldığı incelenmiştir. İnşaat mühendisliği açısından teknik resmin öneminin en iyi profesyonel inşaat mühendislerinin görüş ve tecrübeleriyle ortaya konulabileceğinden yola çıkılarak 141 inşaat mühendisi ile bir anket çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışma ile inşaat mühendislerinin, öğrenim hayatında almış olduğu teknik resim ve bilgisayar destekli teknik resim eğitime verdikleri önem, bu eğitimin meslek hayatlarındaki etkileri, yaş, tecrübe, çalışma alanları olan kurumlarda, ofiste ve şantiyede görev yapma durumlarına göre teknik resim eğitimine bakış açıları ve bilgisayar destekli çizim programının mesleklerindeki yeri ortaya konmuştur. Profesyonel inşaat mühendislerinin teknik resmin meslek hayatında önemli bir yeri olduğu konusunda görüş birliği içerisinde oldukları, ancak önemli bir kısmının lisans eğitimi sırasında iyi bir teknik resim eğitimi aldıklarını düşünmedikleri görülmüştür. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda inşaat mühendisliği bölümlerinde verilen teknik resim eğitiminin güncellenmesi çalışmalarına yol gösterecek çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler

Teknik Resim, Bilgisayar Destekli Çizim, İnşaat Mühendisliği Eğitimi

Abstract

This study aims to demonstrate the current situation of the technical drawing education in Turkey, and to determine the views of civil engineers about the importance of technical drawing in professional life. In this respect, 25 public and 15 private universities civil engineering undergraduate programs were examined, to see in what way they included technical drawing in the curriculum. Afterwards, a survey was conducted with 141 civil engineers, with the idea that the importance of technical drawing for civil engineering can be put forward by the opinions and experiences of the best professional civil engineers. The study revealed the importance of technical drawing and computer aided technical drawing education in undergraduate programs for civil engineers. Additionally, the differences in the participants views according to their occupational life, age, experience, working areas were examined, and also the place of the computer aided drawing program in the professional life was questioned. According to the results, although professional civil engineers are in a consensus on the importance of technical drawing for professional life, but a considerable part of them do not think that they are getting a good technical drawing education during undergraduate education. In line with the results, various suggestions were made to guide the studies of updating the technical drawing and computer aided technical drawing educations in civil engineering undergraduate programs.

Key Words

Technical Drawing, Computer Aided Drawing, Civil Engineering Education

1. Giriş

Tarih boyunca insanlar barınma ya da başka amaçlarla kullanmak için yapmış olduğu her türlü mühendislik eserlerini, makine ve parçalarının yapım yöntemlerini anlatma ve gelecek nesillere aktarma yolu olarak resmi seçmişlerdir. Toplumumuzda mühendis denilince akla öncelikle T- cetveli, pergel, gönye gelir. Hatta mühendislik öğrencisi elinde T-cetveli ve teknik resim dosyası ile karikatürize edilmiştir. Bu benzetme toplum içerisinde mühendislik ile çizimin birbirleriyle bütünleşmiş olarak algulandığının göstergesidir. Mühendislik çiziminin kuralları da inşaat mühendisliği öğrencisine teknik resim eğitimi ile öğretilmektedir.

Teknik resim mühendislik ürünlerinin yapım özelliklerini, boyutlarını ve biçimini anlatmak için kullanılan evrensel bir dildir. Bu dil teknik elemanlar olan mühendis, tekniker ve teknisyenler arasında iletişimi sağladığı gibi aynı zamanda akademik eğitim almamış olan inşaat işçileri ve inşaat ustaları arasında imalatın istenen özelliklerde ve projeye uygun olarak yapılmasına temel oluşturur. Teknik resim dilinin alfabesi, belirli kurallara bağlı çizim teknikleri kullanılan çizgiler, işaretler, semboller, ölçülendirme ve notlardır. Teknik resmin en önemli özelliği, resmi yapanla imalatı yapan kişiler arasında buluşma zorunluluğunu ortadan kaldırmasıdır. Mühendislerin teknisyen ve ustalara emirlerini ilettikleri bir dokümandır. Hatta denilebilir ki teknik resim bu kişiler arasında kullanılan ortak bir dildir. Resim çizmeyi ve okumayı bilen insanlar için bu dil uluslararası bir dil niteliğindedir (Öztepe vd. 1993)

Teknik resim; belirli çizim teknikleri çerçevesinde özel çizgiler, işaretler ve semboller kullanılarak oluşturulmuş bir dil olup mimar, mühendis ve diğer teknik elemanlar arasındaki ortak dili sağlar. Dünyanın farklı yerlerindeki tüm teknik unvan sahibi meslek insanlarının fikirlerini birbirlerine aktarabildikleri bir oluşumdur ve teknik resim; bir tasarımın başlangıcından, son halini alıncaya kadarki sürecin tümünde kullanılır. Tasarı geometri sayesinde tasarım doğru kurgulanabilmekte ve teknik resim kuralları sayesinde doğru ifade edilebilmektedir (Bilgiç ve Konak, 2016). Bir inşaat mühendisinin zihnindeki veya hesaplar sonucunda boyutlandırıldığı her türlü inşaat yapı elemanının özelliklerini, şantiyede imalatın kontrolünü yapan yapı denetim heyetinden imalatı gerçekleştiren ustasına kadar aktarma yöntemidir. Bir imalatı, projesine ve standartlara uygun yaptırmanın yanı sıra ekonomik olarak yaptırmak inşaat mühendisinin önemli görevlerinden birisidir. Bir üretimin hatasız ve aynı zamanda yürürlükteki yönetmeliklere uygun yapılabilmesinin temelini teknik resim kurallarına göre çizilmiş uygulama projeleri oluşturur.

Kullandığımız ürünleri ölçülendirme gereksinimi Milattan Önce (M.O.) 6000 yıllarına kadar dayanmaktadır. O tarihte Nil'de kol dirseğinden orta parmak ucuna kadar mesafe 'Royal Cubit' olarak tanımlanmıştır. (Töre, 2004). Rönesans Dönemi'nin en önemli sanatçılarından olan Leonardo da Vinci'nin yaptığı tasarımlara ait çizimler, herhangi bir çizim kuralı ortaya koymasa da teknik resim açısından ilk sayılabilir (Bilgiç ve Konak, 2016). Osmanlı döneminde 1889 yılında verilmeye başlanan mühendislik eğitiminde teknik resim derslerine önem verilmiştir. Osmanlıda ilk sivil mühendislik mektebi olan Hendese-i Mülkiye'de, Hicrî 1306 (Milâdî 1889) yılında okutulan dersler arasında teknik resim ile alakalı dersler, Karakalem resim (Teknik resim), Ebniye resimleri (Bina resimleri), Fenn-i mi'mârî (Mimarlık tekniği), Hendese-i resmiye eşkâlî (Tasarı geometri şekilleri), Boyalı resim (Üç boyutlu renkli resim), Hendese-i resmiye ve tatbikatı (Tasarı geometri ve uygulamaları), Ornaman resimleri (Tezyinat çizimleri) eğitimleri verilmiştir (Acar vd. 2016).

Günümüzde iyi bir mühendisin gelişmelere ve yeniliklere uyum sağlayabilen, kendine güvenli, özgür düşünebilen, liderlik vasfına ve iletişim yeteneğine sahip, insana, insan aklına ve onuruna saygılı, ekonomik, sosyal ve yasal çerçeveyi bir arada düşünebilen bir altyapıya sahip olması beklenmektedir. Mühendislik eğitiminde ana hedef, toplumun bugünkü ve yarın oluşacak gereksinimlerine çözüm oluşturabilecek niteliklere sahip elemanlar yetiştirmektir. Mühendislik eğitimini tanımlamak gerekirse; dalında temel bilgi ve becerilerle donatılmış konusunda derinlik kadar çeşitli konularda genişlik kazanmış, analiz, sentez ve tasarım yapabilen, yazılı ve sözlü ifade yeteneğine sahip, yaşam boyu öğrenme alışkanlığı kazanmış bireyler yetiştirmektir (Ertepinar, 2000).

Günümüzde birçok mühendislik eğitim programlarında teknik resim dersleri ya kaldırılmış ya da çok kısıtlı hale getirilmiştir. Bu gelişme inşaat mühendisliği eğitiminde oldukça olumsuz bir nitelik olarak ortaya çıkmaktadır (Özmen, 2011). Bu çalışmada, lisans eğitiminde teknik resim ders sayısı ve saatinin inşaat mühendisliği eğitime ve inşaat mühendislerinin mesleklerine etkisine değinilmiştir. İnşaat mühendisliği eserleri, geliştirilen bir projenin şantiyede uygulanması ile gerçekleştirilmekte ve genel olarak tüm projeler belirli çizimler ile eklerinden oluşmaktadır. Tasarım mühendislerinin büroda oluşturdukları çizimleri iyi anlamaları ve irdeleyebilmeleri, uygulama mühendislerinin de çizimleri doğru olarak yorumlayabilmeleri için yeterli düzeyde teknik resim bilgisine sahip olmaları gerekir.

Proje mühendisi olarak çalışan inşaat mühendislerinin, statik hesaplar sonucunda boyutlandırarak tasarımını yaptıkları yapı elemanlarının özelliklerini projelere aktarmada, kamuda görev yapan inşaat mühendislerinin kontrolünü yaptıkları projelerdeki detayları anlamada, sahada çalışan inşaat mühendislerinin ise uygulama projelerini imalata hatasız ve eksiksiz aktarmada teknik resim bilgi ve becerisine ihtiyaç duymaktadır.

2. Teknik Resimde Bilgisayar Desteği

Yapılacak bir imalatın teknik anlatma yöntemi olan projenin temel unsuru teknik resim, inşaat mühendisliği eğitiminin önemli bir parçasıdır. 1990'lı yıllardan itibaren bilgisayar destekli çizim uygulamaları inşaat mühendisliğinde kullanılmaya başlanmış, günümüzde zaman ve estetik açısından mühendislere büyük kolaylıklar sağlaması nedeniyle, gelişen çizim teknolojisi inşaat mühendisliği eğitimi veren üniversitelerin programlarına da girmiştir. İnşaat mühendisi yetiştiren üniversiteler, teknolojiye ayak uydurabilen inşaat mühendisleri yetiştirme hedefi ile eğitim programlarına bilgisayar destekli teknik resim dersini dâhil etmiştir.

Teknolojinin getirdiği yeni teknik resim eğitimi anlayışı, inşaat mühendisliği öğrencilerine üç boyutlu düşünme, akıl yürütme, soyut düşünebilme, kesit ve görünüş çıkarılabilme gibi becerileri kazandırma eğitimi geri plana atılmakta mıdır düşüncelerini gündeme getirmiştir.

Tasarı geometri ve teknik resim dersi; öğrencinin üç boyutlu düşünme, akıl yürütme, soyut düşünebilme gibi becerilerini geliştirir. Tasarı geometri, zihne esneklik kazandıran bir metottur ve çizim dünyasında, bilgisayar ortamında çizime geçilmesinden bir önceki devrimdir. Tasarımların artık bilgisayar ortamında yapılabilirliği bir devrim olarak yorumlansa da; çizim dünyasında, bilgisayar çağına değin geliştirilen tüm tekniklerin ve bilgilerin bilgisayar programlarına yazılımlarla aktarıldığı ayrıca, üç boyutlu düşünebilme ve bu düşünceyi farklı açılardan üç boyutlu olarak zihninde detaylandırabilme yeterliğini kazanmamış bir bireyin, bilgisayarda tasarım yapmayacağı da bilinmelidir. Bilgisayar programının sunduğu olanakların ve arşivinin içeriği ile sınırlı kalınan durumlarda bireyin yaptığı tasarımdan söz etmek yerine çizim programının yaptığı tasarımdan bahsetmek daha doğru olacaktır (Bilgiç ve Konak, 2016). Yeterli teknik resim eğitimi almamış, sadece çizim programı kullanmasını öğrenmiş inşaat mühendisleri, meslek hayatları boyunca kullanacakları üç boyutlu düşünebilme, kesit çıkarılabilme ve kompleks imatları projeye aktarabilme yeteneğini kazanamamış olacaktır. Ancak gelişen teknolojinin avantajlarını ve çizim programı kullanamayan inşaat mühendisleri de mesleklerinin icrasında eksiklik yaşayacaktır.

Teknik Resim derslerinde veya bağımsız nitelikte “Bilgisayar Destekli Çizim” bilgilerinin de verilmesi önemlidir. Günümüzde “AutoCAD” yazılımı “Bilgisayar Destekli Çizim” konusunda uluslararası bir standart olarak kabul edilmektedir. AutoCAD, genel amaçlı mühendislik programlarının veri girişinde de yararlı bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu yüzden temel ders programları içinde temel AutoCAD bilgilerinin verilmesi gerekli olmaktadır. Temel dersler arasında Teknik Resim, AutoCAD, Sayısal Hesap ve Excel bilgilerinin verilmesi yararlı ve gereklidir (Özmen, 2011).

3. Araştırma

Bu araştırma, Türkiye’deki devlet ve vakıf üniversitelerinin teknik resim ve bilgisayar destekli teknik resim ders sayılarının, teorik ve uygulama ders saatlerinin incelenmesi ile kamu ve özel sektörde çalışan farklı tecrübelerine sahip farklı yaş gruplarındaki inşaat mühendisleriyle anket yapılması şeklinde iki aşamada gerçekleştirilmiş ve katılımcıların ankette ortaya koydukları düşüncelerin analizi yapılmıştır.

3.1 Araştırmanın Amacı

Bu araştırmanın temel amacı, inşaat mühendisliği lisans eğitiminde verilen teknik resim dersinin uygulamadaki etkisinin belirlenmesi, bilgisayar destekli teknik resim dersinin önemini ve üniversitelerin inşaat mühendisliği lisans programlarında bilgisayar destekli teknik resim eğitiminin verilmesinin inşaat mühendislerine sağladığı faydaları belirlemektir.

3.2 Üniversitelerde Verilen Teknik Resim Eğitiminin İncelenmesi

Günümüz gelişen teknolojisi çizim programlarını kullanmayı zorunluluk haline getirmiş ve inşaat mühendislerine birçok avantaj sağlamıştır. Bilgisayarlı proje çizim teknolojisine hakim ve paket program gelişimine ayak uyduran mühendisler yetiştirmenin önemi Türkiye’deki bazı üniversiteler tarafından görülerek bilgisayar destekli teknik resim dersi eğitim programlarına dahil edilmiştir. Üniversitelerin teknik resim dersleri incelenirken ilk aşamada, ülkemizde inşaat mühendisliği eğitimi veren 25 Devlet ve 15 Vakıf Üniversitesinin müfredatı incelenmiştir. Teknik resim ve bilgisayar destekli çizim programı eğitimi vermelerine göre ders saatleri belirlenerek teorik, uygulama ve toplam teknik resim ders saatleri tespit edilmiştir. Türkiye’deki üniversitelerin inşaat mühendisliği bölümlerinin eğitim programlarında yer verdikleri teknik resim ders saatleri Tablo.1 de sunulmuştur.

Tablo 1. Türkiye’deki Üniversitelerin İnşaat Mühendisliği Lisans Programındaki Zorunlu Teknik Resim Dersleri ve Saatleri.

DEVLET ÜNİVERSİTELERİ							DEVLET ÜNİVERSİTELERİ										
N.	ÜNİVERSİTE	DERS ADI	T	U	D	A	N.	ÜNİVERSİTE	DERS ADI	T	U	D	A				
1	ODTÜ	Cıv.Eng. Drw.	2	2	4	4	22	Ondokuz M. Ü.	Tek. Çzm.	1	2	6	3				
2	Hacettepe Ü.	Tek. Çzm.	2	2	4	3			Bilg. Des. Çzm.	1	2		3				
3	İTÜ	Tek.R.	1	2	3	3,5	23	Cumhuriyet Ü.	Tek.Res.	1	2	6	4				
4	Dokuz Eylül Ü.	Tek.Res.	3	1	4	5			Bilg. Des. Çzm.	1	2		3				
5	Akdeniz Ü.	Bilg.U.Tek. Res.	2	2	4	4	24	Sakarya Ü.	Tek.Res.	3	1	4	5				
6	Atatürk Ü.	Tek.Res.	1	2		5	25	Fırat Ü.	Bilg.D.Tek.Res.	2	2	4	4				
		Bilg.D. Tek.Res.	1	2		4	Devlet Ü. Ortalaması						2,6	2	4,7	5,9	
7	Mersin Ü.	Tek.Res.	1	3	4	6	VAKIF ÜNİVERSİTELERİ										
8	Namık K.Ü.	İnş. Tek. Res.	2	2	4	5	1	Çankaya Ü.	Bilg. D. Çzm.	2	2	4	6				
9	Ömer H. Ü.	Bilg.D.Tek.Res.	2	1	3	5	2	Esenyurt Ü.	—	0	0	0	0				
10	Uşak Ü.	Tek.Res.	2	2		6	3	İstanbul Klt. Ü.	Müh. Çzm.	2	2	4	4				
		Bilg D. Çzm.	2	1		4	4	Yeditepe Ü.	Müh. Çzm.	1	2	3	5				
11	Bahkesir Ü.	Tek.Res.	2	2		4	5	Doğuş Ü.	Bilg.D.Müh. Çzm.	2	2	4	5				
		Bilg.D..Tek.R.	2	0		3	6	Özyeğin Ü.	Tek.Res.	3	0	3	4				
12	Kırıkkale Ü.	Tek.Res.	1	2	3	5	7	Arel Ü.	Müh. Çzm.	1	2	3	4				
13	Gazi Ü.	İnş.Müh. Tek.R.	2	2	4	5	8	Antalya Bilim Ü.	Tek. Çzm.	3	0	3	7				

aralığı 0,80 olarak hesaplanmıştır. Puan Aralığı = $\frac{(En\ Yüksek\ Değer - En\ Düşük\ Değer)}{5} = \frac{(5-1)}{5} = 0,80$). Bu hesaplama göre aritmetik ortalamaların değerlendirme aralığı Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. 5’li Likert Ölçeğine Göre Aritmetik Ortalamaların Değerlendirme Aralığı

Aralık	Seçenek
1,00-1,80	Hiç Katılmıyorum
1,81-2,60	Katılmıyorum
2,61-3,40	Kısmen Katılıyorum
3,41-4,20	Katılıyorum
4,21-5,00	Tamamen Katılıyorum

3.5. Araştırmadan Elde Edilen Demografik Bulgular

Katılımcıların değişkenliğini ve dağılımını gösteren demografik özelliklerin frekans ve yüzde değerleri Tablo 4’te görülmektedir. Buna göre;

Araştırmaya katılan 141 inşaat mühendisinden %7,8’i 22-26 yaş, %25,5’si 27-30 yaş, %21,3’ü 31-35 yaş, %15,6’sı 36-40 yaş, %19,1’i 41-45 yaş aralığında ve %10,7’si ise 40 yaş üstündedir.

- Katılımcıların %75,2’si lisans, %22,7’si yüksek lisans mezunudur.
- Araştırmaya katılan inşaat mühendislerinden %12,8’inin 3 yıldan daha az tecrübeye, %25,5’inin 3-7 yıllık tecrübeye, %17’sinin 8-12 yıllık tecrübeye, %13,5’inin 13-17 yıllık tecrübeye, %16,3’ünün 18-22 yıl tecrübeye, %14,9’unun ise 22 yıldan daha fazla tecrübeye sahip oldukları belirlenmiştir.
- Araştırmaya katılan inşaat mühendislerinin kamuda ve özel sektörde çalışma oranları birbirine yakın olduğu görülmüştür. Katılımcıların %53,3’ü özel sektörde, %46,7’si kamu sektöründe çalışmaktadır.
- Katılımcıların %53,2 oranındaki çoğunluğuna karşılık gelen kısmı ofis ve şantiyede çalışırken, %32,6’sı yalnızca ofiste, %14,2’si yalnızca şantiyede çalışmaktadır. Kamuda görev yapan inşaat mühendisleri, genel olarak ofis ve şantiyede çalıştıklarını belirtmiştir.
- Araştırmaya katılan 141 inşaat mühendisinden %53,9’u lisans eğitiminde bilgisayar destekli çizim eğitimi almadıklarını belirtmişken, %46,1’i lisans eğitiminde bilgisayar destekli çizim eğitimi aldıklarını belirtmiştir. Lisans eğitiminde bilgisayar destekli çizim eğitimi almayan katılımcıların büyük bir çoğunluğu 2005 yılı ve öncesi mezun inşaat mühendisleri oldukları görülmüştür. Bu durum, son yıllarda eğitim programlarına bilgisayar destekli teknik resim dersi dâhil eden üniversitelerin sayısının artmasından kaynaklanmaktadır.
- Katılımcıların %41,1’i orta seviye, %33,3’ü iyi seviyede, %14,9’u çok iyi seviyede programı kullanabildiğini belirtmişken, kötü seviyede veya hiç kullanamadığını belirten inşaat mühendislerin oranı %10,7’ye karşılık gelmektedir. Bilgisayar destekli çizim programı kullanabilme seviyesi düşük olan bu katılımcıların büyük çoğunluğu 1990-2000 yıllarında mezun olmuş kamuda çalışan inşaat mühendisleridir.
- Araştırmaya katılan inşaat mühendislerinin %54,6’sı bilgisayar destekli çizim programını üniversitede öğrendiklerini, %41,9’u ise üniversiteden sonra öğrendiklerini belirtmişlerdir.

Tablo 4. Ankete katılan inşaat mühendislerinin demografik dağılımları

Katılımcı Özelliği	Grup	Frekans	Yüzde (%)
Yaş Grubu	22-30 yaş	47	33,3
	30-40 yaş	52	36,9
	40 yaş üstü	42	29,8
Eğitim Durumu	Lisans	106	75,2
	Y. lisans	32	22,7
	Doktora	3	2,1
Mezuniyet Tarihi	2000 öncesi	45	31,9
	2000-2010	43	30,5
	2010-2018	53	37,6
Sektör	Kamu	63	44,7
	Özel	78	55,3
Çalışma Alanı	Ofis	46	32,6
	Şantiye	20	14,2
	Ofis ve şantiye	75	53,2
Lisans Eğitiminde Bilg.Dst. Çzm. Eğt. Alma Durumu	Eğitim alan	67	47,5
	Eğitim almayan	74	52,5
Bilg.Dst. Çzm. Prg. Kullanabilme Seviyesi	Çok iyi	21	14,9
	İyi	47	33,3
	Orta	58	41,1
	Kötü	9	6,4
	Hiç kullanamayan	6	4,3
Bilg.Dst. Çzm. Prg. Öğrenme Dönemi	Üniversitede öğrenen	77	54,6
	Mezun olduktan sonra öğrenen	59	41,9
	Hiç kullanamayan	5	3,5

4. Anket Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Anketten elde edilen verilerin öncelikle SPSS 21.0 (Statistical Package for Social Sciences) istatistik programında güvenilirlik analizi yapılmıştır. Yapılan analizde S13 anket ifadesinin katılımcılara anlam kargaşası yaşattığı tespit edilmiş ve bu ifade ters çevrilerek analiz edilmiştir. Güvenilirliğin belirlenmesinde Cronbach alfa iç tutarlılık katsayısından faydalanılmıştır. Cronbach alfa katsayısının 0,5 değeri yeterli güvenilirliği göstermektedir (Cronbach, (1951). Bu anket uygulamasının güvenilirlik analizi sonucunda, Cronbach Alfa değerinin 0,708 olarak bulunmuş ve Cronbach Alpha Katsayısı değerlerinin 0.6'nın üzerinde olması, ölçeklerin “oldukça güvenilir” olduğunu göstermektedir (Kalaycı, 2008).

Tablo 5. Ankete Katılan İnşaat Mühendislerinin Ankete Verdikleri Cevapların Ortalama Puanları ve Sıralamaları

No	İfadeler	S.S.	Ort.	Değerlendirme
S1	Lisans eğitimimde iyi bir teknik resim eğitimi aldığımı düşünüyorum.	1,17	2,91	Kısmen Katılıyorum
S2	Lisans eğitimimde aldığım teknik resim eğitiminin, mesleğimin uygulanmasında önemli bir yeri olduğunu düşünüyorum.	1,26	3,44	Katılıyorum
S3	Lisans eğitimimde daha iyi bir teknik resim eğitimi verilmesinin yeni mezun olacak inşaat mühendislerine mesleğinde kolaylık sağlayacağını düşünüyorum.	0,80	4,36	Tamamen Katılıyorum
S4	Üniversitelerin inşaat mühendisliği bölümlerinde verilen teknik resim eğitiminin; öğrencilere üç boyutlu düşünme, akıl yürütme, soyut düşünebilme kesit ve görünüş çıkarabilme gibi becerileri kazandırdığını düşünüyorum.	0,89	4,20	Katılıyorum
S5	Çalışma alanımda bütün mesleki teknik çizimler bilgisayar kullanılarak yapılmaktadır.	0,91	4,31	Tamamen Katılıyorum
S6	Çalışma alanımda çizim (tasarım) programı olarak sadece AutoCAD programı kullanılmaktadır. (ProBina, Sta4cad, NetCAD, İdeyapı vb. statik hesap, boyutlandırma ve harita-imar programlar statik paket program olarak değerlendirilmiş olup çizim programı olarak değerlendirilmeyecektir.)	1,22	3,91	Katılıyorum
S7	(Lisans eğitimimde bilgisayar destekli çizim eğitimi alanlar dolduracaktır.) Lisans eğitimimde verilen bilgisayar destekli çizim eğitimi sayesinde, mezun olduğumda bir projenin tümünü kolaylıkla çizebilmekteydim.	1,08	2,21	Katılmıyorum
S8	Şu anda herhangi bir projeyi çizip sonuçlandırabilecek düzeyde bilgisayar destekli çizim programı kullanabiliyorum.	0,80	3,21	Kısmen Katılıyorum
S9	Teknik resim derslerinde herhangi bir çizim programının öğretilmesinin faydalı olduğunu düşünüyorum.	0,75	4,50	Tamamen Katılıyorum
S10	Lisans eğitimimde verilmekte olan bilgisayar destekli çizim programı eğitiminin, inşaat mühendislerine iş bulmada avantaj sağlayacağını düşünüyorum.	0,99	4,26	Tamamen Katılıyorum
S11	Lisans eğitimimde verilmekte olan bilgisayar destekli çizim programı eğitiminin, yeterli pratik yapılmadan inşaat mühendislerinin ihtiyacını karşılayamayacağını düşünüyorum.	0,98	4,21	Tamamen Katılıyorum
S12	Lisans eğitimimde verilmekte olan bilgisayar destekli çizim programı eğitiminin, yeni mezun inşaat mühendislerinin öz güvenini artırdığını düşünüyorum.	1,02	4,08	Katılıyorum
S13	Temel teknik resim araçlarıyla verilen teknik resim temel eğitimi yerine, sadece bilgisayar destekli çizim programının öğretilmesinin yeterli olmayacağını düşünüyorum.	0,98	3,24	Kısmen Katılıyorum
S14	Teknik resim eğitiminde temel teknik resim araçlarıyla da (T- cetveli, pergel, gönye vb.) eğitim verilmesinin daha etkili olduğunu ve öğretilen bilgilerin kalıcılığını artırdığını düşünüyorum.	1,20	3,15	Kısmen Katılıyorum

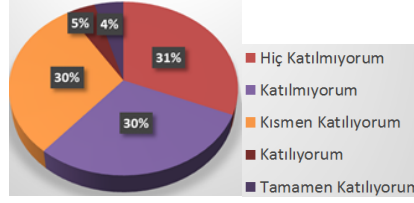
Elde edilen sonuçlar her bir boyut için ayrı ayrı olarak değerlendirilmiştir. Katılımcılar lisans eğitiminde iyi bir teknik resim eğitimi alıp almadıklarını ölçen S1 ifadesine verdikleri cevap ile iyi bir teknik resim eğitimi aldıklarını düşünmemekle birlikte, lisans eğitiminde aldıkları teknik resim eğitiminin mesleklerinin uygulanmasında önemli bir yeri olduğunu değerlendirmektedirler.

Ayrıca katılımcılar, yüksek bir ortalamayla lisans eğitiminde daha iyi bir teknik resim eğitimi verilmesinin yeni mezun olacak inşaat mühendislerine mesleğinde kolaylık sağladığını, üniversitelerin inşaat mühendisliği bölümlerinde verilen teknik resim eğitiminin; öğrencilere üç boyutlu düşünme, akıl yürütme, soyut düşünebilme kesit ve görünüş çıkarabilme gibi becerileri kazandırdığını değerlendirmektedirler. Ancak, teknik resim eğitiminde temel teknik resim araçlarıyla da (T- cetveli, pergel, gönye vb.) eğitim verilmesinin daha etkili olduğunu ve öğretilen bilgilerin kalıcılığını artırdığına yönelik ifadeye “kısmen” cevabını vermişlerdir.

İnşaat mühendislerinin çalışma alanında kullanılan mesleki teknik çizimlerin bilgisayar ortamında yapılıp yapılmadığını ölçmek amacıyla ankette yer verilen S5 ifadesine katılımcılar yüksek bir ortalamayla “tamamen katılıyorum” cevabını vermişler ve kullanılan çizim programını tespit etmek amacıyla sorulan S6 ifadesine de AutoCAD programı olduğunu belirtmişlerdir.

Lisans eğitiminde alınan Bilgisayar destekli çizim eğitimi sayesinde bir projenin tamamını kolaylıkla çizip çizemediklerini ölçmek amacıyla sadece üniversitede bu eğitimi almış katılımcılara sorulan S7 ifadesine katılımcılar 2,21 ortalama ile mezun olduklarında bir projenin tamamını kolaylıkla çizemediklerini belirterek aldıkları eğitimin tam anlamıyla yeterli bir eğitim olmadığını ortaya koymuşlardır.

Lisans eğitiminde verilen bilgisayar destekli çizim eğitimi sayesinde, mezun olduğumda bir projenin tümünü kolaylıkla çizebilmekteyim.



Şekil 1. Katılımcıların bilgisayar destekli teknik resim eğitimi sonrası proje çizebilme durumu.

Şu anda herhangi bir projeyi çizip sonuçlandırabilecek düzeyde bilgisayar destekli çizim programı kullanıp kullanmadıklarına yönelik S8 ifadesine verdikleri cevaplar ile mesleklerini icra ederken bir projeyi çizim programı ile çizebilme özelliklerinin yetersiz olduğunu belirtmişlerdir.

S9 ifadesine verdikleri cevaplar kapsamında teknik resim derslerinde herhangi bir çizim programının öğretilmesinin faydalı olduğunu düşünen katılımcıların ortalaması 4,50 gibi çok yüksek bir değerdedir. Katılımcılar lisans eğitiminde bilgisayar destekli teknik resim eğitimi verilmesinin inşaat mühendislerine faydalı olduğunu düşünmekle birlikte verilecek eğitimin yeterli pratik yapılmadan inşaat mühendislerinin ihtiyacını karşılamayacağını da değerlendirmektedirler. S11 ifadesine katılımcıların verdiği cevaplar S7 ifadesinde ortaya çıkan sonucu desteklemekte ve lisans eğitiminde bilgisayar destekli teknik resim eğitimi alan inşaat mühendisi öğrencilerinin mezuniyet sonrası bir projeyi sonuçlandırabilecek seviyede çizim programı kullanamamalarının sebebinin ortaya koymaktadır.

Lisans eğitiminde verilmekte olan bilgisayar destekli çizim programı eğitiminin mezun olacak inşaat mühendislerine etkisi incelendiğinde, katılımcılar çok yüksek bir ortalama ile bu eğitimin yeni mezun inşaat mühendislerinin öz güvenini arttırdığını ve yeni mezunlara iş bulmada avantaj sağlayacağını düşünmektedirler. Ayrıca anket araştırmasına giren inşaat mühendisleri klasik yöntemlerle verilen teknik resim eğitiminin önemini de ortaya koymuşlardır.

Katılımcılar S9 ve S3 ifadelerine en yüksek ortalama ile tamamen katılmaları, lisans eğitiminde bilgisayar destekli ve klasik teknik resim dersine verilmesi gereken önemin üst seviyede olması gerektiğini göstermektedir.

5. Çıkarımsal Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Katılımcıların değerlendirmelerinin, demografik özelliklerine göre farklılaşıp farklılaşmadığını tespit etmek üzere, çıkarımsal analizler gerçekleştirilmiştir. Verilerin normal dağılıp dağılmadığı normallik analizi ile kontrol edilmiştir. Verileri normal dağılmayan ve parametrik testler için yeterli örnekleme sayısı olmayan grup karşılaştırmalarında ikili gruplarda Mann Whitney U Testi, üç veya daha fazla grup arasında ise Kruskal Wallis Testi yapılarak gruplar arasında anlamlı farklılık olup olmadığına karar verilmiştir.

Çalışma sektörlerine göre kamu ve özel sektör olarak gruplandırılan katılımcılar, iki değişken (S3, S6, S8 ve S13) için Mann Whitney U Testine göre anlamlı farklılık oluşacak şekilde görüş bildirmiştir (Tablo 6). Özel sektörde çalışan inşaat mühendisleri kamuda çalışanlara göre lisans eğitiminde daha iyi bir teknik resim eğitimi verilmesinin yeni mezun olacak inşaat mühendislerine mesleğinde kolaylık sağlayacağını kamuda çalışan inşaat mühendislerinden daha fazla düşünmektedirler. Ayrıca, özel sektörde çalışan inşaat mühendisleri, kamu sektöründe çalışan inşaat mühendislerine göre çalışma alanlarında çizim (tasarım) programı olarak sadece AutoCAD programı kullanıldığını belirtmişlerdir.

Tablo 6. Katılımcıların Çalışma Sektörlerine Göre Mann Whitney U Testi Sonuçları

Boyut	İfade	Grup	Group Statistics			Mann Whitney U Test		
			N	X	S.S.	U	Z	Anlamlılık
Sektör	S3	Kamu	63	62,94	3965,5	1949,5	-2,335	0,02
		Özel	78	77,51	6045,5			
	S6	Kamu	63	80,22	5054,0	1876,0	-2,542	0,011
		Özel	78	63,55	4957,0			
	S8	Kamu	63	59,22	3612,5	1721,5	-2,75	0,006
		Özel	78	77,64	5978,5			
	S13	Kamu	61	78,38	4781,0	1685,0	-2,699	0,007
		Özel	75	60,47	4535,0			

(N: Birey Sayısı X: Ortalama S.S: Standart Sapma U: İstatistik Değeri Z: Asimptotik Anlamlılık Değeri)

Aynı zamanda özel sektörde çalışan inşaat mühendislerinin kamuda çalışanlara göre bir projeyi çizip sonuçlandırabilecek düzeyde bilgisayar destekli çizim programı kullanabildiği görülmüştür. Özel sektörde çalışan inşaat mühendisleri temel teknik resim araçlarıyla verilen teknik resim temel eğitimi yerine, sadece bilgisayar destekli çizim programının öğretilmesinin yeterli olacağını düşünmekteyken kamuda çalışanlar temel teknik resim eğitiminin de verilmesi gerektiğini değerlendirmektedirler.

Üç ve üçten fazla değişkene sahip gruplar arasında yapılan Kruskal Wallis analizi sonucunda beş değişken (S3, S6,S4,S8 ve S10) için anlamlı farklılık olduğu tespit edilmiştir (Tablo 7). Yaş ve mezuniyet yıllarına göre gruplandırılan katılımcıların iki değişken (S6 ve S8) için anlamlı bir farklılık oluşacak şekilde görüş bildirdikleri görülmüştür.

Tablo 7. Katılımcıların Eğitim Durumlarına Göre Kruskal Wallis Testi Sonuçları

Boyut	İfade	Grup	Kruskal Wallis Analizi					Anlamlı Fark
			N	Sıralama Ort.	İstatistik Değeri	df	Z	
Katılımcı Mezuniyet Yılı	S6	2000 öncesi	45	82,16	6,258	2	0,044	(2000 öncesi-2010/2017)
		2000-2010	43	69,63				
		2010-2017	53	62,64				
		Toplam	141					
	S8	2000 öncesi	44	56,74	10,214	2	0,006	(2000/2010-2000 öncesi)
		2000-2010	43	83,48				
2010-2017		51	68,73					
Toplam		138						
Katılımcı Yaş Grubu	S6	22-30 yaş	47	62,45	6,012	2	0,049	(40 yaş üstü – 22/30 yaş)
		30-40 yaş	52	69,52				
		40 yaş üstü	42	82,4				
		Toplam	141					
	S8	22-30 yaş	46	62,68	10,981	2	0,004	(30/40 yaş - 40 yaş üstü)
		30-40 yaş	51	83,79				
40 yaş üstü		41	59,37					
Toplam		138						
Katılımcı Çalışma Alanı	S3	Ofis	46	55,15	16,699	2	0,000	(Ofis ve Şantiye- Ofis)
		Şantiye	20	63,95				
		Ofis ve Şantiye	75	82,6				
		Toplam	141					
	S4	Ofis	46	55,83	11,09	2	0,004	(Ofis ve Şantiye-Ofis)
		Şantiye	20	75,18				
		Ofis ve Şantiye	75	79,19				
		Toplam	141					
	S6	Ofis	46	56,61	9,438	2	0,009	(Ofis ve Şantiye-Ofis)
		Şantiye	20	77,3				
		Ofis ve Şantiye	75	78,15				
		Toplam	141					
S10	Ofis	46	61,54	7,366	2	0,025	(Ofis ve Şantiye-Şantiye) (Ofis ve Şantiye-Ofis)	
	Şantiye	19	61,16					
	Ofis ve Şantiye	75	78,36					
	Toplam	140						
Katılımcı Eğitim Durumu	S6	Lisans	106	64,92	10,798	2	0,005	(Y. Lisans -Lisans)
		Y.Lisans	32	90,44				
		Doktora	3	78,67				
		Toplam	141					

(N: Birey Sayısı X: Ortalama U: İstatistik Değeri Z: Asimptotik Anlamlılık Değeri)

2000 yılı öncesi mezun olan ve 40 yaş üstü inşaat mühendislerinin diğer gruplara göre çalışma ortamlarında çizim programı olarak sadece AutoCAD kullanıldığını belirtmiştir. Aynı zamanda, 22-30 yaş ve 40 yaş üstü katılımcılar ise 30-40 yaş grubu katılımcılara göre herhangi bir projeyi çizip sonuçlandırabilecek düzeyde bilgisayar destekli çizim programı kullanmadıklarını belirtmişlerdir.

Katılımcıların çalışma alanına göre incelenmesinde, ofis ve şantiye gibi her iki sahada çalışan inşaat mühendisleri sadece ofis veya sadece şantiyede çalışan inşaat mühendislerine kıyasla;

- Lisans eğitiminde iyi bir teknik resim eğitimi verilmesinin önemli olduğunu,
- Lisans eğitiminde verilen teknik resim eğitiminin öğrencilere üç boyutlu düşünebilme ve kesit görünüş çıkarabilme becerilerini kazandırdığını,
- Çalışma alanlarında çizim programı olarak sadece AutoCAD programı kullanıldığını ve lisans programında verilen bilgisayar destekli çizim programı eğitiminin inşaat mühendislerine iş bulmada avantaj sağladığını düşünmektedirler.

Katılımcıların eğitim durumlarına göre incelenmesinde ise, yüksek lisans eğitimi almış inşaat mühendislerinin lisans mezunlarına göre daha fazla AutoCAD kullanılan alanlarda çalıştığı görülmüştür.

6. Sonuç ve Tartışma

Çalışmanın sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde;

Lisans eğitiminde verilen teknik resim eğitiminin inşaat mühendisliği mesleğinin uygulanmasında önemli bir yeri olduğu, teknik resim dersinin üç boyutlu düşünme, akıl yürütme, soyut düşünebilme kesit ve görünüş çıkarabilme gibi becerileri kazandırdığı hususunda kesin bir yargıya ulaşılmıştır. Katılımcılar teknik resim eğitiminin önemi konusunda fikir birliğinde olmasına rağmen lisans eğitiminde iyi bir teknik resim eğitimi almadıklarını düşünmektedirler. Teknik resim eğitimi inşaat mühendisleri için şantiye ve ofis çalışmasının temelidir. Teknik resim eğitiminin önemi göz önüne alınarak inşaat mühendisliği öğrencilerine daha iyi teknik resim eğitimi verilebilmesi için önlemler alınmalıdır.

Özel sektörde çalışan inşaat mühendisleri, kamu sektöründe çalışan inşaat mühendislerine göre teknik resim eğitimine daha çok önem vermekle birlikte, temel teknik resim eğitimini kamuda çalışanlara göre ikinci plana atarak çizim programı öğrenmeyi ön plana çıkarmaktadırlar. Bu durumun sebebinin kamu sektöründe çalışan inşaat mühendislerinin proje yapmaktan çok yapılmış projeyi kontrol etme işini yürütmelerinden, özel sektörde çalışan inşaat mühendislerinin ise genel olarak proje uygulamalarında çizim programını kullanmalarından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Profesyonel inşaat mühendislerinin çalışma alanlarında bütün mesleki teknik çizimler bilgisayar kullanarak yapılmakta ve çizimlerde çoğunlukla AutoCAD programı kullanılmaktadır. 2000 yılı öncesi mezun olan tecrübeli inşaat mühendisleri, çizim programı olarak sadece AutoCAD programının kullanıldığı alanlarda çalışmaktadırlar. Tecrübe ile AutoCAD paket çizim programı kullanım alanı arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir.

Özel sektörde çalışan inşaat mühendisleri kamu sektöründe çalışan inşaat mühendislerine göre çalışma alanlarında çizim programı olarak sadece AutoCAD programı kullanmakta, kamuda çalışan inşaat mühendisleri ise farklı çizim programları ile karşılaşabilmektedir. Ayrıca kamuda çalışan inşaat mühendislerinin çalışma alanları genel olarak hem ofis hem de şantiye olması nedeniyle çalışma alanı grubunda da hem ofis hem de şantiyede çalışan katılımcılar, çalışma alanlarında AutoCAD programı dışında başka çizim programları kullanıldığını belirtmişlerdir.

Lisans eğitiminde verilmekte olan bilgisayar destekli çizim eğitimi yeni mezun inşaat mühendislerinin öz güvenini arttırmakta ve iş bulmada avantaj sağlamakta, ayrıca inşaat mühendislerinin çalışma alanında bütün mesleki teknik çizimlerin bilgisayar kullanılarak yapılması lisans eğitiminde bilgisayar destekli çizim programı eğitimini zorunlu haline getirmektedir.

Lisans eğitiminde bilgisayar destekli teknik resim dersi eğitimi alan inşaat mühendisleri mezun olduklarında bir projeyi tam anlamıyla çizebilecek düzeyde çizim programı kullanamamaktadır. Bu olumsuzluğun yeterli derecede çizim pratiği yapılmadan çizim yetilerinin kazanılamayacak ve bir projeyi çizebilme seviyesine gelinemeyecek olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Çözüm olarak üniversitelerde öğrenciler bilgisayar destekli teknik resim dersinde pratik yapmaya yönlendirilmeli çizim çalışmaları ödev olarak verilmeli ve dördüncü sınıfta proje/tasarım derslerinde uygulamaya yönelik proje çizimleri ile desteklenmelidir.

Katılımcılar günün şartlarında bilgisayar destekli çizim programı eğitiminin zorunlu olduğunu, teknik resim eğitiminde sadece bilgisayar destekli teknik resim eğitimi verilmesinin yeterli olmayacağını düşünmekle birlikte, klasik yöntemlerle verilecek teknik resim eğitiminin önemli olduğunu değerlendirmektedirler. Üniversiteler lisans programlarında bilgisayar destekli teknik resim eğitimine yer verirken klasik teknik resim eğitimini eğitim programlarından çıkarmamalıdır.

Gelişen teknoloji ve inşaat mühendisliği mesleğinin gerekleri, inşaat mühendisliği lisans programlarında bilgisayar destekli teknik resim eğitime yer vermeyen üniversitelerin de bu dersi eğitim programlarına koymalarını zorunlu hale getirmiştir.

Özel AutoCAD kurslarında ortalama 54-70 saat olarak AutoCAD eğitiminin verildiği ve yeterli sayıda çizim pratiği yapmamış bir kursiyerin proje çizecek seviyeye gelemeyeceği düşünüldüğünde, lisans eğitiminde 1 dönem ve haftada 3 saat olmak üzere yaklaşık olarak 56 saat olarak verilen teknik resim/bilgisayar destekli teknik resim dersinde inşaat mühendisliği öğrencilerine teknik resim dersi yanında AutoCAD bilgisinin de verilmesinin öğrenciyi CAD programıyla proje çizen bir inşaat mühendisi haline getiremeyeceği dikkate alınmalıdır.

Üniversitelerin lisans eğitiminde verdikleri teknik resim eğitimi incelendiğinde; klasik ve bilgisayar destekli teknik resim eğitimi olmak üzere iki farklı eğitim verilmekte ve üniversiteler arasında herhangi bir standart bulunmamaktadır. Ülkemizdeki bazı üniversitelerde lisans eğitimi boyunca aynı ders içerisinde hem teknik resim temel eğitimi verilmesi hem de çizim programı öğretilmeye çalışılması verim alnamayacak bir eğitim şekli olarak görülmesinin, teknik resim derslerinde çizim programı eğitimi verilirken teknik resmin temelleri olan 3 boyutlu düşünebilme, düşündüğünü projeye aktarabilme ve proje okuyabilme becerisi kazandırma eğitiminin aksatılmamasının, teknik resim ve bilgisayar destekli teknik resim derslerinin birbirinden ayrılmasının daha uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Inşaat mühendisliği eğitiminin önemli parçalarından birisi teknik resim eğitimidir. Ülkemizde inşaat sektörünün en önemli insan gücü kaynağı olan inşaat mühendislerinin eksiksiz bir şekilde yetiştirilebilmesi açısından iyi bir teknik resim eğitimi verilmesi son derece önemlidir. Klasik ve bilgisayar destekli teknik resim eğitiminin inşaat mühendislerinin meslek hayatlarındaki önemini

ortaya koyan bu çalışmanın, inşaat mühendisliği bölümlerinin müfredat geliştirme çalışmalarında referans alınması ve bu doğrultuda düzenlemeler yapılması umulmaktadır.

Referanslar

- Acar Ş., Bir A. & Kaçar M. (2016). Osmanlı'da Sivil Mühendis Yetiştirmek Üzere Açılan Hendese-İ Mülkiye Mektebi. Osmanlı Bilimi Araştırmaları, XVII/2, 1-26
- Arıkan, R. (2004). Araştırma teknikleri ve rapor hazırlama. Ankara: Asil Yayın Dağıtım, s:141
- Bilgiç D. E. & Konak N. (2016). Tasarı Geometri - Teknik Resim ve Perspektif Derslerinin, Mimarlık Eğitimi Düşünsel Altyapısına Etkisi ve Prof. Dr. Yılmaz MORÇÖL. Journal of Architecture and Life, 1(1), 1-11
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. psychmetrika, 16(3), 297-334.
- Ertepinar A.,(2000). Nasıl bir üniversite mezunu istiyoruz? Panel Konuşmaları, Bilimsel Toplantı Serisi 2, TÜBA Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları, 38s,
- Kalaycı Ş. (2008). SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri. Ankara: Asil Yayın Dağıtım
- Özmen G. (2011). İnşaat mühendisliği eğitiminde bilgisayar. İnşaat Mühendisliği Eğitimi 2. Sempozyumu , 47-53
- Öztepe H., Gerdemeli İ., Aslan R. & Kurt S.(1993) İTÜ Makina Fakültesi Makina Mühendisliğinde Bilgisayar Destekli Teknik Resim Eğitimi. TMMOB Makine Mühendisleri Odası Rapor ve Bildiriler Kitabı, Sayı:153, Sayfa 331, 15-17 Nisan 1993 <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/11234.pdf>
- Töre C. (2004). Teknik Resim, Ölçme ve Tolerans Tarihçesi. Mühendis ve Makina Dergisi Bilgi Sayfası Sayı : 531



A New Prototype That Performs Real-Time Error Detection in Glass Products

Çetin Cem Bükücü¹ , Levent Gökrem¹ 

¹ Department of Computer Programming, Merzifon Vocational School, Amasya University, Amasya, TURKEY

² Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Tokat Gaziosmanpaşa University, Tokat, TURKEY

Başvuru/Received: 29/01/2020

Kabul / Accepted: 05/05/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Abstract

Due to their economical, ergonomic, and processing power capabilities, unique designs and software development applications based on embedded systems are becoming more common every day in detecting errors in product output in quality control processes. In this study, an automated control system based on embedded system was performed to detect errors on the surfaces of products purchased from a glass factory that performed quality control manually by eye. A prototype consisting of the conveyor band and micro drive and camera embedded system was designed for the realization of this system. The embedded system has an open source software that works with morphological image processing techniques and makes boundary determination by gaussian method. The success rate of the system was found by classifying it with Support Vector Machine, Quadratics Discriminant and Medium Tree classifiers. The application of the system has been tested in a glass factory, and as a result of the test process, the system has achieved a high success rate of defect detection in glass products. The system detects all faulty glass products and 93.8% of the faults in the faulty glass products.

Key Words

“Glass defects, Morphological image processing, Classification, Embedded systems”

1. Introduction

Glass, which is a versatile substance, is used as a complementary accessory in many products as it is used in packaging of many products due to its transparency, its shape does not deteriorate, it does not give out smell and taste. Since the extraction of raw materials used in glass production causes the consumption of natural resources, it damages the environment. This makes it necessary to minimize the margin of error in glass production and processing. Therefore, it is of great importance that any defects which may occur should be detected before they are released (Nishu and Agrawal, 2011).

During glass production, the risk of imperfection of glass arises in many ways. It may have the same defect structure but comes from different mechanism sources (Zhao et al. 2011), (Singh et al. 2013). The types of defects that occur in glass products generally appear as surface point defects and scratch surface defects. Surface point defects are circular-shaped, while scratch surface defects are rectangular-shaped scratch-looking defects. The types of defects that occur in glass are given in Table 1.

Table 1. Type of glass defects (Rosli et al. 2018)

Name of defects	Description
Foreign Material	Opaque material embedded in the glass.
Low-Contrast Defect regions	Contain of elements or regions (dark and /or bright) that are relatively contrast against the background.
Scratches and spots	Mark or irregular patches on the surface.
Bubbles and inclusions	Contain an air bubble like material trapped inside a glass.
Hole and dirt	Major problem for manufacturers, particularly when production process includes a surface treatment stage.

Defects in glass products are more commonly detected by the eye, which is called the traditional method. This method directly affects error detection due to the decrease in sensitivity in vision due to fatigue and the negative effects in environmental environment such as low contrast, dust, dirty floor. As a result of this, time, raw materials, energy loss and consequently the product quality decreases.

Finding and correctly evaluating defects is the goal of the automatic quality control system. Automatic quality control system has been used to correct defects in many industrial products such as steel industry (Spinola et al. 2011), fabric (Qu et al. 2016), optic cable (Chen et al. 2016), Ceramic (Cabral and Araújo, 2012), (Keser et al. 2010), (Hocenski et al. 2006), (Elbehiery et al. 2005), LCD (Chao et al. 2006), (Liu and Chen, 2011). Because glass surfaces are reflective, it is not so easy for the system to find the error (Kumar and Kaur, 2013). Special methods are used for this. In these systems, images taken from cameras can detect defects in a very short time and with a high success rate thanks to machine vision systems and this method is used in many industrial areas today (Öztürk and Akdemir, 2018).

Machine vision systems are systems that can instantly detect defects in industrial production systems, simplifying the architecture of the system in which they are used. Error detection in these systems begins by taking pictures of the products on the conveyor belt using the camera. The captured image is then processed by image processing algorithms. Finally, the quality of the product is determined. many methods are used in machine vision systems for error detection such as color space transformation (Nishu and Agrawal, 2011), (Singh et al. 2013), edge detection (Keser et al. 2010), (Öztürk and Akdemir, 2018), (Öztürk and Akdemir, 2015), Fourier analysis, threshold (Cabral and Araújo, 2012), clustering, Anisotropic invasion model (Chao et al. 2006) and the Sobel operator (Kumar and Kaur, 2013).

When we examine the studies in the past, basic defects were detected on the glass product. The first identified defects were tried to find out by taking advantage of feature extraction and image processing techniques. While performing this operation, boundary detection in defects, canny, sobel, fuzzy logic, the methods were used. Defects which were determined their boundaries were determined by various them of machine learning methods (neural networks, fuzzy logic, the average of neighboring pixels, etc... subject) and divided into the types of defects according to the threshold value. When the software system was completed and the prototype stage was reached, it was seen that the computer-based prototype of a design were done. In our study we conducted a study to diagnose point defects and scratches on the glass. We used gaussian method which is method with a high success rate same plane in 2-variable systems and we made the determination the boundaries of system bugs. In the next step, after boundary detection we divided the types of defects on the glass by morphological image processing techniques. In the last step, through the design phase of the prototype, open source coded embedded design of a system were made and we established real-time error detection system.

In the proposed system, a prototype was designed suitable for real production systems that detect defects on glass surfaces. The prototype used in the system consists of conveyor belt, micro drive, camera and software. First, glass products were washed to remove environmental factors (dust and dirt). Then real-time images were taken by the camera unit. 100 lumen light source was applied in closed environment while the image was taken. In the third step, morphological image processing techniques (on, off, expansion, etching) were applied to these images taken in real time and the defects were determined. Finally, the system decided that

the error was a submerged or scratch error by taking into account the pixel numbers in the defects due to the threshold value. Classification was made to determine the success rate of the system.

Section 2 describes the structure of the designed prototype. Section 3, morphological image processing and software of the system has provided. In Section 4, the system which determines the success rate of the classification process is described. In Section 5, we finalize this article.

2. The Structure of Prototype

The prototype is designed according to the properties of the glass material to be processed. Material properties can be size, color, and shape. The purpose of creating the prototype is to detect unwanted defects on the processed product with a high success rate. In prototype design, parameters such as reflective glass product surfaces, lighting system, camera features play an important role. In addition, the size of the prototype should be greater than the size of the glass products which we examined. The built-in glass products we use are 90x10 cm² or 60x10 cm² in size.

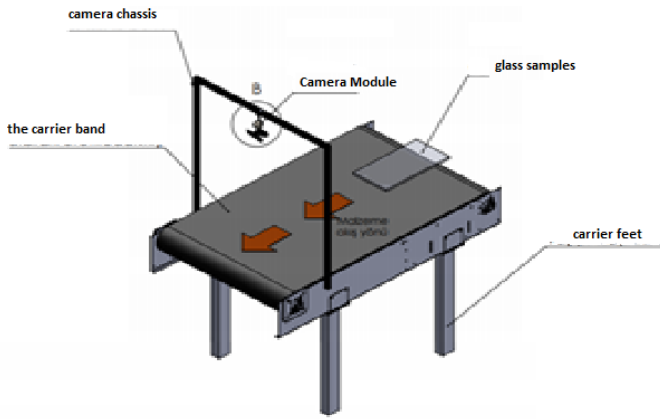


Figure 1. Overall image of the prototype



Figure 2. Actual image of the prototype

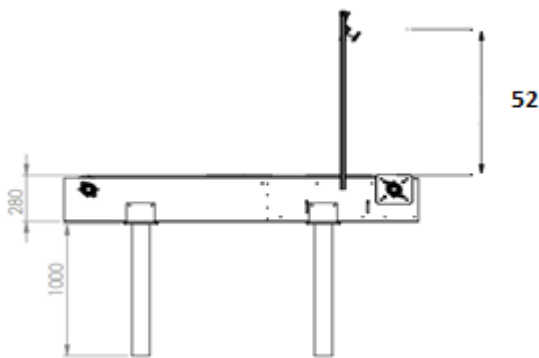


Figure 3. Side perspective of the prototype

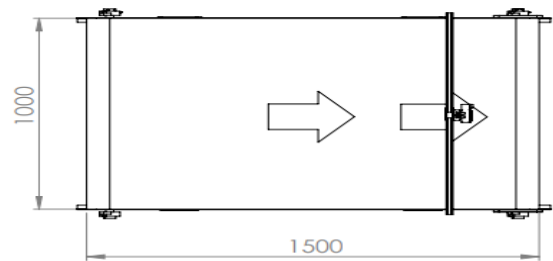


Figure 4. Top perspective of the prototype

Fig. 1 shows the overall image of the prototype and Fig. 2 shows the actual image of the prototype. Fig. 3 is the side perspective of the designed prototype, while Fig. 4 is the top perspective. In the belt design, a conveyor belt design consisting of 12V 55rpm motor, rubber strip and gears was made.

The camera should be placed in a position where you can see exactly the glass product to be measured (Adelson and Wang, 1992). The following equation was used to determine the location of the camera.

$$\frac{1}{d} = \frac{h}{v} \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{D} \right) + \frac{1}{D} \quad \text{Camera Position} \quad (1)$$

The variables in the equation above refer to
 d: camera height,
 D: change in the image of object
 h: displacement of object's image in sensor plane
 v: change in space distance
 f: the focal length of the lens.

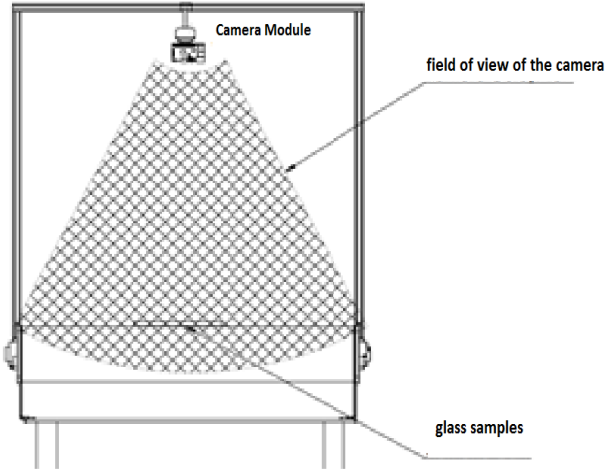


Figure 5. Field of view of the camera

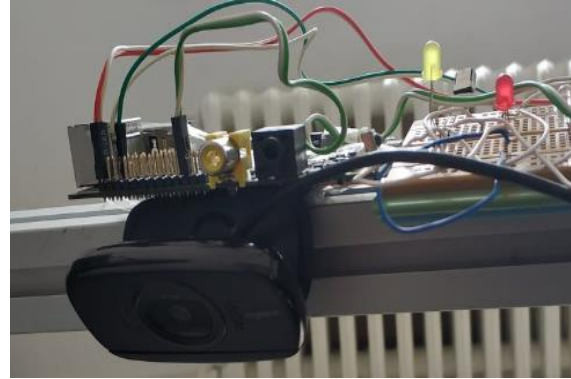


Figure 6. Embedded System

Fig. 5 shows the field of view of the camera used in the prototype. Fig. 6 shows the actual image of the embedded system used in the generated system.

The camera used in the prototype is CMOS (Complementary Metal-Oxidized Semiconductor), its lens is 16 mm and its resolution is 5MP, HD 720p (1280 x 720).

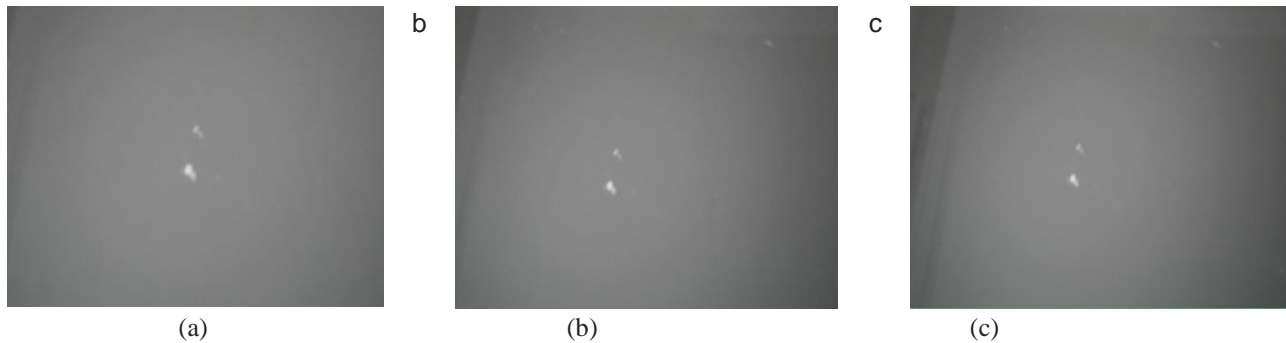


Figure 7. Camera images of different heights

Fig. 7. Experimental camera images taken from three different heights are given (a) 45 cm, (b) 50 cm, (c) 52 cm high. The result obtained from Equation 1 was also proved experimentally. Another important issue with the camera is the speed at which the camera captures images. In real-time systems, the speed of image capture should be faster than the speed of the conveyor belt. In this study, the camera was selected to take 30 fps (frames per second images) to remove blurring in the image. With a 30 fps fixed camera, the most basic way of detecting the change in the environment through image processing is to determine whether the absolute difference of the images captured in succession, the ratio of the image to the total number of pixels that occur, exceeds a certain threshold. This situation is mathematically,

$$AFD(t) = \frac{1}{w * h} \sum_{x=1}^w \sum_{y=1}^h |I_t(x, y) - I_{t-1}(x, y)| > E_1 \quad (2)$$

It can be expressed as. Here, the AFD means the average frame difference

It: the current captured frame;

It-1: the previous frame;

w: is the horizontal pixel size of the captured image;

h: is the vertical pixel size;

(x, y): shows the location of the corresponding pixel and,

E_1 : shows the threshold value. The value specified by the threshold value is the rotation speed of the conveyor belt, our conveyor belt moves at a speed of 5.75cm / sec. In the image obtained at the values below the threshold value, the image was blurred, and the number of errors detected was less than the number of errors in the images obtained at the values above the threshold value. This affects the success rate of the system in finding faults. This is clearly seen in the images taken above and below the threshold value below (Figure 8).

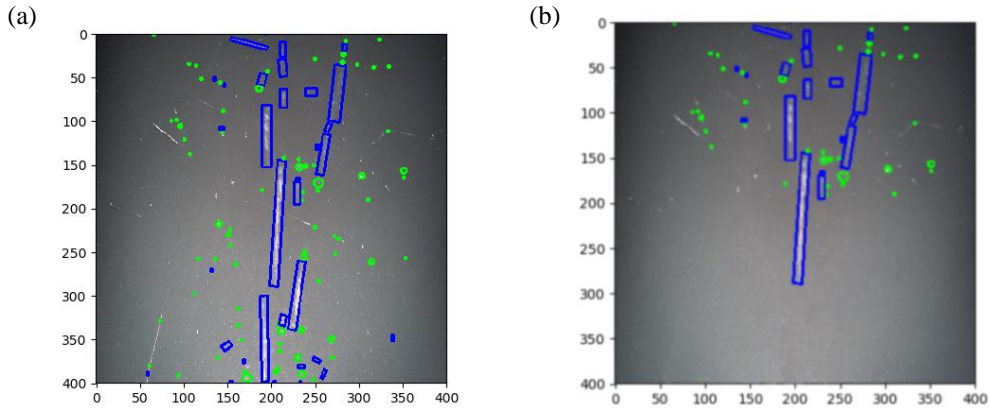


Figure 8. Threshold value a) $E_1 > 1$ b) $E_1 < 5$

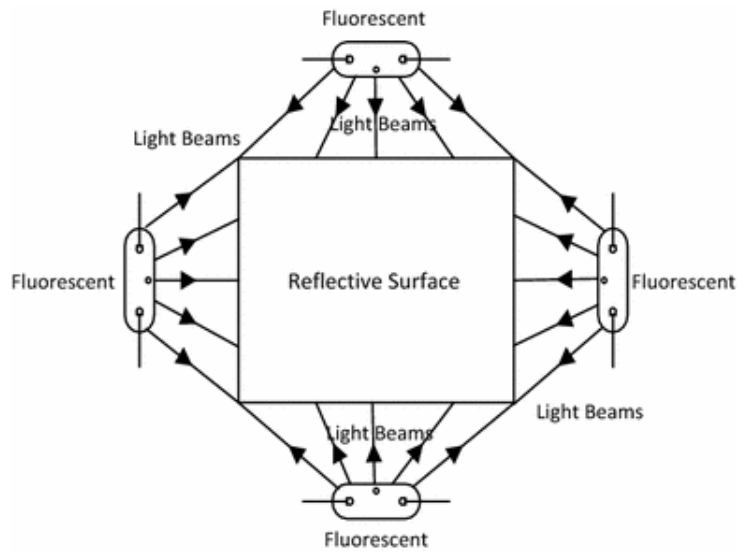


Figure 9. Homogeneous light source (Öztürk and Akdemir, 2018).

The rays reflected from the glass surface are perceived by the camera as intense brightness, which causes the image to be distorted (Öztürk and Akdemir, 2018). Homogeneous light source should be used to prevent reflections on the surface of glass products. In the prototype, homogenous lighting of the environment was provided by fluorescent lamps while glass products were flowing on the conveyor belt. As shown in Fig. 9, the working environment is homogeneous illuminated.

Table 2. Mikro-drive characteristics

Processor	A20 ARM Cortex-A7 dual-core processor
GPU	ARM Mali400MP2 OpenGL ES 2.0 / 1.1
RAM	1GB DDR3
Memory	External tf card
Network	10/100/1000 Mbit / s Ethernet
Video Output	HDMI
Audio Output	3.5mm & HDMI

USB Connect	2 x USB 2.0 connect port
GPIO	Power (+ 5V, + 3.3V ve GND) UART, I2C, SPI & PWM
Power Input	Micro USB (5V / 2A)
Size	92x60mm, 48g

Table 2 shows the micro-drive and its features used in the prototype.

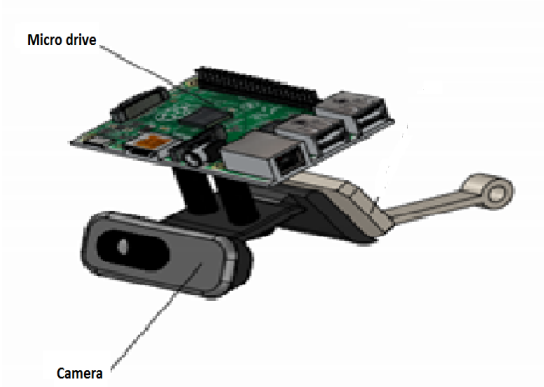


Figure 10. Embedded system design

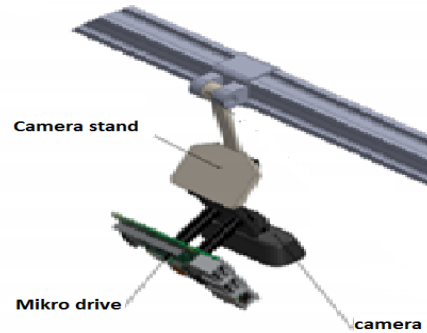


Figure 11. Stand of embedded system

In Figure 10 and 11, the embedded system design (micro drive and camera) used in the prototype is given.

3. Software

The Python programming language was used in the software for the designed prototype. The Python language is open source software. The algorithm of the software installed on the micro drive is given as follows. Fig.12 shows the flow diagram of the software.

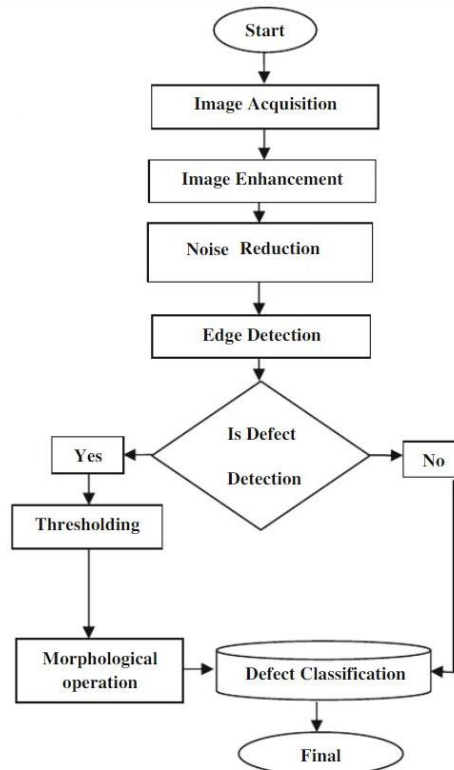


Figure 12. Flow diagram

The processing steps of the algorithm are:

- 1) Image acquisition /capture (image acquisition)
- 2) Image enhancement by making the image gray transform
- 3) Making the image more visible by eliminating unwanted pixels in the image (Noise Reduction))
- 4) Determining the boundaries of the objects on the image (edge detection)
- 5) Defect detection (yes/no)
- 6) Terminating the software by going to error classification if there are no defects (no), (Defect Classification and Final)
- 7) If an error is detected, error determination based on the boundary value (threshold)
- 8) Creating the type of error that is determined by The Shape of the error morphologically (Morphological Operation),
- 9) Classifying the error on the last step (Defect Classification) and (Final) to terminate the software.

The number of scratches: 14 Scratch space (%): 3.19 The number of point defect :13 Point defect space (%): 0.06



Figure 13. Original glass image

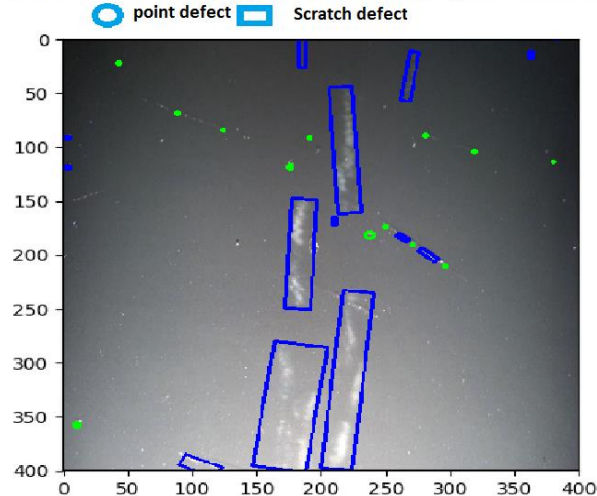


Figure 14. Software screen

The original image of the glass sample is given in Fig. 13, in Fig. 14, a screenshot showing the lines that appear by software is given.

4. Classification

Classification is a process that makes use of known examples to make comments about a new example (Adem and Orhan, 2013). The defects on the glass in this study are on two types and one plane. That's why Quadratics Discriminant, SVM (Support Vector Machine) and Medium Tree classification are used.

A dataset consisting of 30 solid glass images, 30-point defect glass images, and 30 scratch error glass images were used for classification.

Quadratics Discriminant; $a \neq 0$, 2. finds roots in an equation of degree 1 unknown. These roots are x_1 and x_2 . To calculate the roots, first the delta value is calculated in the equation. Δ (delta) is expressed as: Δ (Delta) = Delta value is calculated after the comparison process and roots are calculated.

$\Delta > 0$; a positive discriminant indicates that the quadratic has two distinct real number solutions.

$$X_1, X_2 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (3)$$

$\Delta = 0$; a discriminant of zero indicates that the quadratic has a repeated real number solution.

$$X_1 = X_2 = \frac{-b}{2a} \quad (4)$$

$\Delta < 0$; a negative discriminant indicates that neither of the solutions are real numbers.

SVM is a theory of machine learning in statistical structure. The purpose of this method is to predict the optimal decision function. By distinguishing the two classes from the data studied, the optimal hyperplane is determined by the decision function, so that one can distinguish the educational data. The equations of the support vectors in SVM are given to be used (SVM-1).

$$\begin{aligned} wx + b &= +1, y = +1 \\ wx + b &= -1, y = -1 \end{aligned} \quad , \text{ (SVM-1)} \tag{5}$$

In a linearly differentiable binary classification problem, when “y” is the class label, “w” is the weight vector, and “b” is the approximate value. To increase the value of M, it is necessary to minimize the value of W, as shown in the value of optimal plane intervals (SVM-2).

$$m = \frac{2}{\sqrt{ww}}, f_{\min}(w) = \frac{ww}{2} \quad , \quad \text{ (SVM-2)} \tag{6}$$

$$y_i(wx_i + b) - 1 \geq 0$$

$$L(w, b, a) = \frac{w^2}{s} - \sum_{i=1}^k a_i y_i (wx_i + b) + \sum_{i=1}^k a_i \quad \text{ (SVM-3)} \tag{7}$$

The resulting equation is solved by the LaGrande method. The LaGrande method Is the decision function of the equation for binary classification (SVM-4).

$$f(x) = \text{sign}(\sum_{i=1}^k a_i y_i (xx_i) + b) \quad \text{ (SVM-4)} \tag{8}$$

Medium Tree Classification: The main idea in decision trees is to divide the elements of the data set into groups. The aim is to continue the process until all elements of the group have the same label. It is used to create a decision tree from the dataset and determine what to do in certain situations. Entropy, known as the uncertainty measure of a random variable in the medium Tree classification, is the expected value of information contained by all examples for a process. Information is a measure of information about the occurrence of a random event. Equal probability situations represent high uncertainty. The formula for the entropy value is below.

$$H(X) = \sum_{i=1}^2 p_i \log_2 p_i = -(0.5 \log_2 0.5 + 0.5 \log_2 0.5) = 1 \tag{9}$$

The term entropy (H) is a value that depends on the Pi probabilities of all its belonging States. The threshold value for the classifiers identified above is 0.63. Data in the classification 5 iteration did not reach the result. Since the process of repeating what the machine learned after 5 iterations started, the correct iteration number was determined as 5. The results of the classifier are as indicated below.

Validity criteria: the values given below are calculated to see the success of the classification.

Number of point defect (BS): The number of pixels in glass products containing ship point defect error.

Number of scratches (CS): The number of pixels in glass products that contain scratch defects.

Total surface pixel count (TP): The total number of pixels on the glass product surface.

Point defect rate (BO): The ratio of the total pixel number of point defect faults to the number of pixels on the entire surface. This ratio determines if there is fault tolerance by finding out how much space the fault occupies on the surface.

Scratch rate (CO): The ratio of each scratch defect to the entire surface. This ratio determines if there is fault tolerance by finding out how much space the fault occupies on the surface.

Robust product (SU): Product with error pixeline below a certain threshold.

Total error (TH): Incorrect pixel count on a product.

$$TH=(BS+CS)/TP \quad BO=BS/TP \quad CO=CS/TP$$

The total error parameter (sensitivity) is the value that is valid for finding the threshold value pixels of the glass product that we must separate the defective or solid products from each other. The value that enables the determination of whether the product whose point defect rate is determined is above the point defect threshold value after the incorrect solid separation is made. The number of scratch defects (CS) is the value in determining the scratch error, which is likewise called the second type of defect. Point defect rate (BO)

and scratch rate (CO) is the total pixel ratio of the number of point defect and scratch defects. This is the value used to make the decision whether mistakes can be ignored.

The results of the confusion matrix resulting from the classifiers used in the classification, FFA- Medium Tree, FFA-SVM and FFA - Quadratics Discriminant content are given below.

Table 3. The results of the confusion matrix resulting from the classifiers used in the classification, FFA- Medium Tree, FFA-SVM and FFA - Quadratics Discriminant

CLASS	POINT DEFECT	SCRATCH DEFECT	CLASS	POINT DEFECT	SCRATCH DEFECT	CLASS	POINT DEFECT	SCRATCH DEFECT
POINT DEFECT	26	3	POINT DEFECT	27	3	POINT DEFECT	28	2
SCRATCH DEFECT	3	27	SCRATCH DEFECT	4	26	SCRATCH DEFECT	3	27
FFA- Medium Tree			FFA-SVM			FFA - Quadratics Discriminant		

Classification by iterative thresholds was done in Medium Tree, SVM, and Quadratics discriminant-based classifiers as indicated in the table. A total of 30 scratch defects in the medium Tree classification resulted in 27 scratches and 2 point defects. In total, 30 point defects were classified as 27 point defect faults and 3 scratch faults. The point defects were classified as scratch defects because of the similarities between point defect and scratch defects. Scratch defects one error according to the number of pixels classified as solid. In the classification made by SVM based iterative threshing, 26 scratch and 4 point defect defects were classified in a total of 30 scratch defects, 27 point defect and 3 scratch defects were detected in a total of 30 point defects. The similarity of scratch and point defects in classification defects decreased the percentage of accuracy. In the Quadratics Discriminant-based classifier, 27 scratch defects and 2-point defects were classified in the same data collection, while 28-point defects and 2 scratch defects were classified in the point defects. Here, too, it has reduced the success rate due to the similarities of scratch defects to point defects. The results show the highest success rate in the 3 different models used. The products included in the classification are the ones that are found to be solid, submerged, faulty, and scratch-off; the pixel numbers of these products are determined and the classification is made.

5. Results and Evaluation

In this paper, an error detection system is proposed on a dataset consisting of built-in glass products. This dataset consists of 90 glass products for testing in total and consists of 3 classes as solid, submerged and scratched. Examination of glass surfaces is very difficult due to reflection and transparency. For this reason, an open source prototype was developed using morphological image processing techniques. This prototype is a software system that uses a camera on a micro drive to determine the products flowing on the conveyor belt as solid, submerged and scratched, and works with a high success rate of 93.8%. The manual control showed a success rate of approximately 50%. The study will give direction to the work in the future in the detection error of reflective surfaces.

References

Adelson, E. H. & Wang, J. Y. A., (1992). "Single Lens Stereo with a Plenoptic Camera," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 14, no. 2, pp. 99–106, 1992.

Adem, K., & Orhan, U. "Imaging processing-based quality control of transversal seams in Tetra Brik Aseptic cartons," 2013 21st Signal Process. Commun. Appl. Conf., pp. 1–4, 2013.

Cabral, J. D. D., & Araújo, S. A., (2012). "Computer Vision System for Automatic Quality Inspection of Glass Products Used for Food Packaging," Int. Conf. Ind. Eng. Oper. Manag., pp. 1–10, 2012.

Chao, S. M., Tsai, D. M., Tseng, Y. H. & Jhang, Y. R., (2006). "Defect detection in low-contrast glass substrates using anisotropic diffusion," Proc. - Int. Conf. Pattern Recognit., vol. 1, pp. 654–657, 2006.

Chen, X., Liu, N., You, B., & Xiao, B., (2016). "A novel method for surface defect inspection of optic cable with short-wave infrared illuminance," Infrared Phys. Technol., vol. 77, pp. 456–463, 2016.

Elbehiery, H., Hefnawy, A., & Elewa, M., (2005). "Surface defects detection for ceramic tiles using image processing and morphological techniques," Proc. - WEC'05 3rd World Enformatika Conf., vol. 5, no. 5, pp. 158–162, 2005.

- Hocenski, Z., Vasili, S., & Hocenski, V., (2006). "Improved canny edge detector in ceramic tiles defect detection," IECON Proc. (Industrial Electron. Conf., pp. 3328–3331, 2006.
- Keser, T. Hocenski, Z., & Hocenski V., (2010). "Intelligent machine vision system for automated quality control in ceramic tiles industry," *Strojarsstvo*, vol. 52, no. 2, pp. 105–114, 2010.
- Kumar, N., & Kaur N., (2013). "Detection of Defects in Glass Using Edge Detection with Adaptive Histogram Equalization," *Int. J. Innov. Res. Comput. Commun. Eng.*, vol.1, Issue 6, pp. 1321–1327, 2013.
- Liu, Y. H. & Chen, Y. J. (2011). "Automatic defect detection for TFT-LCD array process using quasiconformal kernel support vector data description," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 12, no. 9, pp. 5762–5781, 2011.
- Nishu & S. Agrawal (2011). "Glass Defect Detection Techniques using Digital Image Processing–A Review," *Spec. issues IP Multimed. Commun.*, vol. 1, pp. 65–67, 2011.
- Öztürk, Ş. & Akdemir, B., (2018). "Fuzzy logic-based segmentation of manufacturing defects on reflective surfaces," *Neural Comput. Appl.*, vol. 29, no. 8, pp. 107–116, 2018.
- Öztürk, Ş. & Akdemir, B., (2015). "Comparison of Edge Detection Algorithms for Texture Analysis on Glass Production," *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 195, pp. 2675–2682, 2015.
- Qu, T., Zou, L., Zhang, Q. X., Chen, & C. Fan, (2016). "Defect detection on the fabric with complex texture via dual-scale over-complete dictionary," *J. Text. Inst.*, vol. 107, no. 6, pp. 743–756, 2016.
- Rosli, N. S., Fauadi, M. H. F. M., Awang, N. F., & Noor, A. Z. M. (2018). "Vision-based defects detection for glass production based on improved image processing method," *J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 12, no. Special issue1, pp. 203–212, 2018.
- Singh, T., Lal Dua R., Agrawal, S. & Acharya, A. (2013). "Detection of Defects in Glass Sheet using C. S. C based Segmentation Method," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 68, no. 14, pp. 29–32, 2013.
- Spinola, C., Canero, G. J. G., Moreno-Aranda, J. M. Bonelo, & M. Martin-Vazquez, (2011). "Real-time image processing for edge inspection and defect detection in stainless steel production lines," 2011 IEEE Int. Conf. Imaging Syst. Tech. IST 2011 - Proc., no. May, pp. 170–175, 2011.
- Zhao, J. Q. J. Kong, Zhao, X., J. Liu, & Y. Liu, (2011). "A method for detection and classification of glass defects in low resolution images," *Proc. - 6th Int. Conf. Image Graph. ICIG 2011*, pp. 642–647, 2011.



Multi Criteria Decision Making for the Selection of a New Hub Facility Location in Humanitarian Supply Chains

Gül Didem Batur Sir *¹, Emre Çalışkan ¹

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Gazi University, Ankara, TURKEY

Başvuru/Received: 26/04/2020

Kabul / Accepted: 12/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Dünyadaki yüzlerce felaketten etkilenen insanlara yardım etmeye çalışmak, “insan” olmanın bir gereği ve tüm insanlık için önemli bir harekettir. Bu çabaların bir parçası olarak, insani yardım kuruluşları ve akademisyenler insani lojistik üzerine odaklanmaktadır. Dünya Gıda Programı (World Food Programme, WFP) her yıl 80 milyondan fazla insana yardım eden lider kuruluşlardan biridir. WFP'ye göre, gerekli malzemelerin neredeyse yarısı krizin bulunduğu ülke veya bölgede, diğer yarısı uluslararası olarak tedarik ve sevk edilmektedir. Bu uluslararası hibeler, WFP tarafından yönetilen Birleşmiş Milletler İnsani Yardım Merkezleri tarafından sağlanmaktadır. Bu ağın kilit unsurları, acil durum malzemelerinin depolandığı afet bölgelerine yakın merkezlerdir. Bu çalışmada, gerektiğinde kullanım için değerlendirilen uygun yeni tesis adayları arasından seçim yapmak için bir karar destek planı önerilmiştir. Tartışılan çok kriterli karar verme probleminde alternatif yerler, acil seferberlik, maliyet verimliliği, barındırma bölgesinin istikrarı, afet eğilimli alan, insani hizmetler için eğitim yetenekleri ve ölçek ekonomileri gibi ilgili kriterlere göre incelenmektedir. Çalışmada, bulanık bilgilerle birlikte dilsel değerlendirmelerin dikkate alındığı güçlü bir yöntem kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler

“İnsani yardım lojistiği, Çok Kriterli Karar Verme, MULTIMOORA, Dünya Gıda Programı”

Abstract

Trying to help people affected by hundreds of disasters around the world, is a necessity of being a “human” and an important movement for all humanity. As part of these efforts, humanitarian agencies and academicians have been focusing on humanitarian logistics. The World Food Programme (WFP) is one of the leading organizations that help over 80 million people every year. According to WFP, almost half of the necessary materials are supplied in the country or region where the crisis is located, and the other half is supplied and shipped internationally. These international grants are provided by the United Nations Humanitarian Depots managed by the WFP. The key elements of this network are the centers located close to the disaster areas where the emergency materials are stored. In this study, a decision support plan has been proposed to choose among suitable new facility candidates evaluated for use when necessary. In the multi-criteria decision-making problem discussed, alternative locations are examined according to the related criteria such as immediate mobilization, cost efficiency, stability of the hosting zone, disaster-prone area, training abilities for humanitarian services, and economies of scale. A robust method is used considering the linguistic evaluations, together with the fuzzy information.

Key Words

“Humanitarian Logistics, Multi Criteria Decision Making, MULTIMOORA, World Food Programme”

1. Introduction

Hundreds of disasters that are happening on the world every day open huge irreversible injuries in the lives of thousands of people. These disasters can be triggered by sudden, catastrophic events like hurricanes, earthquakes, or complex, continuing emergencies like conflicts, or slow onset disasters such as pandemic infections (Redmond, 2005). Whatever the reason is, they can cause more harm to the affected population even though they do not directly live in disaster area (Gossler et al., 2019). Helping these people to restore their lives is an important task for all humanity. Because, one shocking example is that more than 800 million people worldwide are facing with chronic malnutrition because of drought and floods (World Food Programme, 2020). There are various humanitarian organizations established for this purpose. Humanitarian organizations play a vital role in post-crisis relief and recovery periods. The activities carried out are crucial in delivering food and other services to the affected people (Resodihardjo, 2018). Therefore, their logistical needs are of great importance for the sustainability of such aids. Logistics is one of the most important subjects in disaster management such that approximately 75% of funding allocated to disaster response concerns supply chain expenditures (Van Wassenhove, 2006). Because of this excessive importance, UN adopted “Cluster Approach” to strengthen the coordination on the ground level management and response capacity in key sectors such as logistics, food. The Logistics Cluster, one of these Cluster Approaches, aims to improve coordination and access to common logistics services (Besiou & Van Wassenhove, 2019). During an emergency, both UN and other humanitarian agencies come together according to their Logistics cluster to consolidate all activities and develop coordinated response. A broad division of labor exists within the UN humanitarian system. On food sector, World Food Programme (WFP) is the responsible coordination agency in Logistics cluster for emergency food delivery (Rose & O’Keefe, 2017).

Humanitarian organizations focus mainly on four basic steps of disaster management: mitigation, preparedness, response, rehabilitation (Tomasini and Van Wassenhove, 2009). The activities in all four steps are affected heavily by the funding. If the funding is sufficient, organizations can strengthen supply chain capabilities like geographical (pre)positioning of relief items and base facilities (Besiou and Van Wassenhove, 2019). So, humanitarian organizations implement the basics of commercial supply chain management. These operations have been realized as decision making and operations management topics by academics. We refer the interested reader to review studies of Besiou and Van Wassenhove (2019), Heaslip et al. (2019), and Rodriguez-Espindola et al. (2018). Broad number of studies on humanitarian supply chain and logistics are carried out. Nowadays, there are relevant papers of different problems in the field such as network design (Stephenson Jr., 2005; Stauffer et al., 2018), product distribution (Gossler et al., 2019), outsourcing (Gossler et al., 2019; Falagara Sigala and Wakolbinger, 2019), location-routing (Elluru et al., 2019), disaster competence (Goldschmidt and Kumar, 2019), decision support with information fusion (Smirnov et al. 2007), supplier selection (Kim et al., 2019), facility planning and selection (Kako et al., 2020). Several types of both qualitative and quantitative methods have been used like mathematical modelling (Elluru et al., 2019), simulation (Stauffer et al., 2018). But contrary some methods have been rarely taken into account such as multi criteria decision making (MCDM) methods in humanitarian logistics topics.

A few studies have been carried out in which MCDM methods are used when the keywords of humanitarian logistics and MCDM were searched. All of these studies are published in last decade. The study of Celik et al. (2014) could be given as an early exemplary to mentioned studies. They took into consideration the identifying and evaluating the success factors that are critical for effective disaster management in context of humanitarian logistics operations. They proposed a method that combines the typ-2 fuzzy sets and analytic hierarchy process (AHP) and suggested that it is efficient. Saksrisathaporn et al. (2016) evolved a decision model through which they took the problems of supplier, warehouse and vehicle selection into consideration by using MCDM. As a supplementary study, Saksrisathaporn and Reeveerakul (2016) presented two case scenarios and implemented a decision model proposed by the authors in previous study. They took into account the humanitarian logistics life cycles of French Red Cross to the Haiti earthquake and Thai Red Cross to the Nan flooding as the case studies. Another study is Venkatesh et al. (2019)’s one which is interested with continuous aid humanitarian supply chains. They introduced a supply partner selection framework by proposed MCDM model that uses fuzzy AHP to compute weights and fuzzy TOPSIS to rank alternatives. When we focused on the facility location and selection decisions in humanitarian logistics topic, we encounter really a few studies which taken into consideration MCDM techniques (Roh et al., 2013; Roh et al., 2015; Bastian et al., 2016; Drakaki et al., 2018; Song et al., 2019). In this context, there is a notable gap in humanitarian logistics literature.

In this study, we consider the facility evaluation and selection in UN WFP supply chain which is the one leading example of humanitarian aid supply chains. The United Nations humanitarian response depots (UNHRD) which is managed by WFP, is an international humanitarian network of 6 hubs strategically located around the world that provide supply chain solutions to the international humanitarian community in Logistics Cluster. As can be seen from Figure 1, the individual warehouses are located in Italy, United Arab Emirates, Ghana, Panama, Malaysia and Spain. Through this network, basic services like warehousing, inspection and handling of prepositioned relief items in any of the six UNHRDs worldwide for its range of partners, are offered at no charge. In addition, UNHRD Laboratories offers extensive services such as procurement, transportation, technical assistance and technological innovation. UNHRD technicians are also involved in setting up mobile warehouses, training local staff and setting up treatment units and decontamination areas (<http://www1.wfp.org/unhrd>).

UNHRD tries to maximize a coordinated response effort, including the following criteria (<https://unhrd.org/>):

- Immediate mobilization of relief items within 24 to 48 hours.
- Cost efficiency through the use of single network.

- Turnkey solutions and support throughout the humanitarian supply chain.
- Harmonization of relief items.
- A “one-stop-shop” customer service.
- Staging areas at the onset of an emergency.
- Training facilities for humanitarian organizations.



Figure 1. Current Hub Locations Used by WFP (<https://unhrd.org/>) *
 *(White spots show the candidate hub facility locations).

Within the scope of this study, we focus on new hub facility evaluation in UNHRD supply chain. For ongoing disasters, a study is conducted to determine the appropriate location candidates for the establishment of new centers that may be needed. Five alternatives of hub facility location are evaluated under the following criteria, some of which are already in use by WFP:

- Immediate Mobilization (C1): The ability of transport the relief items within 24 to 48 hours from a request via airports, ports or main road. So, it is important to be close to international ports, airports or main roads.
- Cost Efficiency (C2): It consists of costs through the use of network to procure, host and deploy relief items. Hosting and deployment are especially important branches. It could be measured with inflation and expenses.
- Stability of Hosting Region (C3): Socio-political and economic stability of hosting country.
- Disaster- Prone Area (C4): Proximity of area to the disaster area.
- Training Abilities for Humanitarian Services (C5): Hub locations also served as training center facilities. Training activities compose from rescue actions to logistics services. It is a benefit for hub location country to have a well-established institution of aid and relief service.
- Economies of Scale (C6): The present supply chain network also provides its partners economies of scale from market research and procurement of relief items to storage, transportation, installation of equipment and building. So, it is wishful that the hosting countries have an economy of scale.

Examining the WFP operations of 2017 and mid-2018, Africa (DRC Ebola crisis, SAHEL countries [North Africa and Sub-Sahara], South Sudan emergency), South East Asia (Bangladesh emergency and hurricanes, and floods) and Middle East regions (Syria and Yemeni crises) have faced with emergencies and needed humanitarian relief items supply. Current locations of UNHRD hubs have been chosen for their transport connections and especially proximity to disaster-prone areas (<https://www.wfp.org/unhrd>). Besides, WFP seeks to create a network of UNHRDs in Africa, the Middle East, South East Asia based on its own requirements (<https://unhrd.org/>). Therefore, five alternative hub facility locations are determined due to the closeness to aforementioned and similar regions, and their levels of development; being Australia, India, Kenya, South Africa and Turkey.

UN programs, such as WFP, UN International Strategy for Disaster Reduction, tend to building and increasing their resilience for worldwide disaster risk reduction (Kimber, 2019). According to sociological analyses, idea of resilience is a vague concept. Handling with that vagueness in all stages of the UN operations is primarily needed to not hinder the organization’s disaster reduction operations. In order to handle the vagueness of our decision problem and also due to the structure of the determined criteria, fuzzy data sets are

taken into account, and the evaluation is carried out using Fuzzy MULTIMOORA, which is a robust commonly used multi criteria decision making (MCDM) method presented in Section 2. It is stated that only two studies were carried out in the facility planning area and only one in the warehouse selection area, among the application studies conducted on the MULTIMOORA method (Hafezalkotob et al., 2019). Therefore, this study also has contributed related literature.

The rest of the paper is organized as follows. In next section, a summary definition of the MCDM method used in this study is provided. Then, we present the application of the selected method to the problem and present our analytical results in Section 3. Finally, we give the conclusions of our work together with some future directions.

2. Method

We solved this problem using an MCDM technique, namely the MULTIMOORA. The method is introduced by Brauers and Zavadskas (2010), and is realized by combining the results of Multi Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis (MOORA) method of Brauers and Zavadskas (2006) and Full Multiplicative Form method of Brauers (2002). It is possible to apply The MOORA Method to optimize two or more contradictory objectives subject to certain constraints, solving complex decision problems (Brauers and Zavadskas, 2006; Gadakh, 2011). MULTIMOORA evaluates the alternatives, using various MOORA methods. According to related literature, there are some conditions to be met in order to be defined as a robust multi criteria method, and MULTIMOORA method is said to be one of the most robust MCDM methods (Brauers and Zavadskas, 2012). Furthermore, MULTIMOORA method is reliable and simple when its performance is compared with other MCDM methods (Hafezalkotob et al., 2019). Low computational time, using three different methods for determining subordinate rankings, and employing ranking aggregation tools for integrating the subordinate rankings are also other advantages of the method. The method is then updated by Brauers et al. with the use of Triangular Fuzzy Numbers (TFNs) (Brauers et al, 2011).

The MOORA method consists of the combined results of the MOORA Ratio and MOORA Reference Point approaches. In the Fuzzy Ratio system, the responses of alternatives on the criteria are first normalized and the total assessment of each alternative with respect to the criteria are obtained using Eqn. (1), where x_{ij}^* defines the value of alternative i for criterion j :

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

In order to optimize the result, Eqn. (2) is used summing up the values for the ones to be maximized (for $j = \{1, \dots, g\}$) and/or subtracting for the ones to be minimized (for $j = \{g + 1, \dots, n\}$). Here, y_i^* corresponds to the normalized assessment of alternative i .

$$y_i^* = \sum_{j=1}^g x_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n x_{ij}^* \tag{2}$$

Then the Best Non-Fuzzy Performance (BNP) values are obtained by Eqn. (3) (by defuzzifying the assessments if necessary), and a ranking according to these values is applied.

$$BNP_i = \frac{(y_{i3}^* - y_{i1}^*) + (y_{i2}^* - y_{i1}^*)}{3} + y_{i1}^* \tag{3}$$

For the second part, the Reference Point system, the ratios (obtained in Eqn. (1)) are used to calculate the maximal objective reference point, which is defined as follows:

$$\tilde{r}_j = \begin{cases} x_j^+ = (\max_i x_{ij1}^*, \max_i \tilde{x}_{ij2}^*, \max_i x_{ij3}^*), j \leq g; \\ x_j^- = (\min_i x_{ij1}^*, \min_i x_{ij2}^*, \min_i x_{ij3}^*), j > g; \end{cases} \tag{4}$$

Then, this vector is normalized and the deviation from reference point is obtained by Eqn. (5) and Eqn. (6). These results are ranked in an increasing order, giving the final ranking of the problem.

$$d(\tilde{r}_j, \tilde{x}_{ij}^*) = \sqrt{\frac{1}{3} [(\tilde{r}_{j1} - \tilde{x}_{ij1}^*)^2 + (\tilde{r}_{j2} - \tilde{x}_{ij2}^*)^2 + (\tilde{r}_{j3} - \tilde{x}_{ij3}^*)^2]} \tag{5}$$

$$\min_i (\max_j d(\tilde{r}_j, \tilde{x}_{ij}^*)) \tag{6}$$

In order to obtain the solution for the next part, namely the Fuzzy Full Multiplicative Form, we calculate the overall utilities of alternatives by using Eqn. (7) and final ranking is obtained by defuzzifying these values using Eqn. (3).

$$\tilde{U}'_i = \tilde{A}_i \odot \tilde{B}_i \tag{7}$$

where $\tilde{A}_i = (A_{i1}, A_{i2}, A_{i3}) = \prod_{j=1}^g \tilde{x}_{ij}$ and $\tilde{B}_i = (B_{i1}, B_{i2}, B_{i3}) = \prod_{j=g+1}^n \tilde{x}_{ij}$ are calculated for the alternatives to be maximized and minimized, respectively.

As can be followed from the above explanations, there are three solutions obtained by the three methods. These three results are ranked according to the dominance states of the Fuzzy MULTIMOORA, and final ranking is obtained.

Figure 2 shows the relation between the two methods of MOORA, namely the ratio system and the reference point, and the Full Multiplicative Form.

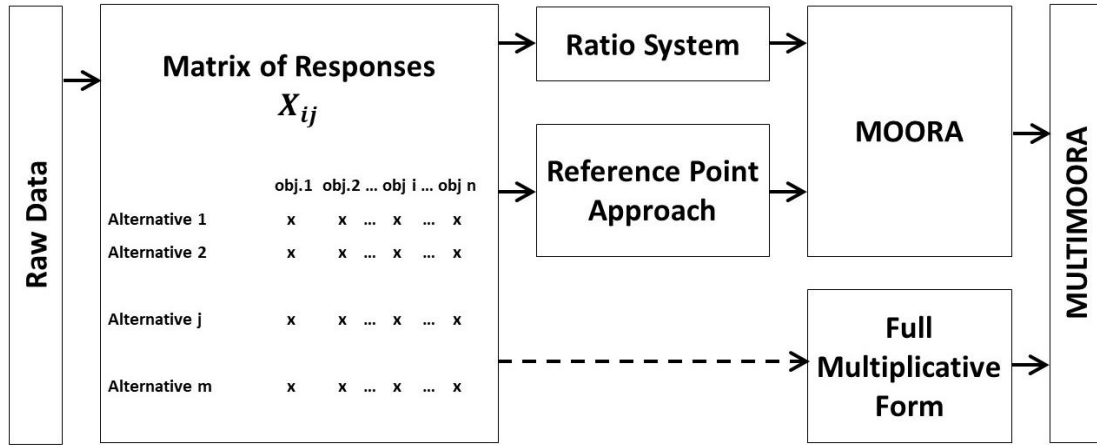


Figure 2. Diagram of MULTIMOORA (Brauers and Zavadskas, 2012)

3. Application

Throughout the application of Fuzzy MULTIMOORA, candidate facility locations are evaluated according to given criteria. Many different types of TFNs have been employed in the linguistic scales (Chen and Ku, 2008). When summarized all applications in TFNs, the most detailed scale is found to be 7-point scale. Therefore, we use the 7-point linguistic scale proposed by Chen et al. and TFNs in order to convert the evaluations (Chen et al., 2006). The scale levels are shown in Figure 3.

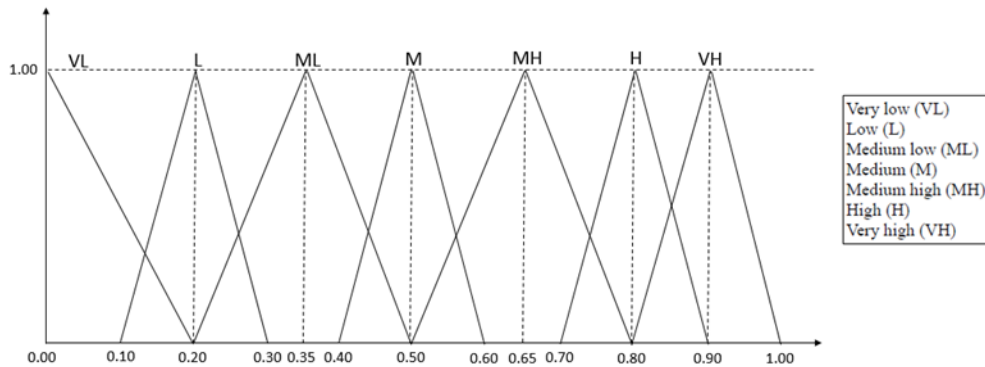


Figure 3. Linguistic Scale for Evaluation

Human subjective judgment is generally fuzzy and imprecise, so fuzzy data can be expressed in linguistic terms to make easy interpret (Chen and Ku, 2008). The data for evaluation of alternatives are derived from countries' statistics reports. Immediate mobilization (C1) and Stability of Hosting Region (C3) related data are derived from Logistics Performance Index and Political Stability Index, respectively, which are provided by World Bank. Cost Efficiency (C2) data is derived from Cost of Living Index by using global database called Numbeo. Training Abilities for Humanitarian Services (C5) data is obtained from the information and references of selected countries' national aid and relief agencies. Lastly, Economies of scale (C6) data is also derived from GDP data and Human Development Index provided by World Bank and UN Development Program, respectively. Then, informed colleagues are asked to evaluate the alternatives according to the linguistic scale taking these data into account. Final evaluation matrix is given in Table 1. Then the linguistic data is converted into TFNs using the scale in Figure 3. Resulting data is given in Table 2.

Table 1. Linguistic Evaluation Matrix of Alternatives

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Australia	H	ML	H	ML	H	H
India	M	H	ML	MH	L	VH
Kenya	ML	H	L	VH	L	L
South Africa	MH	MH	ML	H	L	M
Turkey	M	H	ML	H	L	MH

Table 2. Evaluation Matrix of Alternatives in Terms of TFNs

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Australia	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.2, 0.35, 0.5)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.2, 0.35, 0.5)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.7, 0.8, 0.9)
India	(0.4, 0.5, 0.6)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.2, 0.35, 0.5)	(0.5, 0.65, 0.8)	(0.1, 0.2, 0.3)	(0.8, 0.9, 1)
Kenya	(0.2, 0.35, 0.5)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.1, 0.2, 0.3)	(0.8, 0.9, 1)	(0.1, 0.2, 0.3)	(0.1, 0.2, 0.3)
South Africa	(0.5, 0.65, 0.8)	(0.5, 0.65, 0.8)	(0.2, 0.35, 0.5)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.1, 0.2, 0.3)	(0.4, 0.5, 0.6)
Turkey	(0.4, 0.5, 0.6)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.2, 0.35, 0.5)	(0.7, 0.8, 0.9)	(0.1, 0.2, 0.3)	(0.5, 0.65, 0.8)

Fuzzy Ratio System is the beginning step of our solution approach. In order the reader to get the insight of the algorithm, we present the calculations of the first alternative, Australia. First, the response values are calculated using Eqn. (1). The values of Australia for the six criteria are determined to be as follows:

$$x_{1j} = \begin{cases} (0.307, 0.351, 0.394), j = 1 \\ (0.073, 0.127, 0.182), j = 2 \\ (0.384, 0.439, 0.494), j = 3 \\ (0.070, 0.123, 0.176), j = 4 \\ (0.443, 0.506, 0.569), j = 5 \\ (0.272, 0.311, 0.350), j = 6 \end{cases}$$

As is mentioned before, now it is time to obtain total assessments of the alternatives. Focusing on Australia again, we calculate the normalized assessment of this alternative to be (0.380, 0.478, 0.576). Obviously, these values are also TFNs, which means that they need to be defuzzified using Eqn. (3), giving the final *BNP* values. Final preference values for the alternatives are determined as follows:

$$BNP_i = \{0.609, 0.617, 0.581, 0.682, 0.617\}$$

Now we have the ordinal ranking which is constructed according to these values, giving the preference of Fuzzy Ratio System. Obtained ranking result is presented in Table 3.

Our second method is the Fuzzy Reference Point, in which we calculate the Maximal Objective Reference Point by Eqn. (4) using the ratios found by Eqn. (1). Final ranking is obtained by Eqn.s (5) and (6), giving the deviation of the elements from the reference point. For our case, related values are determined as follows:

$$d(\tilde{r}_j, \tilde{x}_{ij}^*) = \begin{matrix} & & & \text{criteria} & & & \\ & 0 & 0.164 & 0 & 0.194 & 0 & 0.039 \\ \text{alternatives} & \begin{bmatrix} 0.131 & 0 & 0.248 & 0.089 & 0.379 & 0 \\ 0.198 & 0 & 0.329 & 0 & 0.379 & 0.272 \\ 0.068 & 0.057 & 0.248 & 0.035 & 0.379 & 0.155 \\ 0.131 & 0 & 0.248 & 0.035 & 0.379 & 0.098 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Related ranking is obtained sorting the "max"s of these values with respect to each of the alternatives in descending order, which are [0.194, 0.379, 0.379, 0.379, 0.379]. The result exists in the third column of Table 3.

At the last method, Fuzzy Full Multiplicative Form is arrived. We calculate the overall utilities of alternatives by using Eqn. (7), which results to be (7.29 * 10⁻⁵, 3.81 * 10⁻⁴, 1.24 * 10⁻³) for Australia. Related *BNP* values are found by defuzzifying these values using Eqn. (3), to be as follows:

$$BNP_i = \{5.66 * 10^{-4}, 2.11 * 10^{-4}, 3.61 * 10^{-5}, 1.65 * 10^{-4}, 1.89 * 10^{-4}\}$$

Final ranking obtained accordingly is given in Table 3.

Finally, the ordinal rankings of the Fuzzy Ratio System, the Fuzzy Reference Point approach, and the Fuzzy Full Multiplicative Form are on hand and the final ranking of alternatives, which is calculated according to the dominance states of the Fuzzy MULTIMOORA, is given in the last column of Table 3.

Table 3. The Ranking of Alternatives

Alternative	Fuzzy Ratio System	Fuzzy Reference Point	Fuzzy Full Multiplicative Form	FINAL RANKING
Australia	4	1	1	1
India	2	2	2	2
Kenya	5	2	5	5
South Africa	1	2	4	4
Turkey	2	2	3	3

4. Conclusion

In this study, we focus on humanitarian supply chain network including six hub facilities used by WFP. This network is especially important to relief emergencies such as floods, droughts, refugee crisis etc. With gradually increasing threats and climate changes, there will be a need to expand the existing network. Taking this highly possible situation into account, a hub facility evaluation framework based on multi criteria decision making is proposed. Five possible hub facility locations are evaluated, in terms of 6 criteria; i.e. immediate mobilization, cost efficiency, stability of the hosting zone, disaster-prone area, training abilities for humanitarian services, and economies of scale.

Throughout the solution procedure, MULTIMOORA method is preferred among various techniques on the area. Following the main steps of the method, the rankings of the Fuzzy Ratio System, the Fuzzy Reference Point approach and the Fuzzy Full Multiplicative Form are first obtained. As can be seen from Table 3, the orderings obtained in the first two methods changes taking the third one into account. As is mentioned by Brauers and Zavadskas (2010), the use of three different methods of multi-objective optimization is more robust than the use of two methods. Being consistent with this remark, the strongest aspect of MULTIMOORA is the use of three different methods simultaneously and it is defined as one of the most robust methods in the literature. This feature is the most important reason of us to use MULTIMOORA in this study.

The evaluations of the study are made according to the data obtained from countries’ statistics. As there are inherent uncertainties of related objects, it is more appropriate to express these properties in terms of fuzzy values instead of real numbers. Therefore, we took fuzzy data sets into account with respect to the structure of the considered criteria, and the usage of fuzzy logic benefited us being a useful tool to prevent loss of information regarding the evaluation of qualitative criteria.

The final ranking is determined according to the previous sub-results for this specific problem and found as follows: Australia, India, Turkey, South Africa and Kenya, respectively. The results are logical and consistent under the specified criteria. One of the most important reasons for this result is Australia’s level of economic and social development, hence the socio-cultural competencies of people and the superiority of the country’s transport facilities. Despite the proximity of Kenya, South Africa and Turkey to the disaster areas, the lack of socio-political and economic stability in these countries shifted them to lower ranked orders. Similarly; Turkey, India and Kenya, although advantageous in terms of hosting and distribution costs, lack of training skills necessary to provide humanitarian services made these countries less preferable.

More detailed studies will be focused on by taking different criteria into account in addition to the ones that are discussed in this one. Besides, number of possible alternatives can be increased in order to be able to evaluate more choices to be used in the humanitarian supply chain network.

References

Bastian, N.D., Griffin, P.M., Spero, E., and Fulton, L.V. (2016) Multi-criteria logistics modeling for military humanitarian assistance and disaster relief aerial delivery operations, *Optimization Letters*, 10, 921-953.

- Besiou, M. and Van Wassenhove, L.N. (2019) Humanitarian Operations: A World of Opportunity for Relevant and Impactful Research, *Manufacturing & Service Operations Management*, 1-11.
- Brauers, W.K.M (2002) The Multiplicative Representation for Multiple Objectives Optimization with an Application for Arms Procurement, *Naval Research Logistics*, 49.
- Brauers, W.K.M. (2004) Optimization methods for a stakeholder society. A revolution in economic thinking by multiobjective optimization: Nonconvex Optimization and its Applications, Kluwer Academic Publishers, Boston, U.S.A.
- Brauers, W.K.M. and Zavadskas, E.K. (2006) The MOORA method and its application to privatization in a transition economy, *Control and Cybernetic*, 35(2), 445-469.
- Brauers, W.K.M., and Zavadskas, E.K. (2010) Project management by MULTIMOORA as an instrument for transition economies, *Technological and Economic Development of Economy*, 16(1), 524.
- Brauers, W.K.M., and Zavadskas, E.K. (2012) Robustness of MULTIMOORA: A Method for Multi-Objective Optimization, *Informatica*, 23(1), 1-25.
- Brauers, W.K.M., Balezentis, A. & Balezentis, T. (2011). Multimoora for the EU member states updated with fuzzy number theory. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(2), 259-290.
- Celik, E., Taskin Gumus, A., and Alegoz, M. (2014) A trapezoidal type-2 fuzzy MCDM method to identify and evaluate critical success factors for humanitarian relief logistics management, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 27, 2847-2855.
- Chen, T.Y., and Ku, T.C. (2008) Importance-Assessing Method with Fuzzy Number-Valued Fuzzy Measures and Discussions on TFNs and TFNs, *International Journal of Fuzzy Systems*, 10(2), 92-103.
- Chen, C.T., Lin, C.T. and Huang, S.F. (2006) A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management, *International Journal of Production Economics*, 102(2), 289-301.
- Drakaki, M., Güner Gören, H., and Tzionas, P. (2018) An intelligent multi-agent based decision support system for refugee settlement siting, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 576-588.
- Elluru, S., Gupta, H., Kaur, H., and Singh, S.P. (2019) Proactive and Reactive Models for Disaster Resilient Supply Chain, *Annals of Operations Research*, 283, 199-224.
- Falagala Sigala, I., and Wakolbinger T. (2019) Outsourcing of Humanitarian Logistics to Commercial Logistics Service Providers, *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 9(1), 47-69.
- Gadakh, V.S. (2011) Application of MOORA Method for Parametric Optimization of Milling Process, *International Journal of Applied Engineering Research*, Dindigul. 1(4).
- Goldschmidt, K.H. and Kumar, S. (2019) Reducing the cost of humanitarian operations through disaster preparation and preparedness, *Annals of Operations Research*, 283, 1139-1152.
- Gossler, T., Wakolbinger, T., Nagurney, A., & Daniele, P. (2019) How to Increase the Impact of Disaster Relief: A Study of Transportation Rates, Framework Agreements and Product Distribution. *European Journal of Operational Research*, 274, 126-141.
- Hafezalkotob, A., Hafezalkotob, A., Liao, H., and Herrera, F. (2019) An overview of MULTIMOORA for multi-criteria decision making: Theory, developments, applications, and challenges, *Information Fusion*, 51, 145-177.
- Heaslip, G., Vaillancourt, A., Tatham, P., Kovacs, G., Blackman, D. and Crowley Henry, M. (2019) Supply Chain and Logistics Competencies in Humanitarian Aid, *Disasters*, 43(3), 686-708.
- Kako, M., Steenkamp, M., Ryan, B., Arbon, P., and Takada, Y. (2020) Best practice for evacuation centres accommodating vulnerable populations: A literature review, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 46, 101497.
- Kim, S., Ramkumar, M., and Subramanian, N. (2019) Logistics service provider selection for disaster preparation: A Socio-technical systems perspective, *Annals of Operations Research*, 283, 1259-1282.

- Kimber, L.R. (2019) Resilience from the United Nations Standpoint: The Challenges of “Vagueness”, In: SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology, 89-96, SpringerVerlag.
- Redmond, A.D. (2005) ABC of Conflict and Disaster: Needs Assessment of Humanitarian Crises, *British Medical Journal*, 330 (7503), 1320-1322.
- Resodihardjo, S.L. (2018) Introduction to the Special Issue: Humanitarian Organizations in Disaster Response. *Risk, Hazards & Crisis in Public Policy*, 9(2), 104-106.
- Rodriguez-Espindola, O., Albores, P., and Brewster, C. (2018) Decision-making and Operations in Disasters: Challenges and Opportunities, *International Journal of Operations & Production Management*, 38(10): 1964-1986.
- Roh, S., Jang, H., and Han, C. (2013) Warehouse location decision factors in humanitarian relief logistics, *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 29(1), 103-120.
- Roh, S., Pettit, S., Harris, I., and Beresford, A. (2015) The pre-positioning of warehouses at regional and local levels for a humanitarian relief organization, *International Journal of Production Economics*, 170B, 616-628.
- Rose, J. and O’Keefe, P. (2017) Relief Operations, In: *International Encyclopedia of Public Health*, 2nd Edition, Academic Pres, 278-285.
- Saksrisathaporn, K., Bouras, A., Reeveerakul, N., and Charles, A. (2016) Application of decision model by using an integration of AHP and TOPSIS approaches within humanitarian operation life cycle, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 15(4), 887-918.
- Saksrisathaporn, K., and Reeveerakul, N. (2016) An implementation of a decision model: A national and international relief operation comparison, 6th International Conference of Information Systems, Logistics and Supply Chain, June 1-4, Bordeaux, France.
- Smirnov, A., Kashevnik, A., Levashova, T., and Shilov, N. (2007) Context-Driven Information Fusion for Operational Decision Making in Humanitarian Logistics, In: *Information Fusion and Geographic Information Systems*, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Song, S., Zhou, H., and Song, W. (2019) Sustainable shelter-site selection under uncertainty: A rough QUALIFLEX method, *Computers & Industrial Engineering*, 128, 371-386.
- Stauffer, J.M., Pedraza-Martinez, A.J., Yan, L., Van Wassenhove, L.N. (2018) Asset Supply Networks in Humanitarian Operations: A Combined Empirical-Simulation Approach, *Journals of Operational Management*, 63, 44-58.
- Stephenson Jr, M. (2005) Making Humanitarian Relief Networks More Effective: Operational Coordination, Trust and Sense Making, *Disasters*, 29(4), 337-350.
- Tomasini, R. and Van Wassenhove, L.N. (2009) *Humanitarian Logistics*, Palgrave Macmillan, Basingstoke, UK.
- UN Humanitarian Response Depot (2018) World Food Programme: <https://unhrd.org/>
- Van Wassenhove, L.N. (2006) Humanitarian aid logistics: Supply Chain Management in High Gear. *Journal of Operational Research Society*, 57(5), 475-489.
- Venkatesh, V.G., Zhang, A., Deakins, E., Luthra, S., and Mangla, S. (2019) A fuzzy AHP-TOPSIS approach to supply partner selection in continuous aid humanitarian supply chains, *Annals of Operations Research*, 283, 1517-1550.
- World Food Programme (2020) Zero hunger: <http://www.wfp.org/unhrd>.



A Study Toward Analyzing the Energy, Exergy and Sustainability Index Based on Performance and Exhaust Emission Characteristics of a Spark-Ignition Engine Fuelled with the Binary Blends of Gasoline and Methanol or Ethanol

Battal Doğan¹ , Murat Kadir Yeşilyurt² , Derviş Erol^{*3} , Abdülvahap Çakmak⁴ 

¹Department of Automotive Technology, TUSAŞ-Kazan Vocational School, Gazi University, Ankara, 06500, Turkey

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering-Architecture, Yozgat Bozok University, Yozgat, 66200, Turkey

³Department of Automotive Technology, Kırıkkale Vocational School, Kırıkkale University, Kırıkkale, 71450, Turkey

⁴Department of Motor Vehicles and Transportation Technologies, Kavak Vocational School, Samsun University, Samsun, 55850, Turkey

Başvuru/Received: 29/04/2020

Kabul / Accepted: 18/05/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Abstract

The anxieties regarding global warming upon increasing greenhouse gas emission grades worldwide and the presence of petroleum-based fuels have directed the researchers to focus on the development of biofuels as well as the utilization of reformulated gasoline fuels by adding oxygenated additives resulting in an extensive application to improve fuel properties. In this study, engine performance and exhaust emission tests were performed using pure gasoline and volumetrically 10% ethanol-C2 or methanol-C1/gasoline blends (G100, E10, and M10). The engine experiments for all test fuels were carried out in a single-cylinder, four-stroke, water-cooled, spark-ignition (SI) engine under fixed engine speed (1500 rpm) and various loading conditions (25%, 50%, 75%, and 100%). In the tested engine, the brake specific fuel consumption (BSFC) values of G100, M10, and E10 fuels under full load condition were found to be as 0.279 kg/kWh, 0.296 kg/kWh and 0.307 kg/kWh, respectively. When the exhaust emissions were examined, E10 and M10 fuels were observed to have lesser CO, CO₂, NO_x, and HC emissions in comparison with pure gasoline. The lowest CO emission was determined as 3.15% for E10 fuel at a 75% load. NO_x emissions descended with the increase of engine load in all fuel blends meanwhile the best performance is measured as 908.86 ppm in E10 fuel at 100% load. The minimum HC emission for E10 fuel was measured as 116.36 ppm at a 75% load. Compared with G100 fuel, E10 and M10 blends emitted 39% and 35% fewer HC emissions, respectively at 75% load. Besides, E10 and M10 fuels generated 8% and 5% less CO₂ emissions at all engine loads, respectively, when compared to G100 fuel. As a result of thermodynamic analyses; The highest exergy efficiency values were found to be at 21.0% for G100, 17.92% for E10, and 16.85% for M10, respectively. Besides, the energy efficiencies were obtained to be as 30.01% for G100, 28.33% for E10, and 29.90% for M10, respectively. According to the sustainability analysis, E10 fuel performed better results than M10 fuel in order to be an alternative to G100 fuel.

Key Words

“Spark-ignition engine, gasoline, ethanol, methanol, exergy analysis, sustainability index.”

Nomenclature

C_{pc}	Specific heat of the coolant (kJ/kg)
C_{peq}	Specific heat of the exhaust gases (kJ/kg)
\dot{E}_{fuel}	Energy rate of the fuel (kW)
\dot{E}_x	Exergy rate (kJ/s)
$\dot{E}x_a$	Ambient exergy rate (kJ/s)
$\dot{E}x_{air}$	Air exergy rate (kJ/s)
$\dot{E}x_c$	Cooling water exergy rate (kJ/s)
$\dot{E}x_{dest}$	Exergy destruction rate (kJ/s)
$\dot{E}x_{eq}$	Exhaust exergy rate (kJ/s)
$\dot{E}x_{eq,ch}$	Chemical exergy of exhaust gases (kJ/s)
$\dot{E}x_{eq,t}$	Thermomechanical exergy of exhaust gases (kJ/s)
$\dot{E}x_{fuel}$	Fuel exergy rate (kJ/s)
$\dot{E}x_w$	Exergetic work (kJ/s)
H_u	The lower calorific value of fuel (kJ/kg)
\dot{m}_{air}	Air mass flow rate (kg/s)
\dot{m}_{fuel}	Fuel mass flow rate (kg/s)
\dot{m}_c	Cooling water mass flow rate (kg/s)
P	Pressure (kPa)
P_0	The pressure of the environment (kPa)
P_3	Exhaust inlet pressure (kPa)
T	Temperature (K)
T_a	Average engine surface temperature (K)
T_{cout}	Cooling water exist temperature (K)
T_{cin}	Cooling water entrance temperature (K)
T_0	The temperature of the environment (K)
T_3	Exhaust inlet temperature (K)
\dot{Q}_a	Ambient energy flow (kW)
\dot{Q}_c	Cooling water energy flow (kW)
\dot{Q}_{eq}	Exhaust energy flow (kW)
\bar{R}	Universal gas constant (8.314 J mol/K)
R	Gas constant (kJ/kgK)
\dot{W}	Work (kW)
\dot{S}_{gen}	Entropy generation (kW/K)
y	Exhaust gas mole fraction
y^e	Component mole fraction
n	Engine speed (rpm)
η	Energy efficiency (%)
Ψ	Exergy efficiency (%)
ϕ	Chemical exergy factor

Abbreviations

ABDC	After the bottom dead centre
BBDC	Before the bottom dead centre
ATDC	After the top dead centre
BTDC	Before the top dead centre
BTE	Brake thermal efficiency
B10	10% butanol+90% gasoline
B20	20% butanol+80% gasoline
B60	60% butanol+40% gasoline
BSFC	Brake specific fuel consumption
C_8H_{18}	Gasoline
CH_3OH	Methanol
C_2H_5OH	Ethanol
CO_2	Carbon dioxide
CO	Carbon monoxide
CR	Compression ratio
E0, G100	100% gasoline
E5	5% ethanol+95% gasoline

<i>E10</i>	<i>10% ethanol+90% gasoline</i>
<i>E15</i>	<i>15% ethanol+85% gasoline</i>
<i>E20</i>	<i>20% ethanol+80% gasoline</i>
<i>E25</i>	<i>25% ethanol+75% gasoline</i>
<i>E30</i>	<i>30% ethanol+70% gasoline</i>
<i>E40</i>	<i>40% ethanol+60% gasoline</i>
<i>E50</i>	<i>50% ethanol+50% gasoline</i>
<i>E60</i>	<i>60% ethanol+40% gasoline</i>
<i>E85</i>	<i>85% ethanol+15% gasoline</i>
<i>E100</i>	<i>100% ethanol</i>
<i>EGT</i>	<i>Exhaust gas temperature</i>
<i>HC</i>	<i>Unburned hydrocarbon</i>
<i>ICE</i>	<i>Internal combustion engine</i>
<i>M5</i>	<i>5% methanol+95% gasoline</i>
<i>M10</i>	<i>10% methanol+90% gasoline</i>
<i>M15</i>	<i>15% methanol+85% gasoline</i>
<i>M20</i>	<i>20% methanol+80% gasoline</i>
<i>M25</i>	<i>25% methanol+75% gasoline</i>
<i>M30</i>	<i>30% methanol+70% gasoline</i>
<i>M60</i>	<i>60% methanol+40% gasoline</i>
<i>M85</i>	<i>85% methanol+15% gasoline</i>
<i>M100</i>	<i>100% methanol</i>
<i>N₂</i>	<i>Nitrogen</i>
<i>NO_x</i>	<i>Nitrogen oxides</i>
<i>O₂</i>	<i>Oxygen</i>
<i>S10</i>	<i>10% solketal+90% gasoline</i>
<i>SI</i>	<i>Spark-ignition</i>
<i>SIN</i>	<i>Sustainability index</i>

1. Introduction

Energy is needed for areas such as domestic utilization and transportation in daily life. A significant part of the energy demands has been met from fossil-based fuels. As a result of using fossil-based fuels in the internal combustion engines (ICEs), many harmful pollutants, like carbon monoxide (CO), unburned hydrocarbon (HC), and nitrogen oxides (NO_x), have been released into the atmosphere (Awad et al., 2018; Barreto, 2018; Mwangi, 2015). Moreover, it is predicted that the reserves of fossil-based fuels will be depleted in the next 50 years all over the world. Such adverse factors have directed the developed countries to alternative, sustainable, and renewable energy resources that can be produced from domestic sources within the country (Bussar et al., 2016; Connolly et al., 2014; Connolly et al., 2016; Hansen et al., 2019; Krakowski et al., 2016; Lund et al., 2009).

Nowadays, alcohol-based choices like ethanol and methanol have been widely preferred instead of fossil-based fuels in SI engines. Ethanol and methanol have attracted more attention due to their advantages, such as less emission in combustion products, high octane numbers, and being able to run without knocking at high compression ratios (CRs) (Chen et al., 2018; Masum et al., 2013; Sayah et al., 2011; Sezer et al., 2013; Zhen et al., 2015).

Methanol and ethanol have been evaluated with blending both pure diesel and gasoline fuels in various proportions without making too many arrangements on the fuel system of engines. The most common ethanol and methanol blend applications have been known as E10 - E85 and M10 - M85, respectively, and they contain 10% and 85% of ethanol or methanol, respectively (Elfasakhany, 2017; Thangavelu et al., 2016).

Yücesu et al. (2006) examined the performance and emission values in a single-cylinder, four-stroke, SI engine with ethanol-gasoline fuel blends (E10, E20, E40, and E60) at dissimilar CRs and engine speeds. It could be reported that the infusion of ethanol into gasoline improved brake torque and BSFC along with descended HC and CO harmful exhaust emissions.

Shenghua et al. (2007) experimentally researched the engine performance and emission values in a three-cylinder, four-stroke, SI engine with methanol-gasoline fuel blends with different ratios (M10, M15, M20, M25, and M30) at various engine speeds and full load. The addition of methanol to gasoline led to reduce engine power and torque insignificantly but to decline HC and CO harmful exhaust emissions significantly.

Yanju et al. (2008) performed power, thermal brake efficiency (BTE), and emission features using methanol-gasoline fuel blends at different concentrations coded as M10, M20, and M85, respectively. The researchers stated that the addition of methanol to gasoline descended CO and NO_x emissions by 25% and 80%, respectively.

Bilgin et al. (2008) carried out experimental studies in a single-cylinder, four-stroke, SI engine with methanol-gasoline fuel blends (M5, M10, M15, and M20) at several CRs of 7.5:1, 8:1, and 8.5:1, spark timings of 7.5°, 10°, and 12.5°, and engine speeds (900-1600 rpm). The researchers reported that the maximum brake means effective pressure values occurred when the tested engine was run on the M5 mixture. Besides, the highest BTE was indicated to be observed with the M20 fuel blend. Furthermore, the best performance for all spark timings was also noted to be provided with the M20 fuel blend.

Koç et al. (2009) investigated the performance and emission characteristics by conducting experimental studies in a single-cylinder, four-stroke, SI engine with ethanol-gasoline fuel blends (E50, and E85) at different CRs and engine speeds. The researchers noticed that the addition of ethanol to gasoline caused to turn in up the fuel consumption, power, and engine torque as well as reduction in CO, NO_x, and HC emissions.

Sezer et al. (2009) in their thermodynamic modelling study, worked the utilization of ethanol and methanol as alternating and clean fuels for an SI engine with exergy analysis. The outcomes coming from the analysis showed that the oxygenated fuels were stated to be exergetically appropriate alternatives because of declining heat losses and entropy generation. In contrast to pure gasoline, ethanol and methanol were reported to decrease the irreversibility by 7.44% and 4.29%, respectively. However, the oxygenated fuels were observed to increase the BSFC and descend the effectual power output.

Eyidogan et al. (2010) examined the performance and combustion characteristic values using ethanol-gasoline blends (E5 and E10) and methanol-gasoline blends (M5 and M10) in a vehicle having a four-cylinder, water-cooled, multi-point injection, SI engine. During the experimental studies, alcohol blends brought about to increase the BSFC and cylinder gas pressures compared to pure gasoline fuel.

Li et al. (2011) converted a single-cylinder, four-stroke, direct-injection, diesel engine into an SI engine by making modifications. They investigated the effects of injection and ignition timings with optimum injection and ignition timings on engine performance and emissions experimentally by using pure methanol as an alternative fuel in the engine SI mentioned above. With this developed test setup, experimental studies were carried out using different CRs and a multi SI system and a single-SI system at a constant engine speed of 1500 rpm. According to the outcomes coming from the experimentations, the ignition system, CR, and methanol injector modifications were found to have positive influences on the performance of the tested engine by 27% in the BTE.

Turner et al. (2011) carried out experimental studies in a single-cylinder, four-stroke, SI engine using E0, E10, E20, E30, E50, E85, and E100 fuels at different spark ignition timings along with a constant engine speed of 1500 rpm. They examined the performance and exhaust emission behaviours. According to the obtained results, it was to be noted that with the increase in the ratio of ethanol in the fuel blends, the combustion rate and in-cylinder gas pressure increased, and CO, NO_x, and HC emissions decreased.

Schifter et al. (2011) investigated the effects of ethanol-gasoline blends (E10, E15, and E20) on the brake power, BSFC, and exhaust emission characteristics in a single-cylinder, electronically-controlled, SI engine by performing experimental studies at a constant engine speed of 2000 rpm for different lambda values. Since the energy content of the E20 fuel blend was 8% less than that of pure gasoline, the BSFC was determined to be higher, approximately 6%. The addition of ethanol to gasoline was observed to decline CO and HC emissions while increasing NO_x emission.

Ozsezen et al. (2011) studied the performance and exhaust emissions of the vehicle running on ethanol-gasoline blends (E5 and E10) and methanol-gasoline blends (M5 and M10) at various speeds (from 40 km/h to 100 km/h) in a vehicle with a four-cylinder, SI engine. During the experimental studies, alcohol blends were determined to increase BSFC and wheel power compared to pure gasoline fuel. Moreover, in all of the tests conducted with alcohol-gasoline blends, it was noticed that CO emission increased while HC emissions decreased in comparison with pure gasoline.

In the experimental study conducted by Farkade et al. (2012) the performance and emission values by blending butanol, ethanol, and methanol alcohol fuels with gasoline at different ratios (10%, 20%, and 30% by volume) were investigated. In general, the researchers detected that lower CO and HC emissions along with higher carbon monoxide (CO₂) emission were generated as a result of more stable combustion of the fuels inside the cylinder. This situation was because of the increase in the number of oxygen molecules due to the aforementioned three different tested fuel mixtures when compared with the neat gasoline fuel. Besides, they stated that the M30 fuel blend exhibited the best engine power performance compared to other fuel blends and that the lowest fuel consumption, as well as the best thermal efficiency, were provided with the M10 fuel blend.

Gravalos et al. (2013) researched the exhaust emission properties of low and high molecular weight alcohol-gasoline fuel blends in a single-cylinder, two-stroke, SI engine. The results showed that among the harmful exhaust emissions, CO and HC emissions decreased. In contrast, NO_x and CO₂ emissions increased in comparison with pure gasoline regarding the increase in alcohol content in the blend fuels.

Canakci et al. (2013) investigated the BSFC, exhaust gas temperature (EGT), and harmful exhaust emissions using ethanol-gasoline blends (E5 and E10) and methanol-gasoline blends (M5 and M10) in a vehicle operated with a four-cylinder, water-cooled, multi-point injection system, gasoline engine at speeds of 80 km/h and 100 km/h. The findings exhibited that CO, CO₂, HC, and NO_x emissions decreased at a speed of 80 km/h while CO emission increased at a speed of 100 km/h. The researchers stated that the highest emission values among alcohol-gasoline fuel blends were found with the M10 fuel blend.

Altun et al. (2013) investigated the impacts of using 5% and 10% ethanol or methanol in gasoline on the engine performance and exhaust emissions by conducting experimental studies at different engine speeds and 75% throttle opening. According to the experimental results, it was determined that for all alcohol-gasoline tested fuels, CO and HC emissions decreased compared to pure gasoline fuel while the BSFC, BTE, and CO₂ emission increased. In contrast to pure gasoline, the use of E10 and M10 fuel blends in the tested engine led to a decrease in HC emissions by 15% and 13%, respectively, and CO emissions by 9.8% and 10.6%, respectively. The best results were observed to be in the E10 and M10 fuel blends in terms of emissions.

Agarwal et al. (2014) conducted experimental studies in a four-cylinder, four-stroke, water-cooled, Maruti Suzuki Zen 2001 model SI engine with methanol-gasoline blends (M10 and M20) at various engine speeds and loads. They scrutinised some parameters, such as BSFC, BTE, EGT, cylinder pressure, and harmful emissions. Based on the results, the researchers reported that methanol-gasoline fuel blends had higher BTE compared to pure gasoline. In addition, they observed that CO and NO_x emissions decreased. The researchers stated that when the combustion characteristics of methanol-gasoline fuel blends were compared to those of pure gasoline, almost similar values were obtained.

Balki and Sayin (2014) studied the performance, combustion characteristic and harmful exhaust emission values of a single-cylinder, air-cooled, four-stroke, SI engine fuelled with pure methanol (M100), ethanol (E100), and gasoline (G100) fuels under a constant engine speed of 2400 rpm with different CRs. The researchers found that BTE and volumetric efficiency in pure ethanol and methanol alternating fuels were occurred to be higher than those of pure gasoline for all CRs. Besides that, the BSFC increased as expected due to the lower calorific values of ethanol and methanol compared to pure gasoline. Moreover, the usage of pure ethanol and methanol for all CRs caused drop the CO, HC, and NO_x emissions.

Balki et al. (2014) tested methanol (M100), ethanol (E100), and gasoline (G100) fuels in a single-cylinder, air-cooled, four-stroke, Datsu LT 200 model SI engine at several engine speeds so as to investigate the influences of alcohol-based fuels on the BSFC, engine torque, BTE, EGT, cylinder gas pressure, and harmful exhaust emissions. The outcomes demonstrated that the usage of alcohol fuels led to increasing engine torque, BSFC, BTE, and combustion efficiency values. Furthermore, they observed that the utilization of pure ethanol and methanol reduced CO, HC, and NO_x emissions and that it increased CO₂ emission due to combustion recovery.

Ghazikhani et al. (2014) calculated the exergy terms after experimentally determining the emission amounts in a two-stroke engine operating with alcoholic fuel additives (E5, E10, and E15). The experiments were carried out between 2500 rpm and 4500 rpm engine speed intervals. It has been determined that the irreversibility increased in alcoholic mixtures and therefore, the second law efficiency turned down. The formation of pollutants like HC, CO₂, CO, and NO_x was substantially dropped when the tested engine fueled with the addition of ethanol to gasoline in all test conditions.

Elfasakhany (2014) examined volumetric efficiency, brake power, engine torque, BSFC, EGT, cylinder pressure, and emission characteristics of a single-cylinder, air-cooled, four-stroke, SI engine operating with ethanol-gasoline blends (E3, E7, and E10) at different engine speeds. The experimental findings demonstrated that volumetric efficiency, brake power, engine torque, EGT, and cylinder pressure values increased for all test fuels, and BSFC decreased in comparison with pure gasoline fuel. Furthermore, CO and HC emissions were decreased. As a result of this study, the fuel blend exhibiting the best performance values considering all experimental parameters was stated to be the E10 blend.

Elfasakhany (2015) compared the performance and exhaust emission behaviours of an SI engine powered with ethanol-gasoline and methanol-gasoline blends, including 3-10 vol.% alcohol concentration. It was to be noted that alcohol-treated fuel blends reduced CO and HC emissions. Also, the lowest emission values and highest power values were obtained with methanol-gasoline blends among alcohol-gasoline fuel blends.

Kapusuz et al. (2015) performed the effects of the use of ethanol-gasoline blends (E5, E10, and E15) and methanol-gasoline blends (M5, M10, and M15) on the engine performance of a single-cylinder, SI engine at different engine speeds (1000-2500 rpm) by applying an artificial neural network model that they developed.

Wu et al. (2016) investigated the impacts of methanol and gasoline (M100 and G100) fuels on the combustion characteristics and exhaust emissions of a four-cylinder, continuous variable valve timing, SI engine by conducting experimental studies at idle engine speed (800 rpm) for different lambda values ($\lambda = 1.0, 1.2, \text{ and } 1.4$). According to the results, they reported that the use of pure methanol reduced CO, HC, and NO_x emissions. Methanol fuel was stated to provide higher BTE than that of pure gasoline fuel.

Li et al. (2017) observed the effects of using ethanol-gasoline blends (E10, E30, and E60), methanol-gasoline blends (M10, M30, and M60) and butanol-gasoline blends (B10, B30, and B60) on the performance, and harmful pollutants under a constant engine speed of 1200 rpm with full throttle opening. The researchers indicated that the lowest NO_x emission values were obtained with methanol-gasoline fuel blends, while the lowest HC emissions were obtained with ethanol-gasoline fuel blends. Furthermore, it was reported that butanol-gasoline fuel blends provided lower BSFC compared to pure gasoline fuel.

Alexandru et al. (2017) conducted experimental studies in a single-cylinder, four-stroke, Honda CN 250 model gasoline engine using methanol-gasoline blends (M5, M10, M15, M20, and M25) at various engine speeds and loads to investigate the engine performance and harmful exhaust emission characteristics. They explained that methanol-gasoline blends reduced engine power and torque by about 10% while also reducing CO and HC emissions significantly. Moreover, methanol-gasoline blends were stated to ensure 13% higher CO₂ emission compared to pure gasoline fuel.

Doğan et al. (2017) performed exergy and energy analyses of a four-cylinder, four-stroke, SI engine operating with gasoline-ethanol mixtures (E10, E20, and E30). Hence, the exergy amounts lost by the exhaust, cooling water and radiation were calculated in each fuel. The most considerable exergy destruction occurred in neat gasoline while the maximum exergy efficiency was found to be at 53% in the E0 fuel at 3000 rpm along with minimum exergy efficiency was observed to be like 45% in the E30 fuel at 4500 rpm.

Mithaiwal et al. (2017) performed an exergy analysis based on the engine performance results using both 100% ethanol and ethanol-gasoline blends (E25 and E40). The results exhibited that the mechanical efficiency values decreased by 10-16% for E25, 9-5% for E40, and 5-3% for E100 at different loads as compared to E0 fuel. The exergy efficiencies reduced by 3-5% at medium load for the entire ethanol-gasoline mixture. On the other hand, the availabilities of E25, E40, and E100 fuels increased by 9-13%, 13-19%, and 3-5%, respectively, when compared to pure gasoline under variable load conditions.

Hasan et al. (2018) carried out experimental researches in a single-cylinder, air-cooled, four-stroke, SI engine using alcohol-gasoline blends which contained 10% and 20% ethanol at different CRs and a constant engine speed of 2500 rpm with full load conditions. The researchers investigated the effects of ethanol-gasoline blends on the BTE, BSFC, and harmful exhaust emission values. Based on the results, the CR had essential influences on harmful pollutants. It was indicated that HC and CO emissions were affected very little by a change in the CR and that the NO_x emission values increased a lot in the emission amount depending on the increase in the CR. The lowest HC and NO_x emissions were obtained with the E20 blend at 4:1 of the CR while the lowest CO emission was observed with the E10 blend.

Özcan and Çakmak (2018) investigated the influences of oxygenated fuel additive-gasoline blends involving 10% (by volume) ethanol (E10), methanol (M10), and solketal (S10) on the exergy parameters in an SI engine. With the use of oxygenated fuel additives, the maximum cylinder pressures increased, but exergy efficiencies decreased in comparison with pure gasoline. The researchers reported that the maximum decrement in the exergy efficiency occurred as 8.42% with S10 fuel. It was explained that maximum irreversibilities occurred with pure gasoline fuel, and minimum irreversibility occurred with E10 fuel. However, oxygenated fuel additives were observed to reduce the first law efficiency.

Tian et al. (2020) conducted a study in a four-cylinder, water-cooled, turbocharged, four-stroke, SI engine implementing the GT-Power simulation platform. In the trials, ethanol-gasoline blends (E10 and E20), methanol-gasoline blends (M10 and M20), and butanol-gasoline blends (B10 and B20) were used depending on different engine speed, load, flame kernel radius, and ignition time values. In this simulation study, they investigated the effects of different alcohol-gasoline blends on the BSFC, BTE, EGT, and harmful exhaust emission values.

In recent years, the studies on engines have been based on reducing exhaust emissions, increasing efficiency, and minimizing power losses. When the researches in the literature have been meticulously reviewed, it has been reported that many works and developments have been carried out on the use of ethanol and methanol alcohols in SI engines. These studies have been observed to aim at determining the performance and emission characteristics mainly. Exergy analysis studies involving the use of ethanol-gasoline and methanol-gasoline blends in SI engines have been limited (Doğan et al., 2017; Ghazikhani et al., 2014; Mithaiwal et al., 2017; Sezer et al., 2009). For this reason, in the present study, the performance and exhaust emissions obtained by using pure gasoline, ethanol-gasoline, and methanol-gasoline blends at different loads in an SI engine were experimentally determined. By using experimental data, energy, exergy, and sustainability analyses were conducted. Exergy performance in the case of using two different alcohol-based fuel blends as an alternative fuel instead of gasoline was investigated. In the study, it was determined which alcohol-based additive would be suitable as alternative fuel instead of gasoline by using sustainability analysis. In the fuels used in the test engine; Exergy losses from the exhaust, coolant, and engine body were analyzed. In addition, entropy production resulting from irreversibilities was detected in all engine loads.

2. Material and Methods

2.1 Data preparation

In experimental studies, three different fuels, namely pure gasoline (G100), 90% gasoline - 10% ethanol (E10), and 90% gasoline - 10% methanol (M10), were used. Pure gasoline with octane number 95 used in this work was procured from a local petroleum station in Samsun, which is one of the leading fuel companies in Turkey. The fuel mixtures were prepared by splash blending technique with adding 99% purity ethanol and methanol to gasoline to obtain the fuel mentioned above mixtures. The physical and chemical properties of pure gasoline, ethanol, and methanol are presented in Table 1. The highest carbon content in fuel mixtures used in the test engine is in G100 fuel. The amount of oxygen contained in the fuel is high in methanol. While the densities of methanol and ethanol are very close to each other, both fuels have a much higher density than gasoline. Gasoline's lower heating value is 37.3% and 53.4% higher than ethanol and methanol, respectively.

Table 1. Technical properties of fuels (Shenghua et al., 2007; Sezer et al., 2013; Elfasakhany, 2015)

Property	Unit	Gasoline	Methanol	Ethanol
Typical formula	-	C ₈ H ₁₈	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH
Carbon content	wt. %	84.21	37.50	52.17
Hydrogen content	wt. %	15.79	12.50	13.04
Oxygen content	wt. %	0	50.00	34.79
Carbon/Hydrogen ratio	-	5.333	3.000	4.000
Molecular weight	g/mol	114.0	32.0	46.0
Density at 20°C	g/cm ³	0.715	0.791	0.793
Motor octane number	-	87.2	91	92
Research octane number	-	95	112	111
Lower heating value	MJ/kg	43.00	20.05	26.95
Copper strip corrosion (3 h at 50°C)	Degree of corrosion	1a	-	1a
Auto ignition temperature	°C	257	480	425
Latent heat of evaporation	kJ/L	223	920	725
Kinematic viscosity at 40°C	cSt	0.494	-	1.221
Water content	ppm	775	-	<0.1%
Lead	g/L	0.004	-	0
Stoichiometric air/fuel ratio	-	10.5-14.1	15.5-13.7	13.2-14.1
Stoichiometric laminar flame speed	m/s	0.34	0.43	0.41

Ethanol and methanol are alternative fuels that can be used in ICEs with different methods. In the present research, gasoline, ethanol-gasoline blend (E10), and methanol-gasoline blend (M10) were used in a single-cylinder, four-stroke, water-cooled, SI engine at different loads (from 25% to 100%) without changing the CR to achieve the performance and emission values. The technical specifications of the tested engine were tabulated in Table 2.

Table 2. Technical specifications of the experimental engine

Parameters	Specification
Engine supplier	Apex Innovations Pvt. Ltd.
Brand-Model	Kirloskar- TV1
Cylinder number	1
Engine cycle	4
Maximum engine power	4.5 kW at 1800 rpm
Engine speed range	1200-1800 rpm
Powertrain	Camshaft in the block with pushrod
Valve system	2 valves per cylinder
Type of fuel injection	Carburator
Ignition	Spark-ignition
Cooling system	Water-cooled
Swept volume	661.45 cm ³
Bore x Stroke	87.50 mm x 110.00 mm
Compression ratio	Variable: 6-10
Exhaust valve opening advance	35.5° BBDC
Exhaust valve closing delay	4.5° ATDC
Spark timing	10° BTDC
Intake valve opening advance	4.5° BTDC
Intake valve closing delay	35.5° ABDC

Engine maintenance was carried out prior to the experiments commenced. Before each test, the engine was run for 30 minutes with the fuel used in the relevant test in order for it to be stabilized. After the engine was stabilized, the tests were performed in the experimental setup at a fixed speed of 1500 rpm and four different engine loading conditions. The pictorial view of the experimental setup was presented in Figure 1. Fuel consumption was measured volumetrically, and mass fuel consumption was determined by multiplying the measured volumetric flow rate by the fuel density. The tests were repeated four times to verify the experimental data obtained for each fuel type, and the average values were used in the analyses.



Figure 1. Pictorial view of the experimental setup

K-test brand gas analyzer was used for the measurement of exhaust gas emissions. The measurement range and sensitivities of the devices used during the experimental studies can be observed in Table 3. Before conducting tests with each type of fuel, the exhaust emission device was subjected to zeroing, and the sampling probe was cleaned with compressed air. The emission measurements were made at 60 seconds intervals to avoid exhaust emission measurement errors. The cooling water flow rate of the engine was measured by means of a liquid flowmeter. Pt 100 type temperature measurement probes were used to determine the engine cooling water inlet and outlet temperatures. EGTs were measured using a K-type thermocouple. During the experimental studies, ambient temperature and humidity were continuously controlled using a digital thermometer and a humidity measurement device. Table 3 also exhibited the uncertainties of the calculated and measured parameters.

Table 3. The uncertainties of the calculated and measured parameters

Parameter	Measurement Range	Accuracy	Uncertainty (%)
Brake torque	0-90 Nm	± 0.1 Nm	± 0.88
Engine speed	0-9999 rpm	± 1 rpm	± 0.83
Engine load	0-12 kg	± 0.1 kg	± 0.07
Air flow rate	-	-	± 0.80
Digital stopwatch	-	± 0.2 s	± 0.20
Burette system	0-100 cc	± 0.1 cc	± 1.00
Fuel flow rate	-	-	± 0.90
Liquid flowmeter	40-400 L/h	± 5 L/h	± 1.25
Temperature	-	± 0.1 °C	± 1.00
BTE	-	-	± 1.55
CO	0-10 % vol.	$\pm 0.001\%$	± 0.98
HC	0-4000 ppm	± 1 ppm	± 1.25
CO ₂	0-20 % vol.	$\pm 0.01\%$	± 0.85
NO _x	0-4000 ppm	± 1 ppm	± 0.80
O ₂	0-25 % vol.	$\pm 0.01\%$	± 0.80

2.2 Theoretical consideration

In the analyses conducted in this current study, it is assumed that the engine runs steadily, and the inlet air and exhaust gases formed as a result of combustion are ideal gases. Moreover, potential and kinetic energies of fuel, combustion air, and exhaust gases were neglected in the energy and exergy analyses. In the analysis, the reference state was identified as $T_0 = 25$ °C and $P_0 = 1$ atm.

SI engines convert the chemical energy of fuel into mechanical energy after the combustion process. The test engine was accepted as an open thermodynamic system with continuous flow, and its energy balance is given below in Eq. (1). In this statement, \dot{E}_{fuel} includes the fuel energy flow, \dot{W} identifies the engine power, \dot{Q}_{eq} is the exhaust energy flow, \dot{Q}_c indicates the energy flow going to cooling water, and \dot{Q}_a represents the heat flow going from the engine surface to the environment and other losses.

$$\dot{E}_{fuel} - \dot{W} = \dot{Q}_{eq} + \dot{Q}_c + \dot{Q}_a \quad (1)$$

The exergy balance for the control volume shown in Figure 2 is given in Eq. (2). Here, $\dot{E}x_{fuel}$ indicates the exergy of the tested fuel, $\dot{E}x_{air}$ is the inlet air exergy, $\dot{E}x_{eq}$ is the exhaust exergy, $\dot{E}x_c$ is the cooling water, and $\dot{E}x_a$ indicates the engine surface-related exergy flows. Furthermore, $\dot{E}x_w$ expresses the exergetic power, and $\dot{E}x_{dest}$ identifies the irreversibility (exergy destruction) (Gümüş et al., 2013). In the calculations in the present study, it was accepted that $\dot{E}x_{air} = 0$. Combustion air enters the test engine under environmental conditions. Accordingly, the exergy of the air is considered as zero by assuming that the air is found dead. Thus, it can be said that the input exergy consists of the exergy of the fuel.

$$\dot{E}x_{fuel} + \dot{E}x_{air} = \dot{E}x_{eq} + \dot{E}x_w + \dot{E}x_c + \dot{E}x_a + \dot{E}x_{dest} \quad (2)$$

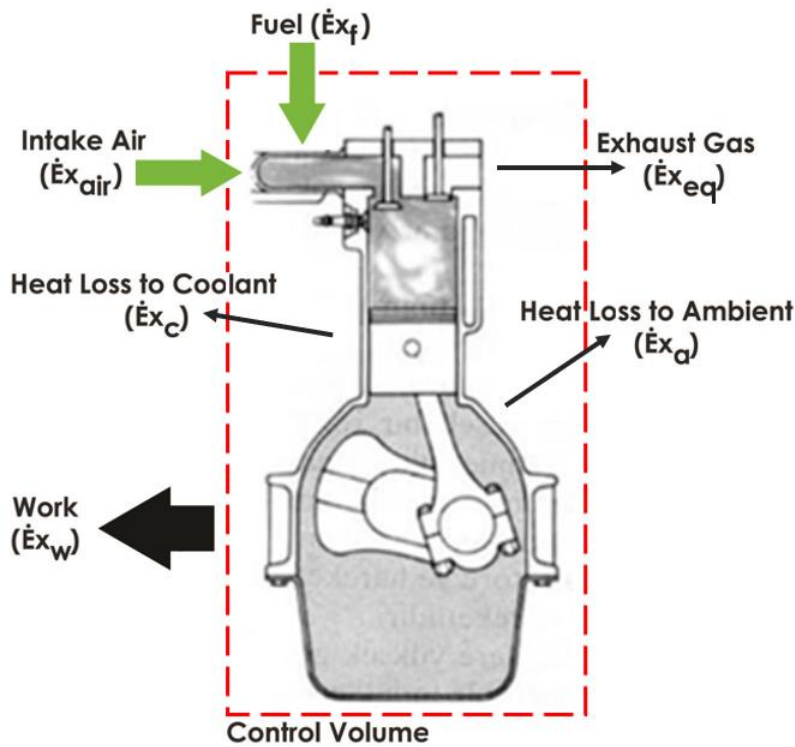


Figure 2. Schematic view of the control volume

When calculating the fuel exergy with using Eq. (3) called input exergy, only chemical exergy was taken into account (Çakmak et al., 2017; Chaudhary et al., 2020). Here, \dot{m}_{fuel} is the mass flow of the fuel, H_u is the lower heating value of the fuel, and φ is the chemical exergy factor. The chemical exergy factor was computed in Eq. (4) according to the mass ratio of hydrogen, oxygen, carbon, and sulfur contents in the composition of the fuel (Çakmak et al., 2017). Exergetic power ($\dot{E}x_w$) is taken equal to the engine power.

$$\dot{E}x_{fuel} = \dot{m}_{fuel} H_u \varphi \quad (3)$$

$$\varphi = 1.0401 + 0.1728 \frac{h}{c} + 0.0432 \frac{o}{c} + 0.2169 \frac{s}{c} (1 - 2.0628 \frac{h}{c}) \quad (4)$$

$$\dot{E}x_w = \dot{W} \quad (5)$$

The exhaust exergy flow is the sum of the chemical and thermomechanical exergies of the exhaust gases, as given in Eq. (6). Here, T_3 is the exhaust inlet temperature, P_3 is the exhaust inlet pressure, and C_{peq} is the specific heat at constant pressure. The chemical exergy of the exhaust gases can be found from Eq. (8). When calculating chemical exergy, (\bar{R}) is the gas constant, (y) is the exhaust gas mole

fraction, and (y^e) is the component mole fraction given in Table 4 in the reference ambient conditions (Caliskan et al., 2009; Aghbashlo et al., 2016).

$$\dot{E}x_{eq} = \dot{E}x_{eq,ch} + \dot{E}x_{eq,t} \quad (6)$$

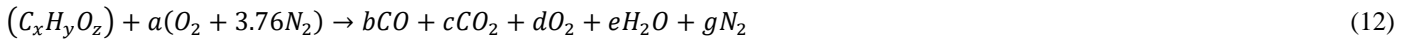
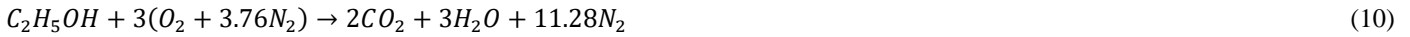
$$\dot{E}x_{eq,t} = (\dot{m}_{fuel} + \dot{m}_{air}) \left[C_{peq} \left(T_3 - T_0 - T_0 \ln \left(\frac{T_3}{T_0} \right) \right) + RT_0 \ln \left(\frac{P_3}{P_0} \right) \right] \quad (7)$$

$$\dot{E}x_{eq,ch} = \bar{R}T_0 \ln \frac{y}{y^e} \quad (8)$$

Table 4. Mole fraction of the reference environment (Moran et al., 2010).

Reference component	Mol Fractions (%)
N ₂	75.6700
O ₂	20.3500
H ₂ O	3.03000
CO ₂	0.03450
SO ₂	0.00020
CO	0.00070
H ₂	0.00005
Others	0.91455

The actual combustion equations of G100, E10, and M10 fuels are needed when calculating the exhaust exergy flow. The theoretical combustion equations of these fuels are given in Eqs. (9-11). The emission data measured in the tests to obtain the actual combustion equation were used in Eq. (12) (da Costa et al., 2019; Taghavifar et al., 2019; Verhelst et al., 2019).



The exergy loss caused by cooling water is given in Eq. (13). Here, \dot{m}_c is the cooling water mass flow rate, T_{out} is the cooling exist water temperature, T_{cin} is the cooling water entrance temperature, T_0 is the dead state temperature, and C_{pc} is the specific heat at constant pressure (Aghbashlo et al., 2015).

$$\dot{E}x_c = \dot{m}_c C_{pc} \left(T_{cout} - T_{cin} - T_0 \ln \left(\frac{T_{cout}}{T_{cin}} \right) \right) \quad (13)$$

Exergies originated from the engine surface can be calculated from Eq. (14). Here, \dot{Q}_a is the heat loss of the engine surface calculated from the energy balance, and T_a is the average engine surface temperature (Douvartzides et al., 2004).

$$\dot{E}x_a = \dot{Q}_a \left(1 - \frac{T_0}{T_a} \right) \quad (14)$$

After determining all exergy flow values from Eqs. (3, 5, 6, 13, 14), exergy destruction can be calculated using Eq. (2). Exergy efficiency is computed using Eq. (15) (Khanali et al., 2013).

$$\Psi = \frac{\dot{E}x_w}{\dot{E}x_{fuel}} \quad (15)$$

The sustainable index can be calculated with Eq. (16) by using exergy efficiency (Ψ). Entropy production can be found from Eq. (17) by using exergy destruction and dead state temperature (Aghbashlo et al., 2017).

$$SIN = \frac{1}{1-\Psi} \quad (16)$$

$$\dot{S}_{gen} = \left(\frac{\dot{E}x_{dest}}{T_0} \right) \quad (17)$$

3. Results and Discussion

In this study, engine performance and exhaust emission tests were performed firstly by using pure gasoline and then by using the fuel blends obtained by blending volumetrically 10% ethanol and methanol as alcohol with pure gasoline. Fuel consumption in ICES generally depends on operating parameters such as load and speed. In this study, fuel blends were tested at different engine loads. As is observed in Figure 3, the consumption of E10 and M10 alcohol-gasoline fuel blends is higher than the consumption of G100 pure gasoline fuel. The reason for this is that ethanol and methanol have lower heating values than gasoline. At all engine loads, E10 and M10 blends were found to be consumed approximately by 8.5% and 5.5% more, respectively, than pure gasoline fuel.

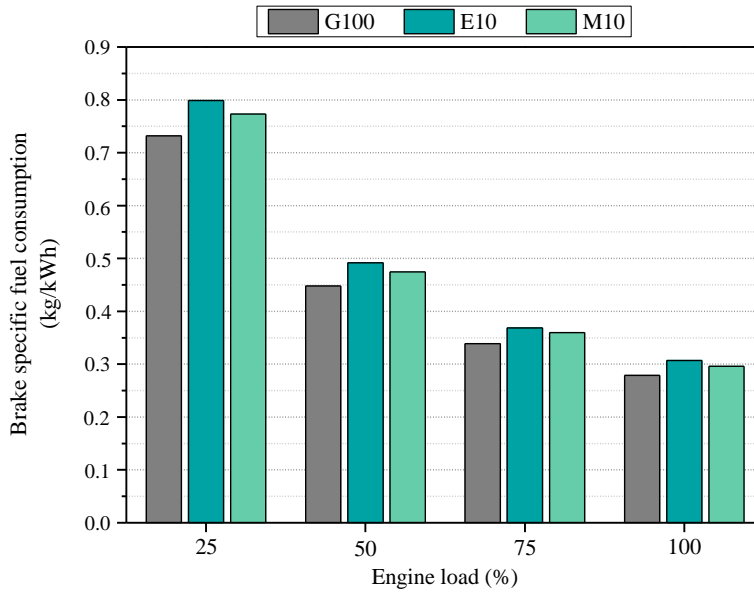


Figure 3. BSFC values for tested fuels at various engine loads

One of the greenhouse gases that cause global warming is CO₂ (Kim et al., 2016). The CO₂ emission figures for all tested fuel samples under various engine loads were portrayed in Figure 4. With the increase in engine load, CO₂ emissions decrease in all fuel blends. Since ethanol and methanol have lower C/H ratios than gasoline, as a result of combustion, they emitted a smaller amount of CO₂ compared to gasoline, as is seen in Fig. 4. The average amount of emission decreased with the utilization of E10 and M10 blends compared to pure gasoline fuel was obtained to be 13% and 8%, respectively.

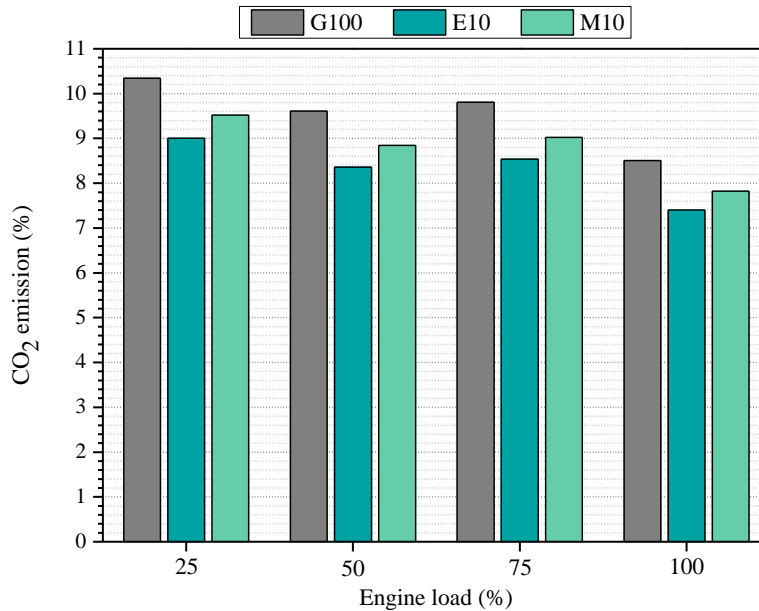


Figure 4. The change of CO₂ emissions for tested fuels at various engine loads

The effect of fuel blends on CO emission is observed in Figure 5. The molecular structure of the fuel, air-fuel ratio, cylinder gas temperature, and turbulence in the combustion chamber effect on the CO emission (Pulkrabek, 2004; Elsemary et al., 2016). In terms

of CO emission, the average amount of decrease in the case of using E10 and M10 blends compared to gasoline is 12% and 10%, respectively. Ethanol and methanol contain oxygen in their chemical structures. With the increase in the ratio of ethanol and methanol in the fuel blends used in the study, the air-fuel ratio needed for complete combustion also decreases. Accordingly, the oxygen content of the fuel is observed to be quite useful in combustion. However, even though the oxygen content of methanol is higher than that of ethanol, a further decrease in CO emissions with ethanol was achieved. This situation can be explained by the latent heat of evaporation characteristics of the tested fuels. The fact that the latent heat of evaporation of methanol is higher than that of ethanol and thereby it may have slowed the oxidation rate of the fuel by reducing the cylinder gas temperature and increased CO emission slightly (Awad et al., 2018).

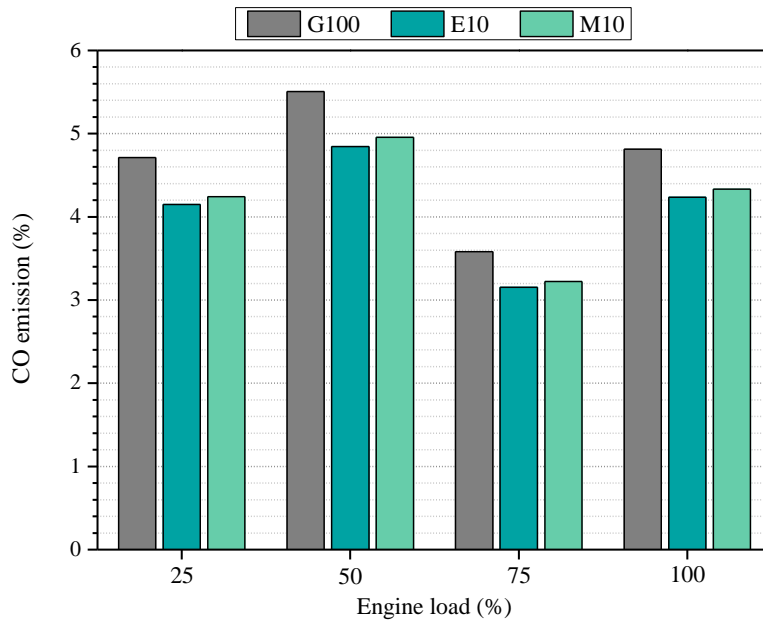


Figure 5. The change of CO emissions for tested fuels at various engine loads

HC emission is an indicator that reflects the incomplete combustion products inside the combustion chamber and occurs due to rich mixture, low combustion temperature, crevice volume, extinguishment of the flame front on the combustion chamber surfaces, and engine lubricating oil (Tangestani et al., 2020; Uslu et al., 2020). HC emissions that occurred in the study, depending on the engine load, are presented in Figure 6. In the use of E10 and M10, the average amount of HC emissions decreased compared to gasoline was determined to be 39% and 35%, respectively. The main reason for lower HC emissions in ethanol-gasoline and methanol-gasoline blends is that ethanol and methanol contain an excessive amount of oxygen molecules in their structure.

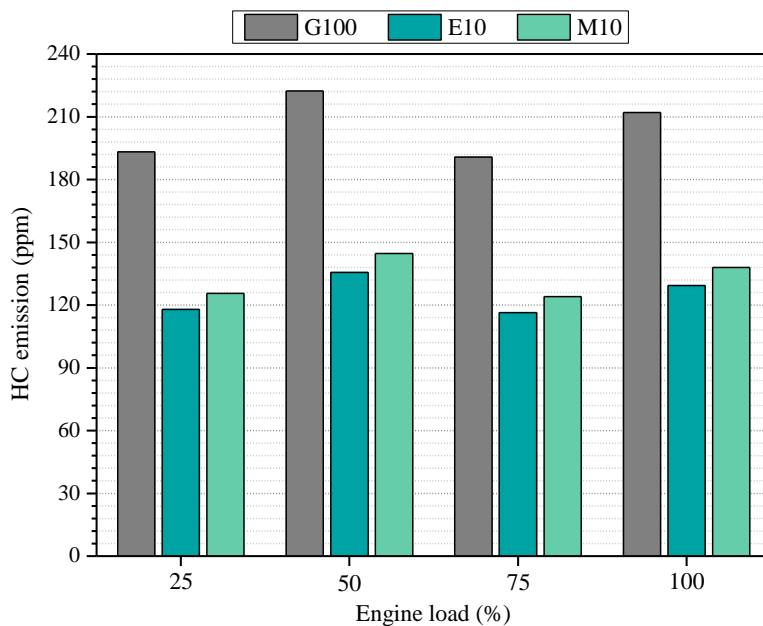


Figure 6. The change of HC emissions for tested fuels at various engine loads

NO_x emissions occur as a result of the nitrogen in the air reacting with oxygen at high temperatures during the combustion process inside the engine cylinder (Fletcher et al., 1971; Şimşek et al., 2020). The alterations of the NO_x emissions for all the tested fuel samples according to the engine load was presented in Figure 7. When Figure 7 is examined, NO_x emission is observed to increase in all fuels with the increase in engine load up to 75%, and it is observed to decrease at 100% engine load. As seen, fewer NO_x emissions were released into the atmosphere when the utilization of E10 and M10 fuel blends in the tested engine compared to G100 fuel. The average amount of decrease in NO_x emissions in the use of E10 and M10 fuels compared to gasoline is 9% and 6%, respectively. The main reason for this is that the latent heat of evaporation values of ethanol and methanol is higher than that of gasoline, and their calorific values are lower in comparison with gasoline. The fact that the high latent heat of evaporation caused to decrease the temperature at the end of the combustion reaction due to the cooling effect resulting in withdrawing the heat from the regions inside the cylinder.

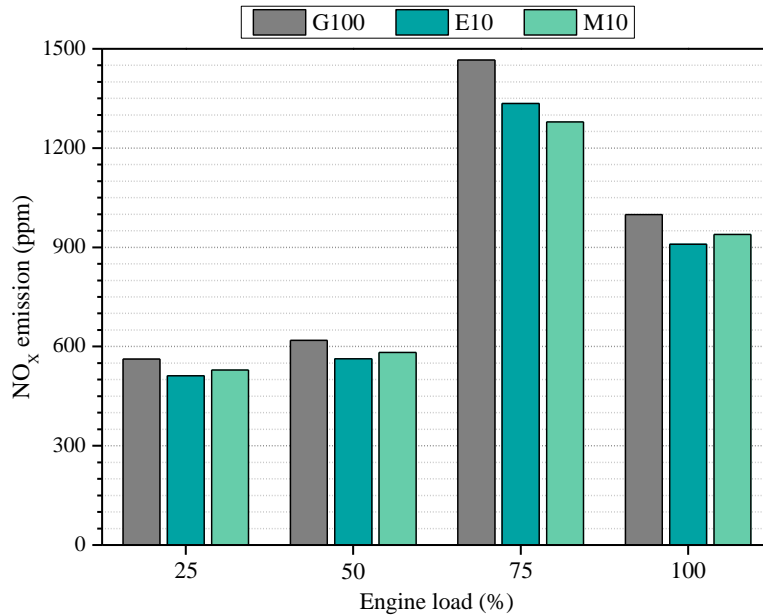


Figure 7. The change of NO_x emissions for tested fuels at various engine loads

The amount of oxygen contained in the exhaust gas of the test engine used in the study is given in Figure 8. The oxygen contents of E10 and M10 fuel blends are high compared to G100 fuel. Therefore, more oxygen emissions were obtained in the combustion of ethanol and methanol blended fuels. This situation can be explained by the high rates of oxygen molecules contained in the structure of alcohols. Since pure gasoline fuel does not contain oxygen in its molecular structure, it caused the lowest O₂ emissions.

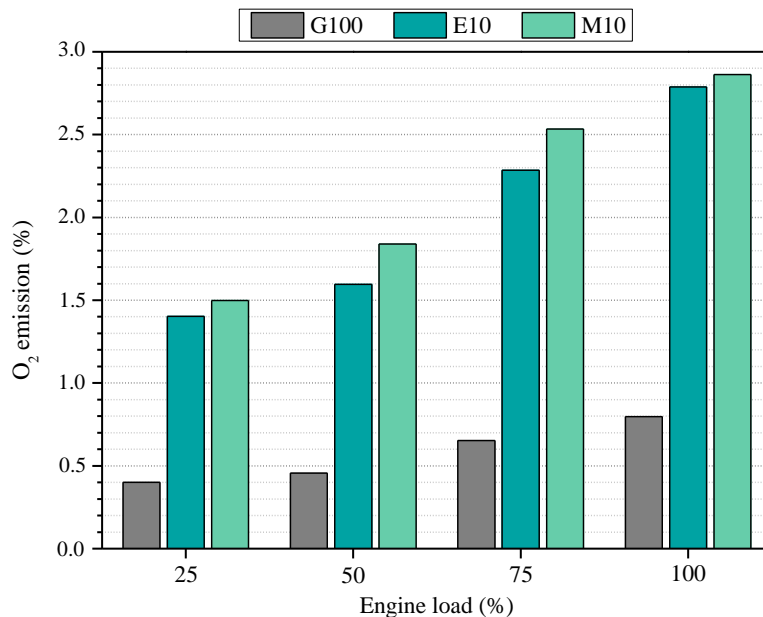


Figure 8. The change of oxygen emissions for tested fuels at various engine loads

Energy analysis applied to SI engines gives the distribution of fuel energy flow by various engine components. Exergy analysis applied after this analysis enables the comparison of engine performance with maximum performance. The energy flow, heat loss, net power, and energy efficiency of the fuels were calculated from the energy analysis, and the results were presented in Table 5. Power and efficiency increase in all fuel blends with an increase in engine load. Compared to other fuel samples, G100 fuel performed best in energy efficiency at all loads due to the higher energy content. The highest heat losses in all engine loads occurred in E10 fuel.

Table 5. Energy analysis results

Engine Load (%)	Input Energy (kW)			Total Heat Loss (kW)			Energy Efficiency (%)		
	G100	E10	M10	G100	E10	M10	G100	E10	M10
25	7.50	7.90	7.50	6.64	7.04	6.64	11.44	10.89	11.44
50	9.22	9.73	9.25	7.50	8.01	7.53	18.69	17.68	18.63
75	10.34	10.81	10.38	7.78	8.26	7.82	24.70	23.60	24.60
100	11.34	11.99	11.38	7.93	8.60	7.97	30.01	28.33	29.90

In the exergy analysis conducted in the present work, the quantities, which are given in Table 6 and which belong to different fuel blends, were calculated. While calculating the exhaust exergy flow, the actual combustion equations of the fuels given in Table 7 were found according to the values obtained in the engine tests, and the total exergies of the exhaust gases formed as a result of combustion were determined.

Fuel exergy flow increases with increasing engine load in all fuel blends. Methanol has a lower heating value than ethanol. However, exergy flow is higher since the chemical exergy factor is more significant compared to ethanol by 12%. In the test fuels, EGTs increased with an increase in engine load. When the exhaust emission exergy flow was examined, it was determined that E10 and M10 fuels caused fewer pollutant emissions than G100 fuel. The burn of more fuel due to the increase in the load increases cooling water exergy flows. Accordingly, since the amount of heat transferred from the cylinder wall increases with the increase in fuel consumption, the temperatures of the cooling fluid and engine surface increase. This situation increases the exergy rate transferred to the engine cooling system. The exergy transfer rate from the engine surface to the ambient air increased due to the increase in fuel consumption in SI engines and thereby, the increase in the cylinder temperatures.

Exergy destruction occurs due to engine load increase (the increase in irreversibility due to the blend formation), heat transfer originating from the engine surface and cooling fluid (entropy production due to heat transfer realized from a finite temperature difference), combustion reaction, and friction (Boles et al., 2014). The increase in engine load increases exergy destruction and accordingly, entropy generation.

Table 6. Exergy analysis results

Engine Load (%)	Input Exergy (kW)			Exergy Loss to Ambient (kW)			Exhaust Exergy (kW)			Cooling Water Exergy (kW)			Exergy Destruction (kW)		
	G100	E10	M10	G100	E10	M10	G100	E10	M10	G100	E10	M10	G100	E10	M10
25	10.72	12.48	13.31	1.82	1.76	1.77	2.61	2.42	2.54	0.23	0.27	0.29	5.20	7.17	7.85
50	13.18	15.38	16.42	2.02	1.97	2.01	2.94	2.68	2.78	0.28	0.31	0.35	6.21	8.69	9.56
75	14.76	17.07	18.41	2.19	2.17	2.19	3.41	2.99	3.12	0.30	0.33	0.37	6.31	9.04	10.18
100	16.19	18.95	20.19	2.41	2.39	2.37	3.68	3.23	3.40	0.33	0.36	0.41	6.37	9.57	10.60

Table 7. Actual combustion equation coefficients

Fuel	Load (%)	Real Combustion Equation Coefficients (dimensionless)					
		b	d	c	g	a	e
G100	25	2.504	0.213	0.213	44.917	11.946	9.9700
	50	2.914	0.241	0.241	44.686	11.885	10.200
	75	2.139	0.390	0.390	51.350	13.657	12.674
	100	2.891	0.479	0.479	51.598	13.723	13.380
E10	25	2.334	0.789	0.789	48.097	12.792	11.639
	50	2.715	0.895	0.895	47.744	12.698	11.622
	75	1.996	1.447	1.447	54.476	14.488	13.378
	100	2.694	1.774	1.774	54.437	14.478	13.402
M10	25	2.250	0.795	0.795	44.962	11.958	10.076
	50	2.622	0.974	0.974	44.641	11.873	9.9200
	75	1.921	1.510	1.510	50.790	13.508	11.417
	100	2.601	1.719	1.719	51.040	13.574	11.812

Entropy generation is proportional to exergy destruction. Exergy always disappears due to irreversibilities depending on the second law of thermodynamics. The destroyed exergy causes the system to have less efficiency than theoretical efficiency. It is observed in Figure 9 that when the engine load increases in all fuel blends, the in-cylinder temperature, the exergy loss caused by heat transfer, and the total exergy will increase. Since entropy generation increases depending on the engine load, the total exergy destruction also increases. Entropy generation was calculated to be the most in M10 fuel and the least in G100 fuel depending on engine load.

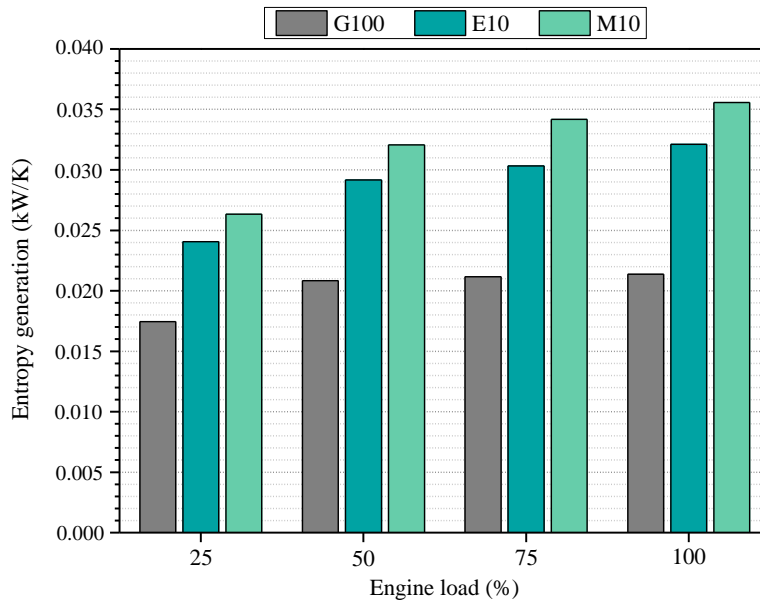


Figure 9. Entropy generation values of tested fuels at various engine loads

How much of the exergy flow of the fuel entering the engine from the intake manifold is converted to power is calculated by exergy efficiency. Exergy efficiency at different loads in the test engine is presented in Figure 10. As alcohol-based fuels are added to gasoline, exergy efficiency decreases depending on the increase in the consumption of fuel. The highest exergy efficiency in all fuels was achieved at 100% load and the exergy efficiency values of G100, E10 and M10 fuels were calculated at this load, approximately 21%, 17.92% and 16.85%, respectively.

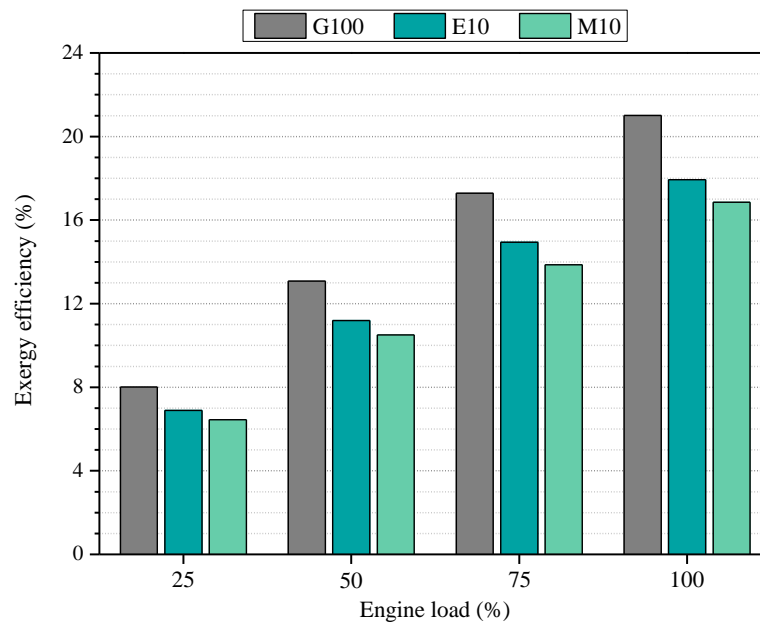


Figure 10. Exergy efficiencies of tested fuels at various engine loads

The sustainability index based on the exergy efficiency of the test engine is given in Figure 11. According to the results, E10 and M10 fuels can be alternatives to G100 fuel. By reducing the thermodynamic irreversibilities that occur in the combustion process, the sustainability index value can be increased. It has been determined that since increasing the engine load increases both energy and exergy efficiencies, the sustainability index also increases. In this study, the highest sustainability index was calculated as 1.26 in G100 fuel at 100% load.

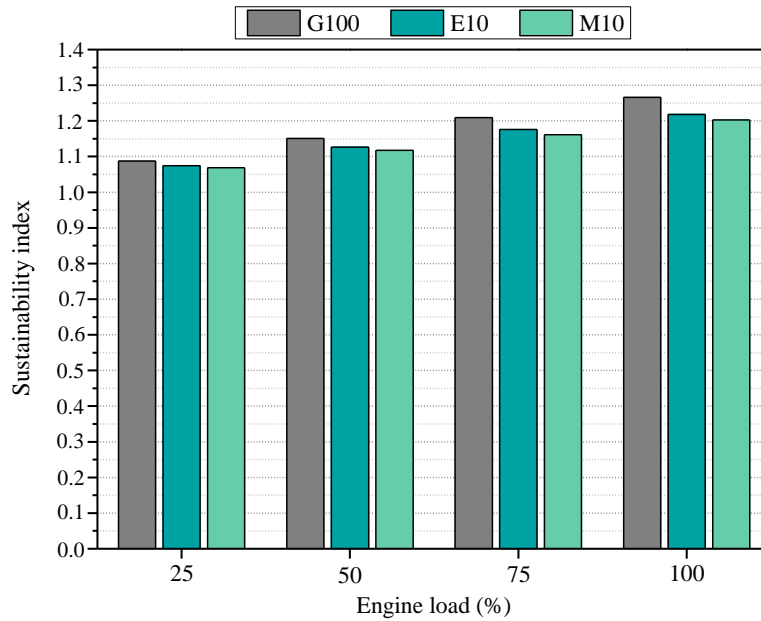


Figure 11. Effect of alcohol addition to gasoline on the sustainability index at various loads

4. Conclusions

In the present research, the performance and exhaust emissions of a single-cylinder, four-stroke, SI engine fueled with G100 (100% gasoline), E10 (10% ethanol + 90% gasoline), and M10 (10% methanol + 90% gasoline) fuel samples at a constant engine speed of 1500 rpm for four different load values (25% - 100%) were experimentally determined. Afterwards, thermodynamic analyses were conducted with the obtained data.

The consumption of E10 and M10 fuels created by adding alcohol-based additives to pure gasoline was approximately 8.8-9.1% and 2.4-3.6% higher in comparison with gasoline, respectively. The lowest BSFC was observed to be as 0.279 kg/kWh in G100 fuel at 100% load.

Due to the inherent oxygen concentrations of ethanol and methanol, CO and HC emissions are lesser in comparison with pure gasoline. In experimental studies, the oxygen emissions measured in the exhaust gas of E10 and M10 fuel blends are higher than that of G100 fuel. In the test engine, the lowest CO emissions in all fuel mixtures occurred at a 75% load. In this load, E10, M10, and G100 fuels emitted 3.15%, 3.22%, and 3.58% CO emissions to the environment, respectively. CO₂ emission is more environmentally friendly since the C/H ratios of alcohols used in the study are lower compared to gasoline. CO₂ emission descended with the rise in load. The lowest CO₂ emission value was determined to be 7.398% in E10 fuel. Since the latent heat of evaporation values of ethanol and methanol are higher than that of gasoline, and their heating values are lower compared to gasoline, NO_x emissions decreased.

Energy and exergy efficiencies increased with the increasing load in fuel blends. At 100% engine load, the highest energy efficiencies of G100, M10, and E10 fuels were calculated to be as 30.01%, 29.90%, and 28.33%, respectively. When the exergy efficiency figures of the tested fuels were evaluated, G100 fuel has performed better than M10 fuel. At the highest engine load operating condition, the exergy efficiency values were calculated to be as 17.92% for E10 fuel, 16.85% for M10 fuel, and 21% for G100 fuel. In comparison with G100 fuel, exergy destruction is higher in E10 and M10 blends, in which the energy content is low, and fuel consumption is high at all engine loads. Entropy generation increases in direct proportion to exergy destruction. The highest entropy generation was occurred to be as 0.0355 kW/K in M10 fuel blend at 100% engine load. According to the calculations of the sustainability index, the highest index coefficient was calculated 1.26 in G100 fuel at 100% load. It was found as 1.21 in E10 fuel and 1.20 in M10 fuel with the same engine load.

As a result, since E10 and M10 fuel blends exhibit similar performance with G100 fuel, they can be assessed as alternative fuels instead of gasoline out of any modification in the engine. However, energy and exergy destruction should be reduced in order to improve the first and second law efficiencies of SI engines. Therefore, in alternative fuel studies, exergo-economic and exergo-environmental analyses can be performed, and evaluations can be made from an environmental and economic perspective.

References

Agarwal, A. K., Karare, H., Dhar, A. (2014). Combustion, performance, emissions and particulate characterisation of a methanol-gasoline blend (gasohol) fuelled medium duty spark ignition transportation engine. *Fuel Processing Technology*, 121:16-24.

- Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Mohammadi, P., Pourvosoughi, N., Nikbakht, A. M., Goli, S. A. H. (2015). Improving exergetic and sustainability parameters of a DI diesel engine using polymer waste dissolved in biodiesel as a novel diesel additive. *Energy Conversion and Management*, 105:328-337.
- Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Mohammadi, P., Mirzajanzadeh, M., Ardjmand, M., Rashidi, A. (2016). Effect of an emission-reducing soluble hybrid nanocatalyst in diesel/biodiesel blends on exergetic performance of a DI diesel engine. *Renewable Energy*, 93:353-368.
- Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Hosseinpour, S., Khounani, Z., Hosseini, S. S. (2017). Exergy-based sustainability analysis of a low power, high frequency piezo-based ultrasound reactor for rapid biodiesel production. *Energy Conversion and Management*, 148:759-769.
- Altun, Ş., Öztop, H. F., Öner, C., Varol, Y. (2013). Exhaust emissions of methanol and ethanol-unleaded gasoline blends in a spark ignition engine. *Thermal Science*, 17(1):291-297.
- Alexandru, D., Ilie, D., Dragos, T. (2017). Evaluation of performance and emissions characteristics of methanol blend (gasohol) in a naturally aspirated spark ignition engine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 252(1). doi:10.1088/1757-899X/252/1/012086
- Awad, O. I., Mamat, R., Ibrahim, T. K., Hammid, A. T., Yusri, I. M., Hamidi, M. A., Humada, A. M., Yusop, A. F. (2018). Overview of the oxygenated fuels in spark ignition engine: Environmental and performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91:394-408.
- Awad, O. I., Mamat, R., Ali, O. M., Sidik, N. A. C., Yusaf, T., Kadirgama, K., Kettner, M. (2018). Alcohol and ether as alternative fuels in spark ignition engine: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82:2586-2605.
- Balki, M. K., Sayin, C. (2014). The effect of compression ratio on the performance, emissions and combustion of an SI (spark ignition) engine fueled with pure ethanol, methanol and unleaded gasoline. *Energy*, 71:194-201.
- Balki, M. K., Sayin, C., Canakci, M. (2014). The effect of different alcohol fuels on the performance, emission and combustion characteristics of a gasoline engine. *Fuel*, 115:901-906.
- Barreto, R. A. (2018). Fossil fuels, alternative energy and economic growth. *Economic Modelling*, 75:196-220.
- Bilgin, A., Sezer, I. (2008). Effects of methanol addition to gasoline on the performance and fuel cost of a spark ignition engine. *Energy & Fuels*, 22(4):2782-2788.
- Boles, M., Cengel, Y. (2014). *An Engineering Approach*. New York: McGraw-Hill Education.
- Bussar, C., Stöcker, P., Cai, Z., Moraes Jr, L., Magnor, D., Wiernes, P., Bracht, N. V., Moser, A., Sauer, D. U. (2016). Large-scale integration of renewable energies and impact on storage demand in a European renewable power system of 2050—Sensitivity study. *Journal of Energy Storage*, 6:1-10.
- Chaudhary, V., Gakkhar, R. P. (2020). Influence of DEE on entropy generation and emission characteristics of DI diesel engine fuelled with WCO biodiesel. *Alternative fuels and their utilisation strategies in internal combustion engines*, pp. 167-178. Springer, Singapore. ISBN 978-981-15-0417-4
- Chen, Y., Ma, J., Han, B., Zhang, P., Hua, H., Chen, H., Su, X. (2018). Emissions of automobiles fueled with alternative fuels based on engine technology: A review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 5(4):318-334.
- Connolly, D., Lund, H., Mathiesen, B. V. (2016). Smart energy Europe: the technical and economic impact of one potential 100% renewable energy scenario for the European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60:1634-1653.
- Connolly, D., Mathiesen, B. V. (2014). A technical and economic analysis of one potential pathway to a 100% renewable energy system. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, 1:7-28.
- Çakmak, A., Bilgin, A. (2017). Exergy and energy analysis with economic aspects of a diesel engine running on biodiesel-diesel fuel blends. *International Journal of Exergy*, 24(2-4):151-172.
- Çakmak, A., Bilgin, A. (2017). Thermodynamic analysis of the use of corn oil biodiesel in a diesel engine. *Gazi University Journal of Science and Technology Part C: Design and Technology*, 5(2):87-97.

- Caliskan, H., Tat, M. E., Hepbasli, A. (2009). Performance assessment of an internal combustion engine at varying dead (reference) state temperatures. *Applied Thermal Engineering*, 29(16):3431-3436.
- Canakci, M., Ozsezen, A. N., Alptekin, E., Eyidogan, M. (2013). Impact of alcohol–gasoline fuel blends on the exhaust emission of an SI engine. *Renewable Energy*, 52:111-117.
- da Costa, R. B. R., Hernández, J. J., Teixeira, A. F., Netto, N. A. D., Valle, R. M., Roso, V. R., Coronado, C. J. (2019). Combustion, performance and emission analysis of a natural gas-hydrous ethanol dual-fuel spark ignition engine with internal exhaust gas recirculation. *Energy Conversion and Management*, 195:1187-1198.
- Doğan, B., Erol, D., Yaman, H., Kodanli, E. (2017). The effect of ethanol-gasoline blends on performance and exhaust emissions of a spark ignition engine through exergy analysis. *Applied Thermal Engineering*, 120:433-443.
- Douvartzides, S., Coutelieris, F., Tsiakaras, P. (2004). Exergy analysis of a solid oxide fuel cell power plant fed by either ethanol or methane. *Journal of Power Sources*, 131(1-2):224-230.
- Elfasakhany, A. (2014). The effects of ethanol-gasoline blends on performance and exhaust emission characteristics of spark ignition engines. *International Journal of Automotive Engineering*, 4(1):609-620.
- Elfasakhany, A. (2015). Investigations on the effects of ethanol–methanol–gasoline blends in a spark-ignition engine: performance and emissions analysis. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 18(4):713-719.
- Elfasakhany, A. (2017). Investigations on performance and pollutant emissions of spark-ignition engines fueled with n-butanol–, isobutanol–, ethanol–, methanol–, and acetone–gasoline blends: A comparative study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71:404-413.
- Elsemary, I. M., Attia, A. A., Elnagar, K. H., Elaraqy, A. A. (2016). Experimental investigation on performance of single cylinder spark ignition engine fueled with hydrogen-gasoline mixture. *Applied Thermal Engineering*, 106:850-854.
- Eyidogan, M., Ozsezen, A. N., Canakci, M., Turkcan, A. (2010). Impact of alcohol–gasoline fuel blends on the performance and combustion characteristics of an SI engine. *Fuel*, 89(10):2713-2720.
- Farkade, H. S., Pathre, A. P. (2012). Experimental investigation of methanol, ethanol and butanol blends with gasoline on SI engine. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(4):205-215.
- Fletcher, R., Heywood, J. (1971). A model for nitric oxide emission from aircraft gas turbine engines. 9th Aerospace Sciences Meeting (p. 123).
- Ghazikhani, M., Hatami, M., Safari, B. (2014). The effect of alcoholic fuel additives on exergy parameters and emissions in a two stroke gasoline engine. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(3):2117-2125.
- Gong, C. M., Huang, K., Jia, J. L., Su, Y., Gao, Q., Liu, X. J. (2011). Improvement of fuel economy of a direct-injection spark-ignition methanol engine under light loads. *Fuel*, 90(5):1826-1832.
- Gravalos, I., Moshou, D., Gialamas, T., Xyradakis, P., Kateris, D., Tsiropoulos, Z. (2013). Emissions characteristics of spark ignition engine operating on lower–higher molecular mass alcohol blended gasoline fuels. *Renewable Energy*, 50:27-32.
- Gümüş, M., Atmaca, M. (2013). Energy and exergy analyses applied to a CI engine fueled with diesel and natural gas. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 35(11):1017-1027.
- Hansen, K., Mathiesen, B. V., Skov, I. R. (2019). Full energy system transition towards 100% renewable energy in Germany in 2050. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102:1-13.
- Hasan, A. O., Al-Rawashdeh, H., Ala'a, H., Abu-jrai, A., Ahmad, R., Zeaiter, J. (2018). Impact of changing combustion chamber geometry on emissions, and combustion characteristics of a single cylinder SI (spark ignition) engine fueled with ethanol/gasoline blends. *Fuel*, 231:197-203.
- Kapusuz, M., Ozcan, H., Yamin, J. A. (2015). Research of performance on a spark ignition engine fueled by alcohol–gasoline blends using artificial neural networks. *Applied Thermal Engineering*, 91:525-534.

- Khanali, M., Aghbashlo, M., Rafiee, S., Jafari, A. (2013). Exergetic performance assessment of plug flow fluidised bed drying process of rough rice. *International Journal of Exergy*, 13(3):387-408.
- Kim, Y., Kawahara, N., Tsuboi, K., Tomita, E. (2016). Combustion characteristics and NO_x emissions of biogas fuels with various CO₂ contents in a micro co-generation spark-ignition engine. *Applied Energy*, 182:539-547.
- Koç, M., Sekmen, Y., Topgül, T., Yücesu, H. S. (2009). The effects of ethanol–unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in a spark-ignition engine. *Renewable Energy*, 34(10):2101-2106.
- Krakowski, V., Assoumou, E., Mazauric, V., Maïzi, N. (2016). Feasible path toward 40–100% renewable energy shares for power supply in France by 2050: A prospective analysis. *Applied Energy*, 171:501-522.
- Li, J., Gong, C. M., Su, Y., Dou, H. L., Liu, X. J. (2010). Effect of injection and ignition timings on performance and emissions from a spark-ignition engine fueled with methanol. *Fuel*, 89(12):3919-3925.
- Li, Y., Gong, J., Deng, Y., Yuan, W., Fu, J., Zhang, B. (2017). Experimental comparative study on combustion, performance and emissions characteristics of methanol, ethanol and butanol in a spark ignition engine. *Applied Thermal Engineering*, 115:53-63.
- Lund, H., Mathiesen, B. V. (2009). Energy system analysis of 100% renewable energy systems-The case of Denmark in years 2030 and 2050. *Energy*, 34(5):524-531.
- Masum, B. M., Maşjuki, H. H., Kalam, M. A., Fattah, I. R., Palash, S. M., Abedin, M. J. (2013). Effect of ethanol–gasoline blend on NO_x emission in SI engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24:209-222.
- Mithaiwal, K., Modi, A. J., Gosai, D. (2017). Energy and exergy analysis on SI engine by blend of ethanol with petrol. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, AI Publications, 4(4):49-61.
- Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., Bailey, M. B. (2010). *Fundamentals of engineering thermodynamics*. John Wiley & Sons.
- Mwangi, J. K., Lee, W. J., Chang, Y. C., Chen, C. Y., Wang, L. C. (2015). An overview: energy saving and pollution reduction by using green fuel blends in diesel engines. *Applied Energy*, 159:214-236.
- Özcan, H. Çakmak, A., (2018). Comparative exergy analysis of fuel additives containing oxygen and HC based in a spark-ignition (SI) engine. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 7(3):124-133.
- Özsezen, A. N., Canakci, M. (2011). Performance and combustion characteristics of alcohol–gasoline blends at wide-open throttle. *Energy*, 36(5):2747-2752.
- Pulkrabek, W. W. (2004). *Engineering fundamentals of the internal combustion engine*.
- Sayah, A. K., Sayah, A. K. (2011). Wind-hydrogen utilisation for methanol production: An economy assessment in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8):3570-3574.
- Schifter, I., Diaz, L., Rodriguez, R., Gómez, J. P., Gonzalez, U. (2011). Combustion and emissions behavior for ethanol–gasoline blends in a single cylinder engine. *Fuel*, 90(12):3586-3592.
- Sezer, I., Altin, I., Bilgin, A. (2009). Exergetic analysis of using oxygenated fuels in spark-ignition (SI) engines. *Energy & Fuels*, 23(4):1801-1807.
- Sezer, İ., Bilgin, A. (2013). Effects of charge properties on exergy balance in spark ignition engines. *Fuel*, 112:523-530.
- Shenghua, L., Clemente, E. R. C., Tiegang, H., Yanjv, W. (2007). Study of spark ignition engine fueled with methanol/gasoline fuel blends. *Applied Thermal Engineering*, 27(11-12):1904-1910.
- Şimşek, S., Saygın, H., Özdalyan, B. (2020). Improvement of fusel oil features and effect of its use in different compression ratios for an SI engine on performance and emission. *Energies*, 13(7):1824.
- Taghavifar, H., Nemati, A., Walther, J. H. (2019). Combustion and exergy analysis of multi-component diesel-DME-methanol blends in HCCI engine. *Energy*, 187:115951.

- Tangestani, V., Isfahani, A. M. (2020). Experimental evaluation of the performance and exhaust emissions of porous medium diesel and Otto engines. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(3):1463-1474.
- Thangavelu, S. K., Ahmed, A. S., Ani, F. N. (2016). Review on bioethanol as alternative fuel for spark ignition engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56:820-835.
- Tian, Z., Zhen, X., Wang, Y., Liu, D., Li, X. (2020). Comparative study on combustion and emission characteristics of methanol, ethanol and butanol fuel in TISI engine. *Fuel*, 259:116199.
- Turner, D., Xu, H., Cracknell, R. F., Natarajan, V., Chen, X. (2011). Combustion performance of bio-ethanol at various blend ratios in a gasoline direct injection engine. *Fuel*, 90(5):1999-2006.
- Uslu, S., Celik, M. B. (2020). Combustion and emission characteristics of isoamyl alcohol-gasoline blends in spark ignition engine. *Fuel*, 262:116496.
- Verhelst, S., Turner, J. W., Sileghem, L., Vancoillie, J. (2019). Methanol as a fuel for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 70:43-88.
- Wu, B., Wang, L., Shen, X., Yan, R., Dong, P. (2016). Comparison of lean burn characteristics of an SI engine fueled with methanol and gasoline under idle condition. *Applied Thermal Engineering*, 95:264-270.
- Yanju, W., Shenghua, L., Hongsong, L., Rui, Y., Jie, L., Ying, W. (2008). Effects of methanol/gasoline blends on a spark ignition engine performance and emissions. *Energy & Fuels*, 22(2):1254-1259.
- Yücesu, H. S., Topgül, T., Çınar, C., Okur, M. (2006). Effect of ethanol–gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in different compression ratios. *Applied Thermal Engineering*, 26(17-18):2272-2278.
- Zhen, X., Wang, Y. (2015). An overview of methanol as an internal combustion engine fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52:477-493.



Gün Öncesi Piyasası için Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Enterkonekte Sistemi İletim Hatları Kayıplarının Tahmini

Artificial Neural Networks with Turkey Interconnected System for Day Ahead Market Transmission Lines Estimated Losses

Ali Dursun*¹, İbrahim Eke², Süleyman Sungur Tezcan¹

¹Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü 06590 Ankara/TÜRKİYE

²Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü 71000 Kırıkkale/TÜRKİYE

Başvuru/Received: 02/08/2019

Kabul / Accepted: 09/05/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Günümüzde ülke ekonomilerine olumsuz etkileri nedeniyle enerji kayıplarının maliyeti oldukça önem arz etmektedir. İletim sistemi kayıpları istenilen bir durum olmamakla beraber sıfırlanması da mümkün değildir. Bu kapsamda, ülkemiz enterkonekte iletim sisteminde meydana gelen enerji kayıpları, 28 Mart 2015 tarihinde Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği (DUY)'ne eklenen geçici 27. madde hükümleri doğrultusunda, Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) yükümlülüğüne bırakılmıştır. Söz konusu tarihten itibaren Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPIAŞ) tarafından işletilen gün öncesi piyasasında TEİAŞ piyasa katılımcısı olarak ön görülerini yapıp, gerçekleşen veriler ortaya çıkmadan önce bu miktarları piyasadaki satın almakla yükümlü hale getirilmiştir. TEİAŞ'ın iletim sistemi kayıpları için gelir tavanından ayırdığı kaynak ortalama 1.500.000.000 TL, dir. Bu kaynağın, 150.000.000 TL'lik kısmını ise gün öncesi piyasası için yapılan tahmin hatalarına ayırmaktadır. Bu çalışmada, iletim sistemi kayıp tahminlerinin en doğru şekilde yapılarak ödenen tutarın azaltılması ve TEİAŞ özelinde ülke ekonomisine katkı sağlanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, öncelikli olarak enterkonekte iletim sistemi kayıpları ve Türkiye elektrik piyasası anlatılmış, yapay sinir ağları hakkında bilgi verilmiştir. Son olarak, gerekli olan verilerin sağlanması amacıyla, özgün olarak yazılım yapılan, Türkiye Enterkonekte İletim Kaybı Tahmin programı olarak adlandırılan yazılım programı anlatılmış ve yapay sinir ağları aracılığıyla yapılan tahminler, gerçekleşen iletim kayıpları ile saatlik olarak kıyaslanmıştır. Çalışmanın, TEİAŞ tarafından iletim sistemi kayıp tahminlerinde kullanması durumunda, enerji dengesizlik miktarının ve tutarının azalması öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler

"Gün Öncesi Piyasası, İletim Sistemi Kaybı"

Abstract

Today, the cost of energy losses is very important because of the negative effects on the national economies. Transmission system losses are not desirable but cannot be reset. In this context, our country's interconnected transmission system that occurred energy losses, balancing on March 28, 2015 and Settlement Regulation (BSR). What added in accordance with the provisions of the Temporary Article 27, Turkey Electricity Transmission Company (TEIAS) is left to the liability. Since the mentioned date, TEIAS has made its predictions as a market participant in the day ahead market operated by Energy Markets Operation Company (EPIAŞ) and has been obliged to purchase these amounts from the market before the actual data appear. The average resource allocated by TEIAS for the transmission system losses from the income ceiling is 1 500 000 000 TL. It allocates a significant portion of this resource to forecast errors for the day ahead market. In this study, it is aimed to reduce the amount paid by making transmission system loss estimates in the most accurate way and to contribute to the national economy especially in TEIAS. In this context, priority has been described as the interconnected transmission system losses and Turkey electricity market, are given information about artificial neural networks. Finally, in order to provide the data required, originally made software, Turkey Interconnected Transmission Forecast program is described and the estimates made by means of artificial neural networks were compared on an hourly basis with the actual transmission losses. If TEIAS uses this study in transmission system loss estimations, it is foreseen to reduce the amount and the amount of energy imbalance.

Key Words

"Transmission system loss, day ahead market"

1.Giriş

Dünyadaki teknolojik gelişmelere paralel olarak günümüzde elektrik enerjisine olan talep her geçen gün artmaktadır. Artan bu enerji talebi karşısında elektrik üretim, iletim ve dağıtım hatlarında ortaya çıkan enerji kayıplarının maliyeti bu alanlarda faaliyet gösteren kurum ve kuruluşlar için önemli bir sorun teşkil etmektedir. Ülkemizde iletim sistemi kayıplarını etkileyen en önemli faktörler arasında sıcaklık, nem, tüketim miktarı sayılabilir. Buna bağlı olarak, enterkonnekte iletim sistemi kayıp oranı %2 ile %3 arasında gerçekleşmektedir ("TEİAŞ 2017 Yılı Faaliyet Raporu", 2018, 1-82) .

Ülkemizde enterkonnekte iletim hatlarında meydana gelen kayıp miktarı DUY Geçici 27. Maddesi hükümleri doğrultusunda Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) tarafından satın alınır. TEİAŞ 01.01.2016 tarihinden itibaren iletim sistemi kayıplarını satın almaya başlar (resmigazete.com). 01.01.2016 tarihinde iletim sistemi kayıplarının uzlaştırılmasını temin edilmesi için TEİAŞ'ın Piyasa İşletmecisine tüzel kişilik kaydı gerçekleştirilir (resmigazete.com). TEİAŞ piyasa katılımcısı olarak Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPIAŞ) tarafından işletilen Gün Öncesi Piyasası(GÖP)'den iletim sistemi kayıplarını satın alan bir piyasa oyuncu olarak faaliyete bulunur. GÖP'de bir önceki gün ertesi günün her saati için tahmin yöntemi ile satın alınan iletim kaybı miktarı ile gerçek zamanda meydana gelen kayıp miktarı arasında farklar oluşmakta ve bu fark miktarı enerji dengesizliği olarak adlandırılmaktadır. Enerji dengesizlikleri piyasa işletmecisi tarafından uzlaştırma işlemi yapılırken, çift fiyat mekanizması ve ceza katsayısı uygulanmakta, bu da piyasa katılımcılarına ekstra bir mali yük getirmektedir.

Yapay zekâ uygulamalarının en önemlilerinden biri olan yapay sinir ağları özellikle insan beyninin çalışma prensipleri doğrultusunda, mevcutta var olan verileri analiz edip, bu veriler ışığında algoritmalar ile sonuç üretmek üzere tanımlanmıştır (Şen, 2004). Özellikle veriler arasında fonksiyonel ve lineer bir bağ olmadığı durumda en yaygın kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. İletim sistemi kayıplarını etkileyen faktörler arasında doğrudan bir fonksiyonel ve lineer bağlantı olmaması, yapay sinir ağlarını en uygun yöntem olarak ön plana çıkartmaktadır.

Bu makalenin amacı; iletim sistemi kayıp tahmininde yapılan hataları azaltarak, TEİAŞ'ın ödediği miktarı azaltmak ve böylece, mali zarara girmesini önlemektir. Bu çalışmada, öncelikle Türkiye enterkonnekte iletim sistemi ve kayıpları ile elektrik ticaretinin yapıldığı Türkiye elektrik piyasaları anlatılmıştır. Özellikle, dengesizliklerin hesaplanmasında kullanılan Piyasa Takas Fiyatı(PTF) ve Sistem Marjinal Fiyatı(SMF) oluşumu ele alınarak, dengesizliğe düşülmesi durumunda karşılaşılabilecek dengesizlik fiyatlamalarından bahsedilmiştir. Sonrasında, özellikle lineer ve fonksiyonel olarak bağlantısı olmayan yapılarda uygulanan yapay sinir ağları anlatılmıştır. Son olarak ise yapay sinir ağlarına veri sağlamak üzere tarafımızca hazırlanan özgün Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı yazılımından bahsedilerek, yapay sinir ağları (YSA) üzerinden tahminleme işlemi yapılmış ve gerçekleşen değerler ile karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak, Türkiye enterkonnekte iletim hatlarında meydana gelen enerji kayıpları saat, gün, ay, örnekleme yapılan illerin sıcaklık ve nem verileri, tüketim verisi, kayıp verisi kullanılarak enterkonnekte iletim sistemi kayıpları saatlik bazda tahmin edilmiş ve gerçekleşen değerlerle karşılaştırılarak çeşitli çıkarımlar da bulunulmuştur.

2. Türkiye Enterkonnekte İletim Hatları ve Kayıplar

Dünyada elektriğin her geçen gün artan vazgeçilmez konumu, elektriği temel insani ihtiyaçlardan biri haline getirmiştir. İletim sistemi bu ağın en önemli unsurlarından biridir.

2.1. Türkiye Enterkonnekte İletim Hatları

Ülkemizde iletim hatları, Enerji Piyasaları Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından 13.03.2003 tarihinde verilen iletim lisansı ile TEİAŞ'ın tekelindedir. TEİAŞ elektriğin kaliteli, kesintisiz, çevre koşullarına ve elektrik piyasalarına duyarlı bir şekilde iletilmesinden sorumludur. Türkiye İletim hattı uzunluğu 2017 yılı sonu itibarıyla, 65.853 km havaî, 432 km yer altı kablosu iletim hattı, 163.849 MVA trafo gücü, 85.200 MW kurulu santral gücü, 47.660 MW ani puantı, 295,5 milyar kWh yıllık enerji üretimine sahiptir ("TEİAŞ 2017 Yılı Faaliyet Raporu", 2018, 1-82) .

2.2. Enterkonnekte İletim Kayıpları

Ülkemizin artan enerji talebi karşısında ortaya çıkan enerji kayıplarının azaltılması bir üretim tesisin kurulması kadar önemlidir. İletim sistemi kayıpları EPIAŞ tarafından üretilen elektrik enerjisinden, tüketilen elektrik enerjinin çıkarılması ile hesaplanır. Hesaplanan miktar, Dengeleme ve Uzlaştırma Yönetmeliği(DUY) Geçici 27.Maddesi gereği TEİAŞ'a fatura edilmektedir. İletim sistemine ilişkin kayıplar; teknik kayıp ve teknik olmayan kayıplar şeklinde ikiye ayrılır. İletim sistemi kayıpları, 01.01.2016 tarihinden itibaren TEİAŞ gelir tavanından ayrılan bütçe ile karşılanmaktadır. İletim sistemi kayıpları için 2019 yılında ayrılan bütçe 1.650.000.000 TL dir.

Ülkemizde iletim sistemi kayıpları %2 ile %3 arasında gerçekleşmektedir ("TEİAŞ 2017 Yılı Faaliyet Raporu", 2018, 1-82) . Gerçekleşen bu değerler aslında ülkemizin iletim sistemi kayıpları anlamında Avrupa standartlarını yakaladığını göstermektedir. Ocak-2015 ile Mayıs-2019 arasında gerçekleşen iletim kayıp oranları Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Ocak 2015 – Mayıs 2019 iletim sistemi kayıp oranları (epias.com)

Aylar	2015	2016	2017	2018	2019
Ocak	2,36	2,03	2,09	1,84	1,84
Şubat	2,36	2,05	2,13	1,76	2,03
Mart	2,24	1,98	1,76	1,77	1,79
Nisan	1,53	2,68	2,06	1,71	2,56
Mayıs	2,31	2,64	2,39	2,16	3,60
Haziran	2,21	2,63	1,96	2,13	
Temmuz	2,51	2,46	2,41	1,96	
Ağustos	2,22	2,25	2,36	2,09	
Eylül	2,16	2,04	2,18	2,04	
Ekim	1,85	1,95	1,76	1,97	
Kasım	1,98	1,98	2,04	1,89	
Aralık	1,82	2,06	1,77	1,76	
Ortalama	2,13	2,23	2,07	1,92	2,36

İletim sistemi kayıpları elektrik piyasa yöneticisi EPIAŞ tarafından aylık periyotta yapılan uzlaştırma işlemleri sonucunda, uzlaştırmaya esas veri miktarından, uzlaştırmaya esas çekiş miktarının çıkarılması ile bulunur.

İletim sistemi kayıpları, teknik kayıplar ve teknik olmayan kayıplar olarak iki ayrı ana başlıkta incelenebilir.

2.2.1. Teknik olmayan kayıplar

Ticari kayıplar olarak da adlandırılır. Bu kayıp türünde insan faktörü ön plana çıkmaktadır. Bu tip kayıplara örnek olarak; iletim hattından yapılan izinsiz bağlantılar, sayaç kurulumunda yaşanan gecikmeler, yanlış sayaç okumaları, hatalı bağlantılar, bilgi yetersizliği, hesaplama hataları verilebilir.

2.2.2. Teknik kayıplar

Elektrik sisteminin temel elemanlarından kaynaklanan kayıplar olarak da adlandırılır. Teknik kayıplar, iletim sisteminde yer alan iletken, iletken sargılar, transformatörler, izolatörler ve benzeri ekipmanlarda meydana gelen korona, kısmideşarj, izolasyon kayıplarını içerir. İletim sistemindeki kayıpların büyük bölümü bu kısımda gerçekleşir. Teknik kayıplar genel anlamda üç kısımda incelenebilir. İletim hattında meydana gelen kayıplar, Güç transformatörlerindeki kayıplar, iletim sistemi diğer elemanlarında meydana gelen kayıplar.

İletim sisteminde meydana gelen kayıpları etkileyen ana faktörler şu şekilde sıralanabilir; Hat ve transformatörlerde meydana gelen ısı kayıpları, iletim hattında meydana gelen faz dengesizlikleri, iletim hattı yüklemesi, tüketim miktarı, sıcaklık, nem

Teknik kayıplar kendi içinde yükten bağımsız kayıplar ve yüke bağımlı kayıplar olarak incelenebilir.

2.2.2.1 Yükten bağımsız kayıplar

İletim hattı üzerinde gerilim altında bulunan fakat yüklenmemiş olan hat elemanları tarafından çekilen enerji miktarı olarak adlandırılır. Bu tür kayıplar, şebeke elemanları gerilim altında bulunduğu süre zarfında meydana gelir. Oluşan kayıp miktarı, iletim hattı elemanlarının gerilim altında kalma süreleri ve izolasyon malzemelerinin durumuna göre değişir. Bu tür kayıplar; demir kayıpları, kablo ve kondansatörlerin dielektrik kayıpları, korona kayıpları, kaçak akım kayıpları ile sayaç, röle, ölçü aletleri vb. gerilim bobinlerindeki kayıpları içerir.

Bu kayıpların önemli bir kısmını oluşturan korona ve kaçak akım kayıpları, atmosferik şartlar ile değişkenlik gösterirken diğer kayıplar genelde iletim sisteminin sabit kayıpları olarak adlandırılır.

2.2.2.2. Yüke bağlı kayıplar

İletim sistemi üzerinde tamamen yük akımları tarafından meydana getirilen ve aslında o anda üzerinde bulunan akım ve gerilimlere göre değişen kayıplardır. Bunların genelde akım şiddetinin karesi ile orantılı olarak değiştiği varsayılır.

2.2.2. İletim sistemi kayıp miktar ve ödemeleri

Ocak-2012 ile Mayıs-2019 tarihleri arasında aylık olarak gerçekleşen Türkiye enterkonnekte iletim sistemi ortalama kayıp miktarları MW olarak Çizelge 2’de yer almaktadır.

Çizelge Error! No text of specified style in document.. Ocak-2012 ile Mayıs-2019 arasında gerçekleşen iletim sistemi kayıpları

AY	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ocak	560.000	483.000	559.000	433.000	439.000	482.000	452.000	433.000
Şubat	484.000	329.000	438.000	381.000	389.000	436.000	374.000	428.000
Mart	457.000	369.000	420.000	380.000	396.000	380.000	398.000	396.000
Nisan	343.000	342.000	442.000	241.000	520.000	415.000	358.000	532.000
Mayıs	294.000	382.000	443.000	377.000	521.000	501.000	460.000	768.000
Haziran	325.000	463.000	444.000	447.000	553.000	401.000	451.000	
Temmuz	446.000	449.000	566.000	545.000	554.000	620.000	517.000	
Ağustos	351.000	487.000	590.000	568.000	547.000	621.000	519.000	
Eylül	286.000	463.000	518.000	457.000	397.000	487.000	455.000	
Ekim	408.000	422.000	441.000	361.000	394.000	411.000	414.000	
Kasım	390.000	473.000	464.000	392.000	414.000	458.000	407.000	
Aralık	484.000	533.000	465.000	400.000	483.000	426.000	414.000	
Genel Toplam	4.828.000	5.195.000	5.790.000	4.982.000	5.607.000	5.638.000	5.219.000	2.557.000

Ocak-2012 ile Mayıs-2019 tarihleri arasında aylık olarak Türkiye enterkonnekte iletim sistemi kayıplarına ödenen (KDV hariç) ortalama tutarlar TL olarak Çizelge 3’de yer almaktadır.

Çizelge 2. Ocak-2016 ile Mayıs-2019 arasında gerçekleşen iletim sistemi kayıp tutarları

Aylar	2016	2017	2018	2019
Ocak	90.700.000	89.100.000	92.200.000	104.000.000
Şubat	66.600.000	76.900.000	78.500.000	111.000.000
Mart	48.000.000	73.100.000	81.800.000	105.000.000
Nisan	68.000.000	64.200.000	88.800.000	105.000.000
Mayıs	67.300.000	80.100.000	117.000.000	181.000.000
Haziran	88.100.000	63.100.000	108.000.000	
Temmuz	84.300.000	113.000.000	128.000.000	
Ağustos	95.100.000	112.000.000	125.000.000	
Eylül	58.600.000	89.900.000	109.000.000	
Ekim	60.000.000	78.200.000	133.000.000	
Kasım	67.300.000	81.900.000	119.000.000	
Aralık	11.900.000	82.900.000	105.000.000	
Genel Toplam	805.900.000	1.004.400.000	1.285.300.000	606.000.000

3.Elektrik Piyasaları

Elektrik enerjisini diğer ürünlerden farklı olmasını sağlayan en önemli özelliği, elektrik enerjisinin üretildiği anda tüketilmesi gerekliliğidir. Elektrik, üretildiği andan itibaren çok kısa bir zamanda tüketilir. Bu süre, otoriteler tarafından milisaniyeler olarak ifade edilir. Hiçbir ürün üretildikten sonra bu kadar kısa süre içinde tüketilmediği için bu durum, elektriği tek başına ve kendine özgü bir ürün haline getirir. Bu durum, elektrik piyasasını farklı bir piyasa yapmaya yeterlidir.

Elektrik Piyasası kanununa göre organize piyasalar, bir aracı (EPIAŞ) tarafından işletilen gün içi piyasası, gün öncesi piyasası gibi piyasalardır (dunyaenerji.com). Serbest organize bir piyasada satıcı ile alıcı birbirini görmez, hatta bilmez buna gereksinimde yoktur. Aracı kurum enerji piyasaları için EPIAŞ, satıcı karşısında alıcı gibi, alıcı karşısında da satıcı gibi davranır. Bir bakıma enerji piyasaları için aracı kurum olan EPIAŞ’ın yaptığı, elektriği, satmak isteyen tüccardan alıp, satın almak isteyen tüketiciye satmaktır. Ülkemizde enerji piyasaları fiziki elektrik ticaretinin yapıldığı piyasalar ve fiziki olmayan elektrik ticaretinin yapıldığı türev piyasalar olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Fiziki elektrik ticaretinin yapıldığı piyasalar ikili anlaşmalar, spot piyasalar ve gerçek zamanlı piyasalar olarak ayrılmaktadır (dunyaenerji.com). TEİAŞ Dengeleme ve uzlaştırma yönetmeliği gereği sorumlu olduğu İletim sistemi kayıplarının alınmasını da ikili anlaşmalar, Gün öncesi piyasası ve Gün içi piyasasında işlem yapmak için yetki almıştır. Genel olarak kullanılan Gün öncesi piyasası ve İkili anlaşma yöntemleridir.

3.1. Gün Öncesi Piyasası

Elektriğin en temel iki özelliği; depolanmasının günümüz şartlarında zor ve maliyetli olması, elektrik enerjisinin her an üretim tüketim dengesinin sağlanmasının zorunlu olduğu söylenebilir. Bu nedenle, talep ve arz dengesinin oluşturulabilmesi için iletim

sistem kısıtlarını gözetererek, serbest bir piyasa aracılığı ile enerji bazında dengenin ve referans fiyatın oluştuğu bir yapıya ihtiyaç vardır. Gün öncesi piyasası, bulunulan günün ertesi günü için her saat elektrik arz ve talebi toplanıp basit anlamda toplanan bu arz ve talep eğrilerinin keşitirilerek saatlik piyasa takas fiyatlarının(PTF) belirlendiği yerdir (dünyaenerji.com). Gün öncesi piyasası portföy bazlı olarak işletilmekte olup katılımı zorunlu olan bir piyasa değildir. Gün öncesi piyasalarında işlemlerin yapıldığı açılış ve kapanış saatleri, teklif yapıları farklılık gösterebilir. Ülkemizde Gün Öncesi Piyasasında teklif yapıları esnek teklifler, blok teklifler ve saatlik teklifler olarak ayrılmaktadır (dünyaenerji.com).

3.1.2. Gün öncesi piyasasındaki saatlik teklif tipleri

Elektrik piyasa katılımcıları enerjiyi düşük fiyatlarda almak, yüksek fiyatlarda ise satmak isterler. Saatlik teklif, fiyat ve miktar olmak üzere iki unsurdan oluşur. Saatlik piyasa teklif yapısında alış yönünde 32 ve satış yönünde 32 olmak üzere toplam 64 seviye teklif girişi yapılabilir. Sonuç olarak; elektrik piyasalarında alt limit olan 0 TL/MWh ile fiyat üst limiti olan 2000 TL/MWh arasında 64 adet teklif girişi piyasa katılımcısı tarafından yapılabilir. Ayrıca, aynı fiyat düzeyi için geçerli saatlik alış teklifi ve saatlik satış teklifleri bir arada bulunamaz (dünyaenerji.com).

3.1.3. Gün öncesi piyasasındaki blok teklif tipleri

Blok teklifler ardışık tam saatleri kapsayan tekliflerden oluşur. Bu ardışık saatler en az 3 saatten oluşmak zorunda olup verilen teklifler ya tamamen kabul görür ya da tamamen reddedilir. Yine blok tekliflerde de piyasa katılımcısı hem alış yönlü olarak işlem yapabilir hem de satış yönlü olarak işlemlerini gerçekleştirebilir. Bir piyasa katılımcısı gün öncesi piyasasında en fazla 50 blok teklif verebilir (dünyaenerji.com).

3.1.4. Gün öncesi piyasasındaki esnek teklif tipleri

Gün Öncesi Piyasasında esnek teklifler yalnızca satış yönünde verilebilmektedir. Ancak, alış yönlü verilebilmesi için de çalışmalar yapılmaktadır. EPIAŞ bildirilen esnek teklif yapılarında sadece miktar ve fiyat bilgisi içerir ve herhangi bir saat ile ilişkili değildirler. Esnek tekliflerin sınırı 10 adettir (dünyaenerji.com).

3.1.5. Piyasa takas fiyatı oluşumu

Piyasa katılımcıları tarafından sunulan arz ve talep eğrilerinin keşitimi sonucu bulunur.

3.2. Dengeleme Güç Piyasası

EPIAŞ tarafından işletilen piyasalar aracılığı ile elektrik piyasaları bir gün öncesinden dengeye getirilmişse de gerçek zamana yaklaşıldıkça talep ve arz dengesi değişebilir ve bu değişimler neticesinde bir gün öncesinde dengeli olan sistemde bozulmalar meydana gelebilir. Bozulan denge üretim planında yapılan değişikliklerle dengelenir.

Ülkemizde gerçek zamanlı piyasalar, aktif elektrik enerjisi dengelemesinin yapıldığı piyasadır. Çeşitli sebepler nedeniyle, bozulan elektrik sistem dengesi, sistem işletmecisi (TEİAŞ) tarafından santrallere verilen yük alma talimatı(YAL) ve yük atma talimatı(YAT) verilerek düzeltilir (resmigazete.com). Gerçek zamanlı piyasa katılımcıları dengeleme birimleri olarak adlandırılır. Eğer, üretim santrali ve tesisler 15 dakika içinde 10 MW yük alabilme ve yük atabilme özelliğine sahip ise dengeleme birimleri olabilirler. Rüzgâr, gel-git, güneş, kojenerasyon, biokütle, kanal tipi hidrolik santraller gibi yenilenebilir kaynaklara dayalı kesintili üretim tesisleri dengeleme birimi olmaktan muaftır (resmigazete.com). Sistem işletmecisi olan TEİAŞ, elektrik sisteminden enerji alırken tek alıcı, elektrik sistemden enerji çıkarırken tek satıcı gibidir. TEİAŞ sistem işletmecisi olarak elektrik piyasası üzerinde mutlak hâkimiyete sahiptir.

Elektrik piyasalarında Yük alma ve yük atma talimatları, elektrik piyasasının doğası gereğidir. Elektriğin frekansı her an nominal değeri olan 50 Hertz (Hz) baz alınarak %0.4 tolerans ile 49.8 Hz - 50.2 Hz aralığında tutulmalıdır. Talep edilen aktif elektrik enerjisinin miktarı, elektrik sisteminde var olan yük miktarını geçerse frekans düşer, tersi durumda ise frekans yükselir. Bahsedilen durumlar elektrik kullanıcılarının istemediği durumlardır. Bu sebeplerden dolayı, sistem işletmecisinin yük değişimlerine karşı bazı üreticilerin üretimlerini artırmalarını veya azaltmalarını isteyerek elektrik sisteminin dengelenmesini sağlar.

3.2.3. Yük alma teklif fiyatı (YALTF)

Dengeleme güç piyasasına katılan piyasa katılımcılarının Yük Alma için talep ettikleri birim fiyatları ifade eder (resmigazete.com). Yani, bir dengeleme birimi olan santral ilgili günün, ilgili saati için 1 MWh üretim artışı veya tüketim azalışı için en az ne kadar tutar talep ettiğini belirtir.

3.2.4. Yük atma teklif fiyatı (YATTF)

Dengeleme güç piyasasına katılan piyasa katılımcılarının yük atma için talep ettikleri birim fiyatları, ifade eder (resmigazete.com). Yani bir dengeleme birimi olan santral ilgili günün, ilgili saati için 1 MWh üretim azalışı veya tüketim azalışı için en az ne kadar tutar talep ettiğini belirtir.

3.2.5. Sistem Marjinal Fiyatı (SMF)

Sistem yönünün enerji açığı göstermesi halinde yük alma teklif fiyatlarının en düşüğünden, sistem yönünün enerji fazlasını göstermesi halinde yük atma teklif fiyatlarının en yüksekinden başlanılmak üzere, dengeleme güç piyasası kapsamında verilen tüm talimatlar dikkate alınarak belirlenen net talimat hacmine tekabül eden teklif fiyatını ifade eder (resmigazete.com).

Sistem marjinal fiyatı, net talimat hacmine göre belirlenir. Net talimat hacmi ise, sistem işletmecisi tarafından ilgili saat için verilen toplam yük alma talimat miktarı ile toplam yük atma talimat miktarı arasındaki farktır Eş. 1'de formül olarak gösterilmiştir.

$$\text{Net Talimat Hacmi} = \Sigma YALM - \Sigma YATM \quad (1)$$

Verilen YAL talimatları toplamı, YAT talimatları toplamından büyükse ilgili saatte enerji açığı oluşmuştur. Buna, sistem YAL yönünde denir. Verilen YAT talimatları toplamı, YAL talimatları toplamından büyükse ilgili saatte enerji fazlası oluşmuştur. Buna, sistem YAT yönünde denir. Eğer verilen YAL talimatları toplamı, YAT talimatları toplamına eşitse o saatte enerji dengesi oluşmuştur ve sistem dengededir denir.

Dengeleme güç piyasasında verilen talimatların net hacminin denk geldiği teklifin fiyatı, Sistem marjinal fiyatını(SMF) belirler.

Bir dengeleme biriminin yük aldığı veya yük attığı miktar için geçerli olacak Yük Alma Fiyatı (YALF) veya Yük Atma Fiyatı (YATF), marjinal fiyatlandırma ve teklif etmiş olduğu miktar üzerinden verilen talimat kadarının fiyatlandırıldığı bir yapı söz konusudur. Bu fiyatlandırma yapısı üç durumda incelenebilir.

- İletim sistemde enerji açığı varsa, yani sistem yönü YAL ve net hacimlerin toplamı pozitif ise, YALF belirlenirken teklif fiyatı SMF'ye kadar olanlara SMF, teklif fiyatı SMF'nin üzerinde olanlara ise kendi fiyatlarından ödemeler yapılır. Ters yönlü verilen teklifler yani YAT teklifleri ise yine kendi fiyatları üzerinden ödeme yapılır.

$$\text{Net Talimat Hacmi} > 0 \text{ ise } YALF = \max(YALTF, SMF) \text{ ve } YATF = YATTF \quad (2)$$

- İletim sistemde enerji fazlası varsa, yani sistem yönü YAT ve net talimat hacimlerin toplamı negatif ise, YATF belirlenirken teklif fiyatı SMF'ye kadar olan talimatlara SMF, teklif fiyatı SMF'nin altındaki talimatlara ise kendi teklif fiyatları uygulanır. Sistem yönünün tersindeki talimatlara, yani bu durumda yük alma talimatlarına ise yine kendi teklif fiyatları uygulanır. Bu durum Eş. 3'deki formül ile gösterilmiştir.

$$NTM < 0 \text{ ise } YATF = \min(YATTF, SMF) \text{ ve } YALF = YALTF \quad (3)$$

- Sistemde enerji dengesi varsa, yani net talimat hacmi= 0 ise, verilmiş olan tüm talimatlara kendi teklif fiyatları uygulanır. Bu durum Eş. 4'deki formül ile gösterilmiştir.

$$NTM = 0 \text{ ise } YATF = YATTF \text{ ve } YALF = YALTF \quad (4)$$

3.3. Uzlaştırma ve Enerji Dengesizlik Fiyatlandırması

Dengeleme mekanizmasından ve/veya enerji dengesizliğinden doğan alacak ve borç miktarlarının hesaplanması ve ilgili alacak-borç bildirimlerinin hazırlanması işlemlerine uzlaştırma denir (resmigazete.com). Uzlaştırma işlemi, gün öncesi planlama, gün öncesi piyasa, gün içi piyasa ve dengeleme güç piyasasından ve/veya enerji dengesizliğinden doğan alacak ve borç miktarlarının hesaplanması. İlgili alacak-borç bildirimlerinin hızlı, güvenilir ve şeffaf bir şekilde gerçekleşmesini sağlayacak şekilde aşağıdaki genel esaslar çerçevesinde Piyasa İşletmecisi tarafından yürütülür (resmigazete.com).

Bir piyasa katılımcısının Enerji Dengesizlik Miktarı (EDM), katılımcının söz konusu süre içinde sisteme vermiş olduğu uzlaştırmaya esas verişi miktarı ile bu sistemden çektiği uzlaştırmaya esas çekiş miktarı arasındaki farktır.

Gerçek anlamda enerji dengesizliğinin yok edilmesi mümkün değildir, ancak azaltılabilir. En son teknoloji ile kurulmuş santrallerin, üst düzey talep, hava tahminleri bile dengesizliği önlemeye yetmez. Herhangi bir piyasa katılımcısı tarafından yerine getirilemeyen yük atma talimatı, sıcaklığın 1 derece daha yüksek veya düşük olması, rüzgârın beklenenden 1 m/s daha yavaş veya hızlı esmesi vs. piyasa katılımcısını istemeden de olsa dengesizliğe düşmesine sebep olabilir.

Ülkemizde Negatif dengesizlik yönünde Enerji Dengesizlik Tutarı (EDT) Eş. 5'deki formül ile hesaplanır.

$$\text{Enerji Dengesizlik Tutarı (EDT)} = \text{Enerji Dengesizlik Miktarı (EDM)} \times \max(PTF, SMF) \times (1 + k) \quad (5)$$

Ülkemizde Pozitif dengesizlik yönünde ise Enerji Dengesizlik Tutarı (EDT) Eş. 6'deki formül ile hesaplanır:

$$\text{Enerji Dengesizlik Tutarı (EDT)} = \text{Enerji Dengesizlik Miktarı (EDM)} \times \min(PTF, SMF) \times (1 - \ell) \quad (6)$$

01.05.2015 tarihli Enerji Piyasaları Düzenleme Kurumu (EPDK) kararıyla enerji dengesizliklerinde k ve ℓ kat sayıları 0,03 olarak alınmaktadır. Bu k ve ℓ katsayıları kurul kararıyla 1'e kadar artırılabilir. Böylece $\ell=1$ alınarak pozitif dengesizlik yapana ödeme yapılmamaya kadar, $k=1$ alınarak da negatif dengesizlik yapandan büyük fiyatın iki katı istenene kadar gidilebilir.

Çift fiyatlandırmada dengesizlik yapan bir piyasa katılımcısının karlı çıkma olasılığı yoktur. Çünkü dengesizlik yapması sebebiyle en iyi ihtimal ile k ve l katsayılarından dolayı %3 zarara uğramaktadır.

4.Yapay Sinir Ağları

İlk yapay sinir ağı modelleri bir beyin cerrahı olan Warren McCulloch ile matematikçi Walter Pitts çalışmaları sonucu insan beyninin hesaplanma yeteneğinden çıkarımlar yapılarak basit bir elektrik devresiyle sinir ağı modellenmiştir (Hamzaçelebi, 2011).

4.1. Çok Katmanlı Algılayıcı

Çok katmanlı algılayıcılar (ÇKA); ileri beslemeli ağlardan olup, öğrenme yöntemlerinden öğretmenli öğrenmeyi kullanan ağlardır. Heteroasosyatif YSA yapısına sahip olan ÇKA birden fazla katmana sahiptir.

ÇKA, doğrusal olmayan problemleri çözebilmeleri nedeniyle günümüzde geniş kullanım alanları bulan en popüler yapay sinir ağıdır (Bassani & Araujo, 2019; Ban & Chang, 2015; Yıldız vd., 2019). Ayrıca kullandığı öğrenme algoritması nedeniyle geri yayılım ağı olarak da anılmaktadır (Sarigül vd., 2019).

Yapay sinir ağlarına olan ilginin tekrar artmasına neden olan çok katmanlı algılayıcılar, başlangıçta akademik çevrelerin ilgisini çekerek üzerinde yapılan çalışmaları yoğunlaştırmış, daha sonra mühendislik problemlerinin hemen hepsine çözüm üretebilecek bir güce sahip olması nedeniyle endüstriyel alanda yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

Veri Normalleştirme

Lojistik ya da hiperbolik tanjant gibi doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları, bir nöronun çıktısını (0,1) veya (-1,1) aralığına sıkıştırırlar. Bu sebeple, hesaplama hatalarından kaçınmak için hem çıktıları hem de girdileri normalleştirme avantajlı olacaktır. Veri normalleştirme (data normalization), eğitim süreci başlamadan uygulanır (Es, 2013).

[0,1] aralığına doğrusal dönüşüm Eş. 7'deki formül ile hesaplanır.

$$x_n = \frac{x_0 - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (7)$$

5. Uygulamalar

Bu çalışmanın ana konusu, TEİAŞ tarafından bir önceki gün ertesi günün her saati için tahmin yöntemi ile gün öncesi piyasası aracılığıyla satın alınan iletim sistemi kayıplarına ödenen dengesizlik tutarlarını azaltmaktır. Enterkonnekte iletim sistemi kayıp tahminleri sonucu ödenen ortalama tutarlar Çizelge 4'de gösterilmiştir. Bu çalışma ile enterkonnekte iletim sistemi kayıp tahminlerinin gerçek değerlere yaklaştırılarak en az dengesizliğe düşülmesi ve maksimum kar elde edilmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 4. Enerji dengesizlik tutarları

Aylar	2016 Dengesizlik Tutarı (TL)	2017 Dengesizlik Tutar (TL)	2018 Dengesizlik Tutar (TL)	2019 Dengesizlik Tutar (TL)
Ocak	15.000.000	10.000.000	11.000.000	5.000.000
Şubat	2.000.000	9.000.000	9.000.000	15.000.000
Mart	12.000.000	9.000.000	12.000.000	5.000.000
Nisan	18.000.000	11.000.000	9.000.000	14.000.000
Mayıs	12.000.000	12.000.000	14.000.000	27.000.000
Haziran	13.000.000	12.000.000	13.000.000	14.000.000
Temmuz	13.000.000	21.000.000	15.000.000	
Ağustos	11.000.000	14.000.000	25.000.000	
Eylül	13.000.000	11.000.000	20.000.000	
Ekim	9.000.000	10.000.000	14.000.000	
Kasım	10.000.000	9.000.000	13.000.000	
Aralık	24.000.000	14.000.000	14.000.000	
Toplam	152.000.000	142.000.000	169.000.000	80.000.000

5.1. Türkiye Enterkonnekte İletim Sistemi Kayıp Programı

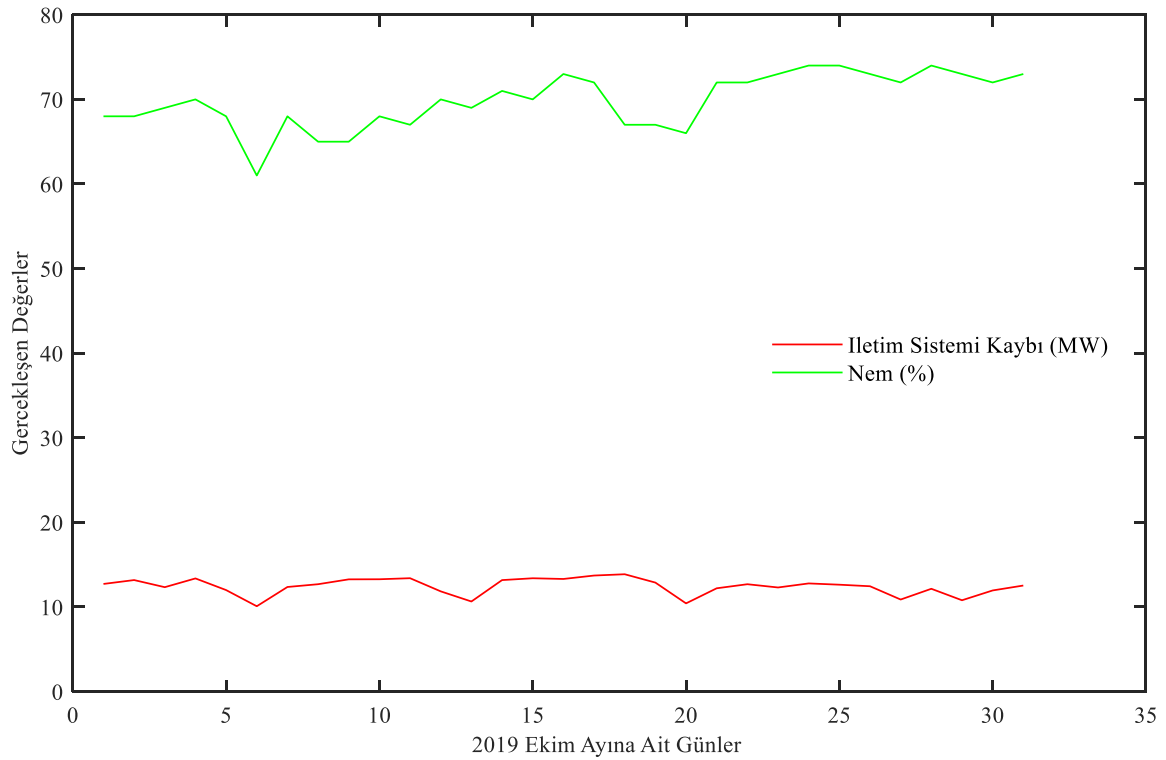
İletim sistemi kayıpların gün öncesi piyasası için tahmininde kullanılmak üzere, 2012-2019 yılları arasında elde edilen veriler, bağımlı ve bağımsız değişken olarak kullanıldı ve MATLAB .m dosyasını oluşturmak için özgün Türkiye iletim sistemi kayıp programı yazılımı yapıldı.

Programın amacı Matlab tarafında eğitilecek olan verileri hazırlamaktır. Masaüstü uygulaması olarak tasarlanan program C sharp (C#) programlama dili kullanılarak Visual Studio editörü üzerinde yazıldı. Uygulamanın UI (User Interface / Kullanıcı arayüzü) tarafını zenginleştirmek için Bunifu Framework'ü kullanılmıştır. Bağımsız değişkenlerin hesaplaması da ihtiyaç duyulan nem ve sıcaklık değerleri Dark Sky API üzerinden alındı. Verilerin saklanması için ise MSSql veri tabanının Express sürümü kullanıldı. Oluşturulan, Türkiye enterkonnekte iletim kayıp yazılımı ara yüzü, Şekil 1'de gösterilmiştir.

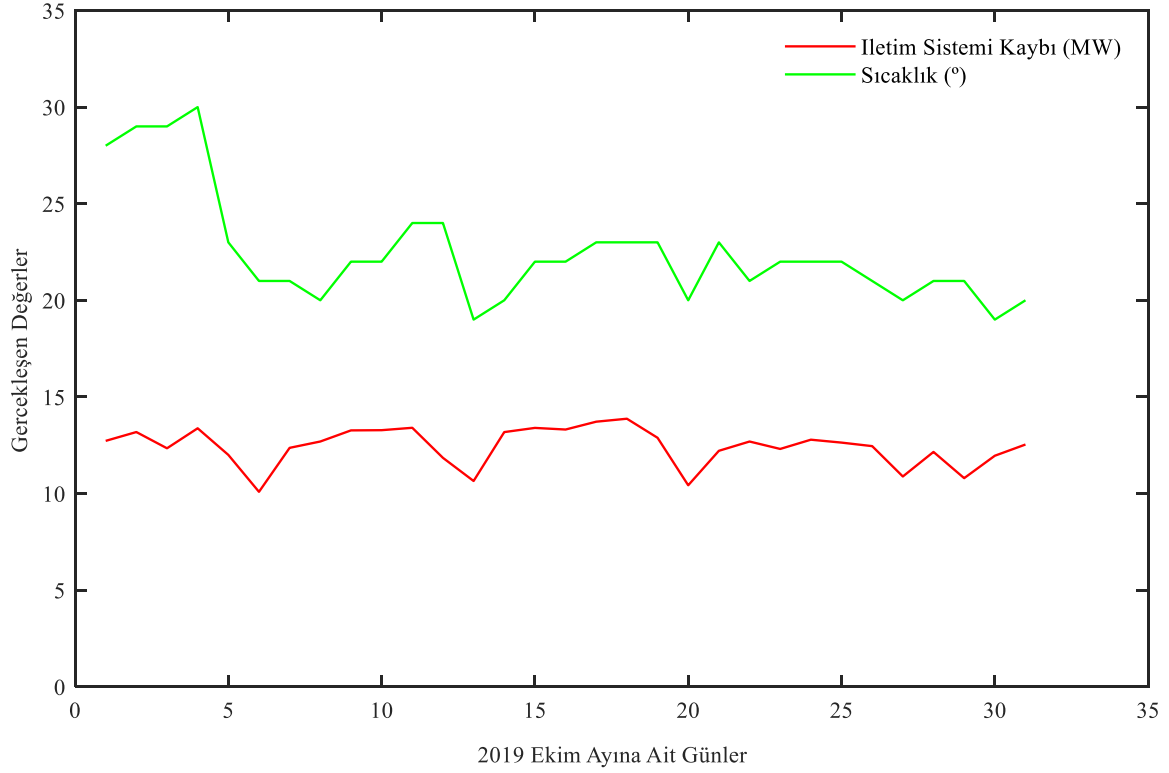
Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmini							
Gerçekleşen Veriler		Gerçekleşen Veriler(0-1)		Tahmini Veriler		Tahmini Veriler(0-1)	
Tarih	Saat	Gün	Şehir	Sıcaklık	Nem	Kayıp Miktarı	Tüketim Miktarı
25.12.2017	00:00	Pazartesi	ADANA	8,8	91,00	371,0133	30158,75
25.12.2017	01:00	Pazartesi	ADANA	9,8	86,00	343,4485	28480,68
25.12.2017	02:00	Pazartesi	ADANA	9,3	88,00	342,9297	27478,88
25.12.2017	03:00	Pazartesi	ADANA	9,3	88,00	348,3194	26623,11
25.12.2017	04:00	Pazartesi	ADANA	8,9	91,00	350,5945	26789,84
25.12.2017	05:00	Pazartesi	ADANA	7,3	91,00	346,5668	27039,91
25.12.2017	06:00	Pazartesi	ADANA	7,8	98,00	405,5833	28359,26
25.12.2017	07:00	Pazartesi	ADANA	10,9	88,00	439,9151	31230,31
25.12.2017	08:00	Pazartesi	ADANA	13,3	63,00	588,9345	36707,48
25.12.2017	09:00	Pazartesi	ADANA	14,8	56,00	650,4842	39978,29
25.12.2017	10:00	Pazartesi	ADANA	15,8	50,00	730,4896	40465,39
25.12.2017	11:00	Pazartesi	ADANA	16,8	46,00	806,8088	40556,33
25.12.2017	12:00	Pazartesi	ADANA	17,8	43,00	638,5193	38565,87
25.12.2017	13:00	Pazartesi	ADANA	17,3	47,00	628,0717	38321,41
25.12.2017	14:00	Pazartesi	ADANA	15,8	56,00	659,4665	38576,1
25.12.2017	15:00	Pazartesi	ADANA	13,3	68,00	618,623	38425,12
25.12.2017	16:00	Pazartesi	ADANA	12,3	73,00	688,548	39222,41
25.12.2017	17:00	Pazartesi	ADANA	10,3	80,00	754,7145	40859,83
25.12.2017	18:00	Pazartesi	ADANA	10,4	80,00	701,23	40783,4
25.12.2017	19:00	Pazartesi	ADANA	7,9	91,00	636,9033	39524,22
25.12.2017	20:00	Pazartesi	ADANA	7,9	94,00	613,5694	38585,47
25.12.2017	21:00	Pazartesi	ADANA	7,9	91,00	576,2017	37619,15
25.12.2017	22:00	Pazartesi	ADANA	7,3	94,00	552,0644	36812,81
25.12.2017	23:00	Pazartesi	ADANA	7,3	88,00	480,0368	35044,36
26.12.2017	00:00	Salı	ADANA	6,8	82,00	436,4357	32954,62

Şekil 1. Türkiye enterkonnekte iletim kaybı yazılımı ara yüzü

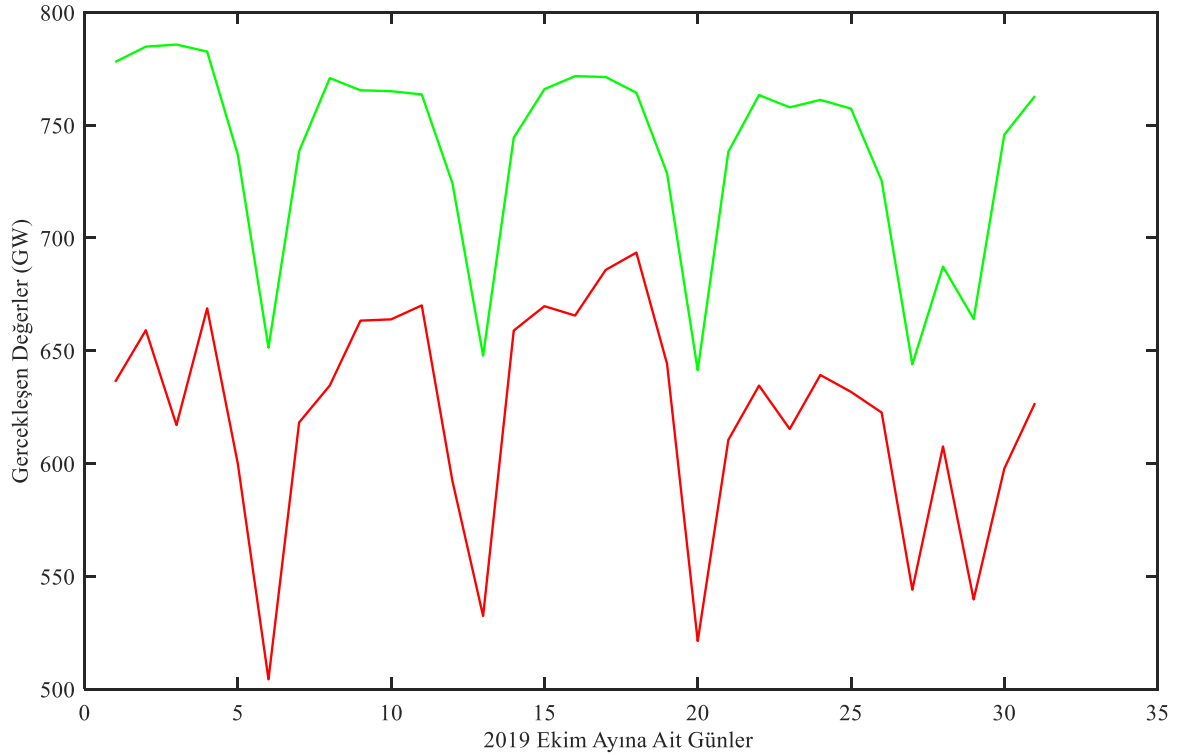
2019 yılında gerçekleşen değerlerden; sıcaklık, nem ve tüketim artışlarına karşılık, iletim sistemi kayıpları lineer şekilde arttı Şekil 2,3 ve 4’de gözlenmiştir. Bu nedenle; sıcaklık, nem ve tüketim değerleri, iletim kayıplarını en fazla etkileyen sebeplerdir.



Şekil 2. 2019 yılının Ekim ayına ait, Nem ve İletim sistemi kayıplarının değişimleri



Şekil 3. 2019 yılının Ekim ayına ait, Sıcaklık ve İletim sistemi kayıplarının değişimleri



Şekil 4. 2019 yılının Ekim ayına ait, Toplam Tüketim ve İletim sistemi kayıplarının değişimleri. Yeşil renkli çizgi: Toplam Tüketim, Kırmızı renkli çizgi: İletim Sistemi Kaybının 50000 katı (İletim sistemi kaybı, Toplam Tüketim yanında çok küçük olduğundan, ikisini de bir şekilde gösterip değişimlerinin lineer olduğunu göstermek için, kayıplar 50000 ile çarpıldı)

Türkiye enterkonnekte iletim sisteminde meydana gelen kayıpların tahmini için yapay sinir ağlarında kullanılan bağımsız değişkenler aşağıdaki Çizelge 5'deki gibidir.

Çizelge 5. Yapay sinir ağlarında kullanılan bağımsız değişkenler

Değişken Adı	Kaynağı	Değişken kullanılma sebebi
Tarih verisi	veri tabanı	Tarihler arasında meydana gelen değişimle birlikte enerji tüketimi ve kaybın değişmesi beklenmektedir. Bu nedenle tarih verileri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.
Saat verisi	veri tabanı	Saatler arasında meydana gelen değişimle birlikte enerji tüketimi ve kaybın değişmesi beklenmektedir. Bu nedenle saat verileri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.
Gün verisi	veri tabanı	Günler arasında meydana gelen değişimle birlikte enerji tüketimi ve kaybın değişmesi beklenmektedir. Bu nedenle gün verileri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.
Şehir verisi	veri tabanı	Örnekleme yapılarak elektrik tüketiminin ve kaybın fazla olduğu 7 şehir (Ankara, İstanbul, İzmir, Samsun, Adana, Erzurum, Diyarbakır) seçilmiş, bu şehirler bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.
Sıcaklık verisi	Dark Sky API	Örnekleme yapılarak elektrik tüketiminin ve kaybın fazla olduğu 7 şehir ait sıcaklık verileri seçilmiş ve bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.
Nem verisi	Dark Sky API	Örnekleme yapılarak elektrik tüketiminin ve kaybın fazla olduğu 7 şehir ait nem verileri seçilmiş ve bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.
Türkiye tüketim verisi	TEİAŞ	Türkiye tüketim verisinde meydana gelen değişimle birlikte enerji kaybının değişmesi beklenmektedir. Bu nedenle Türkiye kayıp verileri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.
Türkiye iletim kaybı verisi	TEİAŞ	Türkiye kayıp verisinde meydana gelen değişimle birlikte enerji kaybının değişmesi beklenmektedir. Bu nedenle Türkiye kayıp verileri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.

İletim sistemi kayıplarının tahmini yapılırken, her günün her saati için geçerli bir kayıp tahmini yapıldı. Bağımsız değişken olarak tarih, saat ve gün verileri alınmış, örnekleme yapılarak tüketim ve kaybın fazla olduğu 7 büyük şehir seçilmiş ve bu şehirlerin sıcaklık, nem verileri ile Türkiye iletim kayıp miktarları ve tüketim verisi bağımsız değişken olarak kullanılmıştır.

MATLAB .m dosyası için oluşturulan veri kümelerinin anlamlı olması için 2012-2019 yılları arasında elde edilen veriler bağımlı ve bağımsız değişken olarak 0 ve 1 Aralığında olması gerekmektedir. Örnek şehirlere ait seçilen tarihten bir hafta öncesi ve bir hafta sonrası, 2012 yılına kadar gidilerek veri kümesi oluşturuldu. Söz konusu tarihler için geçerli olan saatlik Türkiye tüketimleri, iletim kaybı değerleri, illere ait sıcaklık ve nem değerleri ile Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmin programına işlendi.

Hazırlanan Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmin programı MATLAB verileri için kolaylıkla 0 ve 1 Aralığın da değer üretebilmesi için tasarlandı. Örneğin 10 Ocak 2019 tarihinin her saati için 09 Ocak 2019 tarihinde gün öncesi piyasasından alınacak iletim sistemi kayıp tahmini yapılacak olsun. 2012-2018 yılları arasında 03 Ocak-17 Ocak tarihlerindeki her saati için; $15 \times 8 \times 24 = 2.880$ adet veri oluşacak tüm verilerin âdeti ise $2.880 \times 7 = 20.160$ adet olacaktır. Özgün program ile binlerce verinin dönüşümünün kolaylaştırılması, elde edilen verilerin karşılaştırılması ve hataların azaltılması için kullanılmıştır.

5.2. YSA Uygulaması

Yazılımı yapılan Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmin programının ürettiği bağımsız değişkenler girdi Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı ise çıktı olmak üzere ağ yapısı oluşturuldu. Türkiye enterkonnekte iletim sistemi kayıplarının tahmini için kullanılan YSA simülatörü MATLAB R2016a Neural Network Tool Box kullanılmıştır. Eğitilme sırasında daha verimli olması için geriye yayılma algoritması kullanılmış, YSA'nın eğitilmesi aşamasında performans kriteri olarak MSE tercih edilmiştir. YSA modelinde transfer fonksiyonu olarak ise TANSIG fonksiyonu kullanılmıştır.

YSA modeli yapılan çalışmalar sonucunda en iyi sonucu 3 gizli katmanlı yapıda verdiği görülmüş ve 3 Hidden Layer olacak şekilde tahminler yapılmıştır. Gizli katmanlarda bulunan nöron sayıları kayıp tahminini etkileyeceğinden birçok deneme yapılarak doğru nöron sayısı bulunmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak ve hafta sonu (Cumartesi, Pazar) için gizli katmanlardaki nöron sayısının sırasıyla 15, 10, 4 olması durumunda en iyi sonucu verdiği görülmüş ve 06 Ocak 2019 için örnek verilmiştir. Hafta içi günler için ise gizli katmanlardaki nöron sayısının sırasıyla 30, 20, 10 olması durumunda en iyi sonucu verdiği görülmüş ve 08 Ocak 2019 için örnek verilmiştir. Yapılan tahmini performans ortalama mutlak hata değerlerinin ortalaması alınarak değerlendirmeler yapılacak ve %10 altı sonuçlar başarılı sayılacaktır.

5.3. Hafta Sonu Örneği 06 Ocak 2019 Pazar

06 Ocak 2019 tarihine ait iletim kaybı tahmini yapılması için Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmin programından 06 Ocak 2019 tarihi seçilir ve hesapla butonu aracılığıyla hesaplanır. Gerçekleşen veriler ve tahmin için oluşturulan veri setleri Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 6. 06 Ocak 2019 tahmini için kullanılan veriler

Değişken Adı	Gerçekleşen veriler	Tahmin veriler
Tarih verisi	01-13 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018	06.Ocak.2019
Saat verisi	01-13 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerine ait 00:00 ile 23:00 saatleri	06 Ocak 2019 tarihine ait 00:00 ile 23:00 saatleri
Gün verisi	01-13 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerine ait gün verileri	06 Ocak 2019 tarihine ait Pazar günü
Şehir verisi	7 bölgeye ait seçilen 7 şehir (Ankara, İstanbul, İzmir, Samsun, Adana, Erzurum, Diyarbakır),	7 bölgeye ait seçilen 7 şehir (Ankara, İstanbul, İzmir, Samsun, Adana, Erzurum, Diyarbakır),
Sıcaklık verisi	01-13 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerinde örnek şehirlerin sıcaklık verisi	06 Ocak 2019 tarihine ait örnek şehirlerin sıcaklık tahmin verisi
Nem verisi	01-13 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerinde örnek şehirlerin nem verisi	06 Ocak 2019 tarihine ait örnek şehirlerin nem tahmin verisi
Türkiye tüketim verisi	01-13 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerinde Türkiye tüketim miktarı	01-13 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerinde Türkiye tüketim tahmin miktarı
Türkiye iletim kaybı verisi	01-13 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerinde Türkiye tüketim miktarı	-

Tarih	Saat	Gün	Şehir	Sıcaklık	Nem	Kayıp Miktar	Tüketim Miktar
13.01.2012	23:00	Cuma	SAMSUN	2,0	87,00	808,517500000002	29332,1666666667
13.01.2012	22:00	Cuma	SAMSUN	1,0	100,00	654,5985	30291,9666666667
13.01.2012	21:00	Cuma	SAMSUN	2,0	100,00	773,4637	30315,2666666667
13.01.2012	20:00	Cuma	SAMSUN	1,0	100,00	817,1898	31203,1666666667
13.01.2012	19:00	Cuma	SAMSUN	1,0	100,00	857,670699999999	32165,1666666667
13.01.2012	18:00	Cuma	SAMSUN	2,0	93,00	897,995200000001	33270,3666666667
13.01.2012	17:00	Cuma	SAMSUN	5,0	87,00	862,816200000001	34258,6666666667
13.01.2012	16:00	Cuma	SAMSUN	6,0	87,00	788,144199999999	32911,8666666667
13.01.2012	15:00	Cuma	SAMSUN	6,0	81,00	866,928200000002	32056,6666666667
13.01.2012	14:00	Cuma	SAMSUN	7,1	75,00	840,657599999999	32470,0666666667
13.01.2012	13:00	Cuma	SAMSUN	7,9	71,00	661,988499999999	32421,5666666667
13.01.2012	12:00	Cuma	SAMSUN	8,0	71,00	811,719300000001	31291,8666666667
13.01.2012	11:00	Cuma	SAMSUN	7,9	70,00	884,125899999999	33585,8666666667
13.01.2012	10:00	Cuma	SAMSUN	7,4	74,00	834,170000000002	33492,3666666667
13.01.2012	09:00	Cuma	SAMSUN	7,0	81,00	820,824799999999	32540,9666666667
13.01.2012	08:00	Cuma	SAMSUN	6,5	82,00	843,622199999998	29734,8666666667
13.01.2012	07:00	Cuma	SAMSUN	5,5	86,00	831,694800000001	25972,2666666667
13.01.2012	06:00	Cuma	SAMSUN	4,0	100,00	562,863499999999	24596,0666666667
13.01.2012	05:00	Cuma	SAMSUN	4,0	93,00	673,848999999998	23582,8666666667
13.01.2012	04:00	Cuma	SAMSUN	4,0	93,00	579,4951	23390,7666666667
13.01.2012	03:00	Cuma	SAMSUN	4,0	93,00	591,620300000002	23463,5666666667
13.01.2012	02:00	Cuma	SAMSUN	4,0	93,00	649,012900000002	24020,6666666667
13.01.2012	01:00	Cuma	SAMSUN	4,0	100,00	447,600900000001	25091,0666666667
13.01.2012	00:00	Cuma	SAMSUN	5,0	93,00	727,822700000001	26721,8666666667

Şekil 5. 06 Ocak 2019 tarihine ait gerçekleşen veriler ara yüzü.

Tarih	Saat	Gün	Şehir	Tahmini Sıcaklık	Tahmini Nem	Tahmini Tüketim Miktarı
06.01.2019	23:00	Pazar	Adana	6,12	89,00	31300
06.01.2019	22:00	Pazar	Adana	6,13	90,0	32500
06.01.2019	21:00	Pazar	Adana	6,13	91,00	33500
06.01.2019	20:00	Pazar	Adana	7,6	88,00	34200
06.01.2019	19:00	Pazar	Adana	8,54	83,00	34800
06.01.2019	18:00	Pazar	Adana	8,54	86,00	35200
06.01.2019	17:00	Pazar	Adana	9,55	80,0	33700
06.01.2019	16:00	Pazar	Adana	10,07	77,00	32000
06.01.2019	15:00	Pazar	Adana	8,59	85,00	31200
06.01.2019	14:00	Pazar	Adana	9,61	84,00	31500
06.01.2019	13:00	Pazar	Adana	9,02	85,00	31600
06.01.2019	12:00	Pazar	Adana	8,96	82,00	31400
06.01.2019	11:00	Pazar	Adana	8,99	85,00	31200
06.01.2019	10:00	Pazar	Adana	8,61	94,00	30000
06.01.2019	09:00	Pazar	Adana	8,62	91,00	29000
06.01.2019	08:00	Pazar	Adana	8,6	91,00	26300
06.01.2019	07:00	Pazar	Adana	8,1	91,00	26200
06.01.2019	06:00	Pazar	Adana	8,1	88,00	25800
06.01.2019	05:00	Pazar	Adana	8,05	88,00	25600
06.01.2019	04:00	Pazar	Adana	8,59	88,00	25700
06.01.2019	03:00	Pazar	Adana	8,63	91,00	26100
06.01.2019	02:00	Pazar	Adana	9,16	91,00	27000
06.01.2019	01:00	Pazar	Adana	9,59	88,00	26500
06.01.2019	00:00	Pazar	Adana	9,56	91,00	30500

Şekil 6. 06 Ocak 2019 tarihine ait tahmin veriler ara yüzü

Şekil 5 ve 6'da gösterildiği gibi, Geçekleşen Veriler(0,1) ve Tahmin Verileri(0,1) Output ve İntput butonları kullanılarak MATLAB .m dosyalarına aktarılır.

Elde edilen tahmin verileri Türkiye Enterkonekte İletim Kaybı Tahmin programına yüklenerek otomatik olarak ters transpoze işlemi yapılır. Tahmin değerleri hesapla butonuna basılarak oluşturulur.

Çizelge 7. 06 Ocak 2019 karşılaştırma

Saat	Tahmin Edilen	Gerçekleşen	Yüzde	Mutlak Hata
0	558,41	562,55	0,74	0,74
1	650,52	554,37	-17,34	17,34
2	604,70	546,76	-10,60	10,60
3	562,89	560,30	-0,46	0,46
4	544,37	559,28	2,67	2,67
5	550,42	585,92	6,06	6,06
6	559,40	582,81	4,02	4,02
7	563,89	596,34	5,44	5,44
8	568,80	620,29	8,30	8,30
9	562,97	627,23	10,25	10,25
10	570,71	640,82	10,94	10,94
11	523,35	675,39	22,51	22,51
12	567,92	695,63	18,36	18,36
13	602,18	705,70	14,67	14,67
14	620,56	696,27	10,87	10,87
15	626,96	688,23	8,90	8,90
16	635,98	704,95	9,78	9,78
17	647,70	739,96	12,47	12,47
18	658,20	800,33	17,76	17,76
19	664,56	780,33	14,84	14,84
20	668,88	728,56	8,19	8,19
21	671,16	675,10	0,58	0,58
22	669,95	628,96	-6,52	6,52
23	664,96	580,46	-14,56	14,56
Ortalama				9,87

Çizelge 7’de, 06 Ocak 2019 için gerçekleşen tahmin ile gerçekleşen verilerin mutlak hata oranı %9,87 olarak gerçekleştiği gösterilmiştir.

5.4. Hafta İçi Örneği 08 Ocak 2019 Salı

08 Ocak 2019 tarihine ait İletim kaybı tahmini yapılması için Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmin programından 08 Ocak 2019 tarihi seçilir ve hesapla butonu aracılığıyla hesaplanır. Gerçekleşen veriler ve tahmin için oluşturulan veri setleri Çizelge 8’de gösterilmiştir.

Çizelge 8. 08 Ocak 2019 tahmini için kullanılan veriler

Değişken Adı	Gerçekleşen veriler	Tahmin veriler
Tarih verisi	01-15 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018	08.Ocak.2019
Saat verisi	01-15 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerine ait 00:00 ile 23:00 saatleri	08 Ocak 2019 tarihine ait 00:00 ile 23:00 saatleri
Gün verisi	01-15 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerine ait gün verileri	08 Ocak 2019 tarihine ait Pazar günü
Şehir verisi	7 bölgeye ait seçilen 7 şehir (Ankara, İstanbul, İzmir, Samsun, Adana, Erzurum, Diyarbakır),	7 bölgeye ait seçilen 7 şehir (Ankara, İstanbul, İzmir, Samsun, Adana, Erzurum, Diyarbakır),
Sıcaklık verisi	01-15 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerinde örnek şehirlerin sıcaklık verisi	08 Ocak 2019 tarihine ait örnek şehirlerin sıcaklık tahmin verisi
Nem verisi	01-15 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerinde örnek şehirlerin nem verisi	08 Ocak 2019 tarihine ait örnek şehirlerin nem tahmin verisi
Türkiye tüketim verisi	01-15 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerinde Türkiye tüketim miktarı	01-15 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerinde Türkiye tüketim tahmin miktarı
Türkiye iletim kaybı verisi	01-15 Ocak 2012;2013;2014;2015;2016;2017;2018 tarihlerinde Türkiye tüketim miktarı	-

Tarih	Saat	Gün	Şehir	Sıcaklık	Nem	Kayıp Miktarı	Tüketim Miktarı
01.01.2018	00:00	Pazartesi	ADANA	8,8	95,00	421,8857	27406
01.01.2018	01:00	Pazartesi	ADANA	7,8	94,00	415,3258	26319
01.01.2018	02:00	Pazartesi	ADANA	7,9	95,00	409,6123	24630
01.01.2018	03:00	Pazartesi	ADANA	8,3	95,00	334,178	23865
01.01.2018	04:00	Pazartesi	ADANA	7,3	98,00	391,057	23199
01.01.2018	05:00	Pazartesi	ADANA	5,8	98,00	414,9622	23067
01.01.2018	06:00	Pazartesi	ADANA	8,3	95,00	380,6521	23258
01.01.2018	07:00	Pazartesi	ADANA	10,8	86,00	371,3527	23867
01.01.2018	08:00	Pazartesi	ADANA	12,9	77,00	333,6536	24339
01.01.2018	09:00	Pazartesi	ADANA	14,3	61,00	452,4589	25794
01.01.2018	10:00	Pazartesi	ADANA	15,3	58,00	454,4911	27355
01.01.2018	11:00	Pazartesi	ADANA	15,8	56,00	436,3258	28483
01.01.2018	12:00	Pazartesi	ADANA	16,3	54,00	433,8414	28869
01.01.2018	13:00	Pazartesi	ADANA	16,3	54,00	452,026	29101
01.01.2018	14:00	Pazartesi	ADANA	15,3	62,00	452,6366	29220
01.01.2018	15:00	Pazartesi	ADANA	12,8	73,00	480,6479	29216
01.01.2018	16:00	Pazartesi	ADANA	12,3	75,00	522,6956	29812
01.01.2018	17:00	Pazartesi	ADANA	11,8	78,00	502,6331	31629
01.01.2018	18:00	Pazartesi	ADANA	10,8	77,00	487,7832	33146
01.01.2018	19:00	Pazartesi	ADANA	9,3	62,00	499,892	33052
01.01.2018	20:00	Pazartesi	ADANA	9,8	58,00	483,6859	32439
01.01.2018	21:00	Pazartesi	ADANA	7,8	69,00	515,149	31789
01.01.2018	22:00	Pazartesi	ADANA	8,3	65,00	510,5281	31517

Şekil 7. 08 Ocak 2019 tarihine ait gerçekleşen veriler ara yüzü.

Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmini							
Hesapla		Gerçekleşen Veriler	Gerçekleşen Veriler(0-1)	Tahmini Veriler	Tahmini Veriler(0-1)	Excel'e Aktar	
Tarih	Saat	Gün	Şehir	Tahmini Sıcaklık	Tahmini Nem	Tahmini Tüketim Miktarı	
08.01.2019	00:00	Salı	Samsun	1,14	80,0	32000	
08.01.2019	01:00	Salı	Samsun	0,28	79,00	30100	
08.01.2019	02:00	Salı	Samsun	1,29	74,00	28900	
08.01.2019	03:00	Salı	Samsun	1,42	77,00	28100	
08.01.2019	04:00	Salı	Samsun	2,36	72,00	27900	
08.01.2019	05:00	Salı	Samsun	4,32	72,00	28200	
08.01.2019	06:00	Salı	Samsun	4,35	77,00	29400	
08.01.2019	07:00	Salı	Samsun	4,34	77,00	32000	
08.01.2019	08:00	Salı	Samsun	4,39	77,00	36600	
08.01.2019	09:00	Salı	Samsun	3,42	83,00	39500	
08.01.2019	10:00	Salı	Samsun	4,71	76,00	40200	
08.01.2019	11:00	Salı	Samsun	4,86	76,00	40700	
08.01.2019	12:00	Salı	Samsun	4,02	81,00	39400	
08.01.2019	13:00	Salı	Samsun	3,87	82,00	39500	
08.01.2019	14:00	Salı	Samsun	3,89	82,00	39800	
08.01.2019	15:00	Salı	Samsun	4,03	79,00	39400	
08.01.2019	16:00	Salı	Samsun	3,14	85,00	40100	
08.01.2019	17:00	Salı	Samsun	3,29	84,00	40800	
08.01.2019	18:00	Salı	Samsun	3,36	84,00	40200	
08.01.2019	19:00	Salı	Samsun	3,37	79,00	38900	
08.01.2019	20:00	Salı	Samsun	3,52	78,00	38000	
08.01.2019	21:00	Salı	Samsun	3,31	79,00	36900	

Şekil 8. 08 Ocak 2019 tarihine ait tahmin veriler ara yüzü.

Şekil 7 ve 8'de ara yüzler gösterilmiştir, Gerçekleşen Veriler(0,1) ve Tahmin Verileri(0,1) Output ve İntput butonları kullanılarak MATLAB .m dosyalarına aktarılır. Elde edilen tahmin verileri Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmin programına yüklenerek otomatik olarak ters transpoze işlemi yapılır. Tahmin değerleri hesapla butonuna basılarak oluşturulur.

Çizelge 9. 08 Ocak 2019 karşılaştırma

Saat	Tahmin Edilen	Gerçekleşen	Yüzde	Mutlak Hata
0	612,24	611,00	-0,20	0,20
1	605,26	638,42	5,19	5,19
2	588,43	636,36	7,53	7,53
3	582,92	610,68	4,55	4,55
4	576,09	609,33	5,45	5,45
5	573,08	603,61	5,06	5,06
6	574,29	615,36	6,68	6,68
7	590,47	640,49	7,81	7,81
8	620,18	687,34	9,77	9,77
9	645,98	741,63	12,90	12,90
10	680,44	770,81	11,72	11,72
11	713,44	773,93	7,82	7,82
12	731,40	731,82	0,06	0,06
13	743,77	755,99	1,62	1,62
14	760,69	788,81	3,56	3,56
15	772,37	781,76	1,20	1,20
16	786,84	773,11	-1,78	1,78
17	800,09	802,07	0,25	0,25
18	805,64	780,96	-3,16	3,16
19	802,81	725,96	-10,59	10,59
20	797,49	666,12	-19,72	19,72
21	790,36	628,00	-25,85	25,85
22	780,24	615,55	-26,75	26,75
23	766,04	584,09	-31,15	31,15
Ortalama				8,77

Çizelge 9'da, 08 Ocak 2019 için gerçekleşen tahmin ile gerçekleşen verilerin mutlak hata oranı %8,77 olarak gerçekleştiği gösterilmiştir.

6. Sonuç ve Öneriler

Elektrik enerjisinin kullanılmaya başlanmasından itibaren, enterkonnekte iletim şebekeleri büyüyerek günümüze kadar gelmiştir. Gelişen iletim sistemi şebekelerinde birçok sorun ile karşılaşmış ve bu sorunlara çözümler aranmıştır. Çözüm aranan konuların başında ise iletim sistemi kayıpları ve bunların maliyetleri gelmektedir. İletim sisteminin işletilmesinde; üretilen enerjinin ve enerji iletim hatlarının verimli kullanılması ile enerji maliyetlerinin ülke ekonomisi üzerinde olumsuz etkisinin azaltılması ve refah düzeyinin artırılması temel alınır. Bu kapsamda, iletim sistemi kayıplarının hesaplanması ile miktarlarının ve maliyetinin azaltılması için teknik çalışmaların yapılması özel bir öneme sahiptir.

Çalışma dört aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada; Türkiye enterkonnekte iletim hatları hakkında bilgiler verilmiş sonrasında ise 2012 ile 2018 yılları arasında %2 ile % 3 arasında gerçekleşen ve TEİAŞ gelir tavanından yıllık ortalama 1.500.000.000 TL ayrılan enterkonnekte iletim sistemi kayıplarının oluşma sebepleri incelenmiştir.

İkinci aşamada; enterkonnekte iletim sisteminde oluşan kayıpların satın alındığı Türkiye elektrik piyasasının gelişim süreçleri, spot piyasalar ve gerçek zamanlı piyasalar anlatıldı. Özellikle, piyasa katılımcılarının tahmin hataları sebebiyle dengesizliğe düşmesi durumunda uygulanan çift fiyat mekanizması (PTF, SMF) ve bu fiyatların belirlendiği gün öncesi piyasası, dengeleme güç piyasasında fiyat oluşumları ve dengesizlik durumlarında karşılaşılan mali durumlar örneklendirilerek yapılan tahminlerin doğruluklarının önemi gösterildi.

Üçüncü aşamada; Türkiye enterkonnekte iletim sistemi kayıplarının tahmini için kullanılacak olan yapay sinir ağları anlatılarak en doğru ağ yöntemi seçilmeye çalışıldı. Çalışma esnasında seçilen ağ türünün yanı sıra iletim sistemi kayıplarının doğruluğunu etkileyen birçok faktör olduğu görülmüştür. Bunların en önemlilerinin ara katman sayısı, ara katmanlarda yer alan nöron sayısı, giriş sayısıdır. Sonuç olarak en uygun enterkonnekte iletim sistemi kayıplarının tahmini için bu faktörlerin değerleri belirlenmiş ve uygulanmıştır.

Son aşamada ise yapay sinir ağları için veri oluşturulması aşamasına geçilerek iletim sistemi kayıpları üzerinde etkisi olan tarih, saat, gün, ülke tüketim verisi, ülke kayıp verisi kullanılarak veri tabanı oluşturulmuştur. Sıcaklık ve nem verisi için ise API yöntemi ile istenilen veriler otomatik oluşturulmuştur. Hazırlanan bu verilerin, MATLAB .m dosyalarında kullanılabilir hale getirmek amacıyla C (sharp) # tabanlı Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmini özgün yazılımı hazırlanmış ve üretilen veriler ışığında MATLAB programı ile iletim sistemi kayıpları tahmini yapılarak çıkan sonuçlar tahmin yapılan günün her saati için gerçekleşen verileri ile karşılaştırılıp hata oranları belirlenmiştir. Ayrıca oluşturulan C# tabanlı Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmini özgün yazılımı, 01.07.2019 tarihinden itibaren TEİAŞ iletim sistemi kayıplarının satın alınması sürecinde aktif olarak kullanılmıştır. Bu özgün yazılımın başarısını ortaya koymak için; 2018 senesi aynı dönemlerinde bu özgün yazılım olmadan bulunan sonuçlar ile 2019 senesinde aynı dönemde bu özgün yazılım kullanılarak bulunan sonuçlar, çizelge 10'da kıyaslanmıştır.

Çizelge 10. Temmuz-Aralık 2018 ve Temmuz- Aralık 2019 karşılaştırması

Aylar	2018-Enerji Dengesizlik Hacimleri (MWh)	2019-Enerji Dengesizlik Hacimleri (MWh)	2018-Enerji Dengesizlik Tutar Hacimleri (TL)	2019-Enerji Dengesizlik Tutar Hacimleri (TL)
Temmuz	76.000	56.000	16.000.000	15.000.000
Ağustos	88.000	47.000	26.000.000	14.000.000
Eylül	65.000	38.000	21.000.000	11.000.000
Ekim	48.000	44.000	15.000.000	13.000.000
Kasım	49.000	34.000	14.000.000	10.000.000
Aralık	58.000	47.000	14.000.000	13.000.000

Yapılan bu çalışma sonucunda, Türkiye Enterkonnekte İletim Kaybı Tahmini özgün yazılımı çizelge 10'da görüleceği üzere, bir önceki yılın aynı dönemine göre iletim sistemi kayıp tahmin hacimleri ve enerji dengesizlik tutar hacimlerinde yaklaşık olarak %28 oranında iyileşme sağlamıştır. Bu da, bu özgün yazılımın başarısını ortaya koymaktadır. İletim kayıplarını en fazla etkileyen sebeplerin sıcaklık, nem ve tüketim miktarı olduğu ortaya konulmuş ve yapay sinir ağları kullanılarak iletim sistemi kayıplarının tahminin doğruluk oranının artırılacağı örneklerle ispatlanmıştır.

Referanslar

Ban J.C., Chang C.H., (2015), Realization problem of multi-layer cellular neural networks, Neural Networks, 70, 9-17, doi: 10.1016/j.neunet.2015.06.003

Bassani H.F., Araujo A.F.R., (2019), A neural network architecture for learning word-referent associations in multiple contexts, Neural Networks, 117, 249-267, doi: 10.1016/j.neunet.2019.05.017

Es H. , (2013). Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Net Enerji Talebi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Fen Bilimleri Enstitüsü

Hamzaçelebi C., (2011). Yapay Sinir Ağları Tahmin Amaçlı Kullanımı Matlab ve Neurosolutions Uygulamalı. Bursa: Ekin Kitabevi Yayınları,

Sarıgöl M., Ozyildirim B.M., Avcı M., (2019), Differential convolutional neural network, 116, 279-287, doi: 10.1016/j.neunet.2019.04.025

Şen Z., (2004) Yapay sinir ağları ilkeleri. İstanbul: Su Vakfı

Yıldız İ., Tiana P., Dy J., Erdoğan D., Brown J., Kalpathy-Cramer J., Ostmo S., Campbell P., Chiang M.F., Ioannidis S., (2019), Classification and comparison via neural networks, Neural Networks, 118, 65-80, doi: 10.1016/j.neunet.2019.06.004

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi.(2018). *2017 Yılı Faaliyet Raporu*. ANKARA: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi.

<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2009/04/20090414-48.htm>

<https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/iletim/kisitlar/iletim-sistemi-kayip-katsayisi.xhtml>

<https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2018/07/MustafaYARICIGOP.pdf>



Fotovoltaik (PV) Panel Sisteminde Yüzey Soğutma İşleminin Elektrik Üretimine Etkisinin Deneysel İncelenmesi

Experimental Investigation of The Effect of Surface Cooling on Photovoltaic (PV) Panel System for Electricity Production

Alper Kerem^{*1} , Mehmet Atik² , Aydın Bayram² 

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 46100, K.Maraş, TÜRKİYE

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 80000, Osmaniye, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 14/12/2019

Kabul / Accepted: 20/05/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Bu çalışmada güneş paneli (PV) yüzeyi soğutma işleminin elektriksel verime olan etkisi araştırılmak istenilmiştir. Bu maksatla özdeş her biri 50cmx100cm olan ve 80W güçte iki adet PV Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'ne montajlanmıştır. Yan yana ve eş açılarla montajlanan panellerden birinin üst kısmına suyu homojen bir şekilde gönderebilecek bir boru sistemi yerleştirilmiştir. Boru içerisinden belirli periyotlarda soğuk su gönderilerek PV yüzey alanının soğutulması sağlanmıştır. Her iki durumda da ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri kayıt altına alınarak performans kıyaslaması yapılmıştır. Çalışmada PV yüzey sıcaklığı 32oC'den 19oC'ye düşürüldüğünde üretilen elektriksel güç değeri 5 günün sonunda ortalama 79,621W'tan 91,149W'a çıkarılarak %14,47 verim artışı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

Fotovoltaik (PV) panel, güneş enerjisi, su soğutma, verim, elektrik üretim

Abstract

It's aimed to investigate the effect of photovoltaic panel (PV) surface cooling on electrical efficiency in this paper. For this aim each of the two PV which were 50cmx100cm and 80W power, mounted in Osmaniye Korkut Ata University at Engineering Faculty. A pipe system was placed on top of one of the PV that was mounted side by side and at the same angles, which could send water homogeneously. The cold water was sent from the pipe in certain periods, and the PV surface area was cooled. The current, voltage and power values were recorded and performance comparison was performed in both cases. When the PV surface temperature was decreased from 32°C to 19°C, the electrical power was increased from 79,621W to 91,149W at the end of 5 days, and 14,47% efficiency increase was observed.

Key Words

Photovoltaic (PV) panel, solar energy, water cooling, efficiency, electricity production

1. Giriş

Hızla gelişen teknoloji ve artan dünya nüfusu enerjiye olan talebi günden güne hızlandırmaktadır. Enerji üretimi açısından yenilenemeyen enerji kaynaklarının doğadaki sınırlı rezervlerinin kalması ve çevreye verdikleri zararlar yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi hızlandırmıştır. Güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çok tercih edilen enerji çeşidi olarak yerini almıştır.

Güneş ile elektrik enerjisi üretmenin yolları arasında başlıca PV teknolojisi gelmektedir. Bu teknolojinin ilk dönemlerinde veriminin düşük ve fiyatının pahalı olması sebebiyle pek tercih edilemezken (Muntasser vd. 2000) gelişen teknoloji ile verimleri artırılıp fiyatlarının düşürülmesiyle cazip hale gelmiştir. Buna rağmen PV verimini başta gölgelenme ve sıcaklık olmak üzere birçok parametre olumsuz yönde etkilemektedir.

PV sistemlerin verimlerinin artırılmasıyla ilgili literatür çalışmaları incelendiğinde Gül ve Akyüz (2019) PV verimini artırmak için su ile PV yüzey sıcaklığını düşürmek istemişlerdir. Üç farklı akışkan hızlarında (0,015kg/s, 0,044kg/s ve 0,069kg/s) yapılan ölçümlerde sistemin termal veriminin %49,9 ile %52,11 arasında değiştiğini ve 12,9W'lık maksimum güç artışı ile %12 elektriksel verim artışı gözlemlenmiştir. Rawat vd. (2017) PV yüzeyini soğutmak için PV/T sisteminde hava ve su kullanmışlardır. PV verimlerini hava ile %6,5 ve su ile %7,5 artırmışlardır. Du vd. (2016) panel yüzey sıcaklığının verime olan etkisini incelemek için rüzgâr hızının 4m/s'den fazla olduğu bir günde PV yüzey sıcaklığının 40oC altına indirilebildiğini ve PV verimini %9'a yükseltebildiklerini göstermişlerdir. Sahay vd. (2015) PV hücrelerinde sıcaklık artışına bağlı olarak 1oC sıcaklık artışında %0,85 verim düşüşü kaydetmişlerdir. PV'deki bu düşüşü minimize etmek için düşük maliyetli bir soğutma sistemi yapılmasını ve PV'lerin soğutulmasında uzaklaştırılan ısının ise evsel veya endüstriyel kullanımlar için uygun olabileceğini belirtmişlerdir. Chandler vd. (2015) monokristal PV'lerde sıcaklığın etkisini panellerin seri ve paralel bağlanması durumuna göre incelemişlerdir. 25-60oC aralığında hücre sıcaklığındaki PV ile 550W/m² ışınımı bulunan ortamda deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Sıcaklığın açık devre gerilimi, dolum faktörü ve verimi düşürdüğünü, aksine kısa devre akımını ise artırdığını gözlemlenmiştir. Fudholi vd. (2014) fotovoltaiik/termal (PV/T) sistemde 800W/m² ışınım seviyesinde ve farklı debilerde su kullanarak elektriksel verimi %13,8, termal verimi ise %54,6 gözlemlenmiştir. Farklı debilerde yapılan analizlerde akış hızının panel yüzeyi soğutulması ve termal enerji performansını etkilediğini göstererek, suyun debisini 0,041kg/s'den 0,024kg/s'ye indirdiklerinde sıcaklığın önemli ölçüde etkilendiğini belirtmişlerdir. Kabul ve Duran (2014) sıcaklığın 39,9oC olduğu bir günde özdeş iki panelden (175W) birinin arka yüzeyine borular yerleştirmiş ve içinden soğuk su çevrimi yaparak panel yüzeyini soğutmuşlardır. Yüzey soğutmalı PV'de %35'lik güç artışı ve %7'lik verim artışı gözlemlenmiştir. Ike vd. (2013) ortam sıcaklığının PV performansına etkisini araştırmış ve ortam sıcaklığı ile sistemin güç çıkış performansı arasında dolaylı bir orantı olduğunu göstermişlerdir. PV'lerin daha fazla hava akımına maruz kalabilecekleri bir yere montajlanmasıyla PV yüzeylerinin aşırı ısınmadan daha az etkilendiğini ve PV yüzey sıcaklığının düşük kaldığını dolayısıyla güç çıkışının daha yüksek olduğunu gözlemlenmiştir. Bhaidarah vd. (2013) PV performansına sıcaklığın etkisini araştırmak için PV'nin arka yüzeyinden soğuk su dolaştırmışlar ve aktif soğuma yapmışlardır. Modül sıcaklığını %20 azaltarak verimi %9 artırmışlardır. Tyagi vd. (2012) PV/T hibrit sistemler için araştırma, geliştirme ve uygulanabilirliğine ilişkin genel bir araştırma yapmışlardır. Çalışmalarında PV/T soğutma kullanarak %7 verim artışı elde etmişlerdir. Teo vd. (2012) sıcaklığın belirgin şekilde artmasıyla PV sistemlerindeki elektriksel verimin olumsuz yönde etkilendiğini gözlemlenmiştir. Çalışmalarında aktif soğutma için havayı homojen olarak PV panelin arkasından dolaştırıp soğutmayı başarmışlar ve %12-14'lük verim artışı elde etmişlerdir. Kamkird vd. (2012) sıcaklığın akım, gerilim, güç ve verim üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Silisyum PV'nin diğer panellere göre sıcaklığın olumsuz etkisinden daha az etkilendiğini göstermişlerdir. Sarhaddi vd. (2010) panel altına yerleştirdikleri hava kanalları ile soğutma yapmışlardır. PV/T hava toplayıcının termal ve elektriksel parametrelerini hesaplamak için simülasyon geliştirmişlerdir. PV/T hava toplayıcısının ısı verimi, elektriksel verimi ve toplam enerji verimleri sırasıyla %17,18, %10,01 ve %45 olarak gözlemlenmiştir. Engin vd. (2005) doğal ve zorlanmış (pompa) sistemleri İzmir ili iklim koşullarında incelemişlerdir. Doğal dolaşimli sistem ve pompa yardımıyla oluşturdukları zorlanmış dolaşimli sistem üzerinde yaptıkları deneyde elektriksel verimi %4,5 artırmışlardır.

Literatür çalışmaları Tablo 1'de sunulmuştur

Tablo 1. Literatür çalışmaları

Çalışma modelleri	PV cinsi	Verim artışı	Referans
PV/T soğutma sistemi (su)	monokristal	%12	Gül ve Akyüz (2019)
PV/T hibrit sistem incelemesi (su-hava)	polikristal	%6,5-7,5	Rawat vd. (2017)
PV yüzeyinde rüzgâr etkisi inceleme (hava)	belirtilmemiştir	%9	Du vd. (2016)
PV sıcaklık etkisi inceleme	belirtilmemiştir	0,85	Sahay vd. (2015)
PV sıcaklık etkisi inceleme	monokristal	-	Candler (2015)
PV soğutma sistemi (su)	belirtilmemiştir	%13,8	Fudholi vd. (2014)

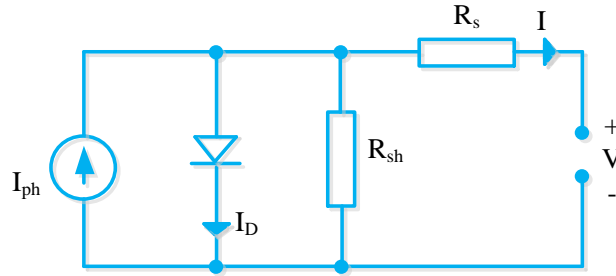
Tablo 1 (devam). Literatür çalışmaları

Çalışma modelleri	PV cinsi	Verim artışı	Referans
PV soğutma sistemi (su)	monokristal	%7	Kabul ve Duran (2014)
PV sıcaklık etkisi inceleme (hava)	monokristal	-	Ike vd. (2013)
PV soğutma sistemi (su)	monokristal	%9	Bhaidarah vd. (2013)
PV/T hibrit sistem inceleme (su-hava)	belirtilmemiştir	%7	Tyagi vd. (2012)
PV modüllerde aktif soğutma (hava)	polikristal	%12,5	Teo vd. (2012)
PV sıcaklık etkisi inceleme (hava)	polikristal	-	Kamkird vd. (2012)
PV soğutma sistemi (hava)	monokristal	%10,01	Sarhaddi vd. (2010)
PV verimi etkileyen faktörler (hava)	polikristal	%4,35	Engin vd. (2005)

Bu çalışmada PV yüzey sıcaklığının elektriksel verime olan etkisi araştırılmak istenilmiştir. Bu amaçla aynı ebat ve aynı teknik özelliklere sahip özdeş iki güneş panellerinden (PV-1 ve PV-2) birine yüzey soğutma işlemi yapılmıştır. Her iki PV panelde üretilen akım, gerilim ve güç değerleri tablolar halinde kıyaslamalı bir şekilde sunularak verim farklılıkları deneysel bir şekilde incelenmiştir.

2. PV Sistem

Şekil 1’de verilen PV eşdeğer devresinde I : dış devreye aktarılan akım (A), I_D : diyot akımı (A), I_{ph} : ters sızıntı akımı (A), R_s ve R_{sh} : göz verimliliklerini etkileyen dirençlerdir (R) (Bayrak ve Cebeci, 2012).



Şekil 1. PV eşdeğer devresi (Bayrak ve Cebeci, 2012)

Şekil 1’deki devreye Kirschoff uygulandığında dış devreye aktarılan I akımı $I = I_g - I_d$ olmaktadır.

$$I = I_{PH} - I_D = I_{PH} - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot V}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (1)$$

Burada q : elektron yükü ($1,6 \times 10^{-19} C$), k : Boltzman sabiti ($1,38 \times 10^{-23}$), T : Kelvin biriminden sıcaklık, n : diyot faktörüdür (Bayrak ve Cebeci, 2012). Buna göre (1) nolu denklemde $V=0$ değerinde kısa devre akımı, $I=0$ ’da açık devre gerilimi V tanımlanabilmektedir. Açık devre gerilimini bulmak için;

$$V_0 = \left(\frac{n \cdot k \cdot T}{q} \right) \cdot \ln \left[\frac{I_{ph} + I_0}{I_0} \right] \quad (2)$$

kullanılır. PV akımını ve gerilimini değiştirmek için seri veya paralel bağlama yöntemleri kullanılmaktadır. N_s kadar seri ve N_p kadar paralel bağlı sistem için akım-gerilim ilişkisi (Bayrak ve Cebeci, 2012);

$$I_p = N_p \cdot I_g - N_p \cdot I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot V_p}{N_s \cdot n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (3)$$

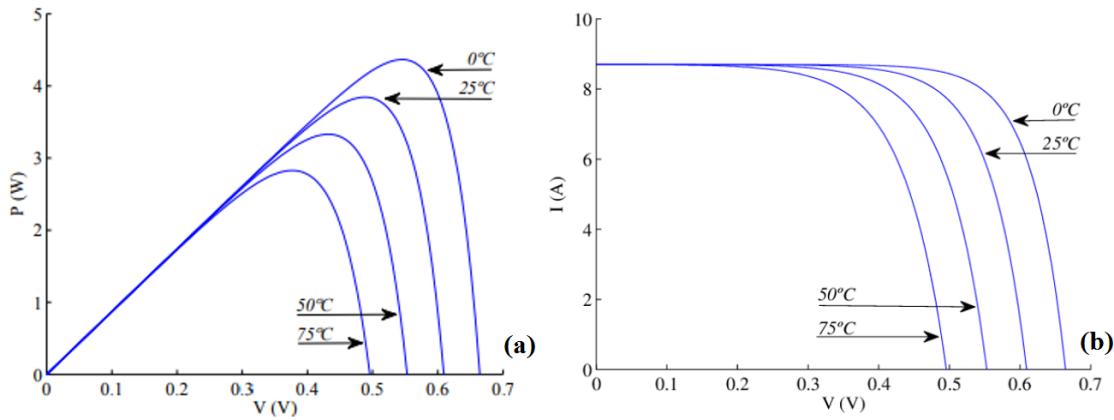
şeklinde ifade edilir.

PV sistemde üretilen güç değerini panel ebatları, montaj açısı, ışınım şiddeti, yüzey/çevre sıcaklığı, rüzgâr, tozlanma, gölgelenme, inverter, AC ve DC kablo kaybı, uyumsuzluk gibi parametreler olumsuz şekilde etkilemektedir (Işıker vd. 2006; Deniz 2013). Tablo 2’de PV verimini etkileyen parametreler ve açıklamaları verilmiştir.

Tablo 2. PV verimini etkileyen parametreler

Parametre	Açıklama	Etki oranı	Referans
Gölgelenme	Sisteme güç kaynağı yerine yük bağlanmış gibi bir etki oluşturacağından güç tüketimine sebep olmakta ve verim kaybına yol açmaktadır	%7	Rodrigues vd. (2011) Sathyanarayana vd. (2015)
Sıcaklık	Aşırı ısınma panel verimini önemli ölçüde azaltmaktadır	%4,60	Wardowski vd. (1996)
Yansımama	Bir foton n tipi ve p tipi malzeme üzerine düştüğünde yasak bant aralığından daha büyük enerjiye sahip olan fotonlar eşit sayıda elektron ve boşluk çifti oluştururlar. Güneşten gelen ışınımın %100'ü kullanılmaz ve bir kısmı geri yansır	%2,50	Navruz (2013)
Tozlanma	Oluşan toz panel üzerine gelen ışınımın azalmasına yol açarak geçirgenliği azaltmakta ve kısa devre akımını etkileyerek verimi azaltmaktadır	%2	Boppa (2015)
Işınım	Enerjinin güneşten tanecik biçiminde yayılmasıdır ve gelen ışınımın %100'ü kullanılmaz, bir kısmı geri yansır	%1,50	Navruz (2013)
Spektrum	Fotovoltaik olayda güneş ışığını soğuracak malzeme yasak enerji aralığı güneş spektrumu ile uyumlu ve elektrik yüklerinin birbirinden ayrılabilmesine izin verebilecek özellikte bir yarı iletken olmalıdır	%1	Grunov vd. (2009)
DC kablo kaybı	Sistemde kullanılan kabloların iç direncinden kaynaklanan kayıplardan kaynaklanır	%5	Deniz (2013)
İnverter	İnverterdeki yarı iletken, manyetik malzeme ve kapasitörlerin iletim ve anahtarlama kayıplarına bağlıdır	%3	Giesler (2010)
AC kablo kaybı	Sistemde kullanılan kabloların iç direncinden kaynaklanan kayıplardır	%1	Deniz (2013)
Uyumsuzluk	Şebekeye bağlı bir sistemde uygun gerilim seviyesine ulaşmak için çok sayıda hücre kullanılır. Bu durum çok sayıda PV hücresinin birbirine seri bağlı olarak aynı DC akımda çalışmasına yol açar	%0,70	Sathyanarayana vd. (2015)

PV sistemlerde panel verimliliğini etkileyen önemli etmenler arasında sıcaklık gelmektedir. Aşırı ısınma panel verimini önemli ölçüde azaltmaktadır (Wardowski vd. 1996). Hücre sıcaklığındaki her 1°C artışta üretilen gerilim yaklaşık 0,5V azalmaktadır (Rodrigues vd. 2011). Şekil 2'de 0-75 °C sıcaklıklarındaki P-V ve I-V grafikleri gösterilmiştir.

**Şekil 2.** 0-75 °C sıcaklıklarındaki (a) P-V grafiği (b) I-V grafiği (Rodrigues vd. 2011)

PV hücre sıcaklığı (T_c), istenilen bir hava sıcaklığı (T_a) ve ışınım (G) değeri için nominal hücre işletim sıcaklığı kullanılarak tahmin edilebilmektedir;

$$T_c = T_a + \frac{\text{Nominal İşletme Sıcaklığı} - 20}{0,8} G \left(\frac{kW}{m^2} \right) \quad (4)$$

Bulunan sıcaklık değeri, panel gücünün sıcaklığa bağımlılık katsayısı (μ_p) ile kullanılarak PV çıkış gücü hesaplanabilir;

$$P_m(T_c) = P_{m,STC} [1 - \mu_p (T_c - 25)] \quad (5)$$

Burada (P_m), STC standart test koşullarındaki panel gücünü ifade etmektedir. PV'lerde (T_c) nominal hücre işletme sıcaklığı 40-50°C aralığında değişmektedir. Aradaki bu 10°C'lik fark sıcaklığa bağımlılık katsayısını (μ_p) ifade etmektedir. μ_p değeri 0,30-0,40%/K alındığında %3,0-4,0 aralığında bir güç farklılığı ortaya çıkmaktadır (Karatepe vd. 2007).

3. Metot

Bu deneysel çalışmada PV yüzey soğutma işleminin PV üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla iki adet özdeş PV (PV-1 ve PV-2) kullanılmıştır. Her biri 80W güçteki PV modüllerinden birinin yüzey alanı su ile soğutulmuştur. Soğutma işlemi uygulanan (PV-1) ve uygulanmayan (PV-2) modüllerde üretilen akım, gerilim ve güç değerleri her saat başında beş (5) gün boyunca kayıt altına alınmıştır. Şekil 3'te kurulan deney setinin koordinatı gösterilmiştir.



Şekil 3. Proje montaj koordinatları

PV modüllerinin maksimum seviyede elektrik enerjisi üretilebilmesi için güneşten gün boyunca en fazla yararlanacak açı ile montajlanması gerekmektedir. Bu sebeple Osmaniye ilinin enlemi dikkate alınarak panel açıları 34° olarak ayarlanmış ve 37°02'18.0" N ve 36°13'20.3" E koordinatlarına montajlanmıştır. Deney setinde kullanılan PV ve montaj bilgileri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Deney seti bilgileri

koordinat		mevki		montaj açısı	deney zamanı	ölçüm sıklığı	ölçüm süresi	
37°02'18.0" N ve 36°13'20.3" E		Osmaniye/ Merkez		34°	Nis.2019	60dk	5gün	
hücre tipi	nominal güç	max. gerilim	max. akım	açık devre gerilimi	kısa devre akımı	max. sistem gerilimi	tolerans	ebat (boy/en)
polikristal	80W	18V	4.44A	22,1V	4,86A	1000V	± %5	50cm x 100cm

Yüzey soğutması yapılmak istenilen panelin (PV-1) yüzeyine suyun homojen bir şekilde dağılabilmesi için boru sistemi tasarlanmıştır. Borulardan su çevrimi yapılarak PV-1 yüzeyine püskürtülmüştür. Analizlerin sağlıklı yapılabilmesi için PV-1'e püskürtülen su sıcaklığı, panel yüzeyini dolaştıktan sonra kovaya akıtılan su sıcaklığı ve her iki panelin (PV-1 ve PV-2) yüzey sıcaklıkları ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Bu işlemler 30dk'lık periyotlarda avometre (tt techni MY 62) ile kayıt altına alınmıştır. Deney seti Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Deney seti

Deney süresince PV yüzeylerinde dikkate alınmayacak miktarda kireç oluşumu ve az miktarda toz parçacıkları tespit edilmiştir. Yüzey kirecinin oluşumuna püskürtülen sudaki az miktardaki kireç sebep olurken, toz parçacıklarının sebebi ise arazide rüzgâr kaynaklı uçan toz parçacıkları olmuştur. Bu her iki durumun panel verimini etkilememesi için belirli periyotlarda ve hızlı bir şekilde nemli bir bez ile yüzey temizliği yapılmıştır.

4. Araştırma Bulguları

Bu çalışmada, Osmaniye ili iklim koşullarında 25-29.04.2019 tarihleri arasında 60dk aralıklı PV paneli yüzey soğutma işleminin PV verimine etkisi incelenmiştir. Aynı koordinat ve aynı açılarla montajlanan iki özdeş PV'lerden birinin yüzeyine soğuk su püskürtülerek soğutma işlemi yapılmış ve elektriksel verim değişimi gözlemlenmiştir. Soğutma işlemi soğutma suyunun panel yüzeyinden homojen bir şekilde geçirilmesi ile gerçekleştirilmiş ve panel yüzeyinde oluşan fazla ısının suya aktarılması sağlanmıştır. Soğutma yapılan panele (PV-1) ait yüzey sıcaklığı 19°C , soğutma yapılmayan panelin (PV-2) yüzey sıcaklığı ise $30\text{-}32^{\circ}\text{C}$ civarında olduğu gözlemlenmiştir.

Deney esnasında panellerin yüzey sıcaklıkları, ortam sıcaklığı ve panele püskürtülen su sıcaklığı olmak üzere 8 farklı noktadan sıcaklık değerleri sıcaklık probu kullanılarak ölçülmüş ve kaydedilmiştir. PV-1 ve PV-2 çıkışlarına reosta bağlanmış ve multimetre yardımı ile akım ve gerilim değerleri ölçülerek grafiklere aktarılmıştır. PV-1 ve PV-2'de ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri sırasıyla Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da kıyaslamalı olarak verilmiştir.

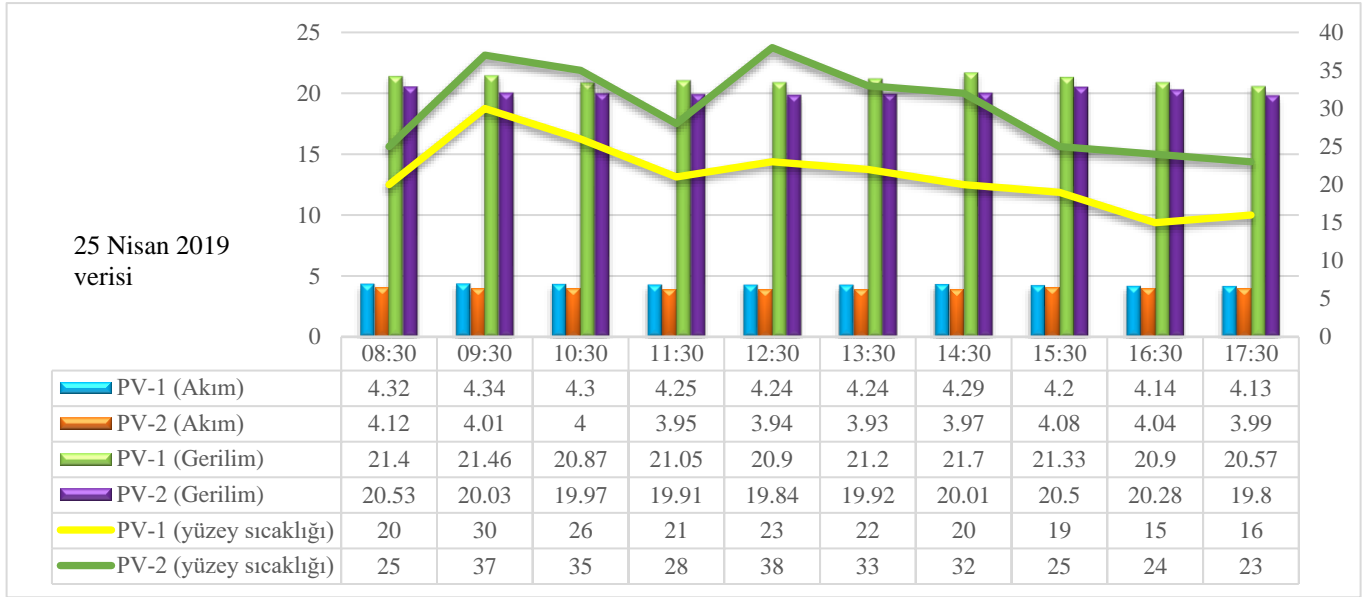
Tablo 4 incelendiğinde 5 günlük ölçümlerin tamamında PV-1'den elde edilen akım (A) değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu değerler PV-1 için sırasıyla 4,245A, 4,298A, 4,238A, 4,297A ve 4,345A olurken, PV-2 için sırasıyla 4,003A, 4,016A, 3,982A, 3,976A ve 3,929A olarak ölçülmüştür. Aradaki akım farkları ise sırasıyla 0,245A, 0,282A, 0,256A, 0,321A ve 0,416A olarak gözlemlenmiştir.

Tablo 5 incelendiğinde 5 günlük ölçümlerin tamamında PV-1'den elde edilen gerilim (V) değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu değerler PV-1 için sırasıyla 21,138V, 21,309V, 20,971V, 21,323V ve 21,593V olurken, PV-2 için sırasıyla 20,079V, 20,108V, 19,991V, 19,959V ve 19,81V olarak ölçülmüştür. Aradaki gerilim farkları ise sırasıyla 1,059V, 1,201V, 0,98V, 1,364V ve 1,783V olarak gözlemlenmiştir.

Tablo 6 incelendiğinde 5 günlük ölçümlerin tamamında PV-1'den elde edilen güç (W) değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu değerler PV-1 için sırasıyla 89,740W, 91,608W, 88,905W, 91,648W ve 93,844W olurken, PV-2 için sırasıyla 80,386W, 80,761W, 79,739W, 79,374W ve 77,849W olarak ölçülmüştür. Aradaki güç farkları ise sırasıyla 9,354W, 10,847W, 9,166W, 12,274W ve 15,995W olarak gözlemlenmiştir.

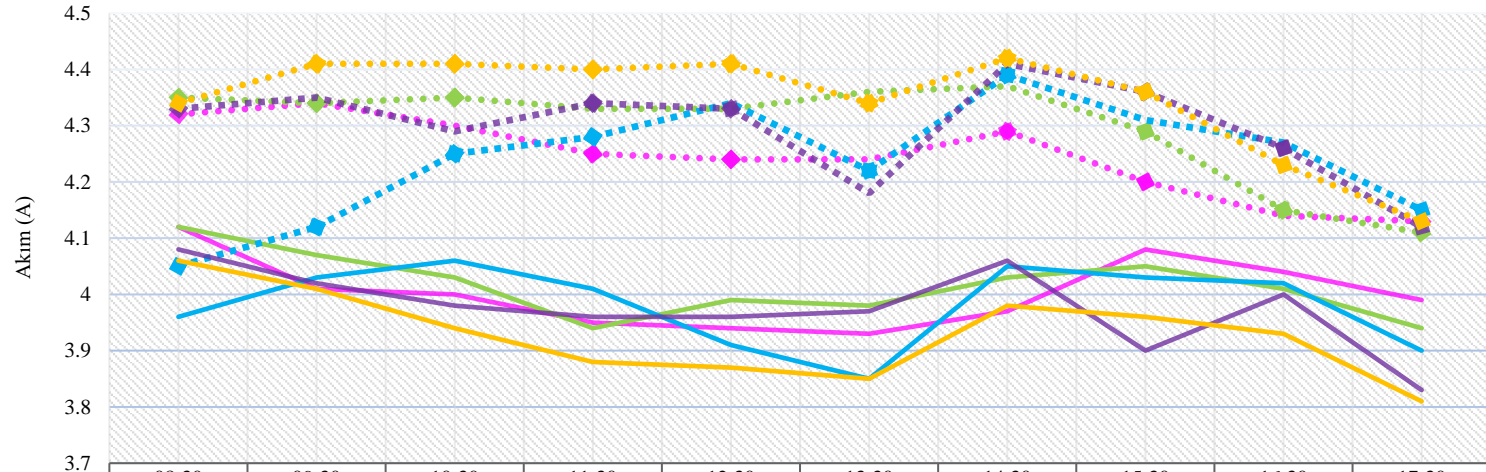
Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'nın tamamında PV-1'de üretilen gerilim ve güç değerleri genel olarak stabile yakın (fazla dalgalı olmadan) gözlemlenmiştir. Buradaki temel etki yüzey soğutma işlemi yapılarak yüzey sıcaklığını sabit tutmaya çalışılmaktadır. PV-2'nin ise yüzey sıcaklığı herhangi bir müdahale edilmeden performansı kayıt altına alınmış ve üretilen gerilim ve güç değerlerinin ise PV-1'e kıyasla daha dalgalı olduğu görülmüştür. PV-2'nin serin sabah saatlerinde öğle saatlerine kıyasla daha iyi performansla çalıştığı, öğle-ikindi arasında ise yüksek sıcaklık nedeniyle düşük performansla çalıştığı görülmüştür. Her iki PV'de üretilen akım değerleri ise gerilim ve güç değerleri kadar dalgalı bulunmamıştır.

Şekil 5'te PV-1 ve PV-2'ye ait sıcaklığa bağlı akım-gerilim (I-V) değişim grafiği verilmiştir.

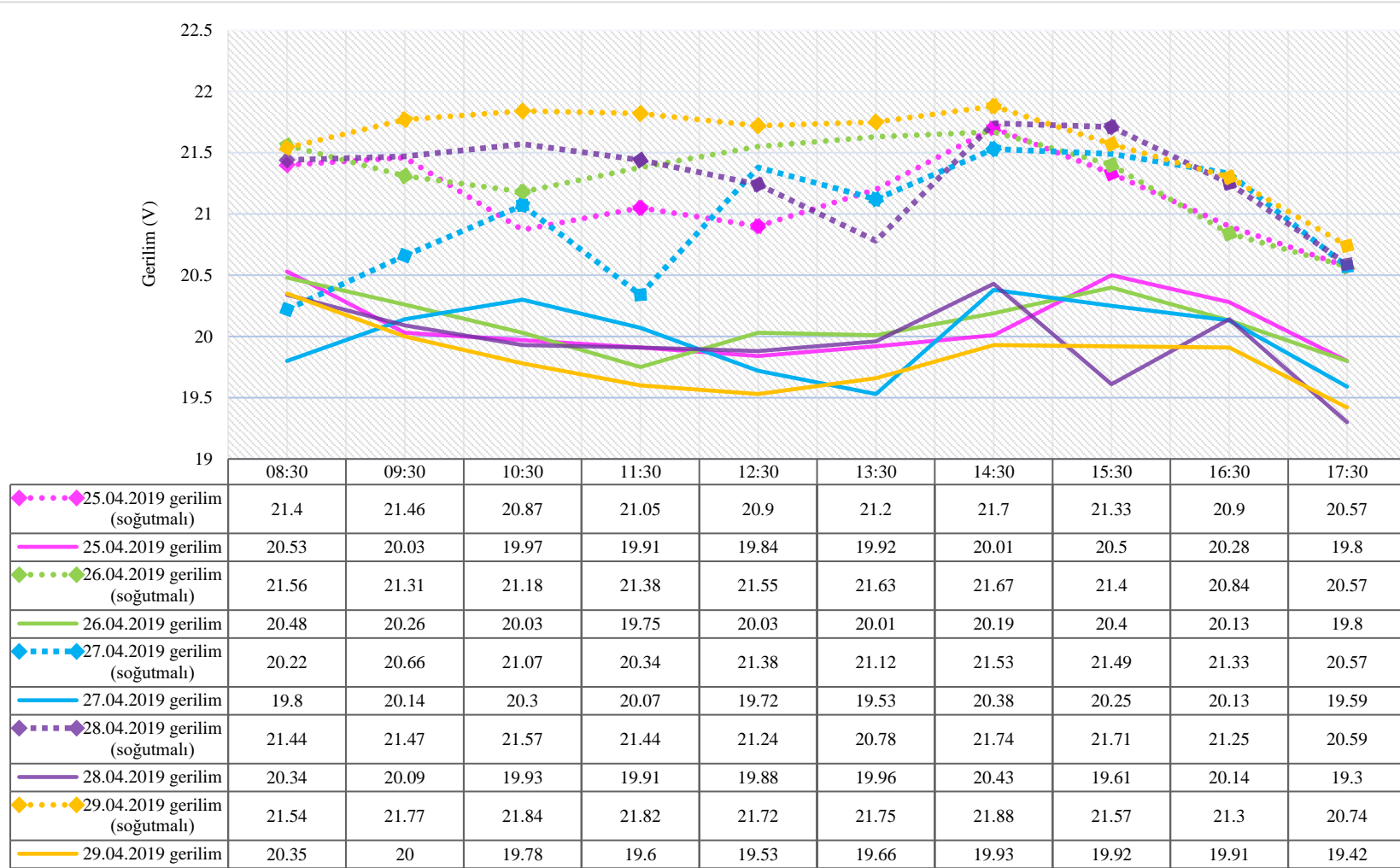


Şekil 5. PV-1 ve PV-2'ye ait sıcaklığa bağlı I-V değişim grafiği (25 Nisan 2019)

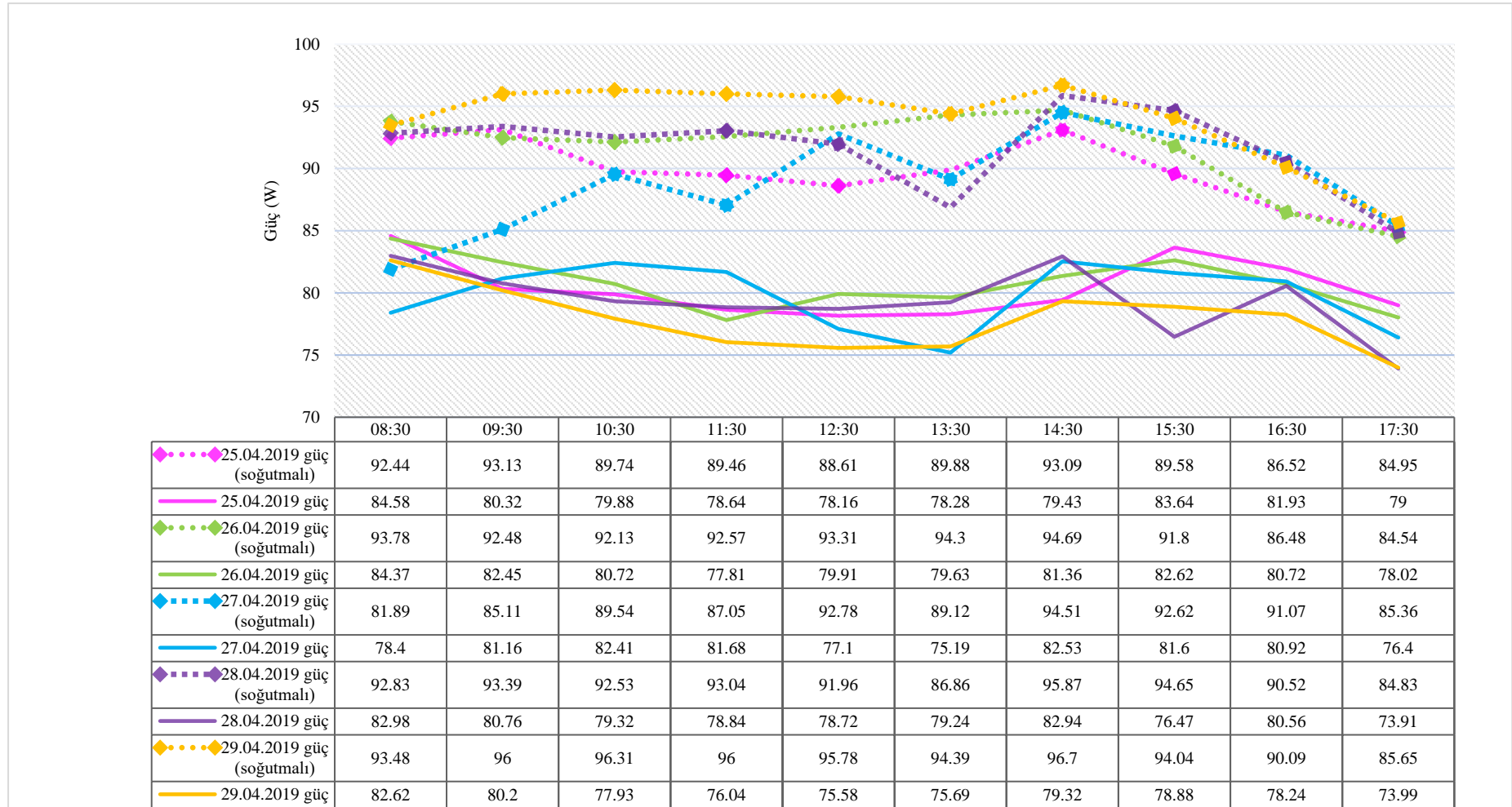
Tablo 4. PV-1 ve PV-2’de ölçülen akım değerleri



	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30
◆◆◆◆◆ 25.4.2019 akım (soğutmalı)	4.32	4.34	4.3	4.25	4.24	4.24	4.29	4.2	4.14	4.13
— 25.4.2019 akım	4.12	4.01	4	3.95	3.94	3.93	3.97	4.08	4.04	3.99
◆◆◆◆◆ 26.4.2019 akım (soğutmalı)	4.35	4.34	4.35	4.33	4.33	4.36	4.37	4.29	4.15	4.11
— 26.4.2019 akım	4.12	4.07	4.03	3.94	3.99	3.98	4.03	4.05	4.01	3.94
◆◆◆◆◆ 27.4.2019 akım (soğutmalı)	4.05	4.12	4.25	4.28	4.34	4.22	4.39	4.31	4.27	4.15
— 27.4.2019 akım	3.96	4.03	4.06	4.01	3.91	3.85	4.05	4.03	4.02	3.9
◆◆◆◆◆ 28.4.2019 akım (soğutmalı)	4.33	4.35	4.29	4.34	4.33	4.18	4.41	4.36	4.26	4.12
— 28.4.2019 akım	4.08	4.02	3.98	3.96	3.96	3.97	4.06	3.9	4	3.83
◆◆◆◆◆ 29.4.2019 akım (soğutmalı)	4.34	4.41	4.41	4.4	4.41	4.34	4.42	4.36	4.23	4.13
— 29.4.2019 akım	4.06	4.01	3.94	3.88	3.87	3.85	3.98	3.96	3.93	3.81

Tablo 5. PV-1 ve PV-2’de ölçülen gerilim değerleri

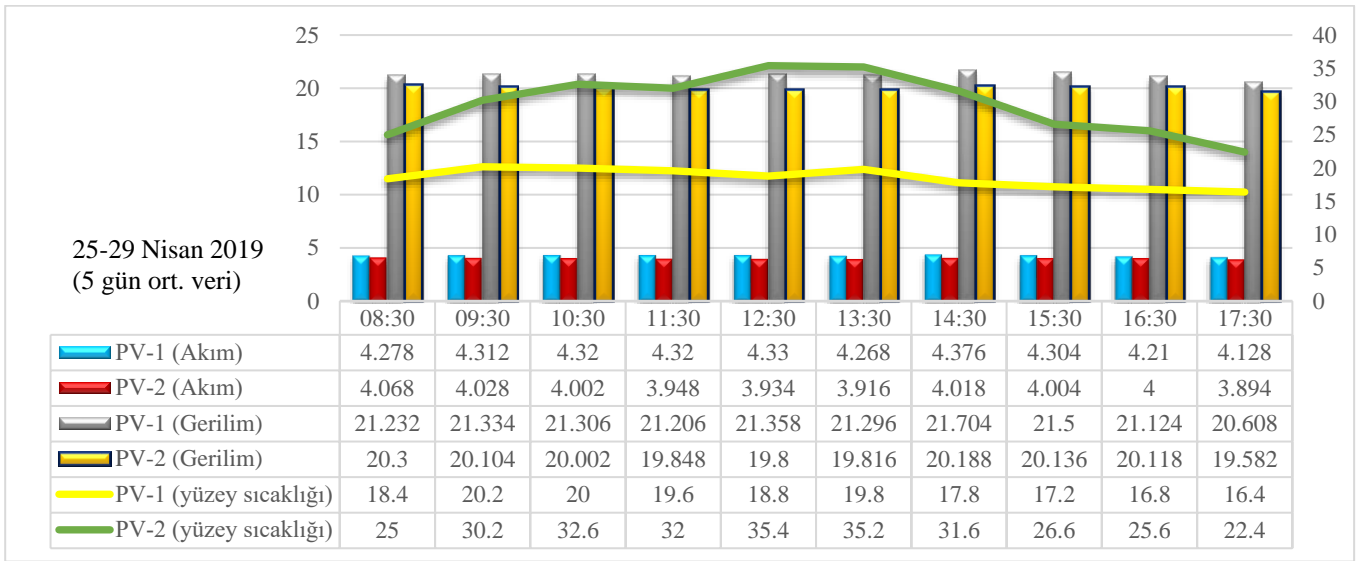
Tablo 6. PV-1 ve PV-2’de ölçülen güç değerleri



Şekil 5'te görüldüğü gibi yüzey soğutması yapılan PV-1'e ait yüzey sıcaklığı değerleri, soğutma yapılmayan PV-2'ye göre belirgin derecede daha düşük olduğu görülmüştür. 08:30, 09:30, 10:30, 11:30, 12:30, 13:30, 14:30, 15:30, 16:30 ve 17:30 zaman dilimlerinde ölçülen bu fark sırasıyla 5°C, 7°C, 9°C, 7°C, 15°C, 11°C, 12°C, 6°C, 9°C ve 7°C olarak ölçülmüştür. Aradaki sıcaklık farkı öğle saatlerinde (12:00-15:00) artış göstermiştir.

PV-1 ve PV-2'de üretilen gerilim değerleri incelendiğinde PV-1'de üretilen gerilim (V) değerlerinin PV-2'ye kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. 08:30, 09:30, 10:30, 11:30, 12:30, 13:30, 14:30, 15:30, 16:30 ve 17:30 zaman dilimlerinde ölçülen bu fark sırasıyla 0,87V, 1,43V, 0,9V, 1,14V, 1,06V, 1,28V, 1,69V, 0,83V, 0,62V ve 0,77V olarak ölçülmüştür. Aradaki gerilim farkı öğle saatlerinde (12:00-15:00) artış göstermiştir.

PV-1 ve PV-2'de üretilen akım değerleri incelendiğinde PV-1'de üretilen akım (A) değerlerinin PV-2'ye kıyasla yüksek olduğu görülmüştür. 08:30, 09:30, 10:30, 11:30, 12:30, 13:30, 14:30, 15:30, 16:30 ve 17:30 zaman dilimlerinde ölçülen bu fark sırasıyla 0,20A, 0,23A, 0,3A, 0,3A, 0,3A, 0,31A, 0,32A, 0,12A, 0,10 ve 0,14A olarak ölçülmüştür. Aradaki bu küçük akım farkı öğle saatlerinde artış göstermiştir. PV-1 ve PV-2'de üretilen akımlar arasındaki farkın PV-1 ve PV-2'de üretilen gerilimler arasındaki farktan daha düşük olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre, üretilen gerilimlerin sıcaklıktan daha fazla etkilendiği anlaşılmıştır. Şekil 6'da PV-1 ve PV-2'ye ait sıcaklığa bağlı akım-gerilim (I-V) değişim grafiği 5 gün ortalamalı olarak verilmiştir.



Şekil 6. PV-1 ve PV-2'ye ait sıcaklığa bağlı I-V değişim grafiği (5 gün ortalamalı)

Şekil 6'da görüldüğü gibi PV-1'e ait yüzey sıcaklığı değerleri, PV-2'ye göre belirgin derecede daha düşük olduğu görülmüştür. 08:30, 09:30, 10:30, 11:30, 12:30, 13:30, 14:30, 15:30, 16:30 ve 17:30 zaman dilimlerinde ölçülen bu fark sırasıyla 6,6°C, 10°C, 12,6°C, 12,4°C, 16,6°C, 15,4°C, 13,8°C, 9,4°C, 8,8°C ve 6°C olarak ölçülmüştür. Aradaki sıcaklık farkı öğle saatlerine doğru artış göstermiştir ve ikindi-akşam saatlerinde düşüşe geçmiştir.

PV-1 ve PV-2'de üretilen gerilim değerleri incelendiğinde PV-1'de üretilen gerilim (V) değerlerinin PV-2'ye kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. 08:30, 09:30, 10:30, 11:30, 12:30, 13:30, 14:30, 15:30, 16:30 ve 17:30 zaman dilimlerinde ölçülen bu fark sırasıyla 0,93V, 1,23V, 1,3V, 1,35V, 1,55V, 1,48V, 1,51V, 1,36V, 1V ve 1,02V olarak ölçülmüştür. Aradaki gerilim farkı öğle saatlerine doğru artış göstermiştir ve ikindi-akşam saatlerinde düşüşe geçmiştir.

PV-1 ve PV-2'de üretilen akım değerleri incelendiğinde PV-1'de üretilen akım (A) değerlerinin PV-2'ye kıyasla yüksek olduğu görülmüştür. 08:30, 09:30, 10:30, 11:30, 12:30, 13:30, 14:30, 15:30, 16:30 ve 17:30 zaman dilimlerinde ölçülen bu fark sırasıyla 0,21A, 0,28A, 0,32A, 0,37A, 0,39A, 0,35A, 0,35A, 0,30A, 0,21 ve 0,23A olarak ölçülmüştür. Aradaki bu küçük akım farkı öğle saatlerine doğru artış göstermiştir ve ikindi-akşam saatlerinde düşüşe geçmiştir. PV-1 ve PV-2'de üretilen akımlar arasındaki farkın PV-1 ve PV-2'de üretilen gerilimler arasındaki farktan daha düşük olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre, üretilen gerilimlerin sıcaklıktan daha fazla etkilendiği anlaşılmıştır.

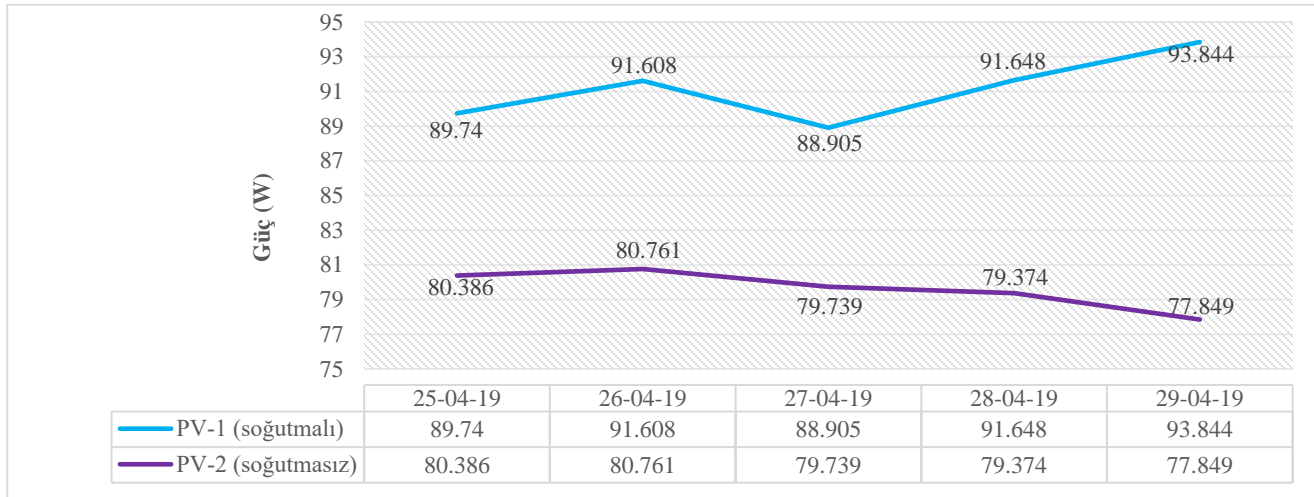
Tablo 7'de PV-1 ve PV-2'den ölçülen ortalama değerler (akım, gerilim, güç) verilmiştir.

Tablo 7. PV-1 ve PV-2'den ölçülen günlük ortalama değerler

	25.4.2019		26.4.2019		27.4.2019		28.4.2019		29.4.2019	
	PV-1 (soğutmalı)	PV-2 (soğutmasız)	PV-1 (soğutmalı)	PV-2 (soğutmasız)	PV-1 (soğutmalı)	PV-2 (soğutmasız)	PV-1 (soğutmalı)	PV-2 (soğutmasız)	PV-1 (soğutmalı)	PV-2 (soğutmasız)
Akım (A)	4,245	4,003	4,298	4,016	4,238	3,982	4,297	3,976	4,345	3,929
Gerilim (V)	21,138	20,079	21,309	20,108	20,971	19,991	21,323	19,959	21,593	19,81
Güç (W)	89,740	80,386	91,608	80,761	88,905	79,739	91,648	79,374	93,844	77,849

Tablo 7’de görüldüğü gibi PV-1 ve PV-2’de ölçülen günlük ortalama değerlere göre PV-1’de ölçülen akım, gerilim ve güç değerlerinin tamamının PV-2’den daha yüksek olduğu görülmüştür. Her iki PV’nin tüm parametreleri eşit ve aynı koşullarda üretim yapmalarına rağmen performans farklılıkları tespit edilmiştir. PV-1’in yüzey sıcaklığının düşürülmesiyle performans artışı gözlenirken, PV-2’de herhangi bir soğutma işlemi yapılmadığından bu modülün performansı PV-1’in gerisinde kalmıştır. Aradaki bu performans farklılıklarının en belirgin etkeninin sıcaklık olduğu kanaatine varılmıştır.

Şekil 7’de PV-1 ve PV-2’de ölçülen günlük ortalama güç değerlerinin karşılaştırmalı gösterimi verilmiştir.

**Şekil 7.** PV-1 ve PV-2’ye ait ölçülen günlük ortalama güç değerleri

Şekil 7’de görüldüğü gibi 5 gün boyunca PV-1’de üretilen güç değeri PV-2’de üretilen güç değerine kıyasla daha yüksektir. Aradaki güç farkı ise 1. 2. 3. 4. ve 5. günler için sırasıyla 9,354W, 10,847W, 9,166W, 12,274W ve 15,995W olarak ölçülmüştür.

5. Sonuç

Yapılan bu deneysel çalışmada PV yüzey alanı soğutma işleminin üretilen elektriksel verime etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla 50cmx100cm ve 80W değerinde iki adet özdeş PV (PV-1 ve PV-2) Osmaniye iline 37°02’18.0” N ve 36°13’20.3”E koordinatlarına 34° lik açı ile montajlanmıştır. Birbirlerinin gölgesinden etkilenmeyecek şekilde yan yana montajlanan PV’lerden birinin yüzeyine soğuk su göndermek amacıyla boru sistemi yerleştirilmiş ve PV yüzeyinde 60dk aralıklarla su çevrimi yapılmıştır. Deneyler 25-29.04.2019 tarihleri arasında toplam 5 günü kapsamıştır. Bu süreçte PV-1 ve PV-2’den elde edilen akım, gerilim ve güç değerleri kayıt altına alınmıştır.

PV-1 ve PV-2’nin özdeş iki modül olmaları, aynı konum ve aynı açı ile yanyana montajlanmalarına rağmen farklı güç üretmelerinin nedeni sıcaklık etkisi olduğu görülmüştür (Şekil 7). Bilimsel çalışmalarda (Kumar vd. 2007; Silva&Fernandes 2010; Rodrigues vd. 2011) da belirtildiği gibi sıcaklığın her 1°C artışı üretilen gerilimi yaklaşık 0.5V azaltarak toplam gücü düşürdüğü, sıcaklığın her 1°C azalışı ise üretilen gerilimi yaklaşık 0.5V artırarak toplam gücü yükselttiği bu deneysel çalışma ile gösterilmiştir.

Literatürde su kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarındaki verim artışlarını Gül ve Akyüz (2019), Fudholi vd. (2014), Kabul ve Duran (2014) ve Bhaidarah vd. (2013) sırasıyla %12, %13,8, %7 ve %9 olarak hesaplamışlardır. Su-hava kullanılarak yapılan deneysel verim artışlarını Rawat vd. (2017), Tyagi vd. (2012) sırasıyla %6,5-7,5 ve %7 olarak, sadece hava kullanılarak yapılan deneysel verim artışlarını ise Du vd. (2016), Teo vd. (2012), Sarhaddi vd. (2010), Engin vd. (2005) sırasıyla %9, %12,5, %10,01 ve %4,35 olarak hesaplamışlardır.

Su kullanılarak yapılan bu deneysel çalışmada PV yüzey sıcaklık değeri 32°C'den 19°C'ye düşürülerek üretilen elektriksel güç değeri 5 günün sonunda ortalama 79,621W'tan 91,149W'a çıkarılmış ve %14,47 verim artışı elde edilmiştir. Bu değer literatür çalışmalarındaki en yüksek verim artışı olarak kaydedilmiştir. Ayrıca, soğutma işleminin daha etkin sonucunu gözlemek için benzer bir çalışma sıcaklığın 40°C'nin üstünde olduğu çevre koşullarında ve/veya PV yüzeyine odaklayıcı kullanılmasıyla yüzey sıcaklığını 50°C'nin üstüne çıkarılmasıyla yapılabilir. İlaveten, bu çalışmaya alternatif bir yöntem olarak gelecek çalışmalarda soğutucu içeren akışkanların PV alt yüzeyinden dolaştırılması yöntemiyle soğutma işlemi denenebilir.

Teşekkür

Yazarlar bu çalışmada kullanılan ekipman desteklerinden dolayı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi bünyesindeki ilgili akademik/ıdari birimlere teşekkür etmektedir.

Referanslar

- Giesler B. (2010). String vs. Central inverters: Dimension of the inverter, Photon's 1st PV Inverter Conference, Stuttgart, Germany, 1-23
- Bahaidarah H., Subhan A., Gandhidasan P., Rehman S. (2013). Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions, *Energy* 59: 445-453
- Bayrak G., & Cebeci M. (2012). 3.6 kW Gücündeki Fotovoltaik Generatörün Matlab Simulink İle Modellenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 28(3): 198-204
- Boppana S. (2015). Outdoor soiling loss characterization and statistical risk analysis of photovoltaic power plants, Thesis for the Degree Master of Science, 1-103
- Chandler, S. Purohit A., Sharma A., Nehra S.P., Dhaka M.S. (2015). Impact of temperature on performance of series and parallel connected monocrystalline silicon solar cells, *Energy Reports* 1 (2015) 175–180
- Da Silva RM., & Fernandes JLM. (2010). Hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) solar systems simulation with Simulink/Matlab. *Sol Energy*; 84: 1985–96.
- Deniz E. (2013). Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar. III. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri, İzmir
- Du C.J., Fell B., Duck D., Chen K., Liffman Y., Zhang M., Gu Y. Zhu (2016). Evaluation of photovoltaic panel temperature in realistic scenarios, *Energy Conversion and Management* 108: 60–67
- Engin D. (2008). Yarı-Saydam Güneş Pili/Termal Toplayıcı PV/T Hibrit Sistemin İzmir Koşullarında Analizi, *CBÜ Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, 10(2)
- Fudholi A., Sopian K., Yazdı M., Ruslan., Kazem, H. (2014). Performance analysis of photovoltaic thermal (PVT) water collectors, *Energy Conversion and Management*, 78: 641-651
- Grunow, P., Preiss, A., Koch, S. & Krauter, S. (2009). Yield and Spectral Effects of A-Si Modules, *Proceedings of the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, pp. 2846-2829, ISBN 3-936338-25-6, Hamburg, Germany
- Gül M., & Akyüz E. (2019). Fotovoltaik-termal (PV/T) bir sistemin deneysel performansının incelenmesi. *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 21(1): 444-458
- Ike C.U. (2013). The Effect of Temperature on the Performance of A Photovoltaic Solar System In Eastern Nigeria, *International Journal Of Engineering And Science*, 3(12):10-14
- Işiker, Y., Yeşilata, B., & Bulut, H. (2006). Fotovoltaik Panel Gücüne Etki Eden Çalışma Parametreleri, *UGHEK'2006: I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, ESOGÜ, Eskişehir

- Kabul A., & Duran, F. (2014). Isparta İlinde Fotovoltaik/Termal (PV/T) Hibrit Sistemin Performans Analizi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 6(1): 31-43
- Kamkird N. Ketjoy W. Rakwichian S. Sukchai (2012). Investigation on Temperature Coefficients of Three Types Photovoltaic Module Technologies under Thailand Operating Condition” *Procedia Engineering* 32: 376-383
- Kumar K., Sharma S.D., Jain L. Standalone (2007), Photovoltaic (PV) module outdoor testing facility for UAE Climate. Submitted to CSEM-UAE Innovation Centre LLC.
- Muntasser, M. A., Bara, M. F., Quadri, H. A., EL Tarabelsi, R. ve La-azeb, I. F. (2000) Photovoltaics marketing İn Developing Countries , *Applied Energy*, 65: 67-72
- Navruz, T. S. (2013). Arabant yapılı güneş pillerinde verim optimizasyonu. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 28(3): 1-143
- Rawat P, & Dhiran T.S. (2017). Comparative Analysis of Solar Photovoltaic Thermal (PVT) Water and Solar Photovoltaic Thermal (PVT) Air Systems, *International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science (IJCMES)*, 3(1)
- Rodrigues E., Melicio R., Mendes V. (2011). Simulation of a Solar Cell considering Single-Diode Equivalent Circuit Model, *RE&PQJ*, 1(9)
- Sarhaddi F., Farahat S., Ajam H., Behzadmehr A. (2010). Exergetic performance assessment of a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector. *Energy and Buildings*, 42(11): 2184-2199
- Sahay A., Sethi V. K., Tiwari A. C., Pandey, M. (2015). A review of solar photovoltaic panel cooling systems with special reference to Ground coupled central panel cooling system (GC-CPCS). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42: 306-312
- Sathyanarayana, P., Ballal, R., Lasmi Sagar, L., & Kumar, G. (2015). Effect of Shading on The Performance of Solar PV Panel, *Energy and Power, Scientific & Academic Publishing*, 5(1A): 1-4
- Teo H.G., Lee P.S., Hawlader, M.N. (2012). An active cooling system for photovoltaic modules. *Applied Energy*, 90(1): 309-315
- Tyagi V., Kaushik S., Tyagi S. (2012). Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3): 1383-1398
- Wardowski, T., & Akbarzadeh, A. (1996). Heat pipe-based cooling systems for photovoltaic cells under concentrated sorradiation. *Applied Thermal Engineering*, 16(1):



Non-Contact Vibration Detection Software and Hardware Design with Image Processing Method to Reveal Substantial Changes in Structures and Systems

Emre Metin¹ , Özgür Karagülle¹ , Abdullah Kayalak¹ , Mustafa Karagülle¹ , Ertuğrul Çam^{*2} 

¹AES Innovation, Kırıkkale Üniversitesi Teknopark, 71450, Kırıkkale, TURKEY

²Kırıkkale University, Department of Electrical & Electronics Engineering, 71450, Kırıkkale, TURKEY

Başvuru/Received: 03/05/2020

Kabul / Accepted: 17/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Abstract

Many types of equipment are used for vibration detection in buildings and systems. However, these systems have their own problems. In this article, a combined software and hardware system is designed for the solution of these problems. The system has been designed with the Motion Magnification Analysis (MMA) method, which stands out in the literature studies. C # language and .NET environment have been used as software. The Accord library was used for the image processing process. These libraries were also used for the analysis of subspaces and components of the image. During the study, three new algorithms that have not been applied in the past and not in the literature have been developed. The first of these is the derivative of the method known as Color Magnification, which analyzes the color space. The second is the derivative of the Motion Magnification method, which magnifies the vibration to the visible level. And the third one is the Frequency Determination algorithm, which enables frequency measurement. With this solution, it is provided to make an analysis of the images taken with devices with relatively slow cameras such as mobile phones/tablets as well as fast cameras. All results were compared with a touchable vibration analyzer for benchmarking and showed that the proposed method was successful.

Key Words

“vibration, noncontact, motion magnification analysis, colour magnification”

1. Introduction

Today, most of the machines used in the industry do business with a rotary motion. In order for these machines to perform their duties without interruption, the malfunctions that will occur must be determined at the initial stage and the malfunction must be eliminated by performing maintenance. Vibration analysis is one of the most appropriate methods for this job. If the vibrations caused by the malfunctions of rotating machines are well understood, it is easy to identify the malfunctions. Increased gap between the parts working on the machines, abrasion, crack formation, and similar factors cause vibration. The most important factor that causes them is the internal and external forces acting on the machine. Therefore, it is desirable that these forces be as small as possible when designing machines. Even a properly manufactured machine generates a certain level of vibration during operation. This is a situation that cannot be avoided in practice. The important thing is to keep this vibration level under control to remain at an acceptable level. Just like when an area in the human body is disturbed there is an increase in the level of vibration when a malfunction occurs in the machine. Using this feature, the relationship between malfunctions occurring in rotating machines and vibration has been determined.

Since malfunctions and vibration relations are detected in rotating machines, vibration analysis has been used while planning maintenance activities in factories. To obtain healthy and accurate results from vibration analysis is possible with the knowledge and experience gained in this field. The combination of high exactness accelerometers and the capacity to process the Fourier change with the FFT calculation has been permitted the advancement of quick apparatuses that can analyze the real condition of the machines (Correa & Guzman, 2020). Nowadays, vibration sensors were applied to a few applications because of their expenses and the requirement for master staff. These underlying ideas are supplemented by other new advances, for example, ultrasonic, thermography, acoustic sensors, and omnidirectional mouthpieces.

Condition checking frameworks are basic for understanding the conduct of machines, particularly pivoting machines. These are key components to foresee mistakes in the majority of the things that join machines (Chen et al., 2015). They can decide the kind of deficiency and the second when an imperfection shows up in a specific part. They likewise give enough information to improve the machine plan, which can be investigated to relate outstanding tasks at hand, lifecycle, and sort of shortcoming. This information is a significant contribution to future structures. The structure and meaning of a condition checking framework characterize the sort and measure of information to be delivered after the machine is set up and worked.

Video amplification is a strategy that works by expanding shading and brilliance varieties in singular pixels. It is in this way perfect for following changes in shading, however it can likewise be utilized to uncover inconspicuous sub-pixel movement, giving more consideration to preparing distinctive spatial frequency varieties. The picture is first isolated into spatial recurrence parts, that is, various segments relying upon the quality and sharpness of an edge or other picture attributes (Gonzales, 1987). The subsequent advance applies pixel-based fleeting amplification lastly, the parts are reassembled with weighting as indicated by a predefined enhancement factor to expand the movement. Utilizing video amplification causes little, sub-pixel relocations related to vibration to be obvious.

At the point when the movement shows up in the video, fixed focuses can be followed with the goal that the extent of the vibration can be acquired. It is noted that similarly as with any discrete-time framework, the example recurrence must be sufficiently high to catch the ideal sign as indicated by the Nyquist rule. Thusly, in this investigation, it has been utilized a fast camera to screen the vibrations happening in the sound recurrence go. (Davis et al., 2014) utilized the blinds of a standard buyer camera to deliver perceptible sound from the video not considered here.

In this paper, it has been evaluated traditional vibration monitoring methods and developing a new approach for condition monitoring systems with contactless video processing and analysis methods.

2. Basics of Vibration

The premise of most molding checking frameworks is the investigation of vibration signals, so a fundamental piece of understanding the circumstances and end results of vibrations is the investigation of wavering developments and connections between various pieces of a machine, structure, or arrangement of machines. These wavering developments are known as mechanical vibrations or, all the more for the most part, vibrations with regards to plan and machine and auxiliary investigation. The quintessence of molding checking is the investigation of the connection between the information signal (wellspring of vibration) and the yield reaction (yield signal) and the advancement of the machine's dynamic conduct. In different cases, in spite of the fact that there are some extraordinary cases to be examined in different segments, machines can be considered as a straight framework and the yield sign will have a direct reaction to the excitation powers. While a machine is an intricate arrangement of numerous mechanical components, its dynamic reaction can be spoken to as a straightforward mass framework.

So as to dissect the vibrational occasions, it is important to speak to the developments so the attributes of the vibrations can be characterized as deterministic or irregular. The least complex portrayal of a machine is made by romanticizing vibration developments

as an upheld mass of movement. With a spring and a clingy damper (Fig. 1.1). The mass is viewed as a solitary molecule, and the bend is a component that accommodates Hook's law, the firmness steady of k , the mass of the molecule m , and the gooey consistent c , which is the damping of this development. This spring oscillation's force is given by $F_r=kx$, where x is the displacement that the mass m suffers. Also the damper's force is given by $F_a=cv$, where c is the damping coefficient and v is the speed of the mass motion m . External forces applied to the mechanical system created by mass, spring and shock absorber, $F(t)$ (Correa & Guzman, 2020).

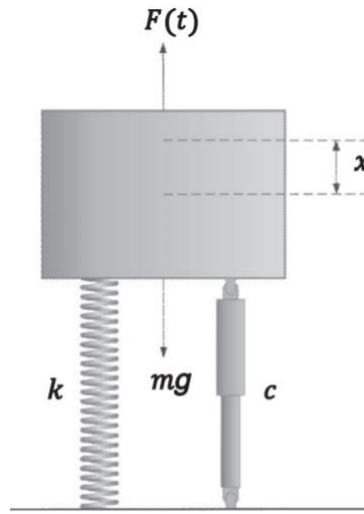


Fig. 1. Model of a vibratory system.

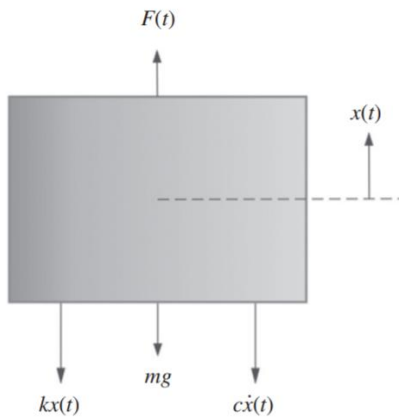


Fig. 2. The acting forces on a vibratory system.

The equation of motion is obtained as,

$$-kx-cv + F(t) - mg + F_{est} = ma \tag{1}$$

in which F_{est} is the mass weight force, g , acceleration of gravity and a is the acceleration of the System. This formula simplified in such a way as:

$$ma+ kx+ cv = F(t) \tag{2}$$

Considering the notation as follows

$$v = \lim (\Delta x/\Delta t) \Delta t \rightarrow 0; \frac{dx}{dt} = \dot{x} \tag{3}$$

$$a = \lim(\Delta v/\Delta t) \Delta t \rightarrow 0; dv/dt = d^2/dt^2 = \ddot{x} \tag{4}$$

The motion equation can be given as,

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \tag{5}$$

This recipe is the condition of the movements of a level of opportunity with constrained vibrations and damping. The idea of "level of opportunity" alludes to the base record of directions required to characterize the kinematics of a repairman component. Along these lines, the framework has a level of opportunity, since just the uprooting x must be known to decide the situation of the mass m .

The arrangement of the second-request differential condition has two components, the homogenous arrangement and the specific arrangement. The homogenous arrangement speaks to the free vibration development and the specific arrangement relates to the constrained vibration of the mass. The portrayal of the oscillatory development of the mass m is gotten by characterizing the condition of development as per the recurrence (f) and the sufficiency (x).

The swaying recurrence is the quantity of unit times the development rehashes, and its abundance is the extent of the greatest relocation. From the previous, it can be inferred that $f = n/t$, where n is the number of cycles completed in an interval t . If $n=1$, it can be said that $t=T$ is the oscillation period. Since a harmonic oscillation repeats regularly, it can be shown in Fig. 1.3, where it can be seen that for a cycle to be complete, the period must be $T=2\pi/\omega$. In the equation, ω is the angular frequency, where $\omega=2\pi f$. Considering initial conditions, the phase angle can be defined as $\phi=\tan^{-1}(v_0/x_0\omega)$. Fig. 1.4 Illustrates the perspectives that characterize the pinnacle sufficiency, the top to top, the normal worth, and the root mean square (RMS) in an intermittent sign and an arbitrary sign (without clear request). Top-to-top worth shows absolute dislodging of vibration from start to finish. This worth is important, for instance, when given most extreme power, greatest abundance in a machine part. The pinnacle esteem is valuable for demonstrating transient impacts, paying little heed to the historical backdrop of the vibration. At the point when it is important to know the normal estimation of the vibration, the accompanying proclamation is utilized:

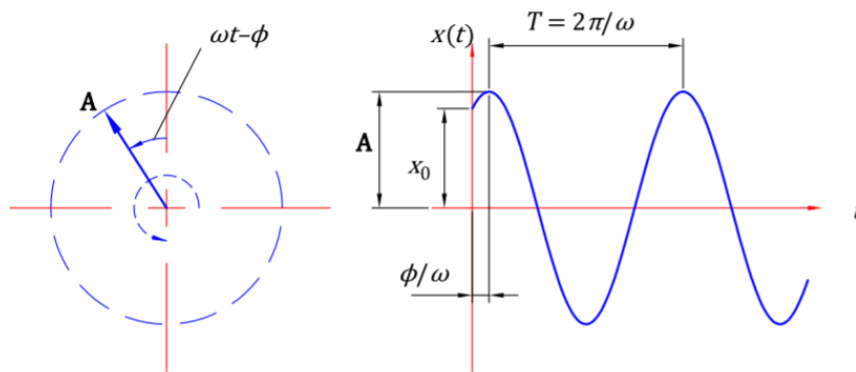


Fig. 3. Representation of a harmonic oscillation.

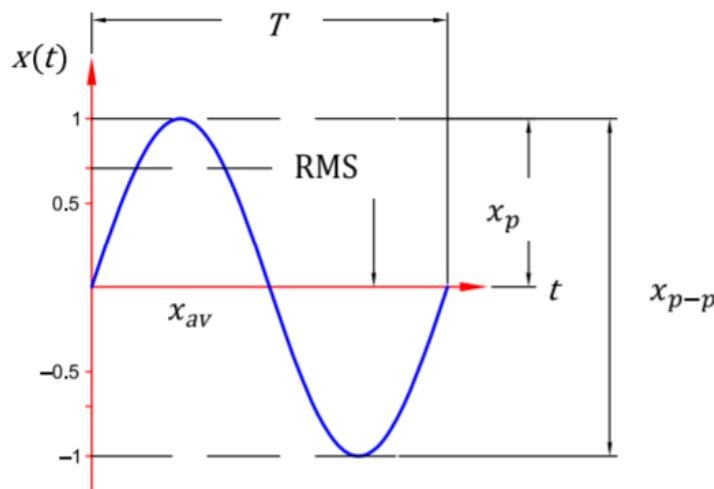


Fig. 4. Definition of the parameters of a vibration signal.

$$x_{prom} = 1 / T \int_0^T x dt \tag{6}$$

The normal of a sinusoidal capacity is consistently zero; along these lines, it's worth has a negligible commitment to the investigation of a vibration signal and won't work for a molding checking framework. There is another estimation of the mean plentifulness of the sinusoidal sign, the root mean square (RMS), given by the accompanying articulation:

$$x_{RMS} = 1 / T (\int_0^T x^2 dt)^{1/2} \tag{7}$$

This equation identifies with the assessment of vibration in time and the vitality substance of the vibration wave. For the unitary sufficiency sine wave, the RMS esteem is 0.707 of the pinnacle adequacy. The least complex case is the free vibration of a molecule without damping.

3. Introduction to Motion Magnification

Euler video amplification is a method used to bring little developments caught up in video. A few potential applications incorporate estimation of auxiliary vibration. Since a video normally catches the whole scene at the same time, it is normally appropriate for the investigation of modular vibration, where the stage connection between various spatial areas is significant.

(Chen et al., 2015) utilized video intensification to gauge 1D mode shapes on the cantilever bar and the cross area of a roundabout cylinder. Particularly vacuum cleaners, hand dryers, cooling fans, engines, structures and so on. We expected to apply and extend this method to permit vibration investigation in mechanical clamor control designing for such items. Applying video amplification to the vibration estimation at that point requires breaking down complex geometries, having quantitative and subjective yield, and strong against clamor.

4. About Test Environment

In this study, the movements that are not visible or difficult to see with the naked eye can be seen in the videos. In another definition, it is to reveal the temporal variations in the videos that are difficult or impossible to see with the naked eye and make them visible. Many images around us contain movements that are too small to be detected by the naked eye. The world is filled with fine and small movements that cannot be seen with the naked eye. For example, human skin color changes slightly according to blood circulation. When the heart pumps blood into the body, there is an invisible color change in the veins just under our skin. Although this variation is not visible to the naked eye, it can be used to extract the pulse rate. Similarly, low spatial amplitude movements, although difficult or impossible for people to see, can be magnified and many comments can be made from these data to reveal interesting mechanical behavior.

Our basic approach is to examine the time series of color values in any spatial location (pixels) and the change in a specific temporal frequency band.

Our method, which we call SMART Video Magnification, takes standard video frames as input and applies the Spatial Decomposition Method, then applies temporary filtering to the frames. The resulting signal is then amplified to reveal confidential information. In this way, it is made visible by strengthening the color changes or small movements in the video. Our technique can work in real time to show events occurring at temporal frequencies selected by the user. In this study, a combination of spatial and temporal processing of videos has been shown to reveal important aspects of the world around us that are unseen. Our temporary filtering approach can increase color diversity as well as reveal low amplitude motion.

Our approach combines spatial and temporal processing to emphasize subtle temporal changes in a video. First we divide the video sequence into different spatial frequency bands. These bands can be magnified differently because (a) they may exhibit different signal-to-noise ratios (b) they may contain spatial frequencies that are not covered by the linear approach used in our motion amplification system. A mathematical analysis explaining how temporal filtering interacts with spatial motion in videos is presented below.

First order movement:

To explain the relationship between temporal processing and motion magnification, we consider the simple state of the 1D signal in motion.

Let's show the image density at position x and time t with $i(x, t)$. If the intensity observed according to the displacement function is $\delta(t)$, since the image passes the translational motion.

It can be expressed as $I(x, t) = f(x + \delta(t))$ and $I(x, 0) = f(x)$.

The purpose of motion magnification is to synthesize the signal. Our formula for amplification factor α

$$I(x, t) = f(x + (1 + \alpha) \delta(t)) \tag{8}$$

It shaped.

Assuming the image can be predicted by first-order Taylor series expansion, the image t

If we express with the first degree Taylor expansion with respect to x in $f(x + \delta(t))$ time
 $I(x, t) \approx f(x) + \delta(t) \frac{\partial f(x)}{\partial x}$. (9)

For now, let's assume that the motion signal $\delta(t)$ is inside the temporary bandpass filter, let's say the result of applying a temporary band filter to $I(x, t)$ at each position of $B(x, t)$ x. So,

$$B(x, t) = \delta(t) \frac{\partial f(x)}{\partial x}. \quad (10)$$

In our process, we reinforce this band pass signal with α and add it back to $I(x, t)$,

Our formula is

$$\Gamma(x, t) = I(x, t) + \alpha B(x, t) \quad (11)$$

When equations are combined 2,3,4

$$\Gamma(x, t) \approx f(x) + (1 + \alpha) \delta(t) \frac{\partial f(x)}{\partial x} \quad (12)$$

When the equation 12 is reinterpreted, the following formula is reached

$$\Gamma(x, t) \approx f(x + (1 + \alpha) \delta(t)) \quad (13)$$

This formula shows us that the displacement of $\delta(t)$ at time t on image $f(x)$ will increase by $(1 + \alpha)$. Thus, the newly formed image function will also contain invisible movements. The details of the model developed in the figure below are given. Fig. 1.5

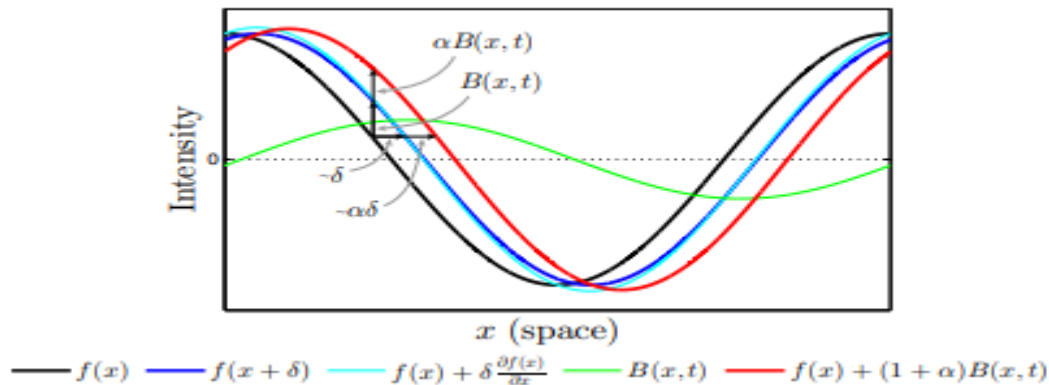


Fig. 5. The details of the model developed

Movements that are not visible to the naked eye or difficult to see are provided. In this study, the mathematical modeling mentioned above was coded and successfully operated. The system takes the video images as input, then separates them into fraems and applies a $5 * 5$ filter on it and derives its time by time. The resulting images are added to the original image with the α coefficient, as expressed in equation 13.

5. Test Equipment

The hardware developed within the scope of this project and related to the motion magnification analysis software were used together. With the image acquired by the camera taken from Basler, the project output was provided to be run on various videos we obtained from our mobile phones. In addition, videos of industrial machines were shot at various locations and software was tried to ensure that they were working properly in field conditions. In these videos, video magnification was possible. Thus, the software has been verified and successfully executed by comparing both the videos in the academic literature and the videos we shot.

The "Test and Calibration Procedures" work package is the sixth work package. In this package, it is tried to compare the accuracy and consistency of the inferences made from the images taken using the mechanical vibration measuring device purchased in the first work package. For this purpose, we have taken videos for testing purposes in areas such as MKE Arms Factory, DDF Construction Basalt Quarry and Doğu Construction Ankara-Sivas High Speed Train Line Construction sites and studies have been done. The purpose here is to test and calibrate the software, as mentioned in the work package, and it has been realized. In this section, the procedures for obtaining frequencies for various videos are made from the screenshots taken from the software. The following equipment has been used for testing and verification. Fig.6, Fig.7, Fig.8.



Fig. 6. Fluke 805 FC Vibration Meter



Fig. 7. High Speed Camera



Fig. 8. C# and .NET Environment Computer

6. Test Result Samples

In this section, it is tried to compare the accuracy and consistency of the inferences made from the images taken by using the purchased mechanical vibration measuring device. For this purpose, we have taken videos for testing purposes in areas such as MKE Arms Factory, DDF Construction Basalt Quarry and Doğuş Construction Ankara-Sivas High Speed Train Line Construction sites and studies have been done. The purpose here is to test and calibrate the software as it is said in the work package and it has been realized. In this section, the procedures for obtaining frequencies for various videos are made from the screenshots taken from the software and the results are given in the pictures below.

However, as many different situations can be encountered in real life, the calibration part will continue to be developed. Therefore, it is necessary to calibrate the software with benchmarking. Using the "Fluke 805 FC Vibration Meter" which bought from the project for this purpose, the application was made on the vehicle shown in Figure 9. Thus, the software has been calibrated.

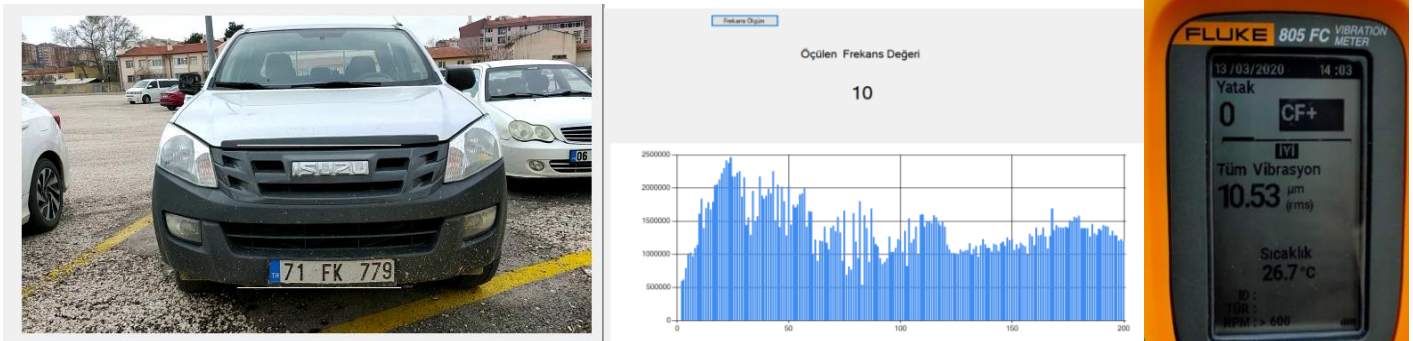


Fig. 9. Calibration of the software with Benchmarking

7. Conclusions And Future Work

This article is about a system designed to predict the failures that industrial devices and/or various structures can cause due to wear of time. The idea of changing the frequency of vibrations of the aging devices while working caused this. All these applications were supported by a KOSGEB project by made the AES Innovaion Inc. in Turkey. For this purpose, a combined hardware and software has been designed. In order to show the accuracy of the results and calibrate the system, comparative applications were made with the "Fluke 805 FC Vibration Meter" device. In the study, it has been demonstrated that rapid video intensification is applied to vibration estimation. Video amplification procedure (Correa & Guzman, 2020) and application to modular investigation (Chen et a have been recently portrayed in the writing. There are likewise more current investigations of handling rapid video to gauge vibration (Mas et al., 2016). As to past work, the development in this article initially portrayed a viewpoint revision that permitted the quantitative estimation of 2D alterations, an expansion in the estimation of 1D mode shapes, and a progressively subjective examination detailed in different investigations. Second, a video examination utilizing sifting has been appeared to precisely extricate mode designs when the structure is invigorated utilizing commotion and cleared sine signals, once more, as far as anyone is concerned, this has not been recently announced. At last, it has been shown an exact application for designing vibration investigation utilizing an operational item.

In the future, the subsequent stage for this investigation is to stretch out the point of view revision to complex surfaces, as we limit our examination to level plates. Estimating 3D vibration of complex shapes may require a connection between's various camera areas. Another region of research is to utilize an information power converter to compute emanated acoustic weight or to utilize vibration information dependent on radiation impedance or to ascertain structure versatility. Within the scope of the project, it is aimed to produce integrated solutions with thermal camera integration in addition to vibration analysis of buildings and machines. In addition, as a result of the literature searches, it was seen that the technique we developed as a biomedical diagnostic method can be used(Li & Lin, 2017), (Monkaresi et al., 2016), (Hassan et al., 2017).

Acknowledgements

This project was supported by KOSGEB (2019/1695597) (Small and Medium Enterprises Development Organization of Turkey). We would like to thank KOSGEB and Kirikkale University Technopark Management for their contribution.

References

- Ashory, M. R. (1999). *High quality modal testing methods* (Doctoral dissertation, University of London).
- Chen, J. G., Wadhwa, N., Cha, Y. J., Durand, F., Freeman, W. T., & Buyukozturk, O. (2015). Modal identification of simple structures with high-speed video using motion magnification. *Journal of Sound and Vibration*, 345, 58-71.
- Correa, J. C. A. J., & Guzman, A. A. L. (2020). *Mechanical Vibrations and Condition Monitoring*. Elsevier Science & Technology.
- Davis, A., Rubinstein, M., Wadhwa, N., Mysore, G. J., Durand, F., & Freeman, W. T. (2014). The visual microphone: Passive recovery of sound from video
- Gonzales, R. (1987). Wintz, Paul. *Digital Image Processing*.
- Hassan, M. A., Malik, A. S., Fofi, D., Saad, N. M., Ali, Y. S., & Meriaudeau, F. (2017). Video-based heartbeat rate measuring method using ballistocardiography. *IEEE Sensors Journal*, 17(14), 4544-4557.
- Li, M., & Lin, J. (2017). Wavelet-transform-based data-length-variation technique for fast heart rate detection using 5.8-GHz CW Doppler radar. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 66(1), 568-576.
- Mas, D., Ferrer, B., Acevedo, P., & Espinosa, J. (2016). Methods and algorithms for video-based multi-point frequency measuring and mapping. *Measurement*, 85, 164-174.
- Monkaresi, H., Bosch, N., Calvo, R. A., & D'Mello, S. K. (2016). Automated detection of engagement using video-based estimation of facial expressions and heart rate. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 8(1), 15-28.
- Wadhwa, N., Rubinstein, M., Durand, F., & Freeman, W. T. (2013). Phase-based video motion processing. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 32(4), 1-10.



Kablosuz Sensör Ağlarında Konum Belirlemede Sezgisel Algoritmaların Kuantum Davranışları ile Karşılaştırılması

Comparison of Heuristic Algorithms via Quantum Behavior in Localization of Wireless Sensor Networks

Ertem Kızılkaplan , Tolga Eren , Fikret Yalçınkaya 

Kırıkkale Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 01/06/2020

Kabul / Accepted: 17/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Günümüzde, kablosuz sensör ağlarında (KSA) konum belirleme giderek önemli bir hale gelmektedir. Bir çok uygulamada kullanılan KSA'larda konum belirleme optimizasyon tekniği, istenilen amaca doğru, hızlı ve de güvenilir bir şekilde ulaşmak için önemli bir adım oluşturmaktadır. Bu nedenle hedeflenen konumları bulmayı amaçlayan çalışmada, doğadan esinlenerek oluşturulmuş yeni nesil sezgisel algoritmalarından Çiçek Tozlaşma Algoritması (FPA) ve Guguk Kuşu Arama Algoritması (CSA) metotları (KSA)'larda konum belirleme probleminin çözülmesi amacı ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu algoritmaların küresel arama kabiliyetini ve doğruluğunu geliştirmek ve karşılaştırmak amacıyla da Çiçek Tozlaşma Algoritması (FPA) ve Guguk Kuşu Arama Algoritması (CSA) kuantum davranışlı arama mekanizmalarıyla ayrı ayrı birleştirilmiştir. Matlab ortamında test sistemine uygulanmış kuantum davranışlı QFPA ve QCSA ile standart FPA ve CSA'nın benzer problem çözümüne olan yaklaşımları da değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler

"Kablosuz sensör ağları, Sezgisel algoritmalar, Kuantum davranışı, FPA, CSA, QFPA, QCSA"

Abstract

Today, positioning in wireless sensor networks is becoming an important in many applications. The positioning optimization technique in WSN's used in many applications is an important step to reach the desired goal quickly and reliably. For this reason, in the study aiming to find the targeted locations, one of the new generation heuristic algorithms created by inspiring from nature Flower Pollination Algorithm (FPA) and Cuckoo Search Algorithm (CSA) methods have been compared in solving the problem of positioning in WSN's. In addition, Flower Pollination Algorithm (FPA) and Cuckoo Search Algorithm (CSA) are combined with quantum behavior search mechanisms to improve and compare the global search capability and accuracy of this algorithm. Quantum-behavior QFPA and QCSA applied to the test system in Matlab environment and the approaches of standard FPA and CSA to similar problem solutions were evaluated.

Key Words

"Localization in wireless sensor networks, Heuristic algorithms, Quantum behavior, FPA, CSA, QFPA, QCSA"

1. Giriş

Kablosuz sensör ağları (KSA) çok sayıda araştırmanın yapıldığı popüler bir alandır. Sensörlerin konumlandırma konusu kablosuz sensör ağları içinde önemli bir yere sahiptir. KSA'lar çeşitli fiziki etkenlerin ortam içerisindeki değişimlerini takip etmek için bir sensör ağına ihtiyaç duyar. Bu sebeple bir sensör ağı ortamdaki verileri alabilir, ölçülebilir, toplayabilir ve de bazı yerel karar süreçlerine dayanarak algılanan verileri kablosuz bir ortam aracılığıyla baz istasyonlarına yani hedefe iletebilir. Bu tür bilgiler kablosuz sensör ağlarında (KSA) konumlandırma tekniği kullanılarak elde edilebilir (Shrivastava vd., 2015; Alrajeh vd., 2013).

Kablosuz sensör ağlarında konumu belli olan sensörlerin dışında konumu belirsiz olan sensörlerde yer almaktadır. Konumu belli olan referans düğümler (anchor, çapa) GPS ve de farklı yöntemler aracılığıyla tespit edilmektedir. Konumu belirsiz olan sensörler ise; referans düğümleri ve diğer sensörler aracılığı ile konumlarını bulmaya çalışırlar. M sensör düğümlerinden oluşan bir kablosuz sensör ağında, konumlandırmanın amacı, M - N (Anchor-çapa) düğümlerinin koordinatları hakkında önceden bilgi kullanarak, bilinmeyen düğümler olarak adlandırılan N sensör düğümlerinin konumunu bulmaktır (Doğru vd., 2019). Sensörler arasında yardımlaşma odaklı olan bu iş birliğine dayalı konum belirleme yöntemi yeni bir paradigmatik yöntem olarak literatüre kazandırılmıştır (Akyildiz vd., 2002; Wymeersch vd., 2009; Patwari vd., 2005; Eren, 2017; Eren, 2016; Eren, 2011; Eren vd., 2004; Aspnes vd., 2006). Bu ve benzeri çalışmalarda sensör düğümlerinin konumunu belirlemede farklı yöntemlerde kullanılmıştır. Zhang Q. ve arkadaşları, (2008) yaptıkları çalışmada genetik algoritma tabanlı kablosuz sensör ağlarında konumlandırma problemini çözmek amacıyla iki yeni genetik operatör tekniği kullanmış olup gradyan arama algoritması (SDPL) ve tavlama algoritması (SAL) ile konum tahmininin doğru bir şekilde belirlenebileceğini gösterdiler. Türkoral T. ve arkadaşları, (2015) KSA'lerde konumlandırma problemini değerlendirdiler ve konumlandırma için kullanılan uzaklık ölçme tekniklerinden birisi olan Sinyal Alım Gücü (Received Signal Strength- RSS) yöntemini kapalı ortamlarda, alıcı verici arasındaki mesafenin kestiriminde kullanılması ile ilgili uzaklık tahmininde kullandılar. Yazdı P. G., (2012) KSA'ların endüstriyel uygulaması olarak makine atölyelerinde ve petrol ve gaz rafinelerinde olmak üzere iki farklı üretim ortamında incelemeler yapıp, mesafe tabanlı ölçüm olarak trilaterasyon algoritması ve Alınan İşaret Güç Göstergesi (RSSI) kullanılarak üretim alanındaki dağıtılmış kablosuz sensör ağlarının lokalizasyonunu araştırdılar. Kadioğlu T. ve arkadaşları, (2010) Kablosuz Duyarga Ağları (KDA'lar) kullanılarak, ortamdaki etkileşimli olarak bilgilerin toplanabileceği ve bu verilere bağlı olarak ortamda gerektiğinde değişiklikler yapılabileceği nesnelerin takibine odaklı RSSI (Received Signal Strength Indicator) değerine bağlı ve zaman eşleme yöntemine bağlı konum belirleme tekniklerini de incelediler. Bekçibaşı U. ve Tenruh M., (2012) KSA'lerde konum belirleme tekniklerini ve bu tekniklerin detaylı özelliklerini inceleyerek mesafeye bağlı konumlandırma yöntemlerinin temelini oluşturan RSSI yönteminde dördüncü çapa düğümü ile geliştirilen yeni bir çözüm sundular. Küçük ve enerji tasarruflu sensörlerin üretimi, mikroeletromekanik sistemler (MEMS) teknolojisindeki son gelişmelerden dolayı teknik ve ekonomik olarak uygulanabilir hale gelmiştir. Singh S. P. ve Sharma S. C., (2015) sensör ağlarındaki maliyet ve donanım sınırlaması sebebiyle herhangi bir ek cihaza gerek kalmadan konumlandırma problemini ortadan kaldırmaya yönelik ayrıntılı bir çalışma da yaptılar. Chen C. C. ve arkadaşları, (2012) kablosuz sensör ağları için düşük maliyetli ve de etkili bir aralıksız konumlandırma şeması üzerinden konumu bilinmeyen sensörlerin tahmini konumlarını sensörlerin çalışma alanındaki göreceli konuma göre ayarlayarak DV-Hop yöntemi ile karşılaştırmaya dayalı farklı bir konumlandırma şeması önerdiler. Literatürdeki bütün bu KSA konum belirleme algoritmaları, sensör ağının fiziksel alanı, şekli ve topolojisi, sensör yoğunluğu, hareketli baz istasyonu (anchor, çapa) kullanımını, enerji tüketim dereceleri, sensörlerin fiziksel yerleşimi ve birden fazla baz istasyonu (anchor, çapa) kullanımının kablosuz sensör ağlarının yaşam sürelerine olan etkisini inceleyip başlangıçta bilinmeyen sensörlerin yerini tespit etmek amacıyla değerlendirildi.

Konum belirleme probleminde, çözüm aşamasında kullanılan optimizasyon algoritmaları arasında, sezgisel yöntemler de bulunmaktadır. Sezgisel yöntemler tanımlarından da anlaşılacağı üzere “deneme-yanılma” yöntemi ile tecrübe durumuna bağlı olarak geliştirilmiş en temel arayış yöntemidir. Oluşan tecrübeye bağlı olarak sorun odaklı çözüm yöntemi çalışılan sorunun iyi anlaşılacak şekilde çözümlenmesinde önemli rol oynar. Böyle bir bağın oluşumu, soruna kısa bir sürede etkili ve uygun bir şekilde çözüm sağlar. Ancak sorun odaklı çözüm yöntemi genel olarak local (yerel) bir çözümde takılıp kalmaya neden olabilmektedir (Pehlivanoglu, 2017). Sezgisel yöntemler araştırılacak konunun durumuna göre değişik performanslar sergileyebilmektedir. Dolayısıyla belirli bir sorunun çözüm aşamalarında hangi sezgisel yöntemlerin hangi problem çözümüne daha iyi adapte olabileceği yöntemin çözüm yeteneklerinin geliştirilmesine bağlıdır (Zeybekoğlu, 2017).

Araştırmacılar bu sezgisel yöntemler ile karşılaştıkları problemlerin çözümüne olanak sağlayan hedef algoritmaları belirleyip çeşitli karşılaştırma yöntemleri ile sonuçlar elde etmiştir. Ouair F. ve Khelil N., (2018) sıradan diferansiyel denklemlerdeki (ODE'ler) Başlangıç Değer Problemlerini (IVP'ler) ve (IVP'lerin) sayısal yaklaşımını bulmanın alternatif bir yolu olarak Çiçek Tozlaşma Algoritmasının (FPA) kullanımına dayanan yöntemsel bir yol seçerek FPA ile Euler yöntemlerinin sonuç performanslarını karşılaştırdılar. Lukasik S. ve Kowalski A., (2015) yeni nesil sezgisel algoritmalarından FPA'nın yine popüler olan Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasından (PSO) daha iyi yakınsama sonuçlarına ulaştılar. Ateş V. ve Barışçı N., (2017) klasik yapısal temelli ampirik modelleri ve doğadan ilham alan optimizasyon tekniklerini içeren hibrit bir tahmin modeli önererek ampirik modelleri optimize etmek için Çiçek Tozlaşma Algoritmasını (FPA) kullandılar. Önerdikleri tahmin modelleri ile geçmiş yük tüketimi ve hava sıcaklığı verileri kullanılarak, ampirik modellerin saatlik kısa vadeli yük tahmininde umut verici sonuçlar elde ettiklerini belirttiler. Sezgisel yöntemlerin genelinde rassallık önemli bir etmendir. Öyle ki aynı sorunun her seferinde aynı yöntemle çözümünde farklı sonuçlara ulaşmak da mümkün olabilmektedir. Böyle bir çeşitliliğin nedeni, sezgisel yöntemin her aşamasında rassal sayıların kullanımından kaynaklı olmaktadır. Abdel-Basset M. ve Shawky L. A., (2019) Çiçek Tozlaşma Algoritmasını (FPA) örnek bir mühendislik incelemesi olan gerginlik / sıkıştırma yayı tasarımı problemini parametrik olmayan Friedman testi ile istatistiksel olarak

analiz edip altı farklı optimizasyon algoritması ile karşılaştırmasını yaptılar. Pan J. S. ve arkadaşları, (2017) KSA’larda optimizasyon konumlandırma sorunları için Çiçek Tozlaşma Algoritmasının (FPA) sabit popülasyonunu Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları (PDF) ve Kümülatif Dağılım Fonksiyonları (CDF) ile değiştirerek sınırlı kaynak donanımı olan cihazlarda kullanılabilir alternatif bir optimizasyon yöntemi geliştirdiler. Nabil E., (2016) standart Çiçek Tozlaşma Algoritmasını (FPA), Klonal Seçim Algoritması (CSA) ile bütünleştirip farklı algoritmalar ile karşılaştırılmasını sağladı. Abdel-Raouf O. ve arkadaşları, (2014) FPA ve PSO algoritmaları ile modifiye edilmiş Hibrid Çiçek Tozlaşma Algoritması (FPPSO) adı verilen yeni bir optimizasyon yöntemi kullanarak algoritmanın çözüm ve yakınsama hızı performanslarını araştırdılar. Fouad A. ve arkadaşları, (2016) FPA’nın arama yeteneğini geliştirmek amacıyla algoritmanın genel yapısında bir değişiklik yaparak Genetik Algoritma (GA) ile işbirliği yapan bir FPA-GA algoritmasını geliştirdiler. Roubik D. W., (1995) çiçek biyolojisi, global (küresel) ve local (yerel) tozlaşma süreçlerini, bitki fenolojisini ayrıntılı olarak araştıran bir bültende yayınladı. Goyal S. ve Patterh M. S., (2015) kablosuz sensor ağlarında konumlandırma probleminin çözümünde çiçeklerin rastgele popülasyon topolojisindeki FPA’na dayanan konumlandırılmış düğümlerin başarı oranı ve düğüm konumlandırılması üzerine FPA algoritmasının PSO Algoritmasına olan performans değerlendirmesini de değerlendirdiler. Keswani K. ve Bhaskar A., (2018) FPA ile kablosuz sensor ağlarında sensor düğümleri ile baz istasyonları (anchor, çapa) arasında doğru bir iletişimin olabilmesi için düğümlerin konum noktaları üzerinde verimliliği inceleyerek verileri algılama, işleme, toplama ve de iletme üzerine bir çalışma ortaya koydular. Sharawi M. ve arkadaşları, (2014) kablosuz sensor ağlarında mesafeye dayalı enerjiye duyarlı bir kümeleme modeli ile global (küresel) optimizasyonun verimliliğini değerlendirmek amacıyla LEACH yaklaşımı ile karşılaştırmıştır. FPA’da global (küresel) tozlaşma problemini çözmek amacıyla Wang Z. ve arkadaşları, (2019) sensor ağı içerisindeki kapsama alanlarına bağlı olarak ağ dağıtım maliyetlerinden tasarruf edilebileceğini ve de düğüm radyasyonu içerisinde yer alacak enerji tüketim oranını optimize edecek bir algoritma hedeflediler. Gupta G. P., (2017) sensör ağı enerji tüketimini ve de ağ ömrünü dengelemek için geliştirilmiş enerji dengeli bir Guguk Kuşu Arama Algoritması da (CSA) önerdi. Sivakumar S. ve Venkatesan R., (2014) KSA konumlandırmada baz istasyonların (anchor-çapa) ağdaki hareketlerine yönelik sensörler üzerindeki iletişimlerini artırıcı performans göstermesi amacıyla Guguk Kuşu Arama Algoritmasını (CSA) kullanarak yeni bir yaklaşım ile (MCS-MAP) ve (CS-MAP) konumlandırma hatalarının azaltılmasına yönelik çalışmalar yaptılar. Cheng J. ve Xia. L., (2016) KSA konumlandırmasında sensörler arasındaki iletişim yükünü azaltmak, sensor düğümlerinin ömrünü uzatmak ve de konum performanslarını arttırmak için adım büyüklüğü modifikasyonuna dayandırılmış, yaklaşım popülasyonunun küresel optimal çözüme hızlı bir şekilde yaklaşmasını sağlayacak bir algoritma önerdiler. Kartous W. ve arkadaşları, (2014) biyoinformatik alanında en çok karşılaşılan sorunlardan çoklu sekans hizalama (MSA) problemini çözmek için yeni bir Kuantum Tabanlı Guguk Kuşu Arama Algoritması (CSA) da geliştirdiler. Djeloul H. ve arkadaşları, (2014) grafik renklendirme problemini QICSACOL adı verilen kuantumdan ilham alan geliştirilmiş bir CSA ile çözmeye çalıştılar. Sezgisel algoritmalar sağlık alanında da insanların araştırma ve geliştirme amacıyla çalışmalarının yapıldığı bir alan olmuştur. Usman A. M. ve arkadaşları, (2018) insanların kalp rahatsızlıklarını tahmin etmek amacıyla filtre tabanlı bir yaklaşım yöntemi ile standart CSA ve modifiye edilmiş CSA ile performans yaklaşımlarının karşılaştırmasını da yaptılar. Günümüzün en büyük hastalığı olan COVID-19 adı verilen bir virüsün insanlar üzerindeki vaka durumunu tahmin etmek amacıyla Al-qaness M. A. A. ve arkadaşları, (2020) salp sürüsü algoritması (SSA) kullanılarak geliştirilmiş bir çiçek tozlaşma algoritması (FPA) ile modifiye edilmiş FPASSA-ANFIS adı verilen bir model ile tahmin tekniği de ortaya koydular.

Bu bilgiler doğrultusunda sezgisel optimizasyon algoritmalarından standart Çiçek Tozlaşma Algoritması (FPA), standart Guguk Kuşu Arama Algoritması (FPA), Kuantum Davranışlı Çiçek Tozlaşma Algoritması (QFPA) ve Kuantum Davranışlı Guguk Kuşu Arama Algoritması (QCSA) diğer bölümlerde ayrıntılı olarak incelenmiş olup, kablosuz sensor ağlarında (KSA) sensörlerin konumlarının tespiti için seçilen bu algoritmaların performans yaklaşımlarının karşılaştırması yapılmıştır.

2. Sezgisel Optimizasyon Algoritmaları

Sezgisel optimizasyon algoritmaları, hedeflenen amaç doğrultusunda, arama uzayını en iyi şekilde keşfederek, kabul edilebilir sürede optimuma yakın çözümler üretebilen algoritmalarlardır. Bu optimum çözüme ulaşmak için arama uzayında lokal (yerel) en iyi konumlara takılmadan geçebilecekleri yapıları bulunmaktadır. Bu sezgisel optimizasyon algoritmalarından en iyi tahmin yapısına sahip olduğu düşünülen çiçek tozlaşma algoritması (FPA) ve guguk kuşu arama algoritması (CSA) küresel arama kabiliyetleri de geliştirilerek araştırmaya konu edilmiştir.

2.1. Çiçek Tozlaşma Algoritması (FPA)

Çiçek tozlaşma algoritması (FPA), çiçekli bitkilerin üremesi ile ilgili doğadan ilham alınmış bir optimizasyon yöntemidir (Yang 2012). Optimum üreme evresinin sağlanması için biyotik ve abiyotik olarak iki önemli tozlaşma şekli oluşur. Biyotik formda polinatör olarak tabir edilen sinek, arı gibi canlılar polenleri taşır, abiyotik formda herhangi bir polinatöre ihtiyaç duyulmadan su, rüzgâr gibi polenleri doğal dinamiklerle yayılmasını sağlayan unsurlarla birlikte tozlaşma gerçekleşir. Çiçekli bitkilerde %90 oranında biyotik tozlaşma, %10 oranında abiyotik tozlaşma gerçekleşir. FPA’nın 4 temel kuralı aşağıda gösterilmiştir.

- Küresel tozlaşma süreçleri biyotik biçimde (farklı çiçekler arasında olabilen) yürütülmekte ve polinatörler, Lévy uçuşlarına göre polenleri çapraz tozlaşma şeklinde taşımaktadır.
- Abiyotik ve kendi kendine tozlaşma (aynı çiçekte veya yakınındaki aynı tür çiçekler arasında meydana gelen) yerel tozlaşma olarak kabul edilir.

- Çoğalma olasılığı (çiçek istikrarı), böcekler gibi polinatörler sayesinde çiçeklerin benzerlik oranına göre geliştirebilir.
- Lokal ve global tozlaşma, çiçek istikrarı adı verilen bir kriter ile yani bir çoğalma olasılığı $p \in [0, 1]$ ile kontrol edilebilir.

Böcekler uzun süre uçabildiği için polenler uzun mesafede taşınabilmektedir. Bu durum en iyi üremeyi garanti etmektedir. Global (küresel) tozlaşmanın matematiksel ifadesi Denklem 1'de gösterilmiştir.

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \gamma \cdot \text{Lévy}(s, \lambda) * (x_i^t - p_{best_i}^t) \quad (1)$$

Denklem 1'de x_i^{t+1} çözüm vektörünü ifade ederken, i değişken sırasını, t ise zaman değerini (iterasyon döngüsü içerisinde) temsil etmektedir. γ adım boyutunu ölçeklendirme faktörüdür. s adım büyüklüğünü ve p_{best} mevcut en iyi değeri ifade etmektedir.

Lévy dağılımı etkili bir tozlaşmanın gerçekleştirilmesi için kullanılır. Böcekler uzun mesafeli seyahat ederken yaptıkları davranışlar bu dağılıma göre gösterilebilir. Lévy dağılımını gösteren matematiksel ifade ise Denklem 2'de gösterilmiştir.

$$\text{Lévy}(s, \lambda) = \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin(\frac{\pi\lambda}{2})}{\pi} \frac{1}{s^{1+\lambda}} (s \gg s_0 > 0) \quad (2)$$

Arama uzayında araştırılan çözüm noktaları Lévy dağılımının kullanılması, biyotik tozlaşma ile uzak mesafelerdeki çözüm noktalarının belirlenmesi ve abiyotik tozlaşma ile çözüm noktalarının komşuluğunun araştırılması algoritmanın optimizasyon mantığını oluşturmaktadır. Lokal (yerel) tozlaşmanın matematiksel ifadesi ise Denklem 3'de gösterilmiştir.

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \epsilon \cdot (x_j^t - x_k^t) \quad (3)$$

Burada i, j ve k farklı çiçekleri temsilen sıra numaralarına karşılık gelmektedir. x_j^t ve x_k^t benzer bitkilerin farklı çiçeklerinden gelen polen çeşididir ve ϵ üniform dağılıma göre $[0,1]$ belirlenir. Çiçek tozlaşma algoritmasının (FPA) sözde kodu Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. FPA Sözde Kodu.

Çiçek Tozlaşma Algoritması Kaba Kodu
Amaç fonksiyonunu belirle: $f(x)$
n boyutlu rastgele üretilmiş başlangıç polen popülasyonu üret
Popülasyondaki en iyi çözüm (p_{best}) tanımla
Global(küresel) ve Local (yerel) tozlaşma arasında geçiş olasılığı olan $p \in [0,1]$ 'yi tanımla
for $t=1:(\text{Maksimum İterasyon Sayısı}=\text{N}_{iter})$
for $i=1:n$ (popülasyondaki tüm polenlerin sayısı)
if $\text{rand} < p$
Polenler polinatörler tarafından Lévy uçuşu (d -boyutlu Lévy dağılımı) ile taşınır
Global (küresel) tozlaşma (Biyotik Üreme) ile $x_i^{t+1} = x_i^t + \gamma \cdot \text{Lévy}(s, \lambda) * (x_i^t - p_{best_i}^t)$
Sınır değerlerin uygunluğunu kontrol et
else
ϵ , üniform dağılıma göre $[0,1]$ belirlenir
Lokal (yerel) tozlaşma (Abiyotik Üreme) ile $x_i^{t+1} = x_i^t + \epsilon \cdot (x_j^t - x_k^t)$
Sınır değerlerin uygunluğunu kontrol et
end if
İyileştirilmiş konuma göre yeni çözümleri değerlendir ve eğer çözümler daha iyiye, bunları popülasyon da güncelle
end for
O ana kadar gerçekleşmiş en iyi global çözümü belirle
end for
İşlem sonrası sonuçları görüntüle

2.2. Guguk Kuşu Arama Algoritması (CSA)

Guguk kuşu algoritması (CSA), guguk kuşlarının çoğalma davranışlarından esinlenerek tasarlanmış bir optimizasyon yöntemidir (Yang and Deb, 2009). Algoritmanın temelinde harika bir gözlem yeteneği olan guguk kuşlarının kendi yuvalarının haricinde başka kuşların yuvalarında yumurtalama isteği yatmaktadır. Bu durumdan kaynaklı olarak ta guguk kuşunun yumurtalarını bıraktığı yuvanın asıl sahibi olan kuş kendi yumurtalarından guguk kuşunun bırakmış olduğu yumurtayı algılayamaması neticesinde ilk yavru çıkma olasılığı yüksek olan yumurtayı ya yuvadan atar yada kendi yuvasını terk etme davranışını gösterir. Eğer yuva sahibi kuş, guguk kuşunun yumurtalarını tanıyamazsa bu yumurtaları da farketmeden kendi yumurtaları gibi sahiplenir. Sonuçta da bu algoritmanın ana felsefesi olan kuluçka parazitliği durumu ortaya çıkar. Algoritmanın üç ana prensibi vardır:

- Rastgele olarak belirlenecek yuvaya her bir guguk kuşu sadece bir tane yumurta bırakır.
- Yumurta kalitesi en iyi yuva bir sonraki nesile aktarılır.
- Konak yuvanın sahibi, bırakılan yumurtayı belirli bir pa (0,1) manevra parametresi olasılığıyla keşfeder. Yumurtayı keşfettiği durumda ise, ya yumurtayı yuvadan aşağıya atar ya da yuvayı terk ederek kendisine yeni bir yuva inşa eder.

Algoritmanın, problem boyutu, popülasyon sayısı, manevra olasılık (pa) değeri gibi parametreleri bulunmaktadır ve bunlar başlangıçtaki iterasyonda rastgele değerler olarak başlanır. Bu işlem konum vektörünün belirtilen sınırlar içerisinde değer almasıdır. Rastgele değerler olarak oluşan konum vektör değerlerinin hedef fonksiyon değerleri hesaplanır. Daha sonra bu hedef fonksiyonu değerleri karşılaştırılarak en iyi yuva bulunur. Konum vektörlerinin güncellenmesi sırasında alt sınır ve üst sınır değerlerinin aşıldığı durumlar meydana gelebilir. Dolayısıyla sınırları aşan konum değerleri alt sınır ve üst sınır değerlerine çekilir.

Sezgisel optimizasyon algoritmaları en iyi çözüme yaklaşmak için global (küresel) ve lokal (yerel) arama yapmaktadırlar. Algoritmaların varsa olası diğer çözümleri bulabilmeleri için global rassal yürüyüş ve lokal rassal yürüyüş yaklaşımlarının bir arada dengede kullanıldığı bir keşfe çıkmaları gerekmektedir (Gandomi vd., 2013). Bu yürüyüş hareketi manevra olasılık parametresi (pa) tarafından kontrol edilmektedir (Yang, 2014; Karagül, 2014). Global (küresel) rassal yürüyüşü Levy uçuşu ile ifade edilmiş olup denklem 4 ve 5 'de verilmiştir.

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \alpha \cdot \text{Lévy}(s, \lambda) * (x_i^t - n_{best_i}^t) \quad (4)$$

Denklem 4'de x_i^{t+1} çözüm vektörünü ifade ederken, i değişken sırasını ve t zaman değerini (iterasyon döngüsü içerisinde) temsil etmektedir. $\alpha > 0$, ilgili problemin ölçeğine bağlı olarak adım büyüklüğü ölçekleme faktörüdür. s adım büyüklüğünü ve n_{best} mevcut en iyi değeri ifade etmektedir. Fonksiyondaki Levy ifadesi ise denklem 5 'te verilmektedir.

$$\text{Lévy}(s, \lambda) = \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin(\frac{\pi \lambda}{2})}{\pi} \frac{1}{s^{1+\lambda}} (s \gg s_0 > 0) \quad (5)$$

En kötü yuvaların bir kısmı manevra olasılık parametresi (pa) ile keşfedilmesi ve bu oran doğrultusunda bazı yuvaların terkedilip yenilerinin inşa edilmesi söz konusu olacaktır. Bu durum ise Lokal (yerel) rassal yürüyüş denklemi ile aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$x_i^{t+1} = x_i^t + K * (x_j^t - x_k^t) \quad (6)$$

Bu denklemde x_j^t ve x_k^t yeni yuvaların konumları için oluşturulmuş ve rassal permütasyonla belirlenmiş rassal çözümlerin gerçekleştiği konum vektörleridir. K, bir konak yuva sahibi kuşun yuvadaki bir yabancı yumurtayı keşfetme olasılığına dayanarak manevra olasılık parametresi (pa) ile belirlenen güncelleme katsayısı olarak belirlenmiştir.

CSA algoritması, yumurtaların hayatta kalma oranını yükseltmek amacıyla yumurtaların bırakılacağı en uygun yuva araştırılmasını amaçlar. Geriye kalan yumurtaların büyüme ve olgun kuş haline dönüşmesinden itibaren guguk kuşları göç ederek yeni yaşama alanları ve böylece yeni hedefler belirleyecektir. Her bir guguk kuşunun sahip olduğu yumurta sayısı ve bir de guguk kuşunun en iyi yuvaya olan uzaklığı düşünülerek yumurtlama sahasındaki herhangi bir yumurta en iyi yuvaya gönderilir. Ayrıca her yuvaya karşılık birer guguk kuşu olduğu kabul edilir. Bu süreç, en iyi amaç fonksiyonu değerine sahip en iyi konum değeri elde edilene kadar devam eder. Guguk kuşu arama algoritmasının (CSA) sözde kodu Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. CSA Sözde Kodu.**Guguk Kuşu Arama Algoritması Kaba Kodu**

Amaç fonksiyonunu belirle: $f(x)$
n adet konak yuvası (başlangıç yuvası) üret
for t=1:(Maksimum İterasyon Sayısı= N_{iter})
for i=1:n (popülasyondaki tüm yuvaların sayısı)
Lévy uçuşu (d-boyutlu Lévy dağılımı) ile rassal guguk kuşu al
Global (küresel) arama ile $x_i^{t+1} = x_i^t + \alpha \cdot \text{Lévy}(s, \lambda) * (x_i^t - n_{best_i}^t)$
Sınır değerlerin uygunluğunu kontrol et
 F_i maliyetini bul
n adet yuva için rassal yuva seç
if $F_i < F_j$
j'yi yeni çözümle değiştir
end if
En kötü yuvaların bir kısmını (pa) olasılığı ile belirlenmiş yeni çözümlerle değiştir
Lokal (yerel) arama ile $x_i^{t+1} = x_i^t + K * (x_j^t - x_k^t)$
Sınır değerlerin uygunluğunu kontrol et
İyileştirilmiş konuma göre yeni çözümleri değerlendir ve eğer çözümler daha iyiyse, bunları popülasyonda güncelle
end for
O ana kadar gerçekleşmiş en iyi global çözümü belirle
end for
İşlem sonrası sonuçları görüntüle

2.3. Kuantum Davranışlı Çiçek Tozlaşma Algoritması (QFPA)

Kuantum davranışlı çiçek tozlaşma algoritması (QFPA) adı verilen yeni bir hibrid optimizasyon yöntemi ile global (küresel) tozlaşma kabiliyetini ve doğruluğunu geliştirmek için Çiçek Tozlaşma Algoritmasını (FPA) kuantum davranışlı arama mekanizması ile birleştirip önerilen QFPA algoritmasının diğer algoritmalar ile yakınsama hızı ve performans gelişimi değerlendirildi (Lu and Li, 2015).

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \gamma \cdot L(\lambda) * (x_i^t - p_{best_i}^t) \pm \alpha * |c^t - x_i^t| \cdot \ln\left(\frac{1}{u_i^t}\right) \quad (7)$$

Denklem 7'de x_i^{t+1} çözüm vektörünü ifade eder. α arama işlemi sırasında algoritmanın global (küresel) ve lokal (yerel) aramasını dengelemek için ayarlanması gereken önemli bir parametredir ve pozitif bir değerdir. x_i^t mevcut konum vektörü, c^t ise en iyi polen pozisyonlarının ortalama değeridir. u_i^t (0,1) aralığında rastgele sayılar dizisidir. Amaç x_i^t mevcut konumdan, küresel bir c^t noktasına olan mesafeyi ölçeklendirerek küresel tozlaşma gerçekleştirecek bir strateji oluşturmaktır. QFPA her bir yinelemesinde, her bir polen en iyi konumunu kaybeder ve en iyi konumu popülasyondaki diğer konumlarla karşılaştırarak küresel en iyi tozlaşmayı elde etmeye çalışır. Kuantum davranışlı çiçek tozlaşma algoritmasının (QFPA) sözde kodu Tablo 3'de gösterilmektedir.

Tablo 3. QFPA Sözde Kodu**Kuantum Davranışlı Çiçek Tozlaşma Algoritması Kaba Kodu**

Amaç fonksiyonunu belirle: $f(x)$

n boyutlu rastgele üretilmiş başlangıç polen popülasyonu üret

Popülasyondaki en iyi çözüm (p_{best}) tanımla

Global(küresel) ve Local (yerel) tozlaşma arasında geçiş olasılığı olan $p \in [0,1]$ 'yi tanımla

for $t=1:(\text{Maksimum İterasyon Sayısı}=\text{N}_{iter})$

Kuantum parametre değerlerini belirle

$$c^t = \left(\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n p_{best_{i,d}}^t \right)$$

for $i=1:n$ (popülasyondaki tüm polenlerin sayısı)

if $\text{rand} < p$

$$\alpha = 1 - \frac{t}{\text{N}_{iter}} * 0.5$$

$$u_i^t = \text{rand}(0,1)$$

Polenler polinatörler tarafından Lévy uçuşu (d -boyutlu Lévy dağılımı) ile taşınır

if $\text{rand} > 0.5$

Kuantum davranışlı global (küresel) tozlaşmayı (Biyotik Üreme) gerçekleştir

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \gamma \cdot L(\lambda) * (x_i^t - p_{best_i}^t) + \alpha * |c^t - x_i^t| \cdot \ln\left(\frac{1}{u_i^t}\right)$$

else

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \gamma \cdot L(\lambda) * (x_i^t - p_{best_i}^t) - \alpha * |c^t - x_i^t| \cdot \ln\left(\frac{1}{u_i^t}\right)$$

Sınır değerlerin uygunluğunu kontrol et

end if

else

ϵ , üniform dağılıma göre $[0,1]$ belirlenir

Lokal (yerel) tozlaşma (Abiyotik Üreme) ile $x_i^{t+1} = x_i^t + \epsilon \cdot (x_i^t - x_k^t)$

Sınır değerlerin uygunluğunu kontrol et

end if

İyileştirilmiş konuma göre yeni çözümleri değerlendir ve eğer çözümler daha iyiyse, bunları popülasyonda güncelle

end for

O ana kadar gerçekleşmiş en iyi global çözümü belirle

end for

İşlem sonrası sonuçları görüntüle

2.4. Kuantum Davranışlı Guguk Kuşu Arama Algoritması (QCSA)

Guguk kuşu arama algoritması (CSA), QFPA 'na benzer şekilde algoritmanın global (küresel) arama kabiliyetini ve doğruluğunu geliştirmek için kuantum davranışlı arama mekanizması ile birleştirildi. Yeni bir hibrid optimizasyon yöntemi olarak önerilen QCSA algoritmasının diğer algoritmalar ile yakınsama hızı ve performans gelişimi de değerlendirildi (Sun, vd., 2012).

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \alpha \cdot \text{Lévy}(s, \lambda) * (x_i^t - n_{best_i}^t) + \alpha_2 * |c^t - x_i^t| \cdot \ln\left(\frac{1}{u_i^t}\right) \quad (8)$$

Denklem 8'de x_i^{t+1} çözüm vektörünü ifade eder. α_2 arama işlemi sırasında algoritmanın global (küresel) ve lokal (yerel) aramasını dengelemek için ayarlanması gereken önemli bir parametredir ve pozitif bir değerdir. x_i^t mevcut konum vektörü, c^t ise en iyi yuva pozisyonlarının ortalama değeridir. u_i^t (0,1) aralığının da rastgele sayılar dizisidir. Amaç x_i^t mevcut konumdan, küresel bir c^t noktasına olan mesafeyi ölçeklendirerek küresel arama gerçekleştirecek bir strateji oluşturmaktır. QCSA her bir yinelemesinde, her bir guguk

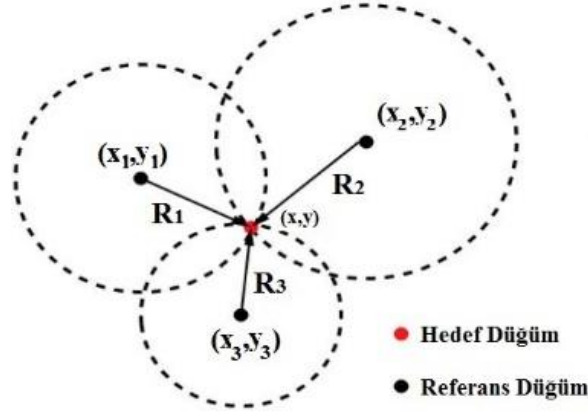
kuşu en iyi yuvayı kaybeder ve en iyi yuvayı popülasyondaki diğer yuvalarla karşılaştırarak küresel en iyi konumu elde etmeye çalışır. Kuantum davranışlı guguk kuşu arama algoritmasının (QCSA), sözde kodu Tablo 4'de gösterilmektedir.

Tablo 4. QCSA Sözde Kodu.

Kuantum Davranışlı Guguk Kuşu Arama Algoritması Kaba Kodu
Amaç fonksiyonunu belirle: $f(x)$
n adet konak yuvası (başlangıç yuvası) üret
for $t=1:(\text{Maksimum İterasyon Sayısı}=\text{N}_{\text{iter}})$
Kuantum parametre değerlerini belirle
$c^t = \left(\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n n_{best_{i,d}}^t\right)$
for $i=1:n$ (popülasyondaki tüm yuvaların sayısı)
$\alpha_2 = 1 - \frac{t}{\text{N}_{\text{iter}}} * 0.5$
$u_i^t = rand(0,1)$
Lévy uçuşu (d-boyutlu Lévy dağılımı) ile rassal guguk kuşu al
if $rand > 0.5$
Kuantum davranışlı global (küresel) aramayı gerçekleştir
$x_i^{t+1} = x_i^t + \alpha \cdot \text{Lévy}(s, \lambda) * (x_i^t - n_{best_i}^t) + \alpha_2 * c^t - x_i^t \cdot \ln\left(\frac{1}{u_i^t}\right)$
else
$x_i^{t+1} = x_i^t + \alpha \cdot \text{Lévy}(s, \lambda) * (x_i^t - n_{best_i}^t) - \alpha_2 * c^t - x_i^t \cdot \ln\left(\frac{1}{u_i^t}\right)$
end if
Sınır değerlerin uygunluğunu kontrol et
F_i maliyetini bul
n adet yuva için rassal yuva seç
if $F_i < F_j$
j 'yi yeni çözümle değiştir
end if
En kötü yuvaların bir kısmını (pa) olasılığı ile belirlenmiş yeni çözümlerle değiştir
Lokal (yerel) arama ile $x_i^{t+1} = x_i^t + K * (x_j^t - x_k^t)$
Sınır değerlerin uygunluğunu kontrol et
İyileştirilmiş konuma göre yeni çözümleri değerlendir ve eğer çözümler daha iyiye, bunları popülasyonda güncelle
end for
O ana kadar gerçekleşmiş en iyi global çözümü belirle
end for
İşlem sonrası sonuçları görüntüle

3. Sezgisel Algoritmalara Dayalı Kablosuz Sensör Ağlarında Konum Belirleme

KSA'larda konumlandırma probleminin çözümü için çeşitli hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Bunların en güvenilir ve uygulanabilir yöntemi mesafeye dayalı hesaplama yöntemidir. Şekil 1'de belirlenen dairesel algoritmali mesafeye dayalı konum belirleme şablonuna göre konum bilgisi belirli hata sınırları dâhilinde saptanabilir. Düğümler arasındaki veri akışının nasıl olacağına karar verilirken düğümlerin ağ içerisindeki görevleri düşünülmelidir. Anchor (çapa) düğüm haberleşmeyi sağlayacak olan düğüm noktalarıdır. Sensörlerin konumunu saptamak için en az üç (3) referans düğümü gereklidir. Bu referans düğümlerin yardımıyla hedef sensörün komşularına olan uzaklığı hesaplanarak sensörün yeri tespit edilir.



Şekil 1. KSA 'da dairesel algoritmalı mesafeye dayalı konum belirleme

KSA'larda konum belirleme probleminde N adet referans düğüm ile M adet hedef sensörlerin olduğunu varsayarsak, referans düğümlerin koordinatları (x_i) , hedef düğümlerin tahmini konum koordinatları (x_j, y_j) gibi düşünülebilir.

Referans düğümleri ile hedef düğümler arasındaki ölçülen mesafeye gerçek uzaklık (d_i) denir. Hedef düğümün koordinatları (x, y) , i. referans düğümün koordinatları (x_i, y_i) olduğunda denklemi aşağıdaki gibidir.

$$d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (9)$$

Ölçülen gerçek uzaklığa gürültü (n_i) eklenerek tahmini uzaklık (d_{in}) bulunur. Bir sensörden i. referans düğümüne kadar elde edilen tahmini mesafenin denklemi aşağıdaki gibidir.

$$d_{in} = d_i + n_i \quad (10)$$

KSA'larda bilinmeyen düğümün konum tahmini, konumlandırma hassasiyetini temsil eden bir amaç fonksiyonunun en aza indirilmesini içeren bir optimizasyon problemi olarak formüle edilebilir. Tanımlanan amaç fonksiyonu denklemi aşağıdaki gibidir (Sesli vd., 2016). Bu denklemde $f(x,y)$ minimum amaç fonksiyonu değerini, k ise anchor (çapa) düğüm sayısını temsil etmektedir.

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^k \frac{|d_{in} - \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}|}{d_{in}} \quad (11)$$

Sezgisel optimizasyon algoritmaları, hata işlevini en aza indirerek bilinmeyen düğümlerin en uygun konumunu geliştirir. Bu simülasyonun amacı tüm sensör düğümlerinin iki boyutlu bir sensör alanına konumlandırıldığı varsayılarak hedef düğümlerin konumunu optimizasyon algoritmaları kullanarak tespit etmektir. Tahmin edilen düğüm konumlarının gerçek düğüm konumları ile arasındaki hatayı hesaplamak için denklem 12 'deki hata fonksiyonu kullanılmıştır. Bu hata fonksiyonu (E), tahmin edilen düğüm konumlarının (X_i, Y_i) , gerçek düğüm konumları (x_i, y_i) arasındaki uzaklığın bulunmasında kullanılan, hatanın büyüklüğünü ölçen bir hesaplama yöntemidir. Denklemdaki (M) hedef düğüm sayısını ifade eder. Hata fonksiyonu (E), her zaman pozitif değerlidir ve bu fonksiyon değerinin sıfıra yakın olması durumunda sistemimiz daha iyi performans gösterir.

$$E = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sqrt{(x_i - X_i)^2 + (y_i - Y_i)^2} \quad (12)$$

4. Simülasyon

Bu kısımda KSA'larda hedef sensörlerin lokalizasyon probleminin çözümünde FPA ve CSA sezgisel optimizasyon yöntemleri ile bu algoritmaların küresel arama kabiliyetini ve doğruluğunu geliştirmek amacıyla kuantum davranışlı QFPA ve QCSA yöntemleri kullanılarak benzer problem çözümüne yönelik performansları karşılaştırılmıştır.

4.1. Parametre Değerleri

Algoritmalarda kullanılan parametre değerleri Tablo 5 ve 6'da sunulmuştur. Algoritmaların ortak değişkenleri için aynı değerler kullanılmıştır.

Tablo 5. FPA ve QFPA Parametreleri

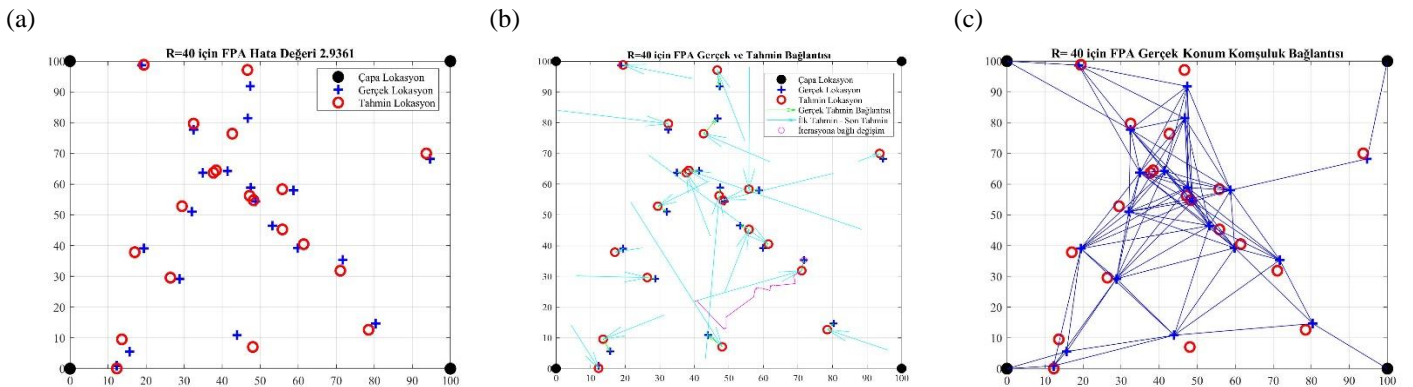
Parametreler	Değerler
Boyut Sayısı (d)	2
Popülasyon Sayısı (Polen Sayısı)	20
Olasılık Anahtarı (p)	0.8
İterasyon Sayısı	200

Tablo 6. CSA ve QCSA Parametreleri

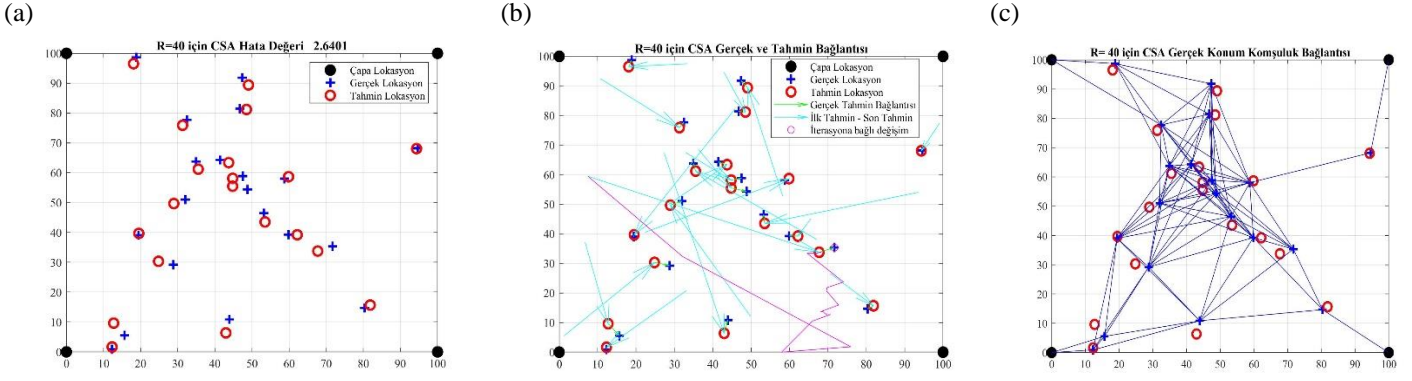
Parametreler	Değerler
Boyut Sayısı (d)	2
Popülasyon Sayısı (Yuva Sayısı)	20
Manevra Olasılığı (pa)	0.25
İterasyon Sayısı	200

5. Bulgular

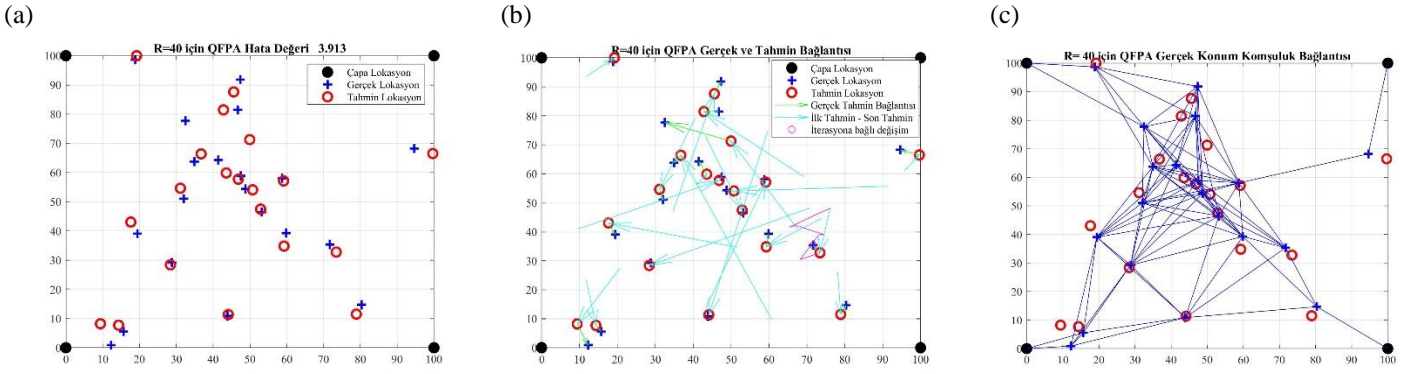
MATLAB programında 100 x100 lük bir alanda köşelere yerleştirilmiş 4 adet referans düğüm ile 20 adet düğüm noktasının yer tespiti FPA, CSA, QFPA ve QCSA algoritmaları ile yapılmıştır. Her bir sensör düğümünün kapsama alan yarıçapı $R = 40$ birim ve $R=50$ birim alınarak tüm algoritmaların aynı koordinatların tespiti amacıyla benzer ağ dağılımını kullanarak aynı konumlandırma görevini gerçekleştirmeleri sağlanmıştır. Simülasyon 1'e ait grafikler Şekil 2,3,4,5,6,7,8,9'da verilmiştir. Simülasyonların yapıldığı grafiklerin içerisinde mavi artı işaretleri, düğümlerin gerçek yerlerini, kırmızı yuvarlak işaretler düğümlerin algoritmalar tarafından tahmin edilen konumlarını, siyah yuvarlaklar ise referans düğümlerinin (çapa) yerlerini göstermektedir. Ayrıca Şekil b'de yer alan yeşil ok işareti ile gerçek düğüm yerleri ile algoritmaların tahmin ettiği konumları belirtilmiş olup açık mavi ok ile de algoritmaların tahmin edilen konuma olan ilk ve son hareketini temsil etmek amacıyla verilmiştir. Aynı grafik üzerinde yer alan magenta renk ile de algoritmalar tarafından tahmin edilen konumların her iterasyon sonunda ilk tahmin noktasından son tahmin noktasına olan değişimini izlemek amacıyla gösterilmiştir. Şekil 2a'da FPA için $R=40$ birim alınarak yapılan simülasyon görülmektedir. Şekil 2b'de düğümlerin gerçek konumları ile tahmin edilen konumları arasındaki uzaklıklar gösterilmiştir. Şekil 2c'de ise, $R=40$ br için gerçekleşen gerçek konumların ağ bağlantısı görülmektedir. Şekil 3a, 3b, 3c'de Guguk kuşu arama algoritmasının (CSA); Şekil 4a, 4b, 4c'de Kuantum Davranışlı FPA (QFPA); Şekil 5a, 5b, 5c'de ise Kuantum Davranışlı CSA (QCSA) 'nın, $R=40$ birimde verdiği sonuçlar gösterilmiştir. Şekil 6a, 6b, 6c'de FPA Algoritmasının $R=50$ birimde verdiği sonuçlar; Şekil 7a, 7b, 7c'de CSA Algoritmasının; Şekil 8a, 8b, 8c'de Kuantum Davranışlı FPA (QFPA)'nın; Şekil 9a, 9b, 9c'de ise Kuantum Davranışlı CSA (QCSA) 'nın, $R=50$ birimde verdiği sonuçlar gösterilmiştir. Tüm algoritmaların mevcut problem çözümüne olan yaklaşımlarını değerlendirmek amacıyla $R=40$ br deki minimum amaç fonksiyonu değerleri Şekil 10a'da, $R=50$ br deki minimum amaç fonksiyonu değerleride Şekil 10b'de gösterilmektedir. Simülasyon, $R=40$ birim ve $R=50$ birim olacak şekilde, tüm algoritmalar için 100 kere tekrarlanmıştır. Hata oranlarının ayrıntılı tablosu on adet simülasyon için (Simülasyon 1'den, Simülasyon 10'a kadar) Tablo 7'de görülmektedir. 100 adet simülasyon için ortalama değerleri gösteren tablo ise Tablo 8'de sunulmuştur.



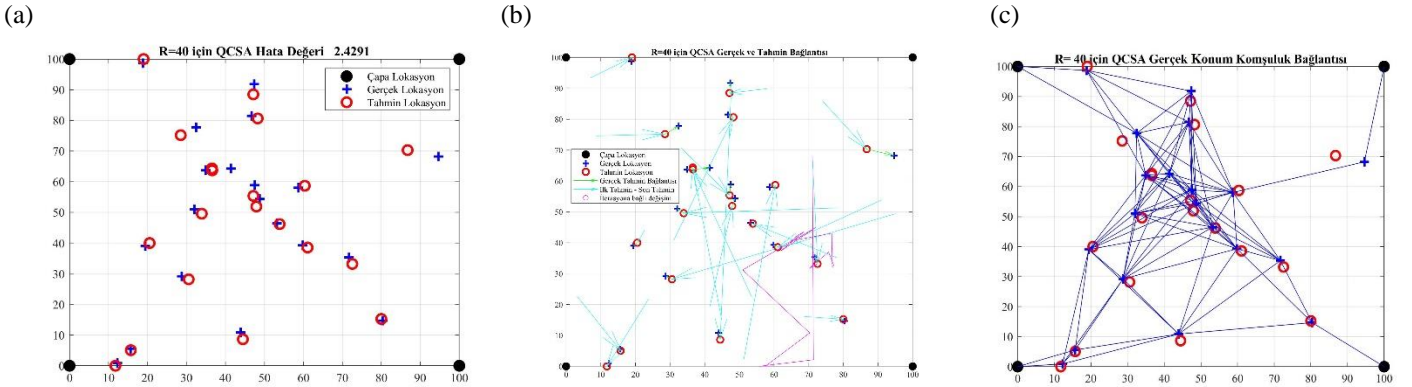
Şekil 2. (a) $R=40$ için FPA Hata Değeri; (b) $R=40$ için FPA Konum Bağlantısı; (c) $R=40$ için FPA Gerçek Konum Komşuluk Ağı



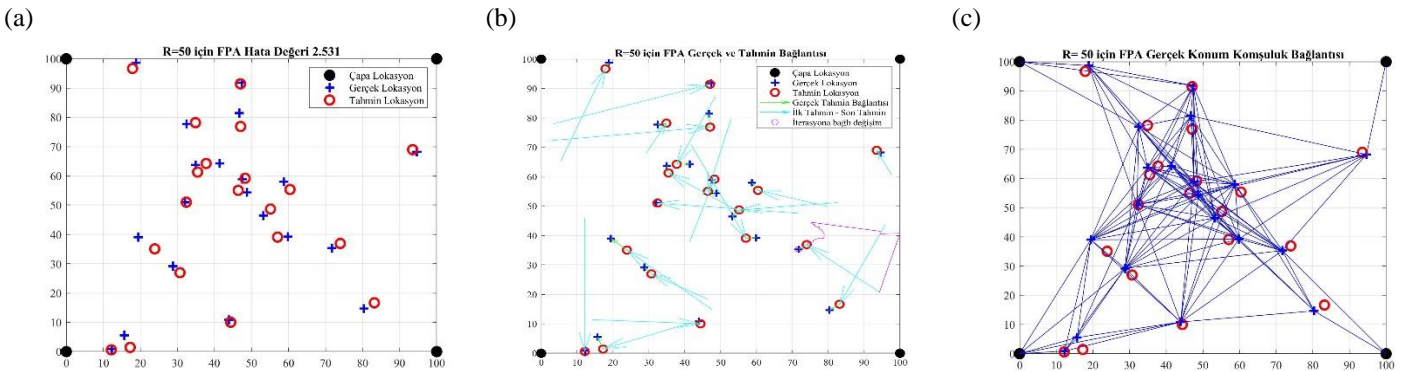
Şekil 3. (a) R=40 için CSA Hata Değeri; (b) R=40 için CSA Konum Bağlantısı; (c) R=40 için CSA Gerçek Konum Komşuluk Ağı



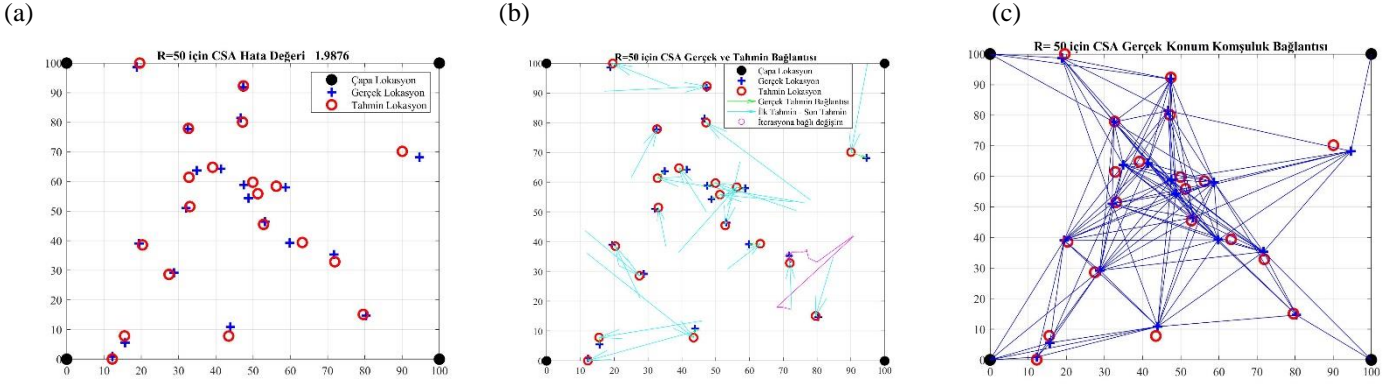
Şekil 4.(a) R=40 için QFPA Hata Değeri;(b) R=40 için QFPA Konum Bağlantısı;(c) R=40 için QFPA Gerçek Konum Komşuluk Ağı



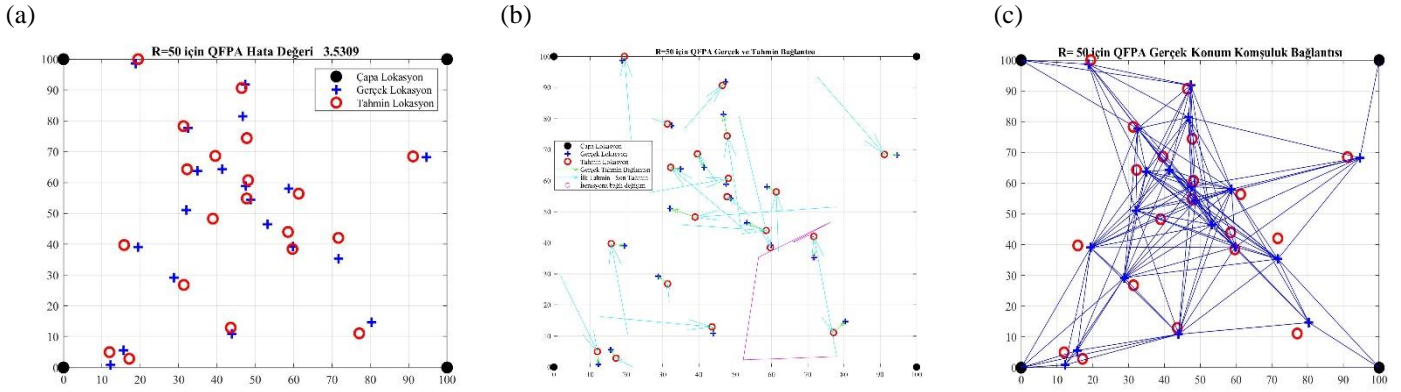
Şekil 5.(a)R=40 için QCSA Hata Değeri;(b) R=40 için QCSA Konum Bağlantısı;(c) R=40 için QCSA Gerçek Konum Komşuluk Ağı



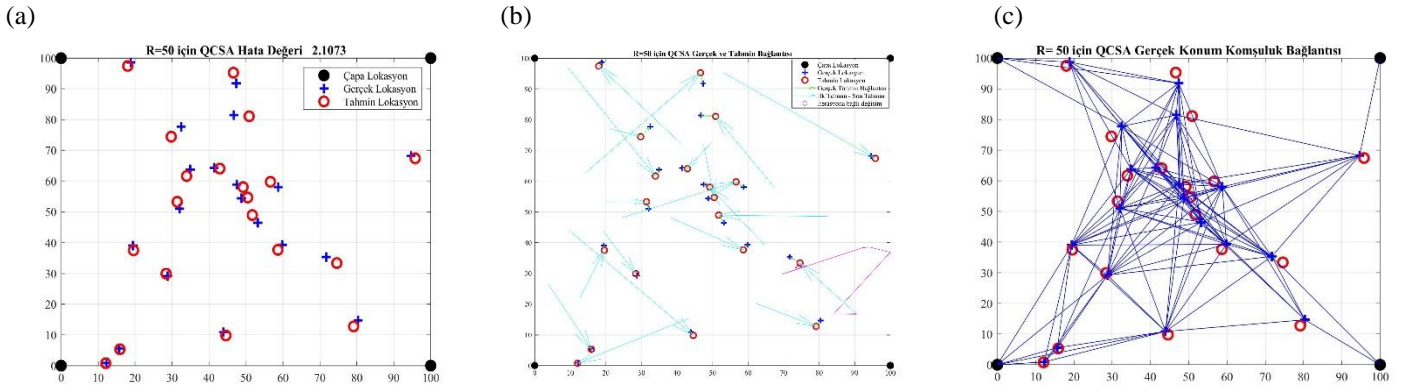
Şekil 6. (a) R=50 için FPA Hata Değeri; (b) R=50 için FPA Konum Bağlantısı; (c) R=50 için FPA Gerçek Konum Komşuluk Ağı



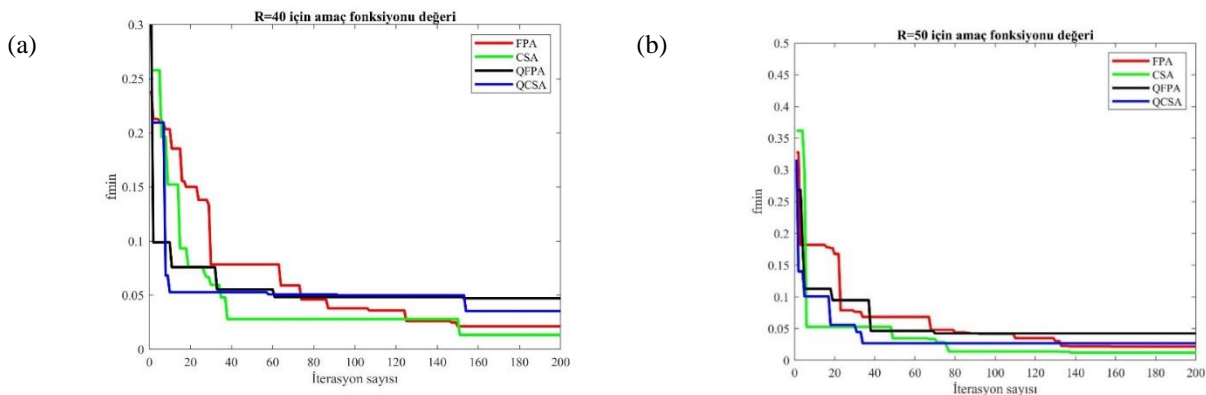
Şekil 7. (a) R=50 için CSA Hata Değeri; (b) R=50 için CSA Konum Bağlantısı; (c) R=50 için CSA Gerçek Konum Komşuluk Ağı



Şekil 8.(a) R=50 için QFPA Hata Değeri;(b) R=50 için QFPA Konum Bağlantısı;(c) R=50 için QFPA Gerçek Konum Komşuluk Ağı



Şekil 9.(a)R=50 için QCSA Hata Değeri;(b) R=50 için QCSA Konum Bağlantısı;(c) R=50 için QCSA Gerçek Konum Komşuluk Ağı



Şekil 10. (a) R=40 için minimum amaç fonksiyonu değeri; (b) R=50 için minimum amaç fonksiyonu değeri

Tablo 7. 4 Anchor ve 20 Sensör için Hata Oranları Tablosu (10 adet simülasyon)

Simülasyon Sayısı	FPA		CSA		QFPA		QCSA	
	R=40	R=50	R=40	R=50	R=40	R=50	R=40	R=50
1. Simülasyon	2.9361	2.5310	2.6401	1.9876	3.9130	3.5309	2.4291	2.1073
2. Simülasyon	3.0327	2.7022	2.4346	2.3653	4.3706	4.9210	2.7616	2.8041
3. Simülasyon	3.4206	3.5314	1.8346	1.8153	3.9241	4.6316	3.0108	2.7360
4. Simülasyon	2.7745	2.7411	2.0437	1.9605	3.9535	3.8212	2.5862	2.4671
5. Simülasyon	2.5435	2.2068	2.5188	2.3566	5.9581	3.1776	3.0033	2.5460
6. Simülasyon	2.6600	2.5344	2.0268	1.8583	5.2708	4.7476	2.4608	2.7605
7. Simülasyon	3.6284	3.2115	2.3703	2.3903	4.2473	4.3124	2.5480	2.2365
8. Simülasyon	2.6627	2.8247	1.8666	2.0273	5.5851	4.0499	2.5024	2.7307
9. Simülasyon	2.5174	2.4670	2.6081	2.6251	4.7675	4.6403	2.4741	3.1643
10. Simülasyon	3.3107	3.2335	2.4200	2.5526	6.0665	5.3209	2.8836	2.6704
Ortalama	2.9084	2.7500	2.2604	2.1540	4.6656	4.2036	2.6418	2.6169

Tablo 8. 100 adet simülasyon için ortalama hata oranları tablosu

İletim Mesafesi (R)	R=40	R=50
FPA	2.6876	2.6295
CSA	2.3403	2.3009
QFPA	4.9860	4.6143
QCSA	2.7060	2.6598

6. Tartışma ve Sonuç

Çapa yoğunluğu, düğüm yoğunluğu ve iletim aralığı gibi parametrelerin, ortalama konumlandırma hatası ve konumlandırma başarı oranına göre önerilen algoritma üzerindeki etkilerini incelemek için benzer ağ dağılımı kullanılarak aynı konumlandırma görevini gerçekleştirmek amacıyla kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Tablo 7 ve Tablo 8’de görüldüğü gibi, R mesafesi arttıkça, FPA, CSA, QFPA ve QCSA için hata oranları genel olarak düşmektedir. Bu durumda ağ üzerindeki bağlantı sayısının artışına bağlı olarak düğümlerin daha fazla veri ile konumlarını belirlemeleri sağlanmıştır. Deneysel sonuçlar, standart guguk kuşu arama algoritmasının benzer ağ dağılımı üzerinde FPA algoritmasına kıyasla bu algoritmaların kuantum davranışlarına göre hem konumlandırma hatasını azaltabildiğini hemde minimum amaç fonksiyonu değerini üretebildiğini göstermiştir. Ayrıca deneysel sonuçlara göre kuantum davranışlı çiçek tozlaşma algoritmasının (QFPA) ve kuantum davranışlı guguk kuşu arama algoritmasının (QCSA), standart algoritmalara göre konumlandırma hata oranlarının, minimum amaç fonksiyonu için yakınsama hızını ve çözümlerin kalitesini etkili bir şekilde geliştirilebileceğide Şekil 10a ve Şekil 10b ‘de açıkça görülmektedir. Sonuç olarak, kablosuz sensor ağlarında konum belirleme problemi sezgisel algoritmalar ile çözümlenmeye çalışılmış olup CSA’nın FPA, QFPA ve QCSA ‘ya göre en az hata değeri ile gerçek konumun tespitinde daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Referanslar

- Abdel-Basset, M. and Shawky, L.A. (2019). Flower Pollination Algorithm: A Comprehensive Review. Springer Science and Business Media B.V., part of Springer Nature. Vol. 52, pp 2533–2557, 2019.
- Abdel-Raouf, O., Abdel-Baset, M., El-henawy, I. (2014). A New Hybrid Flower Pollination Algorithm for Solving Constrained Global Optimization Problems. International Journal of Applied Operational Research. Vol. 4, no. 2, pp. 1-13, 2014.
- Akyildiz, I.F., Su, W. and Sankarasubramaniam, Y. (2002). Wireless Sensor Networks: A Survey. Computer Networks. Vol. 38, no. 4, pp. 393-422, 2002.
- Alrajeh, N. A., Bashir, M. and Shams, B. (2013). Localization Techniques in Wireless Sensor Networks. Hindawi Publishing Corporation International Journal of Distributed Sensor Networks, International Journal of Distributed Sensor Networks. Vol. 13, No. 6, pp. 1-9, 2013.
- Al-qaness, M. A. A., Ewees, A. A., Hong, F. and El Aziz, M. A. (2020). Optimization Method for Forecasting Confirmed Cases of COVID-19 in China, Journal of Clinical Medicine. Vol. 9, no. 3, 674, 2020. doi:10.3390/jcm9030674
- Aspnes, J., Eren, T. and Goldenberg, D. (2006). A Theory of Network Localization. IEEE Transactions on Mobile Computing. Vol. 5, no. 12, pp. 1663–1678, 2006.
- Ateş, V. and Necaattin, B. (2017). Short-Term Load Forecasting Model Using Flower Pollination Algorithm, International Scientific and Vocational Journal (ISVOS JOURNAL). Vol. 1, no.1, pp. 22-29, 2017.
- Bekçibaşı, U., Tenruh, M. (2012). Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Konum Saptama Teknikleri ve Mesafe Bağımlı Tekniklerde Dördüncü Çapa Yaklaşımı, Akademik Bilişim'12 - XIV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, 2012.
- Chen, C. C., Chang, C. Y., and Li, Y. N. (2012). Range-Free Localization Scheme in Wireless Sensor Networks Based on Bilateralation. Hindawi Publishing Corporation International Journal of Distributed Sensor Networks. Vol. 9, no. 1, 2012.
- Cheng, J. and Xia, L. (2016). An Effective Cuckoo Search Algorithm for Node Localization in Wireless Sensor Network. Sensors 2016. Vol. 16, no.9, 1390, 2016. DOI:10.3390/s16091390
- Djeloul, H., Layeb, A. and Chikhi S. (2014). Quantum Inspired Cuckoo Search Algorithm for Graph Coloring. International Journal of Bio-Inspired Computation. ISSN: 1758-0366, vol.7, no.3, pp 183–194, 2014. DOI: 10.1504/IJBIC.2015.069554
- Doğru, A. S., Temel, B., Eren, T. (2019). dKablosuz Sensör Ağlarında Konum Belirlemede Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Yarasa Algoritması Yöntemlerinin Karşılaştırılması. IJISAE International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering, UMAGD. Vol. 11, No. 3, pp. 793-801, 2019.
- Eren, T. (2017). The Effects of Random Geometric Graph Structure and Clustering on Localizability of Sensor Networks. International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 13, no.12, pp. 1-14, 2017.
- Eren, T. (2016). Graph Invariants for Unique Localizability in Cooperative Localization of Wireless Sensor Networks: Rigidity Index and Redundancy Index, Ad Hoc Networks, vol. 44, pp. 32-45, 2016.
- Eren, T. (2011). Cooperative Localization in Wireless ad Hoc and Sensor Networks Using Hybrid Distance and Bearing (angle of arrival) Measurements. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 2011, 2011:72.
- Eren, T. Goldenberg, D., Whiteley, W. (2004). Rigidity, Computation and Randomization in Network Localization. In Proceedings of the 2004 International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2004). Hong Kong, pp. 2673–2684.
- Fouad, A., Zenger, K. and Gao, X. Z. (2016). A Novel Flower Pollination Algorithm Based on Genetic Algorithm Operators. Proceedings of The 9th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation, EUROSIM 2016, The 57th SIMS Conference on Simulation and Modelling SIMS, Finland. No. 142, pp. 1060-1066, 2016. DOI: 10.3384/ecp171421060
- Gandomi, A. H., Yang, X. S., Talatahari, S. and Alavi, A.H. (2013). Metaheuristic Algorithms in Modeling and Optimization. Metaheuristic Applications in Structures and Infrastructures. Newnes, 2013.

- Goyal, S. and Patterh, M. S. (2015). Flower Pollination Algorithm Based Localization of Wireless Sensor Network, 2nd International Conference on Recent Advances in Engineering & Computational Sciences (RAECS), Chandigarh, pp. 1-5, 2015, DOI: 10.1109/RAECS.2015.7453299
- Gupta, G. P., (2017). Improved Cuckoo Search-based Clustering Protokol for Wireless Sensor Networks. 6th International Conference on Smart Computing and Communications, ICSCC. Vol. 125, pp 234-240, 2017.
- Kadioğlu, T., Dinçer, H., Kuzlu, M. (2010). Kablosuz Duyarga Ağlarında Konum Belirleme. Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Ulusal Konferansı (ELECO), pp. 408-413, 2010.
- Karagül, K. (2014). Guguk Kuşu Algoritması: Bir Plastik Atık Toplama Uygulaması, 15th International Symposium on Econometrics, Operations Research and Statistic, Turkey. Vol. 15, pp. 775-784, 2014.
- Kartous, W., Layeb, A. and Chikhi, S. (2014). New Quantum Cuckoo Search Algorithm for Multiple Sequence Alignment. Journal of Intelligent Systems, De Gruyter. Vol. 23, no.3, pp 261-275, 2014. DOI 10.1515/jisys-2013-0052
- Keswani K. and Bhaskar A. (2018). Flower Pollination and Genetic Alortihm Based Optimization for Node Deployment in Wireless Sensor Networks. International Journal of Engineering Technologies and Management Research, Communication, Integrated Networks & Signal Processing-CINSP. Vol. 5, no. 2, pp. 281-293, 2018. DOI: 10.5281/zenodo.1244541
- Lu, K. and Li, H. (2015). Quantum-Behaved Flower Pollination Algorithm. 14th International Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering and Science (DCABES) , pp. 66-69, 2015. DOI: 10.1109 / DCABES.2015.24
- Lukasik, S. and Kowalski, A. (2015). Study of Flower Pollination Algorithm for Continuous Optimization In book: Intelligent Systems, 2015, DOI:10.1007/978-3-319-11313-5_40
- Nabil, E. (2016). A Modified Flower Pollination Algorithm for Global Optimization. Expert Systems with Applications, An International Journal. Vol. 57, pp. 192-203, 2016.
- Pan, J. S., Dao, T. K., Pan, T. S., Nguyen, T. T., Chu, S. C., Roddick, J. F. (2017). An Improvement of Flower Pollination Algorithm for Node Localization Optimization in WSN. Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Ubiquitous International. Vol. 8, no. 2, pp. 486-499, 2017.
- Patwari, N., Ash, J. N., Kyperountas, S. (2005). Locating The Nodes: Cooperative Localization in Wireless Sensor Networks. IEEE Signal Processing Magazine. Vol. 22, no. 4, pp. 54-69, 2005.
- Pehlivanoğlu, Y. V. (2017). Optimizasyon: Temel Kavramlar & Yöntemler (1'nci baskı), Ankara, 2017.
- Quaar, F. and Khelil, N. (2018). Solving Initial Value Problems by Flower Pollination Algorithm, American Journal of Electrical and Computer Engineering. Vol. 2, no. 2, pp. 31-36, 2018. DOI: 10.11648/j.ajece.20180202.14
- Roubick, D. W. (1995). Pollination of Cultivated Plants in The Tropics. FAO Agricultural Services Bulletin 118, ISSN 1010-1365, p.196, 1995.
- Sesli, E. and Hacıoğlu, G. (2016). RSSI and Flower Pollination Algorithm Based Location Estimation for Wireless Sensor Networks. UMAGD International Journal of Engineering Research and Development. Vol. 4, no.1, pp. 13-17, 2016.
- Sharawi, M., Emary, E., Saroit, I. A. and El-Mahdy, H. (2014). Flower Pollination Optimization Algorithm for Wireless Sensor Network Lifetime Global Optimization, International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE). ISSN: 2231-2307, vol. 4, no. 3, 2014.
- Shrivastava, A. and Bharti, P. (2015). Localization Techniques for Wireless Sensor Networks. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887). Vol. 116, no. 12, 2015. DOI: 10.5120 / 20387-2650
- Singh S. P. and Sharma S. C. (2015). Range Free Localization Techniques in Wireless Sensor Networks: A Review. 3rd International Conference on Recent Trends in Computing (ICRTC). Vol. 57, pp. 7-16, 2015.
- Sivakumar, S. and Venkatesan, R. (2014). Error Minimization in Localization of Wireless Sensor Networks using Modified Cuckoo Search with Mobile Anchor Positioning (MCS-Map) Algorithm. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887). Vol. 95, no. 6, pp. 1-8, 2014.

- Sun, J., Fang, W., Wu, X., Palade, V., and Xu, W. (2012). Quantum-behaved particle swarm optimization: Analysis of individual particle behavior and parameter selection. *Evol. Comput.* Vol. 20, no. 3, pp. 349–393, 2012. DOI: 10.1162/EVCO_a_00049
- Türkoral, T., Tamer, Ö., Yetiş, S., İnanç, E., Çetin, L. (2016). Alınan Sinyal Gücü Göstergesi (RSSI) Metriği Kullanılarak İç Mekan Mesafe Tahmini. *Elektrik, Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Konferansı (ELECO)*. pp. 397-401, 2016.
- Usman, A. M, Yusof, U. K. and Naim, S. (2018). Cuckoo Inspired Algorithms for Feature Selection in Heart Disease Prediction. *International Journal of Advances in Intelligent Informatics*. ISSN 2442-6571, vol. 4, no. 2, pp 95–106, 2018. DOI: 10.26555/ijain.v4i2.245
- Wang, Z., Huamao, X., He, D. and Chan, S. (2019). Wireless Sensor Network Deployment Optimization Based on Two Flower Pollination Algorithms. In *IEEE Access*. Vol. 7, pp. 180590-180608, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2959949
- Wymeersch, H., Lien, J. and Win, M. (2009). Cooperative Localization in Wireless Networks. *Proceedings of the IEEE*. Vol. 97, no. 2, pp. 427-450, 2009.
- Yang, X.S., Karamanoglu, M. and He, X. (2014). Flower Pollination Algorithm: A Novel Approach for Multiobjective Optimization. *Eng Optim.* Vol. 46, no. 9, pp. 1222–1237, 2014.
- Yang, X.S. (2012). Flower Pollination Algorithm for Global Optimization. In *International Conference on Unconventional Computing and Natural Computation*; Springer: Berlin, Germany, pp. 240–249, 2012.
- Yang, X.S. and Deb, S. (2009). Cuckoo Search via Levy Flights. *Nature & Biologically Inspired Computing*, pp. 210 - 214, 2009.
- Yazdi, P.G. (2012). Localization of Wireless Sensor Networks for Industrial Applications. Eastern Mediterranean University, Master of Science in Mechanical Engineering, 2012.
- Zeybekoğlu, U. (2017). Metasezgisel Optimizasyon Yöntemlerinin Performanslarının Basit Bir Su Dağıtım Şebekesi Kullanılarak Araştırılması. *The Black Sea Journal of Sciences (KFBD)*. ISSN: 2564-7377, Vol. 7, no. 2, pp. 57-67, 2017.
- Zhang, Q., Wang, J., Jin, C., Ye, J., Changlin, M. and Zhang, W. (2008). Genetic Algorithm Based Wireless Sensor Network Localization. *Proc. – 4th Int. Conf. Nat. Comput. (ICNC)*. Vol. 1, no. 2007, pp. 608–613, 2008. DOI: 10.1109/ICNC.2008.206



Simülasyon Çalışması ile Deprem Senaryosu Oluşturulması ve Kırıkkale İli Kayıp Tahmin Analizi

Creating Earthquake Scenario with Simulation Study and Analysis of Loss Prediction in Kırıkkale Province

Sema Çiftçi¹, Zeynep Çakırer¹, Ümit Sami Sakallı¹

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yenışehir, Ankara Cd. 7.Km, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 17/03/2020

Kabul / Accepted: 28/04/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Depremler doğal afetlerin en sık görülenlerinden biridir ve güçlü depremlerin etkileri yıkıcı olabilir. Türkiye coğrafi konumu itibarıyla deprem açısından oldukça riskli bir bölgede yer almaktadır. Gelişen teknolojiye rağmen dünyanın hiçbir yerinde depremlerin yeri ve zamanı hala tahmin edilememektedir. Deprem senaryoları, olası bir deprem sonucunda ortaya çıkabilecek kayıpların tahminini sağlar. Olası bir deprem durumunda oluşabilecek hasarın tahmin edilebilmesi, deprem sonrası sürecin planlanmasını daha etkin bir hale getirecektir; bu da daha az can ve mal kaybı anlamına gelmektedir. Bu çalışmada Kırıkkale ilinde yer alan 28 merkez mahalle için simülasyon modeli geliştirilerek, oluşabilecek bir deprem sonucunda kayıplar tahmin edilmiştir. Simülasyonda kullanılan parametreler, mahallelerin zemin profil bilgisi ve bina kat sayılarıdır. İki parametre arasındaki ilişkiye göre kayıplar tahmin edilmiştir. Deprem senaryosu çıktuları; kitlesel bir vaka durumunda, yaralı önceliklendirilebilmesi için uygulanan triyaj işlemine göre ağır yaralı, geciktirilebilir yaralı, hafif yaralı ve ölü olmak üzere dört farklı şekilde belirlenmiştir. Simülasyon ile deprem senaryosu esnek bir şekilde tasarlandığı için, farklı deprem büyüklükleri ve bölgeler içinde kullanılabilmesi önem taşımaktadır. Bununla birlikte yapılacak çalışma, Kırıkkale ili için geliştirilen ilk deprem senaryosu örneğidir.

Anahtar Kelimeler

“Deprem, Deprem Senaryosu, Kayıp Tahmini, Triage İşlemi”

Abstract

Earthquakes are one of the most prevalent natural disasters and its effect may be devastating. Turkey is located on a high seismicity region. In spite of the comprehensive technology, the location and time of earthquakes are still unpredictable anywhere on the earth. Constructing earthquake scenarios make easier to predict the damages for a possible earthquake. Nevertheless, estimating the damage that might take place on an earthquake event will enable effective post-earthquake planning, which is essential for reducing loss of lives and economy. In this paper, the probable damages related to a possible earthquake has been predicted by using a simulation program for 28 central neighborhoods in Kırıkkale. The parameters used in the simulation are “the soil profile of the neighborhoods” and “the number of the stories of the buildings”. The possible damages have been estimated according to the correlation between these parameters. According to the earthquake scenario outputs, in case of a mass casualty case, four different results have been obtained according to the triage process applied for prioritizing the injured; immediate, urgent, delayed and dead. Since the simulation and the earthquake scenarios are flexibly designed, it is important to be able to be used for different earthquake magnitudes and regions. Besides, this is the first earthquake scenario study developed for Kırıkkale region.

Key Words

“Earthquake, Earthquake Scenario, Damage Estimation, Triage Process”

1. Giriş

Depremler yeryüzündeki kırılmalar sebebiyle aniden meydana gelen titreşimlerin dalgalar şeklinde yayılması ile yer yüzeyini ve geçtikleri ortamları sarsma durumudur (Babüroğlu, 1998). Depremin vereceği hasara etki eden çeşitli faktörler bulunmaktadır; bunlar, büyüklüğü, odak derinliği ve sığ veya derin olmasıdır. Odak derinliği, depremin meydana geldiği ilk kırığın yeryüzüne olan uzaklığı olarak tanımlana bir kavramdır ve depremler bu tanıma göre sınıflandırılmaktadır. Sığ depremler, dar bir alanda daha büyük hasarlara neden olurken derin depremler geniş alanda hissedilip buna karşılık yaptıkları hasar azdır. Ayrıca, deprem büyüklüğü arttıkça yıkım gücünde artmaktadır.

Depremin vereceği zararı azaltmak için yapılacak faaliyetler; risk yönetimi ve kriz yönetimi olmak üzere iki grupta incelenebilir. Risk yönetimi, deprem öncesinde tehlike ve risklerin belirlenmesi, fiziksel(yapısal) zarar azaltma çalışmaları, bilinçli eğitim çalışmaları, risk altındaki kritik altyapıların güçlendirilmesi, depremin tahmin edilmesi ve erken uyarı sistemleri, önlem alma, kurtarma, tahliye ve acil yardım planları gibi risk, zarar azaltma ve depreme hazırlık çalışmalarından oluşmaktadır. Kriz yönetimi ise deprem sonrası; enkaz yönetimi, yeniden yapılanma, tamir ve güçlendirme çalışmaları, kalıcı konutların inşası, geçici iskân, hasar tahmini ve enkaz kaldırma gibi müdahale ve iyileştirme çalışmalarından oluşmaktadır.

Deprem sonrası kriz yönetim süreci karmaşık bir durum olup felaketin doğası, zamanı ve büyüklüğüyle ilgili belirsizlikler, mağdurların yeri ve ihtiyaçları hakkında bilgi eksikliği, olası arz ve bağışlar, güvencesiz ulaşım bağlantıları gibi operasyonel ve taktiksel anlamda birçok sorun içermektedir. Ancak deprem öncesi alınacak önlemler ile deprem sonrası kriz yönetim sürecinde oluşabilecek zorluklar azaltılacaktır. Zorlukların azaltılabilmesi için yapılacak faaliyetlerden biri, belirlenen bir bölge için deprem senaryosu oluşturularak, bu bölgenin olası bir depremde, hangi düzeyde etkileneceğinin önceden tahmin edilen sonuçları baz alınarak, kriz yönetim süreci için müdahale ve iyileştirme planlamalarının oluşturulmasıdır. Oluşturulan planlamalar doğrultusunda, gerekli önlemlerin alınması ile oluşabilecek zarar miktarının azaltılması sağlanacaktır.

Deprem senaryosu oluşturulabilmesi için literatürde deterministik ve stokastik yöntemler mevcuttur. Deterministik yöntemler, deprem tehlikesi olasılık temeline dayandırılmadan, şiddet, ivme ve hız gibi belirsizlikler içermeyen bir matematik ifade kullanılarak oluşturulur (Jica, 2002; Küçükçoban, 2004). Deterministik yöntem kullanarak deprem senaryosu oluşturabilmek için, mevcut olan diri fay hatları ve bu fay hatlarının üretebileceği en büyük deprem büyüklükleri belirlenir. Sonrasında bu fayların belirlenen konuma minimum mesafesi hesaplanır. Depremin belirlenen yerde oluşacağı varsayımı yapılarak, uygun bir azalım ilişkisi bulunarak, depremin maksimum yaratabileceği yer hareketi parametreleri belirlenir (Özmen, Can, 2016).

Özmen (2002), İstanbul ili için deterministik yöntem kullanarak bir deprem senaryosu oluşturmuştur. Senaryo oluşturulurken, bölgeyi etkilemiş tarihi depremlerin meydana getirdiği hasarlar incelenerek deprem senaryosu için kaynak parametreleri elde edilmiştir. Senaryoda, İzmit 17 Ağustos 1999 depreminin büyüklüğü ve yüzey kırığı uzunluğu ile aynı kabul edilmiştir. Kuzey Anadolu Fay hattı boyunca meydana gelen depremler incelenerek azalım ilişkileri hesaplanmıştır. Senaryoda 17 Ağustos depreminden değişik şiddetlerde etkilenen konutların hasar durum oranları, senaryoda ele alınan bölge için binaların hasar durumu tahmin edilebilmesinde kullanılmıştır. Senaryo sonuç olarak; ölü sayısı, yaralı sayısı, ağır hasarlı bina sayısı, orta hasarlı bina sayısı ve yıkık bina sayısını tahmin etmiştir.

Deterministik yöntemlerde en önemli eksiklik gelecekte olması beklenen depremlerin konum, büyüklük ve oluş zamanlarındaki belirsizliklerdir. Bu nedenle deprem senaryosu literatüründe depremlerin oluşum olasılıklarının modellendiği Stokastik yöntemler de mevcuttur (Taşhova, 2010; Koeri, 2003). Stokastik yöntemler belirlenen bölgeyi etkileyen olay ve durumlarla ilgili bütün olasılıkları dikkate alan tehlike modellerini baz alır. Stokastik yöntemler birçok senaryonun simülasyonunu referans alır (Crozi ve diğ., 2005). Stokastik Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) temelli hasar yöntemleri, en iyi sonucu üretebilmek için ek bilgiler ve hesaplama biçimlerini içeren olasılıksal yöntemlerdir (Walker, 1999).

Karaman ve Şahin (2009) depremlerden sonra oluşacak hasarı tahmin etmek için stokastik bir model kullanarak, ele alınan bölgedeki tüm olası senaryoları göz önünde bulundurarak, depremin fiziksel, sosyal ve ekonomik sonuçlarını tahmin edebilecek HAZTURK isimli bir yazılım programı geliştirilmiştir. Zeytinburnu ilçesinde bir uygulama ve mevcut bina bilgileri kullanarak deprem hasar analizi yapılmıştır. Elde edilen envanterlerin hasar görülebilirlikleri, parametrik kırılma yöntemleri kullanılarak ve saha çalışması yapılarak hesaplanmıştır. Bu bilgiler yazılım programına işlenerek mevcut bütün bina bilgilerine ait olası deprem sonrası ekonomik ve yapısal kayıplar belirlenmiştir.

Işık, vd. (2019) Kırşehir ili için stokastik bir yöntem kullanarak 3 farklı deprem senaryosu oluşturmuştur. Senaryo için Earthquake Loss Estimation Routine (ELER) yazılım programından yararlanılmıştır. Çalışmada birinci aşamada bütün il dikkate alınarak alan analizleri gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada il için deprem tehlikeleri analiz edilmiştir. Çalışmada ilin tamamında yer alan binalar yazılım programına uygun olarak yapılan arazi çalışmaları sonucu yazılımın veri tabanına kaydedilmiştir. Daha sonrasında farklı fay hatlarında ve farklı büyüklüklerde meydana gelebilecek 3 farklı deprem senaryosu elde edilmiştir.

Fahjan, vd. (2015) Gebze ilçesi için stokastik bir yöntem kullanarak, AFAD RED yazılımı programıyla deprem senaryosu oluşturmuşlardır. Senaryo için, depremin büyüklüğü, depremin kaynağı ve zemin bilgilerinin riske etkisi analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre can kaybı, yapı hasarları ve barınım gereksinim oranları hesaplanmıştır.

Deprem senaryosu oluşturulurken deterministik veya stokastik yöntemlerin kullanılabilmesi için, belirlenen bölgede geçmişte kaydedilmiş deprem hasar kaybı verilerinden elde edilen değerlere göre, günümüz bilgisinin geleceğe yönelik tahminlerinin

yapılması gerekmektedir. Eğer belirlenen bölge için hasarların tahmini ile ilgili olarak uygun veri yetersiz ve kötüyse veya kayıtlı veri yoksa hasar tahmini yetersiz ve zayıf olacaktır (Karaman, 2008).

Deprem senaryosu oluşturabilmek için kullanılan deterministik ve stokastik yöntemlerin dışında daha çok sosyal şartları değerlendiren kurguya dayalı senaryolar üretilmiştir. Senaryolar herhangi bir matematiksel ifade kullanmayarak, ölçülebilirliği olmadan belirli varsayımlar altında oluşturulmuştur (Doğan, 2015).

Pektaş (2012), İstanbul Başakşehir ilçesi için iki farklı deprem senaryosu oluşturmuştur. Senaryo 1 için, (Özmen, 2002) çalışması verilerinden faydalanılarak deprem hasar durumu tahmin edilmiştir. Senaryo 2 için ise, İstanbul için İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve Japonya Uluslararası İş Birliği Ajansı ile ortaklaşa yürütülen programdaki bina, hane ve kişi sayısı verilerinden yararlanılarak, belirli varsayımlar altında Başakşehir ilçesine uyarlanarak deprem kayıp hasar etkileri tahmin edilmiştir. Senaryo çıktıları olarak, ölü sayısı, ağır ve hafif yaralı sayısı, ağır hasarlı bina sayısı, orta hasarlı bina sayısı, hafif hasarlı bina sayısı bilgileri tahmin edilmiştir.

Temur vd. (2019), Ümraniye bölgesi için dört farklı deprem senaryosu oluşturmuştur. Senaryo oluşturulurken, ilçelerde fay hatları yer alıp almaması durumuna göre, çok hafif (1), çok şiddetli (5) olmak üzere 1-5 arasında değerler verilmiştir. Değerler, ilçelerin altında fay hatlarının hangi konumlarda yer alıp almadığı bilgilerine net bir şekilde ulaşılamadığı için, mevcutta erişim sağlanabilen genel fay hattı haritasına göre verilerek senaryolaştırılmaya çalışılmıştır. Ümraniye 35 bölgeye ayrılarak bölgelerden fay hattı yer alıp almama durumları senaryolara göre değişkenlik göstermiştir. 1.deprem senaryosunda, fay hattının bütün bölgeleri eşit derece etkilediği ve sonuç olarak bölgelerin deprem şiddetinin 3 olduğu kabul edilmiştir. 2.deprem senaryosunda, fay hattının birinci bölgeye yakın olduğu varsayımı kabul edilerek, bu bölgenin deprem şiddeti 5 olarak kabul edilmiştir. 3.deprem senaryosunda, fay hattının dördüncü bölgeye yakın olduğu varsayımı kabul edilerek bu bölgenin deprem şiddeti 5 olarak kabul edilmiştir. 4.deprem senaryosunda ise, fay hattının ikinci ve üçüncü bölgelere yakın olduğu varsayımı kabul edilerek deprem şiddeti 4 olarak kabul edilmiştir.

Çalışma kapsamında Kırıkkale ili merkez mahalleleri için olası bir deprem durumunda, oluşabilecek hasarın tahmin edilebilmesi için deprem senaryosu oluşturulmuştur. Çalışma içerdiği yöntem bakımından ele alındığında, yukarıda incelenen deprem senaryosu literatür araştırmasında bulunan yöntemlere ek olarak, kurguya dayalı stokastik temelli melez bir yöntem olarak kabul edilmiş ve bu sayede literatüre farklı bir bakış açısı sunulmuştur. Çalışmada kurguya dayalı ve stokastik yöntemin birlikte ele alınması, Bölüm 3.2. 'de anlatılan deprem büyüklüğü, etkilenen nüfus sayısı gibi kabul edilen varsayımların kurgusal metodun kapsama alanına girmesinden kaynaklanmaktadır. Stokastik temelli bir yöntem olarak kabul edilmesi ise, Bölüm 2' de ele alınan zemin profil bilgisi ve bina kat sayısı gibi olasılıksal değerlerin stokastik yöntemlerin kapsama alanına girmesinden kaynaklanmaktadır.

Yapılan araştırmalara göre, Kırıkkale ili için daha önceden yapılmış deprem sonrası kayıpların analiz edildiği bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle Kırıkkale ili için olası bir deprem sonrası oluşabilecek kayıpların tahmin edilmesi açısından bu çalışmanın ilk olduğu düşünülmektedir. Çalışmada, literatürde yer alan tamamen stokastik bir yöntemin kullanılmamasının nedeni; il genelinde daha önce yapılmış detaylı bir zemin profili analizinin bulunmaması, binaların depreme dayanıklılık analizi ve envanter yapı stok bilgilerinin mevcut olmamasıdır. Stokastik bir yöntem kullanarak deprem senaryosu oluşturabilmek için, bu bilgilerin en baştan elde edilmesi oldukça maliyetli ve uzun bir süreç gerektirmektedir. Tamamen kurguya dayalı bir yöntemin kullanılmamasının nedeni ise, gerçekçi sonuçlar üretmediği için deprem sonrası hasar durumunun değerlendirilebilmesi için yeterli olmamasıdır. Dolayısıyla bu iki yöntemin senaryo üretirken tek başına kullanmak yerine çalışmanın belirli kısımlarına entegre edilmesi kararlaştırılmıştır. Bu sayede; ele alınan bölge için, zemin profil çalışması ve bina dayanıklılık testleri olmadan bu bilgilerin olasılıksal olarak değerlendirilmesi ile tamamen kurgusal yöntemlerden daha gerçekçi sonuçlar elde edildiği düşünülmektedir.

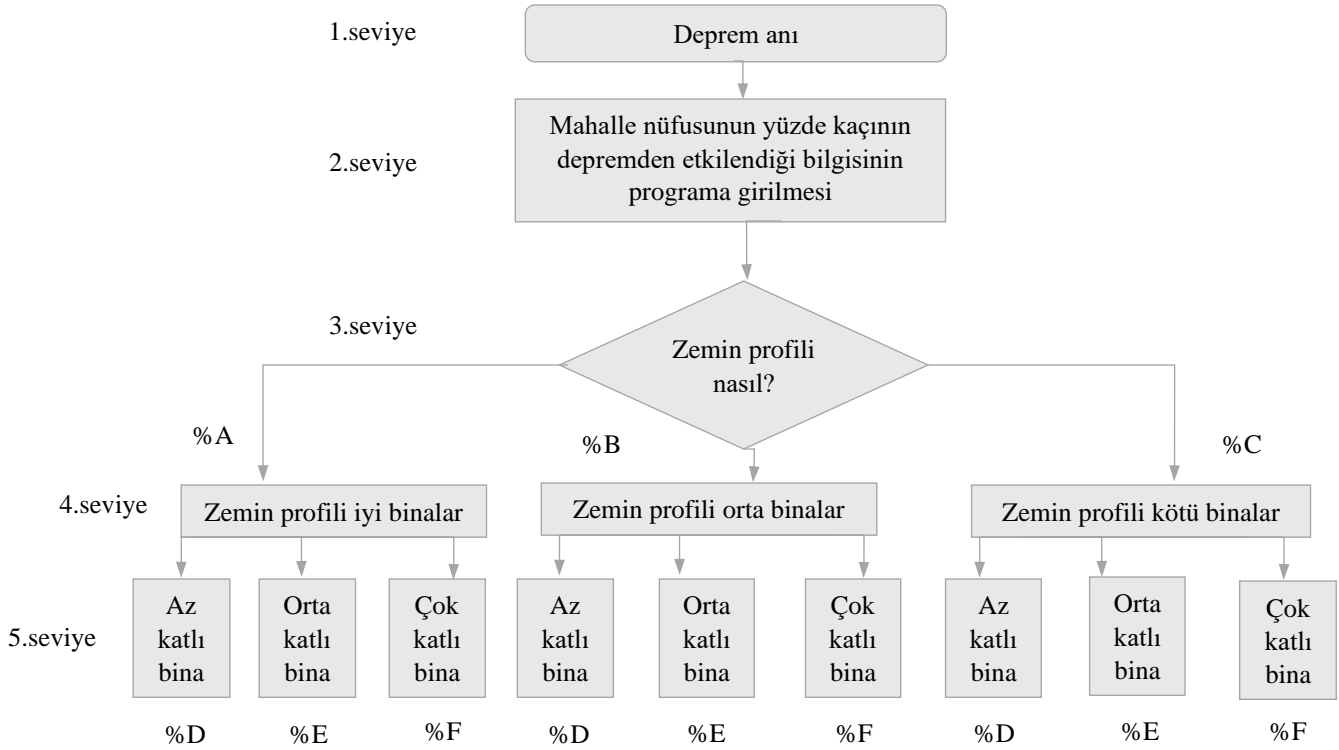
Çalışmanın amacı, Kırıkkale ilinde meydana gelebilecek hasar yapıcı bir deprem sonucunda, oluşabilecek kayıpların tahmin edilmesidir. Kayıp tahmin analizi için simülasyon yapısı kullanılarak deprem senaryosu oluşturulmuştur. Simülasyon yapısı itibarıyla farklı olasılıksal durumları bir arada bulundurmaktadır. Bu olasılıklara göre üretilen sonuçların analizini mümkün kılmaktadır. Bu nedenle, deprem gibi belirsizliklerin (oluş zamanı, konumu, büyüklüğü vb.) fazla olduğu karmaşık durumlarda simülasyon kullanılarak, kayıp tahmini ve analizi yapmak çok avantajlıdır. Deprem literatüründe yer alan yöntemlere göre daha az maliyetli ve hızlı sonuç üretmesi, sonuçların matematiksel açıdan analizlerinin yapılabilmesi ve kullanılacak olasılık değerleri değiştirilerek farklı sonuçlar üretebilmesi kurulan simülasyon modelinin avantajları arasında yer almaktadır. Aynı zamanda elde edilmesi zor ve maliyetli olan parametreler (zemin profili, deprem büyüklüğü, odak derinliği vb.) olmadan, olasılıksal varsayımlar altında bir deprem senaryosu oluşturabilmektedir. Çalışmanın amacı ve kullandığı yöntem dikkate alındığında, mevcut yöntemleri birlikte ele alarak, yeni bir bakış açısı sunmaktadır. Bu nedenle deprem senaryosu literatürüne birçok katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Çalışmanın devamında Bölüm 2'de deprem senaryosu için bahsedilen simülasyon yapısının detaylı bir şekilde anlatımına odaklanılmıştır. Bölüm 3 deprem senaryosunun oluşturulabilmesi; Bölüm 3.1. uygulama yapılan il olan Kırıkkale'nin coğrafi konumu, Bölüm 3.2. senaryonun girdilerini ve Bölüm 3.3.' de ise senaryonun çıktıları olmak üzere üç farklı başlıkla ele alınmıştır. Çalışmanın son kısmı olan Bölüm 4' te sonuç tartışılmış ve gelecek çalışmalar için tavsiyelerde bulunulmuştur.

2. Deprem Senaryosu İçin Simülasyon Yapısının Oluşturulması

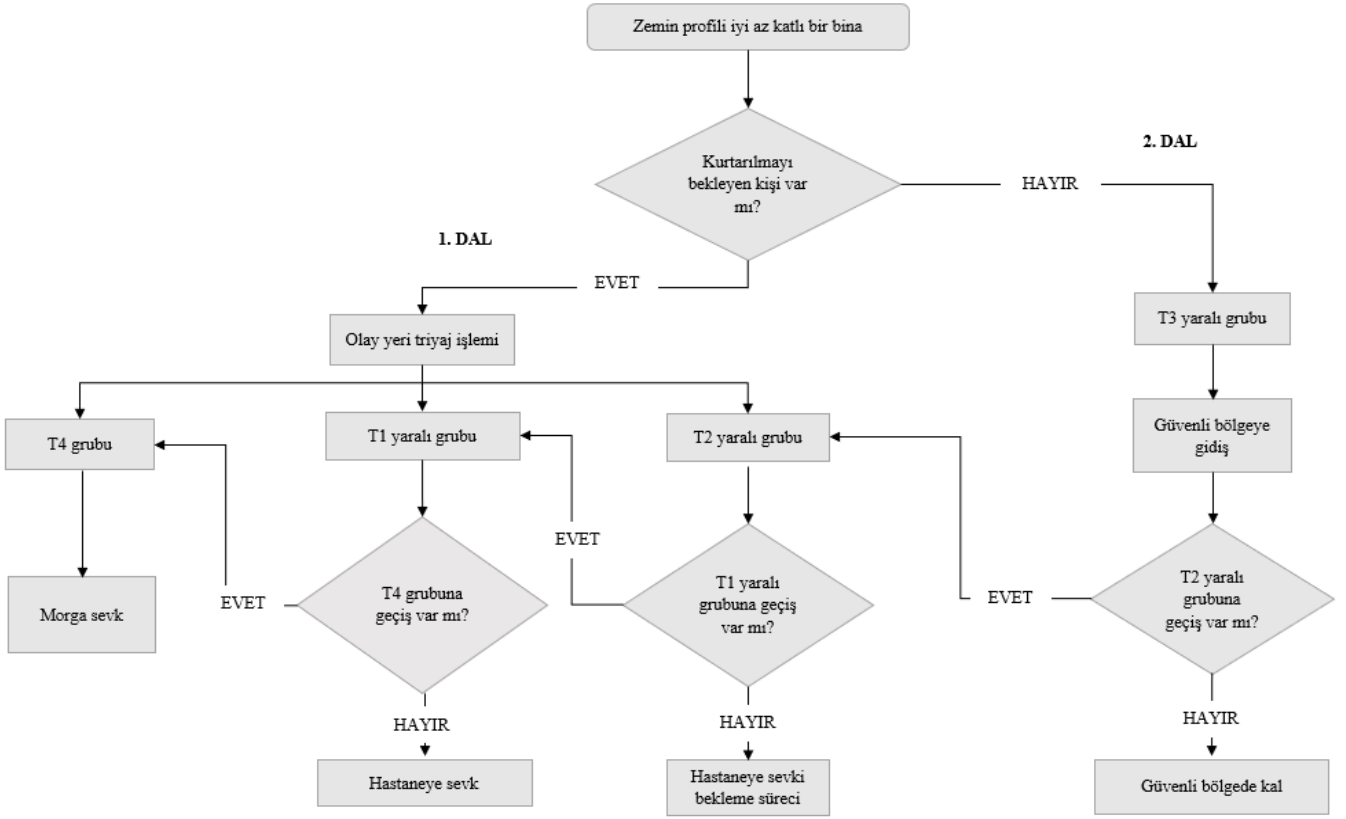
Çalışma kapsamında ARENA simülasyon programı kullanılarak kurguya dayalı stokastik bir modelleme ile Kırıkkale ili için deprem senaryosu oluşturulmuştur. Deprem kayıplarının tahmin edilebilmesi için, seçilen bölgede depreme ait belirsizliklerden, zemin profili ve bina kat sayısı bilgisi dikkate alınmıştır. “Sismik yer hareketlerinin yapılarda oluşturdukları etkilerin, yüzeye yakın zemin seviyelerinin kalınlıkları ve fiziksel özelliklerinden önemli derecede etkilenmesi” (Sönmezer, vd., 2015) sebebiyle zemin profil bilgisi birinci parametre olarak kabul edilmiştir. Bölüm 1’ de bahsedildiği üzere Kırıkkale ilinde daha önce yapılmış kapsamlı bir zemin profili çalışması bulunmamaktadır. Bu nedenle Kırıkkale ilinde yer alan binaların zemin profillerinin iyi, orta ve kötü olmak üzere üç gruptan oluşacağı varsayılmıştır. Deprem senaryosu için kullanılan ikinci parametre ise bina kat sayılarıdır. Bina kat sayılarının az, orta ve çok katlı olmak üzere üç gruptan oluşacağı varsayılmıştır. Çünkü bina kat sayısının deprem sonrası hasar durumuna etkisi çok katlı ve zemin profili kötü bir yapının tahribatı durumunda, oluşacak kayıpların daha yüksek olacağı düşünülmektedir. Depreme ait belirsizliklerden deprem büyüklüğü, senaryo oluşturulurken en kötü ihtimalin olacağı varsayıldığı için çalışma kapsamında farklı deprem büyüklükleri dikkate alınmamıştır ve deprem büyüklüğünün Ms 6.8 büyüklüğünde olacağı varsayılmıştır. Depreme ait belirsizliklerden binaların yapı türü, Kırıkkale il genelinde betonarme yapılar bulunduğu için ihmal edilmiştir. Depreme ait belirsizliklerden binaların yapım yılı ise, Bölüm 1’ de bahsedildiği üzere Kırıkkale için daha önce yapılmış bina envanter yapı stokları ile ilgili bir çalışma bulunmadığı için ihmal edilmiştir.

Deprem senaryosu için dikkate alınacak parametreler belirlendikten sonra, zemin profili ve bina kat sayısı arasında ilişki kurulmuştur. Şekil 1’ de gösterildiği gibi zemin profili %A olasılığında iyi olan bir yerde binalar, %D oranında az, %E oranında orta ve %F oranında çok katlı olabilirler. Ele alınan yerler %A iyi, %B orta ve %C kötü olasılıklarla farklı zemin profiline sahip olsalar da aynı olasılıkta az, orta ve çok katlı binanın olacağı varsayılmıştır. Dolayısıyla üç kola ayrılan zemin profil bilgilerinin her bir kolu az (%D), orta (%E) ve çok (%F) katlı olmak üzere üç kola daha ayrılmıştır. Toplamda dokuz koldan oluşan bir simülasyon ağ yapısı oluşturulmuştur. Deprem simülasyonu için yukarıda anlatılan adımlar aşağıdaki Şekil 1’ de gösterilmiştir.



Şekil 1. Deprem simülasyonu ağ yapısının olasılıksal şematik gösterimi

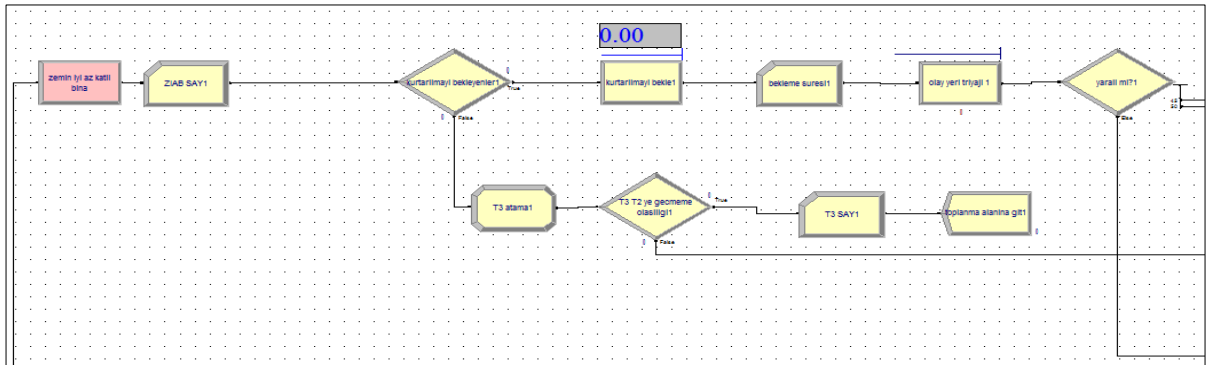
Çalışma kapsamında deprem senaryosu çıktısı olarak, deprem kayıp tahminleri kişilerin sağlık durumları açısından ön görülmeye çalışılmıştır. Deprem senaryosundan üretilecek çıktılarının gerçeğe en yakın şekilde tahmin edilebilmesi, afet öncesi yapılan planlamalar açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle Şekil 1’ de anlatılan sürecin devamında deprem senaryosu çıktılarının elde edilebilmesi için triyaj dağılım sonuçları dikkate alınmıştır. Triage işlemi hastaların veya yaralıların sağlık durumu ciddiyetine göre gruplandırılması işlemidir. Afetlerden sonra gerçekleştirilen triyaj işlemi, çok sayıda yaralının olduğu bir yerde en kısa zamanda, eldeki kısıtlı kaynaklarla en fazla yaşamı kurtarmaktır. Triage müdahalesi sonucu yaralıların ağır yaralı T1, geciktirilebilir yaralı T2, hafif yaralı T3 ve ölü T4 olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır. Simülasyon için Şekil 1’ de gösterildiği gibi 9 farklı dallandırma yapılmıştır. 9 farklı kolun her birinden; triyaj işlemi sonucuna göre T1, T2, T3 ve T4 grubu kişiler çıkmaktadır. Triage dağılımı, hastaneye sevk, güvenli bölgeye gidış gibi deprem sonrası yaşanan durumlara aşağıdaki Şekil 2 de gösterilmiştir. Şekil 1’ de 5. seviyede yer alan zemin profili iyi, az katlı bir bina için sürecin devamı Şekil 2’ de örnek olarak gösterilmiştir.



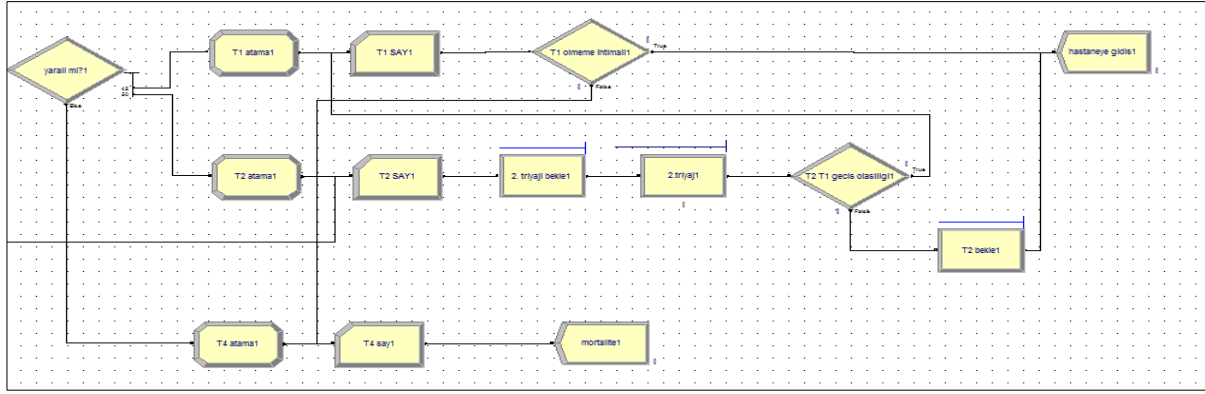
Şekil 2. Deprem sonrası süreç şematik gösterimi

Şekil 2' de şematize edilen sürecin 1 numaralı dalında yer alan adımlar ARENA programında uygulanmıştır. Deprem sonrası, depremden etkilenen bölgelerde oluşan enkazlar da yukarıda bahsedilen triyaj sınıflandırmalarında yer alan T1, T2 ve T4 grubunun bulunabileceği varsayılarak arama kurtarma ekipleri tarafından kurtarılmayı beklemektedir ve bu durum HOLD modülü ile sağlanmıştır. Gerçek hayatta bir deprem olduğu zaman arama kurtarma çalışmaları yaklaşık 72 saat sürdüğü için enkaz altında kalan kişilerin hemen kurtulamayacağı varsayılarak sisteme SIGNAL ve DELAY modülleri ile bekleme süresi dahil edilmiştir. Daha sonra kurtarılmayı bekleyen kişilerin hangi triyaj grubunda yer aldıklarının belirlenebilmesi için PROCESS modülü ile olay yeri triyaj işlemi gerçekleştirilmiştir ve ortalamasının üstel dağılıma uyduğu varsayılmıştır. Olay yeri triyaj işleminden sonra T1 grubu yaralıların acilen hastaneye sevk edilmesi, T2 grubu yaralıların ise bekleme süresi toleransına sahip olabilecekleri için sisteme hastaneye sevk bekleme süresi dahil edilmiştir. Bu bekleme sürecinde, T2 grubu yaralıların T1'e geçiş ihtimalleri mevcuttur. Bu nedenle belirli sürelerde geçiş olup olmadığının kontrolü SIGNAL ve DELAY modülleri ile sağlanmıştır. Bekleme süresince T2 grubu yaralıları için; T1'e geçme olasılıkları da sisteme dahil edilerek bu yaralı grubunun acilen hastaneye sevk edilmesi sağlanmıştır. T4 grubunun ise, enkaz bölgelerinden morga sevk edilecekleri varsayılmıştır.

Şekil 2' de şematize edilen sürecin 2 numaralı dallandırmasında yer alan adımlar ARENA programına uygulanmıştır. Simülasyon sürecinde T3 grubu yaralıların kendi imkanları doğrultusunda enkaz bölgelerinden uzaklaşarak, ilk etapta güvenli bulunan alanlara gidecekleri varsayılmış ve bu süreç sisteme entegre edilmiştir. T3 grubu yaralıları güvenli alanlara geçtikten sonra T2 grubuna geçiş olasılıkları mevcuttur. Bu durum da sisteme dahil edilerek, hastaneye sevkleri sağlanmıştır. ARENA da yapılan simülasyon çalışması aşağıdaki Şekil 3' de gösterilmiştir.

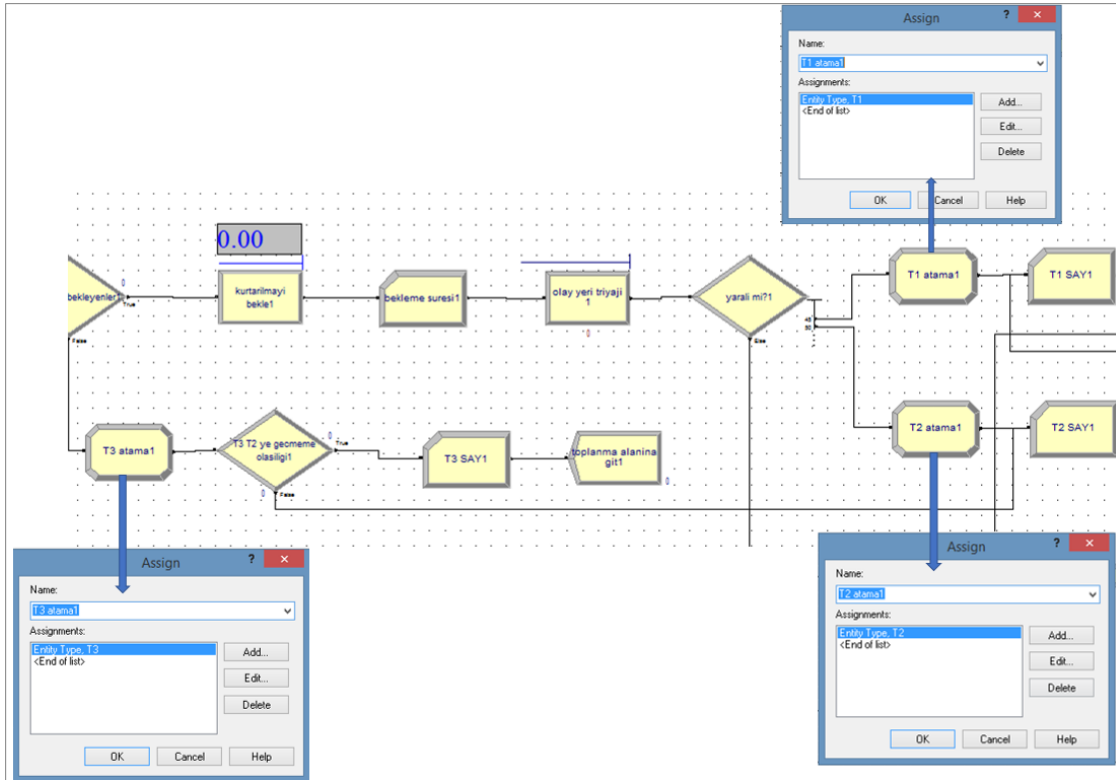


Şekil 3. ARENA programı deprem simülasyon görseli



Şekil 3. (devam) ARENA programı deprem simülasyon görseli

ARENA programı kullanılarak modellenen problemlerde, olayları ifade etmek için CREATE, ASSIGN, HOLD gibi modüller, olay akışın sağlanabilmesi için ise ENTITY gibi tetikleyiciler kullanılmaktadır. ENTITY TYPE özelliği sistemde gezen birimlerin cinsini ifade etmektedir. Çalışma kapsamında oluşturulan sistemde gezen birim dört farklı triyaj grubu için farklı isimlerle sisteme girilmiştir. Şekil 4’ de farklı triyaj grupları için ENTITY TYPE atama aşaması gösterilmiştir. Örneğin T1 triyaj grubu, “ENTITY TYPE=T1” olarak sistemde tutulmaktadır.



Şekil 4. ARENA programı deprem simülasyon görseli ikinci aşama

Simülasyon çalışmasında Şekil 2’ de yer alan triyaj sınıfları arasındaki geçiş olasılık değerleri için, markov zincirinden faydalanılmıştır. Markov zincirleri olasılıklı (stokastik) bir şekilde ilerleyen bir sistemdir. Mevcut süreçte göre gelecekte meydana gelebilecek süreçler, geçmiş süreçler ile ilişkili değildir. Sistem her zaman belirli bir olasılıksal dağılım ile mevcut süreçten farklı bir süreçte geçebilir veya durumunu koruyabilir. Süreçlerde meydana gelen değişiklikler markov geçişleri olarak bilinir.

3. Deprem Senaryosu Oluşturulması ve Kırıkkale Kenti İçin Bir Uygulama

3.1. Kırıkkale İli Coğrafi Konumu

Kırıkkale, MTA Yerbilimleri Haritasında incelenen diri fay hatları doğrultusunda; doğu yönünde Kırıkkale-Sungurlu Fay Hattı (Koçyiğit, 2008), güney yönünde Tuz Gölü Fay Hatları ve Keskin Fayı, güneydoğu yönünde Seyfe Fay Hattı (Koçyiğit, 2000), güneybatı yönünde Bala ve Karakeçili Fayları (MTA, 2015), kuzey yönünde ise 1-110 km genişlikte ve 1700 km uzunlukta, sağ yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Hattı (Royaj, Koçyiğit, 2009) tarafından çevrilmiş durumdadır (Sönmezer, 2015). Şekil 5’ te sol tarafta yer alan mor çizgilerle belirtilen fay hatları Şehriban ve Bahşılı bölgeleri arasında uzanan Karakeçili Fay Hattı, sağ

Şekil 1’ de yer alan üçüncü seviye için, zemin profilinin iyi, orta ve kötü yüzdeliklerinin belirlenebilmesi için MTA yer bilimleri haritasından jeoloji formasyon bilgilerine ek olarak Kırıkkale AFAD da çalışan personellerden mahallelerinin zemin profilleri hakkında spesifik bilgileri alınarak senaryo oluşturulmuştur. Senaryo oluşturmak için ilk aşamada, çalışma kapsamında yer alan 28 merkez mahallesinin zemin profil bilgilerine göre her bir mahallenin deprem sonrası hasar durumunun tahmin edilebilmesi için Bölüm 2’ de anlatıldığı üzere zemin profili; iyi, orta ve kötü olmak üzere her mahalleye oranlar verilmiştir. Şekil 6’ da mahallelerin zemin yapısı bilgilerine göre, Bahçelievler Mahallesi, Çalılıöz mahallesi, Selim Özer Mahallesi, Yuva Mahallesi, Fabrikalar Mahallesi ve Sanayi Mahallesi zemin profilleri genel itibarıyla kötü oldukları için, bu mahallelerin zemin profili kötü oranları, diğer iki orana (iyi, orta) göre yüksek verilmiştir. Mahallelere göre Zemin profil dağılım sonuçları aşağıdaki Tablo 1’ de gösterilmiştir. Tabloya göre örneğin Çalılıöz Mahallesi zemin profili %50 kötü zemin, %30 orta zemin, %20 iyi zemin profiline sahip olduğu varsayılmıştır. Bulunan sonuçlar simülasyon ağ yapısının gösterildiği Şekil 1’ de yer alan 4. seviyeye girilmiştir.

Tablo 1. Kırıkkale merkez mahallelerinin zemin profil durumları

Mahalle/ Zemin Profil Bilgisi	İyi	Orta	Kötü
Akşemsettin Mahallesi	90%	5%	5%
Aşağımahmutlar Mahallesi	90%	5%	5%
Bağlarbaşı Mahallesi	60%	20%	20%
Bahçelievler Mahallesi	15%	25%	60%
Çalılıöz Mahallesi	20%	30%	50%
Çullu Mahallesi	60%	25%	15%
Etiler Mahallesi	60%	25%	15%
Fabrikalar Mahallesi	10%	15%	75%
Fatih Mahallesi	60%	25%	15%
Gündoğdu Mahallesi	60%	25%	15%
Gürler Mahallesi	30%	30%	40%
Güzeltepe Mahallesi	50%	30%	20%
Hüseyin Kahya Mahallesi	45%	30%	25%
Kaletepe Mahallesi	90%	5%	5%
Karşıyaka Mahallesi	60%	25%	15%
Kırıkköyü Mahallesi	50%	25%	25%
Kızılırmak Mahallesi	60%	25%	15%
Kimeski Mahallesi	90%	5%	5%
Kurtuluş Mahallesi	30%	30%	40%
Osmangazi Mahallesi	50%	25%	25%
Ovacık Mahallesi	15%	25%	60%
Sanayi Mahallesi	10%	15%	75%
Selim Özer Mahallesi	15%	25%	60%
Tepebaşı Mahallesi	30%	30%	40%
Yaylacık Mahallesi	30%	30%	40%
Yenidoğan Mahallesi	60%	20%	20%
Yenimahalle Mahallesi	60%	20%	20%
Yuva Mahallesi	20%	20%	60%

Şekil 1’de yer alan beşinci seviye için ise, Kırıkkale Belediyesinden alınan mahallelerde bulunan binaların kat sayıları verilerinin yer aldığı aşağıdaki Tablo 2’ den yararlanılmıştır. Bu bilgi kullanılarak Kırıkkale Merkez mahallelerinin 2018 yılına göre toplam nüfus sayıları ve Tablo 2’ de yer alan bina kat sayısı envanter bilgilerine göre binalarda yaşayan nüfus oranları belirlenmiştir. Her bir binada toplam kaç kişinin ikamet ettiği bilgisine ulaşılamamıştır. Bu bilgilerin elde edilmesi oldukça maliyetli ve uzun bir süreç gerektirmektedir. Bu nedenle binalarda yaşayan nüfus, oran şeklinde belirli varsayımlar ile 28 merkez mahallesi için elde edilmeye çalışılmıştır. Birinci varsayım, bir mahallede bulunan farklı kat sayısındaki binaların her biri tek katlı bina olarak kabul edilmiştir. Bu varsayım doğrultusunda 2 katlı bir binanın 2 tane 1 katlı binaya eşit olacağı, 3 katlı bir binanın 3 tane tek katlı bir binaya eşit olacağı şeklinde diğer farklı kat sayısına sahip binalar içinde benzer varsayımlar yapılmıştır. Yapılan varsayımlar doğrultusunda örneğin Akşemsettin Mahallesi’nde toplam $1*36 + 2*12 + 3*3 = 65$ şeklinde bir hesaplama ile 65 tane tek katlı bina olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Mahallenin 2018 yılı toplam nüfusu 214 dır. Her bir binada ortalama “214/65” kişi yaşamaktadır. Bu sonuca dayanarak Akşemsettin Mahallesi’nde tek katlı binalarda toplam nüfusun %52’si, iki katlı binalarda toplam nüfusun %35’i, üç katlı binalarda ise toplam nüfusun %13’ü oturmaktadır şeklinde hesaplamalar yapılmıştır. Aynı hesaplamalar diğer mahalleler içinde yapılmıştır. Bulunan sonuçlar simülasyon ağ yapısının gösterildiği Şekil 1’ de yer alan 5. seviyeye girilmiştir.

Tablo 2. Kırıkkale merkez mahallerinin bina kat sayı envanteri

Mahalleler/ Bina Kat Sayısı	1 kat	2 kat	3 kat	4 kat	5 kat	6 kat	7 kat	8 kat	9 kat	10 kat	11 kat	12 kat	13 kat	Toplam Bina Sayısı
Akşemsettin Mah.	36	12	3											51
Aşağımahmutlar Mah.	523	77	11											611
Bağlarbaşı Mah.	1038	489	188	107	53	16	5	1	4					1901
Bahçelievler Mah.	682	297	215	135	34	7	1	1						1372
Çalılıöz Mah.	977	306	167	129	121	77	42	7	4	7	4			1841
Çullu Mah.	173	37	3											213
Etiler Mah.	1137	386	207	87	47	10	2			1	1			1878
Fabrikalar Mah.	106	19	22	25	15	17	1	5	1	7	3			221
Fatih Mah.	86	29	1	3										119
Gündoğdu Mah.	907	378	157	42	27	6	1							1518
Gürler Mah.	326	147	92	78	67	26	14	3	1	2	1	1		758
Güzeltepe Mah.	54	18	31	56	113	71	23	6	1	1				374
Hüseyin Kahya Mah.	44	16	30	41	39	52	24	4	2		1			253
Kaletepe Mah.	1124	492	207	80	195	48	6	3		1				2156
Karşıyaka Mah.	976	423	124	38	21	1								1583
Kırıkköyü Mah.	157	56	16	9	3									241
Kızılırmak Mah.	167	18	3											188
Kimeski Mah.	101	211	2											314
Kurtuluş Mah.	264	65	32	39	42	25	6	6	1					480
Osmanгази Mah.	517	404	138	153	11							1		1224
Ovacık Mah.	36	24	32	83	117	59	10	5					1	367
Sanayi Mah.	2186	809	281	122	45	14	2	3					1	3463
Selim Özer Mah.	857	288	85	38	12	2								1282
Tepebaşı Mah.	96	60	48	50	81	42	12	4						393
Yaylacık Mah.	198	103	63	95	119	102	35	12	3	1	2			733
Yenidoğan Mah.	158	35	41	73	62	29	3	3		2				406
Yenimahalle Mah.	1602	507	184	162	105	55	21	9	3	1				2649
Yuva Mah.	926	291	86	41	15	2								1361
Toplam Bina Sayısı	15454	5997	2469	1686	1344	661	208	72	20	23	12	2	2	27636

Mahalle toplam nüfusunun binalara dağılımının yapılabilmesi için dikkate alınan başka bir nokta ise, Tablo 2’ de yer alan bilgilere göre her bir mahallenin bina kat sayı dağılımı birbirinden farklı olmasıdır. Örneğin Akşemsettin Mahallesi’nde en fazla 3 katlı bina mevcutken, Çalılıöz Mahallesi’nde ise en fazla 11 katlı bina bulunmaktadır. Şekil 1’ de ifade edilen simülasyon ağ yapısında, örneğin zemin profili iyi olan bir alanda binaların az, orta ve çok katlı olabileceği ihtimalinin sağlanabilmesi amacıyla her bir mahalle için; az, orta ve çok katlı binaların minimum ve maksimum kat sayısı ayrı ayrı belirlenmiştir. Örneğin Akşemsettin Mahallesi’nde çok katlı binaları 3 katlı binaların oluşturduğu, Çalılıöz Mahallesi’nde ise çok katlı binaları 7, 8, 9, 10 ve 11 katlı binaların oluşturduğu varsayılmıştır. 28 mahalle için belirlenen varsayım sonuçları aşağıdaki Tablo 3’ de gösterilmiştir.

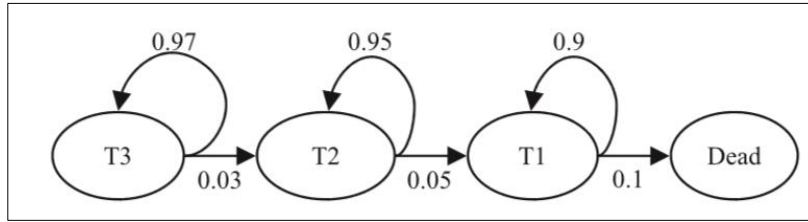
Tablo 3. Kırıkkale merkez mahallelerinin az, orta ve çok katlı bina kat sayıları

Mahalle/ Bina Kat Sayıları	Az Katlı	Orta Katlı	Çok Katlı
Akşemsettin Mahallesi	1 Kat	2 Kat	3 kat
Aşağımahmutlar Mahallesi	1 kat	2 kat	3 kat
Bağlarbaşı Mahallesi	1-2-3 kat	4-5-6 kat	7-8-9 kat
Bahçelievler Mahallesi	1-2 kat	3-4-5 kat	6-7-8 kat
Çalılıöz Mahallesi	1-2-3 kat	4-5-6 kat	7-8-9-10-11 kat
Çullu Mahallesi	1 kat	2 kat	3 kat
Etiler Mahallesi	1-2-3 kat	4-5 kat	6-7-10-11 kat
Fabrikalar Mahallesi	1-2-3 kat	4-5 kat	6-7-10-11 kat
Fatih Mahallesi	1 kat	2-3kat	4 kat
Gündoğdu Mahallesi	1-2 kat	3-4 kat	5-6-7 kat
Gürler Mahallesi	1-2 kat	3-4-5 kat	6-7-8-9-10-11 kat
Güzeltepe Mahallesi	1-2-3 kat	4-5-6 kat	7-8-9-10 kat
Hüseyin Kahya Mahallesi	1-2-3 kat	4-5-6 kat	7-8-9-11 kat
Kaletepe Mahallesi	1-2-3 kat	4-5-6 kat	7-8-9 kat
Karşıyaka Mahallesi	1-2 kat	3-4 kat	5-6 kat
Kırıkköyü Mahallesi	1 kat	2-3 kat	4-5 Yüksek

Tablo 3. (devam) Kırıkkale merkez mahallelerinin az, orta ve çok katlı bina kat sayıları

Mahalle/ Bina Kat Sayıları	Az Katlı	Orta Katlı	Çok Katlı
Kızılırmak Mahallesi	1 kat	2 kat	3 kat
Kimeski Mahallesi	1 kat	2 kat	3 kat
Kurtuluş Mahallesi	1-2 kat	3-4-5 kat	6-7-8-9-10 kat
Osmangazi Mahallesi	1-2 kat	3-4-kat	5-12 kat
Ovacık Mahallesi	1-2-3 kat	4-5-6 kat	7-8-9 kat
Sanayi Mahallesi	1-2 kat	3-4-5 kat	6-7-8-13 kat
Selim Özer Mahallesi	1-2 kat	3-4 kat	5-6 kat
Tepebaşı Mahallesi	1-2 kat	3-4-5 kat	6-7-8 kat
Yaylacık Mahallesi	1-2-3 kat	4-5-6 kat	7-8-9-10-11 kat
Yenidoğan Mahallesi	1-2-3 kat	4-5-6 kat	7-8-10 kat
Yenimahalle Mahallesi	1-2-3 kat	4-5-6 kat	7-8-9-10 kat
Yuva Mahallesi	1-2 kat	3-4 kat	5-6 kat

Şekil 7’de yer alan triyaj sınıfları arasındaki geçiş olasılıkları için, Bölüm 2’ de bahsedildiği üzere stokastik süreci temsil eden Markov zinciri değerlerinden faydalanılmıştır (Wilson vd., 2013). Depreme maruz kalmış bir kişinin zaman içerisinde sağlık durumunun daha kötüye gitme riski vardır. Şekil 7’ de gösterilen triyaj geçiş olasılıkları da kişilerin sağlık durumlarının yalnızca olumsuz duruma geçişini temsil etmektedir. Örneğin, geciktirilebilir yaralı (T2) grubunda olan bir kişi %95 olasılıkla T2 grubunda kalır ya da %5 olasılıkla sağlık durumu ağır yaralı (T1) grubuna geçebilir. Bütün triyaj sınıfları arasındaki geçiş olasılıklarının anlatıldığı süreç Şekil 7’ de gösterilmiştir. Ayrıca Bölüm 2’ de bahsedildiği gibi yapılacak triyaj işlemi ortalaması 5 dakika olan üstel dağılıma uyduğu varsayılmıştır.

**Şekil 7.** Kapana kısılmış bir zayıfın stokastik sürecini temsil eden Markov zinciri (Wilson vd., 2013)

Depremlerde arama kurtarma çalışmaları, sağlık müdahaleleri gibi birincil eylemlerin, depremden sonraki ilk 72 saat içerisinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Kurtarma süresi geciktikçe (48 saat sonra), yaşamda kalma oranı %10'a düşer (Işık vd., 2012). Dursun, vd. (2011) Van depremi sonrası bir hastaneye yapılan başvuruların ilk 7 gününü inceleyerek, deprem nedeni ile 1. gün 754, 2. gün 492, 3. gün 272, 4. gün 48, 5. gün 10, 6. gün 4 ve 7. gün ise 2 kişinin başvurduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu doğrultuda hastane başvuruların depremden sonraki ilk 72 saat içerisinde yoğun olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, depreme bağlı ölümlerin azaltılması için, acil durum kaynaklarını bulmak, tahsis etmek ve yönlendirmeyi içeren ilk 72 saat çok kritiktir ve bu durum simülasyon ağ yapısına yansıtılarak simülasyon 72 saat çalıştırılmıştır.

3.3. Deprem Senaryosu Çıktıları

Simülasyonla deprem senaryosu oluşturulabilmesi için Rockwell ARENA simülasyon programı kullanılarak, INTEL(R) Core(TM) i7-5500 CPU ve 8 GB belleğe sahip bir bilgisayarda çalıştırılmıştır. Her bir mahalle için 72 saat çalıştırılan, 50 kez tekrarlanan simülasyon sonuçları kaydedilerek, analizleri yapılmıştır. Simülasyon sonucunda referans alınan kısım RECORD modülüyle sayılan 9 farklı daldan çıkan T1, T2, T3 ve T4 yaralı gruplarıdır. Örneğin, Çalılıöz mahallesi için 50 kez çalıştırılan simülasyon sonuçlarının ortalama değerleri aşağıdaki Şekil 8’ de gösterilmiştir. Simülasyon çalışmasının sonuçları Çalılıöz Mahallesi üzerinden değerlendirilecektir. Bu nedenle mahalleyle ilgili bazı spesifik bilgiler simülasyonun değerlendirilebilmesi için önem taşımaktadır. Mahalle, nüfus olarak Kırıkkale'nin en kalabalık mahallelerinden biridir. İl için önemli olan birçok kamu kurum ve kuruluşlarına yakın mesafede bulunmaktadır. Zemin profili açısından belli bölgeleri risk taşırken, bazı bölgeler iyi durumdadır. Konumu itibarıyla diğer mahalleler için hastanelere ulaşım açısından önemli bir konumda yer almaktadır.

Replications: 50		Time Units: Hours		
User Specified				
Counter				
Count	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
T1 SAY1	6.3400	0,60	2.0000	11.0000
T1 SAY2	5.7400	0,72	0.00	12.0000
T1 SAY3	2.0800	0,37	0.00	5.0000
T1 SAY4	16.1800	1,00	9.0000	23.0000
T1 SAY5	12.3600	0,94	6.0000	18.0000
T1 SAY6	4.1600	0,70	0.00	13.0000
T1 SAY7	33.1000	1,54	20.0000	47.0000
T1 SAY8	27.9000	1,33	17.0000	38.0000
T1 SAY9	8.0800	0,95	3.0000	17.0000
T2 SAY1	8.4400	0,77	5.0000	16.0000
T2 SAY2	7.9600	0,70	2.0000	15.0000
T2 SAY3	2.5000	0,42	0.00	5.0000
T2 SAY4	17.6800	1,36	8.0000	31.0000
T2 SAY5	15.8000	1,12	7.0000	23.0000
T2 SAY6	4.8600	0,78	0.00	13.0000
T2 SAY7	39.4600	1,55	27.0000	52.0000
T2 SAY8	29.8600	1,63	16.0000	43.0000
T2 SAY9	10.0400	0,91	4.0000	16.0000
T3 SAY 4	47.9000	2,05	32.0000	61.0000
T3 SAY1	40.8200	1,70	29.0000	56.0000
T3 SAY2	28.2400	1,55	19.0000	48.0000
T3 SAY3	9.8400	0,64	3.0000	19.0000
T3 SAY5	33.6400	1,50	25.0000	47.0000
T3 SAY6	9.2600	0,69	4.0000	17.0000
T3 SAY7	61.1800	2,05	48.0000	73.0000
T3 SAY8	41.4800	1,72	30.0000	58.0000
T3 SAY9	10.8200	0,91	5.0000	20.0000
T4 SAY 3	0.7200	0,26	0.00	3.0000
T4 say1	1.5800	0,34	0.00	5.0000
T4 say2	1.0600	0,27	0.00	4.0000
T4 say4	3.0200	0,54	0.00	8.0000
T4 say5	4.1800	0,55	1.0000	8.0000
T4 say6	2.4000	0,44	0.00	7.0000
T4 say7	10.4000	0,97	5.0000	19.0000
T4 say8	12.5600	0,96	5.0000	20.0000
T4 say9	5.1200	0,68	0.00	10.0000
ZIAB SAY1	56.0400	1,97	45.0000	76.0000
ZICB SAY3	13.6600	0,89	7.0000	23.0000

Şekil 8. Kırıkkale Çalıhöz Mahallesi 72 saat sonucu simülasyon sonuçları

Simülasyon sonucunda Çalıhöz Mahallesi, zemin profili ve bina kat sayısı bilgilerine göre T1, T2, T3 ve T4 grubunda yer alan kişilerin yoğunluk olarak hangi alanlardan çıktığının sonuçları aşağıdaki Tablo 4'te gösterilmiştir. Simülasyon çalışması öncesinde Bölüm 3.2' de zemin profili iyi, orta ve kötü dağılımı Çalıhöz mahallesi için, iyi oranı %20, orta oranı %30 ve kötü oranı %50 olarak belirlenmişti. Tablo 4' te 2. sütunda yer alan bina kat sayı oranları ise Tablo 3' de açıklanmıştı. Simülasyon sonucunda Tablo 4'te belirtilen zayıf dağılım sonuçları incelendiğinde, Çalıhöz Mahallesi toplam nüfusunun %2.59'u depremde sağlık açısından zarar görmüştür. Deprem senaryosu çıktısının Çalıhöz Mahallesi için değerlendirilme sonuçları Tablo 4' te gösterilmiştir.

Tablo 4. Kırıkkale Çalıhöz Mahallesi simülasyon sonucunun analizi

ZEMİN PROFİLİ	BİNA KAT SAYISI	T1	T2	T3	T4	TOPLAM	TOPLAM ETKİ	YÜZDELİK
İYİ	AZ	6	8	41	2	57	115	20%
	ORTA	6	8	28	1	43		
	ÇOK	2	3	9	1	15		
ORTA	AZ	16	18	48	3	85	171	30%
	ORTA	12	16	34	4	66		
	ÇOK	4	5	9	2	20		
KÖTÜ	AZ	33	39	61	10	143	290	50%
	ORTA	28	30	41	13	112		
	ÇOK	9	10	11	5	35		
	TOPLAM	116	137	282	41	576	Toplam Nüfus: 22254	

Çalışma kapsamında yer alan Kırıkkale merkez 28 mahallesinin deprem senaryosu sonuçları aşağıdaki Tablo 5' de gösterilmiştir. Simülasyon sonucu ağır yaralı(T1) sayısı 880, geciktirilebilir (T2) yaralı sayısı 1057, hafif yaralı(T3) sayısı 2588 ve ölü (T4) sayısı 289 olmuştur. Toplam nüfusun yaklaşık %2.55 deprem sonucu sağlık durumlarının zarar görmesi nedeniyle etkileneceği öngörülmüştür.

Tablo 5. Kırıkkale deprem senaryosu simülasyon sonuçları

Mahalle Adı	T1	T2	T3	T4	Toplam	Toplam Nüfus	Etkilenme Oranı
Çalıhöz Mahallesi	116	137	282	41	576	22254	2,59%
Bağlarbaşı Mahallesi	49	59	191	13	312	12132	2,57%
Akşemsettin Mahallesi	1	1	4	0	6	214	2,83%
Bahçelievler Mahallesi	49	58	113	18	238	9189	2,59%
Çullu Mahallesi	4	4	15	1	24	947	2,59%
Aşağımahmutlar Mahallesi	6	7	31	1	45	1785	2,58%
Etiler Mahallesi	36	44	148	10	238	9245	2,57%

Tablo 5. (devam) Kırıkkale deprem senaryosu simülasyon sonuçları

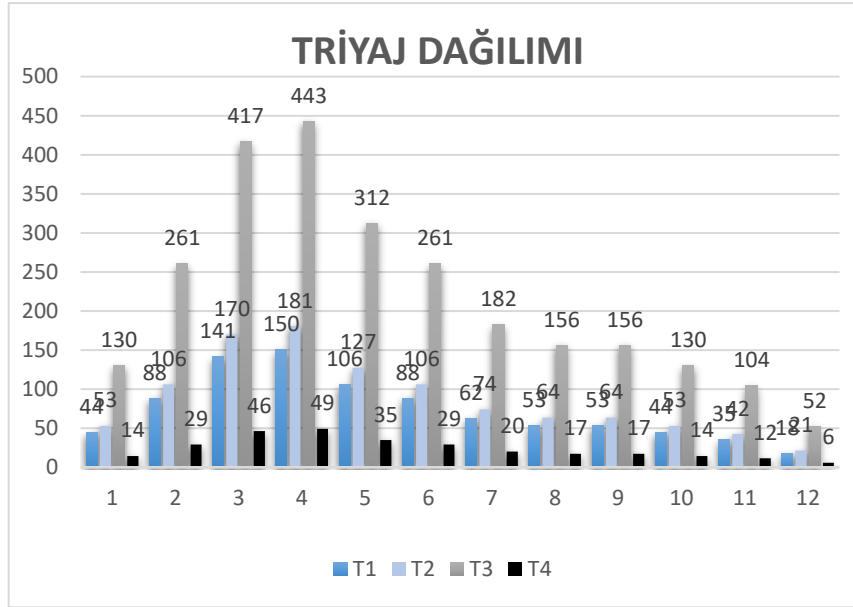
Mahalle Adı	T1	T2	T3	T4	Toplam	Toplam Nüfus	Etkilenme Oranı
Fabrikalar Mahallesi	15	18	28	7	68	2632	2,60%
Fatih Mahallesi	1	1	4	0	6	218	2,83%
Gündoğdu Mahallesi	22	28	90	6	146	5688	2,58%
Gürler Mahallesi	41	50	110	15	216	8377	2,58%
Güzeltepe Mahallesi	39	47	125	13	224	8670	2,57%
Hüseyinkahya Mahallesi	20	24	62	6	112	4336	2,58%
Kaletepe Mahallesi	63	76	248	17	404	15738	2,57%
Karşıyaka Mahallesi	24	21	49	6	100	6265	1,75%
Kırıkköyü Mahallesi	4	5	15	1	25	965	2,65%
Kızılırmak Mahallesi	2	2	6	1	11	391	2,64%
Kimeski Mahallesi	3	4	13	1	21	787	2,60%
Kurtuluş Mahallesi	23	29	62	8	122	4708	2,58%
Osmangazi Mahallesi	18	20	59	5	102	3937	2,59%
Ovacık Mahallesi	35	44	77	14	170	6580	2,59%
Sanayi Mahallesi	70	83	148	25	326	12582	2,59%
Selim Özer Mahallesi	24	30	60	8	122	4699	2,58%
Tepebaşı Mahallesi	39	45	96	15	195	7494	2,58%
Yaylacık Mahallesi	70	81	181	26	358	13876	2,58%
Yenidoğan Mahallesi	8	10	30	3	51	1999	2,57%
Yenimahalle Mahallesi	71	86	274	19	450	17569	2,57%
Yuva Mahallesi	27	33	66	9	135	5161	2,61%
Toplam	880	1047	2587	289	4803	188438	2,55%

Çalışmada dinamik bir deprem senaryosu geliştirilebilmesi için ARENA programında, 72 saat çalıştırılan simülasyon sonuçları her bir mahalle için 6' şar saatlik zaman dilimlerine ayrılmıştır. Bölüm 3.2'de bahsedilen deprem sonrası ilk 72 saatin önemi nedeniyle simülasyonda yaralıların 1.gün %48'i, 2.gün %35'i ve 3.gün ise %17'sinin oluşacağı varsayımı kabul edilmiştir. Çıkan sonuçlar aşağıdaki Tablo 6' da gösterilmiştir.

Tablo 6. 72 saatlik simülasyon sonuçlarınının 6 saatlik zaman dilimlerine ayrılması

Zaman Aralıkları (Saat)	T1	T2	T3	T4	Toplam
0 6	44	53	130	14	242
6 12	88	106	261	29	484
12 18	141	170	417	46	775
18 24	150	181	443	49	823
24 30	106	127	312	35	580
30 36	88	106	261	29	484
36 42	62	74	182	20	339
42 48	53	64	156	17	291
48 54	53	64	156	17	291
54 60	44	53	130	14	242
60 66	35	42	104	12	194
66 72	18	21	52	6	97
Toplam	884	1062	2605	290	4841

Tablo 6' da elde edilen sonuçlar aynı zamanda grafiklerle değerlendirilerek Şekil 9 elde edilmiştir. Şekil 9' un yatay eksenini yukarıda bahsi geçen 72 saatin 6' şar saatlik zaman dilimlerini, dikey eksen ise zaman dilimlerinde ortaya çıkan T1, T2, T3 ve T4 triyaj gruplarında bulunan kişi sayısını göstermektedir. Şekil 9' a göre deprem sonrası ilk 72 saat değerlendirildiğinde, depremden etkilenen kişi sayısı ilk 24 saatte (1-4 zaman dilimleri) oldukça yoğun olup, daha sonrasında ise depremden etkilenen kişi sayısı giderek azalmıştır. Ağır yaralı ve ölü sayısı 3. ve 4. zaman dilimlerinde en fazladır. Bu nedenle deprem sonrası arama kurtarma çalışmalarında can kayıplarının azaltılabilmesi için, bu zaman dilimlerinde gerçekleştirilecek faaliyetler oldukça önem taşımaktadır.



Şekil. 9. 6 saatlik zaman dilimlerine göre yaralı dağılımları

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, Bölüm 2’ de bahsedilen deprem sonrası hasara etki eden zemin profili ve bina kat sayısı parametrelerine göre değerlendirildiğinde, zemin profili kötü ve çok katlı binalarda depremden etkilenen kişi sayısı daha fazladır. Örneğin, deprem senaryosu çıktıklarının verildiği Tablo 5’ e göre depremden en çok etkilenen mahalle Çalılıöz mahallesidir ve Tablo 1’ e bakıldığında zaman, mahallenin %50 oranında zemin profili kötüdür ve Tablo 2’ye göre ise, mahallede 8, 9, 10 ve 11 katlı yapıların mevcut olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda deprem sonrası hasar durumunu, zemin profili ve bina kat sayısı parametreleri önemli ölçüde etkilemiştir. Deprem senaryosu oluşturulurken dikkate alınan parametrelere ek olarak nüfus yoğunluğu, özellikle Tablo 1’ de verilen zemin profili kötü oranının yüksek olduğu mahallelerde kentleşmenin yoğun olmasından dolayı Kırıkkale ilinde hasar yapıcı bir deprem meydana geldiği zaman, kayıpların beklenilenden daha fazla olmasına neden olacaktır. Olası bir deprem sonrası, oluşabilecek kayıplar tamamen engellenemez. Fakat Kırıkkale kent örneği için deprem sonrası kayıp tahmin analizi sonuçları gibi deprem senaryosu çıktıları kullanılarak yapılan planlamalar ve düzenlemelerin; hizmet verecek personel, hizmet alacak kişiler ve yönetilecek süreç açısından daha etkili ve verimli bir hale geleceği düşünülmektedir.

4. Sonuç

Tarihin her döneminde depremler oldukça çok yaşanmaktadır. Depremler başta fiziki kayıplar olmak üzere, sosyal, ekonomik ve psikolojik kayıplara yol açmaktadır. Türkiye konumu itibarıyla etkileri yüksek olan sığ depremlere maruz kalmaktadır. Hasar yapıcı depremlerin en sonuncusu 24 Ocak 2020 tarihinde, merkez üssü Sivrice olan Elâzığ ilinde Ms 6.8 büyüklüğünde meydana gelmiştir. Deprem etkileri fiziki kayıp olarak değerlendirildiğinde, 41 can kaybı ve 1607 yaralı vardır. Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde ise, 1287 binada ağır hasar, 56 binada orta ve 876 binada da az hasar oluşmuştur. Deprem sonucu meydana gelen hasarın azaltılabilmesi için, depremlerde kriz yönetim sürecinin önceden iyi bir şekilde planlanması gerekmektedir. Bu nedenle olası bir deprem sonucunda oluşabilecek hasarın gerçeğe en yakın şekilde tahmin edilmesi önem taşımaktadır. Bu durum, deprem sonrası kayıpların tahmin edilebilmesinin önemini ve bilimsel çalışmaların gerekliliğini ortaya koymuştur.

Bu çalışmada Kırıkkale ilinde meydana gelebilecek Ms 6.8 büyüklüğünde bir depremin oluşturabileceği kayıplar tahmin edilmiştir. Çalışma kapsamında kayıpların fiziksel boyutu ele alınmıştır. Çünkü olası bir hasar yapıcı deprem sonrasında yürütülen çalışmaların en temel amacı can kayıplarının en aza indirgenmesidir. Ekonomik, sosyal ve psikolojik faktörler, oluşan fiziki kayıpların gerisinde yer almaktadır. Bu nedenle deprem senaryosu oluşturulurken çıktı olarak ağır yaralı, hafif yaralı ve ölü sayısı toplamı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu tahminlerin gerçekçiliğinin sağlanması ile deprem sonrası kriz yönetim sürecinde yöneticilerin daha hızlı karar vererek, kaynakların daha düzenli ve hızlı bir şekilde dağıtımını sağlanabilir.

Deprem senaryosu, simülasyon ile oluşturulmuştur. Simülasyon ile oluşturulmasındaki en temel amaç aynı anda birden fazla parametrenin değerlendirilebilmesine olanak sağlamasıdır. Birden fazla parametreyi ele alan stokastik (olasılıksal) modellere göre daha hızlı ve ekonomik sonuçlar üretmektedir. Simülasyon kullanımında başka bir avantaj ise, Kırıkkale ili için oluşturulan yapı başka illerin kullanımı içinde uygun olmasıdır. Simülasyon tekrarlanma sayısı artırılarak sonuçlar daha gerçekçi bir hale getirilebilir. Daha önce ele alınmış deprem sonrası kayıpların tahmin edilmesi çalışmalarında simülasyon programı kullanılmamıştır. Bu durum çalışmanın özgünlüğü açısından önemlidir ve senaryo oluşturulması için farklı bir bakış açısı sunmaktadır.

Çalışma kapsamında deprem sonrası hasar tahmini için zemin profil bilgisi ve bina kat sayıları bilgileri baz alınmıştır. Gelecekte yapılan çalışmalarda bu parametrelere ek olarak depremin meydana geldiği odak derinlik noktası bir diğer parametre olarak simülasyon ağına eklenerek sonuçların gerçekçiliği artırılabilir. Eklenen her bir parametrenin deprem hasarına etki durumu sayısal

açından değerlendirilebilir. Gelecekte yapılabilecek çalışmalar için bir diğer nokta ise çalışmada ele alınan Kırıkkale ili merkez mahallelerinin hasar durumları ayrı ayrı elde edilmiştir. Ağ yapısı daha kapsamlı bir hale getirilerek tek bir simülasyon ile çıktı üretilmesi istenen bölgenin kayıp tahmin analizleri tek seferde ve daha kısa zamanda elde edilebilir. Elde edilen sonuçların analiz programları kullanılarak ya da algoritmik hesaplarla değerlendirilmesi çalışmanın özgün değerini arttıracaktır.

Referanslar

Akbaş, B., & Akdeniz, N., & Aksay, A., & Altun, İ., & Balcı, V., & Bilginer, E., & Bilgiç, T., & Duru, M., & Ercan, T., & Gedik, İ., & Günay, Y., & Güven, İ.H., & Hakyemez, H. Y., & Konak, N., & Papak, İ., & Pehlivan, Ş., & Sevin, M., & Şenel, M., & Tarhan, N., & Turhan, N., & Türkecan, A., & Ulu, Ü., & Uğuz, M.F., & Yurtsever, A. ve diğerleri, Türkiye Jeoloji Haritası Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını. Ankara Türkiye.

Babüroğlu, S. (1998). Deprem ve Devlet. Ankara: TBMM Vakıf Ofset Tesisi Yayını.

Crozi, M., & Galetto, R., & Spalla, A., (2005). A Web GIS for Managing Post-Earthquake Emergencies. First International Symposium on Disaster Management Gi4DM, Delft, Mart 21-23, 2005, 1269-1270.

Doğan, M. (2015). İl bazında afet lojistiği: Kocaeli ili örneği. Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.

Dursun, R., & Görmeli, C. A., & Görmeli, G. (2012). 2011 Van depremi sonrası Van bölgesi Eğitim ve Araştırma Hastanesine başvuran olguların değerlendirilmesi. Ulus Travma Acil Cerrahi Dergisi, 18(3), 260-264. doi: 10.5505/tjtes.2012.05863

Emre, Ö. & Duman, T.Y., & Özalp, S., & Elmacı, H., & Olgun, Ş. & Şaroğlu, F. (2013), 1/1.250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi, Ankara, Türkiye

Fahjan, Y., & Pakdamar, F., & Eryılmaz, Y., & Kara, İ. (2015). Afet planlamasında deprem riski belirsizliklerinin değerlendirilmesi. Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler ve Araştırma Dergisi.

Işık, E., & Sağır Ç., & Tozlu, Z., & Ustaoglu, Ü. S., (2019). Farklı deprem senaryolarına göre Kırşehir ili kayıp tahmin analizleri. Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5(1): 80-93, doi: 10.21324/dacd.432592

Işık, Ö., & Aydınlioğlu, H. M., & Koç, S., Gündoğdu, O., & Korkmaz, G., & Ay, A. (2012), Afet yönetimi ve afet odaklı sağlık hizmetleri. Okmeydanı Tıp Dergisi, 28(Ek sayı 2), 82-123 doi:10.32003/iggei.424675.

JICA, 2000. Japan International Cooperation Agency and Istanbul Metropolitan Municipality (IMM), The Study on A Disaster Prevention/Mitigation Basic Plan in Istanbul Including Seismic Microzonation in the Republic of Turkey, Aralık Final Raporu.

Karaman, H., (2008). Afet planlamasında deprem riski belirsizliklerinin değerlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

Karaman, H., & Şahin, M. (2009). Zeytinburnu ilçesi için deprem hasar tahmini çalışması. İTÜ Dergisi/d Mühendis, 8(3), 91-101.

Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KOERİ), (2003). Earthquake Risk Assessment for Istanbul Metropolitan Area, Boğaziçi Üniversitesi, Deprem Mühendisliği Bölümü Mayıs Final Raporu.

Koçyiğit, A. (2000). Orta Anadolu'nun genel neotektonik özellikleri ve depremselliği, Haymana-Tuzgözü-Ulukışla Basenleri uygulamalı çalışma. Türkiye Petrol Jeologları Özel Sayı 5, 1-26.

Koçyiğit, A., (2008). Ankara'nın depremselliği ve 2005-2007 Afşar (Bala-Ankara) Depremlerinin kaynağı. MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, No 6, 1-7, 2008.

Küçükçoban, S., 2004. Development of a Software for Seismic Damage Estimation: Case Studies. Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Özmen, B., & Can, H. (2016). Ankara için deterministik deprem tehlike analizi. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, 31(1), 9-18. doi:31. 10.17341/gummfd.12493.

Özmen, B. (2002). İstanbul ili için deprem senaryoyosu. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yayını Türkiye Mühendislik Haberleri, S;417.

Pektaş, T. (2012). İlçe bazında afet lojistiği: Başakşehir uygulaması. Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.

Sönmezer, B. Y., & Çeliker, M., & Kılınç, Y. M. (2012). Kırıkkale ili Bahçelievler ve Fabrikalar Mahallelerinin sıvılaşma potansiyelinin coğrafi bilgi sistemlerinde analizi. International Journal of Engineering Research and Development, 4(1), 33-40.

- Sönmezer, B. Y., & Akbaş, S. O., & Işık N. S. (2015). Kırıkkale ili yerleşim alanı için en büyük ivme, zemin büyütmesi ve hakim titreşim periyodu özelliklerinin değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(4), 711-721.
- Rojay, B., & Koçyiğit, A. (2009). Kuzey Anadolu Fay Sistemi' nin orta kesimi içinde aktif bir birleşik çek-ayır havza: Merzifon-Suluova Havzası. *Türkiye" 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, 822-823.
- Taşlıova, K., (2010). İstanbul ili esenler ilçesi deprem hasar tahmin analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Temur, G. T., & Turgut, Y., & Yılmaz, A., & Arslan, Ş., & Camcı, A.(2019). Deprem sonrası planlamaya yönelik lojistik ağ tasarımı: Ümraniye bölgesinde farklı deprem senaryoları için bir uygulama. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(1), 98-105. doi: 10.5505/pajes.2018.11736
- Türkiye Diri Fay Haritası Kırşehir paftası, (2015). (NJ 36-3) Seri no 25, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara,
- Walker, G., (1999). Flood Loss Estimation – It Can Be Done, AII Flood Seminar, 21 Mayıs, 1999, GRW Aon Re Australia.
- Wilson, D., & Hawe, G., & Coates, G., & Crouch, R. (2013). A multi-objective combinatorial model of casualty processing in major incident response. *European Journal of Operational Research*, 230. 643–655. doi:10.1016/j.ejor.2013.04.040.



Al-25Zn-3Cu-3Si Alaşımının Tornalanmasında Kaplamasız ve CVD-TiCN Kaplamalı Kesici Uçların Kesme Performansının Karşılaştırılması

Comparison of the Cutting Performance of Uncoated and CVD-TiCN Coated Inserts in Turning of Al-25Zn-3Cu-3Si Alloy

Şenol Bayraktar¹, Çiğdem Çamkerten¹

¹Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği, 53100,Rize, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 17/03/2020

Kabul / Accepted: 19/05/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Bu çalışmada, Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımı orta frekanslı indüksiyon ergitme ocağında kokil kalıba döküm yöntemi kullanılarak üretildi. Tornalama testleri, kaplamasız ve CVD-TiCN kaplamalı karbür kesiciler ile 450 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme ve 1,5 mm kesme derinliği parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kistler 9273 dinamometre ile kesme kuvveti ve Mahr Perthometer izleyici uçlu cihaz ile yüzey pürüzlülükleri ölçüldü. Kesme deneyleri sonucunda, kaplamasız kesici uçlar ile daha düşük kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği tespit edildi. CVD-TiCN kaplamalı kesici uçta yığıntı talaş oluşurken kaplamasız kesici uçta ise yığıntı katmanının oluştuğu gözlenmiştir. Her iki kesici uç ile alaşımın işlenmesi esnasında kırılğan talaş oluşmuştur. Ancak, kaplamasız kesici uç ile oluşan talaş formunun daha uzun ve kıvrımlı olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, kaplamasız kesicinin daha büyük talaş açısına sahip olmasına dayandırılarak açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Al-Zn Alaşımı, Mekanik Özellikler, Tornalama, Kesme Kuvveti, Yüzey Pürüzlülüğü”

Abstract

In this study, Al-25Zn-3Cu-3Si alloy was produced in medium frequency induction melting furnace using the gravity casting method. Turning tests were carried out with uncoated and CVD-TiCN coated carbide inserts using 450 m/min cutting speed, 0.05 mm/rev feed rate and 1.5 mm depth of cut parameters. While Kistler 9273 dynamometer was used for cutting force measurement, Mahr Perthometer tracer-tip device was used for surface roughness measurement. As a result of cutting experiments, it was determined that uncoated inserts provide lower cutting force and surface roughness. It was observed that a built-up edge (BUE) was formed on the CVD-TiCN coated insert while a built-up layer (BUL) layer was formed on the uncoated insert. Brittle chips were formed during the machining of the alloy with both inserts. However, it was found that the chip form was longer and curved using uncoated insert. The experimental results are explained based on the fact that the uncoated insert has a bigger rake angle than the CVD-TiCN coated insert.

Key Words

“Al-Zn Alloy, Mechanical Properties, Turning, Cutting Force, Surface Roughness”

1. Giriş

Alüminyum alaşımları, yüksek mukavemet/yoğunluk, hafiflik, korozyon direnci ve kolay şekillendirilebilme özellikleri bakımından havacılık, otomotiv ve medikal sektöründe yoğun olarak tercih edilmektedir (Nouari vd. 2003). Bu malzemeler, kullanımda istenen özelliklere bağlı olarak farklı elementler ile alaşımlandırılabilir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda yatak malzemesi olarak kullanılan Al-Zn esaslı alaşımların üstün tribolojik özellikler sergilediği bilinmektedir (Savaşkan ve Hekimoğlu 2016). Yüksek alüminyum içeren ikili Al-Zn alaşımları göz önüne alındığında, Al-25Zn alaşımı en yüksek sertlik, çekme dayanımı ve aşınmaya dayanıklı özelliklere sahiptir. İkili Al-25Zn alaşımına bakır (Cu) ilavesi ile birlikte Al-25Zn alaşımının tribolojik ve mekanik özellikleri geliştirildiği ve literatürde Al-25Zn-3Cu alaşımının optimum özelliklere sahip olduğu ortaya konulmuştur (Savaşkan vd. 2009, Bican ve Savaşkan 2014). Ayrıca, bu alaşıma yapılan silisyum (Si) ilavesi ile Al-25Zn-3Cu-3Si'nin mukavemet ve aşınma direnci geliştirilmektedir (Savaşkan ve Bican 2010). Bu alaşımlar geleneksel bronz yataklama malzemelerinden daha üstün olup, mekanik ve tribolojik özellikleri bakımından çinko esaslı monotektoid alaşımlarının yerine kullanılabilir (Prasad vd.1997, Savaşkan ve Azaklı 2008, Savaşkan vd. 2003). Döküm yöntemi ile üretilen alaşımların mekanik sistemlerde nihai ürün olarak kullanılabilmesi için tornalama, frezeleme ve delme gibi talaşlı imalat operasyonlarına tabi tutulması gerekmektedir. İmalat operasyonlarında malzemelerin işlenebilirliği kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği, kesici takım geometrisi ve malzemesi değişkenleri doğrultusunda kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması gibi çıktılar ile belirlenmektedir. Bu çıktılara göre malzemelerin işlenebilirlik özellikleri ortaya konulmaktadır. Literatürde Al-Zn esaslı malzemelerin işlenmesi üzerine sınırlı sayıda çalışmanın yapıldığı tespit edilmiştir. Trujillo ve ark., Al-Zn (UNS A97050) malzemenin TiN kaplamalı WC-Co uçlar ile tornalanmasında farklı geometrik toleranslardaki sapmaların kesme hızı ve ilerlemedeki değişimlerden çok az etkilendiğini (Trujillo vd. 2014), Sanchez ve ark., TiN kaplamalı WC-Co uçlar ile UNS A97050'in tornalanmasında, kesme esnasında termo-mekanik mekanizmaların etkisi ile talaş yüzeyinde yığıntı katmanının oluştuğunu ve buna bağlı olarak ilk kesme koşullarının değişmesi ve mekanik adhezyonun etkisi ile yığıntı talaşın oluştuğunu (Sánchez vd. 2005), Bayraktar ve Hekimoğlu, kaplamasız karbür kesici ile Al-Zn alaşımlarının frezelenmesinde Zn oranının artması ile kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığını (Bayraktar ve Hekimoğlu 2020), Hekimoğlu ve ark., Al-35Zn alaşımının işlenmesinde kesme hızının artması ile kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü azalırken, ilerlemenin artması ile arttığını ve kaplamasız karbür frezenin TiAlN kaplamalı takımlara göre daha iyi performans sergilediğini (Hekimoğlu vd. 2018) belirtmişlerdir. Literatürdeki çalışmalarda genel olarak Al-Zn esaslı alaşımlar ile ilgili mekanik ve işlenebilirlik özellikleri ile bu alaşımlara Cu ve Si ilave edilerek elde edilen Al-25Zn-3Cu ve Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımların mekanik ve tribolojik özelliklerinin araştırıldığı tespit edilmiştir. Ancak, yüksek miktarda alüminyum içeren Al-Zn alaşımları içinde üstün mukavemet ve aşınma direnci özellikleri sergileyen Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımının işleme özellikleri ve işlenmesi esnasında farklı kesici takımların kesme performansına etkileri, henüz ortaya konulmamıştır. Bu sebeple, bu çalışmada sabit kesme parametreleri ile Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımının tornalanmasında kaplamasız ve CVD-TiCN kaplamalı karbür kesici uçların kesme performansı, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü bakımından araştırılmıştır.

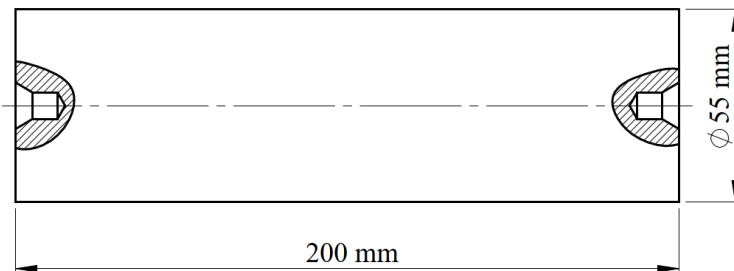
2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımı indüksiyon ergitme ocağında kokil kalıba döküm yöntemi ile üretilebilmesi için %99,8 saflıkta Al, Zn, Cu ve Si kullanıldı. Kimyasal bileşim oranlarına göre kullanılması gereken her bir elementin ağırlığı hesaplanarak, SAE 8620 çeliğinden yapılan kokil kalıp içerisine yaklaşık 675°C'de dökülerek katılaştırıldı. Alaşımın nominal kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımının nominal kimyasal bileşimleri

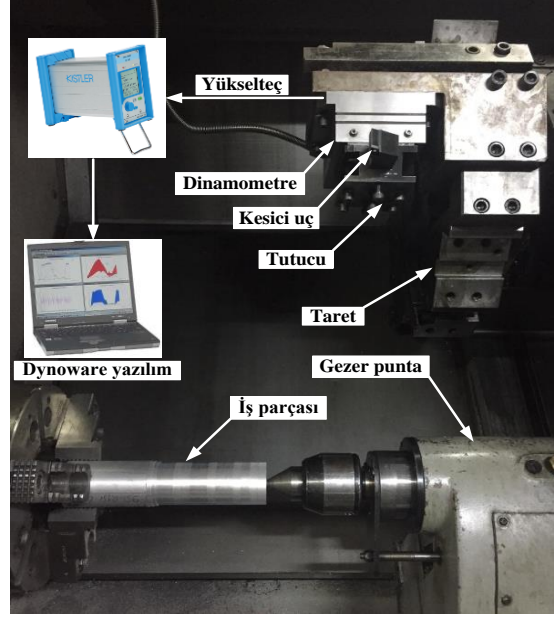
Alaşım	Ağırlıkça element oranı (%)			
	Çinko	Bakır	Silisyum	Alüminyum
Al-25Zn-3Cu-3Si	25	3	3	Kalan

Döküm işleminden sonra konik olarak kokil kalıptan çıkarılan alaşım, Şekil 1'deki gibi Ø55x200mm ölçülerinde olacak şekilde universal torna tezgahında tornalanmıştır. Tornalama deneyleri için Sumitomo Electric firması tarafından üretilen kaplamasız (DCGT 11T308N-AG; Uç yarıçapı:0,8 mm; Talaş açısı:20°; Boşluk açısı:7°) ve CVD-TiCN kaplamalı (DCMT 11T308N-MU; Uç yarıçapı:0,8 mm; Talaş açısı:0°; Boşluk açısı:7°) kesici uçlar, sabit 450 m/dak kesme hızı, 0,05 mm/dev ilerleme ve 1,5 mm kesme derinliği değerleri kullanılmıştır. Kesme parametreleri, literatürde yapılan çalışmalar dikkate alınarak tespit edilmiştir (Agustina vd. 2011, Marcos-Bárcena vd. 2005).



Şekil 1. Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımının teknik resmi

Tornalama deneyleri, Şekil 2’de verilen deney düzeneğine göre kaplamasız ve CVD-TiCN kaplamalı karbür uçlar için her bir deney üçer kez tekrarlanarak kuru kesme şartları altında yapıldı. Bu deney düzeneğinde, kesme esnasında kesici takıma F_x , F_y ve F_z yönlerinde gelen titreşim sinyalleri, Kistler 9273 dinamometre ile algılandıktan sonra Kistler marka yükseltece ve buradan da Dynoware yazılımına aktarılarak grafiklere dönüştürülmüştür. Daha sonra bu grafiklerden F_x , F_y ve F_z kuvvetleri elde edilerek bileşke kesme kuvveti (F) aşağıda verilen Eş.(1)’e göre hesaplanmıştır.



Şekil 2. Tornalama deney düzeneği

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (1)$$

Kesme deneylerinden sonra işlenen yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a), Mahr Perthometer M1 marka izleyici uçlu pürüzlülük ölçme cihazı ile Eş.(2)’ye göre ölçüldü. Burada L , ölçme uzunluğunu, y ise koordinat değerini ifade etmektedir. Deney sonrası ölçülen değerler, beşer kez tekrarlanmış olup elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması hesaplanarak ortalama yüzey pürüzlülüğü tespit edilmiştir.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx \quad (2)$$

3. Bulgular ve Tartışma

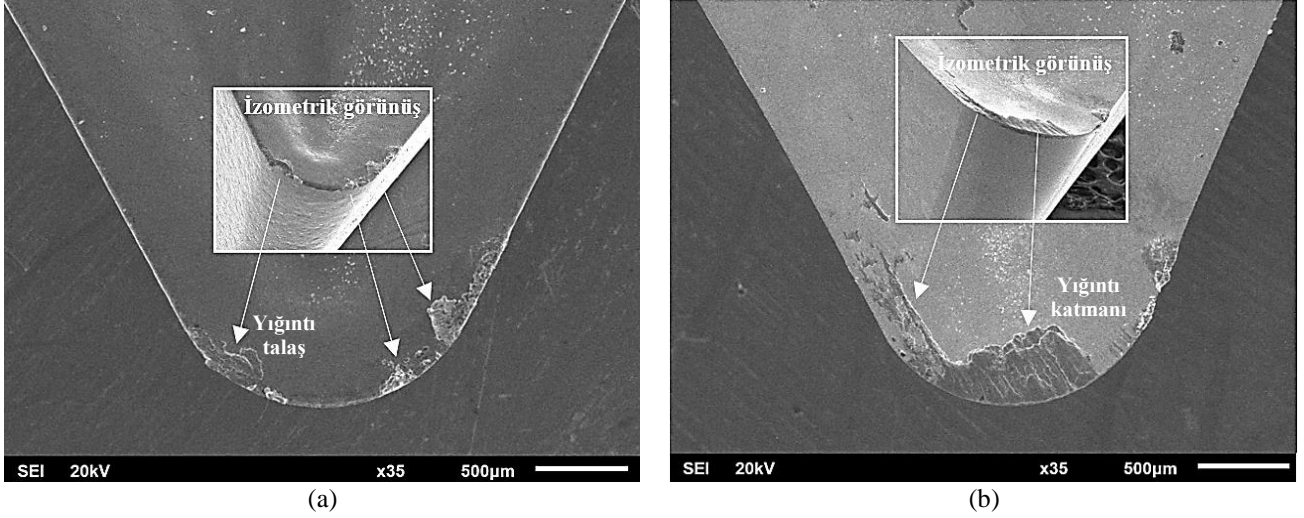
Alaşımın içyapısı ve mekanik özellikleri detaylı olarak incelenerek literatürdeki çalışmalarda (Bayraktar vd. 2020, Bican ve Savaşkan 2014, Savaşkan ve Bican 2010a, Savaşkan ve Bican, 2010b) ortaya konulmuştur. Buna göre, Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımının içyapısının α , $\alpha+\eta$, θ fazlarının yanı sıra ötektik ve primer silisyum parçacıklarından oluştuğu tespit edilmiştir. Ayrıca, bu çalışmalarda alaşımın Brinell sertlik değerinin ~141, akma mukavemetinin ~320 MPa, çekme mukavemetinin ~334 MPa ve kopma uzamasının ~%0,83 olduğu belirtilmiştir (Bayraktar vd. 2020, Bican ve Savaşkan 2014, Savaşkan ve Bican 2010a, Savaşkan ve Bican, 2010b).

CVD-TiCN kaplamalı karbür kesici takım ile tornalama işleminde kesme esnasında oluşan kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin kaplamasız kesici takıma göre daha fazla olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). Bu durum, kaplamasız kesicinin daha büyük talaş açısına sahip olması ile açıklanabilir. Alüminyum alaşımlarının işlenmesi esnasında birçok işleme yönteminde olduğu gibi talaş açısı faktörü kesme kuvveti, yığıntı talaş ve yığıntı katman oluşumu üzerinde önemli etkiye sahiptir. Talaş açısının artması, alüminyum esaslı alaşımlarda kesici takım-ış parçası temas yüzeyini azaltarak kesme işlemini kolaylaştırdığı bilinmektedir (Sekmen vd. 2015, Yanda vd. 2010, Aydın ve Özçatalbaş 2003). Böylelikle, yığıntı talaş ve yığıntı katman oluşumunun azalmasına bağlı olarak kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azaldığı düşünülmektedir.

Tablo 2. Tornalama işlemi sonrasında ölçülen kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerleri

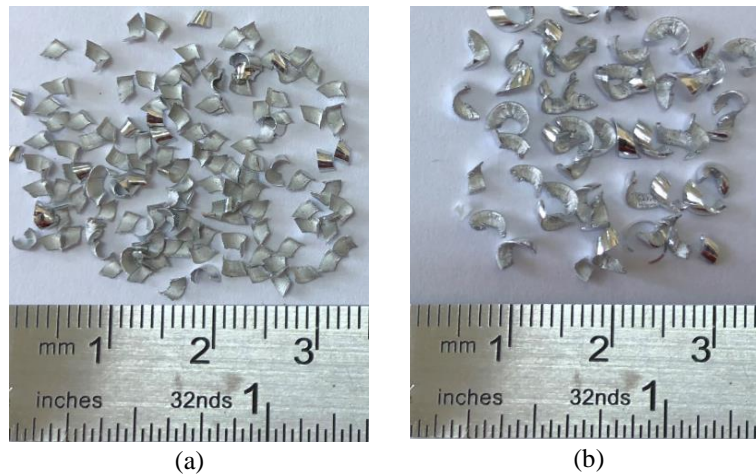
Kesici takım	Kesme kuvveti (N)	Yüzey pürüzlülüğü (μm)
CVD-TiCN kaplamalı karbür	197,214	0,578
Kaplamasız karbür	146,158	0,495

Kesme işlemi esnasında CVD-TiCN kaplamalı uçta iş parçası malzemesinin kesici uç talaş yüzeyine yapışması ile yığıntı talaş (Şekil 3a), kaplamasız kesici uçta ise iş parçası malzemesinin talaş yüzeyinde geniş bir alana ince tabaka halinde yapışması ile yığıntı katmanının oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 3b). Yukarıda da belirtildiği gibi talaş açısının artması, takım-iş parçası temas yüzeyini azaltmakta ve böylelikle kesici kenarda yığıntı talaş oluşumunu azaltıcı bir etken olarak ortaya çıkmaktadır (Jeelani ve Musial 1986). Ayrıca bu durum, talaş açısı faktörünün yanı sıra kesici takımdaki kaplama malzemesi iş parçası malzemesinin kesici takıma yapışmasını kolaylaştırmasına ve takım ucunda oluşan ısınmanın daha az gerçekleşmesine bağlı olarak talaşın takım ucundan daha yavaş uzaklaşması ile açıklanabilmektedir (Pul ve Şeker 2004). Dolayısı ile kaplamasız kesici ucun kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü bakımından CVD-TiCN kaplamalı kesiciye göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.



Şekil. 3. Kesme işlemi esnasında kesici uçlarda oluşan yığıntı talaş ve yığıntı katmanı, (a) CVD-TiCN kaplamalı; (b) Kaplamasız

İşleme esnasında kırılmayacak kadar süneklığe sahip saf alüminyum, kesici takıma yapışmakta ve yığıntı talaş oluşumuna sebep olmaktadır. Bazı alaşım elementleri eklenerek kesici takımda oluşabilecek yapışma azaltılabilmekte ve daha kırılğan talaş yapısı elde edilebilmektedir. Bakır, silisyum, çinko ve magnezyum gibi katı çözümleri oluşumuna (Al_2Cu , Mg_2Si , $FeAl_3$) katkı sağlayan elementler, alüminyum matrisin sertliğini arttırmakta ve böylece yığıntı talaş oluşumunu azaltarak alaşımın işlenebilirlik özelliklerini geliştirmektedir (Tay ve Lee 1992, Dwivedi vd. 2008, Bayraktar ve Afyon, 2020). Her iki kesici uç ile kesme işlemi esnasında oluşan talaş yapısının kırılğan olduğu gözlenmiştir. Kırılğan talaşın gevrek veya sert malzemelerin işlenmesinde oluşan talaş yapısı olduğu literatürdeki çalışmalardan da bilinmektedir (Sadiq vd. 2019, Dwivedi vd. 2008, Bayraktar ve Demir, 2020). Kaplamasız kesici uçlar ile kesme esnasında oluşan talaşların CVD-TiCN kaplamalı kesicilere göre daha uzun, kırılğan ve kıvrılmış bir yapıya sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 4). Bu durum, kaplamasız kesici uçların daha büyük talaş açısına sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Ceretti vd. 1996, Lo 2000).



Şekil. 4. Kesme işlemi sonrasında oluşan talaş yapısı, (a) CVD-TiCN kaplamalı; (b) Kaplamasız karbür kesici

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Al-25Zn-3Cu-3Si alaşımının kaplamasız ve CVD-TiCN kaplamalı karbür kesiciler ile tornalama işleminde kesici takımların kesme performansı, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü bakımından deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Kaplamasız kesici uçlar ile yapılan deneyler sonucunda CVD-TiCN kaplamalı uçlara göre daha düşük kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ölçüldüğü ve bunun da kaplamasız kesici uçların daha büyük talaş açısına sahip olmasından kaynaklandığı belirlenmiştir.
- CVD-TiCN kaplamalı kesici uça yığıntı talaş, kaplamasız kesici uça ise yığıntı katmanın oluştuğu gözlenmiştir.
- Her iki kesici uç ile kesme işlemi sonucunda kırılmalı talaş yapısının oluştuğu, kaplamasız kesici uçlar ile büyük talaş açısına bağlı olarak daha uzun ve kıvrımlı talaş yapısının oluştuğu tespit edilmiştir.
- Kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, yığıntı talaş, yığıntı katman ve talaş formu üzerinde talaş açısı faktörünün etkili olduğu ortaya konulmuştur.

Teşekkürler

Bu çalışma, “2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı” kapsamında 1919B011702369 numaralı proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

Referanslar

Agustina, D.B., Saá, A., Marcos Bárcena, M., Rubio, E.M. (2011). Analysis of the machinability of aluminium alloys UNS A97050-T7 and UNS A92024-T3 during short dry turning tests. In *Advanced Materials Research*, 264, 931-936. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.264-265.931.

Aydın, B., Özçatalbaş, Y. (2003). AA2014 (T6) Alaşımının İşlenebilirlik Özelliklerine Kesici Takım Geometrisinin Etkisi. *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 5(2), 89-95.

Bayraktar, Ş., Afyon, F. (2020). Machinability properties of Al-7Si, Al-7Si-4Zn and Al-7Si-4Zn-3Cu alloys. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42(4), 1-12.

Bayraktar, Ş., Demir, O. (2020). Processing of T6 heat-treated Al-12Si-0.6 Mg alloy. *Materials and Manufacturing Processes*, 35(3), 354-362.

Bayraktar, Ş., Çankerten, Ç., Salihoğlu, N. (2020). Bakır ve Silisyum İlavelerinin Al-25Zn Alaşımının CVD Al₂O₃ Kaplamalı Takımlarla Tornalanmasında İşlenebilirliğe Etkisinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 8(1), 79-93. doi:10.29109/gujsc.618229.

Bayraktar, Ş., Hekimoğlu, A.P. (2020). Effect of Zinc Content and Cutting Tool Coating on the Machinability of the Al-(5-35) Zn Alloys. *Metals and Materials International*, 26(4), 477-490. doi:10.1007/s12540-019-00582-y.

Bican, O., Savaşkan, T. (2014). A comparative Study of Lubricated Friction and Wear Behaviour of Al-25Zn-3Cu-3Si Bearing Alloy. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 228(8), 896-903. doi:10.1177/1350650114537473.

Ceretti, E., Fallböhmer, P., Wu, W.T., Altan, T. (1996). Application of 2D FEM to Chip Formation in Orthogonal Cutting. *Journal of Materials Processing Technology*, 59(1-2), 169-180. doi:10.1016/0924-0136(96)02296-0.

Dwivedi, D., Sharma, A., Rajan, T. (2008). Machining of LM13 and LM28 Cast Aluminium Alloys: Part I. *Journal of Materials Processing Technology*, 196(1), 197-204. doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.05.032.

Hekimoğlu, A.P., Bayraktar, Ş., Turgut, Y. (2018). Kesme Hızı ve İlerlemenin Al-35Zn Alaşımının İşlenebilirliğine Etkisinin İncelenmesi. 2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, 77-83, Samsun, Turkey.

Jeelani, S., Musial, M. (1986). Dependence of Fatigue Life on the Surface Integrity in the Machining of 2024-T351 Aluminum Alloy-Unlubricated Conditions. *Journal of Materials Science*, 21, 155-160. doi:10.1007/BF01144714.

Lo, S.P. (2000). An Analysis of Cutting Under Different Rake Angles Using the Finite Element Method. *Journal of Materials Processing Technology*, 105(1-2), 143-151. doi: 10.1016/S0924-0136(00)00650-6.

- Marcos-Bárcena, M., Sebastián-Pérez, M.A., Contreras-Samper, J.P., Sánchez-Carrilero, M., Sánchez-López, M., Sánchez-Sola, J.M. (2005). Study of roundness on cylindrical bars turned of aluminium-copper alloys UNS A92024. *Journal of Materials Processing Technology*, 162, 644-648. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2005.02.061.
- Nouari, M., List, G., Girot, F., Coupard, D. (2003). Experimental Analysis and Optimisation of Tool Wear in Dry Machining of Aluminium Alloys. *Wear*, 255(7-12), 1359-1368. doi: 10.1016/S0043-1648(03)00105-4.
- Prasad, B.K., Patwardhan, A.K., Yegneswaran, A.H. (1997). Dry Sliding Wear Response of a Modified Zinc-Based Alloy. *Materials Transactions*, 38(3), 197-204. doi: 10.2320/matertrans1989.38.197.
- Pul, M., Şeker, U. (2004). Metal Matrisli Kompozitlerin Tornalanmasında İlerleme Oranının Kesici Takım Aşınma Davranışlarına Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 17(3), 99-106. doi: 2339/2014.17.399-106.
- Sadiq, T.O., Hameed, B.A., Idris, J., Olaoye, O., Nursyaza, S., Samsudin, Z.H., Hasnan, M.I. (2019). Effect of Different Machining Parameters on Surface Roughness of Aluminium Alloys Based on Si and Mg Content. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(10), 1-11. doi: 10.1007/s40430-019-1948-8.
- Sánchez, J.M., Rubio, E., Álvarez, M., Sebastián, M.A., Marcos, M. (2005). Microstructural Characterisation of Material Adhered Over Cutting Tool in the Dry Machining of Aerospace Aluminium Alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 164, 911-918. doi:10.1016/j.jmatprotec.2005.02.058.
- Savaşkan, T., Azaklı, Z. (2008). An Investigation of Lubricated Friction and Wear Properties of Zn-40Al-2Cu-2Si Alloy in Comparison with SAE 65 Bearing Bronze. *Wear*, 264(11-12), 920-928. doi:10.1016/j.wear.2007.06.008.
- Savaşkan, T., Bican, O., Alemdağ, Y. (2009). Developing Aluminium-Zinc-Based a New Alloy for Tribological Applications. *Journal of Materials Science*, 44(8), 1969-1976. doi: 10.1007/s10853-009-3297-y.
- Savaşkan, T., Bican, O. (2010). Dry Sliding Friction and Wear Properties of Al-25Zn-3Cu-3Si Alloy. *Tribology International*, 43(8), 1346-1352. doi: 10.1016/j.triboint.2010.01.001.
- Savaşkan, T., Bican, O. (2010). Dry Sliding Friction and Wear Properties of Al-25Zn-3Cu-(0-5)Si Alloys in the As-Cast and Heat-Treated Conditions. *Tribology letters*, 40(3), 327-336. doi: 10.1007/s11249-010-9667-4.
- Savaşkan, T., Hekimoğlu, A.P. (2016). Relationships Between Mechanical and Tribological Properties of Zn-15Al-Based Ternary and Quaternary Alloys. *International Journal of Materials Research*, 107(7), 646-652. doi: 10.3139/146.111390.
- Savaşkan, T., Pürçek, G., Hekimoğlu, A.P. (2003). Effect of Copper Content on the Mechanical and Tribological Properties of ZnAl27-Based Alloys. *Tribology Letters*, 15(3), 257-263. doi:10.1023/A:1024817304351.
- Sekmen, M., Günay, M., Şeker, U. (2015). Alüminyum Alaşımlarının İşlenmesinde Kesme Hızı ve Talaş Açısının Yüzey Pürüzlülüğü, Yığıntı Talaş ve Yığıntı Katmanı Oluşumu Üzerine Etkisi. *Politeknik Dergisi*, 18(3), 141-148. doi: 10.2339/2015.18.3141-148.
- Tay, A.A.O., Lee, K.H. (1992). Calculation of Temperature Distributions in Machining Using a Hybrid Finite-Element-Boundary-Element Method. *Journal of Materials Processing Technology*, 29(1-3), 47-62. doi: 10.1016/0924-0136(92)90424-Q.
- Trujillo, F.J., Sevilla, L., Marcos, M. (2014). Cutting Speed-Feed Coupled Experimental Model for Geometric Deviations in the Dry Turning of UNS A97075 Al-Zn Alloys. *Advances in Mechanical Engineering*, 6, 1-11. doi: 10.1155/2014/382435.
- Yanda, H., Ghani, J.A., Haron, C.H.C. (2010). Effect of Rake Angle on Stress, Strain and Temperature on the Edge of Carbide Cutting Tool in Orthogonal Cutting Using FEM Simulation. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 42(2), 179-194. doi:10.5614/itbj.eng.sci.2010.42.2.6.



Yerli Spinel Kullanılarak Üretilen Magnezya-Spinel Refrakterlerin Mekanik Özelliklerinin ve Termal Şok Davranışlarının İncelenmesi

Investigation of Mechanical Properties and Thermal Shock Behaviours of Magnesia-Spinel Refractories Produced from Local Spinel

Ashlı Çakır Arianpour

Kastamonu Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Seramik ve Cam Bölümü, Kastamonu, Türkiye.

Başvuru/Received: 17/03/2020

Kabul / Accepted: 26/05/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Üstün fiziksel, kimyasal ve termal özellikler sayesinde spinel, çimento, demir ve demir dışı metal endüstrilerinde kullanılan şekilli ve monolitik refrakterlerin üretiminde yaygın olarak kullanılan iyi bilinen bir refrakter hammaddedir. Bu çalışmada, magnezya-spinel refrakter kompozitlerin termal şok özelliklerine yerli fused ve sinterlenmiş spinel hammaddelerin eklenmesi ile refrakter malzemenin mekanik özellikleri ve termal şok parametrelerindeki değişimler araştırılmıştır. Çalışmanın amacı, genellikle çimento döner fırınlarının sinter bölgesinde kullanılan ithal ürünlerin bir alternatifi olarak yüksek kaliteli bir refrakter tuğla üretmek için yerel spinel malzemelerinin ikame kabiliyetinin araştırılmasıydı. Numunelerin hazırlanmasından sonra, özellikler fiziksel (kütle yoğunluğu ve görünür gözeneklilik), mekanik (eğilme mukavemeti, elastik modül, kırılma tokluğu, kırık yüzey enerjisi ve iş enerjisi) ve termal stres / şok (R , R'' , R''' , R_{st}) açısından analiz edilmiştir. En iyi örneklerle ayrıca mikroyapısal (SEM / EDS) analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda yerli spinel kullanılmasıyla yoğunluk ve porozite özellikleri önemli bir değişim göstermemiştir. Matrisinde fused manyezit ve yerli üretilen karışık (fused ve sinter) spinel refrakterin ve matrisinde sinter manyezit ve karışık spinel kullanılan refrakterin standart refraktere göre R parametresi %50 oranında artış göstermiştir. Yerel olarak üretilen fused ve sinter spinelin, çimento döner fırının sinter bölgesinde kullanılmak üzere MgO - $MgAl_2O_4$ refrakterlerinin üretiminde uygulanabilirliğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler

"Sinter $MgAl_2O_4$, fused $MgAl_2O_4$, MgO - $MgAl_2O_4$ refrakter, mekanik Özellikler, termal şok parametreleri"

Abstract

Thanks to superior physical, chemical and thermal properties, spinel is a well-known refractory raw material widely consumed in the production of shaped and monolithic refractories used in the spinel, cement, iron and non-ferrous metal industries. In this study, the addition effects of domestic fused and sintered spinels on mechanical and thermal shock properties of magnesium-spinel refractory composites were studied. The aim was to investigate the substitution ability of local spinel materials to produce high-quality refractory compositions to be used in the sinter zone of cement rotary kilns. After samples preparation, the properties such as physical (bulk density and apparent porosity), mechanical (flexural strength, elastic modulus, fracture toughness, fracture surface energy and work energy) and thermal stress / shock (R , R'' , R''' , R_{st}) were investigated. Microstructural (SEM / EDS) analysis was also performed on the best samples. The physical properties results showed that the density and porosity did not change significantly with the use of domestic spinels. The R parameter of the fused magnesia matrix containing mix of fused and sintered spinel and the sample made of sintered magnesia and mixed spinel used in the matrix, increased by 50% compared to the standard sample. The overall results demonstrate the applicability of local sintered and fused spinel raw materials in the production of MgO - $MgAl_2O_4$ refractories for use in the sinter zone of rotary cement kilns.

Key Words

"Sintered $MgAl_2O_4$, fused $MgAl_2O_4$, MgO - $MgAl_2O_4$ refractories, mechanical properties, thermal shock parameters"

1. Giriş

Fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini yüksek sıcaklıklarda koruyabilen kaliteli refrakterlerin kullanımı çelik, döküm, çimento, petrokimya vb. endüstrileri için her zaman önemli olmuştur (Mohammadihooyeh et al. 2020). Çimento döner fırınlarında, magnezya-krom, magnezya-spinel, alümina refrakterler kullanılmaktadır. Magnezya-krom refrakterlerin içindeki çözünmeyen üç değerlikli kromun, artık manyezit krom refrakterlerden sızan altı değerlikli, çözünebilir durumuna dönüşmesi çevresel bir tehlikeye neden olur (Moore et al. 1991). Ayrıca, ülser, alerji ve kanser gibi sağlık problemlerine neden olan Cr^{+6} iyonlarının, krom cevheri içeren refrakter atıklarının Avrupa Birliği kurallarına bağlı kalarak yeniden düzenlenmesi gerekmiştir. Bu nedenle, Cr_2O_3 içermeyen alternatif refrakter malzeme ihtiyacını gündeme getirmiştir (Baik 1985, Moore et al. 1991, Aksel 2001, Aksoy vd. 2014). Bu ihtiyacın ortaya çıkmasından sonra, MgO-MgAl₂O₄ refrakterlere ilgi giderek artmıştır. MgO-MgAl₂O₄ refrakterlerin tokluk ve elastik parametrelerinin geliştirilmesi ile termal şok performansları artırılabilir (Soady and Plint 1991, Tabbert and Klischat 1992, Ceylantekin ve Aksel 2006). MgO ve MgAl₂O₄ ısıl genleşme katsayılarının çok farklı olması nedeniyle ($MgO=13 \cdot 10^{-6}$, $spinel=8 \cdot 10^{-6}$) soğuma sürecinde bu ısıl genleşme katsayıları farkından dolayı spinel taneleri çevresinde büyük çekme gerilmeleri oluşur (Aksel vd. 2002, Aksel 2001) ve oluşan çekme gerilmeleri büyük miktarda mikroçatlaklar oluşmaktadır. Refrakterlerdeki mikro çatlaklar mukavemetini azaltırken, refrakterlerin kullanımı boyunca serviste oluşan mikroçatlakların ilerlemesine bariyer görevi yaparak engeller veya ısıtma işlemi yapılırken oluşan stresin azalmasına yardımcı olur (Ceylantekin ve Aksel 2006). MgO-MgAl₂O₄ refrakterlerin ısıl şok davranışlarını tahmin etmekte kullanılan ısıl stres direnci parametreleri (R , R' ve R'') çatlağın başlaması için gerekli minimum ısıl şoku ve ısıl streslerden dolayı kırılmanın başlamasına karşı direncini ve ısıl şok hasarı parametreleri (R''' , R'''') ise ısıl şoklardan dolayı olabilecek hasarları tahmin etmekte kullanılırlar (Aksel and Warren 2003). Günümüzde, farklı endüstrilerde mevcut koşullar ve yüksek üretim maliyetleri göz önüne alındığında, maksimum verim ile refrakter malzemelerin kullanımı çok önemlidir. Bu çalışmanın amacı yerli üretilen fused ve sinter spinel karıştırılarak ve matrisde yerli hammaddeler kullanılarak üretilen refrakterlerin termal şok parametrelerinin yabancı hammaddeler kullanılarak üretilen refrakterlerle karşılaştırmaktır. Literatürde yapılan çalışmalar arasında yerli hammaddeler kullanılarak üretilen refrakterlerle herhangi bir karşılaştırma yapılmamıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kullanılan sinter, ergimiş manyezit, sinter ve ergimiş ve sinter spinel KÜMAŞ A.Ş'den temin edilmiştir. Reçete çalışmaları iki farklı bölümde yapılmıştır. Reçetelerin ilk bölümünde refrakterlerin matrisinde fused ve sinter magnezya kullanılarak, yerli üretim karışık spinel ve ithal karışık spinel ilave edilerek değerlendirilmeler yapılmıştır. Matrisinde sinter magnezya ve fused magnezya kullanılarak hazırlanan refrakter reçeteleri SM ve FM olarak kodlanmıştır. İthal karışık spinel ve yerli karışık spinel kullanılarak hazırlanan reçetelerde ise İK ve YK kodlamaları yapılmıştır. Örneğin, matrisinde sinter magnezya ve yerli karışık spinel kullanılan refrakter SMYK şeklinde kodlanmıştır. Standart reçetemiz SMİK kodlu reçetedir. Çalışmanın ikinci kısmında ise matrisinde fused magnezya (FM) bulunan refrakter reçetesine spinel tane boyutunun etkisini incelemek için farklı tane boyutlarında eşit miktarlarda yerli karışık spinel ilave edilmiştir ve FMYK03 şeklinde kodlanmıştır.

Refrakter reçeteleri hazırlanırken standart refrakter reçetelerinde kullanılan tane boyutları seçilmiştir. Kullanılan hammaddeler ince ($< 63 \mu m$), orta ve kaba tane boyutlu magnezya (0-6 mm), spinel (0-3 mm) aralığındadır. 25 kg harman oluşturmak üzere reçetelere uygun şekilde hammaddeler tartılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan harmanlardan kaba tane boyutlu hammaddeler eklendikten sonra bağlayıcı olarak % 1,5 totanın ilave edilmiş ve ince tane boyutlu hammaddeler ilave edilerek karıştırılmıştır. Hazırlanmış olan 5 kg'lık reçeteler kalıp içine doldurulduktan sonra 3+1 baskı uygulanarak tuğlalar maksimum 26 N/mm² basınç ile şekillendirilmiş olup, 1600°C'de tünel fırında sinterlenmiştir. Refrakterlerin kimyasal analizleri X- ışını floresans spektrometresi (Rigaku 3270) kullanılarak belirlenmiştir. Refrakter numunelerin yoğunluk tespiti için preslenmiş refrakterlerin farklı köşelerinden 150 gramlık iki farklı numune alınarak Archimedes prensibine göre yoğunlukları ölçülmüştür (Özdemir 2000). Isıl şok değeri Özdemir vd. (2000) yaptığı çalışmada olduğu gibi tespit edilmiştir. Standart testler dahilinde mukavemet (σ), elastic modül $\{E=L3m/(4WD3)\}$ ve iş enerjisi $\{\gamma WOF=U/[2W(D-c)]\}$ (Aksel and Warren 2003) verileri Instron 5581 cihazında 3-nokta eğme yöntemiyle saptanmıştır. 6 numuneye uygulanan testler sonucunda ortalama veriler elde edilmiştir. Testlerde 0,5 mm/dk'lık hızla hareket eden 2 kN' luk yük hücresi kullanılmıştır. İş enerjisi numunelere elmas kesiciyle 0,25 mm derinlikte çentik açılarak (SENB yöntemiyle) gerilim –deformasyon eğrisinin altında kalan alan (U) belirlenerek hesaplanmıştır. Standart testler dahilinde bulunan elastik modül, mukavemet ve iş enerjisi değerleri formüllerde (Aksel and Warren 2003) yerlerine koyularak R , R''' , R'''' ve Rst ısıl şok parametreleri hesaplanmıştır. Refrakter numunelerinin kırık yüzeyleri SEM (Zeiss SUPRA 50 VP) ile 20kV hızlandırma voltajı ve 8-10 mm aralığında çalışma mesafesinde geri saçılımlı elektron görüntüleri ile (BEI) mikroyapıları incelenmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Endüstriyel koşullarda refrakterler üretildikten sonra ilk olarak refrakterlerin kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir (Tablo 1). Refrakterlerin CaO/SiO₂ oranı 1'den düşük değildir. Genel olarak refrakterlerin Al₂O₃ içeriği % 10 civarındadır. MgO-spinel refrakterlerde alümina içeriği çok önemlidir. Al₂O₃ ne kadar az ise agregalara yapışma miktarı o kadar fazladır (Tokunaga et al 2003). Al₂O₃ içeriğinin en yüksek olduğu standart reçete SMİK kodlu refrakter olduğu görülmektedir. Matrisinde yerli karışık spinel kullanılan SMYK kodlu refrakterin Al₂O₃ miktarı en düşük çıkmıştır.

Tablo 1. Endüstriyel koşullarda üretilen refrakterlerin XRF ile belirlenen kimyasal kompozisyonları

Reçeteler	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	A.Z
SMİK	1,10	1,31	1,24	12,16	83,94	0,25
SMYK	1,24	1,34	1,08	9,92	86,26	0,16
FMYK	1,12	1,26	1,17	10,33	86,09	0,03
FMYK0-3	0,94	1,28	1,22	10,58	85,79	0,19
FMİK	1,08	1,34	1,12	11,28	85,11	0,07

Tablo 2’de endüstriyel koşullarda üretilen refrakterlerin fiziksel analiz sonuçları verilmiştir. En yüksek yoğunluk değeri 2,96 gr/cm³ olarak FMYK kodlu refrakterde ölçülmüştür. Hacim ağırlık ve porozite değerleri birbiriyle uyumludur. Standart reçeteye karşılaştırıldığında (SMİK), hacim ağırlık değerleri artış göstermiştir. Spinel ve matrisin değişimiyle göreceli olarak küçük artmalar veya azalmalar meydana gelmiştir. Bütün refrakterlerin termal şok değerleri 100’ün üzerinde çıkmıştır. Üretilen refrakterlerin fiziksel özellikleri incelendiğinde endüstriyel şartlarında üretilen refrakterlerin özelliklerine yakın olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 2. Endüstriyel koşullarda üretilen refrakterlerin fiziksel analiz sonuçları

Numune Adı	Porozite (%)	Hacim Ağırlık	Termal şok (sayı)
SMİK	17,93	2,92	>100
SMYK	17,10	2,95	>100
FMYK	16,96	2,96	>100
FMYK0-3	17,83	2,93	>100
FMİK	17,78	2,93	>100

Tablo 3’de endüstriyel koşullarda üretilen refrakterlerin mukavemet değerleri görülmektedir. SMİK kodlu refrakterin mukavemet değeri 2,80 MPa olduğu belirlenmiştir. Diğer refrakterlerin mukavemet değerlerinin standart numuneden daha yüksek olduğu görülmektedir. FMYK kodlu refrakterin mukavemet değerinin 5,93 MPa olduğu saptanmıştır. MgO- MgAl₂O₄ refrakter malzemeler saf MgO malzeme ile karşılaştırıldığında, ısı şoklarına karşı daha yüksek dayanım göstermektedir. Buna rağmen, MgO- MgAl₂O₄ refrakterlerin mekanik özellikleri düşüktür (Dem and Fak, 2002, Aksoy ve Aksel 2009). Bunun nedeni, MgO- MgAl₂O₄ kompozitler sinterleme sonrasında soğuma esnasında, MgO ve MgAl₂O₄’in ısı genleşme katsayıları (α) arasındaki büyük farklılıktan (25-1000°C, $\alpha_{MgO}=13.0 \times 10^{-6} K^{-1}$; $\alpha_{MgAl_2O_4}=7.6 \times 10^{-6} K^{-1}$) (Aksel 2001) yani MgO’ün daha fazla büzülmesinden dolayı spinel tanelerinin sıkışmasıyla dairesel çekme ile yarıçapsal basma gerilmeleri oluşmaktadır. Bu oluşan gerilmeler spinel tanelerinin etrafında yarıçapsal doğrultuda, birbiriyle ağ şeklinde kolaylıkla bağlanabilen, mikro çatlakların oluşumuna neden olmaktadır (Aksel 2002). Durağan fırınlardan farklı olarak çimento döner fırınlarında her dönüş boyunca bütün refrakterlere kuvvet uygulanır ve kaldırılır. Bu sürekli basma döngüsü mekanik yorulmaya neden olmaktadır. Refrakterlerin bu çeşit kuvvetlere uyum sağlaması için elastik özelliğinin olması gerekmektedir (Sengupta and Gupta 2009).

Tablo 3’te elastik modül değerleri verilmiştir. Elastik modülün en yüksek olduğu refrakterler matrisi ergimiş magnezya olan FMYK kodlu refrakterdir. Yapılan çalışmada genel olarak elastik modül değerleri düşüktür. Mikro çatlakların miktarı ve uzunluğu arttıkça birim alana uygulanan kuvvet azalır ve uygulanan kuvvete bağlı olarak gerilmedeki artış, daha çok mikro çatlakların oluşumuna yol açar buda elastik modülü düşürür. Aksel (2001) çalışmasında mikroyapıda ısı genleşme katsayılarının farklılıklarından dolayı önceden ortaya çıkmış düşük miktardaki mikro çatlakların birbiriyle bağlanarak uzaması arttıkça, elastik modül değerinde azalmanın artacağı rapor edilmiştir.

Endüstriyel ortamda üretilen refrakterlerin iş enerjisi değerleri Tablo 4’de verilmiştir. İçerisinde matris olarak ergimiş magnezya ve ithal karışık spinel kullanılan FMİK ve içerisinde tamamen yerli hammadde kullanılan SMYK kodlu refrakterin iş enerjisi değeri en yüksek çıkmıştır. Aksel (2001) ve Aksel vd. (2004); yaptığı çalışmalarda spinel miktarının artmasıyla, tane sınırları içinden tane sınırları arasına doğru oluşan kırılma tipindeki bu değişikliğin γ_{WOF} enerjisindeki artışın temel nedeni olduğunu belirlemişlerdir. Yaptığımız çalışmada magnezya kaynağının değişmesiyle iş enerjisi değerlerinin değiştiği ve bu yüzden kırılma karakterinin tane sınırları içinden, tane sınırları arasına doğru değiştiği düşünülmektedir.

Tablo 5’de üretilen refrakter reçeteleri için hesaplanan R parametresi değerleri görülmektedir.. R parametresi değerlerini kendi içinde değerlendirdiğimizde uygun refrakter reçetesinin seçiminde yararlı olacaktır. Tablo 5’deki R değerleri göz önüne alındığında en yüksek R değerlerinin SMİK ve FMYK kodlu refrakterlerde elde edildiği görülmektedir. R parametresi incelendiğinde çatlak başlamasına karşı direnci arttırmak için malzemenin yüksek mukavemete ve ısıl iletkenliğe, düşük ısıl genleşme katsayısına ve elastik modüle sahip olması gerekir. Fakat bu malzeme için tehlikelidir. Çünkü çatlak başlaması güçleşir fakat çatlak başladıktan sonra hızlı bir şekilde ilerler (Aksel vd. 2004).

Tablo 3. Endüstriyel koşullarda üretilen refrakterlerin mukavemet ve elastik modül değerleri

Reçeteler	Mukavemet (MPa)	Elastik Modül (GPa)
SMİK	2,80±0,87	1,40±0,19
SMYK	5,06±0,90	1,66±0,23
FMYK	5,93±1,19	1,95±0,20
FMYK0-3	5,03±1,07	1,81±0,36
FMİK	4,41±0,98	1,68±0,19

Tablo 4. Endüstriyel koşullarda üretilen refrakterlerin iş enerjisi değerleri

Reçeteler	İş enerjisi (J/m ²)
SMİK	125,90±22,38
SMYK	215,14±85,25
FMYK	198,31±37,77
FMYK0-3	173,15±38,08
FMİK	216,03±69,75

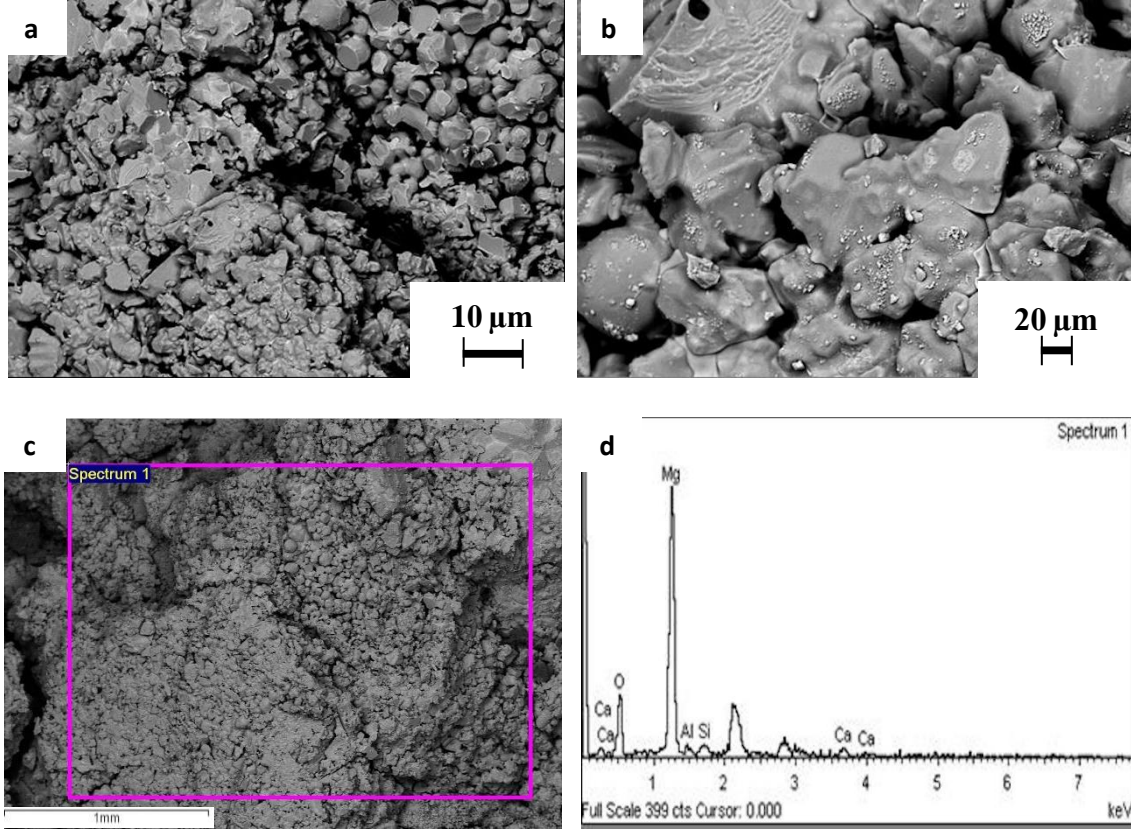
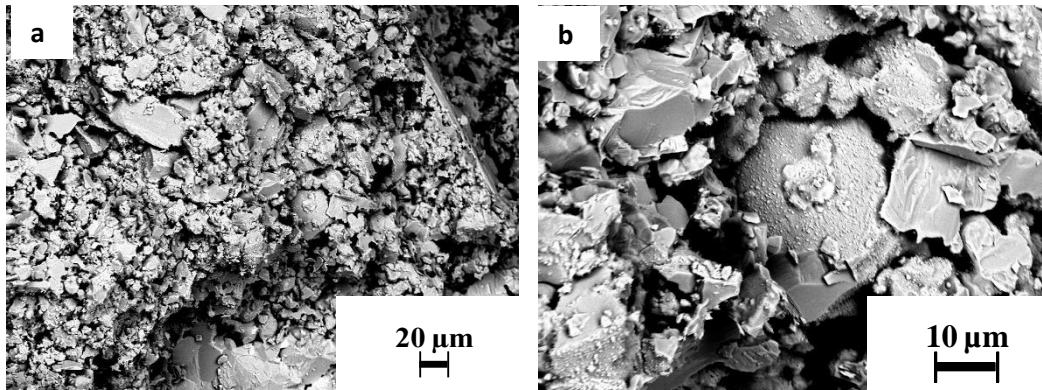
Üretilen refrakterlerin R^{'''} parametreleri karşılaştırıldığında (Tablo 5) matrisinde sinter magnezya ve yurt dışından temin edilen karışık spinel kullanılan SMİK kodlu refrakter reçetesinde en yüksek R^{'''} değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Çatlak ilerlemesini minimuma indirmek ve malzemedeki hasarı azaltmak için yüksek elastik modül ve iş enerjisi istenirken, düşük mukavemet istenmektedir. R^{'''} parametresinde etkin olan parametre elastik modüldür (Aksel 1998),

Tablo 5’de R^{'''} değerleri incelendiğinde matrisinde sinter magnezya ve spinel olarakda yurt dışından temin edilen karışık spinel kullanılan SMİK kodlu refrakter reçetesinin R^{'''} değeri en yüksek çıkmıştır. İkinci en yüksek R^{'''} değerine FMİK kodlu refrakter sahiptir. Isıl şok direncinin artması için yüksek R^{'''} parametresi değerleri istenmesine rağmen, bu değerler mukavemetin sıfıra yaklaşmasıyla elde edilemez. İstenilen amaç, orta değerlikteki mukavemet değerlerinin tane boyutuna bağlı olarak optimize edilmesi ve ısıl şok testleri sonucunda maksimum mukavemet elde edilmesi olduğu rapor edilmiştir (Aksel 2002). R_{st} şiddetli ısıl gerilim koşulları altında uzun çatlakların ilerlemesi için gerekli izin verilen maksimum sıcaklık farkıdır (Hasselman 1970). Tablo 5’de üretilen refrakterlerin R_{st} değerleri görülmektedir. Bu değerler göz önüne alındığında en yüksek R_{st} değerine FMYK0-3 ve FMİK kodlu refrakterde ulaşılmıştır.

SMYK kodlu refraktere yapılan elektron mikroskobu incelemeleri sonucu elde edilen mikroyapı görüntüleri ve EDX analizleri Şekil 1’de verilmiştir. Yapılan incelemede tane içi ve taneler arası kırılmanın olduğu fakat taneler arası kırılmanın baskın olduğu tespit edilmiştir. EDX analizine göre ana element olarak Mg ve O ve düşük miktarlarda Al, Si ve Ca elementleri tespit edilmiştir. FMYK0-3 kodlu refraktere yapılan elektron mikroskobu incelemeleri sonucu elde edilen mikroyapı görüntüleri Şekil 2’de verilmiştir. Tane içi ve taneler arası kırılmaların olduğu fakat taneler arası kırılmaların baskın olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 5. Endüstriyel koşullarda üretilen refrakterlerin R, R^{'''}, R^{''''} ve R_{st} değerleri

Reçeteler	R (K)	R ^{'''} (MPa ⁻¹)	R ^{''''}	R _{st} (m ^{1/2} .K)
SMİK	112,59	252,23	31,75	9,19
SMYK	171,79	91,41	19,67	10,63
FMYK	171,51	78,21	15,51	12,38
FMYK0-3	157,34	100,40	17,38	13,60
FMİK	147,81	122,09	26,37	13,23

**Şekil 1.** SMYK kodlu refrakterin kırık yüzeyinin mikroyapısı a)500X ve b)2000X ve c-d) refraktere kırık yüzeyinden yapılan genel EDX analizi**Şekil 2.** FMYK0-3 kodlu refrakterin kırık yüzeyinin mikroyapısı a)500X ve b)2000X

4. Genel Sonuçlar

Yerli hammaddeler kullanılarak üretilen MgO-MgAl₂O₄ refrakterlerin ısıl şok davranışlarını belirlemek için yapılan çalışma sonucunda üretilen refrakterlerin kimyasal analiz sonuçlarına göre C/S oranları 1'den büyüktür. Spinel ve magnezya kaynağının

değişmesiyle beraber iş enerjisi ile artışı tespit edilmiştir. İş enerjisi değerleri göz önüne alındığında matrisinde ergimiş manyezit spinel olarak da ithal karışık spinel kullanılan FMİK kodlu refrakterde maksimum iş enerjisi değeri tespit edilmiştir. Tamamen yerli hammadde kullanılan SMYK kodlu refrakterin iş enerjisi değeri FMİK kodlu refraktere çok yakındır. Isıl gerilmelerden dolayı çatlakların başlamasına karşı direnci belirten R parametresi ise SMYK ve FMYK kodlu refrakterde standart SMİK refraktere göre %50 oranında artış göstermiştir. Malzemenin ısıl şok direncindeki artışı işaret eden R'' parametresi değerleri incelendiğinde standart SMİK kodlu refrakterin parametre değerleri yerli hammaddeler kullanılarak üretilen refrakterlerden %50 daha yüksek çıkmıştır. Şiddetli ısıl stres şartlarında uzun çatlakların ilerleyebilmesi için izin verilen maksimum sıcaklık farkını belirten Rst değeri FMYK0-3 refrakterde standart SMİK refraktere göre yaklaşık %50 oranında artış göstermiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda üretilen refrakterlerde optimizasyonlar yapılarak standart refraktere göre daha iyi ısıl şok parametreleri elde edilebileceği tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmayı Endüstriyel Doktora Programı (EDP) kapsamında maddi olarak destekleyen KÜMAŞ'a deneylere destek sağlayan Anadolu Üniversitesi'ne ve çalışma süresince değerli katkılarını esirgemeyen Prof. Dr. Servet Turan'a teşekkür ederim.

5. Referanslar

Aksel, C. (1998), Thermal shock behaviour and mechanical properties of magnesia-spinel composites, PhD Thesis, University of Leeds.

Aksel, C. (2001), Magnezyum oksit ve farklı kimyasal kompozisyonlardaki magnezyum alüminat spinel kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Seramik Sanat, Bilim ve Teknoloji, Türk Seramik Derneği, **15**, 21-25.

Aksel, C., Rand, B., Riley, F.L. ve Warren, P.D. (2002), "Mechanical properties of magnesia-spinel composites", *Journal of European Ceramic Society*, **22**, 745-754.

Aksel, C. (2002), "MgO-Spinel kompozitlerde tane boyutu değişiminin ısıl şok davranışlarına etkisi", 11. Uluslar arası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı, 819-825.

Aksel, C. ve Warren, P.D. (2003), Thermal shock parameters (R, R'' and R''') of magnesia-spinel composites, *Journal of the European Ceramic Society*, **23**, 301-308.

Aksel, C., Warren, P.D. ve Riley, F.L. (2004), "Fracture behaviour of magnesia and magesia-spinel composites before and after thermal shock", *Journal of European Ceramic Society*, **24**, 2407-2416.

Aksoy T. ve Aksel C (2009) "ZrO₂-Y₂O₃ İlaveli MgO-MgAl₂O₄ Kompozit Refrakterlerin Mekanik Özelliklerinin ve Mikroyapısal Karakteristiklerinin İncelenmesi" Afyon Kocatepe University Fen Bilimleri Dergisi, **9**, 161-169.

Aksoy T., Aksel C., Kavas T. (2014), "Hersinit İlaveli MgO-MgAl₂O₄ Kompozit Refrakterlerin Mekanik Özelliklerinin ve Mikroyapısal Karakteristiklerinin İncelenmesi", Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, no. 14, pp. 525-529.

Baik, Y. (1985), Sintering of MgAl₂O₄ spinel and its characteristics, *Yoop Hikoechi*, **22**(6), 29-36.

Ceylantekin, R. ve Aksel, C. (2006), "Zirkon ilavesiyle model MgO-spinel kompozit refrakterlerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve mikroyapısal karakterizasyonu", VI. Uluslar arası katılımlı Seramik Kongresi Bildiriler Kitabı, Sakarya, 199-204.

Dem, L., & Fak, M. (2002). Kompozit malzemeler ve mekanik özellikleri, 171–180.

Hasselman, D.P.H. (1970), "Thermal stres resistance parameters for brittle refractory ceramics: a compendium" Am. Ceram. Soc. Bull., 49 (12), 1033-1037.

Mohammadihooyeh, M., Karamian, E., & Emadi, R. (2020). Effect of magnesium-aluminate spinel nano-particles on microstructure and properties behaviors of doloma-containing refractories. *Ceramics International*, 46(2), 1662–1667. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.09.138>

Moore B., Frith, M. ve Evans,D. (1991) Developments in basic refractories for cement kilns, *World Cement*, 5-12.

Özdemir, Nafiz, (2000), Bakır ergitme fırın refrakterlerinin iyileştirilmesi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, Eskişehir.

Sengupta, P. ve Gupta, K. (2009), “Development of chrome free refractories for cement kiln”, UNITECH 2009.

Soady, J.S ve Plint, S. (1991), A quantitative thermal shock approach to the development of magnesia-spinel refractories for the cement kiln, UNITECH’91, 443-449.

Tabbert, W. ve Klischat, H.J. (1992), Magnesia spinel bricks for cement industry, Proceedings Beijing China Symposium, 424-430.

Tokunaga, K., Watanabe, Y. Ve Taniguchi, T. (2003), “Performance of new chrome-free basic brick in rotary cement kilns”, *Journal of the technical association of refractories*, 23 [4], 260-265.



Major Ion Composition of Dry Deposition in Kırklareli, Turkey

İlker Oruç¹

Vocational College of Technical Sciences, Kırklareli University, Kırklareli, TURKEY

Başvuru/Received: 19/03/2020

Kabul / Accepted: 29/05/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Abstract

The chemical composition of dry deposition in Kırklareli (Turkey) is presented in this study. During the sampling period, in a total of 28 dry deposition samples which were collected in two stations which are Central District and Kaynarca Town, the concentrations of major cations (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , NH_4^+) and major anions (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) were determined and pH values were also measured. In both sampling stations, arithmetic mean concentration values of major cations are $\text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ and those of major anions are $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ in dry deposition samples. By calculating the enrichment factors (EF) of the chemical components and non-sea salt (NSS) concentration values, it has been aimed to determine the ion sources in the dry deposition. Non-sea salt fraction (NSSF) values of Ca^{2+} and K^+ ions are 99% and 96%, respectively, in both sampling stations. Fluxes of dry deposition of ions were calculated. In both stations, among all ions, sulphate ion is the one which has the highest mean dry deposition flux value.

Key Words

“Dry deposition, ion concentration, enrichment factor”

1. Introduction

Dry deposition includes the collection of atmospheric species directly on the surfaces without precipitation; also, it is a continuous and a slower process compared to wet deposition (Wallace and Hobbs, 2006). The level of atmospheric turbulence, chemical features of depositing species and the own nature of the surface are the factors that affect dry deposition of a particle or gaseous species. Particularly in the layer nearest to the surface, the level of turbulence in the atmosphere affects the speed of gaseous species to reach the ground (Seinfeld and Pandis, 2006). So as to relate dry deposition processes to various control factors, it is necessary to simultaneously measure the meteorological conditions and surface traits (Gong and Barrie, 2009). Generally, dry deposition can more effectively remove small particles close to the ground compared to sedimentation. The reason why dry deposition is more effective in particles than in gases is the fact that particles are heavier than gases (Jacobson, 2002). Coarse mode of aerosols and large particles which contain calcium and magnesium can perform dry deposition more effectively compared to fine particles (Akkoyunlu and Tayanç, 2003).

There are many studies related to the dry deposition analysis in the literature. Some results of such researches are given below. Al-Momani et al. (1995), has showed that relatively greater dimensions of sea salt particles caused, on the mass of dry deposition, the high contribution of Na^+ and Cl^- , sedimenting out in the adjacent coastline area where the station is situated. In dry deposition, ions contributed to total ion mass by Na^+ (25.4%), Ca^{2+} (7.4%), Mg^{2+} (4.8%), K^+ (1.8%), NH_4^+ (0.5%), Cl^- (40%), SO_4^{2-} (15.3%), and NO_3^- (4.9%). Another study by Ferm and Hultberg (1999), has demonstrated a large fraction of total atmospheric input for base cations which are Na^+ (66%), Mg^{2+} (67%), Ca^{2+} (53%), and K^+ (42%) within the dry deposition. According to the study of Rao et al. (1992), deposition rates varied in three different seasons. The maximum deposition rates were recorded during the winter season and these rates dropped to minimum in the monsoon season. The deposition rates were intermediate in the summer season. The annual average values of deposition fluxes of Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , and Mg^{2+} were determined as 0.43, 0.20, 0.57, 0.03, 0.21, 0.10, 0.80, and 0.12 $\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$, respectively. The total deposition for K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , and NO_3^- were higher than those for Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , and NH_4^+ in terms of percentage contributions of dry deposition. The 26% of the total dry deposition was SO_4^{2-} and 38% was NO_3^- . Furthermore, percentage of Na^+ was 24, K^+ was 40, Ca^{2+} was 37, and Mg^{2+} was 34 within the total dry deposition. Based on study of Akkoyunlu and Tayanç (2003), enrichment factors for wet and bulk deposition were generally observed much lower than the enrichment factors for dry deposition. As expected, this shows terrestrial sources are effective on the dry deposition as main sources. Enrichment factors of Cl^- and Mg^{2+} were lower than those of Ca^{2+} , SO_4^{2-} , and K^+ . Cl^- and Mg^{2+} were less important on dry deposition because they mainly originate from sea. Inomata et al. (2009), have mentioned that the dry deposition flux of dust under circumstances of strong wind was dominated by local dust around the observation site. Dry deposition of chemical species which is water-soluble depicts the variation in the water vapor mixing ratio. Also, Inomata et al. (2009) and Budhavant et al. (2012) have determined that during the long-range transport, there was a connection between the dry deposition fluxes of water-soluble species and the emission and modification of dust.

In this work, dry deposition sampling was performed at two stations in Kirklareli. In samples of dry deposition; concentrations of major ions were measured, their sources were aimed to be determined and dry deposition fluxes were calculated.

2. Materials and Methods

Kirklareli is a border province located in the northwest part of the Turkey. Two sampling stations were selected in Kirklareli for dry deposition sampling. The sampling stations in Kirklareli are the Central District and Kaynarca Town of Pinarhisar District (Figure 1). Dry deposition samples were collected simultaneously from January 1st, 2015 to the end of July 2015 at the two stations. During this period, a total of 28 dry deposition samples, 14 of which were from Central District and the other 14 from Kaynarca Town, were collected. During the sampling period, in samples of dry deposition type; the concentrations of major cations (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , NH_4^+) and major anions (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) were found and pH values were also measured.

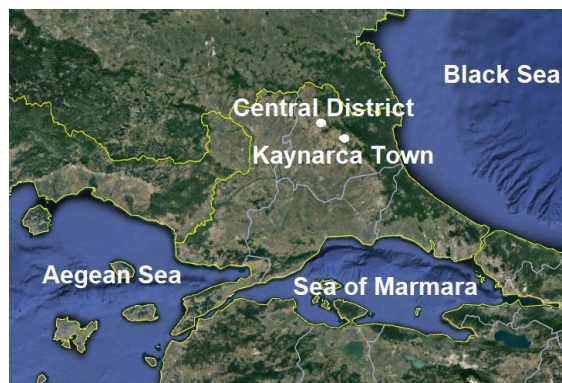


Figure 1. Sampling stations in Kirklareli.

In dry deposition sampling, the sampling containers and funnels were rinsed with deionized water before the sampling, soaked with 5% nitric acid, rinsed again with deionized water and dried, then made ready for sampling. 60 cm diameter funnels were used in the sampling. Funnels were mounted at a height of 150 cm from the ground. This height is necessary to avoid mixing the ground dusts with the sampling funnels. Dry deposition sampling was carried out for 15 day periods in a high-ceiled area which is open to the atmosphere on the other sides, so as to block wet deposition, but not to affect dry deposition. Sampling funnels were rinsed with 1 liter of deionized water during dry deposition sampling. The rinsing water was transferred to polyethylene containers for analysis. The pH values of the samples transferred in polyethylene containers were measured immediately. The samples were stored in light-proof funnels before the chemical analysis, in pre-cleaned polyethylene containers at 4 °C in a refrigerator. Then, the samples were taken to the laboratory for analysis.

Hanna HI 9811-5 Portable pH/EC/TDS/°C Meters device was used for pH measurement. While Ion Chromatography device was used for Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , and NH_4^+ analysis, ICP/OES (SPECTRO ARCOS) device was engaged for Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , and Na^+ analysis.

The enrichment factors (EF) for seawater is defined as (Okay et al., 2002; Akkoyunlu and Tayanç, 2003);

$$EF = \frac{(X/C)_{\text{precipitation}}}{(X/C)_{\text{reference material}}} \quad (1)$$

The non-sea salt (NSS) concentration of ions is determined with the equation below (Okay et al., 2002; Akkoyunlu and Tayanç, 2003).

$$NSS = \text{Total}X_p - C_p(X_r/C_r) \quad (2)$$

In the equations; X shows the corresponding ion concentration and C represents the reference ion concentration. The subscript of p gives the ions in the precipitation, while r subscript represents the ions in the reference material. NSSF is presented as the ratio of non-sea salt concentration to total concentration (Akkoyunlu and Tayanç, 2003).

In this study, the concentration values of ions in sea surface water were used (Brewer, 1975) and by taking sodium as the reference element, the enrichment factors of ions in dry deposition type were calculated.

Dry deposition flux is acquired by using the equation below (Zobrist et al., 1993).

$$F = \frac{C\Delta V}{A\Delta t} \quad (3)$$

In the equation, F is dry deposition flux ($\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$), C is concentration (rinsing water included) (mg L^{-1}), ΔV is volume (rinsing water included) (L), A is the area of the surface where dry deposition takes place (m^2) and Δt is the period of dry deposition (d).

3. Results and Discussion

The pH values of dry deposition samples are between 6.55 to 7.71 in the Central District and 6.52 to 7.75 in the Kaynarca Town. The mean pH values of dry deposition samples in the Central District and Kaynarca Town are 7.00 and 7.07, respectively. The samples with the highest frequency values in the Central District (64.29%) had a pH values of 6.5-7.0, while the highest frequency values in the Kaynarca Town (50.00%) was between 7.0-7.5 (Figure 2). All of the dry deposition type samples are alkaline in two stations at Kırklareli.

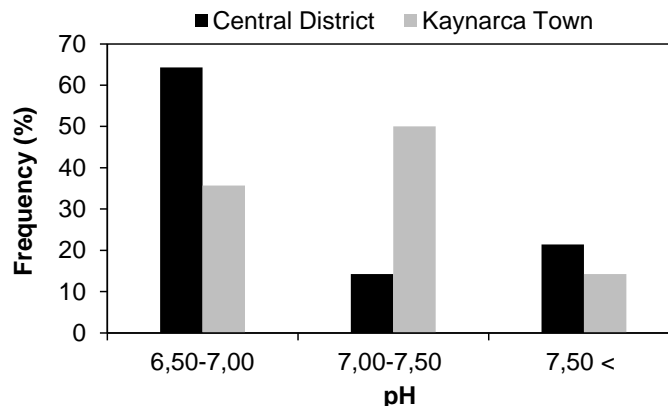


Figure 2. Frequency distribution of pH values in dry deposition samples.

The average concentrations of major ions in dry deposition in Kirklareli are shown in Figure 3. The average concentration values of all ions except the SO_4^{2-} ion in Kaynarca Town was found to be higher than the average concentration values of all ions in Central District (2-30%). The arithmetic mean concentrations of major ions for the dry deposition in the two sampling stations tend to show a similar trend: $\text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$. In Central District, mean concentration values of these ions, respectively, are 6.33, 4.37, 3.15, 1.54, 0.90, 0.59, 0.52, 0.32 mg L^{-1} and in Kaynarca Town 6.12, 4.81, 4.46, 1.59, 0.92, 0.78, 0.58, 0.37 mg L^{-1} respectively. The dominant cation is Ca^{2+} , and the dominant anion is SO_4^{2-} in both sampling stations. In the study performed in Kirklareli city (Turkey), it has been stated that the dominant cation was found to be Ca^{2+} and dominant anion to be SO_4^{2-} in dry deposition in both urban and rural areas (Oruc et al., 2012).

Many stone-soil industrial plants are located near sampling areas. Calcium, which is in urban and rural sediments, building materials and soil, mixes into the troposphere as a result of wind erosion. Despite the high concentration of SO_4^{2-} , the high Ca^{2+} concentration may be presented as the main reason for the fact that dry deposition samples are alkaline in sampling areas. Besides, apart from stone-soil plants, other various industrial plants are situated near the sampling areas. SO_2 emission caused by fossil fuels used for heating and industrial activities can be shown as the basic reason for high concentration of SO_4^{2-} in dry deposition samples. Neutralization factors showed that calcium has a vital part in the process of neutralization, which probably indicates the presence of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and CaSO_4 in the atmosphere, which takes its origin from alkaline particles which emerge from the Earth's crust and the cement plants, and from SO_2 and NO_x which are given out in burning processes in power plants (Cerón et al., 2012).

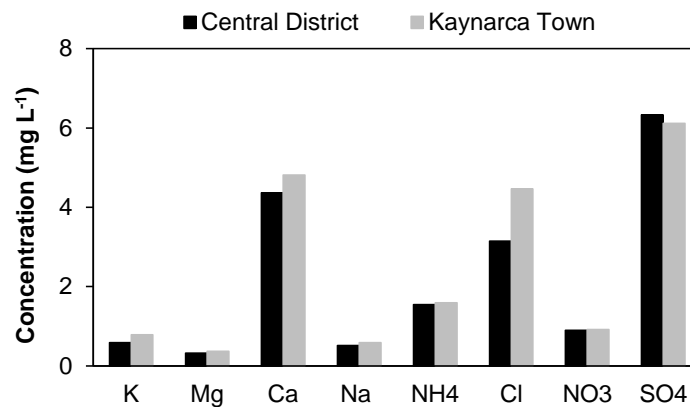


Figure 3. Arithmetic mean concentrations of major ions in dry deposition.

The flux allows calculating the amount of particles settled per unit time to per unit area. In Kaynarca Town, except the SO_4^{2-} ion, the mean dry deposition flux values of all the ions have been determined to be higher than the average dry deposition flux values of ions in the Central District. The SO_4^{2-} ion has the highest average flux value in both stations. The average dry deposition flux of this ion is $1.49 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ in the Central District and $1.44 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ in Kaynarca Town. Except the SO_4^{2-} ion, the average dry deposition fluxes of ions were determined as $\text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ in both stations (Figure 4). In Central District, mean dry deposition flux values of these ions are 1.03, 0.74, 0.36, 0.21, 0.14, 0.12, 0.08 $\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ respectively, and in Kaynarca Town 1.14, 1.05, 0.37, 0.22, 0.18, 0.14, 0.09 $\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ respectively.

It is observed that the dry deposition mechanism in the period of precipitation absence is more effective in Kaynarca Town than Central District. More dust-source particulate matter emissions took place in Kaynarca Town than the Central District. The large particle diameter of crustal aerosols also caused the greater rates of dry deposition of crustal ions. Apart from the particle sizes, comparably high dry deposition fluxes in regions, in which rain events are rare, are brought about by the unceasing nature of dry deposition processes (Al-Momani et al., 1995). Dry deposition of particles is dependent upon their dry-deposition velocities that are dependent upon sizes of particles. In general, large particles settle rapidly from the atmosphere and they have high dry-deposition velocities. Besides this effect of size, mainly dry-deposition mechanism removes the crustal particles from the atmosphere due to atmospheric loading of soil particles (Kaya and Tuncel, 1997).

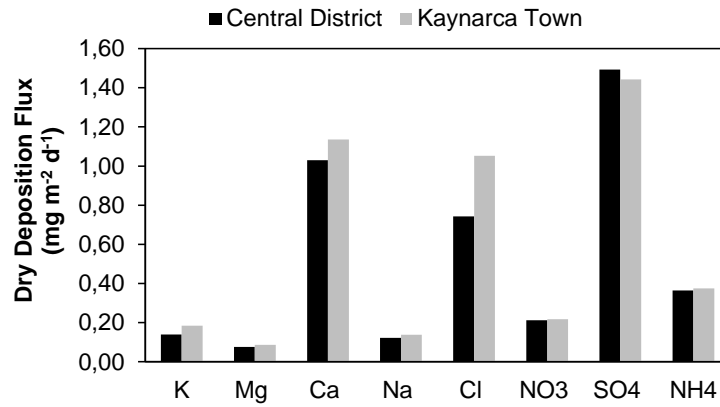


Figure 4. Arithmetic mean dry deposition fluxes in sampling stations.

The Ca²⁺ ion has the highest average EF values among all the ions in deposition samples, both in the Central District and in the Kaynarca Town (289.68 and 339.60, respectively) (Figure 5). The main source of Ca²⁺ ion is terrestrial by 99% in both sampling stations. The average EF value of the SO₄²⁻ ion is 91.84 in the Central District, while 56.03 in the Kaynarca Town. The SO₄²⁻ ion is anthropogenic-origin in Central District and Kaynarca Town with 98 percent and 97 percent, respectively. The average EF value of K⁺ ion in Central District and Kaynarca Town are 51.68 and 42.55, respectively. In both sampling stations, the NSSF value of this ion is 96 percent and soil is the main source of this ion. Also in both sampling stations, among the ions, Mg²⁺ and Cl⁻ ions have the lowest average EF values. The Mg²⁺ ion is non-marine origin in Central District and Kaynarca Town with 77 percent and 67 percent, respectively. The Cl⁻ ion is marine origin in Central District and Kaynarca Town with 31 percent and 26 percent, respectively. EF values of Ca²⁺, SO₄²⁻, and K⁺ are higher compared to those of Mg²⁺ and Cl⁻. Similar results have been acquired in the study carried out by Akkoyunlu and Tayanç (2003), and those findings indicate that percentage of sea origin Mg²⁺ and Cl⁻ is higher than that of Ca²⁺, SO₄²⁻, and K⁺, and thus they show that in dry deposition Mg²⁺ and Cl⁻ ions have less significance compared to Ca²⁺, SO₄²⁻, and K⁺ ions.

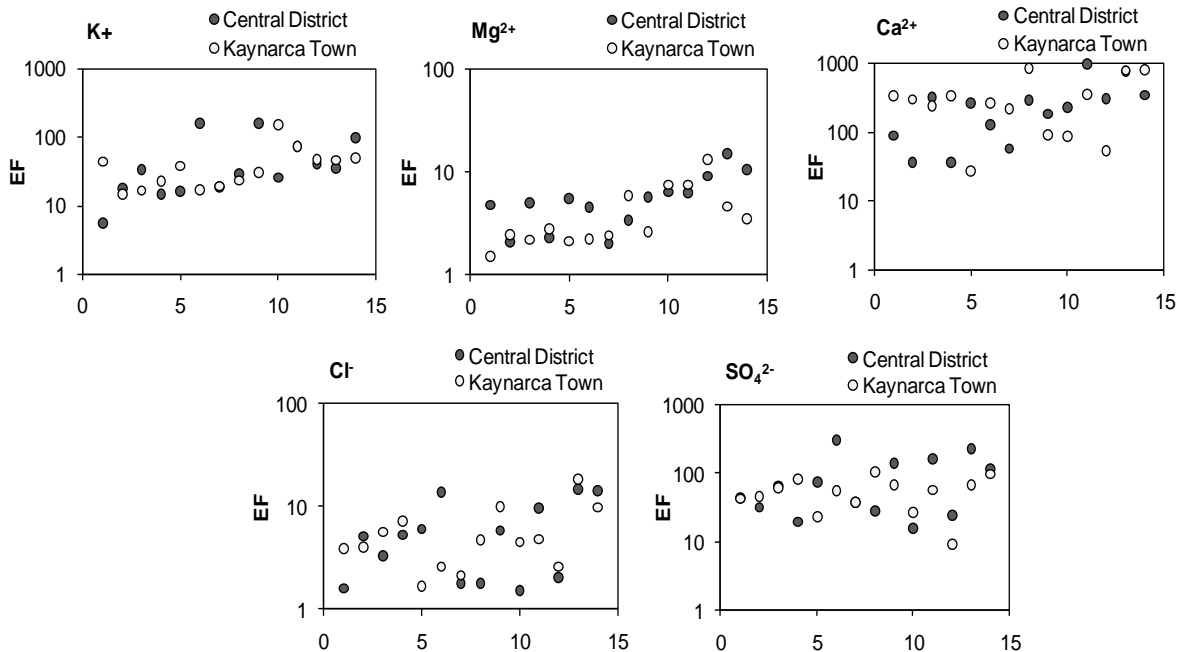


Figure 5. Enrichment factor values of the ions.

4. Conclusions

In the dry deposition samplings simultaneously carried out in Central District and Kaynarca Town, the order of magnitude of arithmetic mean concentration values of major cations and major anions, respectively, is $\text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ and $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$. Minimum, maximum, mean pH values of dry deposition samples in Central District are, respectively, 6.55, 7.71, 7.00, and in Kaynarca Town 6.52, 7.75, 7.07. While samples in Central District, pH values of which vary between 6.5-7.0, have the highest frequency value (64.29%), in Kaynarca Town samples whose pH values vary between 7.0-7.5 have the highest frequency value (50.00%).

The main reason for the fact that all of the dry deposition samples collected in two sampling stations in Kırklareli are alkaline, is the high Ca^{2+} concentration which is in urban and rural sediments, building materials and soil, and thus mixes into the troposphere as a result of wind erosion. Within the sampling area, emissions stemming from heating and industrial activities can be shown as the primary reason for high SO_4^{2-} concentration. Terrestrial origin Ca^{2+} , which is the most effective ion upon alkalinity, and anthropogenic origin SO_4^{2-} ions have the highest mean concentrations among the ions in both sampling stations. The dominant cation is Ca^{2+} , and the dominant anion is SO_4^{2-} in both sampling stations.

The magnitudes of dry deposition fluxes of the ions showed a similar trend both in Central District and Kaynarca Town; $\text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^- > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$. Mean dry deposition fluxes of ions (except for SO_4^{2-} ion), have higher values in Kaynarca Town compared to Central District. More dust source particulate matter emissions in Kaynarca Town than in the Central District, makes the dry deposition mechanism more effective than Central District in Kaynarca Town.

Both in Central District and Kaynarca Town, among ions, Ca^{2+} , SO_4^{2-} , and K^+ ions respectively have the highest mean EF values. EF values of Ca^{2+} and SO_4^{2-} ions in Central District are, respectively, 289.68 and 91.84, and in Kaynarca Town 339.60 and 56.03 respectively. These ions have non-marine origin in Central District with the ratio of 99% and 98% respectively, and in Kaynarca Town 99% and 97% respectively. The main source of K^+ ion is soil by 96% in both Central District and Kaynarca Town. Percentages of non-marine origin Ca^{2+} , SO_4^{2-} , and K^+ are higher than those of Mg^{2+} and Cl^- and thus Ca^{2+} , SO_4^{2-} , and K^+ ions are of a greater importance compared to Mg^{2+} and Cl^- ions in dry deposition.

References

- Akkoyunlu, B.O., & Tayanç, M. (2003). Analyses of wet and bulk deposition in four different regions of Istanbul, Turkey. *Atmospheric Environment*, 37(25): 3571-3579. Doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00349-2
- Al-Momani, I.F., Tuncel, S., Eler, Ü., Örtel, E., Sirin, G., & Tuncel, G. (1995). Major ion composition of wet and dry deposition in the eastern Mediterranean basin. *The Science of the Total Environment*, 164(1): 75-85. Doi.org/10.1016/0048-9697(95)04468-G
- Brewer, P.G. (1975). *Minor Elements in Seawater*. In: *Chemical Oceanography*, Riley, J.P., Skirrow, G., (Eds.), Second Edition, Volume 1, Academic Press, London, UK, 415-496. ISBN: 0-12-588601-2
- Budhavant, K.B., Rao, P.S.P., Safai, P.D., Gawhane, R.D., Raju, M.P., Mahajan, C.M., & Satsangi, P.G. (2012). Atmospheric Wet and Dry Depositions of Ions over an Urban Location in South-West India. *Aerosol and Air Quality Research*, 12(4): 561-570. Doi: 10.4209/aaqr.2011.12.0233
- Cerón, R.M., Cerón, J.G., Carballo, C.G., Aguilar, C., Montalvo, C., Vargas, C., Ortinez, J.A., Cárdenas, B., Córdova, A.V., & Rodríguez, M.A. (2012). Chemical characterization of dry deposition of pollutants in one industrial site in Guanajuato, Mexico. *International Journal of Energy and Environment*. 6(5): 532-539.
- Ferm, M., & Hultberg, H. (1999). Dry deposition and internal circulation of nitrogen, sulphur and base cations to a coniferous forest. *Atmospheric Environment*, 33(27): 4421-4430. Doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00211-3
- Gong, S., & Barrie, L.A. (2009). *The Distribution of Atmospheric Aerosols: Transport, Transformation and Removal*. In: *Aerosol Pollution Impact on Precipitation*, Levin, Z. & Cotton, W.R., (Eds.), Springer, Dordrecht, 91-141. ISBN: 978-1-4020-8689-2
- Inomata, Y., Igarashi, Y., Chiba, M., Shinoda, Y., & Takahashi H. (2009). Dry and wet deposition of water-insoluble dust and water-soluble chemical species during spring 2007 in Tsukuba, Japan. *Atmospheric Environment*, 43(29): 4503-4512. Doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.06.048
- Jacobson, M.Z. (2002). *Atmospheric Pollution History, Science, and Regulation*, First Edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK, ISBN: 9780521010443
- Kaya, G., & Tuncel, G. (1997). Trace Element and Major Ion Composition of Wet and Dry Deposition in Ankara, Turkey. *Atmospheric Environment*, 31(23): 3985-3998. Doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00221-5
- Oruc, I., Akkoyunlu, B.O., & Erdogan, I. (2012). Analysis of Wet, Bulk and Dry Deposition Chemistry in Kırklareli, Turkey. *Unitech 12th International Scientific Conference*, November 16-17, Gabrovo-Bulgaria, Volume II, 391-394. ISSN:1313-230X

Okay, C., Akkoyunlu, B.O., & Tayanç, M. (2002). Composition of Wet Deposition in Kaynarca, Turkey. *Environmental Pollution*, 118(3): 401-410. Doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00292-5

Rao, P.S.P., Khemani, L.T., Momin, G.A., Safai, P.D., & Pillai, A.G. (1992). Measurements of Wet and Dry Deposition at An Urban Location in India. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, 26(1): 73-78. Doi.org/10.1016/0957-1272(92)90038-T

Seinfeld, J.H., & Pandis, S.N. (2006). *Atmospheric Chemistry and Physics From Air Pollution to Climate Change*. Second Edition, John Wiley&Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, ISBN-13: 978-0-471-72018-8

Wallace, J.M., & Hobbs, P.V. (2006). *Atmospheric Science An Introductory Survey*. Second Edition, Elsevier Inc., San Diego, CA, USA, ISBN 13: 978-0-12-732951-2

Zobrist, J., Wersin, P., Jaques, C., Sigg, L., & Stumm, W. (1993). Dry deposition measurements using water as a receptor: A chemical approach. *Water, Air, and Soil Pollution*. 71: 111-130. Doi.org/10.1007/BF00475515



Polypropylene/Chemical Blowing Agent Foams: Effect of the Injection Speed and Core Back Distance on Microstructure and Mechanical Properties

Meral Akkoyun^{*1}, İbrahim Badem², Mert Emre Öztoksoy³, Yeşim Aslan⁴

¹ Bursa Technical University, Department of Polymer Materials Engineering 16310, Bursa, TURKEY

² TOFAŞ Turkish Automotive Factory Corporation, 16110, Bursa, TURKEY

³ Farplas Otomotiv Corporation, 41420, Kocaeli, TURKEY

⁴ Karel Kalıp Corporation, 34959, Istanbul, TURKEY

Başvuru/Received: 31/03/2020

Kabul / Accepted: 23/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Abstract

In recent years, many parts of the automotive industry, previously made of metal, has been passed to polymers due to their light weight, ie lower carbon emission and fuel consumption advantage. The aim of this work was to investigate the microstructure and mechanical properties of chemical foaming agent added polypropylene foam samples produced by injection molding. In particular, the effects of injection speed and core back distance on the evolution of cell diameter, compact outer layer thickness, cell density and mechanical properties were examined. In the first step the effect of various injection speeds (110; 125; 140 mm/s) was investigated. Then, various core back positions (0; 0.7 and 1.5 mm) were analyzed at a constant injection speed (110 mm/s). The results showed an increase of the cell diameter, the compact outer layer thickness and the elastic modulus as the injection speed increases. In addition, an important effect of the core back distance was observed with the presence of a critical core back distance. Below this critical value, the cell diameter and the elastic modulus drop due to a notable decrease of the skin layer thickness. Above this critical value, the cells started to collapse and lose their circularity.

Key Words

“Polypropylene Foam, Chemical Blowing, Injection Molding, Core back, Microstructure, Mechanical Properties”

1. Introduction

For many years standard plastic injection method has been used in industry and several academic studies take place in the literature. Lots of metal parts were replaced with plastics because of the cost advantage, weight reduction, and processability in high tolerances, surface quality and many other advantages. Polymeric foams seem to be the new trend to replace compact plastics. Polypropylene (PP), due to its excellent thermal and mechanical properties and particularly its high mechanical and heat resistance, is one of the most widely used thermoplastics. Therefore, the use of PP in automotive reached more than 47% compared to the total use of polymer materials (Lyu and Choi 2015)

Three methods of producing polymer foams take place in the literature: chemical foaming, physical foaming and glass bubble. (Ries et al. 2013) Chemical foaming has some advantages compared to other methods. Particularly, no extra equipment is necessary for chemical foaming process whereas physical foaming process needs for example metering system and gas cylinder. The raw material costs are lower compared to glass bubble. Chemical foaming process is similar with standard injection process. But the fluidity and solidification behaviors of the plastic change totally when chemical blowing agents (CBA) are added to create polymer foams. It is possible to produce several parts in different wall thicknesses, densities and mechanical properties using the same polymer/chemical blowing agent mixture only by changing the process parameters and core back set up of the mold. The core back distance and injection speed have a huge influence on microstructure and mechanical properties of PP foams and very few studies can be found in the literature (Wu et al. 2018, Reglero Ruiz et al. 2016, Reglero Ruiz et al. 2015, Wu et al. 2019)

The core-back system is actually an advanced technology allowing an increase of the weight reduction. In this technology, the core back represents an additional step during the injection molding process which provides a free volume for polymer foaming. In this way, the manufacturing of foamed plastic parts becomes more achievable with an increased weight reduction. (Wu et al. 2018, Reglero Ruiz et al. 2016, Reglero Ruiz et al. 2015, Wu et al. 2019, Jahani et al. 2014, Stumpf et al. 2011, Zhao et al. 2017, Miyamoto et al. 2014, Sporrer and Altstadt 2007, Chu et al. 2016, Wang et al. 2017, Ishikawa and Ohshima 2011, Ameli et al. 2015, Shaayegan et al. 2017, Ishikawa et al. 2012, Ameli et al. 2014) Wu et al. (2018) examined the mechanical properties of polymeric foams composed of syndiotactic PP mixed with azodicarbonamide as chemical blowing agent and produced by injection molding and core back technologies. They showed that the core back technique decreases the defects present on the surface of specimens and improved the mechanical properties even at similar weight drop conditions. More specifically, compared with conventional samples obtained using the same technology, the results point out that the mechanical properties (tensile strength, notch impact strength and elastic modulus) are improved at between 42.55% and 54.10%. Another study conducted by Reglero Ruiz et al. (2016) on the fabrication of pure PP foams with citric acid based CBA by injection molding and core back system combined with gas counter pressure technique demonstrated that the type of CBA is an important parameter that affects the final microstructure of the foams. They demonstrated that the CBA containing citric acid and sodium bicarbonate leads to bubble sizes approximately twice larger compared to those obtained with the CBA containing only citric acid. In addition, other studies showed that the use of common physical blowing agents in injection molding combined with the core back technique, due to their high foaming power, involves usually good foaming effects, but in the case of CBAs, due to their low foaming power, it is more complex to produce an entire piece of parts. (Reglero Ruiz et al. 2015, Tomasko et al. 2009)

There are few experimental studies on the effect of core back distance on the final properties of CBA added PP foams obtained in core back and injection molding processes. The present work is focused on the effect of process parameters and particularly the injection speed and the core back distance on the microstructure and the mechanical properties of CBA added polypropylene foams.

2. Materials And Methods

2.1. Materials

A high flow PP in granule form (Hostacom TYC 469 F) supplied from Basell / Netherlands (Melt flow rate: 37 g/10 min) was used in this study and Hydrocerol ITP 825 supplied from Clariant / Switzerland was chosen as a chemical blowing and nucleating agent. PP and CBA were utilized as received. The melting temperature of PP was determined from a TA Instruments DSC25 Differential Scanning Calorimeter at a heating rate of 10°C.min⁻¹ and the decomposition temperature of CBA was obtained from the thermogravimetric analysis curves obtained under nitrogen gas and at a heating rate of 20°C.min⁻¹ using a Perkin Elmer STA6000. The results were presented in Figure 1 and Figure 2.

According to Figure 1a, the melting temperature of the PP was determined as 160°C. In the case of CBA, from Figure 1b, two different melting points can be observed: 100°C and 190-230°C. The less important peak observed around 100°C represents the melting temperature of polyethylene, while the peak value situated between 190°C and 230°C results from the decomposition of the chemical blowing agent which is citric acid in our case. (Ruiz et al. 2015)

From Figure 2, it can be observed that the chemical foaming agent contains about 20% active component determined as citric acid from differential scanning calorimetry results. In addition, the decomposition temperature of CBA was detected as 200°C according to Figure 2. The second important weight loss obtained around 420°C represent the decomposition of polyethylene.

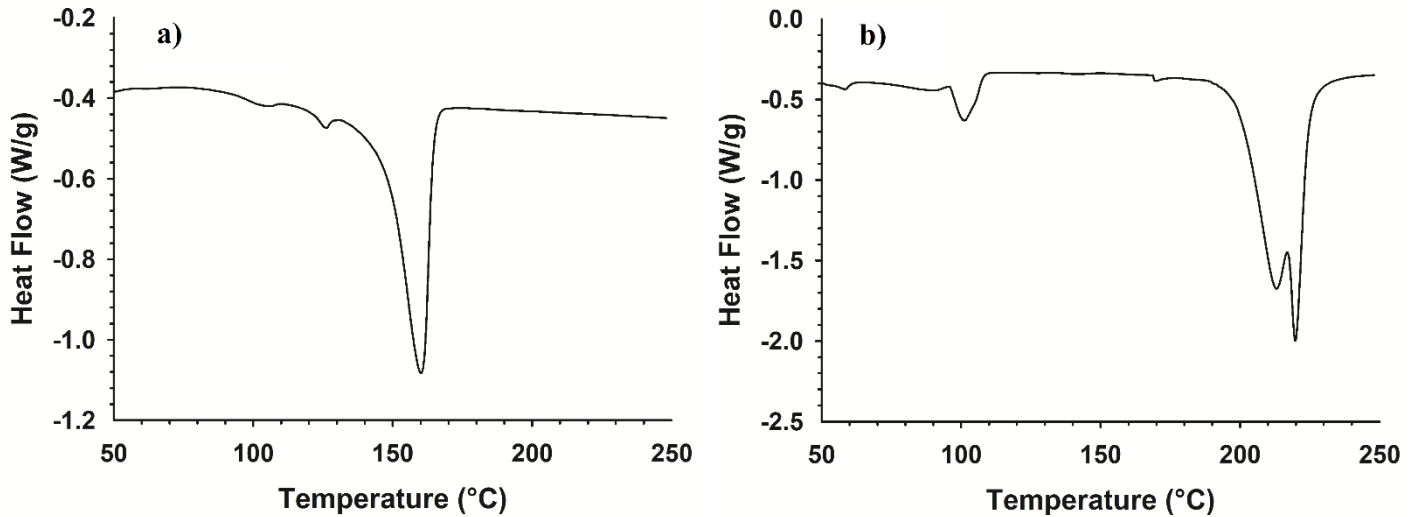


Figure 1. Differential scanning calorimetry curves: (a) PP and (b) CBA.

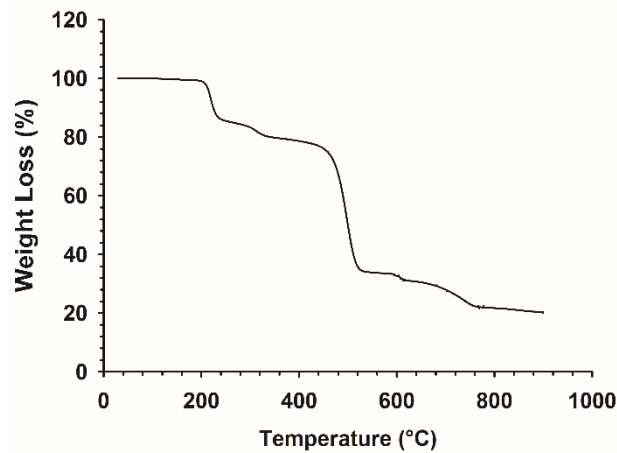


Figure 2. Thermogravimetric analysis curve of CBA.

2.2. Preparation of PP / CBA Foams by Injection Molding Process

PP/CBA blends were prepared using a precision dosing and a mixture unit. The content of CBA was fixed at 1.5 wt.% for all experiments. A special injection molding machine of Krauss Maffei which was able to inject in high speeds and has a core back control feature (Figure 3) was used in this study. The amount of the material and the pressures were gradually increased and set at full fill point. During the process the mold temperature was set to 30°C. The temperatures of the screw were fixed as 190-215-220-220-225-225-220-195-195-190°C in the different zones of the extruder. In this way, the decomposition of CBA and the gas outlet were started inside the mold; not in the screw of the injection machine in order to eliminate premature loss of gas. As mentioned in Figure 2 the decomposition temperature of CBA is about 220°C. During the first experiments, three different injection speeds were tested (110, 125 and 140 mm.s⁻¹). The mold was in no-core back position. The other parameters were unchanged. In the second experiments; three different core back positions were evaluated (core back distance: 0 mm; 0.7 mm and 1.5 mm). In the same way, the rest of the parameters remain unchanged.

2.3. Characterization Methods

The microstructure of the foams was characterized using a LIC-BM2500 optical microscope at a magnification of X10 and micrographs were recorded for each samples prepared at different injection speeds and core back distances. Images were obtained for foam sections perpendicular to the surface. The compact outer layer thickness and cell size measurements were exhibited using Image J software and the mean compact outer layer thickness and cell diameter were calculated from at least 80 cells using optical microscopy pictures acquired for sample sections perpendicular to the surface. In the same way the cell density values or number of cells/cm² were obtained from optical microscopy images and were calculated from at least 80 cells using optical microscopy pictures acquired for sample sections perpendicular to the surface. Tensile tests were realized on samples prepared based on ASTM D638 (type I). A universal testing machine (SHIMADZU-AGS-X, 10 kN) with a cross-head speed of 15 mm/min was used for these measurements.

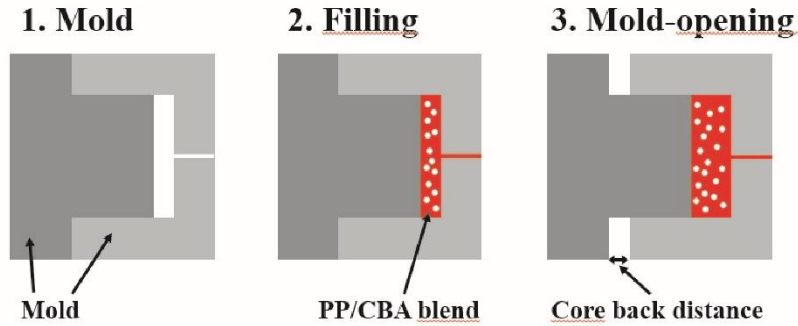


Figure 3. Schematic representation of the core back control feature.

3. Results and Discussion

3.1. Effect of Injection Speed on the Properties of PP/CBA Foams

3.1.1. Optical microscopy results

Optical microscopy images of PP/CBA foams prepared at various injection speeds (110, 125 and 140 mm/s) were given in Figure 4. For these measurements only one parameter, the injection speed, was changed to evaluate its real impact. Furthermore, the cross-sectional micrographs were analyzed in order to monitor the evolution of the microstructure and in particular, the cell size, cell density and thickness of the compact outer layer of PP/CBA foams as a function of the injection speed.

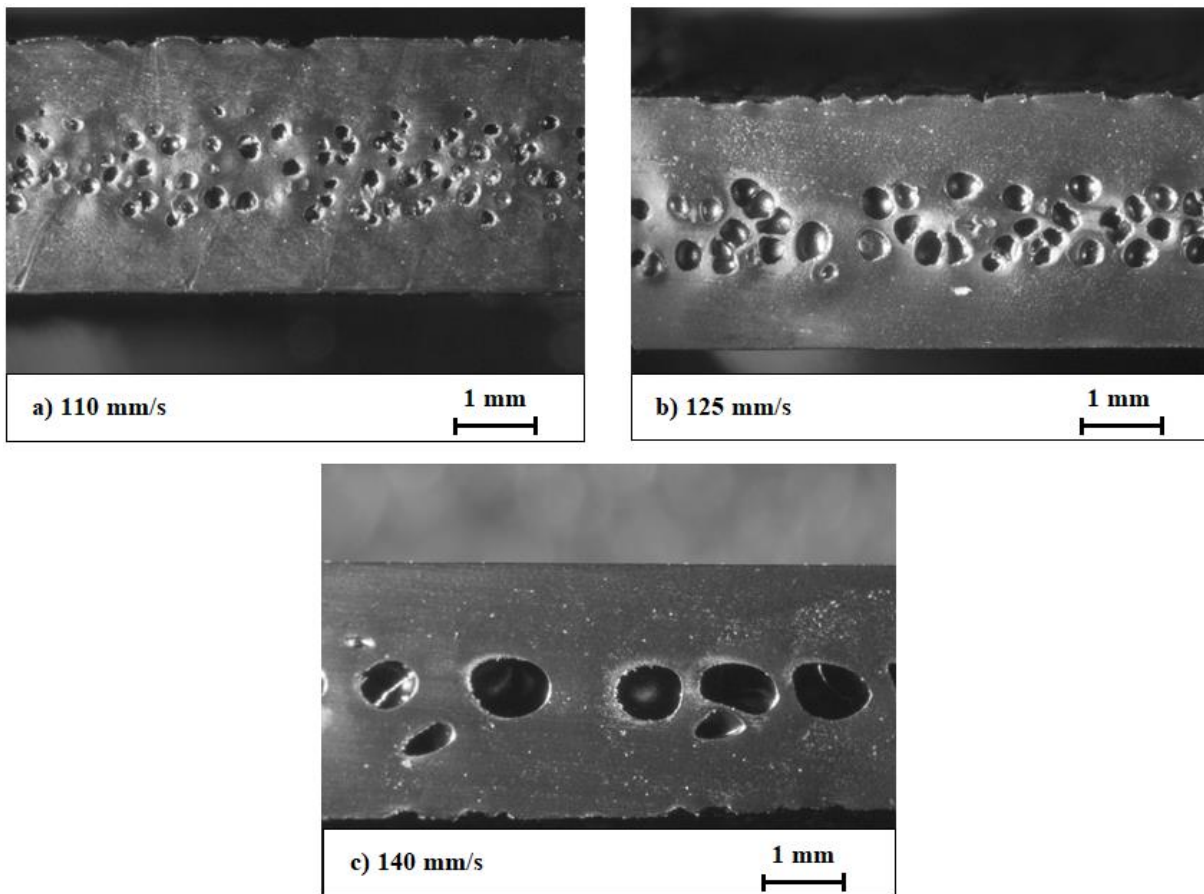


Figure 4. Optical microscope images of PP/CBA foams acquired at different injection speeds: (a) 110 mm/s, (b) 125 mm/s, (c) 140 mm/s.

From Figure 4, an increase of the mean cell size and a decrease of the cell density is notable as the injection speed rises. In order to have a better understanding, the progression of the average cell size, average cell density and mean thickness of the compact outer

layer of PP/CBA foams were plotted as a function of the injection speed as represented in Figures 5, 6 and 7. From Figure 5, a sharp increase of the mean cell diameter from 191 to 761 μm can be observed with a 3.9-fold rise from 110 mm/s to 140 mm/s. As a result, a reduction of the cell density from 369 to 42 number of cells/ cm^2 , and then a more important gain of about 8.8-fold is obtained with increasing the injection speed as presented in Figure 6. The monitoring of the compact outer layer thickness revealed a less distinct variation and it can be seen from Figure 7 that a slight increase is observed from 0.97 to 1.13 as the injection speed augments. As a result, the correlation between Figure 5 and Figure 7 allows us to conclude that as the cell diameter increases the thickness of the compact outer layer slightly rises.

In order to get more weight reduction and preventing premature expansion of the gas and silver streaks, it is recommended to increase the injection speed. But when we exceed the optimum speed limit; the cell size become larger. Larger cells cause unwanted undulations or aesthetic defects on the surface. High injection speeds provoke an increase of the melting temperature of PP/CBA due to the more important friction of the polymer with the mold. In this case, the higher melting temperature as the injection speed increases allows the activation of more CBA in a shorter time. As a result, the freeze of the cells are delayed and thus, the cell formation and growth occurs until the final freeze which is observed during the cooling step. Xi et al. (2016) supports that, at the first stage the cells appear at the front of the flow. Then, they move to the top and bottom of the mold surfaces. If the cell completes its growth during the injection flow, the cell diameter cannot expand more because of the continuous flow pressure. But if the injection is performed fast enough before the cells appear, the cells have the possibility to expand as much as the free volume. Fast injection step also allows to fill the mold cavity using less important amount of polymer. (Xi et al. 2016) All these reasons explain how the mean cell size becomes higher in the case of higher injection speeds.

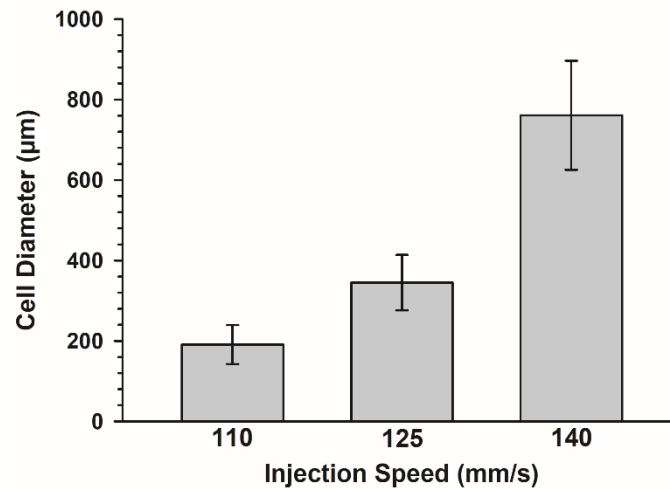


Figure 5. Evolution of the cell diameter of PP/CBA foams as the injection speed increases.

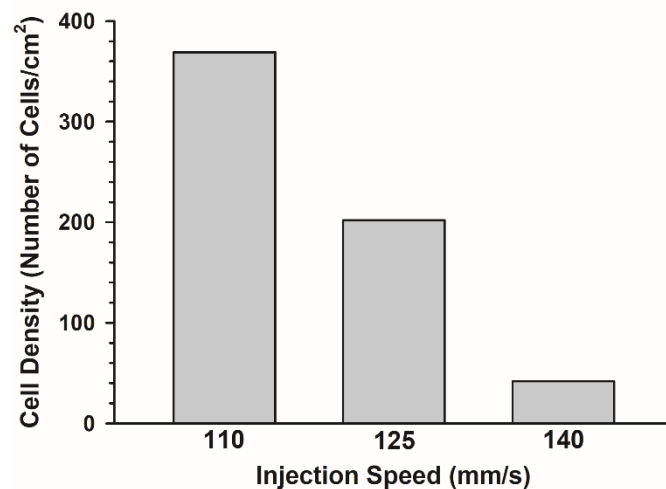


Figure 6. Evolution of the cell density of PP/CBA foams as the injection speed increases.

3.1.2. Tensile test results

Tensile tests of specimens prepared at various injection speeds were performed. The tensile test results of PP/CBA foams prepared at the injection speeds 110, 125 and 140 mm/s are given in the Table 1. In particular, the evolution of the elastic modulus and the tensile strength values as the injection speed increases can be monitored from this Table 1. From these results, it can be observed that, as the injection speed increases, the elastic modulus of samples rises from 1081 MPa to 1348 MPa. It can be noticed that this evolution is in correlation with the previous microscopy results indicating an increase of the cell diameter and the compact outer layer thickness of PP/CBA foams with the increase of the injection speed. The compact outer layer thickness has an improvement effect on the mechanical properties. Even in experiments between parts of similar density, it is important to state that the cell diameter and the compact layer thickness have a significant effect on the elastic modulus. Furthermore, from Table 1, it can be seen that the tensile strength remains nearly constant as the injection speed rises and it can be concluded that it is independent on the injection speed.

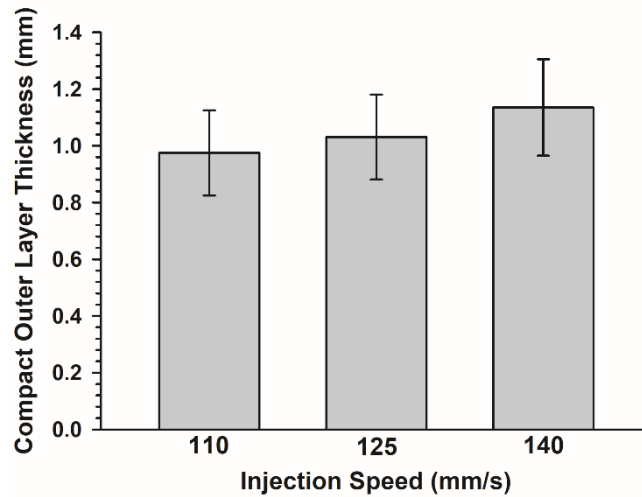


Figure 7. Evolution of the compact outer layer thickness of PP/CBA foams as the injection speed increases.

Table 1. Elastic modulus and tensile strength values of PP/CBA foams obtained at different injection speeds.

Injection speed (mm/s)	Elastic modulus (MPa)	Tensile strength (MPa)
110	1081±127	21.10±0.5228
125	1109±75	20.52±0.3842
140	1348±22	21.29±0.0963

3.2. Effect of Core Back Distance on the Properties of PP/CBA Foams

3.2.1. Optical microscopy results

Figure 8 shows the optical microscopy pictures of PP/CBA foams prepared at different core back distances (0, 0.7 and 1.5 mm). The aim of this work is to increase of the weight reduction using the core-back system. Figures 6 and 7 showed that the lower cell density and outer layer thickness is observed for the injection speed 110 mm/s. That's why in this part, the injection speed was fixed at 110 mm/s for all experiments. As in the previous case, only one parameter, the core back distance, was modified for the purpose of evaluating its effect on the final properties. Sample sections perpendicular to the surface were examined to detect the microstructure changes and in the sense, the cell size, cell density and thickness of the compact outer layer of PP/CBA foams were determined as a function of the core back distance.

It can be seen from Figure 8 that a net rise of the cell density appears from 0 mm to 0.7 mm core back distance, whereas the cell size seems to be stable. As the core back distance is augmented at 1.5 mm, the previous homogeneous microstructure becomes inhomogeneous with the presence of inconsistent cells. Figures 9, 10 and 11 give the evolution of the mean values of the cell diameter, cell density and compact outer layer thickness obtained for PP/CBA samples prepared at different core back distances, using Image J software.

As in the previous section, these results provide a better display for the effect of core back distance on the microstructure properties of PP/CBA foams, within the manufactured part. From Figure 9, the mean cell diameter remains nearly unaltered from 0 to 0.7 mm and a sharp increase is obtained for the sample prepared at a core back distance of 1.5 mm. Furthermore, an optimum mean cell density (924 cells/cm²) is obtained at a core back distance of 0.7 mm as revealed in Figure 10. As represented in Figure 11, the average compact

outer layer thickness decreases from 1.01 to 0.55 mm as the core back distance increases. As a result, with the increase of the core back distance, the average number and diameter of the cells increase, but the cell structure deteriorates from a critical core back distance which is 0.7 mm in this work.

Zhang et al. (2014) investigated the properties of high impact polystyrene mixed with different amounts of azodicarbonamide as chemical blowing agent and this deterioration of the cells has been attributed to the continuation of the cell growth and thus, the cell coalescence which causes the formation of collapses. In this study, the cell density which is 924 cells/cm² at a core back distance of 0.7 mm, drops to 314 cells/cm² when the core back distance rises to 1.5 mm. This is due to the coalescence and collapse of cells that continue to grow.

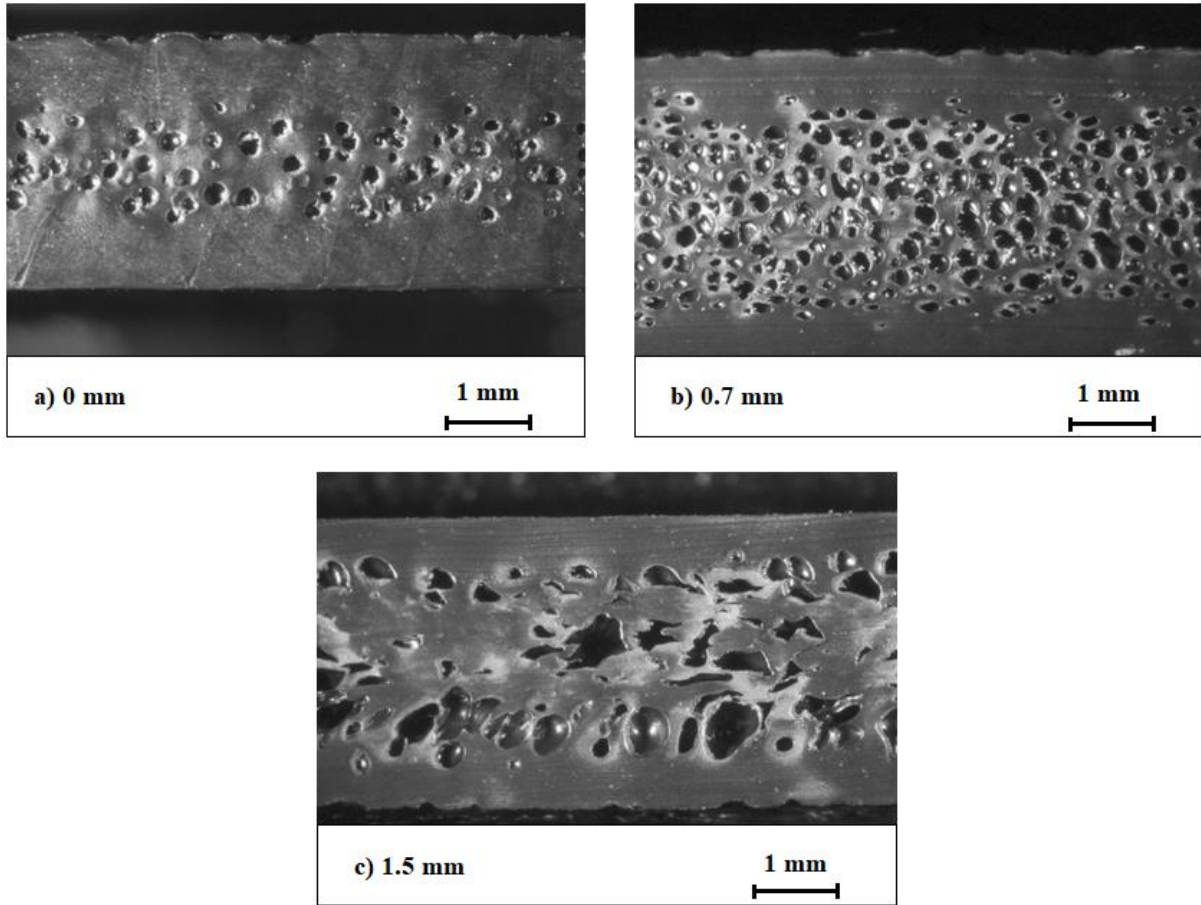


Figure 8. Optical microscope images of PP/CBA foams acquired at different core back distance: a) 0 mm, no core back, b) 0.7 mm core back position, c) 1.5 mm core back position.

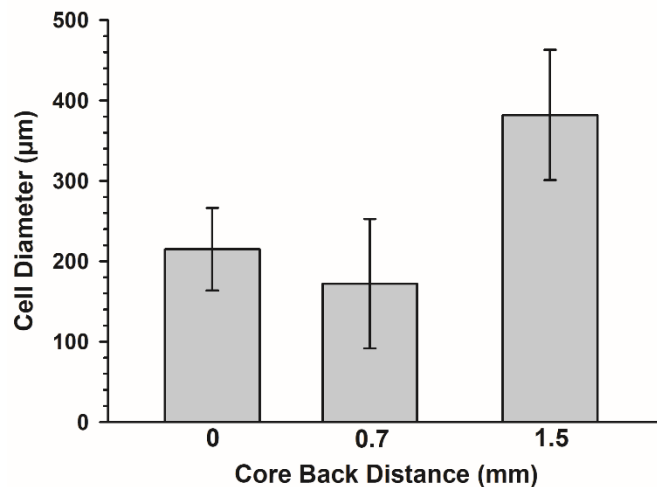


Figure 9. Evolution of the cell diameter of PP/CBA foams as the core back distance increases.

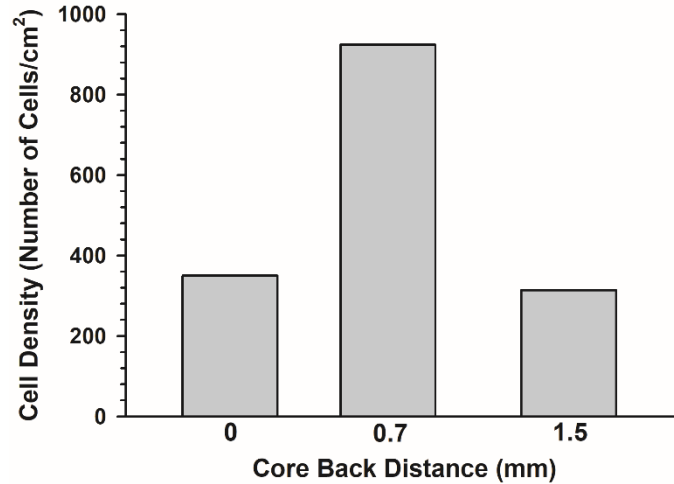


Figure 10. Evolution of the cell density of PP/CBA foams as the core back distance increases.

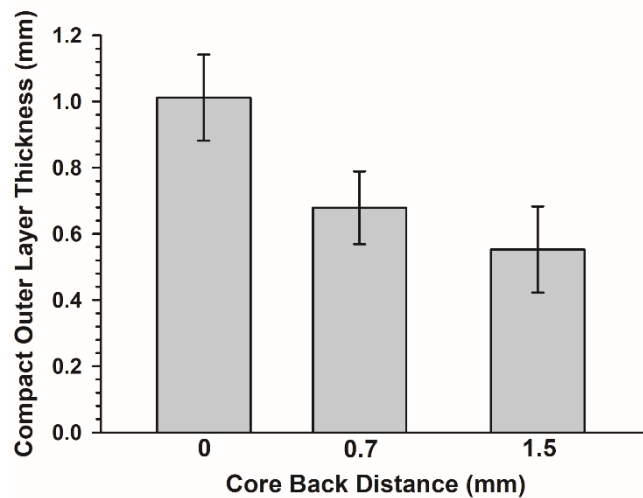


Figure 11. Evolution of the compact outer layer thickness of PP/CBA foams as the core back distance increases.

Table 2. Elastic modulus and tensile strength values of PP/CBA foams obtained at different core back distances.

Core back distance (mm)	Elastic modulus (MPa)	Tensile strength (MPa)
0	1069±29	17.71±0.3664
0.7	833±65	14.43±0.5297
1.5	807±123	16.41±0.1288

3.2.2. Tensile test results

In this part, tensile tests of PP/CBA foams produced at different core back distances were carried out. The elastic modulus and the tensile strength values obtained for PP/CBA foams prepared at core back distances of 0, 0.7 and 1.5 mm were summarized in the Table 2. It can be mentioned from these results that the elastic modulus of samples was reduced from 1069 MPa to 807 MPa. Furthermore, as the core back distance increases, a significant correlation with the previous microscopy results indicating an increase of the cell diameter and a decrease of the compact outer layer thickness of PP/CBA foams can be detected. As in the previous part, the compact outer layer thickness is the most important parameter which influences the final mechanical properties. Indeed, despite of a rise of the cell diameter, the drop of the compact layer thickness have a determining effect on the elastic modulus which decreases too. Another important point that can be noticed from Table 2 is the tensile strength of PP/CBA foams which not seem to be very influenced by the core back distance. Actually, specimens that were produced without mold opening (core back) behave similarly to compact plastics in

the tensile test. However, when mold opening system is used, they form a three-layer structure similar to the sandwich structure. The middle zone and outer layers act like two completely different materials. In this work, during the tensile tests, the compact outer layer is elongated at a constant rate until it broke, but the porous area in the center of the parts broke off in the first seconds of the test exhibiting a fragile behavior. Saiz-Arroyo et al. (2012) demonstrated that stiffer materials can be obtained only in the case of relative densities higher than 0.4 in the case of PP/CBA foams.

4. Conclusions

In this work, PP/CBA foams were produced at different injection speeds (110, 125 and 140 mm/s) and core back distances (0, 0.7 and 1.5 mm) by plastic injection method using a chemical foaming agent. In this way, optimum process parameters can be determined for the production of lighter parts in the automotive industry, with optimum mechanical and microstructure properties. The results showed that even minor changes in the process parameters cause significant alterations in the mechanical properties and microstructure of the manufactured part. The increase of the injection speed induced a rise of the cell diameter, the skin layer thickness and the elastic modulus. The core back distance impact on the microstructure was more important due to the apparition of a critical core back distance above which, the cells started to collapse and lose their circularity. The working range of the process parameter in which the same product can be manufactured with the chemical foaming process is much narrower compared to standard injection molding process. However, the products manufactured in the industry are not desired to be different from each other. For these reasons, besides the correct injection adjustment; using additional control mechanisms that control the process during the injection and control the quality of the products prepared after injection is critical to the industrialization of a chemical foamed product.

Acknowledgements

Tofaş Türk Otomobil Fabrikası A.Ş., Farplas Otomotiv A.Ş. and Karel Kalıp San. A.Ş. are gratefully acknowledged for the production of PP/CBA foams at different processing conditions. The Scientific Research Projects Units of Bursa Technical University (under the contract number of 172L09) are also gratefully acknowledged for their financial support.

References

- Ameli, A., Jahani, D., Nofar, M., Jung, P. U., Park, C. B. (2014). Development of high void fraction polylactide composite foams using injection molding: mechanical and thermal insulation properties. *Composites Science and Technology*, 90, 88-95. doi:10.1016/j.compscitech.2013.10.019
- Ameli, A., Nofar, M., Jahani, D., Rizvi, G., Park, C. B. (2015). Development of high void fraction polylactide composite foams using injection molding: crystallization and foaming behaviors. *Chemical Engineering Journal*, 262, 78-87. doi:10.1016/j.cej.2014.09.087
- Chu, R. K. M., Mark, L. H., Jahani, D., Park, C. B. (2016). Estimation of the foaming temperature of mold- opening foam injection molding process. *Journal of Cellular Plastics*, 52(6), 619-641. doi:10.1177/0021955X15592069
- Ishikawa, T. & Ohshima, M. (2011). Visual observation and numerical studies of polymer foaming behavior of polypropylene/carbon dioxide system in a core-back injection molding process. *Polymer Engineering and Science*, 51(8), 1617-1625. doi:10.1002/pen.21945
- Ishikawa, T., Taki, K., Ohshima, M. (2012). Visual observation and numerical studies of N₂ vs. CO₂ foaming behavior in core-back foam injection molding. *Polymer Engineering and Science*, 52(4), 875-883. doi:10.1002/pen.22154
- Jahani, D., Ameli, A., Jung, P. U., Barzegari, M. R., Park, C. B., Naguib, H. (2014). Open-cell cavity integrated injection-molded acoustic polypropylene foams. *Materials & Design*, 53, 20-28. doi:10.1016/j.matdes.2013.06.063
- Lyu, M. Y., Choi, T. G. (2015). Research trends in polymer materials for use in lightweight vehicles. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 16, 213-220. doi:10.1007/s12541-015-0029-x
- Miyamoto, R., Yasuhara, S., Shikuma, H. (2014). Preparation of micro/nanocellular polypropylene foam with crystal nucleating agents. *Polymer Engineering and Science*, 54(9), 2075-2085. doi:10.1002/pen.23758
- Reglero Ruiz, J. A., Vincent, M., Agassant, J.-F. (2016). Numerical modeling of bubble growth in microcellular polypropylene produced in a core-back injection process using chemical blowing agents. *International Polymer Processing*, 31(1), 26-36. doi:10.3139/217.3129
- Reglero Ruiz, J. A., Vincent, M., Agassant, J.-F., Claverie, A., Huck, S. (2015). Morphological analysis of microcellular PP produced in a core-back injection process using chemical blowing agents and gas counter pressure. *Polymer Engineering and Science*, 55(11), 2465-2473. doi:10.1002/pen.24136

- Ries, S., Spoerger, A., Altstaedt, V. (2013). Foam injection molding of thermoplastic elastomers: Blowing agents, foaming process and characterization of structural foams. AIP Conference Proceedings; 15-19 July 2013; Nuremberg, Germany. AIP: 1593.
- Ruiz, J. R., Vincent, M., Agassant, J., Sadik, T., Pillon, C., Carrot, C. (2015). Polymer foaming with chemical blowing agents: Experiment and modeling. *Polymer Engineering and Science*, 55(9), 2018-2029. doi:10.1002/pen.24044
- Saiz-Arroyo, C., de Saja, J. A., Velasco, J. I., Rodriguez-Perez, M.A. (2012). Moulded polypropylene foams produced using chemical or physical blowing agents: structure-properties relationship. *Journal of Materials Science*, 47, 5680-5692. doi:10.1007/s10853-012-6357-7
- Shaayegan, V., Wang, C., Costa, F., Han, S., Park, C. B. (2017). Effect of the melt compressibility and the pressure drop rate on the cell- nucleation behavior in foam injection molding with mold opening. *European Polymer Journal*, 92, 314-325. doi:10.1016/j.eurpolymj.2017.05.003
- Sporrer, A. N. J. & Altstadt, V. (2007). Controlling morphology of injection molded structural foams by mold design and processing parameters. *Journal of Cellular Plastics*, 43(4-5), 313-330. doi:10.1177/0021955X07079043
- Stumpf, M., Sporrer, A., Schmidt, H. W. (2011). Influence of supramolecular additives on foam morphology of injection-molded i-PP. *Journal of Cellular Plastics*, 47(6), 519-534. doi:10.1177/0021955X11408769
- Tomasko, D. L., Burley, A., Feng, L., Yeh, S. K., Miyazono, K., Nirmal-Kumar, S., Kusaka, I., Koelling, K. (2009). Development of CO₂ for polymer foam applications. *The Journal of Supercritical Fluids*, 47(3), 493-499. doi:10.1016/j.supflu.2008.10.018
- Wang, L., Ishihara, S., Hikima, Y., Ohshima, M., Sekiguchi, T., Sato, A., Yano, H. (2017). Unprecedented development of ultrahigh expansion injection-molded polypropylene foams by introducing hydrophobic-modified cellulose nanofibers. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 9(11), 9250-9254. doi:10.1021/acsami.7b01329
- Wu, H., Zhao, G., Wang, J., Wang, G., Zhang, W. (2019). Effects of process parameters on core-back foam injection molding process. *eXPRESS Polymer Letters*, 13(4), 390-405. doi:10.3144/expresspolymlett.2019.32
- Wu, H., Zhao, G., Wang, G., Zhang, W., Li, Y. (2018). A new core-back foam injection molding method with chemical blowing agents. *Materials & Design*, 144, 331-342. doi:10.1016/j.matdes.2018.02.043
- Xi, Z., Chen, J., Liu, T., Zhao, L., Turng, L. (2016). Experiment and simulation of foaming injection molding of polypropylene/nano-calcium carbonate composites by supercritical carbon dioxide. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 24(1), 180-189. doi:10.1016/j.cjche.2015.11.016
- Zhang, Z. X., Li, Y. N., Xia, L., Ma, Z. G., Xin, Z. X., Lim, J. K. (2014). Fabrication of superhydrophobic film by microcellular plastic foaming method. *Applied Physics A*, 117, 755-759. doi:10.1007/s00339-014-8615-9
- Zhao, J., Zhao, Q., Wang, C., Guo, B., Park, C. B., Wang, G. (2017). High thermal insulation and compressive strength polypropylene foams fabricated by high-pressure foam injection molding and mold opening of nano-fibrillar composites. *Materials & Design*, 131, 1-11. doi:10.1016/j.matdes.2017.05.093



Simetrik ve Simetrik Olmayan Katman Düzenlerine Sahip Kompozit Sargılı Boruların Tasarımı ve Testleri

Design and Testing of Composite Winding Pipes having Symmetrical and Non-Symmetrical Layer Layouts

Barış Kalaycıoğlu¹, Hakan Arslan¹, M. Burakhan Akgün²

¹ Kırıkkale Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, TÜRKİYE

² Makine Kimya Endüstrisi Kurumu, Mühimmat Fabrikası, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 08/03/2020

Kabul / Accepted: 18/04/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 19/04/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Özet

Bu çalışmada, iki farklı katman düzeninde sarılmış 65 mm dış çapa, 1,7 mm cidar kalınlığına sahip ve 650 mm boyundaki Cam Elyaf / Epoksi kompozit silindirik boruların patlama basıncı değerleri analitik ve sayısal yöntemler yardımıyla elde edilmiştir. Daha sonra kompozit borular elyaf sarım yöntemi yardımıyla 4 eksenli CNC filaman kompozit sarım tezgahında, [90°, ±55°, 90°] simetrik ve [±55°, 90°, 90°] simetrik olmayan katman düzenlerinde üretilmiş ve hidrostatik basınç testine tabi tutulmuştur. Boruların teorik analizleri Laminasyon Teorisi (Klasik Katman Teorisi) yardımıyla yapılmış, hasar kriteri olarak Tsai-Wu hasar kriteri kullanılmıştır. Sayısal analizler ANSYS Sonlu Eleman Programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Programda kompozit boruların modellenmesinde kompozit katmanın elyaf sarım açılarını doğru şekilde tanımlayabilmek için eleman koordinat sisteminin bu açılara uygun şekilde yönlendirilmesi sağlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, elde edilen analitik, sayısal ve deneysel patlama basıncı değerleri kıyaslanmış, ayrıca analitik ve sayısal analizler sonucu kompozit boruların katmanlarında oluşan elyaf yönü ve elyaf yönüne dik doğrultudaki birim şekil değiştirme ve gerilme değerlerinin karşılaştırılması da yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, farklı sarım açıları için analitik, sayısal ve deneysel sonuçların birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler

“Kompozit Boru, Elyaf Sarım Metodu, Yüksek Basınç, Laminasyon Teorisi”

Abstract

In this study, the values of bursting pressure of the glass fibre/epoxy composite cylindrical pipes wrapped in two different layers configuration with 65 mm outside diameter, 1.7 mm wall thickness and 650 mm length was obtained with the help of both analytical and numerical methods. Then, composite pipes were manufactured by the aid of the four-axis CNC composite winding machine with the help of the Filament Winding Method in [90°, ± 55°, 90°] symmetrical and [± 55°, 90°, 90°] non-symmetrical layers configuration. The theoretical analyses of pipes were made according to the Lamination Theory, and Tsai Wu failure criteria were used as a fracture criterion. Numerical analysis was performed by using ANSYS software. The coordinate element system was located in accordance with the fibre winding angles of the layers to define them correctly in the modelling of composite pipes. The analytical, numerical and experimental burst pressure values were compared to the strains and stresses which took place on the layers of composite pipes in the fibre direction and the perpendicular direction to that direction obtained by the analysis. According to the results obtained, it was observed that the analytical, numerical and experimental results were compatible with each other for different winding angles.

KeyWords

“Composite Pipe, Filament Winding Method, High Pressure, Lamination Theory”

1. Giriş

Yüksek basınç altındaki gazların saklanması ve taşınmasında, ayrıca gaz transferi için kullanılan boru hatlarında kompozit malzemelerin kullanılmasına son yıllarda büyük önem verilmektedir. Bu anlamda kompozit borular çelik boru hatlarına göre kara veya deniz uygulamalarında korozyon direnci, bakım maliyetlerini azaltması, boru ömrünü uzatması sebebiyle önemli bir alternatif haline gelmiştir (Lees J. M., 2006). Genellikle inşaat mühendisliği yapıları için bir yapının servis ömrü olarak 50 yıl düşünülür. Kompozit borularının da 50 yıl boyunca hizmette kalması uluslararası kural ve düzenlemelere uygun uzun vadeli bir tasarım kistası olarak düşünülmektedir (Rafiee R. ve Mazhari B., 2016). Buna ek olarak, yüksek mukavemet ile yüksek iç basınç kapasitesine sahip uzun ömürlü kompozit boruların düşük yoğunluğa sahip olması nedeniyle inşaat ve nakliye maliyetlerinde önemli derecede azalma görülmektedir (Cz'el G. ve Czig'any T., 2008).

Yüksek basınçlara maruz roket borularının, tankların ve silah sistemlerine ait namluların yüksek basınçtan dolayı yüksek dayanıma sahip olması kadar, taşınabilirliği açısından da hafif olması istenmektedir. Bu durum yüksek basınç altındaki tank ve namluların tasarımında da kompozit malzemelerin kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Kompozit malzemeler düşük özgül ağırlığına karşılık, yüksek mukavemet ve korozyona dayanıklılığı, iyi şekillenebilirlik özelliği ve yorulmaya karşı iyi dayanımı nedeniyle günümüzde metallere nazaran daha fazla tercih edilmektedir.

Bu üstünlüklerinden dolayı, kompozit basınç tanklarının tasarım ve analizleri birçok çalışmaya da konu olmaktadır. Bu çalışmalarını özetlemek gerekirse;

Sayman (2005) hidrotermal yüklemeler altındaki ince veya kalın çok tabakalı kompozit silindirler için genel bir gerilme analizi metodu geliştirmiştir. Tabakalar $[0^\circ/90^\circ]$, $[30^\circ/-30^\circ]$, $[45^\circ/-45^\circ]$ ve $[60^\circ/-60^\circ]$ elyaf açıları için simetrik veya antisimetrik olarak yönlendirilmişlerdir. Analizler, borunun uçlarının açık/kapalı olduğu sınır şartı ile düzlem gerilme durumu dikkate alınarak yapılmıştır. Cherevatsky ve arkadaşları (2004) tarafından çift fazlı (gaz/sıvı) akışkan depolamak için kullanılacak ince cidarlı metal tankın etrafına helisel sarım yöntemiyle yeni bir kompozit tank tasarımı önerilmiş ve tasarımda kullanılan ince cidarlı metal sarğı, döküm yoluyla üretilmiştir. Djehiche ve arkadaşları (1999) ise Helisel sarım yöntemi ile üretilen basınçlı kompozit tank çeşidinden biri olan katı yakıtlı roket motoruna etkiyen gerilmeleri ve tankın patlama basıncını, doğrusal olmayan SEM kullanarak incelemiştir. Malzeme performansı ve geometrik düzgünlüğünün haznenin yüklenme kapasitesine olan etkisini de araştırmışlardır. Walter ve arkadaşları (2002) uzay araçlarında Helyum depolamak için Titanyum iç gömleğin etrafına kompozit malzemedeki helisel sarım yöntemiyle çift cidarlı basınçlı tank tasarımı; başka bir çalışmada ise Tam ve arkadaşları (1996) uzay araçlarında Xenon depolamak için konik çift cidarlı Titanyum basınçlı tank tasarımı ve imalatını yapmışlardır. Tankın analizi için lineer olmayan malzeme ve büyük şekil değiştirme modelleme yaklaşımları kullanılmıştır. Parnas ve Katırcı (2002) tarafından kalın cidarlı elyaf takviyeli kompozit basınç tanklarının değişik yüklenme durumları için klasik katman teorisi kullanılarak düzlem gerinim durumunda tasarım analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, farklı yüklemelerde kompozit basınç tankının sarım açısına yönelik optimizasyon çalışmaları da gerçekleştirilmiştir. Tamer Ali Sebaey (2019) cam elyaf kompozit boruyu dört farklı $([\pm 45^\circ/\pm 45^\circ/\pm 45^\circ], [\pm 55^\circ/\pm 55^\circ/\pm 55^\circ], [\pm 63^\circ/\pm 63^\circ/\pm 63^\circ], [\pm 63^\circ/\pm 55^\circ/\pm 45^\circ])$ sarım açısı için tasarlamış ve boruları filaman sarım yöntemi ile üretmiştir. Borular ayrı ayrı olmak üzere hem iç basınç yüklemesi altında hem de düşük hız darbe yüklemesi ile test edilmiştir. İç basınç yüklemesi altında test edilen borularda $[\pm 55^\circ/\pm 55^\circ/\pm 55^\circ]$ sarım oryantasyonunda en iyi performansa ulaşılmış olup, düşük hız darbe yüklemesi altında ise en iyi performans $[\pm 63^\circ/\pm 55^\circ/\pm 45^\circ]$ sarım oryantasyonunda görülmüştür.

Kompozit boru gövdesi genellikle iç astar, kompozit katman ve dış yüzey olmak üzere üç ana bileşenden oluşur. Astar, metalik veya polimer esaslı olarak iç akışkana karşı bir bariyer görevi görür. İç basınç altındaki kompozit borular, uçları kapalı boru durumunda hem çevresel hem de aksel gerilmelere maruz kalmaktadır. Uçları açık uzun borular için iç basınçtan kaynaklanan aksel gerilmeler "sıfır" olarak alınır (DNVGL-RP-F119, 2015). Bununla birlikte, montaj şartları, ağırlık, dış basınç vb. gibi diğer etmenlerden dolayı borularda gerilmeler olabilir. Kompozit boruların tasarımında gerilme ve hasar analizi dış kaplama dikkate alınmaksızın yapılmaktadır. (Wr'obel G. ve arkadaşları, 2017).

2. Teorik Çalışmalar

Kompozit sargılı boruların tasarımına yönelik analitik çalışmalar Laminasyon Teorisi (Klasik Katman Teorisi) temelinde gerçekleştirilmiştir. Kompozit katmanlarda oluşacak birim şekil değiştirme ve gerilmeler Excel kullanılarak geliştirilen bir programı yardımıyla elde edilmiştir. Kompozit yapının hasar analizinde Tsai-Wu hasar kriteri kullanılmıştır.

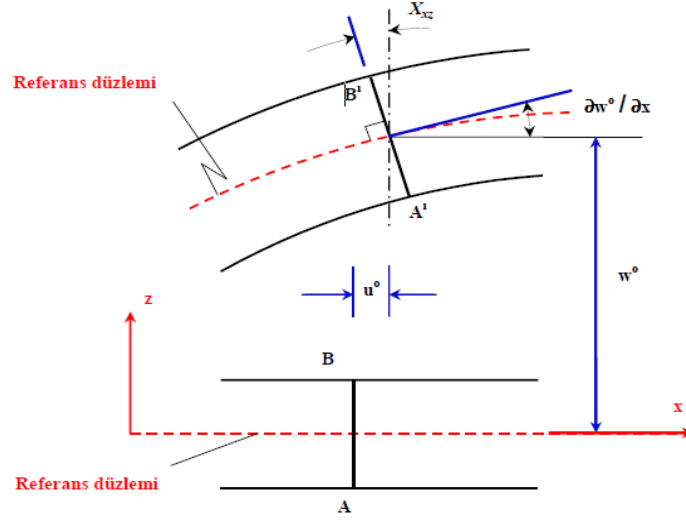
2.1. Laminasyon Teorisi

Çok tabakalı kompozit plaka iki veya daha fazla tabakanın birleşmesinden meydana gelen birleşik bir yapıdır. Çok tabakalı kompozit plakalar tipik olarak yük taşıyan elyaflar yönünde olağanüstü özelliklere sahiptirler. Fakat elyaflara dik yöndeki özellikleri oldukça yetersizdir.

Kompozit plakalar çeşitli kuvvetler neticesinde çekmeye, eğilmeye, burulmaya ve burkulmaya maruz kalabilirler. Tek katmanlı kompozit bir plakaya gelebilecek yükler karşısında plakada oluşabilecek gerilme ve şekil değiştirmeler, ortotropik malzemelerde düzlem gerilme durumu için bulunan denklemler yardımıyla hesaplanabilmektedir. Ancak çok katmanlı kompozit plakalarda oluşacak gerilme ve şekil değiştirmelerin hesabı tek katmanlı kompozit plakalara göre oldukça karmaşıktır. Katman teorisi çok katmanlı plakalardaki her bir katmanda oluşacak gerilme ve şekil değiştirmeleri hesaplamaktadır.

2.2. Kirchhoff Hipotezi

Yük altındaki bir plakada şekil değiştirmeler plakanın kalınlığı boyunca malzeme özelliği nedeniyle sürekliliğini korur ve doğrusal davranış gösterir. Bir başka deyişle, plaka orta düzlemine dik bir doğru üzerinde bulunan noktalar şekil değiştirmeden sonra da şekil değiştirmiş şeklin orta düzlemine dik kalırlar. Bu nedenle plaka düzlemindeki kuvvetlerin etkisi altındaki plaka orta düzleminde, başka bir deyişle tarafsız düzlemde, deformasyon olmadığı kabul edilir. Bu durum Şekil 1’de gösterilmiştir.



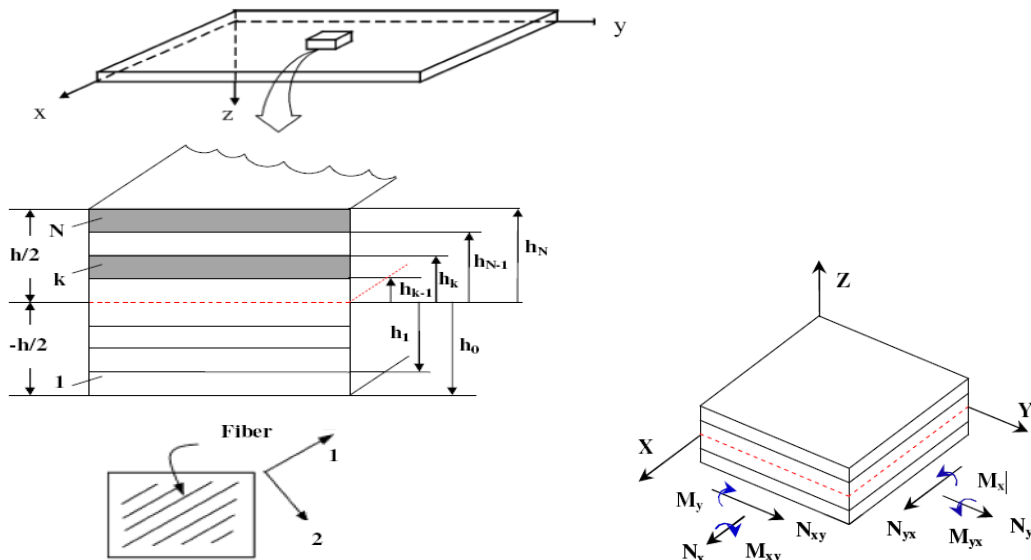
Şekil 1. Kirchhoff teorisine göre bir düzlem kenarının deforme olmuş ve deforme olmamış geometrileri (Ronald F. Gibson,1994)

Kirchhoff Hipotezi yardımıyla çok tabakalı bir plakanın bir katmanındaki şekil değiştirmeleri, plakanın orta düzleminin eğriliği ve doğrudan şekil değiştirme terimleriyle (1) denkleminde görüldüğü gibi ifade edilir.

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^o \\ \varepsilon_y^o \\ \gamma_{xy}^o \end{Bmatrix} + z \begin{Bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

Yukarıdaki (1) nolu denkleminde, ε_x^o , ε_y^o , γ_{xy}^o referans düzlemin şekil değiştirmelerini, K_x , K_y , K_{xy} ise referans düzlemi için moment eğrilerini ifade etmektedir.

$$K_x = -\frac{\partial^2 w^o}{\partial x^2}, \quad K_y = -\frac{\partial^2 w^o}{\partial y^2}, \quad K_{xy} = -2\frac{\partial^2 w^o}{\partial x \partial y} \quad (2)$$



Şekil 2. N tabakalı kompozit plakanın geometrisi ve kompozit plakada x ve y yönlerindeki kuvvet ve momentler (Mark E. Tuttle, 2004)

Şekil 2’de görüldüğü üzere kompozit plakanın x ve y yönündeki kuvvet ve moment denklemleri (3) ve (4) denklemlerinde verilmektedir. Çözümleme sonucunda elde edilen rijitlik matrisleri (5), (6) ve (7) nolu denklemler ile ifade edilmekte ve nihai kuvvet, moment ve yer değiştirme ilişkisi denklem (8) de verilmektedir.

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{Bmatrix} = \sum_{k=1}^N \left(\int_{h_{k-1}}^{h_k} [\bar{Q}] \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{Bmatrix} dz \right) + \sum_{k=1}^N \left(\int_{h_{k-1}}^{h_k} [\bar{Q}] \begin{Bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{Bmatrix} z dz \right) \quad (3)$$

$$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \sum_{k=1}^N \left(\int_{h_{k-1}}^{h_k} [\bar{Q}] \begin{Bmatrix} \varepsilon_x^0 \\ \varepsilon_y^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{Bmatrix} z dz \right) + \sum_{k=1}^N \left(\int_{h_{k-1}}^{h_k} [\bar{Q}] \begin{Bmatrix} K_x \\ K_y \\ K_{xy} \end{Bmatrix} z^2 dz \right) \quad (4)$$

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k \cdot (h_k - h_{k-1}) \quad (5)$$

$$B_{ij} = \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k \cdot \left(\frac{h_k^2 - h_{k-1}^2}{2} \right) \quad (6)$$

$$D_{ij} = \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k \cdot \left(\frac{h_k^3 - h_{k-1}^3}{3} \right) \quad (7)$$

$$\begin{Bmatrix} N \\ M \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} AB \\ BD \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon^0 \\ K \end{Bmatrix} \quad (8)$$

Denklem (5) ’teki A_{ij} ifadesi orta düzlemin $\{\varepsilon^0\}$ şekil değiştirmesine neden olan $[N]$ aksel kuvvetlerinin uzama rijitlik matrisini verir. Denklem (6) ’daki B_{ij} ifadesi ise $\{K\}$ eğrilğine neden olan aksel kuvvetler ve orta düzlemin $\{\varepsilon^0\}$ şekil değiştirmesine neden olan $[M]$ momentleri için Etkileşim Rijitlik Matrisi olarak tanımlanabilir. (7) nolu denklemdeki D_{ij} ifadesi $\{K\}$ eğrilğine neden olan $[M]$ momentlerinin Eğilme Rijitlik Matrisi’ ni verir. Bir kompozit plakada B_{ij} etkileşim rijitlik matrisi sıfır değilse, düzlem kuvvetler altındaki o plaka hem eğiliyor hem de buruluyor demektir. Kompozit plakanın katmanlarının simetrik olması durumunda B_{ij} etkileşim rijitlik matrisi “0” a eşit olur. Ancak, katmanların simetrik olmaması durumunda B_{ij} etkileşim rijitlik matrisi sıfıra eşit olmaz (Jones R.M, 1075).

2.3. Kompozit Yapılarda Hasar Kriterleri

Kompozit basınç tanelarının gerilme analizlerinde hasar kriterlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ortotropik kompozit plakalara ait hasar kriterleri; Maksimum gerilme hasar kriteri, Maksimum şekil değiştirme hasar kriteri, Tsai-Hill hasar kriteri ve Tsai-Wu hasar kriteri şeklinde sıralanabilir (Ever J. Barbero, 1998). Tsai-Hill kriteri, orijinal olarak homojen izotropik parçalara uygulanan ve Bauschinger etkisini hesaba katan Von Mises kriterine dayanır. Daha sonra anizotropik malzemelere uyarlamak için Hill tarafından değiştirilmiş ve kompozit malzemelere uygulanmıştır. Bu kriter, denklem (9) ile ifade edilmektedir. Bu denklemde, 1 yönü fiber doğrultusunu ve 2 yönü fibere dik doğrultuyu gösteren kompozit plakada fiber yönüne dik, fiber yönünde ve kayma doğrultularında bulunan gerilme değerleri ve mukavemet değerleri ($\sigma_1, \sigma_2, \tau_{12}, S_T, S_L, S_{LT}$) bulunmaktadır.

$$\frac{\sigma_1^2}{S_L^2} - \frac{\sigma_1 \sigma_2}{S_L^2} + \frac{\sigma_2^2}{S_T^2} + \frac{\tau_{12}^2}{S_{LT}^2} = 1 \quad (9)$$

Tsai-Wu anizotropik malzemelerin hasar teorisini iyileştirilmiş ve basitleştirilmiş bir tensör polinomu yardımıyla ifade etmiştir. Bu kriterin diğer kriterlere göre 3 önemli özelliği vardır;

- Koordinatların tekrardan tanımlanması veya döndürülmesi halinde kriterin değişmemesi,
- Bilinen tensör dönüşüm kuralları yardımıyla kriterdeki terimlerin dönüştürülebilmesi,
- Direngenlik ve komplians matrislerdeki gibi simetrik özelliklerin kriterde yansıtılabilmesidir (Jones R.M, 1075).

Kompozit bir plakada oluşacak gerilmeler sonucu plakanın hasara uğrayıp uğramayacağı (10) nolu Tsai-Wu denkleminde bulunabilir.

$$F_{11}\sigma_1^2 + F_{22}\sigma_2^2 + F_{12}\sigma_{12}^2 + F_1\sigma_1 + F_2\sigma_2 + 2F_{12}\sigma_1\sigma_2 = 1 \quad (10)$$

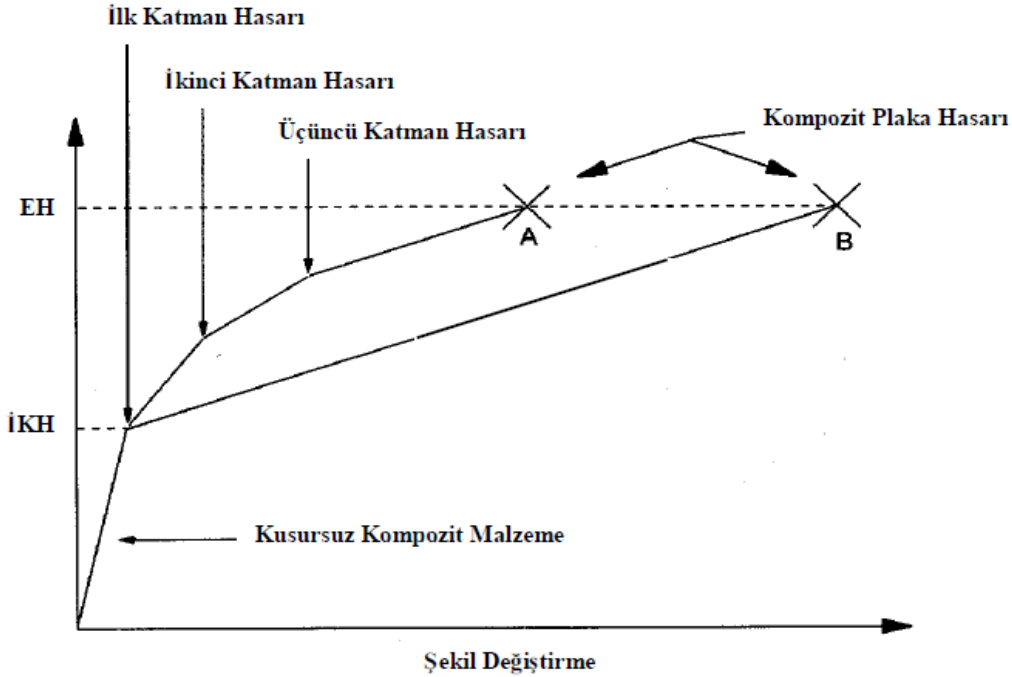
Yukarıdaki denklemde σ_1 , σ_2 , σ_{12} terimleri kompozit plakada oluşan fiber yönüne dik, fiber yönünde ve kayma doğrultularındaki gerilme değerlerini göstermektedir. Dayanım parametreleri olan F_{11} , F_{22} , F_1 , F_2 ve F_{12} terimleri kompozit malzemenin fiber yönüne dik, fiber yönünde ve kayma doğrultularındaki basma ve çekmedeki mukavemet değerleri ile denklem (2.11)' de ifade edilmiştir. Bu çalışmada Tsai-Wu hasar kriteri dikkate alınarak gerilme analizleri gerçekleştirilmiştir.

$$F_{11} = \frac{1}{S_1^T + S_1^C}, \quad F_{22} = \frac{1}{S_2^T + S_2^C}, \quad F_1 = \frac{1}{S_1^T} - \frac{1}{S_1^C} \quad (11)$$

$$F_2 = \frac{1}{S_2^T} - \frac{1}{S_2^C}, \quad F_{66} = \frac{1}{S_{12}^2}$$

2.4. Kompozit Plakalarda İlk Katman Hasarı ve Elyaf Hasarı

Kompozit plakada meydana gelecek ilk hasar durumu (ilk katman hasarı) kompozit plakanın tümünün hasara uğradığı anlamına gelmez. Kompozit plakanın tamamen hasara uğraması için elyaflarının da hasara uğraması gerekir. Kompozit plakada ilk katman hasarından sonra oluşan ve elyaf da meydana gelen hasara elyaf hasarı (EH) denilir. Bu hasar çeşidi bir kısım kaynaklarda son katman hasarı olarak da isimlendirilmektedir. Elyaf hasar yükünün tespiti için ilk katman hasarının oluşması gerekir. İlk katman hasarının belirlenmesinden sonra elyaf hasar yükü iki temel yaklaşım ile bulunabilir. İlk yaklaşımda her bir katmandaki hasar ayrı ayrı tespit edildikten sonra son noktada elyaf hasarına ulaşılır. Bu yaklaşım katman katman elyaf hasarı olarak isimlendirilir. İkinci yaklaşımda ise ilk katman hasarının tespitinden sonra diğer katmanların hasarına bakılmaksızın direk elyaf hasarına gidilir. Bu yaklaşım ise iki adımda elyaf hasarı olarak isimlendirilir. Bu iki yaklaşımın vermiş olduğu sonuçlar Şekil 3.' te gösterildiği gibi birbirine çok yakındır (Ever J. Barbero, 1998).



Şekil 3. Katman katman ve iki adım yaklaşımları ile elyaf hasar yükünün tespiti (Ever J. Barbero, 1998).

Elyaf hasar teorisine göre kompozit plakayı hasara uğratan maksimum yükün belirlenmesi, Tablo 1' de ki hasar öncesi malzeme özelliklerine sahip kompozit yapıda ilk hasarı meydana getiren yük ile hasar sonrası malzeme özelliklerine sahip kompozit yapıda elyafları hasara uğratan yükün toplanması ile elde edilir (Jones R.M, 1075).

Tablo 1'de basınç tankında kullanılan malzemelerin hasar öncesi ve sonrasında kullanılacak mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Kompozit malzeme özellikleri (Robert M. Jones, 1998).

Malzeme Özellikleri	Cam Elyaf / Epoksi	
	Hasar Öncesi	Hasar Sonrası
<i>Yoğunluk (gr/cm³)</i>	2.076	2.076
<i>E₁₁ (GPa)</i>	54	54
<i>E₂₂ (GPa)</i>	18	0.05
<i>G₁₂ (GPa)</i>	9	0.02
<i>ν_{12}</i>	0,25	0,25
<i>S_{1T} (MPa)</i>	1035	1035
<i>S_{1C} (MPa)</i>	1035	1035
<i>S_{2T} (MPa)</i>	28	-
<i>S_{2C} (MPa)</i>	138	-
<i>S₁₂ (MPa)</i>	41	-
<i>Elyaf Hacim Oranı V_f (%)</i>	60	60

3. Deneysel Çalışmalar

Kompozit sargılı boru iki farklı elyaf oryantasyonu dikkate alınarak $[90^\circ, \pm 55^\circ, 90^\circ]$ simetrik ve $[\pm 55^\circ, 90^\circ, 90^\circ]$ simetrik olmayan katman düzenlerinde sürekli elyaf sarım tekniği yardımıyla üretilmiştir.

3.1. Kompozit Sargılı Borunun Üretimi

Yüksek basınca dayanıklı kompozit sargılı borular, 300 mm ve 700 mm çaplar arasında ve maksimum 1000 mm boyunda sarım yapabilen ve aynı anda 10 adet kompozit boru sarabilen 4 eksen CNC filaman sargı makinesi yardımı ile hiçbir yüzeysel işlemi yapılmadan üretilmiştir. İlk olarak sarım öncesinde cam elyaf makaraları, makaralardan çıkan elyaf iplikleri ve reçine, farklı yollardan Şekil 4’ te görülen CNC elyaf sarım makinesine bağlanarak sistem sarıma hazır hale getirilir.



Şekil 4. Kompozit sargılı boru imalatı

Ön hazırlıklar sonrasında Şekil 4’te görüldüğü gibi; elyaf makaralarından çıkan elyafların epoksi havuzuna batırılıp, uygun gerginlikte ve elyaf sarım açısına bağlı olacak şekilde, mandrel ve elyaf tutucunun sırasıyla dairesel ve doğrusal hızlarında kalıba sarılması ile gerçekleştirilir. Elyaf sarımının yapılması işlemi Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 5. İstenilen açılarda elyaf sarımının yapılması

Sarımı yapılan kompozit borular kür işlemi için yaklaşık 120 °C sıcaklıkta fırınlanmaktadır. Kür işleminden sonra kompozit sargılı borular kalıptan çıkartılarak üretim tamamlanmış olur. Şekil 6' da üretimi tamamlanmış kompozit sargılı boru görülmektedir.



Şekil 6. Üretimi tamamlanmış kompozit sargılı boru

3.2. Kompozit Sargılı Boruların Hidrolik Basınç Patlatma Deneyi

3.2.1. Deney ekipmanları

Hidrostatik basınç patlatma deneyi Şekil 7' de gösterilen ve Tablo 2' de teknik özellikleri verilmiş 1000 Bar kapasiteli, PLC kontrollü, servo hidrolik motorlu patlatma test cihazında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Hidrolik Patlatma Basınç Test Cihazı Teknik Özellikleri

Maksimum Patlatma Basıncı	100 MPa
Test Numunesi Sayısı	1 Basınç Hortumu Çıkışı
Güç Kaynağı	Servo Hidrolik Motor
Test Akışkanı	Hidrolik Yağ
Kontrol Ünitesi	PLC Kontrol
Motor Gücü	5,5 kW
Test Kabini Boyutları	2250 x1200 x 850mm



Şekil 7. PLC kontrollü, servo motorlu hidrolik test cihazı



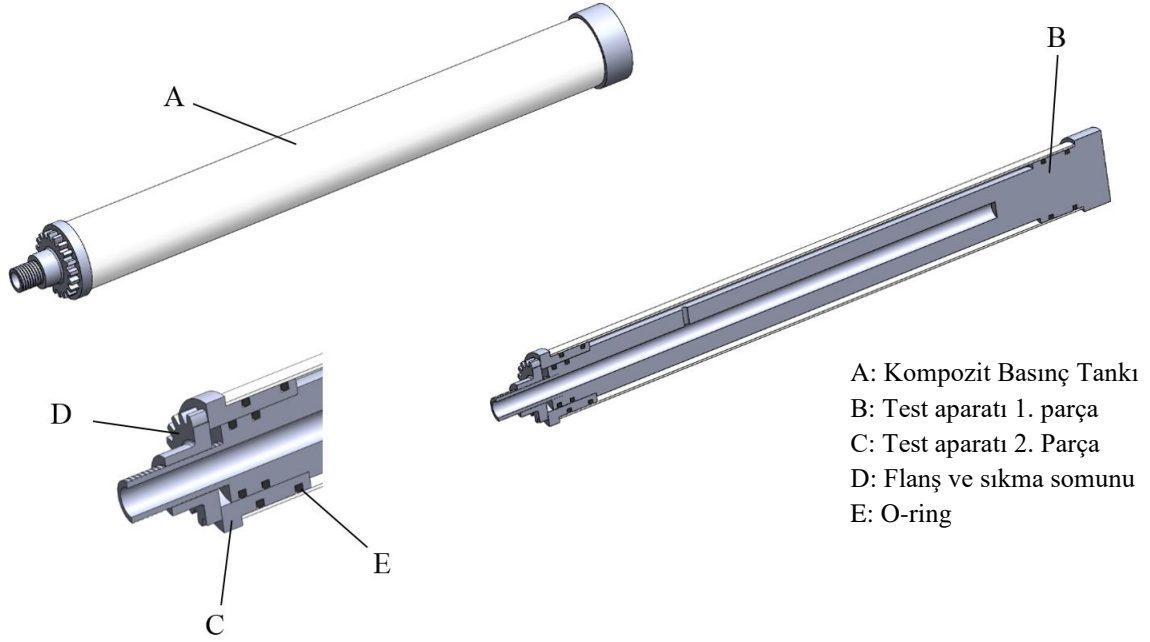
Şekil 8. Ekipmanları bağlanmış kompozit sargılı boru

Şekil 8 ve Şekil 9’ da Cam elyaf /epoksi malzemeden filaman sarım metodu yardımıyla üretilen, yüzeyine herhangi bir işlem yapılmamış, deney ekipmanları ile uç kısımlarından sabitlenmiş ve bir ucuna yağ hortumu ile montajı yapılmış kompozit sargılı boru gösterilmiştir.



Şekil 9. Kompozit sargılı boru

Hidrostatik patlama deneyi öncesinde üretimi tamamlanmış kompozit sargılı boruların Şekil 10 ’da ayrıntılı modeli verilen deney aparatları ile montajları yapılmıştır. Montaj işleminde 1. test aparatı borunun bir ucundan boruya montajlanmış daha sonra 2. test aparatı borunun diğer ucundan 1. test aparatı ile boru cidarı arasında kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra sıkma somunu yardımıyla montajlanmış parçalar birbirine sıkı şekilde sabitlenmiştir. Bu arada kompozit boru cidarı ile test aparatları arasında sızdırmazlığın sağlanması için daha önceden test aparatlarına açılmış yuvalara yağ tutma bileziği (oil-ring) konulmuştur. Son olarak hidrolik yağ boru içerisine gönderecek yağ hortumu Şekil 8’de gösterildiği gibi 1. test aparatının uç kısmına montajlanmıştır. Montaj işlemlerinin ardından test numunesi Şekil 7’de gösterilmiş hidrostatik test kabininin içerisine yerleştirilmiştir ve PLC kontrollü hidrostatik test cihazı yardımıyla patlatma testine maruz bırakılmıştır. Şekil 11’ de patlatma testi sonrasında hasara uğramış bir kompozit boru gösterilmiştir.



Şekil 10. Test aparatları bağlanmış kompozit basınçlı silindirin görünüşü

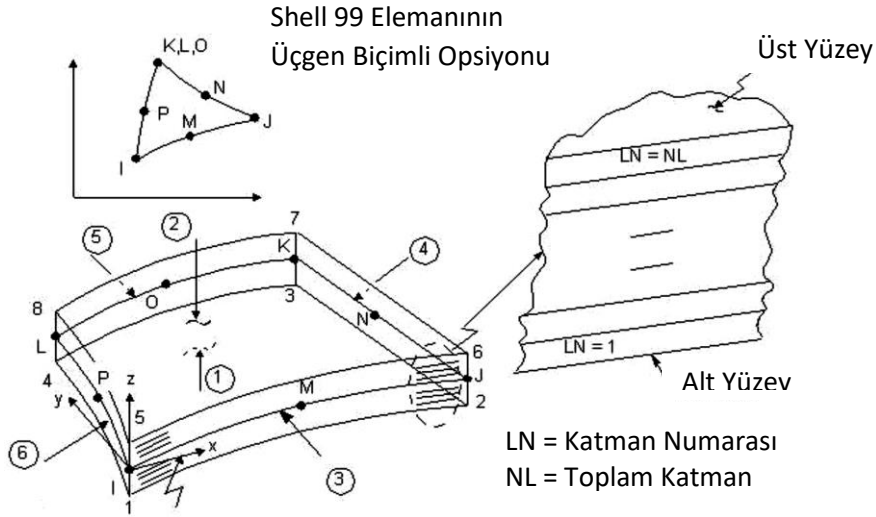


Şekil 11. Patlatma deneyi sonrasında hasara uğramış kompozit boru

4. Sayısal Çalışmalar

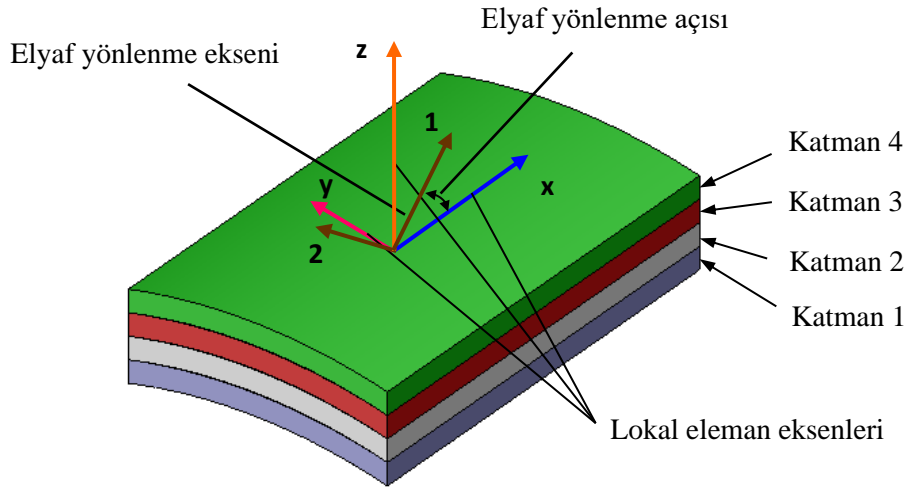
Bu bölümde kompozit sargılı borunun farklı katman düzenlerindeki maksimum patlama basıncı değerleri ANSYS sonlu eleman programı yardımıyla bulunmuştur. Kompozit malzeme olarak Cam elyaf / epoksi malzemesi kullanılmış olup, malzeme modeli ortotropik malzeme modeli seçilmiş ve tablo 1 de verilen malzeme özellikleri programa girilmiştir. Analizinde kompozit borular $[90^\circ, \pm 55^\circ, 90^\circ]$ simetrik ve $[\pm 55^\circ, 90^\circ, 90^\circ]$ simetrik olmayan katman düzenlerinde modellenmiştir.

Kompozit boruların sonlu eleman modeli doğrusal Shell 99 elemanı kullanılarak oluşturulmuş ve Şekil 12 'de gösterilmiştir. Bahsi geçen eleman, kompozit katman düzenini tarif etmek için gerekli elyaf yönlerinin ve Laminasyon Teorisindeki A, B ve D rijitlik matrislerinin girilmesine olanak sağlamaktadır. Shell 99 elemanı katmanlı yapısal kabuk modellerinin uygulamalarında özellikle ince katmanlar (Lamina) için tasarlanmıştır. Shell 99 elemanı sekiz düğüm noktasına (K, J, I, L dört köşe ve O, N, M, P dört orta), kompozit katman kalınlığı boyunca bir elemana ve düğüm başına altı serbestlik derecesine sahiptir. Ayrıca Shell 99 elemanı katmanlı kompozit yapılarda her bir katmanda oluşan gerilme ve birim şekil değiştirmelerin elde edilmesine olanak sağlayan bir elemandır. Modelde 22.480 adet mesh elemanı kullanılmıştır.



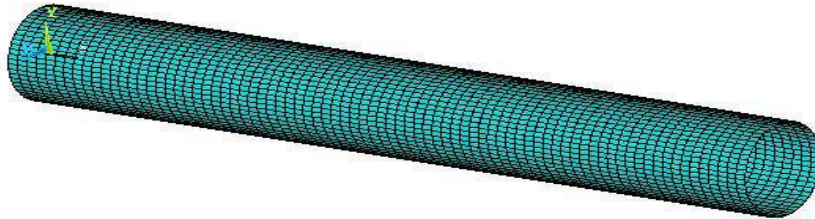
Şekil 12. Kompozit tankın SHELL99 sonlu eleman tipi (ANSYS 2012 User Manual)

Kompozit borunun cidar yapısı, Şekil 13' te gösterildiği gibi $[90^\circ, \pm 55^\circ, 90^\circ]$ simetrik ve $[\pm 55^\circ, 90^\circ, 90^\circ]$ simetrik olmayan katman düzenlerinde modellenmiştir. Kompozit plakada 1 yönü elyaf doğrultusunu, 2 yönü ise elyaf doğrultusuna dik yönü göstermektedir.

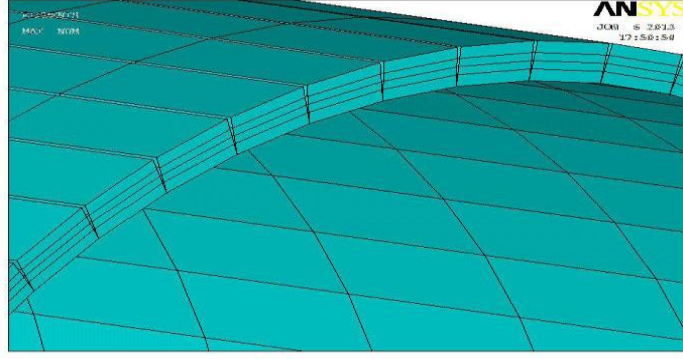


Şekil 13. Tank cidarının katman düzeni ve elyaf yönlendirme açıları.

Farklı katman düzenlerinde oluşturulan sonlu eleman modeli yardımıyla simetrik ve simetrik olmayan katman yapısının patlama basıncına etkisi de incelenebilmiştir. Şekil 14' te kompozit borunun genel mesh durumu ve Şekil 15' te kompozit sargılı borunun katmanları gösterilmiştir.



Şekil 14. Kompozit borunun mesh modeli

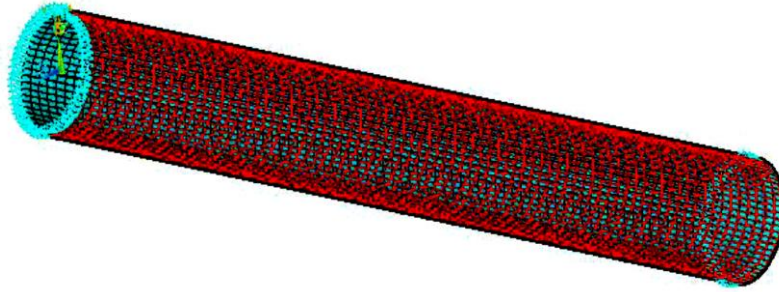


Şekil 15. Kompozit Sargılı Borunun Katmanları

Bununla birlikte kompozit sargılı borunun sınır şartları ve yüklemeleri Şekil 16’ da gösterilmiştir. Modelde borunun bir ucu aksenal yönde sabitlenmiş, tüm yüzeyi ve her iki kenarının çevresel genişlemesine izin verilmiştir. Boru iç yüzeyine hidrostatik iç basınç uygulanmış ve statik analiz yardımıyla çözüm gerçekleştirilmiştir. Kompozit borunun boyutları da Tablo 3’ te verilmiştir.

Tablo 3. Kompozit sargılı borunun boyutları

Kompozit Borunun Boyu (mm)	650
Kompozit Borunun Çapı (mm)	65
Kompozit Borunun Et kalınlığı (mm)	1,7



Şekil 16. Kompozit sargılı borunun sınır şartları gösterimi

5. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde, kompozit sargılı borunun analitik, sayısal ve deneysel metotlar yardımıyla yapılan analiz sonuçları ve karşılaştırmaları sunulmuştur.

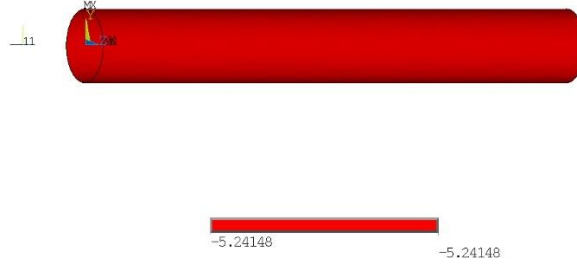
5.1. Kompozit Sargılı Borunun Analitik Çözümleri

Kompozit sargılı borunun patlama basıncına göre tasarımı öncelikle Laminasyon Teorisi yardımıyla, iki adım yaklaşımı olan ilk katman hasarı ve elyaf hasarı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Hesapların kolay yapılabilmesi için formüller Excel programına aktarılmış ve her bir katmandaki elyaf yönü ve elyaf yönüne dik yönlerdeki birim şekil değiştirme ve gerilme değerleri Excel ara yüzünde geliştirilen bir program yardımıyla elde edilmiştir. Şekil 17’ de analitik çözüm için oluşturulan bilgisayar programına ait ara yüz gösterilmiştir. Programda simetrik katman düzenindeki (90; ±50; 90) kompozit borunun Tsai-Wu kriterine göre ilk katman hasarının 58 Bar basınç değerinde 2. ve 3. katmanlarda meydana geldiği görülmektedir. Benzer olarak yapılan analitik patlama basınç analizi sonucu simetrik olmayan katman düzenindeki (±50; 90; 90) kompozit borunun ilk katman hasarının 55 Bar basınç değerinde 2. ve 3. katmanlarda meydana geldiği görülmüştür.

NODAL SOLUTION
 STEP=1
 SUB =1
 TIME=1
 SX (AVG)
 BOTTOM
 LAYR=1
 RSYS=0
 DMX =.51153
 SMN =-5.24148
 SMX =-5.24148

ANSYS
 R17.1

APR 14 2020
 01:06:41
 PLOT NO. 1



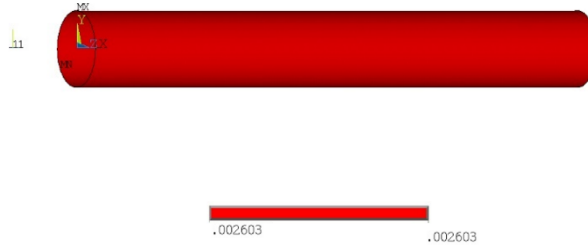
Şekil 19. Birinci katman, alt yüzey, elyaf yönüne dik (2) doğrultudaki gerilme değeri

Şekil 20 ve Şekil 21' de sonlu eleman modeli verilen simetrik katman düzenindeki kompozit sargılı boruya ait ilk katman hasarına yol açan 58 Bar basıncın birinci katmanın alt yüzeyinde neden olduğu elyaf yönünde (1 yönü) ve elyaf yönüne dik yönlerdeki (2 yönü) birim şekil değiştirme değerleri gösterilmiştir. Kompozit boruda elyaf yönünde ve elyaf yönüne dik yönde oluşan birim şekil değiştirme değerleri sırasıyla 0,0026 mm/mm ve -0,00096 mm/mm olduğu görülmektedir.

NODAL SOLUTION
 STEP=1
 SUB =1
 TIME=1
 EFEL1 (AVG)
 BOTTOM
 LAYR=1
 RSYS=0
 DMX =.51153
 SMN =.002603
 SMX =.002603

ANSYS
 R17.1

APR 14 2020
 01:18:25
 PLOT NO. 1

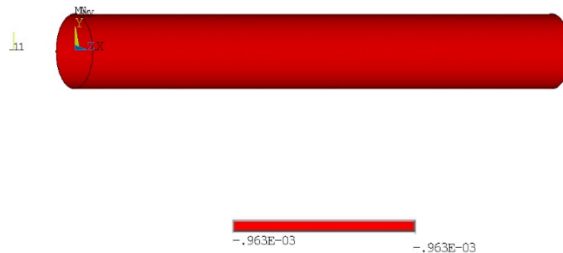


Şekil 20. Birinci katman, alt yüzey, elyaf doğrultusundaki (1) birim şekil değiştirme değeri

NODAL SOLUTION
 STEP=1
 SUB =1
 TIME=1
 EFELX (AVG)
 BOTTOM
 LAYR=1
 RSYS=0
 DMX =.51153
 SMN =-.963E-03
 SMX =-.963E-03

ANSYS
 R17.1

APR 14 2020
 01:20:35
 PLOT NO. 1



Şekil 21. Birinci katman, alt yüzey, elyaf yönüne dik (2) doğrultudaki birim şekil değiştirme değeri

5.3. Kompozit Sargılı Borunun Analiz Sonuçları

5.3.1. Gerilme ve birim şekil değiştirmeler

Bu bölümde simetrik ve simetrik olmayan katman düzenlerindeki kompozit boruların Laminasyon Teorisine göre hesaplanmış ilk katman hasarına neden olan sırasıyla 58 Bar ve 55 Bar lık iç basınç değerleri altında boru cidarında meydana gelen elyaf yönünde ve elyaf yönüne dik yönlerdeki birim şekil değiştirme ve gerilme değerlerinin analitik ve sayısal analiz sonuçları Tablo 4 ve Tablo 5'te karşılaştırılmıştır.

Tablo 4. Birinci katmana ait elyaf yönü (1) ve elyaf yönüne dik (2) doğrultudaki analitik ve sayısal birim şekil değiştirmeler

mm/mm	Elyaf Açılı (90; ±50; 90) / 58 Bar				Elyaf Açılı (±50; 90; 90) / 55 Bar			
	1. Katman Alt Yüzeyi		1. Katman Üst Yüzeyi		1. Katman Alt Yüzeyi		1. Katman Üst Yüzeyi	
	Analitik	Sayısal	Analitik	Sayısal	Analitik	Sayısal	Analitik	Sayısal
□ ₁	0,0026	0,0026	0,0026	0,0026	0,0011	0,0012	0,0012	0,0012
□ ₂	-0,0010	-0,00096	-0,0010	-0,00096	0,0004	0,0001	0,0004	0,0001
□ ₁₂	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0033	0,0031	0,0032	0,0030

Tablo 5. İkinci katmana ait elyaf yönü (1) ve elyaf yönüne dik (2) doğrultudaki analitik ve sayısal birim şekil değiştirmeler

mm/mm	Elyaf Açılı (90; ±50; 90) / 58 Bar				Elyaf Açılı (±50; 90; 90) / 55 Bar			
	2. Katman Alt Yüzey		2. Katman Üst Yüzey		2. Katman Alt Yüzey		2. Katman Üst Yüzey	
	Analitik	Sayısal	Analitik	Sayısal	Analitik	Sayısal	Analitik	Sayısal
□ ₁	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0013	0,0014	0,0013
□ ₂	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002
□ ₁₂	0,0034	0,0033	0,0034	0,0033	-0,0031	-0,0030	-0,0031	-0,0030

Tablo 4, 5, 6 ve 7' de sunulduğu üzere kompozit katmanlardaki 1 ve 2 yönlerindeki hem analitik hem de sayısal birim şekil değiştirmeler ve gerilmelerin birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Tablo 6. Birinci ve ikinci katmanlara ait elyaf yönü (1) ve elyaf yönüne dik (2) doğrultudaki analitik ve sayısal gerilmeler

MPa	Elyaf Açılı (90; ±50; 90) / 58 Bar				Elyaf Açılı (±50; 90; 90) / 55 Bar			
	1. Katman Alt Yüzey		1. Katman Üst Yüzey		1. Katman Alt Yüzey		1. Katman Üst Yüzey	
	Analitik	Sayısal	Analitik	Sayısal	Analitik	Sayısal	Analitik	Sayısal
□ ₁	139,76	139,20	139,76	139,20	68,67	69,12	70,63	67,36
□ ₂	-5,24	-5,24	-5,24	-5,24	12,45	8,16	11,93	8,36
□ ₁₂	0,00	0,00	0,00	0,00	29,72	28,90	29,47	28,42

MPa	Elyaf Açılı (90; ±50; 90) / 58 Bar				Elyaf Açılı (±50; 90; 90) / 55 Bar			
	2. Katman Alt Yüzey		2. Katman Üst Yüzey		2. Katman Alt Yüzey		2. Katman Üst Yüzey	
	Analitik	Sayısal	Analitik	Sayısal	Analitik	Sayısal	Analitik	Sayısal
□ ₁	80,38	80,09	80,38	80,09	82,33	69,56	80,38	69,56
□ ₂	10,80	10,75	10,80	10,75	8,76	8,27	9,29	8,27
□ ₁₂	30,28	30,11	30,28	30,11	-27,95	-27,65	-28,20	-27,65

Tablo 7. Üçüncü ve dördüncü katmanlara ait analitik ve sayısal elyaf yönü (1) ve elyaf yönüne dik (2) doğrultudaki gerilmeler

MPa	Elyaf Açılımları (90; ±50; 90) / 58 Bar				Elyaf Açılımları (±50; 90; 90) / 55 Bar			
	3. Katman Alt Yüzey		3. Katman Üst Yüzey		3. Katman Alt Yüzey		3. Katman Üst Yüzey	
	Analitik	Sayısal	Analitik	Sayısal	Analitik	Sayısal	Analitik	Sayısal
□ ₁	80,38	80,09	80,38	80,09	132,78	127,09	132,78	127,09
□ ₂	10,80	10,75	10,80	10,75	-4,86	-4,47	-4,86	-4,47
□ ₁₂	30,28	30,11	30,28	30,11	0,00	-0,11	-1,48	-0,23

MPa	Elyaf Açılımları (90; ±50; 90) / 58 Bar				Elyaf Açılımları (±50; 90; 90) / 55 Bar			
	4. Katman Alt Yüzey		4. Katman Üst Yüzey		4. Katman Alt Yüzey		4. Katman Üst Yüzey	
	Analitik	Sayısal	Analitik	Sayısal	Analitik	Sayısal	Analitik	Sayısal
□ ₁	139,76	139,20	139,76	139,20	132,78	127,60	132,78	127,60
□ ₂	-5,24	-5,24	-5,24	-5,24	-4,86	-2,42	-4,86	-2,42
□ ₁₂	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,48	-0,36	-2,97	-0,36

5.3.2. Patlama basıncı değerleri

Tasarımı ve üretimleri yapılan kompozit sargılı boruların bu çalışmada minimum 200 Bar lık patlama basıncına sahip olmaları istenmiş ve borulara ait tasarım parametreleri minimum patlama basıncı değerinin 50 Bar üzerinde olacak şekilde 250 Bar basınç değerine göre belirlenmiştir. Bu sayede güvenilirliği ön plana çıkartan nihai tasarım sayesinde boruların teorik patlama basıncı değerlerinin belirlenmiş minimum patlama basıncı değerinin üzerinde kalması hedeflenmiştir.

Tablo 8. [90; ±50; 90] simetrik katman düzenindeki kompozit sargılı boruların analitik, sayısal ve deneysel patlama basıncı değerleri

	Analitik Metot	Sayısal Metot	Deneysel Metot Ortalama
Cidar Kalınlığı (mm)	1,7	1,7	1,7
Patlama Basıncı (Bar)	241	240	246,42

Tablo 9. [±50; 90; 90] simetrik olmayan katman düzenindeki kompozit sargılı boruların analitik, sayısal ve deneysel patlama basıncı değerleri

	Analitik Metot	Sayısal Metot	Deneysel Metot Ortalama
Cidar Kalınlığı (mm)	1,7	1,7	1,7
Patlama Basıncı (Bar)	234	239	242,42

Elyaf sarım yöntemiyle, Cam elyaf / epoksi kompozit malzemeden iki farklı katman düzeninde üretilmiş kompozit sargılı boruların analitik, sayısal ve deneysel patlama basıncı değerleri Tablo 8 ve 9' da verilmiştir. Elde edilen basınç değerleri incelendiğinde patlama basıncı değerlerinin birbirine yakın olduğu ve amaçlanan minimum 200 Bar lık patlama basıncı değerinin üzerinde çıktığı, dolayısı ile tasarımın yeterli emniyeti sağladığı görülmektedir.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada öncelikle [90°, ±55°, 90°] simetrik ve [±55°, 90°, 90°] simetrik olmayan iki farklı katman düzenindeki, 65 mm dış çapa, 1.7 mm cidar kalınlığına sahip, 650 mm boyundaki, Cam elyaf / epoksi kompozit boruların patlama basıncı değerleri hem analitik hem de sayısal olarak incelenmiştir. Bu amaçla filaman kompozit sarım yöntemi ile üretilen Cam elyaf/ epoksi kompozit boruların hidrostatik patlama testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler ve testler sonucunda kompozit boruların patlama basınç değerleri ile elyaf doğrultusunda ve elyaf doğrultusuna dik yönlerde oluşan gerilmeler ve birim şekil değiştirmeler karşılaştırılmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda [90°, ±55°, 90°] simetrik ve [±55°, 90°, 90°] simetrik olmayan katman düzenine sahip aynı kalınlıktaki kompozit sargılı borularda deneysel olarak ortalama patlama basınçları sırasıyla 246,42 Bar ve 242,42 Bar olarak elde edilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde kompozit borulardaki simetrik ve simetrik olmayan kompozit katman düzenlerinin patlama basıncına önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

[90°, ±55°, 90°] simetrik ve [±55°, 90°, 90°] simetrik olmayan katman düzenine sahip kompozit sargılı borularda analitik ve sayısal analizler sonucu elde edilen patlama basıncı değerlerinin hem kendi arasında hem de deneysel patlama basıncı değerleri ile yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

[90°, ±55°, 90°] simetrik ve [±55°, 90°, 90°] simetrik olmayan katman düzenine sahip kompozit sargılı boruların geliştirilen Excel programı yardımıyla patlama basıncına göre yapılan analizlerinden, her bir kompozit katmana ait elyaf yönü (1) ve elyaf yönüne dik (2) doğrultudaki birim şekil değiştirme ve gerilme değerlerinin sayısal analizlerden elde edilen değerlerle uyum içinde olduğu görülmüştür.

Sayısal analiz ve deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen kompozit borulara ait patlama basıncı değerlerinin birbirine yakınsaması, boruların sayısal modelinde uygulanan sınır şartlarının, gerçek şartlarda hidrostatik patlama basıncı deneyine maruz kompozit boruyu doğru şekilde tarif ettiği düşünölmektedir.

Bir sonraki çalışmada; kompozit boruların düşük hızlarda ağırlık düşürme testine tabi tutularak darbeye karşı dayanımlarının ölçülmesi, daha sonra bir sonlu eleman programında ağırlık düşürme testine uygun olarak kompozit boruların darbe analizlerinin gerçekleştirilmesi ve çıkan sonuçların test sonuçları ile karşılaştırılması amaçlanmaktadır.

Referanslar

Cherevatsky S., Cherevatsky A., Dayan H. Stepanov A., New Design of Composite/Metal Gas Storage Vessels and Propellant Tanks, AIAA 2004- 3508.

Cz'el G., T. Czig'any, A Study of Water Absorption and Mechanical Properties of Glass Fiber/Polyester Composite Pipes: Effects of Specimen Geometry and Preparation, Journal of Composite Materials 42 (2008) 2815–27.

Djehiche B., Eddahbi M., Sun X. K., Du S.Y. ve Wang G. D., Bursting Problem of Filament Wound Composite Pressure Vessels, The International Journal of Pressure Vessels and Piping, Cilt: 76, No:1, Sayfa: 55-59 (5) 1999.

DNVGL-RP-F119, Recommended Practice for Thermoplastic Composite Pipes, Technical Report, DNV GL, 2015.

Ever J. Barbero, Introduction to Composite Materials Design, Taylor & Francis, Inc. 1998.

Jones R.M., Mechanics of Composite Materials. McGRAW-Hill, Co.; 1975.

Lees J. M., Behaviour of GFRP Adhesive Pipe Joints Subjected to Pressure and Axial Loadings, Composites: Part A 37 (2006) 1171–9.

Mark E. Tuttle, "Structural Analysis of Polymeric Composite Materials", MarcelDekker, Inc. 2004

Parnas L., Katirci N., Design of Fiber-Reinforced Composite Pressure Vessels Under Various Loading Conditions, Composite Structures, 58, 1, Sayfa: 83-95, 2002.

Rafiee R., Mazhari B., Simulation of Thelong-Termhydrostatic Tests on Glass Fiber Reinforced Plastic Pipes, Composite Structures 136 (2016) 56–63.

Robert M. Jones, Mechanics of Composite Materials, Taylor and Francis, Inc. 1998

Ronald F. Gibson, "Principles of Composite Material Mechanics" McGraw-Hill, Inc., New York, 1994.

Sayman O., Analysis of Multi-Layered Composite Cylinders Under Hygrothermal Loading, Composites: Part A, 36, 923-33, 2005.

Tam W. H., Griffin P. S., Jackson A. C., Design and Manufacture of a Composite Over Wrapped Pressurant Tank Assembly, AIAA 2002-4349.

Tam W. H., Ian A. Ballinger, J. Kuo, W. D. Lay, S. F. Mc Cleskey, Morales P., Taylor Z. R., Epstein S. J., Design and Manufacture of a Composite Over wrapped Xenon Conical Pressure Vessel, AIAA 96-2752.

Tamer A. S., Design of Oil and Gas Composite Pipes for Energy Production, Energy Procedia, Volume 162, April 2019, Pages 146_155.

Wr'obel G., Szymiczek M., Kaczmarczyk J., Influence of the Structure and Number of Reinforcement Layers on The Stress State in The Shells of Tanks and Pressure Pipes, Mechanics of Composite Materials 53 (2017) 165–78.



Gürültü Önleyici Akustik Süngerlerin Üretimi ve Uygulamaları

Production and Applications of Anti-Noise Acoustic Foams

Hatice Mehtap Öz¹, Ercan Köse²

¹Tarsus Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, 33400, Tarsus, MERSİN

²Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik- Elektronik Mühendisliği, 33400, Tarsus, MERSİN

Başvuru/Received: 16/04/2020

Kabul / Accepted: 22/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Ses, birçok ortamlarda, bir dalga olarak ilerlemektedir. Akustik ise bu ses dalgalarının, katı, sıvı ve gaz gibi ortamlarda yayılımını inceleyen bir bilimdir. Akustik, tekstil sektöründe de önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle bu konuda yapılan çalışmaları incelemek, sanayi açısından avantajlar sağlamaktadır. Sesin düzeyi, 85 dB'in üzerine çıkmaya başladığında, istenemeyen ses olup gürültü olarak tanımlanmaktadır. Gürültü Kontrol Yönetmeliğine göre 90 dB'in üzerindeki bir gürültüye iki saat kadar maruz kalındığında, işleme problemleri ortaya çıkabilmektedir. 90 dB'in üzerindeki istenmeyen ses olarak tanımlanan gürültünün önlenmesi amacıyla, örme kumaş, poliüretan köpük, melamin köpük ve akustik süngerler gibi farklı yüzeyler üretilmektedir. %60 poliüretan, %40 tekstil atığı; %15 naylon, %40 ve %45 modal lifleri içeren yüzeylerin üretimi sayesinde, 250-900 Hz, 1400-3100 Hz vb. gibi frekans aralıklarına sahip gürültüleri absorbe edilebilmektedir. Tekstil yüzeylerinin elastik yapıya da sahip olmaları, iç mekanlarda kullanımına da olanak tanımıştır. Özellikle de; akustik bariyer olarak kullanılabilmesinde, renk, yüzey ve şekil açısından tasarım mimari açıdan da farklılık kazandırmaktadır. Kullanılan yüzeylerin, hammadde veya boyutsal değişimleriyle, farklı malzemelerin üretimi mümkün olabilmektedir. Bu durum aynı zamanda, farklı frekans aralığına sahip gürültünün verimli bir şekilde engellenmesini de sağlamaktadır. Gürültüyü bastırmak için deneysel olarak da kanıtlanmış olan, akustik köpük veya sünger şeklinde malzemeler, doğal lifler (koyun lifleri, hindistan cevizi, çay lifi ve kenevir lifleri vb. doğal ve sentetik liflerden elde edilen mikrolifler ve cam yünü şeklindeki malzemelerin kullanılması gerekir. Akustik özelliklerinin iyi olması açısından; süngerlerin, doğal liflerden üretilen dokuma ve örme kumaşların, mikroliflerden elde edilen kumaşların, geri dönüştürülmüş dokusuz yüzeylerden elde edilmiş kumaşların iyi bir performans gösterdiği ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler

"Absorbsiyon, Akustik, Dokuma, Gürültü, Ses, Tekstil"

Abstract

Sound, proceeds in many environments as a wave. Acoustics is a science that examines the propagation of these sound waves in environments such as solid, liquid and gas. Acoustics also plays an important role in the textile industry. Therefore, examining the studies on this subject provides advantages in terms of industry. When the level of sound starts to exceed 85 dB, it is undesirable sound and is defined as noise. According to the Noise Control Regulation, hearing problems may arise when exposed to noise above 90 dB for 2 hours. Different surfaces such as knitted fabric, polyurethane foam, melamine foam and acoustic sponges are produced in order to prevent noise defined as unwanted sound above 90 dB. 60% polyurethane, 40% textile waste; thanks to the production of surfaces containing 15% nylon, 40% and 45% modal fibers, noises such as 250-900 Hz, 1400-3100 Hz etc with frequency ranges can be absorbed. The elasticity of the textile surfaces also allowed them to be used indoors. Especially; In terms of its use as an acoustic barrier, the design in terms of color, surface and shape also makes a difference in terms of architecture. It is possible to manufacture different materials with the raw material or dimensional changes of the surfaces used. This, also ensures that noise with different frequency ranges is efficiently blocked. The experimentally proven to suppress noise, materials in the form of acoustic foam or sponge, natural fibers (sheep fibers, coconut, tea fiber and hemp fibers, etc.), microfibrils obtained from natural and synthetic fibers and glass wool materials should be used. In terms of good acoustic properties; It has been revealed that sponges, woven and knitted fabrics made from natural fibers, fabrics made from microfibrils, fabrics made from recycled non-woven surfaces perform well.

Key Words

"Absorption, Acoustic, Weaving, Noise, Sound, Textile"

1. Giriş

Ses; hava ve su vb. gibi uygun ortamlarda, sıkışma ve genişleme halinde ilerleyen bir dalga ve basınç dalgası olarak tanımlanmaktadır. Bir nesnenin, sabit bir noktanın etrafındaki ileri veya geri hareketiyle titreşim hareketi meydana gelmektedir. Ses kaynaklarının sahip olduğu enerjiler sonucunda titreşim hareketi yapmasıyla, bu enerjiler ortamdaki diğer taneciklere aktarıldığından dolayı kinetik enerji ortaya çıkmaktadır. Kinetik enerjiye sahip olan bu tanecikler, çevresindeki taneciklere çarparak titreşimlerine yol açmaktadır. Titreşim enerjilerinin bu şekilde aktarılması, ses dalgalarının oluşmasına ve ses dalgalarının da kinetik enerjinin aktarılmasını sağlamaktadır (cdn2.beun.edu.tr). Ayrıca, sesi inceleyen bilim dalı akustik olarak bilinmektedir. Akustik, ses dalgalarının çeşitli ortamlardaki (katı, sıvı ve gaz) yayılışını incelemektedir. Ses bir cisme çarpıp geri dönmesi sonucunda yankı meydana geldiğinden akustiğin de bozulmasına neden olmaktadır. Düz ve geniş yüzeyler (duvar, tavan, yer zemini vb.) yankı oluşmasına yol açmaktadır (flatakustik.com). Tekstil sanayisindeki akustik çalışmaların önemini anlamak için, gürültüyle ilgili literatürdeki bazı çalışmaları incelemek gerekmektedir. Gürültü kirliliğini en aza indirebilmek ya da önlemek amacıyla akustik sistemler kullanılabilir. Örneğin trafikte oluşan ses kirliliğini önlemek amacıyla caddelerde ağaçlandırma çalışmaları ve sesi emebilen bariyerlerin yerleştirilmesi, birer akustik çalışmadır (flatakustik.com).

Çevresel bir kirlilik gibi görülen gürültünün insanlar için problem teşkil ettiğini ve bunun azaltılması gerektiğini belirtmişlerdir. Ses yutma katsayısı ile ilgili çalışmaların sınırlı olduğuna, sesi absorbe etmede birçok malzemenin kullanıldığına, bu malzemelerin geliştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle de ses yutma katsayısı ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Ses absorbe etme amacıyla, örme kumaş ve poliüretan köpükler gibi tekstil malzemeleri kullanmışlardır (Amare vd., 2017). Poliüretan köpüklerin ses absorbe etme özelliklerini iyileştirmek amacıyla, örme kumaşların üretim aşamalarından elde edilen atıkları kullanmışlardır (%60 poliüretan, %40 tekstil atığı olmak üzere). Kullandıkları bu atıklar, %15 naylon, %40 ve %45 modal lifleri içermektedir. %60 Rijid poliüretan köpük (RPF) olması durumunda, 250-900 Hz ve 1400-3100 Hz frekans aralıklarında, 85 RPF olması halinde ise 250 Hz altındaki frekanslarda ve 70 RPF'de ise 900-1400 Hz frekans aralıklarında, ses absorbe etmede iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Ses emme değerinin 60 RPF'de 0,4 seviyesine, 75 RPF'de 1000 Hz frekansında, akustik ses emme değerinin 0,86'nın maksimum değerine ulaştığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, 60 RPF'de, ses azaltma katsayısı olarak ifade edilen NRC değerinin, %100 sert poliüretan malzemenin iki katı kadar olduğunu görmüşlerdir. Sonuç olarak; sert poliüretan köpüğe tekstil atığı katılması sonucunda, %100 poliüretan köpüğe göre daha iyi ses absorbe edildiğini kanıtlamışlardır (Tiuc vd., 2016). Başka bir çalışmada, uzay araçlarının fırlatılması anında meydana gelen yoğun ses ve titreşimini azaltıp bu tür araçlarda başarı sağlamayı hedefleyerek melamin köpüğün özelliklerini araştırmışlardır. Akustik malzemelerden biri olan melamin köpükle, uzay aracının duvarlarının iç yüzeyini kaplayarak ses basıncı seviyelerini düşürmeye çalışmışlardır. Bu durumda melamin köpük ana bileşeni teşkil etmiştir. Melamin köpüğün özelliklerini daha iyi anlamak için sesi azaltma sistemlerinin kullanımıyla ses basınç seviyesinin düşürülmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Bu konuda NASA, son zamanlarda Riverbank Akustik Laboratuvarında akustik özelliklerinin geliştirilmesiyle melamin köpüğün bir panel üzerinde kullanımının gerçekleştirilerek elde edilen sonuçları değerlendirmişlerdir. Bu anlamda, kullanılan köpüğün kalınlığı ile yoğunluğunun, ayrıca, üst dış kaplama malzemesinin köpüğün etkilerini test etmişlerdir. Bu testten elde edilen verilere göre sonuçları değerlendirirken, absorpsiyon için ASTM'nin, iletim kaybı için de ASTM E90 standartlarını dikkate almışlardır (Hughes vd., 2014). Tekstil yüzeylerinin iç mekanda kullanımının önemine yer veren (Kadem vd., 2018), bu malzemelerin akustik olarak da kullanımına dikkat çekmeye çalışmışlardır. Akustik bariyer olarak kullanılabilmesi için işlemlerden geçirilerek, renk, yüzey ve şekil açısından tasarımlarla, mimaride farklılık kazandırılabilceğini belirtmişlerdir. Bu nedenle de hem estetik hem de akustik açıdan yüzeysel farklılıkları değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak da iç mimaride mekan tasarlarken dokusuz yüzeylerin estetik açıdan avantaj sağlarken, akustik anlamda da önemli avantajlar sağlayacağını belirtmişlerdir. Tekstil yüzeylerinden biri olan örme kumaşların ses yutma kapasitelerini araştıran (Liu vd., 2011), hem atkı (yatay) hem de çözü (dikey) örme kumaşların yapısal özelliklerinden faydalanmışlardır. Tekstüre polyester, naylon/spandex gibi ipliklerle delikli örme yüzeyler oluşturarak, ses emme katsayılarını incelemişlerdir. Atkı ve çözü örme kumaş olarak kullanılan iki çeşit kumaşın ses emme katsayısını tespit etmek için iki mikrofon ve empedans ölçüm tüpünü kullanmışlardır. Deneysel çalışma için tercih edilen kumaşların, yüzey yapısının, incelik ve kalınlık değerlerinin, iplik çeşidinin ve yüzey bağlantılarının, ses yutma katsayısını etkilediğini, daha iyi bir ses yutma değeri için çalışmaların yapılabileceğini belirtmişlerdir.

Akustik malzeme konusunda farklı bir bakış açısı getiren (Bai vd., 2019), gözenekli olan metalin sıkıştırarak elde edilen küçük çaplı delikler vasıtasıyla gürültüyü azaltmaya çalışmışlardır. Geliştirdikleri malzemelerin ses yutma kapasitelerini, AWA6128A dedektörü tarafından ölçmüşlerdir ve sıkıştırılmış mikro delikli özelliğe sahip metal yüzeyin ses yutma değerinin, normal ses yutma prensibi ile tutarlı olduğunu görmüşlerdir. Deneysel çalışmanın sonucunda, sıkıştırılmış ve mikro delikli bakır levhanın, ortalama ses emme katsayısının, 100 ile 6000 Hz frekans aralığında % 59,69 değerine ulaşırken, orijinal gözenekli metal emicinin % 25,70'inden ve mikro delikli yaylı çelik panel emicisinin % 31,49'undan daha iyi olduğunu kanıtlamışlardır. Deneysel çalışmalarında sıkıştırılmış ve mikro delikli metal levhanın ses absorbe yeteneğinin gürültü azaltmada etkili olduğu sonucuna varmışlardır.

(Mikulski 2013), ses absorbe etmede önemli malzemelerden biri olan akustik süngerlerle ilgili bir çalışma yapmıştır. 2 m³ ebatında olan bir test odasında 5000 ile 50000 Hz frekans aralığında yumurta şekilli bir akustik süngerin ses yutma katsayısını belirlemiştir. Çünkü ses yutma katsayısının, akustik özellikleri belirlemede önemli bir parametre olduğunu, 5000-50000 Hz ile 2000-4000 Hz aralıklarında benzer sonuçların elde edildiğini görmüştür. Poliüretan köpük malzemenin seçilerek standart laboratuvar koşullarında test edilmesi sonucunda, ses yutma katsayısını, 2500 Hz de 0,45 iken 10000 Hz frekansında 0,68; 5000 Hz de, boş bir ahşap test odasında 0,009; poliüretan köpükle 0,82 ve 0,91 olarak elde etmişlerdir (değerler, çizelgeden okunan yaklaşık değerlerdir). Ayrıca, hoparlörün test numunesinden 0,5 m uzakta olması durumunda; 31500 Hz de, ses basınç seviyesi,

boş bir odada 96'ya yakınken, poliüretan köpükte 96'nın üzerine çıkmaktadır. 50 mm kalınlığında mineral yün numunesine ait 64 ölçüm noktası için bu değer, 100'e yaklaşmaktadır. Buna bağlı olarak yankılanma süreleri; 31500 Hz'de ve boş odada 0,20 s, poliüretan akustik süngerde yaklaşık olarak 0,08'ken mineral yünden yapılan numunede test odasının merkezinde 4 ölçüm için bu değer yaklaşık olarak 0,02 olarak tespit edilmiştir.

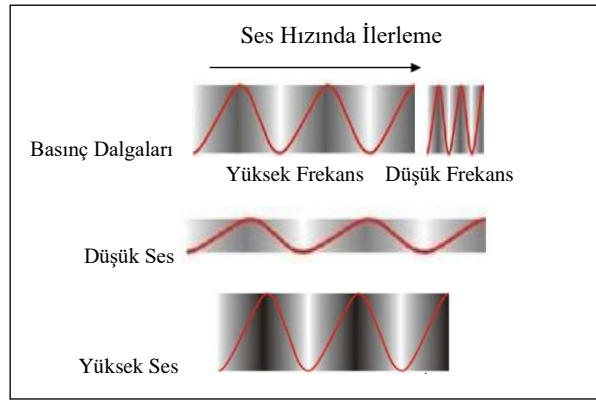
2. Amaç

Bu çalışmada; ses absorpsiyonunda önemli olan tekstil yüzeyleri ve farklı akustik yüzeylere yer verilmiştir. Farklı akustik yüzeylerden süngerlerin yapısına ve çeşitlerine verilmiş olup bu konuda yapılmış deneysel çalışma ve sonuçları incelenmiştir.

3. Materyal ve Metot

3.1. Sesin Özelliği ve İstenmeyen Sesin (Gürültünün) Engellenmesi

Ses kaynaklarının titreşim hareketiyle meydana gelen ses, dalgalar halinde yayılmaktadır. Ses dalgaları, dört farklı şekilde ifade edilmektedir. Bunlar; 20 ila 20.000 Hz aralığında olan işitilebilir ses dalgası, 20 KHz (20.000 hertz) ile 15 MHz aralığında olan Ultra ses (Ultrasound) ses dalgası, 15 MHz'den daha fazla olan Hiperses(Hypersound) ses dalgası ve 20.000 adet/ saniye den daha fazla olan Ultrasonik (sesüstü) ses dalgalarıdır. Bu ses dalgalarının, frekans, genlik ve periyot olmak üzere üç özelliği olduğu bilinmektedir. Ses dalgalarının, ortam değiştirirken, ortamdaki taneciklerin titreşim sıklığı frekansı ifade etmektedir. Oluşan ses dalgalarının iki tepesi veya iki çukur arasındaki mesafe, dalga boyunu ifade etmektedir ve Şekil 1'de dalga boyunun şekli verilmiştir (cdn2.beun.edu.tr).



Şekil 1. Dalga boyunun şekli

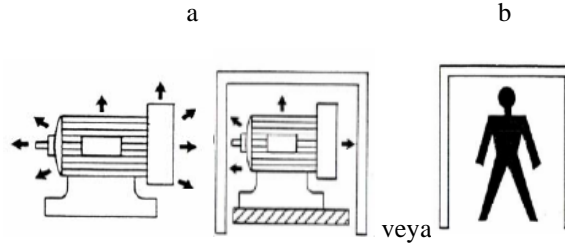
Frekans, titreşimlerin zamana bağlı olup ölçülmesi sonucunda hesaplanmaktadır. Bu yüzden saniyedeki titreşim sayısı Hertz (1 hertz, 1 saniyedeki döngü sayısı) birimiyle ifade edilmektedir (cdn2.beun.edu.tr).

Ses dalgalarının birim alana uyguladıkları kuvvet sesin şiddeti olup taşımış oldukları enerjiye bağlıdır. Birimi, W/m^2 (Metrekarebaşına Watt) olarak gösterilmektedir. İnsan kulağının algılamasında kullanılan en az seviyedeki ses şiddeti, eşik şiddet olarak tanımlanmıştır. Algı aralığı çok geniş olduğundan dolayı da şiddet ölçümü olarak kullanılan desibel ölçeği (dB), 10'un katları şeklinde (logaritmik olarak) düzenlenmiştir (cdn2.beun.edu.tr).

Sesin istenmeyen düzeyde olması durumunda gürültü ve gürültü meydana gelmektedir (riskmed.com.tr, 2014). Endüstride karşılaşılan gürültü, işyerlerindeki çalışanların üzerinde fizyolojik, psikolojik sorunlara neden olan ve performansı olumsuz yönde etkileyen ses olarak tanımlanmaktadır. Endüstriyel gürültülere, kesme, ezme ve biçim verme makinaları, dövme, perçinleme, kompresörler, türbinler, vantilatörler, jet motorlarından ve vanalardaki sıvı ve gaz itici etkilerden, fırın ve motorlardan gelen ateşlemelerden, transformatörlerden ve dinamolardan gelen sesler, çevirci dişli, motor ve makinelerden gelen titreşim ve sürtünme sesleri şeklinde verilebilir. Aniden şiddetli bir gürültüye maruz kalınması durumunda, tansiyonun yükselmesi, kalp ritminin artması, solunum hızının değişmesi ve terlemenin artması vb. problemler, sağlığı olumsuz etkileyebilmektedir. Ayrıca, konuşma esnasında ses tonunun yükselmesi, asabiyet durumu, karşılıklı anlaşmada zorluk, iş kazalarının artması gibi istenmeyen durumların ortaya çıkması söz konusu olabilmektedir (riskmed.com.tr, 2014). Gürültünün oluşturduğu fiziksel etkiler, geçici veya kalıcı işitme bozukluklarına yol açabilmektedir (Mikulski, 2013). Gürültü Kontrol Yönetmeliğine göre maruziyet sınırı için belirlenmiş olan değeri 8 saat=87 dB(A), en yüksek maruziyet için etkin değer 8 saat=85 dB (A), en düşük maruziyet için etkin değer 8h=80 dB (A) olarak belirlenmiştir. Gürültünün meslek hastalığına yol açıp açmadığını belirlemek amacıyla, odyometrisinin (konuşma ile ton odyometrisi) yapılması gerekmektedir. Buna göre de insan sağlığına zarar verip vermeyeceği tespit edilmektedir (calismatoplum.org, 2005).

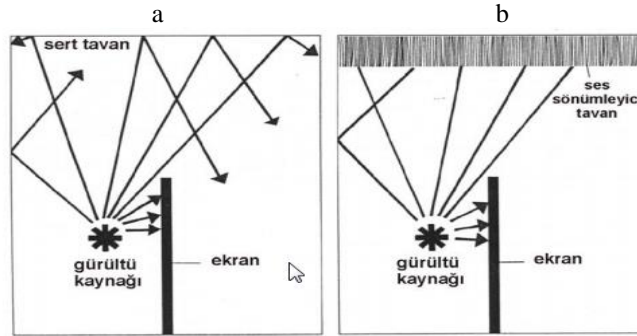
Gürültü kirliliğinden dolayı ortaya çıkan rahatsızlıkları engellemek amacıyla; kaynaktan çıkan sesin şiddetini azaltmak, rahatsız edici sesin yolunu engellemek ve sesli alanın korunması şeklinde önlemler alınabilmektedir. Endüstride en çok kullanılan yöntem ise gürültünün kaynağında azaltılmasını sağlamaktır. Makinalardan gelen seslerde ise mekanik değişiklikler yapılabilmektedir. Aşınmış olan makinaları yenisiyle değiştirmek, aşınmış parçaları tamir etmek, susturucu parçaların takılması gibi örnekler verilebilir. Gürültüyü engellemede uygulanabilecek diğer yöntemler ise gürültüye yol açan makinaların etrafını kapatmak, ses kaynağı ile çalışanın arasına engel yerleştirmek ve çalışana ses geçirmeyecek bir ortama almaktır. Sesin çok fazla

duyulduğu ve rahatsızlık boyutunda olan ses kaynaklarından biri de motordur. Şekil 2 (a)'da motordan direk gelen ses ve Şekil 2 (b)' de ise çalışanın ses geçirmeyecek bir ortama alınması ile ilgili şekiller verilmiştir (www.calismatoplum.org, 2005).



Şekil 2 (a). Motordan direk gelen ses ve (b) Çalışanın ses geçirmeyecek bir ortama alınması

Bir gürültü kaynağından gelen ses, etrafındaki sert ortamlara çarpıp yayıldığında rahatsız edici olabilmektedir. Rahatsız edici olan bu sesi önlemek amacıyla, gürültü kaynağının çevresinde, sesi absorbe edebilecek malzemeler kullanılmaktadır. Şekil 3 (a)'da gürültü kaynağından çıkan sesin tabana çarpıp yansması, Şekil 3 (b)'de rahatsız edici olan sesi engellemek amacıyla tavanda sesi absorbe edebilecek malzeme kullanılması ile ilgili şekiller gösterilmiştir (Ertürk, 2001).



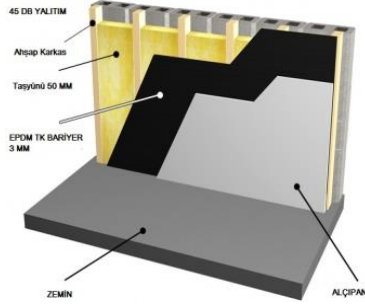
Şekil 3 (a).Gürültü kaynağından çıkan sesin çarpıp yansması ve (b) Tavanda sesi absorbe edebilecek malzeme kullanılması

Binalarda gürültüyü önlemek amacıyla, benzer yöntem kullanılarak ses yalıtımı yapılabilmektedir. İşyerinde gürültünün yoğun olması durumunda, çalışanlara kulak koruyucular dağıtılmaktadır (docplayer.biz.tr, 2020). Kulak koruyucuları; kulağın girişini tıkayan kulak tıkaçları, başın üzerinden, ense veya çene altından geçip esneme özelliğine sahip bir bantla tutturulabilen, iki parçadan oluşup aşağı- yukarı ayarlanabilen manşon tipi kulak koruyucuları ile gürültü düzeyinin 115 ile 120 dB'in üzerindeki baretlere monte edilebilen işitme koruyucu baretler kullanılmaktadır (cdn.bartın.edu.tr, 2014).

Gürültü olarak nitelendirilen, istenmeyen seslerin azaltılmasında veya önlenmesinde ses yalıtımı işlemleri yapılmaktadır. Bu yüzden, sesin bir yerden başka bir yere geçişinin azaltılması için gürültü ve titreşim kaynağının izole edilmesi önemlidir. Bahsedilen bu sesin, bir yüzeyden yansyıp geri dönmesi, ayrıca, yankı ile çınlama süresi gibi problemler, hacim akustiğinin konusu olarak bilinmektedir. Bu nedenle de yansıtıcı yüzeylerin, akustik kırıcı ve ses yutucu malzemeler gibi ses yalıtımını sağlayan malzemelerle kaplanmasıyla çözülebilmektedir. Fakat bu aşamadan önce, ses yalıtım malzemesinin kullanılacağı alana uygunluğunun, sıklığının, yoğunluğunun ve montaj yapılacak yerin tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun için özel ölçüm yöntemleri, cihazlar ve programlar tarafından hesaplamalar yapılmaktadır (cdn.bartın.edu.tr, 2014).

3. 2. Akustik Malzemeler

Gürültünün bir mekandan diğerine geçişini önlemek için yapılan uygulamalara “ses geçiş kaybı yalıtımı” denir. Sert yüzeyli malzemeler sesi daha az yutarak yansıtmaktadır. Ses absorpsiyonunda akustik süngerlerin farklı şekilleri tercih edilirken, akustik kumaşlar ahşap panelin ön yüzüne veya arkasına monte edilecek şekilde uygulanmaktadır. Havadan gelmekte olan seslerin, tavandan, zeminden ve duvardan geçmesini engellemek amacıyla EPDM (yapısında, etilen, propilen ve dienmonomen olan bir kauçuk türüdür) bariyer kullanılmaktadır. Epdm, yüksek sıcaklıkta kaynaşmış olan vinilden (yığın yüklü vinil maddesi, yani organik bir bileşiktir) elde edilen çok yüksek kütleli olmayan bir malzemedir. Şekil 4'de havadan gelmekte olan seslerin, tavandan, duvardan ve zeminden geçmesini engellemek amacıyla, epdm bariyer kullanılan akustik panel verilmiştir. Bu yapıda, 45 dB'e kadar sesi absorbe etmek mümkün olabilmektedir (teknikakustik.net, 2017).



Şekil 4. Ahşap panel arkasına cam tülü uygulanan akustik panel

Tekstil yüzeylerinden kauçuk tabanlı akustik halıda ses emici özelliğiyle ses yalıtımı sağlar ve konulan zeminde kaymaları engellerken titreşim kaynaklı seslerin de engellenmesini sağlamaktadır. 40 dB'ye kadar ses gürültü azaltımını sağlamaktadır. Bu tür kumaşlara örnekler Şekil 5'de verilmiştir (teknikakustik.net, 2017).



Şekil 5. Keçe ve kauçuk tabanlı akustik kumaş

Bu tür ürünlerin; 40 dB'ye kadar etki gürültüsünü azaltmak, daha iyi ısı yalıtımı enerji tasarrufu sağlamak ve ses ortamdaki rahatsız edici sesleri minimuma indirmektir. Ses yalıtımında kullanılan bir diğer malzeme de süngerpandır. Bu tür ürünler %60-%90 aralıklarında ses yalıtımı sağlamaktadır. Örnek süngerpan Şekil 6'da verilmiştir (teknikakustik.net, 2017).



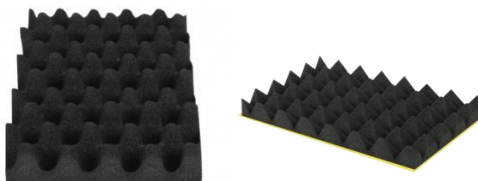
Şekil 6. Süngerpan

Mineral cam yünü ve kaya yünü/taşyünü gibi hava geçiren ve esnek malzemeler, ses dalgasını bünyesine nüfuz ederek boşluk ve cam elyafı arasında önemli bir kısmı ısıya dönüştürerek yok etmektedir (teknikakustik.net, 2017). Akustik süngerler, absorbe ettiği sesin diğer tarafa geçmesini önlemek amacıyla Şekil 7'de görüldüğü gibi bariyerli ses yalıtım süngeri olarak da kullanılabilir (aksaakustik.com, 2020).



Şekil 7. Bariyerli ses yalıtım süngeri

Bu durumu sağlayan akustik süngerler, piramit, labirent, yumurtave özel şekilli olarak ve 70 ve 90 dns gibi farklı yoğunluklarda ve renklerde üretilmektedir. Yumurta şeklinde ve bariyerli piramit şeklinde akustik süngerlere örnekler Şekil 8'de verilmiştir. Akustik süngerler 30,40 ve 50 mm kalınlıklarında ve 50-90 kg/m³ yoğunluğunda; piramit süngerler 5,3 cm kalınlığında ve 50 ile 60 kg/m³ yoğunluğunda üretilmektedir (teknikakustik.net, 2017).



Şekil 8. Yumurta şeklinde ve bariyerli piramit şeklinde akustik süngerler

Yanmaya karşı oldukça dirençli ve iyi düzeyde ses yutum değerlerine sahip, yüksek performanslı akustik köpük malzemeler mevcuttur. Ses yutma performansı ve yüksek hava hızlarında bile herhangi bir aşınma dayanımı iyidir. Hava içerisinde parçacıklar halinde yayılmaz. Hemen hemen her tipteki akustik süngerler yanmaz süngerdir. Yanmaz akustik sünger Şekil 9'da gösterilmiştir (teknikakustik.net, 2017).



Şekil 9. Yanmaz sünger

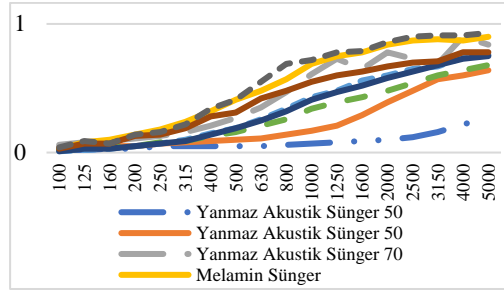
3.3. Akustik Süngerlerin Ses Yutum Katsayısının Belirlenmesi

Akustik süngerlerin ve ses yalıtımında farklı hammadde ve kalınlıklarda üretilmiş örneklerin ses yutum katsayılarının (NRC değerleri) karşılaştırılması ile ilgili örnek, Tablo 1'de verilmiştir (Özel bir işletmeden alınan veriler).

Tablo 1. Poliüretan yanmaz akustik sünger ile polyester elyaf ısı ve ses yalıtım keçelerinin ses yutum katsayıları

ÜRÜN	Yanmaz Akustik Sünger 50	Yanmaz Akustik Sünger 50	Yanmaz Akustik Sünger 70	Melamin Sünger	FELTBİ DEKOR KEÇE	İZOBOZZ KEÇE	İZOBOZZ KEÇE	İZOBOZZ KEÇE	İZOBOZZ KEÇE
YOĞUNLUK	50 kg/m ³	50 kg/m ³	70 kg/m ³	10 kg/m ³	100 kg/m ³	100 kg/m ³	100 kg/m ³	66 kg/m ³	75 kg/m ³
KALINLIK	10 mm	25 mm	50 mm	20 mm	7 mm Beyaz	7 mm	10 mm	15 mm	20 mm
FREKANS	(ISO 10534-2)	(ISO 10534-2)	(ISO 10534-2)	(ISO 354)	(ISO 354)	(ISO 354)	(ISO 354)	(ISO 354)	(ISO 354)
100	0,02	0,04	0,06	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03	0,04
125	0,02	0,04	0,08	0,08	0,02	0,03	0,03	0,07	0,09
160	0,03	0,05	0,09	0,1	0,03	0,04	0,03	0,07	0,07
200	0,03	0,05	0,11	0,14	0,05	0,05	0,05	0,13	0,14
250	0,05	0,07	0,13	0,18	0,07	0,08	0,07	0,14	0,16
315	0,05	0,08	0,16	0,24	0,1	0,09	0,09	0,19	0,22
400	0,05	0,09	0,21	0,32	0,15	0,13	0,14	0,28	0,34
500	0,05	0,1	0,27	0,41	0,19	0,16	0,19	0,31	0,41
630	0,05	0,11	0,35	0,48	0,26	0,21	0,25	0,42	0,55
800	0,06	0,14	0,47	0,57	0,34	0,26	0,32	0,48	0,69
1000	0,07	0,17	0,61	0,69	0,43	0,34	0,41	0,55	0,72
1250	0,08	0,21	0,73	0,75	0,48	0,39	0,47	0,6	0,78
1600	0,09	0,29	0,65	0,78	0,56	0,43	0,52	0,63	0,79
2000	0,1	0,39	0,78	0,84	0,6	0,48	0,58	0,67	0,86
2500	0,12	0,48	0,73	0,87	0,65	0,54	0,63	0,7	0,9
3150	0,16	0,57	0,69	0,88	0,67	0,6	0,68	0,71	0,91
4000	0,22	0,6	0,9	0,87	0,74	0,64	0,73	0,78	0,91
5000	0,27	0,64	0,84	0,9	0,76	0,68	0,75	0,78	0,93
NRC	0,07	0,18	0,44	0,55	0,3	0,25	0,3	0,45	0,55

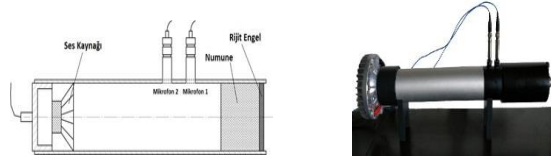
Yukarıdaki çizelgede, yoğunluğu 50 kg/m³, kalınlığı 10 mm, 25 mm, 70 kg/m³ yoğunluğunda ve 50 mm kalınlığında yanmaz akustik süngerlere ait toplam 18 adet örneğin, farklı frekanslardaki ses yutum katsayıları karşılaştırılmıştır. En son satırda ise bu 18 örneğe ait NRC değerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. Buna göre; yoğunluğu 50 kg/m³ ve kalınlığı 10 mm olan yanmaz akustik süngerin ses yutum katsayısı 0,07; aynı yoğunlukta akustik süngerin 25 mm kalınlığında olanının ise 0,18 olarak tespit edilmiştir. Dolayısıyla, kalınlık arttıkça ses yutum miktarının arttığı gözlenmiştir. 70 kg/m³ yoğunluğunda ve 50 mm kalınlığında olan numunede ise ses yutum katsayısı 0,55 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak; yoğunluk ve kalınlık arttıkça ses yutum katsayısı artmaktadır. Tablo 1'deki değerlerin grafiksel gösterimi Şekil 10'da verilmiştir (Özel bir işletmeden alınan veriler).



Şekil 10. Karşılaştırmalı ses yutum değerlerinin grafiksel gösterimi

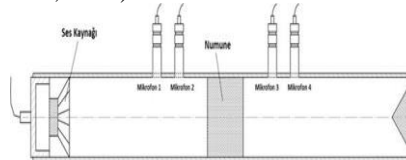
Malzemelerin Ses Yutum Katsayıları, çınlama odası veya empedans tüpü kullanılarak ölçümler yapılmaktadır. Çınlama odasında ses yutum katsayılarının ölçümünde, Amerika'da ASTM C423, Avrupa'da ISO 354 ve Türkiye'de ISO 354 standartları dikkate alınmaktadır. İki yöntemden elde edilen veriler karşılaştırılabilmektedir. ISO 354 standartına göre, 10-12 m²'lik ebata sahip örnek ve omnidirectional mikrofonlar kullanılmaktadır. Ses yutucu yüzeyi homojen olan ses alanından ses yutum katsayısı elde edilebilmektedir. Empedans tüpü kullanılarak ölçüm yaparken de ASTM E1050- ISO 10534-2 standartları dikkate alınmaktadır. Empedans tüpü ile ölçüm metodunda numune tüpün içine yerleştirilmektedir. İki adet mikrofon ve bilgisayarla hesaplamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılan ölçüm sonucunda numunenin yüzeyine dik olacak şekilde ses yutum katsayısı elde edilmektedir (Özel bir işletmeden alınan veriler).

Empedans tüpü, iki veya dört mikrofonlu olarak dizayn edilebilmektedir. İki mikrofonlu empedans tüpünde, yüzey empedans değerleri ve ses yutma katsayısı hesaplanmaktadır. İki mikrofonlu empedans tüpünde ölçüm yaparken, test numunesi rijit ve doğrusal yapıda olan tüpün bir ucuna yerleştirilerek, bir taraftan da bir ses kaynağından düzlemsel dalgalar (pseudo-random, chirp veya random) üretilmektedir. Numuneye yakın olan iki noktadan ses basıncının ölçümü yapılmaktadır. Daha sonra iki mikrofon arasında faz kalibrasyonu işlemi yapılarak iki mikrofon arasındaki sinyaller arasındaki transfer fonksiyonu (H değeri) ölçülmektedir. Numunenin empedansı, kompleks yansıma faktörü olan "r" değeri ve ses yutma katsayısı olan "α" değeri hesaplanırken transfer fonksiyonu kullanılmaktadır. Tüpün çapı ile mikrofonlar arası mesafe, frekans aralığını belirlemede kullanılmaktadır. Empedans tüpü ile ölçümde frekans aralığı 150 ile 5700 Hz aralığındadır. Ses yutma katsayısının hesaplanması için ISO 10534-2 ASTM E1050 standardı dikkate alınmaktadır ve numune çapının 35 mm, ses iletim kaybının hesaplanmasında, ASTM E2611 – 09 standardı dikkate alınmaktadır ve numune çapının 40 mm olması gerekmektedir. Empedans tüpü Şekil 11'de verilmiştir (dta.com.tr, 2017).



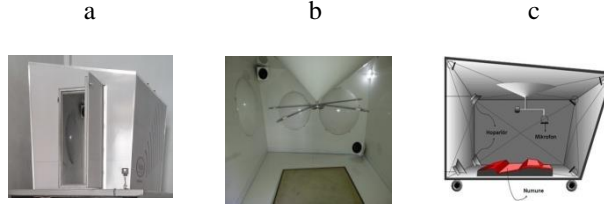
Şekil 11. Empedans tüpü

Dört mikrofonlu empedans tüpü, ses iletim kaybının hesaplanmasında kullanılan yöntemlerden biridir. Dört mikrofonlu empedans tüpünde ölçüm yaparken, numunenin her iki tarafında ses basıncı ölçülerek ses iletim kaybı ölçülmektedir. Bu yöntemde, empedans tüpünün çapında hazırlanmış olan numune tüpün sonuna yerleştirilmektedir. Diğer empedans yöntemine göre ikinci bir tüp daha bulunmaktadır. Bu tüp, numuneden sonra yer almaktadır. Bu nedenle de empedans tüpüne birincil tüp, numuneden sonraki tüpe ikincil tüp adı verilmektedir. Test düzeneğindeki ses iletim kaybı hesaplanırken iki ayrı sınır için ölçüm yapılmaktadır. İlk sınır, ikinci tüpün çıkış noktasının sert bir kapakla kapalı olması (rigidcap, bu durumda ses dalgaları tamamıyla geri yansımaktadır). İkinci sınır, kapağın tam olarak açık olması (anechoic, bu durumda ses dalgaları boşlukta yayılmaktadır ve bir yüzeyden yansıdığından dolayı tüpün içine geri dönmemektedir). Bu metodun, iki mikrofonlu ölçüm yöntemine göre avantajlı olmasının nedeni, tek bir ölçümle bütün frekans aralığında cevap alınabilmektir. Dört mikrofonlu empedans tüpü Şekil 12'de verilmiştir (dta.com.tr, 2017).



Şekil 12. Dört mikrofonlu empedans tüpü

Çınlama kabini, ses yalıtım malzemelerinin akustik özelliğini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca çınlama zamanına bağlı olarak da ses yutma katsayıları tespit edilmektedir. Alpha kabini, ISO354 standartlarına uygun olarak tasarlanan ve bir çınlama odasının 1/3 oranındaki boyutlarına sahip olduğu bir kabindir. Çınlama odası kabini Şekil 13 (a),(b) ve (c)'de verilmiştir (dta.com.tr, 2017).



Şekil 13 (a),(b),(c). Çınlama odası kabini

Bu çınlama odası kabininin, İki çınlama kabini olarak da dizaynı bulunmaktadır. Bu ölçme cihazında da ses yalıtım malzemelerinin akustik performansları değerlendirilebilmektedir. İki çınlama odası metodunda ISO 140-3/ASTM E-90 standardı (bu standart, daha çok otomotiv sektöründe önemli olan SAE J1400 standartını karşılamaktadır) kullanılmaktadır. Ses iletim kaybı ölçümlerinde ASTM E-413 standartına göre ses iletim kaybı (STC, sound transmission class) hesaplanmaktadır ve bu standart. ASTM E-90 standartını karşılamaktadır. Sound reduction index olarak bilinen SRI değeri, ISO 717 standartına göre hesaplanmaktadır. İki çınlama odası Şekil 14’de verilmiştir (dta.com.tr, 2017).



Şekil 14. İki çınlama odası

4. Bir İşyerinde Ses Yalıtımı Açısından Örnek Bir Durum Çalışması

Fabrikalar, üretim birimleri olduğundan dolayı, genel olarak gürültü düzeyinin yüksek olabildiği bölümler yoğun olmaktadır. Fabrikada çalışan bir işçinin maruz kalabileceği gürültünün dB (A) cinsinden seviyeleri Tablo 2’de verilmiştir. Bu çizelgede, dB(A) cinsinden gürültü düzeyleri, Avrupa İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansının (OSHA) belirlemiş olduğu ve Gürültü Kontrol Yönetmeliğine göre çalışma süreleri verilmiştir. Buna göre; 80 dB gürültü düzeyinde, OSHA’ya göre çalışma süresi bulunmazken, GKY’ya (Gürültü Kontrol Yönetmeliğine) göre çalışma süresi 8 saat olarak belirlenmiştir. Gürültü düzeyi arttıkça OSHA’ya ve GKY’ya göre çalışma sürelerinin azaldığı görülmektedir (Soylu, 2016).

Tablo 2. Fabrikada çalışan bir işçinin maruz kalabileceği gürültünün dB cinsinden seviyeleri

Gürültü Düzeyleri dB(A)	Çalışma Süresi (saat) (*OSHA'ya göre)	Çalışma Süresi (saat) (*GKY'ye göre)
80	-	7,5
90	8	4
95	4	2
100	2	1
105	1	0,5
110	0,5	0,25
115	0,25	0,125

*OSHA: Avrupa İş Sağlığı ve Güvenliği Ajansı

**GKY: Gürültü Kontrolü Yönetmeliği

Gürültü sınıfı, şiddeti ve gürültünün sağlığa olumsuz etkileri Tablo 3’de verilmiştir. Buna göre; gürültü şiddeti, dört sınıfta değerlendirilmiş olup sağlığa olumsuz etkileri verilmiştir. 30-59 dB aralığında uyku düzensizliği, 60-89 dB aralığında geçici duyma problemi ve 90-120 dB aralığında ağır duyma problemi, 130 dB’den büyük olması halinde de işitme sisteminde kalıcı problemler meydana gelebileceği görülmektedir (Soylu, 2016).

Tablo 3. Gürültü sınıfı, gürültü şiddeti ve gürültünün sağlığa olumsuz etkileri

Gürültü Sınıfı	Gürültü Şiddeti (dB(A))	Gürültünün Sağlığa Olumsuz Etkileri
1	30-59	Uyku düzensizliği
2	60-89	Geçici duyma problemi
3	90-120	Ağır duyma problemi
4	130'dan büyük	İşitme sisteminde kalıcı problem

Tekstil sanayisi açısından değerlendirilecek olursa, gürültünün meydana geldiği bölüm sayısı fazladır. Özellikle de dokuma makinalarının, teknolojik gelişme düzeylerine göre devir sayısı yüksek olduğundan dolayı gürültü düzeyi, tekstilin diğer birimlerine göre daha yüksektir. Bu durum, 90dB'in üzerine çıkmaya başladığında sağlık açısından tehlikeli olmaya başlamaktadır. Tekstil fabrikalarının dokuma işletmelerinde gürültü düzeyi 100 dB'e kadar çıkabilmektedir. Bu nedenle de gürültünün yüksek olması durumunda, çalışanın sağlığını olumsuz etkilenmemesi açısından kulak tıkaçları kullanılmaktadır. Yüksek düzeyli gürültü, makinarya yakın olan kişileri rahatsız edebileceği gibi dokuma işletmesinin bitişiğinde bulunan idari ofislerde de çalışan kişilerin de rahatsız olmasına ve motivasyonlarının düşmesine neden olmaktadır. Bu tür istenmeyen durumları engellemek amacıyla, gürültüyü absorbe edebilen akustik malzemeler kullanılmaktadır.

Bir tekstil fabrikasının dokuma bölümünde 3 vardiya sistemiyle çalışılmaktadır. Ölçümler, vardiyanın daha yoğun olduğu çalışma aralığı olan 11.00- 12.00 saatleri arasında yapılarak gürültü düzeylerinin çalışanlar üzerindeki etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Ölçüm için kullanılan cihazın kalibrasyon işlemi de yapılmıştır. Dokuma bölümü, A ve B beraber olarak şekilde Dokuma A ve B, Dokuma A ve B alt, Dokuma C ve Dokuma C alt olarak sınıflandırılmış yan tarafında idari ofisler bulunmaktadır. Dokuma birimi ile idari ofislerin yerleşim planı Şekil 15'de verilmiştir (Soylu, 2016).

DOKUMA A ve B	DOKUMA C	İDARİ OFİSLER
DOKUMA A ve B ALT	DOKUMA C ALT	

Şekil 15. Dokuma birimi ile idari ofislerin yerleşim planı

Dokuma biriminde sınıflandırılmış olan bölümler, ölçüm noktaları olarak belirlenmiştir. Bu noktalarda 10 gün boyunca ölçümler yapılmıştır. Bu sonuçlara göre de ortalama eşdeğer gürültü düzeyleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmadaki gürültü birimi, eşdeğer gürültü seviyesi olarak belirlenmiştir. Literatürde 130 dB(A) olangürültü düzeyinin, ağrı eşiği olarak kabul edildiği görülmüştür. Dokuma işletmesinde, belirlenen noktalarda yapılan ölçümlere göre eşdeğer gürültü seviyesi Tablo 4'de verilmiştir (Soylu, 2016).

Tablo 4. Dokuma işletmesinde belirli noktalarda yapılan ölçümlere göre eşdeğer gürültü seviyesi

GÜN	ÖLÇÜM PERİYOTLARI										STAND ART SAPMA (±)	ORTALAMA EŞDEĞER GÜRÜLTÜ SEVİYESİ OrtLeq dB (A)	GKY	
	1. GÜN	2. GÜN	3. GÜN	4. GÜN	5. GÜN	6. GÜN	7. GÜN	8. GÜN	9. GÜN	10. GÜN			ÇİZELGE 2 (saat/ gün)	ÇİZELGE 3 <80 db(A)
ÖLÇÜM NOKTASI DOKUMA A-B	Leq 1	Leq 2	Leq 3	Leq 4	Leq 5	Leq 6	Leq 7	Leq 8	Leq 9	Leq 10	0,83	93,5	<4	YÜKSEK
DOKUMA C	92,6	94	93,9	95,4	93,6	93	93	92,7	93,1	93,5	1,9	94,4	<4	YÜKSEK
DOKUMA A-B ALT	93,6	93,3	95,5	95,8	95,7	95,6	91,4	91,8	93,6	97,2	1,19	73,4	-	DÜŞÜK
DOKUMA C ALT	72	72,1	74,4	74,8	72,4	73,5	72,4	73,1	75	74,6	2,67	75,3	-	DÜŞÜK

Tablo 4'deki veriler incelendiğinde; Dokuma A ve B ile Dokuma C'de yapılan ölçümlerde belirlenmiş olan gürültü şiddeti değerlerinin 90 ile 120 dB(A) aralığında olup, GKY (Gürültü Kontrol Yönetmeliği) ile belirlenmiş olan değer üzerinde olduğu görülmüştür. Bu nedenle de bahsedilen dokuma işletmesinde çalışan işçilerde ağır işleme rahatsızlıklarının meydana gelebileceği anlaşılmıştır. Ayrıca Tablo 4'de elde edilmiş eşdeğer gürültü seviyesi, Tablo 2'deki veriler karşılaştırıldığında; 90 dB'in üzerindeki bir gürültüye 2 ile 4 saat aralığında maruz kalınması durumunda, Tablo 3'e göre yüksek olduğu belirlenmiş olup ağır işleme kayıplarına yol açabileceği tespit edilmiştir. Hesaplanmış olan ortalama eşdeğer gürültü seviyelerinin, literatürdeki gürültü düzeyi olan 130 dB(A)'in üzerine çıkmadığı için çalışanlar için herhangi bir probleme yol açmayacağı fakat uzun süre maruz kalınması durumunda sorunlara yol açabileceği anlaşılmıştır. Bu nedenle dokuma işletmesinde çalışan kişilerin kulak tıkaçı kullanması (Soylu, 2016).

Dokuma işletmesinin bitişiğindeki ofiste çalışanların, dokuma makinalarından gelen gürültüden, rahatsızlık olup motivasyon açısından olumsuz yönde etkilenmemeleri için akustik malzemelerle ses absorpsiyonu ve ses yalıtımı yapılabilmektedir. Bu nedenle de; absorpsiyon için farklı şekillerde (yumurta, piramit, labirent vb.) olan sünger ve ses yalıtımı için de keçe gibi tekstil yüzeyleri kullanılmaktadır. Absorpsiyon için ses yutum katsayıları önemlidir. Ses yutum katsayıları 0-1 değerler aralığındadır. Bu değer ne kadar yüksek olursa, ses absorbe etme kapasitesinin o kadar iyi olduğu anlamına gelmektedir. Tablo 1'deki ses yutma katsayıları incelendiğinde, kalınlığı 10 mm, yoğunluğu 50 kg/m³ olan bir yanmaz süngerin ses yutum katsayısı, artan frekanslarda arttığı; bu süngerin, kalınlığı ve yoğunluğu (kalınlığı 50 mm ve yoğunluğu 70 mm olan bir sünger kullanıldığında) ile frekans arttıkça, ses yutum katsayısının da arttığı görülmüştür. Süngerin absorbe ettiği sesin diğer tarafa geçmemesi için, tekstil teknolojisinde önemli bir yere sahip olan dokusuz yüzeylerden kullanılmaktadır. Keçe malzemelerine ait veriler incelendiğinde de; 100 kg/m³ yoğunluğunda 7 mm kalınlığında olanın ses yutum katsayısı 0,25 iken 10 mm kalınlığında olanın

0,3 olduğu görülmektedir. Farklı frekanslar için, akustik süngerlerde yoğunluk azalıp kalınlık arttıkça, ses yutum katsayısının da arttığı, keçe de yoğunluk sabitken, kalınlık arttıkça NRC değerinin arttığı gözlenmiştir (Özel bir işletmeden alınan veriler).

5. Sonuçlar ve Öneriler

İnşaat, tekstil, otomotiv ve vb. birçok sektör ile trafikte, gürültü istenmeyen noktalara varabilmektedir. Bu nedenle de farklı sektörlerdeki gelişmelerin yanısıra tekstil teknolojisindeki gelişmeler de önemli avantajlar elde edilebilmektedir. Bunlardan birisi de; akustik özelliklere sahip sünger ve tekstil malzemelerinin farklı şekillerde ve kalınlıklarda üretilmesiyle elde edilen yüzeylerdir. Bu çalışmada; gürültü düzeylerine, akustik malzemelere ve bunların ses yutum katsayılarına yer verilmiştir. 90dB'in üzerinde olan gürültünün, işitme açısından zararlı olabileceği, bu nedenle de kulak tıkacının kullanılması gibi önlemlerin alınması gerektiği belirtilmiştir. Farklı frekanslara göre; 10 mm, 25 mm ve 50 mm kalınlıklarında ve sırasıyla 50, 50 ve 70 kg/m³ yoğunluklarına sahip akustik ve yanmaz özelliğe sahip süngerlerin ses yutum katsayıları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yaparken, frekans da önemli bir parametredir. Buna göre; frekansını arttırarak ses yutum sayıları karşılaştırıldığında, süngerin kalınlığının ve yoğunluğunun artması durumunda, ses yutma katsayılarının da arttığı görülmüştür. Bu nedenle, süngerin, yumurta veya piramit gibi şekillerinde farklı değişiklikler yapılabilir. Ses absorbe etmede gözenekli yapılar önemli bir noktaya sahip olduğundan dolayı deneysel çalışmalarda malzeme olarak seçilmesi ile çalışmanın hedefi açısından önemli aşamalar kaydedilebilir. Bu süngerlere, keçe gibi dokusuz yüzeylerin yerine farklı tekstil yüzeyleri entegre edilerek, ses absorpsiyonu ve ses yalıtımı açısından, literatüre ve sanayiye alternatifler kazandırılabilir. Oda ve binalara uygulanan çeşitleri için çalışmanın amacına uygun olan ürünler, hammadde ve incelik- kalınlık- elastikiyet gibi parametreleri değerlendirilerek en uygun olanı kullanılabilir.

Referanslar

Akustik Nedir? <https://www.flatakustik.com/akustik-nedir/>, E.T. 08.01.2020.

Amares, S., Sujatmika, E., Hong, T. W., Durairaj, R., Hamid, H, S, H, B, A. (2017). Journal of Physics: Conference Series A Review: Characteristics of Noise Absorption Material, J. Phys.: Conf. Ser. 908 012005.

Bai, P., Yang, Xiaocui., Shen, Xinmin., Zhang, Xiaonan., Li, Z., Yin, Q., Jiang, Guoliang., Yang, Fei. (5 April 2019). Sound Absorption Performance Of The Acoustic Absorber Fabricated By Compression and Microperforation Of The Porous Metal, Materials & Design, Volume 167, 107637.

Budak, S., Gürültü ve Gürültü Kirliliği. <https://docplayer.biz.tr/18963549-5-gurultu-ve-gurultu-kirliligi.html>, E.T. 01. 02. 2020.

Çandır, M., Gürültünün Tanımı, Türleri ve Kaynakları. <https://www.riskmed.com.tr/yeni2/component/k2/item/115-gurultunun-tanimi-turleri-kaynaklari.html>, E.T. 01.02.2020.

DTA Mühendislik, Test Laboratuvar& Test ve Nümerik Analiz Proje Hizmetleri, http://www.dta.com.tr/pdf/outgoing/company/Proje_Hizmetleri_Brosur_2017.pdf, E.T. 02.02.2020.

Ertürk, B., (2001). Hidrolik Gürültü ve Azaltma Yöntemleri. (8-11 Kasım 2001). II. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi, İzmir Efes Convention Center, s. 213-236.

Gürani, Y., Kadem, D, F. (2018). Tekstil Yüzeylerinin İç Mekan Tasarımında Akustik Amaçlı Kullanımı, Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi (ASEAD) Eurasian Journal of Researches in Social and Economics (EJRSE) ISSN:2148-9963, Cilt 5, Sayı 6. Yıl 2018, s. 48-55.

<https://www.teknikakustik.net/renkli-piramit-sunger.html>, E.T. 01.02.2020.

<https://www.aksaakustik.com/bariyerli-akustik-bondex/>, E.T. 01.02.2020.

Hughes, W, O., McNelis, M, A. (2014). Acoustic Test Results of Melamine Foam with Application to Payload Fairing Acoustic Attenuation Systems, Material Science, Fort Lauderdale, Florida Noise-Con 2014 September 8-10.

Kestek, N., Keskin, A., Eskin, P., Gürültüden Korunma Yolları ve Ses Yutucu Malzemeler. <https://cdn.bartın.edu.tr/cevre/d2a58cf6-55c1-42ad-b4dc-e05c5446656e/gurultuden-korunma-yollari.pdf>, E.T. 01.02.2020.

Liu, Y., Hu, H. (2011). Sound Absorption Behavior of Knitted Spacer Fabrics, Textile Research Journal 80(18), pp 1949-1957. E.T. 09.02.2020.

Mikulski, W. (2013). Method Of Determining The Sound Absorbing Coefficient Of Materials Within The Frequency Range Of 5000–50 000 Hz In A Test Chamber Of A Volume Of About 2 m³, Archives Of Acoustics, Vol 38, No 2, pp. 177–183
Özel Bir İşletmeden Alınan Veriler, E.T. 01.02.2020.

Ses Fiziği, <http://cdn2.beun.edu.tr/sbf/2017/03/17/ikt-ders-1.pdf>, E.T. 08.01.2020.

Soylu M., Gökkuş Ö. (2016). Endüstriyel Kaynaklı Gürültü Kirliliğinin Araştırılması ve Bir Tekstil Fabrikasında Uygulama Örneği, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 32, Sayı 2.

Tiuc, A, E., Vermeşana, H., Gabora, T., Vasileb, Ovidiu. (2016). Energy Procedia, Improved Sound Absorption Properties of Polyurethane Foam Mixed with Textile Waste, Volume 85, p. 559-565.

Tuna., H. (2005). Gürültü ve İnsan Sağlığı. <http://www.calismatoplum.org/sayi5/Makale5/makale5.pdf>, E.T. 01.02.2020.



Üniversite Öğrencilerinin Beslenme Alışkanlıklarının Bulanık Mantık Sistemi ile Değerlendirilmesi

Evaluation of Nutritional Habits of University Students with Fuzzy Logic System

Özkan Taşkırdı¹ , Halil Murat Ünver^{2*} 

¹Şüküfe Nihal Ortaokulu 06210 Ankara,

²Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü 71450 Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 11/04/2020

Kabul / Accepted: 21/05/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Bu çalışma, rutin bir beslenme çevrimi oluşturamayan üniversite öğrencilerinde beslenmeye ilişkin alışkanlıkların ve bu alışkanlıkların oluşmasına neden olan etkenlerin ortaya çıkarılarak, dengeli beslenme alışkanlıklarının olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksekokulu Gıda İşleme Bölümü öğrencilerine anket uygulanmış ve anket sonuçları kullanılarak bulanık mantık sistemi ile öğrencilerin beslenme şekilleri ortaya konulmuştur. Bu çalışmada Matlab programının Fuzzy toolbox'u kullanılarak Bulanık Mantık Sistemi oluşturulmuş ve sonucunda bulanık mantık sistemlerinin beslenme şeklinin değerlendirilmesinde tutarlı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. İstatistiki olarak hesaplanan yöntemlere alternatif olarak beslenme şeklinin değerlendirmesi işlemlerinde ve Gıda Mühendisliği alanında bulanık mantığın kullanılması ile yeni yaklaşımlar geliştirilebilir.

Anahtar Kelimeler

"Bulanık mantık sistemi, bulanık mantık, beslenme, beslenme alışkanlıkları, üniversite öğrencileri"

Abstract

This study was carried out to determine whether there are balanced eating habits by revealing the habits of nutrition and the factors causing these habits in university students who cannot establish a routine feeding cycle. For this purpose, a questionnaire was applied to the students of the Food Processing Department of Ahi Evran University Kaman Vocational School and the results of the questionnaire were determined by using fuzzy logic system. In this study, Fuzzy Logic System has been established by using Fuzzy toolbox of Matlab program and as a result, it has been observed that evaluation of feeding style of fuzzy logic systems gives consistent results. As an alternative to statistically calculated methods, new approaches can be developed by using fuzzy logic in nutritional assessment and food engineering.

Key Words

"Fuzzy logic system, fuzzy logic, nutrition, nutritional habits, university students"

1. Giriş

Beslenme, bireylerin demografik özellikleri ile buldukları fizyolojik ortama göre büyüme, gelişme ve sağlıklı olarak yaşamak için dokuların yenilenmesi ve vücudun gelişimi için gerekli olan besin maddelerinin yeterli ve dengeli olarak alınması ve vücutta en uygun şekilde değerlendirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Baysal, 2015; Karagözlü vd., 2005). Yeterli ve dengeli beslenme, her bir bireyin yaş, cinsiyet ve fiziksel aktivite durumları göz önünde bulundurularak vücudun büyümesi, yenilenmesi ve çalışması için besin öğelerinin uygun bir şekilde ve yeterli miktarlarda alınması olup beslenme şekli bireylerin eğitim ve çalışma yaşamlarındaki performansını, dolayısıyla başarılarını önemli ölçüde etkilemektedir. Yeterli ve dengeli beslenme sorunu olan bir toplumun sağlıklı olarak yaşaması ve başarı sağlaması mümkün olmamaktadır (Topuzoğlu vd., 2007). Beslenmenin şekli ve türü sadece fizyolojik olmayıp aynı zamanda sosyolojik ve psikolojik bir olaydır (Çalışır vd., 2005). Yaşam döngüsünün her evresinde hem bedensel ve hem zihinsel açıdan sağlıklı olarak yaşamak dengeli ve yeterli beslenme ile mümkündür (Tanır vd., 2001; Yılmaz & Özkan, 2007). Sağlıklı toplum olabilmenin ön koşulu olan sağlıklı yaşam biçimi davranışının kazanılması ile birçok hastalığın ortaya çıkması önlenilmekte yada hastalığın ortaya çıkması durumunda hastalığın seyrini olumlu yönde değiştirmektedir (Sotos-Prieto vd., (2015); Patino-Alonso vd., 2015).

Beslenme şekli ve alışkanlıkları bir toplumun sosyal, kültürel ve ekonomik yapılarıyla doğrudan ilişkili olup bağlı olup zamana bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Gelir düzeyindeki artış, kültürel ve sosyal değişiklikler, eğitim düzeyinin artması, annenin çalışma hayatında daha çok yer alması, perakendeciliğin gelişip ulaşım olanaklarının artması toplumların beslenme alışkanlıklarını değiştirebilmektedir (Dölekoğlu, 2002).

Ülkemizde beslenme durumu çeşitli faktörlere bağlı olarak önemli farklılıklar göstermektedir. Bu faktörlerden bazıları; kişilerin yaşadığı bölgeler, mevsimler, sosyoekonomik düzey, kentsel-kırsal yerleşim yerleri ve gelir dağılımındaki dengesizlik vb.'dir. Beslenme şekillerinin ve sorunlarının daha iyi anlaşılabilmesi, bireylerin beslenme alışkanlıklarının belirlenmesi ile gerçekleştirilmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda aynı ülkenin değişik bölgelerinde yaşayan bireylerin beslenme alışkanlıklarında farklılıklar olduğu ve bu farklılıkların besinlerin çeşit ve miktarını, hazırlanışını, öğün sayısını ve zamanını, yiyeceklerin öğünlere göre dağılımını etkilediği belirtilmiştir (Uyar, 1997).

Yüksek öğrenim öğrencilerinin büyük bir kısmı ailelerinden uzakta eğitim-öğretim görmekte olup, aileden uzakta yaşamak okul masrafları, beslenme, barınma, eğitim masrafları, sosyal masraflar, sağlık giderleri ve boş vakitlerin değerlendirilmesi açısından sorunların oluşmasına neden olmaktadır (Heşeminia vd., 2002). Ülkemizde üniversite öğrencilerinin alışkanlık haline gelen beslenme davranışları üzerine yapılan araştırmalar sonucunda gençlerin beslenme ile ilgili çok ciddi sorunlar yaşadığı belirlenmiştir. Öğrencilerin genellikle öğünlere dikkat etmedikleri, eksik öğünle beslendikleri, fast-food türü yiyecekler ile simit gibi karbonhidrat içerikli ayak-üstü yenen yiyecekleri çoğunlukla tercih ettikleri, gelir düzeylerinin düşük olması, yetersiz ve dengesiz beslenmeye nedne olduğu, yurtlarda barınma öğrencilerde, yurt şartlarının yetersiz olması nedeniyle dengesiz beslendikleri ve sadece karın doyurmak için yemek yedikleri belirlenmiştir (Durmaz vd., 2002; Garibağaoğlu vd., 2006). Bu durum gençlerde zayıflamaya ya da şişmanlığa, anemiye, , basit guatr ve diş çürüklüğüne neden olabilmektedir (Orak, 2006). Değişen beslenme davranışları üniversite öğrencilerinin gerek zihinsel ve gerekse fiziksel okul performansını etkilemektedir. Bundan ötürü öğrencilerin beslenme alışkanlıklarının ve konu hakkında bilgi düzeylerinin belirlenmesi ve bu konuda uygun önerilerde bulunulması gerekmektedir (Erten, 2006; Kahraman 2018), Gerçekleştirilen bir çalışmada üniversite öğrencilerinin beslenme alışkanlıklarıyla ilgili yapılan bir araştırmada beslenme konusunun ciddi bir problem olduğu, beslenmeye ilişkin alışkanlıkları belirleyen ve beden kütle indekslerinde olumsuz etkilere neden olan bireysel ve çevresel birçok etkenin bulunduğunu tespit edilmiştir. Araştırmada öğrencilerin; kişisel durumları (beslendikleri öğün sayısı, gelir düzeyi, su tüketimleri, sigara-alkol tüketimi, spor yapma sıklıkları vs) değerlendirilerek mevcut kilolarına ilişkin memnuniyet ve beden kütle indeksi arasındaki ilişki olduğu ortaya çıkarılmıştır (Kahraman, 2018).

Bu çalışmada, üniversite öğrencilerinin beslenme alışkanlıklarını ve bunları etkileyebilecek bazı faktörlerin ortaya çıkarılması ile dengeli beslenip beslenmediklerini belirlemek amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda üniversite öğrencilerine anket uygulanmış ve bu anket sonuçlarının bulanık mantık sistemi ile değerlendirilmesi sonucu öğrencilerin beslenme şekilleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Bulanık Mantık, Lotfi Zadeh tarafından mantık ve olasılık teorisine karşı geliştirilmiştir. Özellikle Japonya başta olmak üzere tüm Dünya'da bulanık mantık sistemleri her geçen gün daha çok önem kazanmıştır. Son yıllarda geliştirilen elektronik ürünlerin tasarımı ve bu çalışmada bulanık mantık algoritmaları kullanılmış ve hem üretici hem de tüketici tarafından geniş kabul görmüştür (Kömür & Altan, 2005). İnsanın bir olayı değerlendirirken zihinden geçen kavramların bulanık yapıda olduğu ve bulanık mantık yaklaşımı ile elde edilen sonuçların klasik yöntemlerle elde edilenlere nazaran daha tutarlı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle sistemlerin tasarlanmasında ve modellenmesinde bulanık mantık yaklaşımı oldukça yaygın şekilde kullanılmaktadır.

İnsan düşüncesinin büyük bir kısmının bulanık olduğunu ve kesin olmadığını bulanık mantık sistemleri ile elde edilen sonuçların klasik yöntemlerle elde edilen sonuçlara göre daha tutarlı olduğu görülmüştür. Sistemlerin tasarlanması ve modellenmesinde oldukça yaygın bir şekilde bulanık mantık sistemleri kullanılmaktadır (Uygunoğlu & Yurtcu, 2006). Gerçek dünyada karşılaşılan her türden olayın kontrol edilmesi ve matematiksel modelinin çıkarılması karmaşıklığından ötürü pek de mümkün olmamaktadır. Denklem ve oluşturulan teoriler konuyu bir biçimde ifade etseler dahi tamamını ifadede eksiklikler bulunmaktadır. Konunun ifadesindeki belirsizliklerin belirgin şekildeki ifadesi Bulanık Mantık olarak adlandırılmaktadır (Uygunoğlu & Yurtcu, 2006). En basit haliyle ifade edilirse "çok yavaş", "çok çok soğuk", "normal sıcaklıkta" gibi günlük yaşamda kullanılan ifadeler matematiksel olarak çok anlamlı olmasa da bulanık mantık yaklaşımı açısından bir problemi çözmek için durumun

tanımlanmasında kullanılabilen ifadelerdir. Çeşitli problemlerin çözümünde ve çeşitli elektronik kumandalı cihazların çalıştırılmasında problemi anlaşılır hale getirmesi açısından kullanılan yöntemdir bulanık mantık. Belirsiz durumların matematiksel olarak tanımlanmasını ifade etmektedir (Uygunoğlu & Ünal, 2005). Klasik mantık yaklaşımında bir elemanın kümeyle ait olması durumu 1 ile ifade edilirken kümeyle ait olmaması durumu ise 0 ile ifade edilmektedir. (Kıyak & Kahvecioğlu, 2003). Oysa bulanık mantıkta üyelik dereceleri $[0..1]$ aralığında olmaktadır. Klasik mantıkta olduğu gibi 0 elemanın kümeyle ait olmadığını, 1 kümeyle ait olduğunu 0.5 ise yarı yarıya kümenin elemanı olduğunu göstermektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere eleman çok değerli şekilde üyelik derecesine sahip olabilmektedir (Kömür & Altan 2005).

2. Materyal ve Yöntem

Bu araştırma, Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksekokulu Gıda İşleme Bölümünde, 2009-2010 döneminde öğrenim gören gönüllü 269 öğrenci ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada herhangi bir örneklem seçim yöntemi kullanılmaksızın evrenin tamamına ulaşılmaya çalışılmıştır. Ancak araştırmanın yapıldığı tarihlerde okula gelmeme, araştırmaya katılmayı kabul etmeme, vb. nedenlerden dolayı toplam 269 öğrenci üzerinde çalışma yapılmıştır. Ankete katılan öğrencilere, tek seçenekli ve birden fazla yanıt gerektiren sorulardan oluşan ve 2 bölüm halinde hazırlanmış olan anket formları ders dışında kendilerine verilerek ön açıklama sonrası özgür iradeleri ile yanıtlamaları istenmiştir. Anketin cevaplanma süresi ortalama 15 dk sürmüştür. Anketteki ilk bölümde öğrencilerin sosyo-demografik, sosyo-ekonomik özellikleri ile beslenme alışkanlıkları, ikinci bölümde ise beslenme şekillerine bağlı olarak dengeli beslenip beslenmedikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Anket formunda öğrencilerin cinsiyeti, yaşı, sınıfı, şu andaki ikamet durumu, geldiği yerleşim biriminin statüsü, anne, baba ve varsa kardeşlerinin eğitim düzeyi gibi sosyodemografik değişkenlerin sorgulandığı bölümlerle birlikte, aylık harcamaları için gereken parayı karşılama durumları, aylık gelir miktar durumu, sigara kullanma durumu, öğrencilerin sağlıklı beslendiklerine inanma durumu, günlük öğün sayıları, öğün atlama durumu ve nedenleri, eğer öğün atlanıyorsa en fazla atlatılan öğün durumu, karbonhidrat, protein, meyve-sebze, süt ve süt ürünleri gibi çeşitli ürünleri hangi sıklıkta tüketip tüketmedikleri gibi sorular yer almaktadır. Anket soruları ile ilgili verilerin değerlendirilmesinde, elde edilen veriler bilgisayarda Excel programı ve Matlab programının Fuzzy toolbox'u kullanılarak Bulanık Mantık Sistemi oluşturularak öğrencilerin beslenme şekilleri değerlendirilerek ve veri analizinde tanımlayıcı istatistik yöntemler kullanılmıştır.

2.1. Bulanık Mantık İle Beslenme Şeklinin Belirlenmesi

Uzman kişi tarafından üniversite öğrencilerinin beslenme şekillerinin değerlendirilmesi amacıyla bir anket oluşturulmuş ve anketin geçerlilik ve güvenilirlik testi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, bulanık mantık ile öğrencilerin beslenme şekillerinin değerlendirilmesi amacıyla hazırlanan anketin 2. bölümündeki verilerden yararlanılmıştır. 18 sorudan oluşan 2. bölümde, puanlarının değerlendirilmesinde de kişilere sorulan sorulara vermiş oldukları cevaplara göre; Her gün (5 puan), haftada 3-4 kez (4 puan), haftada 1-2 kez (3 puan), 15 günde 2 kez (2 puan), ayda 1 kez (1 puan), hiç tüketmiyorum (0 puan) olacak şekilde puan verilmiştir. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9. sorulardan alınan puanların toplamı Dengeli Beslenme Puanı, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 ve 18. sorulardan alınan puanların toplamı ise Dengesiz Beslenme Puanını belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Klasik yöntemde hangi grupta ki puanlar fazla ise kişi o beslenme grubuna dâhildir.

2.1.1. Bulanık mantık modelinin uygulanması

Bulanık mantık sistemi genelde 3 birimden oluşmaktadır. Bu birimler, bulanıklaştırıcı birim, bulanık çıkarım motoru ve durulaştırıcı birimdir. Giriş değerleri sisteme girildikten sonra bulanıklaştırıcı birim giriş değerlerini bulanık hale getirir. Bulanık Çıkarım Motoru ise kural tabanının da ki kullanılacak kurallar ve giriş değerlerini harmanlayarak tek bir sonuç elde eder. Bazı sistemler de bir den fazla sonuç elde etmekte mümkün olmaktadır. Bulanık çıkarım motorunun elde ettiği sonuç durulaştırıcı sistem tarafında kullanıcının anlayacağı sayısal değere çevrilir (Şen, 2004).

Bu çalışmada Matlab programının Fuzzy toolbox'u kullanılarak Bulanık Mantık Sistemi oluşturulmuştur. Beslenme şeklini belirleyen değerler aşağıdaki gibidir;

1- Bulanık Mantık Giriş Değerleri

- a- Beslenme Şekli Anketi Dengeli Beslenme Puanı (DL)
Dengeli beslenme puanı 3 grupta sınıflandırılmış olup bunlar;
Düşük (D), Orta (O), Yüksek (Y)' dir.
- b- Beslenme Şekli Anketi Dengesiz Beslenme Puanı (DS)
Dengesiz beslenme puanı 3 grupta sınıflandırılmış olup bunlar;
Düşük (D), Orta (O), Yüksek (Y)' dir.

2- Bulanık Mantık Çıkış Değeri

- Beslenme Şekli (BS)
Beslenme şekli sonucu ise, Oldukça Dengesiz (OD), Dengesiz (D), Orta (O),
Yeterli Beslenme (Y), Oldukça Yetersiz (OY) olmak üzere 5 gruptan oluşmaktadır.

3- Bulanık Mantık Kural Tabanı

Giriş değerlerini, çıkış değerlerine bağlayan mantıksal EĞER-İse (If-Then) türünde yazılabilen kuralların tümünü içeren yapıdır. Bu kurallar yazılırken girdi ile çıktı değerleri arasında oluşabilecek tüm bağlantılar düşünülür. Tüm bağlantıları göstererek, girdi

uzayında ki değerler ile tüm çıktı değerleri mantıksal olarak bağlanmış olmaktadır. Bu EĞER-İse (If-Then) yapısının tümü kural tabanını oluşturmaktadır (Şen, 2004).

Dengeli beslenme ve dengesiz beslenme puanlarına göre oluşturulmuş çözüm uzayını içeren ve beslenme şekli çıktısını veren kural tabanı Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Bulanık Sistem Kural Tabanı

DL	DS	BS
D	D	D
D	O	D
D	Y	OD
O	D	O
O	O	O
O	Y	D
Y	D	OY
Y	O	OY
Y	Y	Y

Tablo 2.1'de verilen Bulanık Sistem Kural Tabanı, 9 kuraldan oluşmaktadır. Bu kurallar Mamdani Metoduna Şekil 2.1.'deki gibi aktarılmıştır.

1. If (Dengeli is D) and (Dengesiz is D) then (BeslenmeSekli is D) (1)
2. If (Dengeli is D) and (Dengesiz is O) then (BeslenmeSekli is D) (1)
3. If (Dengeli is D) and (Dengesiz is Y) then (BeslenmeSekli is OD) (1)
4. If (Dengeli is O) and (Dengesiz is D) then (BeslenmeSekli is O) (1)
5. If (Dengeli is O) and (Dengesiz is O) then (BeslenmeSekli is O) (1)
6. If (Dengeli is O) and (Dengesiz is Y) then (BeslenmeSekli is D) (1)
7. If (Dengeli is Y) and (Dengesiz is D) then (BeslenmeSekli is OY) (1)
8. If (Dengeli is Y) and (Dengesiz is O) then (BeslenmeSekli is OY) (1)
9. If (Dengeli is Y) and (Dengesiz is Y) then (BeslenmeSekli is Y) (1)

Şekil 2.1. Bulanık Mantık Sistemindeki Kuralların Mamdani Metoduna Aktarılması

Örneğin, kural 3'ü ele alındığında IF (Dengeli is D) and (Dengesiz is Y) then (Beslenme Sekli is O) kuralında, dengeli beslenme puanı Düşük ve dengesiz beslenme puanı Yüksek ise beslenme şekli olarak Oldukça Dengesiz (OD) olduğu sonucunu vermektedir.

2.2. Üyelik Fonksiyonları

Bulanık mantık sistemini her nesneyi sıfır ve bir arasında değişen bir üyelik fonksiyonuyla karakterize eder (Zadeh 1965). Aristo mantığına göre bir eleman bir kümeye ya üyedir (1) ya da üye değildir (0). Bulanık mantık sistemlerinde ise bir elemanın bir kümeye aitliği [0-1] aralığında değerler almaktadır. Bir elemanın, kümeye aitliğini gösteren [0-1] aralığında ki bu değer bulanık mantık sisteminde gösterilmesine üyelik fonksiyonu denmektedir (Şen, 2004).

Tanımlanan üyelik fonksiyonlarının, problem yapısına ve amacına uygun olması önceliklidir, çözüm uzayını tam olarak temsil etmelidir. Üyelik fonksiyonlarını belirlemek için değişik metotlar vardır. Bu metotlar;

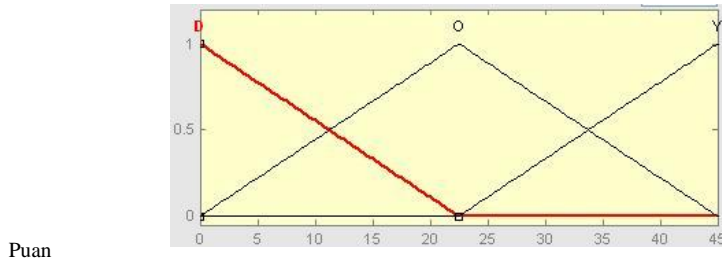
- a) Sezgi,
- b) Çıkarım,
- c) Mertebelendirme,
- d) Açılı bulanık kümeler,
- e) Yapay sinir ağları,
- f) Genetik algoritmalar,
- g) Çıkarımcı muhakeme gibi yaklaşımlardır.

Bulanık mantık sistemlerinin kullanılabilirliği üyelik derecesi fonksiyonlarının oluşturulmasına, çözüm uzayını temsil etmesine bağlıdır. Genel olarak en çok kullanılan üyelik fonksiyonları; üçgen, yamuk ve gauss eğrisidir (Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003).

Üyelik fonksiyonları oluşturulurken, puan grupları 9 sorudan oluşmakta ve her sorudan ayrı ayrı en yüksek 5 ve en az 0 puan alındığı için değer aralığı 0 ile 45 olarak belirlenmiştir. FIS editörden And metoduna Min, Or metodunun Max, Implication'u Min, Aggregation'u Max olarak seçilir. Defuzzification kısmından ise durulaştırma metodunu belirlemek için Centroid, bisector, mom,

lom ve som metodları ayrı ayrı denendikten sonra en uygun sonucun MOM metodunun verdiği gözlenmiş ve durulaştırma metodu olarak MOM seçilmiştir. Mamsimum ortalaması (mom= mean of maximum) yöntemi Mamdani tarafından kullanılan bir yöntemdir. Maksimum noktaları birden fazla olan problemlerde çözüm üreten bir yöntemdir. "Kesin değer" olarak maksimum değerlerin ortalaması alınır (Yılmaz & Ocak, 2008). Verilen değerleri FIS editöre aktardıktan sonra üyelik fonksiyonları oluşturulur. Dengeli ve Dengesiz beslenme puanları için tanımlanan üyelik fonksiyonu Şekil 3.2 'de verilmiştir.

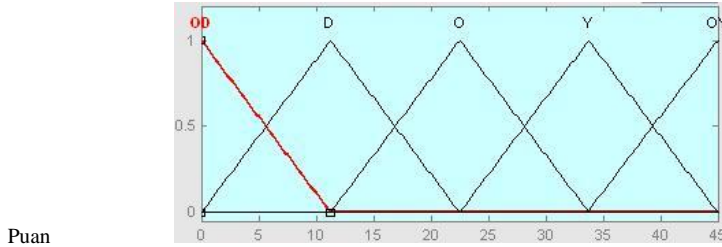
Üyelik Derecesi



Şekil 2.2. Dengeli beslenme ve dengesiz beslenme kümelerini gösteren üyelik fonksiyonu

Beslenme şekli için tanımlanan üyelik fonksiyonu ise Şekil 3.3'de sunulmuştur.

Üyelik Derecesi

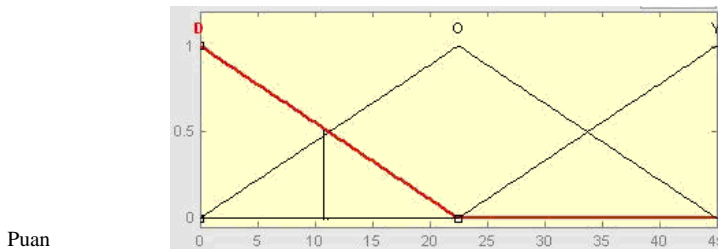


Şekil 2.3. Beslenme şekli çıktısı için oluşturulmuş üyelik fonksiyonu

Örnek 1 : Uygulanan test sonucunda Dengeli Beslenme Puanı 11, Dengesiz Beslenme Puanı 40 çıkan kişinin beslenme şeklinin bulunması;

Dengeli beslenme puanı olan 11 değerinin üyelik fonksiyonunda düşük ve orta kümelerinin birer elemanı olduğu görülmüştür. Dengeli beslenme puanının üyelik fonksiyonunda gösterimi Şekil 3.4'de gösterilmiştir.

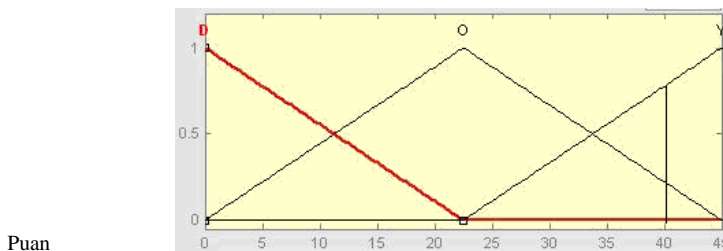
Üyelik Derecesi



Şekil 3.4. Dengeli beslenme puanı 11'in üyelik fonksiyonunda ki gösterimi

Dengesiz beslenme puanı olan 40 değerinin üyelik fonksiyonunda orta ve yüksek kümelerinin birer elemanı olduğu görülmüştür. Dengesiz beslenme puanının üyelik fonksiyonunda gösterimi Şekil 3.5'de verilmiştir.

Üyelik Derecesi



Şekil 3.5. Dengesiz beslenme puanı 40'ın üyelik fonksiyonunda ki gösterimi

Seçilen kişinin aldığı puanlara göre kural tabanında ki kurallardan; Dengeli beslenme puanı için düşük ve orta, dengesiz beslenme puanı için orta ve yüksek kuralları uygulanacaktır.

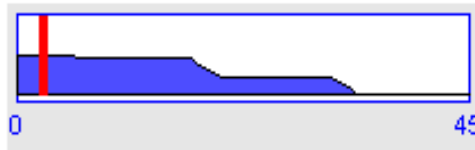
Uygulanacak olan bu kurallar Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2.Uygulanacak kurallar

DL	DS	BS
D	D	D
D	O	D
D	Y	OD
O	D	O
O	O	O
O	Y	D
Y	D	OY
Y	O	OY
Y	Y	Y

- 1. Kural :** If DL is Düşük and DS is Orta then BS is D
- 2. Kural :** If DL is Düşük and DS is Yüksek then BS is OD
- 3. Kural :** If DL is Orta and DS is Orta then BS is O
- 4. Kural :** If DL is Orta and DS is Yüksek then BS is D

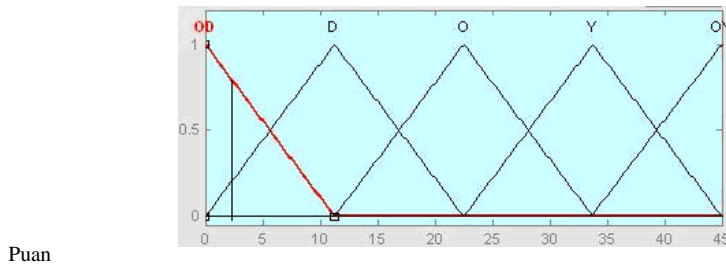
Uygulanan anket sonucunda en uygun sonucu veren “MOM” durulaştırma işlemi ile sonuç durultulmuştur. Beslenme şeklinin çıkış değeri 2,7 olarak Matlab programında bulunmuş olup, Matlab programında ki şekli Şekil 3.6.’da ki gibidir.



Şekil 2.6. Beslenme şeklinin Matlab programında ki çıktısı

Beslenme şekli çıktısının üyelik fonksiyonu ise Şekil 3.7.’de verilmiştir.

Üyelik Derecesi



Şekil 2.7. Beslenme şekli çıktısının üyelik fonksiyonunda ki gösterimi

Beslenme şekli; dengeli beslenme puanı 11, dengesiz beslenme puanı ise 40 olan kişinin anket sonuçları Matlab programına aktarıldığında bulunan 2,7 lik beslenme şekli puanı düşük ve oldukça düşük kümelerinin birer üyesi olduğu ortaya çıkmıştır.

3. Bulgular

Bu çalışma, üniversite öğrencilerinde beslenmeye ilişkin alışkanlıkların ve bu alışkanlıkların oluşmasına neden olan etkenlerin ortaya çıkarılarak, dengeli beslenme alışkanlıklarının olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksekokulu Gıda İşleme Bölümü öğrencilerine anket uygulanmış ve anket sonuçları kullanılarak bulanık mantık sistemi ile öğrencilerin beslenme şekilleri ortaya konulmuştur.

Araştırmaya gıda işleme bölümünden toplam 269 öğrenci katılmış olup bu öğrencilerin %21.6' sı erkek, %78.4'ü bayandır. %55.39'u 20 yaş ve altındadır. Öğrencilerin sosyodemografik ve sosyoekonomik özellikleri incelendiğinde; öğrencilerin %57.2' si yüksek öğrenim için çeşitli illerden geldiği, %47.6'sının devlet yurdunda kaldığı, %65.4'ünün annesinin ve % 49.8'inin babasının ilköğretim mezunu olduğu, %39.78'i kendisiyle birlikte 2 kardeş olduğu, %47.6'sı aylık harcamaları için gereken parayı ailesinden ve burs/kredi alarak karşıladığı, %40,5'nin gelir miktarının 200-300 Lira arasında değiştiği, %23.6'sının sigara kullandığı saptanmıştır. Araştırma grubunun beslenme alışkanlıkları incelendiğinde; öğrencilerin %78.4' ü sağlıklı bir şekilde beslendiklerine inanmadıklarını, %56.5'inin en fazla önem verdiği öğünün sabah kahvaltısı olduğu, %72.1'nin öğün dışı beslendiği, %85.1 öğün atladığı ve en çok ihmal edilen öğünün öğle yemeği olduğu ve ihmal nedeni olarak zaman ve iştahlarının olmadıklarını belirtmişlerdir. Öğle ve akşam yemeklerinde hangi besinleri tüketmeyi daha çok tercih ediyorsunuz sorusuna ise öğrencilerin % 73.2'si karbonhidrat ağırlıklı besinler (makarna, pilav, tatlı, pasta, büsküvi, kraker, simit, poğaç vb.) ile % 15.6'sı protein ağırlıklı besinler, (beyaz et, kuru bakliyat, kırmızı et, süt ve süt ürünleri, yumurta) ile % 11.2'si ise meyve-seze-yeşillik ağırlıklı besinler ile beslendiklerini belirtmişlerdir.

4. Tartışma

Anket verilerinden elde edilen sonuçlar, bulanık mantık sistemi oluşturulması amacı ile matlab programına aktarılmıştır. Oluşturulan bulanık mantık sistemi, dengeli beslenme puanı ve dengesiz beslenme puanı olarak 2 veri giriş kümesinden, beslenme şekli olarak ta bir çıkış kümesinden oluşmaktadır. Beslenme şekillerinin değerlendirilmesi işlemi klasik küme özellikleri kullanılarak dengeli ya da dengesiz besleniyor yargısına varmaktansa bulanık sistemler sayesinde değişik beslenme şekillerine sahip olacağı yargısına varılmaktadır. Yapay zekânın alt dalı olan bulanık mantık sistemleri ile beslenme şekilleri kesin sınırların içerisinde çıkararak esnek sınırlara sahip olmaktadır. Bu çalışmada Matlab programının Fuzzy toolbox'u kullanılarak Bulanık Mantık Sistemi oluşturulmuş ve sonucunda bulanık mantık sistemleri ile beslenme şeklinin değerlendirilmesinde tutarlı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. İstatistikî olarak hesaplanan yöntemlere alternatif olarak beslenme şeklinin değerlendirmesi işlemlerinde ve Gıda Mühendisliği alanında bulanık mantığın kullanılması ile yeni yaklaşımlar geliştirilebilir. Bulanık mantık sistemi, insan düşünce sistemine yakın olması, uzman kişinin görevini üstlenmesi, matematiksel ifadeler yerine sözel ifadelerle işlem yapması, ucuza mal olup sürekli kullanılabilen bir sistem olması en büyük avantajlarıdır. Anket değerlendirme işlemlerinde, anket doğru uygulansa bile değerlendirme işleminin de yetersiz bilgiye sahip kişiler tarafından değerlendirme yapılması sonucu tutarsız sonuçların ortaya çıkması, yine anket verilerini yorumlarken anketin amaçlarının gözden kaçırılması diğer yöntemlerin en önemli sınırlılıklarıdır. Oysaki uzman tarafından oluşturulan, bulanık mantık sistemi uzun yıllar kullanılabilir, tekrardan bir sistem oluşturulmaya gerek duyulmayacak anketlerden alınan puanlar bulanık mantık sistemine girilerek kişinin beslenme şekli ortaya konulabilecektir.

5. Sonuç

Bu çalışma sonucunda üniversite eğitimi alan gönüllü öğrencilerden oluşan grupla yapılan çalışmada bulanık mantık tekniği kullanılarak yapılan incelemede öğrencilerin büyük bir bölümünün ideal beslenme alışkanlığına sahip olmadığı ve bu durumun sebeplerini saptayabilmek için daha ayrıntılı araştırmalar yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Bulanık mantık tekniği böyle bir inceleme için güvenilir bir analiz yöntemi olarak görülmüştür. Bu sayede sağlıklı beslenmeyi engelleyen faktörler ortaya çıkmış, bu faktörlerin dikkate alınarak çeşitli önlemler geliştirilmesi gerektiği vurgusu elde edilmiştir.

Referanslar

Baysal, A. (2015), Beslenme ve Sağlık, Ankara. Hatiboğlu Basım ve Yayım, 16. Baskı.

Çalıştır, B., Dereli, F., Eksen, M. & Aktaş, S. (2005). Muğla Üniversitesi Öğrencilerinin Beslenme Konusunda Bilgi Düzeylerinin Belirlenmesi, Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi, 2(2), 1-8.

Dölekoğlu, C.Ö. (2002). Tüketicilerin İşlenmiş Gıda Ürünlerinde Kalite Tercihleri, Sağlık Riskine Karşı Tutumları ve Besin Bileşimi Konusunda Bilgi Düzeyleri (Adana Örneği). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana.

Durmaz, H., Sağun, E. & Tarakçı Z. (2002). Yüksekokul Öğrencilerinin İçme Sütü Tüketim Alışkanlıkları. YYÜ Vet. Fak. Derg., 13(1-2), 69-73.

Erten, M. (2006). Adıyaman İlinde Eğitim Gören Üniversite Öğrencilerinin Beslenme Bilgilerinin ve Alışkanlıklarının Araştırılması. Gazi Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Garibağaoğlu, M., Budak, N., Öner, N., Sağlam, Ö. & Nişli, K. (2006). Üç Farklı Üniversitede Eğitim Gören Kız Öğrencilerin Beslenme Durumları ve Vücut Ağırlıklarının Değerlendirmesi. Sağlık Bilimleri Dergisi (Journal of Health Sciences), 15(3), 173-180.

Heşeminia, T., Çalışkan, D. & Işık, A. (2002). Ankara'da Yüksek Öğretim Öğrenci Yurtlarında Kalan Öğrencilerin Beslenme Sorunları. İbni Sina Tıp Dergisi, (7), 155-167.

- Kahraman, Ç. (2018). Üniversite Öğrencilerinde Beslenme Alışkanlıkları ve Obezite Riski: Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Örneği. Namık Kemal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sağlık Yönetimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ.
- Karagözlü, N., Karagözlü, C., Karaca, S. & Eren, S. (2005). Üniversite Öğrencilerinde Süt ve Ürünleri Tüketim Alışkanlıkları ve Beslenme Bilinçleri Üzerine Bir Araştırma: Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Örneği. C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 1.2, 101-108
- Kıyak, E. & Kahvecioğlu, A. (2003). Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 1(2), 63-72.
- Kömür, M. & Altan, M. (2005). Deprem Hasarı Gören Binaların Hasar Tespitinde Bulanık Mantık Yaklaşımı. İtü Dergisi/d Mühendislik 4(2), 43-52.
- Orak, S., Akgün, S. & Orhan, H. (2006). Süleyman Demirel Üniversitesi Öğrencilerinin Beslenme Alışkanlıklarının Araştırılması. S.D.Ü. Tıp Fak. Derg., 13(2), 5-11.
- Patino-Alonso, MC. Recio-Rodríguez, JI. Magdalena-Belio, JF. GinéGarriga, M. Martínez-Vizcaino, V. & Fernández-Alonso, C. (2015). Clustering of lifestyle characteristics and their association with cardio-metabolic health: The Lifestyles and Endothelial Dysfunction (EVIDENT) study. British Journal of Nutrition, 114: 943-51.
- Sotos-Prieto, M. Bhupathiraju, SN. Falcón, LM. Gao, X. Tucker, KL. & Mattei, J. (2015). A Healthy Lifestyle Score Is Associated with Cardiometabolic and Neuroendocrine Risk Factors among Puerto Rican Adults. The Journal of Nutrition 2015;145:1531-40.
- Şen, Z. (2004). Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık İle Modelleme Prensipleri. İstanbul, Su Vakfı Yayınları, 2004.
- Tanır, F., Şaşmaz, T., Beyhan, Y. & Bilici, S. (2001). Doğankent Beldesinde Bir Tekstil Fabrikasında Çalışanların Beslenme Durumu. Türk Tabipler Birliği Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi, Temmuz, 22-25.
- Topuzoğlu, A., Hıdıroğlu, S., Ay, P., Önsüz, F. & İkışık, H. (2007). Tüketicilerin Gıda Ürünleri ile İlgili Bilgi Düzeyleri ve Sağlık Risklerine Karşı Tutumları. TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni, 6 (4).
- Uyar, A. (1997). Konya İl Merkezi Kamu Kuruluşlarında Çalışan Kadınların Beslenme Alışkanlıkları ve Bilgi Düzeylerine Üzerine Bir Araştırma. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Uygunoğlu T. & Ünal, O. (2005). Seyitömer Uçucu Külünün Betonun Basınç Dayanımına Etkisi Üzerine Bulanık Mantık Yaklaşımı. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, (1), 13 – 20.
- Uygunoğlu, T. & Yurtcu, Ş. (2006). Yapay Zeka Tekniklerinin İnşaat Mühendisliği Problemlerinde Kullanımı. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, (1) 61 – 70.
- Yılmaz, E. & Özkan, S. (2007). Üniversite Öğrencilerinin Beslenme Alışkanlıklarının İncelenmesi,.V. Temel Sağlık Hizmetleri Sempozyumu, Manisa.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Sets. Information and Control.
- Zadeh, L.A. (2008). Is There a Need For Fuzzy Logic?. Information Sciences Volume 178, Issue 13, 2751-2779.
- Yılmaz Z. & Ocak Ş. (2008). Bulanık Mantık İle Aneminin Belirlenmesi. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, 24-25, Çankaya, Ankara.



T6 ve Yüksek Sıcaklık Ön-Çökeltme HTPP Isıl İşleminin AA7075 Alüminyum Alaşımının Yüksek Sıcaklıktaki Çekme Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi

The Investigation of the Effects of T6 and High Temperature Pre-precipitation HTPP Heat Treatments on Hot Tensile Properties of AA7075 Aluminium Alloys

Talha Sunar ¹ , Dursun Özyürek ¹ 

¹İmalat Mühendisliği Bölüm, Teknoloji Fakültesi, Karabük Üniversitesi, 78050 Karabük, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 11/04/2020

Kabul / Accepted: 29/05/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Bu çalışmada, T6 ve HTPP olmak üzere iki farklı yaşlandırma ısıl işlem uygulanmış AA7075 alaşımının yüksek sıcaklık mekanik özellikleri incelenmiştir. Isıl işlemler ile alaşımın dayanımında ve sertliklerinde meydana gelen değişimlerin araştırılması amaçlanmıştır. Bu nedenle, 100, 200 ve 300°C sıcaklıklarda çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Çekme testleri yapılan numunelerin mikroyapıları optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD) ve sertlik ölçümleri ile incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanan numunelerin, HTPP uygulanan numunelere göre daha iyi dayanım özellikleri gösterdikleri fakat HTPP numunelerinin süneklik özelliklerinin T6'ya göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Sertlik sonuçları için de T6 uygulanan alaşımdan daha yüksek sertlik değeri sonuçları elde edilmiştir. Kırılma yüzeyleri incelemeleri 200°C altında yarı-sünek bir kırılma ve 200 ve 300°C sıcaklıklarda sünek kırılma olduğunu göstermektedir. Sünekliğin artan sıcaklıkla birlikte arttığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

“AA7075 alaşımı, yaşlandırma, sertlik, mikroyapı, sıcak çekme”

Abstract

Mechanical properties at elevated temperatures for AA7075 aluminium alloy processed with two different heat treatment as T6 and HTPP, were investigated in this study. The alteration in strength and hardness which can be occur as a result of heat treatment was aimed to research. For this purpose, tensile tests were carried out at the temperatures of 100, 200, 300°C. The microstructures of the samples which tensile tests were applied, examined by optical microscope and scanning electron microscope SEM. As results for the studies made, it was observed that T6 samples showed better strength properties but HTPP samples has better ductility properties with respect to T6 samples. For the hardness results, higher hardness values were obtained from T6 samples. Fracture surfaces examinations showed that the fracture was semi-ductile for the temperatures below 200°C and ductile for the temperatures of 200 and 300°C. It is determined that the ductility was increased with the rise in the temperature.

Key Words

“AA7075 alloy, ageing, hardness, microstructure, hot tensile”

1. Giriş

Alüminyum alaşımları, düşük yoğunlukları ve yüksek korozyon dirençleri nedeniyle havacılık ve otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alaşımların yoğunluklarının düşük olması sebebiyle sağladığı enerji verimliliğinin yanında, kolay geri dönüşüm özellikleriyle de son yıllarda üzerinde durulan sürdürülebilirlik bakımından tercih edilmektedir. Uçak gövde ve iskelet yapılarında, otomobil aksamlarında ve genel kullanım uygulamalarında (yüksek mukavemet ve korozyon dayanımı gereken uygulamalar için) Al-Zn-Mg-Cu serisi olarak da nitelenen 7xxx serisi alaşımlar kullanılmaktadır. 7xxx serisi alaşımlarda birincil alaşım elementi olarak %1-8 arasında Zn bulunmaktadır (Deschamps vd., 1997; Cassada vd., 2002). 7xxx alaşımları ısıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımları arasındaki en önemli grup olarak kabul edilmektedir. Uygulanan ısıl işleme bağlı olarak mekanik özelliklerinde büyük artışlar olmaktadır (Hatch, 1984). Yüksek dayanımın gerektiren uygulamalarda, yaşlandırma ile sertleştirilebilen 7xxx serisi alüminyum alaşımları tercih edilmektedir (Rometsch vd., 2014).

Yaşlandırma ile alaşımların mekanik özelliklerinin artması, yapıda ısıl işleme oluşturulan ikincil faz çökeltilerin dislokasyon hareketinin engellenmesi/zorlaştırılmasından kaynaklanmaktadır (Şimşek vd., 2019, Tekeli vd., 2019). Yaşlandırma üç aşamalı olarak gerçekleştirilen bir ısıl işlemdir. Bunlar solüsyona alma, su verme ve yaşlandırma aşamalarından oluşmaktadır. Solüsyona alma aşamasında, alaşım elementlerince zengin aşırı doymuş, tek fazlı bir katı-çözelti elde etmek amacıyla malzeme yüksek sıcaklıkta bekletilmektedir. Su verme aşamasında ise malzeme hızlı şekilde soğutulmuş, aşırı doymuş mikroyapının oda sıcaklığında korunması amaçlanmaktadır. Son aşama olan yaşlandırma aşamasında, hızlı soğutulan alaşım belirli bir yaşlandırma sıcaklığında belirli bir süre bekletilerek yapıda ikincil faz oluşumu sağlanmaktadır. Yaşlandırma ısıl işleminin gerçekleştirilmesi için alaşımdaki bir veya daha fazla alaşım elementinin matris içerisinde tümüyle veya yüksek oranda çözünmesi gerekmektedir (Mouritz, 2012). Al-Zn-Mg-Cu alaşımlarının yaşlandırılabilme kabiliyetine sahip olmaları ise, içerdikleri Zn ve Mg elementlerinin yüksek oranda çözümlerinden kaynaklanmaktadır (Chinh vd., 2004). Su verme sırasında sıcaklığın ani olarak düşmesiyle, matrisin çözünürlüğü azalmaktadır. Matriste çözülmüş olan Zn ve Mg, kafes dışına itilerek ikincil bir fazı oluşturacak şekilde kümeleşmektedir. Bu tür II. fazlar, deformasyon sırasında dislokasyon hareketini engellediklerinden dolayı, malzemenin dayanımında bir artış meydana gelmektedir. Bu durum daha detaylı ifade edilirse, su verme sonrasında mevcut aşırı doymuş katı çözelti (η) içerisinde yaşlandırma sıcaklığının etkisiyle çözülmüş olan Zn ve Mg atomları bir araya gelerek, matris kristal kafesiyle uyumlu bölgeler oluşturmaktadır. Bu bölgeler Guinier-Preston (GP bölgeleri) bölgeleri olarak adlandırılmaktadır. Sonraki yaşlanma evrelerinde GP bölgelerinde kümeleşen atomların artmasıyla, matris kristal kafesi ile yarı-uyumlu ve η' olarak ifade edilen ikinci faz oluşmaktadır. Devam eden yaşlandırma aşamalarında ise η' fazı matris kristal kafesiyle uyumsuz ve kararlı η' -MgZn₂ ikincil fazı olarak çökelmektedir (Berg vd., 2001). Malzemede meydana gelen dayanım artışı, bu kararlı ikincil faz çökeltilerin dislokasyon hareketlerini engelleyerek, dislokasyon yığımlarına sebep olması veya dislokasyonların ikincil faz çökeltilerini kesmeye çalışarak çevrelerinde halkacıklar oluşturması olarak tanımlanan Orowan mekanizması gibi iç-yapı olaylarından kaynaklanmaktadır (Ma vd., 2014). Ayrıca elde edilen bu dayanım artışı, ikincil faz çökeltilerinin boyutuna ve yapıdaki homojen dağılımına bağlıdır. 7xxx serisi alüminyum alaşımları üzerinde yapılan çalışmalar ve uygulamalar, bu alaşımların yaygın olarak optimum dayanım ve süneklik özelliklerinin elde edildiği yapay yaşlandırma (T6) ısıl işlemi üzerinde yoğunlaşmaktadır (Hatch, 1984). Fakat T6 yaşlandırılmış alaşımlar, yüksek dayanım özelliklerinin yanında korozyon dayanımı bakımından dezavantaj sağlamaktadırlar (Rao vd., 2016; Ozer & Karaaslan, 2017; Li vd. 2008). Buna karşılık, T73 gibi diğer yaşlandırma metodları, korozyon dayanımında artış sağlamalarının yanında dayanım özelliklerini olumsuz etkilemektedirler (Donald 1994, Andreatta vd. 2004, Marlaud vd. 2010). Bu nedenle, korozyon dayanımının yanında mekanik özelliklerin de korunması amacıyla, yeniden çözültüye alma ve yeniden yaşlandırma (RRA) ve yüksek sıcaklıkta ön-çökelme (HTPP) gibi farklı yaşlandırma metodları geliştirilmiştir (Cina, 1974; Melvin, 1943; Huang vd., 2007; Song & Chen, 2008). Bazı araştırmacılar tarafından, farklı metodlarla yaşlandırılan 7xxx serisi alaşımların sertlik, mekanik dayanım, aşınma dayanımı ve yorulma gibi mekanik özellikleri çalışılmıştır (Ozer & Karaaslan, 2017; Fakioglu vd., 2013; Kalyon & Özyürek, 2017). HTPP ısıl işlemi, korozyon direncini arttırmak amacıyla tane sınırlarındaki çökeltilerin dağılımını ve kimyasını geliştirmek için farklı sıcaklık aralıklarında uygulanan, çok-adımlı bir çözültüye alma yöntemi olarak tanımlanmaktadır (Rometsch vd., 2017). Huang vd. korozyon direnci ve mekanik özellikleri incelemek amacıyla Al-Zn-Mg alaşımlarına T61 ve HTPP ısıl işlemleri uygulamışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonucunda HTPP ısıl işleminin alaşımların korozyon direncini arttırdığını, aynı zamanda dayanım özelliklerinde belirgin bir düşme gerçekleşmediğini belirtmişlerdir (Huang vd., 2007). HTPP ısıl işleminin, kaba çökeltilerin tane sınırı boyunca devam eden dağılımını iyileştirdiği ve tane-sınır çökeltilerinin Cu içeriğini artırarak gerilim korozyon direncini arttırırken, taneler arası korozyon direnci duyarlılığını azalttığı ifade edilmektedir. Ayrıca, alaşımların mekanik dayanım ve sünekliğini muhafaza ettiği de vurgulanmaktadır (Huang vd., 2012). Süneklik ve mekanik dayanım özellikleri, alaşımların kullanım koşullarına uygunluğu bakımından oldukça önemlidir. Bu alaşımların sahip oldukları alaşım elementi miktarı, oda sıcaklığında şekillendirme özelliklerini azaltmaktadır (Zhou vd., 2014). Araştırmacılar, optimum şekillendirme özelliklerini belirlemek amacıyla yüksek sıcaklıklarda altındaki mekanik özelliklerini sıcak çekme ve basma testleriyle incelemişlerdir (Park vd., 2017; Guo vd., 2018). Shojaei vd. hem tavllanmış hem de soğuk haddelenmiş 7075 alüminyumun davranışının sıcaklık ve gerilme oranından güçlü bir şekilde etkilendiğini, fakat tavllanmış numune üzerindeki etkinin daha az dikkat çekici olduğunu belirtmişlerdir (Shojaei vd., 2016).

Daha önce yapılan çalışmaların çoğu, malzemelerin yüksek sıcaklıkta şekillendirilmesinin araştırılması ve uygun parametrelerin belirlenmesi amacıyla ve yüksek sıcaklıklarda (>400°C) gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda ısıl işlem koşullarının bu sıcaklıklara etkilerinin incelenmesi konusunda bir boşluk olduğu görülmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada, korozyon direncinin artırılması ve mekanik özelliklerinin korunması gibi olumlu etkiler sağladığı bilinen HTPP ısıl işlemi ve en yüksek mekanik özelliklerin elde edildiği T6 (yapay yaşlandırma) ile yaşlandırılan AA7075 alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda sergiledikleri mekanik özellikleri incelenmiştir. T6 ve HTPP ısıl işlemleri uygulanmış AA7075 malzemelere 100, 200 ve 300°C sıcaklıklarda çekme testleri yapılarak alaşımların sergilediği elastik ve plastik davranışlar karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Method

Deneyisel çalışmalarda kullanılan AA7075 ekstrüzyon çubuk malzemeler, Alkor Döküm Alaşımaları ve Mak. San. Tic. Ltd. Şti.'nden temin edilmiştir. Tablo 1 de deneyisel çalışmalarda kullanılan AA7075 alaşımının kimyasal bileşimi verilmektedir.

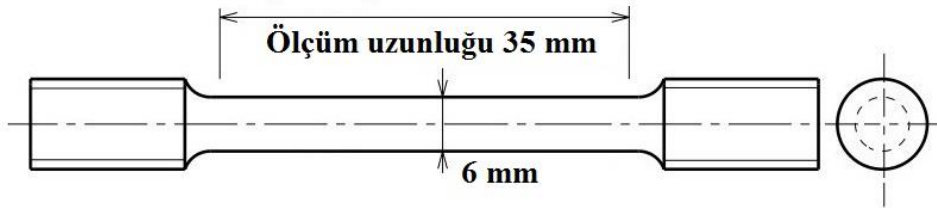
Tablo 1. AA7075 malzemeye ait kimyasal analiz sonuçları

Elementler	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Mn	Cr	Ti
Kimyasal bileşim [%]	5.16	2.19	1.3	0.28	0.17	0.15	0.19	0.009

Yaşlandırma ısıl işlemleri, Protherm PLF110 ısıl işlem fırında gerçekleştirilmiştir. Temin edilen tüm numuneler, öncelikle 500°C sıcaklıkta 2 saat homojenleştirilmiştir. Daha sonra ASTM E21-09 (Standard, 2009) standartlarına uygun biçimde torna tezgahında şekillendirilmişlerdir. Üretilen çekme numunelerine T6 ve HTPP ısıl işlemleri uygulanmıştır. T6 ısıl işlemi için numuneler 485°C'de 2 saat çözeltiye alındıktan sonra suda hızlı soğutulmuştur. Hızlı soğutulan numuneler 120°C sıcaklıkta 24 saat yaşlandırılmıştır. HTPP ısıl işlemi için ise numuneler T6 ısıl işlemi ile aynı parametrelerde çözeltiye alındıktan sonra fırında 450°C'de 30 dakika bekletilmiş (ön-çökeltme) ve yine su verme işlemini takiben 120°C sıcaklıkta 24 saat yaşlandırılmıştır.

Çekme testleri sonrasında çekilen AA7075 malzemelerden örnekler kesilerek ASTM E3-11 (Standard, 2011) standartlarına uygun olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler Keller solüsyonunda (95 mL saf su, 2.5 mL nitrik asit, 1.5 mL hidroklorik asit, 0.5 mL hidroflorik asit) 45 saniye dağlanmıştır. Optik incelemeler için Nikon Epiphot 200 serisi Clemex kamera sistemli Optik mikroskop kullanılmıştır. Detaylı mikroyapı ve mikroyapı incelemeleri, Bruker X Flash 6/10 enerji dağılım spektrometresi (EDS) Carl Zeiss Ultra Plus Gemini taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazında yapılmıştır. Yapıda meydana gelen değişimlerin ve ikincil fazların belirlenmesi için, Rigaku Ultima IV X-Ray kırınım deseni analiz (XRD) cihazında ve 10-90 derece aralığında 3 derece/sn hızında XRD incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

Sertlik ölçümleri için hazırlanan numunelerin yüzeyi gerekli hassasiyete temizlenerek sertlikleri ölçülmüştür. Ölçümler Shimadzu mikro-sertlik cihazında 500gf (HV0.5) yük ve 15 s yüzeye uygulanarak yapılmıştır ve yapılan her ölçüm beş kez tekrarlanarak ortalamaları alınmıştır. Yüksek sıcaklıklardaki çekme testleri 600 kN yük kapasitesine sahip ve 1100°C sıcaklığa kadar çekme yapabilen Zwick/Roell Z600 mekanik test cihazı kullanılarak 0.001/saniye çekme hızında ASTM E21-09 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan çekme numunelerinin ölçüleri ve ölçüm uzunluğu, Şekil 1'de verilmektedir. Çekme testleri sonucunda elde edilen eğrilerden akma gerilmesi, maksimum çekme gerilmesi, elastikiyet modülü ve yüzde uzama miktarları gibi değerler hesaplanmış ve ısıl işlem metotlarının bu değerlere etkileri tartışılmıştır.

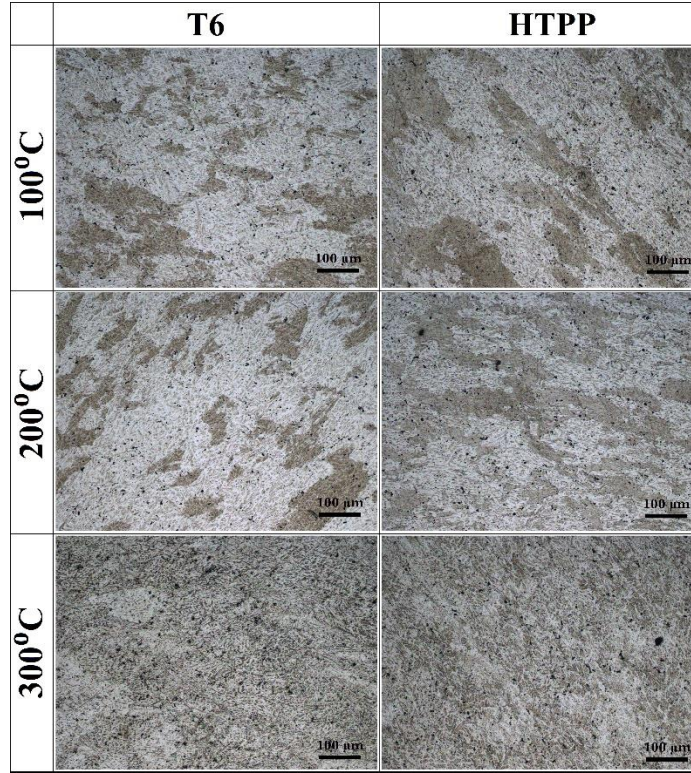


Şekil 1. AA7075 malzemenin şekillendirilen çekme testi numunelerinin ölçüleri.

3. Bulgular ve Tartışma

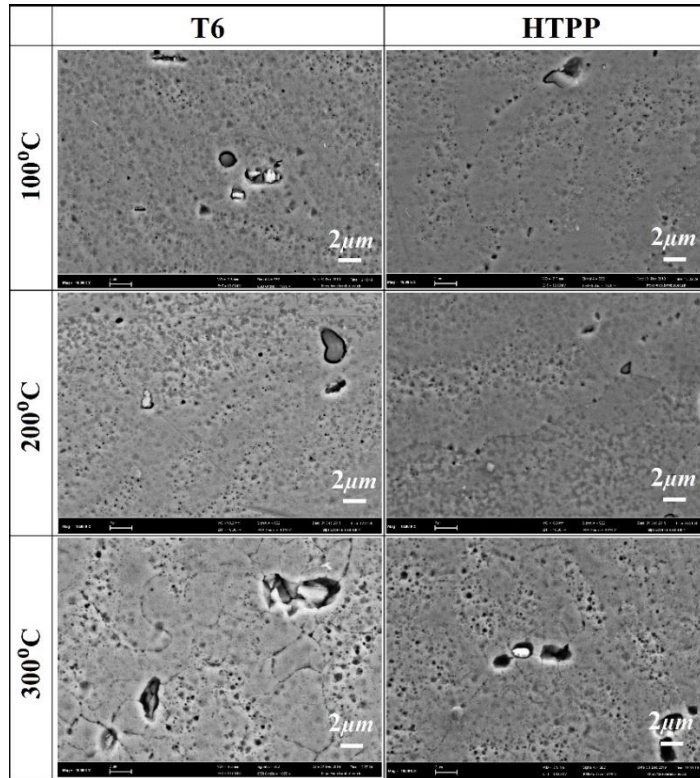
3.1. Mikroyapı İncelemeleri

T6 ve HTPP ısıl işlemleri uygulanarak yüksek sıcaklıklarda çekme işlemi yapılan AA7075 numunelerin mikro-yapılarının optik mikroskop görüntüleri, Şekil 2'de verilmiştir. Mikroyapılar incelendiğinde 200°C'ye kadar olan sıcaklıklarda mikroyapılarda kayda değer bir değişim görülmemiştir. Fakat 300°C'de çekmeye maruz kalan numunenin mikroyapısındaki yaşlanma etkisinin neredeyse tamamen kaybolduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, yüksek sıcaklığın matris fazının çözünürlüğünü artırarak Al-Zn-Mg-Cu alaşımında görülen Al-Cu-Mg ötektik veya Al-Cu türü ötektik fazlarının dağılması şeklinde yorumlanabilir (Kim vd., 2001; Liu vd., 2003).



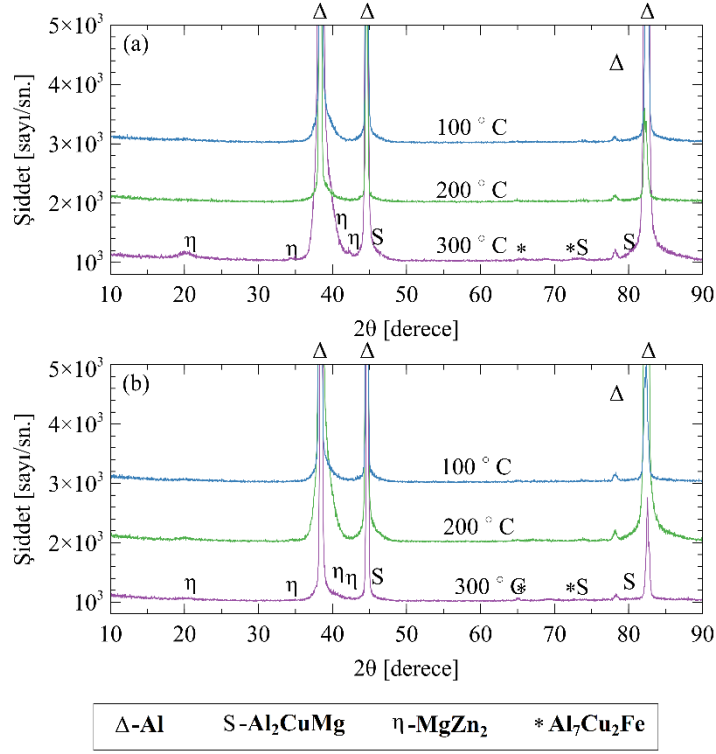
Şekil 2. T6 ve HTPP ısıt işlemleri ile yaşlandırılan ve farklı sıcaklıklarda çekme testi uygulanan AA7075 numunelerin optik mikroyapı görüntüleri.

Şekil 3’de, T6 ve HTPP ısıt işlemleri ile yaşlandırılan ve farklı sıcaklıklarda çekme testi uygulanmış AA7075 alaşımının mikroyapı SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 2’de verilen optik mikroyapı görüntüleri gibi SEM görüntüleri arasında benzerlik olduğu görülebilmektedir. Hem T6, hem de HTPP ısıt işlemleri uygulanarak yaşlandırılan AA7075 alaşımlarının mikroyapıları karşılaştırıldığında, T6 ısıt işlemi uygulanan alaşımın mikroyapısında görülen $MgZn_2$ (ikinci faz) çökeltilerinin HTPP ısıt işlemi uygulanan alaşımın mikroyapısına kıyasla daha belirgindir. Bu durum, uygulanan ısıt işlem yöntemi ve parametrelerinin yapıda oluşan $MgZn_2$ çökeltilerinin boyutları ve hacimce oranları üzerinde etkili olduğunu göstermektedir (Berg vd., 2001; Viana vd., 1999).



Şekil 3. T6 ve HTPP yöntemleriyle yaşlandırılan ve farklı sıcaklıklarda çekme testi uygulanmış AA7075 alaşımının mikroyapı SEM görüntüleri.

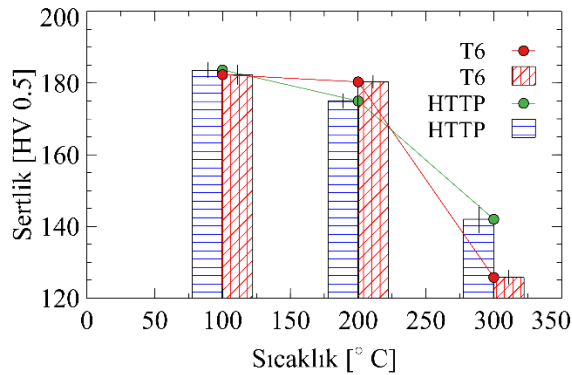
Yüksek sıcaklıklarda çekme testi uygulanan alaşımların XRD analizi sonuçlarına göre, alaşımların mikroyapılarında alüminyumun (matris faz) yanında 7xxx serisi alaşımlarda S fazı olarak da bilinen tanımlanan Al_2CuMg fazı, η (MgZn_2) fazı ve $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ fazının olduğu belirlenmiştir (PDF Card No.: 00-001-1176, Al_2CuMg PDF Card No: 00-028-0014, MgZn_2 PDF Card No: 00-034-0457, $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ PDF Card No: 00-025-1121). Şekil 4’de elde edilen XRD sonuçları verilmiştir. AA7075 alaşımlarının yapısında MgZn_2 (η) ve $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ (S) fazlarının bulunduğu, daha önce yapılan bazı çalışmalarda da belirtilmektedir (Fakioglu vd., 2013; Zou vd., 2017; Taheri-Mandarjani vd., 2015).



Şekil. 4. Isıl işlem uygulanmış AA7075 numunelerin XRD sonuçları. (a) T6, (b) HTPP.

3.2. Sertlik Sonuçları

Yaşlandırma ısıl işlemleri ile alaşımların yapısında ikinci faz çökeltilerin oluşturularak, dayanımlarının ve sertliklerinin artırılabilirdiği bilimsel bir gerçektir (Ferrer vd., 2003). Genel olarak sertlik ve dayanımdaki artış mekanizması, matristeki ikinci faz parçacıklarının dislokasyon hareketini zorlaştırması/engellemesi ve böylece deformasyon için gerekli olan gerilme seviyesinin yükselmesi olarak açıklanmaktadır. Şekil. 5’de T6 ve HTPP yaşlandırma ısıl işlem uygulanmış ve farklı sıcaklıklarda çekme testi yapılan AA7075 alaşımının sertlik değişimleri verilmiştir.



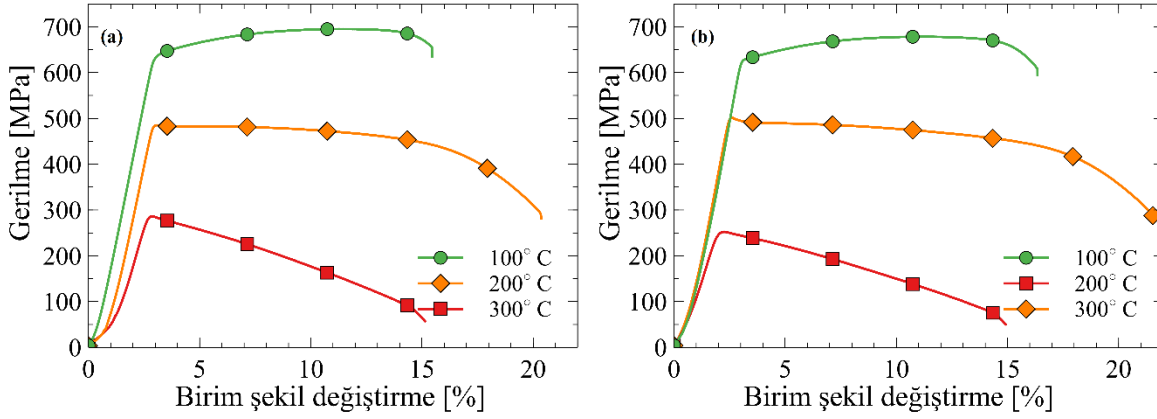
Şekil. 5. T6 ve HTPP yaşlandırma ısıl işlem uygulanmış ve farklı sıcaklıklarda çekme testi yapılan AA7075 alaşımının sertlik değişimleri.

T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış AA7075 alaşımının 100, 200 ve 300°C sıcaklıklarda çekme testlerinden sonraki sertlikleri sırasıyla 182, 180 ve 125 HV olarak gözlemlenirken bu değerler HTPP uygulanmış numuneler için 183, 175 ve 142 HV olarak ölçülmüştür. 100°C sıcaklıkta çekilen numunelerde elde edilen sonuçlar, AA7075 alaşımının ısıl işlem uygulanmamış halinin yaklaşık 2 katıdır. Yaşlandırma ısıl işlemlerinin AA7075 alaşımının sertliğini belirgin olarak artırdığı bilindiği için, elde edilen sertlik değerleri literatürdeki çalışmalarla uyumludur (Zhang vd., 2020; Zhang vd., 2019; Jung vd., 2018). Bununla birlikte, T6 ısıl işlemi uygulanan malzemelerin ise HTPP uygulanan alaşımlara göre daha yüksek sertliğe sahip olduğu bildirilmiştir (Kalyon & Özyürek, 2017; Rahman vd., 2018; Iwaszko & Kudła, 2020). T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanan alaşımlarda ikinci faz

çökeltilerin tane sınırlarında yoğun ve sürekli dağılım sergilemektedir (Li vd., 2008). Bu durum, T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanan numunelerin sertliklerinin daha yüksek olduğunu açıklamaktadır. Yüksek sıcaklıkta çekme testi uygulanan numunelerin sertlikleri, artan sıcaklıkla birlikte azalmaktadır. Bilindiği gibi artan sıcaklıkla birlikte bütün metal ve alaşımlarının dayanımı ve sertlikleri azalmaktadır.

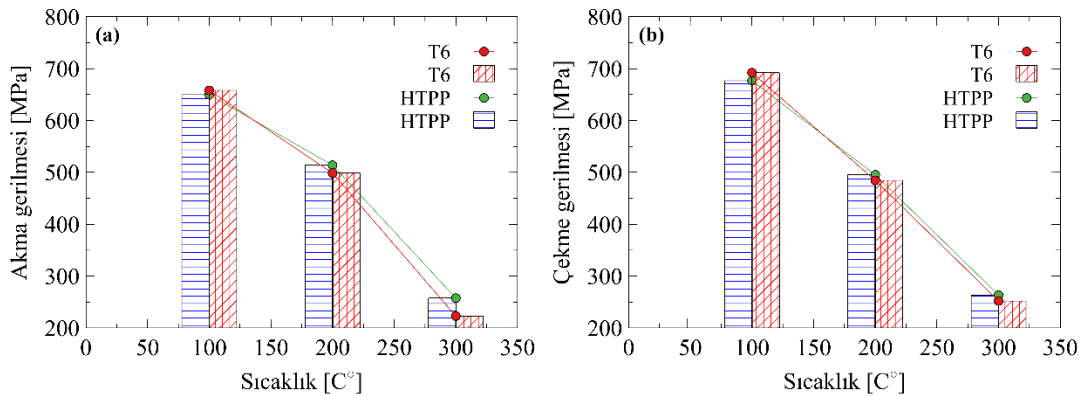
3.3. Çekme Testi Sonuçları

Şekil 6'da, yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen çekme testlerinden elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri verilmiştir. Farklı yaşlandırma ısıl işlemleri (T6 ve HTPP) uygulanmış AA7075 alaşımların çekme-uzama eğrileri tahmin edildiği gibi, artan sıcaklıkla birlikte azalma eğilimi sergilemektedir. Bu da daha düşük gerilme seviyelerinde deformasyonun meydana geldiğini göstermektedir.



Şekil. 6. AA7075 numunelerin farklı sıcaklıklardaki gerilme- birim şekil değiştirme eğrileri (a) T6, (b) HTPP.

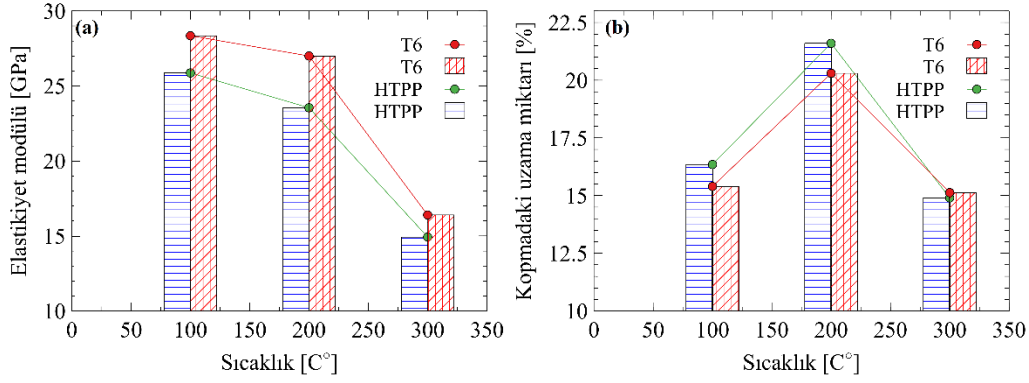
İki farklı (T6 ve HTPP) yaşlandırma ısıl işlem uygulanan numunelerden elde edilen eğrilerin birbirleriyle benzer bir davranış sergiledikleri görülmektedir. Gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri üzerinden akma gerilmesi, çekme gerilmesi ve elastikiyet modülü gibi değerler hesaplanarak, Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil. 7. AA7075 numunelerin farklı sıcaklıklardaki akma ve çekme gerilmeleri değerlerinin karşılaştırılması (a) akma gerilmesi, (b) çekme gerilmesi.

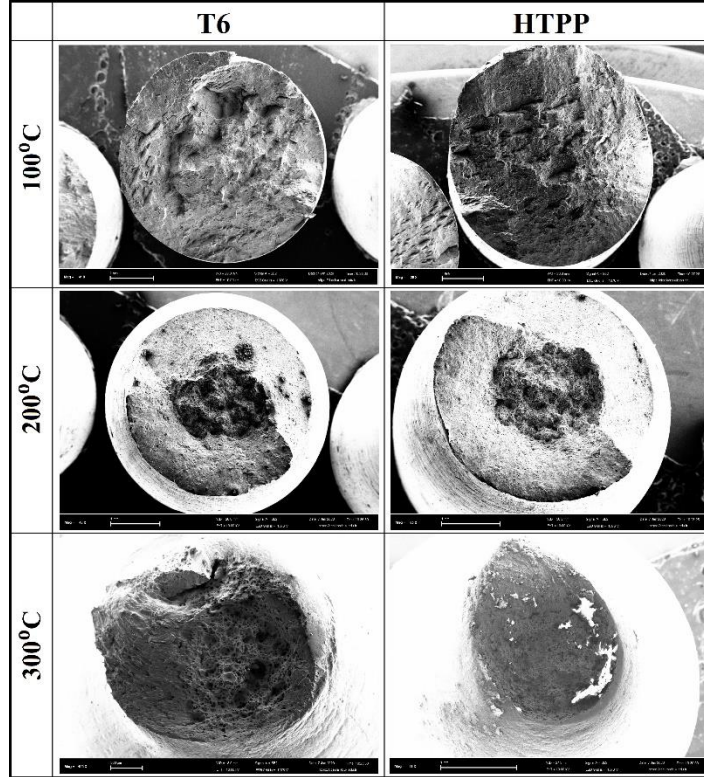
Şekil 7'de verilen akma ve çekme gerilmesi sonuçları incelendiğinde, T6 ısıl işlemi uygulanan AA7075 numunelerin 100, 200 ve 300°C sıcaklıklarda akma ve çekme dayanımı değerleri sırasıyla (akma gerilmesi/çekme gerilmesi) 658/692, 484/498 ve 222/252 MPa iken aynı değerler HTPP numuneler için 649/676, 495/513 ve 257/263 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu veriler dikkate alındığında, HTPP ısıl işlemi ile T6 ısıl işlemi ile elde edilen dayanıma oldukça yakın bir dayanım artışının elde edildiğini göstermektedir. T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanan alaşımın akma ve çekme dayanımının, HTPP uygulanan malzemelerden bir miktar daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuç, HTPP numunelerin yaşlandırma öncesinde daha uzun süre ısıl işleme maruz kalmaları ve dolayısıyla oluşan $MgZn_2$ çökeltilerinin daha kaba ve az yoğun oluşması olarak yorumlanabilir. Benzer durum uzun süreli yaşlandırma sürelerinde yapıdaki $MgZn_2$ çökeltilerinin boyutlarının büyümesi olarak ifade edilmektedir (Ozer & Karaaslan, 2017). Akma gerilmesi ve çekme gerilmesi değerlerinin de sıcaklığın artmasıyla önemli bir miktarda azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumun Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilen mikroyapılardaki farklılıklardan da anlaşılacağı gibi artan sıcaklıkla malzemedeki yaşlanma etkilerinin kaybolması sebebiyle gerçekleştiği söylenebilir. Gerilme-birim şekil değişikliği grafiklerinden elde edilebilecek ve malzemenin elastik ve plastik özellikleri hakkında bilgi verebilecek diğer parametreler ise elastikiyet modülü ve

numunelerin toplam uzama miktarlarıdır. Şekil 8'de, AA7075 alaşımlarının elastikiyet modülü değerleri ve kopma anına kadar gerçekleşen uzama miktarları verilmiştir.



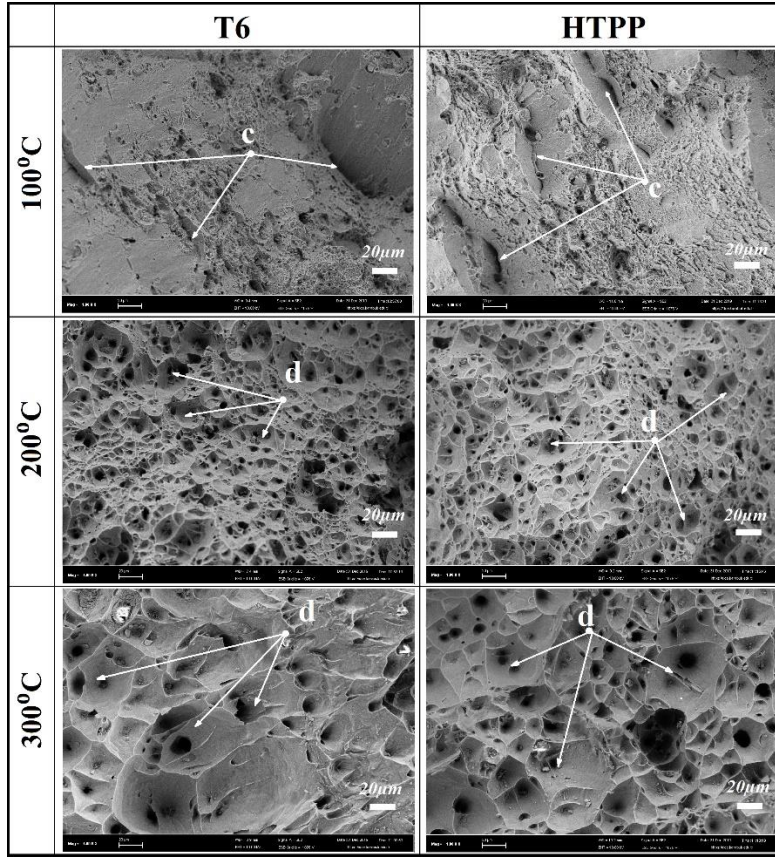
Şekil. 8. AA7075 numunelerin farklı sıcaklıklardaki (a) elastikiyet modülü, (b) kopma anındaki uzama miktarı.

Şekil. 8 'de verilen AA7075 numunelerin farklı sıcaklıklardaki elastikiyet modülleri karşılaştırıldığında, T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış olan numunelerin yüksek sıcaklıklarda HTPP ısıl işlemi uygulanan numunelere kıyasla daha yüksek elastikiyet modülüne sahip olduğu görülmektedir. Kopma anına kadar gerçekleşen plastik deformasyonla birlikte numunelerin uzama miktarları incelendiğinde, HTPP yaşlandırma ısıl işlemi uygulanan numunelerin 300°C sıcaklığa kadar, T6 uygulanan numunelere kıyasla daha fazla uzama sergiledikleri görülmektedir. Bu sonuçlardan sonra, HTPP ısıl işlemi uygulanan numunelerin daha sünek oldukları söylenebilir. T6 ısıl işlemi uygulanan malzemelerin daha yüksek elastikiyet modülüne sahip olması daha gevrek oldukları anlamına geldiği gibi, daha düşük yüzde uzama davranışı göstermelerini de açıklamaktadır. T6 ve HTPP ısıl işlemleri uygulanmış olan AA7075 numunelerin yüksek sıcaklıklardaki deformasyon davranışını daha detaylı olarak irdeleyebilmek adına çekme numunelerinin kırık yüzeyleri incelenmiş ve bu yüzeylerin SEM görüntüleri Şekil 9'da verilmektedir.



Şekil. 9. AA7075 numunelerin farklı sıcaklıklardaki kırılma yüzeylerinin makro görüntüleri.

Şekil 9'de numunelerin kırılan yüzeylerin makro görüntüleri bulunmaktadır. 100°C sıcaklıkta çekilen numunelerin kırık yüzeylerinin eğik düzlemsel oldukları gözlemlenmiştir. Fakat 200°C sıcaklıkta çekilen numunelerin kırık yüzeylerinin merkezlerinin düz, kenarlarının ise konik oldukları görülmektedir. Numunelerin boyun çapları başlangıca göre 100°C sıcaklıkta yaklaşık %18, 200°C sıcaklıkta yaklaşık %34 ve 300°C sıcaklıkta ise yaklaşık %60 küçülmüştür. Uygulanan iki farklı ısıl işlemin numunelerin kırılma yüzeylerinin makro-yapılarında belirgin bir farklılık olmadığı görülmektedir. Şekil 10'da kırık yüzeylerin SEM görüntüleri verilmektedir.



Şekil. 10 AA7075 numunelerin farklı sıcaklıklardaki kırılma yüzeylerinin mikro görüntüleri.

Şekil 10 da verilen kırık yüzey SEM görüntüleri incelendiğinde, yüksek sıcaklıklarda çukurcukların (Şekil 10, “d”) ve çatlak benzeri hatların düzlemsel olduğu bölgelerin (Şekil 10, “c”) varlığı görülebilmektedir. Kırık yüzeylerde çukurcuklar, mikro gözenekler ve $MgZn_2$ çökeltileri gözlenmektedir. Yaşlandırma ısıl işlemi uygulanan alüminyum alaşımlarının $MgZn_2$ çökeltileri içerdiklerinde, kırılma yüzeylerde çukurcuk oluşumu şeklinde sünek bir davranış gösterdiği daha önce yapılan bir çalışmada ifade edilmektedir (Kobayashi, 2000). Aynı zamanda çukurcuk oluşumunda, çekme testleri sırasındaki gerilim yüklemesi sırasında oluşan mikro gözeneklerin birleşmesi de önemli bir faktördür (Rout vd., 2015). Bu mikro gözeneklerin çekme testi sırasındameydana gelen gerilmelerden kaynaklı, parçacık (çökelti) matris ayrışmasından veya bu parçacıklarda meydana gelen kırılmalardan da kaynaklanabilmektedir (Maire vd., 2011). Kırılma yüzeyi SEM görüntülerinin, literatürdeki benzer alaşımların görüntüleri ile benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır (Rout vd., 2015; Malarvizhi & Balasubramanian, 2011; Acer vd., 2016; Liu vd., 2003]. Sonuç olarak numunelerin 200°C sıcaklığa kadar yarı-sünek bir kırılma davranışı gösterdiği söylenebilir. Bazı çalışmalarda her iki kırılma mekanizmasının da aynı malzemedeki farklı bölgelerde meydana gelebildiği vurgulanmaktadır (You vd., 1995; Pahlavani vd., 2019). Sıcaklığın artmasıyla çatlak yüzeyi gibi düzlemsel kırılma yüzeyleri yerlerini, daha düzenli ve yoğun çukurcuk oluşumuna bırakmaktadır. Bu sıcaklıklarda malzeme tümüyle sünek olarak kırılmaya uğramaktadır. Sıcaklık arttıkça çukurcukların boyutlarında da bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum ikinci faz çökeltilerinin birleşmesinden ve boyutlarının büyümesinden kaynaklanabilmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışma, T6 ve HTPP yaşlandırma ısıl işlemleri uygulanmış AA7075 alaşımlarının 300°C sıcaklığa kadar olan yüksek sıcaklıklardaki çekme davranışının incelenmesini kapsamaktadır. Optik ve taramalı elektron mikroskobu ile yapılan mikroyapı incelemelerinde, yaşlandırma ısıl işlemleri sonucunda yapıda ikincil faz ($MgZn_2$) çökeltilerinin olduğu görülmüştür. Çekme testi sonuçlarına göre T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanan numuneler az miktarda daha yüksek akma ve çekme dayanımı özellikleri göstermektedirler. Sertlik sonuçlarında, T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanan numunelerin en iyi sonucu verdiğini göstermekle birlikte, artan sıcaklıkla birlikte, HTPP yaşlandırma ısıl işlemi uygulanan numunelerin sertliklerinin, T6 ısıl işlem uygulanan numunelere göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Sıcaklığın artmasıyla tüm mekanik özelliklerde bir azalma gözlemlenmiştir. Fakat 300°C sıcaklıkta her bakımdan ani bir düşüş meydana gelmiştir. Süneklik bakımından HTPP yaşlandırma ısıl işleminin AA7075 alaşımında sünekliği arttırdığı belirlenmiştir. Yapılan kırılma yüzeyleri incelemeleri ile numunelerin 100°C sıcaklığa kadar yarı-sünek, daha yüksek sıcaklıklarda ise sünek bir kırılma mekanizması ile deforme olduğu belirlenmiştir.

Referanslar

Acer, E., Çadırli, E., Erol, H., Kirindi, T. & Gündüz, M. (2016). Effect of heat treatment on the microstructures and mechanical properties of Al-5.5Zn-2.5Mg alloy. *Materials Science and Engineering A*, 662,144–156.

- Andreatta, F., Terryn, H. & De Wit J. H. W. (2004). Corrosion behaviour of different tempers of AA7075 aluminium alloy. *Electrochimica Acta*, 49 (17–18), 2851–2862.
- Berg, L. K., Gjønnnes, J., Hansen, V., Li, X. Z., Knutson-Wedel, M., Schryvers, D., & Wallenberg, L. R. (2001). GP-zones in Al–Zn–Mg alloys and their role in artificial aging. *Acta materialia*, 49(17), 3443–3451.
- Cassada, W., Liu, J. & Staley, J. (2002). Aluminum alloys for aircraft structures. *Advanced Materials And Processes*, 160 (12), 27–29.
- Chinh, N. Q., Lendvai, J., Ping, D. H. & Hono, K. (2004). The effect of Cu on mechanical and precipitation properties of Al–Zn–Mg alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 378(1-2), 52–60.
- Cina, B. M. (1974). Unitet States Patent. Patent Number: 3,856,584.
- Deschamps, A., Bréchet, Y., Guyot, P. & Livet, F. (1997). On the influence of dislocations on precipitation in an Al-Zn-Mg alloy. *Zeitschrift Fuer Metallkunde/Materials Research and Advanced Techniques*, 88 (8), 601–606.
- Donald O. S. (1994). United States Patent. Patent Number: 3,198,676.
- Fakioglu, A., Özyürek, D. & Yilmaz, R. (2013). Effects of different heat treatment conditions on fatigue behavior of AA7075 alloy. *High Temperature Materials and Processes*, 32 (4), 345–351.
- Ferrer, C. P., Koul, M. G., Connolly, B. J. & Moran, A. L. (2003). Improvements in strength and stress corrosion cracking properties in aluminum alloy 7075 via low-temperature retrogression and re-aging heat treatments. *Corrosion*, 59 (6): 520–528.
- Guo, Y., Zhou, M., Sun, X., Qian, L., Li, L., Xie, Y., Liu, Z., Wu, D., Yang, L., Wu, T., Zhao, D., Wang, J., & Zhao, H. (2018). Effects of temperature and strain rate on the fracture behaviors of an Al-Zn-Mg-Cu alloy. *Materials*, 11 (7), 1–15.
- Hatch, J. E. (1984). *Aluminum: properties and physical metallurgy*. Metals Park, Ohio: American Society for Metals,
- Huang, L. P., Chen, K. H., Li, S. & Song, M., (2007). Influence of high-temperature pre-precipitation on local corrosion behaviors of Al-Zn-Mg alloy. *Scripta Materialia*, 56 (4), 305–308.
- Huang, L., Chen, K., & Li, S. (2012). Influence of grain-boundary pre-precipitation and corrosion characteristics of inter-granular phases on corrosion behaviors of an Al-Zn-Mg-Cu alloy. *Materials Science And Engineering B: Solid-State Materials For Advanced Technology*, 177 (11), 862–868.
- Iwaszko, J. & Kudła, K. (2020). Surface remelting treatment of 7075 aluminum alloy — microstructural and technological aspects. *Materials Research Express*, 7(1): 016523
- Jung, S. H., Lee, J. & Kawasaki, M. (2018). Effects of pre-strain on the aging behavior of Al 7075 alloy for hot-stamping capability. *Metals*, 8 (2):137.
- Kalyon, A., & Özyürek, D. (2017). Investigation of the effect of different heat treatments on wear behavior of AA7075 Alloy. *Acta Physica Polonica A*, 131 (1), 150–152.
- Kim, S. W., Kim, D. Y., Kim, W. G. & Woo, K. D. (2001). The study on characteristics of heat treatment of the direct squeeze cast 7075 wrought Al alloy. *Materials Science and Engineering A*, 304–306 (1–2), 721–726.
- Kobayashi, T. (2000). Strength and fracture of aluminum alloys. *Materials Science And Engineering A*, 286 (2), 333–341.
- Li, J. F., Peng, Z. W., Li, C. X., Jia, Z. Q., Chen, W. J. & Zheng, Z. Q. (2008). Mechanical properties, corrosion behaviors and microstructures of 7075 aluminium alloy with various aging treatments. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 18(4), 755–762.
- Liu, D., Atkinson, H. V., Kapranos, P., Jirattiticharoen, W. & Jones, H. (2003). Microstructural evolution and tensile mechanical properties of thixoformed high performance aluminium alloys. *Materials Science and Engineering A*, 361 (1–2), 213–224.
- Liu, G., Zhang, G. J., Ding, X. D. Sun, J. & Chen, K. H. (2003). Dependence of fracture toughness on multiscale second phase particles in high strength Al alloys. *Materials Science and Technology*, 19 (7), 887–896.
- Ma, K., Wen, H., Hu, T., Topping, T. D., Isheim, D., Seidman, D. N., Lavernia, E. J. & Schoenung, J. M. (2014). Mechanical behavior and strengthening mechanisms in ultrafine grain precipitation-strengthened aluminum alloy. *Acta Materialia*, 62 (1), 141–155.
- Maire, E., Zhou, S., Adrien, J. & Dimichiel, M., (2011). Damage quantification in aluminium alloys using in situ tensile tests in X-ray tomography. *Engineering Fracture Mechanics*, 78 (15), 2679–2690.
- Malarvizhi, S. & Balasubramanian, V. (2011). Effect of welding processes on AA2219 aluminium alloy joint properties. *Transactions Of Nonferrous Metals Society Of China (English Edition)*, 21 (5), 962–973.

- Marlaud, T., Deschamps, A., Bley, F., Lefebvre, W., & Baroux, B. (2010). Influence of alloy composition and heat treatment on precipitate composition in Al-Zn-Mg-Cu alloys. *Acta Materialia*, 58 (1), 248–260.
- Melvin, H. B., (1943). Unitet States Patent. Patent Number: 4,477,292.
- Mouritz, A. P. (2012). *Introduction to Aerospace Materials*. Cambridge, England: Woodhead Publishing Ltd.
- Ozer G., & Karaaslan A. (2017). Properties of AA7075 aluminum alloy in aging and retrogression and reaging process. *Transactions of Nonferrous Metals Society Of China (English Edition)*, 27 (11), 2357–2362.
- Pahlavani, M., Marzbanrad, J., Rahmatabadi, D., Hashemi, R. & Bayati, A. (2019). A comprehensive study on the effect of heat treatment on the fracture behaviors and structural properties of Mg-Li alloys using RSM. *Materials Research Express*, 6(7), 076554.
- Park, S. Y., & W. J. Kim. (2017). Enhanced Hot Workability and Post-Hot Deformation Microstructure of the As-Cast Al-Zn-Cu-Mg Alloy Fabricated by Use of a High-Frequency Electromagnetic Casting with Electromagnetic Stirring. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 48(7), 3523-3539.
- Rahman, A. M., Sirajudeen, N. & Patnaik, S. (2018). Effect of different heat treatments and varying volume fraction of nano Al₂O₃ particles on the hardness and wear resistance of Al 7150 alloy matrix composite synthesized by hot uniaxial compaction technique. *Materials Research Express*, 6(8), 086515.
- Rao, A. C. U., Vasu, V., Govindaraju, M. & Srinadh, K. V. S., (2016). Stress corrosion cracking behaviour of 7xxx aluminum alloys: A literature review. *Transactions Of Nonferrous Metals Society Of China (English Edition)*, 26 (6), 1447–1471.
- Rometsch, P. A., Zhang, Y. & Knight, S. (2014). Heat treatment of 7xxx series aluminium alloys - Some recent developments. *Transactions Of Nonferrous Metals Society Of China (English Edition)*, 24 (7), 2003–2017.
- Rout, P. K., Ghosh, M. M. & Ghosh, K. S. (2015). Microstructural, mechanical and electrochemical behaviour of a 7017 Al-Zn-Mg alloy of different tempers. *Materials Characterization*, 104,49–60.
- Shojaei, K., Sajadifar, S. V., & Yapici, G. G. (2016). On the mechanical behavior of cold deformed aluminum 7075 alloy at elevated temperatures. *Materials Science and Engineering A*, 670,81–89
- Şimşek, İ., Şimşek, D., Özyürek, D. & Tekeli, S. (2019). The effect of the aging time on microstructure and mechanical properties of the AA7075 alloy after T6 heat treatment. *Metallofiz. Noveishie Tekhnol*, 41(6), 817-824.
- Song, M. & Chen, K. (2008). Effects of the enhanced heat treatment on the mechanical properties and stress corrosion behavior of an Al-Zn-Mg alloy. *Journal of Materials Science*, 43 (15), 5265–5273.
- Standard, A. S. T. M. (2009). ASTM E21–09: standard test method for elevated temperature tension tests of metallic materials. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Standard, A. S. T. M., E3-11. (2011). Standard guide for preparation of metallographic specimens. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Taheri-Mandarjani, M., Zarei-Hanzaki, A., & Abedi, H. R. (2015). Hot ductility behavior of an extruded 7075 aluminum alloy. *Materials Science and Engineering A*, 637,107–122.
- Tekeli, S., Şimşek, İ., Şimşek, D. & Özyürek, D., (2019). Effects of different solid solution temperatures on microstructure and mechanical properties of the AA7075 alloy after T6 heat treatment. *High Temperature Materials and Processes*, 38 (1), 892-896.
- Viana, F., Pinto, A. M. P., Santos, H. M. C. & Lopes, A. B. (1999). Retrogression and re-ageing of 7075 aluminium alloy: microstructural characterization. *Journal of Materials Processing Technology*, 92,54–59.
- You, C. P., Thompson, A. W. & Bernstein, I. M. (1995). Ductile fracture processes in 7075 aluminum. *Metallurgical And Materials Transactions A*, 26 (2), 407–415.
- Zhang, H. B., Wang, B., Zhang, Y. T., Li, Y., He, J. L. & Zhang, Y. F. (2020). Influence of aging treatment on the microstructure and mechanical properties of CNTs/7075 Al composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 814,152357.
- Zhang, P. X., Yan, H., Liu, W., Zou, X. L. & Tang, B. B. (2019). Effect of T6 heat treatment on microstructure and hardness of nanosized Al₂O₃ reinforced 7075 aluminum matrix composites. *Metals*, 9 (1),44.
- Zhou, M., Lin, Y. C., Deng, J., & Jiang, Y. Q. (2014). Hot tensile deformation behaviors and constitutive model of an Al-Zn-Mg-Cu alloy. *Materials and Design*, 59,141–150.
- Zou, X. L., Hong, Y. A. N., & Chen, X. H. (2017). Evolution of second phases and mechanical properties of 7075 Al alloy processed by solution heat treatment. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 27(10), 2146-2155.



Channel Optimization By Using Spectrum Sensing Techniques In Cognitive Radio Network

Rüstem Yılmazel¹ , Nihat İnanç² 

¹Kırıkkale Vocational High School , Kırıkkale University, 71450 Kırıkkale, TURKEY

³Department of Electrical and Electronics Eng. , Faculty of Engineering, Kırıkkale University 71450 Kırıkkale, TURKEY

Başvuru/Received: 28/04/2020

Kabul / Accepted: 10/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Abstract

In recent years, the rapid development of wireless technologies has increased the need for frequency spectrum usage. To overcome this problem, Cognitive Radio (CR) has emerged as a new technique which enables the use of free ranges in the frequency spectrum. Cognitive radio networks (CRNs) are based on the principle of benefiting from the empty spectrum of secondary users (Sus) by using sensing techniques and analyzing frequency ranges. Although the frequency spectrum is used by various technologies, some frequency ranges are used inefficiently and inadequately. Fixed spectrum allocations cause unused frequency channels in the radio frequency spectrum. Spectrum detection, which is one of the features that cognitive radio applies to reduce the inefficiency of spectrum usage, scans all the primary users (PUs) in the spectrum area and the empty frequency bands. In this study, a method has been proposed to detect unused stationary frequency bands and to use these frequency bands effectively. This method, which is named as matched filter detection, was examined in AWGN channel and its results were evaluated in MATLAB.

Key Words

“Matched filter detection, spectrum sensing, cognitive radio, neyman pearson approach”

1. Introduction

With the increase in the number of users in wireless communication, the gap in the frequency spectrum is insufficient for this need (Khattab 2013). According to the report published by the Federal Communications Commission (FCC) in 2002, it was found that 70% of the frequency spectrum was used efficiently. [Zahed et al. 2013] In order to use the available frequency spectra more effectively, the concept of dynamic spectrum access has been proposed. Today, CR is one of the most important structures of communication with dynamic spectrum Access (Federal Communications Commission 2002).

CR has been developed for more efficient use of frequency channels in a spectrum and is a technology that allows unlicensed (secondary) users to use these channels when licensed (primary) users in the spectrum channel do not use their frequency channels. Thus, it is aimed to increase the efficiency by allowing SUs to use appropriate channels on the frequency band. There are various spectrum detection techniques in order to enable the use of frequency channels more effectively [Tragos et al. 2013]. Thanks to these detection techniques, it is determined whether there is a licensed user in the spectrum and if it does not, the spectrum is used by unlicensed users

The concept of CR was first proposed by Josep Mitola. IEEE 802.22 standard was developed according to the proposed method (Mitola 1999). Song and Xie proposed a predefined spectrum hand-shifting approach in cognitive radio-free networks. In their proposed approach, the channel switching policy and the predefined spectrum switching protocol ensure that the spectrum switching takes place before the PU activity starts in the channel to prevent interference (Song et al. 2010).

Liu and colleagues studied spectrum shifting, the probability model of spectrum holes, and the behavior of CR users. In addition, the spectrum-shift time relationship model was proposed in their studies. In addition, the effect of spectrum shifting and the service time spent by CR users for spectrum shifting were also investigated (Liu et al. 2008). Xie and colleagues proposed a multi-cell spectrum shifting technique to solve the recurrent spectrum shifting problem, which led to poor performance of SUs.[Xie et al. 2011] Coutinho and colleagues proposed a new spectrum shifting method that reduces the probability of errors in detecting the (PU). This provides better spectrum management in order to fill the spectrum efficiently and avoid damage to the PU (Coutinho et al. 2012).

Fahimi and Ghasemi investigated how multi-spectrum shifting in CRNs affects the data transmission time of SUs. In the proposed approach, when the presence of the PUs in the licensed channel is detected, the spectrum is switched to the PU by switching the SU by initiating the shifting process. In their study, the spectrum shifting realization rate was examined and the PRP $M / G / 1$ queue model was used to characterize the multiple shifting process and data transmission time of the SUs. If a handover occurs while the SU is transmitting, the SU subject to the handover has a higher priority than the other SUs (Fahmi et al. 2014).

Tianwei and colleagues proposed a comprehensive cost-based spectrum shifting algorithm. In their study, channel selection is realized by using multiple parameters such as transmission delay, channel bandwidth SNR and user characteristics. Thus, all these factors are taken into account when measuring system performance (Tianwei et al. 2014). Mahamuni and colleagues proposed a real-time empirical approach for the design of the spectrum shifting algorithm based on the spectrum detection results. Thanks to this approach, the spectrum shifting delay of the hand shift mechanism in CRNs is minimized (Mahamuni et al. 2014). Chinh Chu and colleagues developed a dynamic spectrum access technique that considers priority traffic in CRNs. PUs, first-class SUs, and second-class SUs have the highest priority in the technique. First class SUs have higher priority than second class SUs (Chinh et al. 2014).

2. Cognitive Radio Network

CR is a new structure that allows easy access to suitable frequency gaps. CR is defined as a system that constantly interacts with its area and can dynamically change communication parameters. The cognitive feature of CR comes from the ability of CR receivers and transmitters to perceive the surrounding radio area, analyze the information obtained and decide what needs to be done accordingly. CRN has three basic steps. these are known as spectrum detection, spectrum analysis and spectrum access decisions (Potdar et al. 2013).

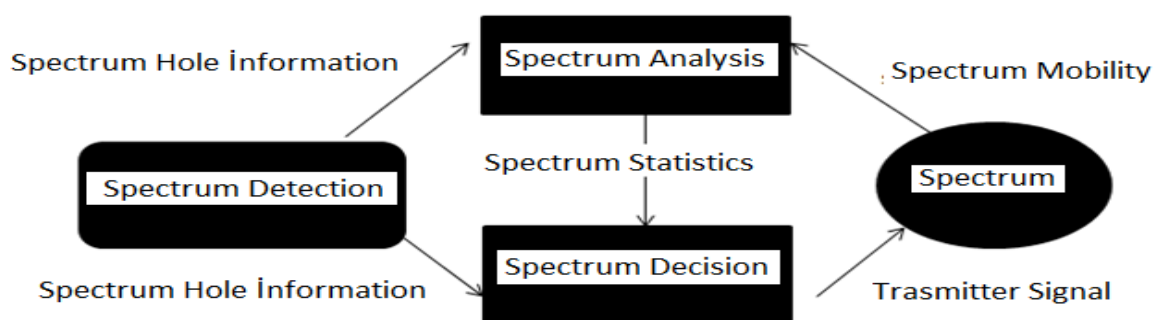


Figure 1. Cognitive Radio Area

Spectrum detection is defined as the ability of CR to measure electromagnetic interactions due to radio transmissions in different spectrum bands. Since it provides information about spectrum usage in the radio areas, the most important function of CR is seen as spectrum detection. CR should be capable of making real-time decisions about which frequency band should be detected for how long. The perceived spectrum information should be sufficient to ensure that the CR achieves accurate results. In addition, spectrum detection should be fast enough to track changes in the radio areas. The current spectrum detection techniques are based on the activities of PUs (Ahmed et al. 2013).

Spectrum analysis is the determination of the presence of spectrum gaps in the radio area according to the detected radio parameters. A spectrum hole is defined as a frequency band that is not used by PUs at a given time and location. Transmission activities are decided according to the results of spectrum detection and analysis in the last stage of the cycle of CR. The information in the available spectrum bands is used to define the radio receiver and transmitter parameters in order to be able to transmit in the frequency band. CR that based on perceived spectrum information and transceiver architecture determines the values of the parameters to be configured for new transmissions (Konishi et al. 2013).

3. Matched Filter Detection

Matched filter detection is the best-known method for detecting PUs if the transmitted signal is known. It is the most suitable linear filter used to obtain the maximum SNR value in the presence of additional channel noise. By matching the characteristics of the known signal with the characteristics of the unknown signal, the presence of the PU is detected. If the SU uses the spectrum, it is sent to another frequency band. Otherwise, if there is no match between the two signals, the SU continues to use the frequency band (Han et al. 2010).

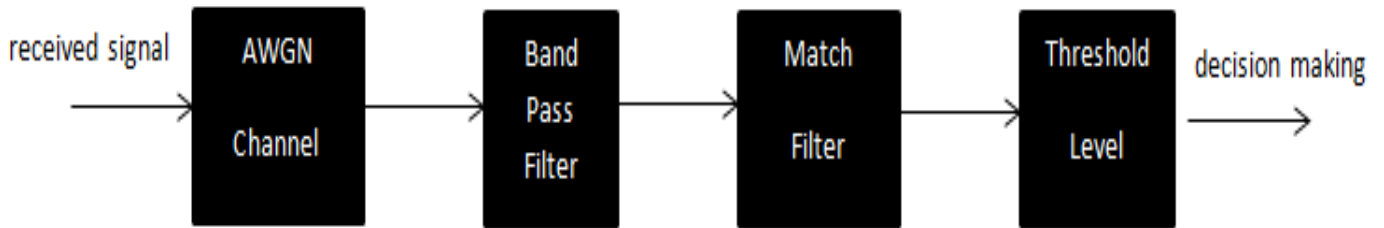


Figure 2. The block diagram of Matched filter detection

The block diagram of matched filter detection is shown in figure 2. Channel noise is added to the signal sent by the transmitter and the received signal is passed through the bandpass filter. By using the filter, signals belonging to different frequencies from the transmission channel are eliminated. The unknown signal is passed through the filter formed in accordance with the characteristics of the known signal. Finally, if the value of the received signal is above threshold level, the presence of the PU is detected and the spectrum is emptied.

4. Mathematical Equations

In this study, the results were obtained by considering the AWGN channel. If we assume that there is a gaussian noise in the transmission channel and $x[n]$ is the received signal, The signal $y[n]$ is as in equation .1

$$y[n] = \begin{cases} H_0 & ; \sigma_n^2 = 0 \\ H_1 & ; \sigma_n^2 \neq 0 \end{cases} \quad (1)$$

H_0 represents that the primary user is not in the frequency band but H_1 represents the presence of the primary user. The test statistic is calculated according to the status of the primary user.

$$T_{(i)} = \sum_{n=0}^{N-1} x[n]y[n] \quad (2)$$

According to the Neyman Pearson approach, false alarm probability (Pfa) and detection probability (Pd) equations are calculated to evaluate the performance of the system.

$$P_{fa} = Q\left(\frac{y}{\sigma_n \sqrt{E}}\right) \quad (3)$$

$$P_d = Q\left(\frac{y - E}{\sigma_n \sqrt{E}}\right) \tag{4}$$

Q() is used to find the gaussian function.

$$E = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n]^2 \tag{5}$$

E and y are used to generate the threshold value for detection probability and false alarm probability. N represents the sample value. This value changes according to different SNR values.

$$N = \frac{(Q(P_{fa})^{-1} - Q(P_d)^{-1})^2}{SNR} \tag{6}$$

5. Results

In this section, we have analyzed the simulation results of the matched filter detection method through the AWGN channel. In Figure 3, matched filter detection technique and energy sensing technique were compared. As it is clear from the results obtained, match filter detection technique gave better results than energy detection technique. This is because it has more detailed information about PUs. This has led to more precise values about the threshold level. Accuracy of the threshold level has led to a reduction of the error in the detection of the PU.

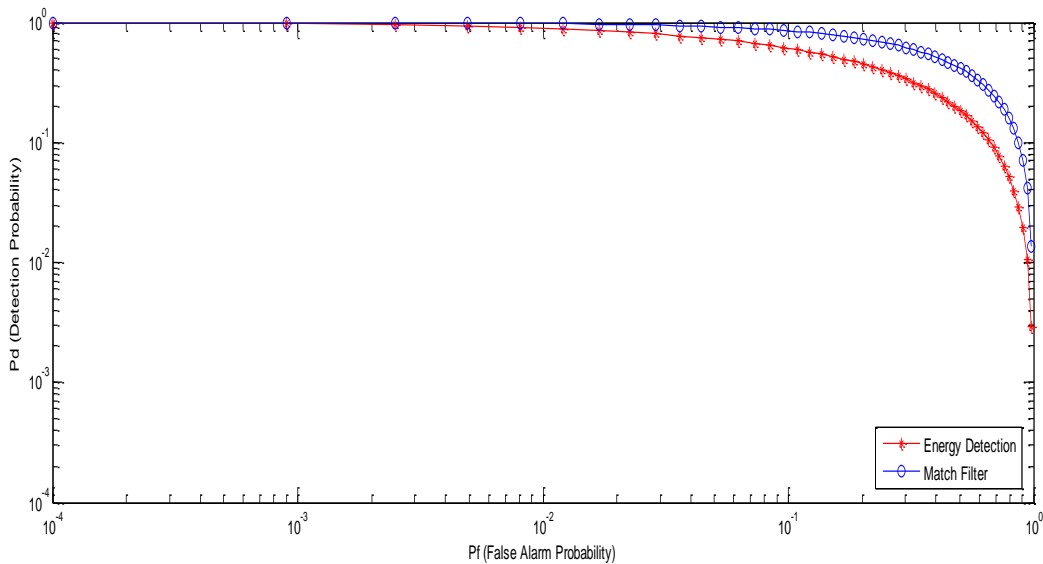


Figure 3. Comparison of matched filter detection method and energy sensing technique

In Figure 4-5, We analyzed the performance of matched filter detection technique according to different SNR values. As the SNR value increases, there should be a decrease in system performance. Because the amount of noise in the radio area will increase, the possibility of making a wrong decision in the system will increase. The ideal SNR value is considered to be 1-2 dB. When we look at our results, performance is quite good about 2 dB. There was a slight decrease in performance as the SNR increased in the system, which is quite normal.

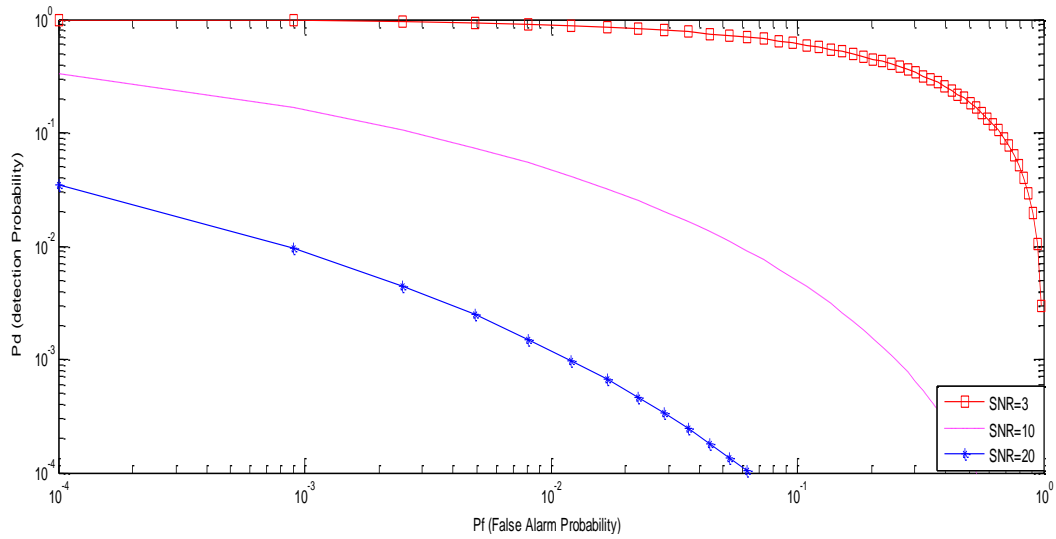


Figure 4. Comparing the results for different SNR values

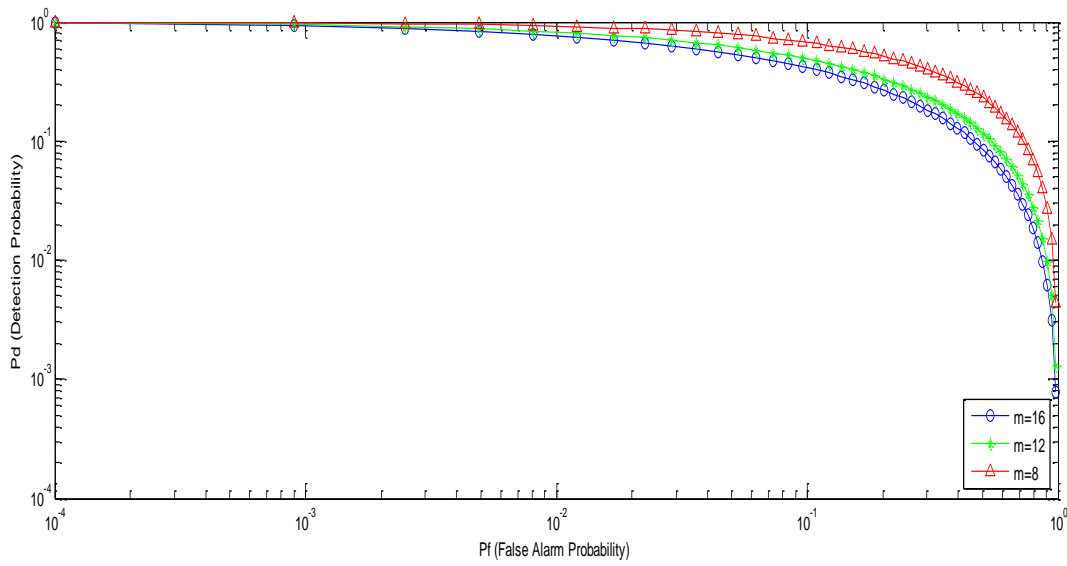


Figure 5. Comparing the results for different sample times

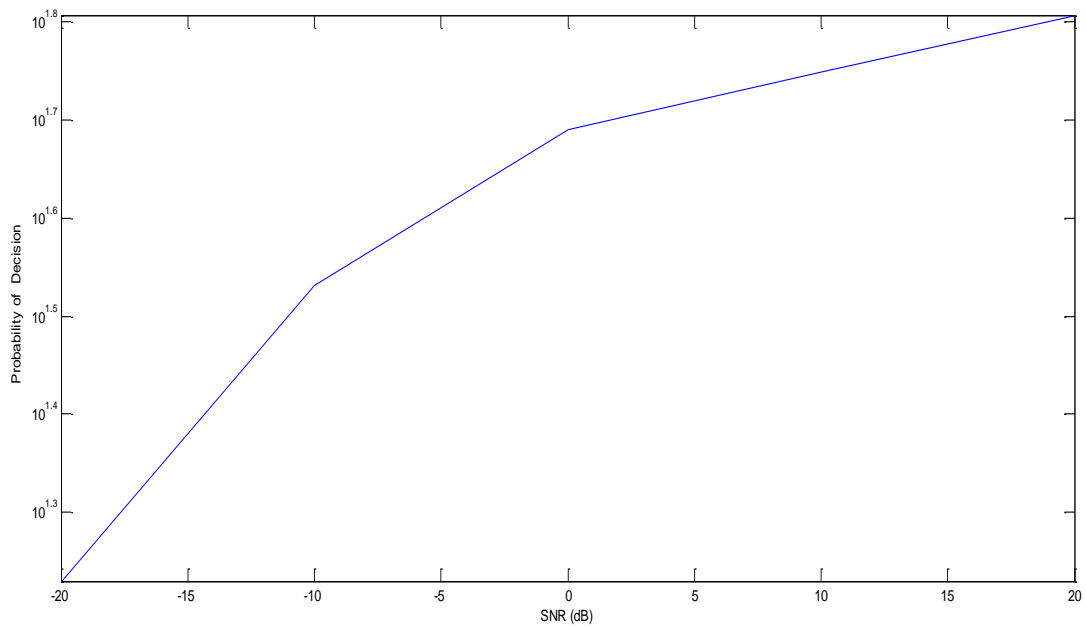


Figure 6. Comparing the results for SNR values and probability of detection

It is shown that how the detection probability of the system changes according to all SNR values in Figure-6. According to the results, the probability of decision increases as the signal power increases. It can be seen from the results that the system is not affected by the noise effects. It shows the effects of the method used on detection probability. As the SNR value increases, the probability of decision is almost error free.

6. Conclusion

In order to accurately detect gaps in the frequency spectrum, matched filter detection method has been applied in this article. To detect the primary user on AWGN channel, the results are examined by using matched filter detection technique. According to the results, it was found that the signal detection using matched filter detection technique gives good results even at very low SNR values. It was observed that the results obtained increased as the SNR values increased. According to the Neyman Pearson approach, the probability of detection increases as the probability of false alarm detection decreases. When the false alarm probability increases too much, the threshold value will decrease and it will be difficult to detect the primary user. In this case, the probability of detection will also decrease. It has been observed that the primary user can be detected at very low times and increase the system gain.

References

- Ahmed, E., Yao, L. J., Shiraz, M., Gani, A. and Ali S. (2013) 'Fuzzy based Spectrum Handoff and Channel Selection for Cognitive Radio Networks', Conference Proceedings, IEEE International Conference on Computer, Control, Informatics
- Bragança, H., Diogo, E., Moniz, F., Amaro, P. (2009). First report of pitch canker on pines caused by *Fusarium circinatum* in Portugal. *Plant Disease*, 93(10), 1079-1079.
- Chinh Chu, T.M., Phan, H., Zepernick, H.J., "Dynamic Spectrum Access for Cognitive Radio Networks with Prioritized Traffics", *IEEE Communications Letters*, 18, 1218-1221, 2014.
- Coutinho, P.S., Rocha Da Silva, M.W., De Rezende, J.F., "Detection Error Aware Spectrum Handoff Mechanism for Cognitive Radios", *International ICST Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications*, 48-53. Stockholm, Sweden, 2012.
- Fahmi, M., Ghasemi, A., "Analysis of the PRP M/G/1 Queuing System for Cognitive Radio Networks with Handoff Management", *Iranian Conference on Electrical Engineering*, 1047-1051. Tehran, Iran, 2014.
- Federal Communications Commission (FCC), "Spectrum policy task force," ET Docket No. 02-135, November 2002.
- Han, H., Wu, Q. and Yin, H. (2010) 'Spectrum Sensing for Real Time Spectrum Handoff in CRNs', Conference Proceedings, IEEE International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering, Chengdu, pp. V1-480 – V1-484.
- Kamra, S.K. (1989). Improving the forest seed situation in some African countries. Turnbull, J. W. (Ed.) *Tropical Tree Seed Research*. Gympie, Australia.
- Khattab A. (2013) *Cognitive Radio Networks: From Theory to Practice*, New York: Springer Science & Business Media.
- Konishi, Y., Masuyama, H., Kasahara, S. and Takahashi, Y. (2013) 'Performance Analysis of Dynamic Spectrum Handoff Scheme with Variable Bandwidth Demand of Secondary Users for Cognitive Radio Networks', *Wireless Networks Journal*, vol. 19, no. 5, July, pp. 607- 617.
- Liu, H.J., Wang, Z.X., Li, S.F., Yi, M., "Study on the Performance of Spectrum Mobility in Cognitive Wireless Network", *IEEE Singapore International Conference on Communication Systems*, 1010-1014. Guangzhou, China, 2008.
- Mahamuni, S.M., Mishra, V., Fernandes, R., "Detection of Spectrum in Cognitive Radio Network for Efficient Spectrum Handoff Mechanism", *International Conference on Emerging Technology Trends in Electronics, Communication and Networking*, 1-6. Surat, India, 2014.
- Mitola J., Maguire G.O., "Cognitive radios: making software radios more personal," *IEEE Personal Communications*, 1999, vol. 6, p.13-18.
- Pinestrength, (2017). COST Action FP1406: Pine pitch canker strategies for management of *Gibberella circinata* in greenhouses and forests (Pinestrength). <http://www.pinestrength.eu/> (Erişim Tarihi: 05.04.2017).

- Potdar, S. M. and Patil, K. P. (2013) 'Efficient Spectrum Handoff in CR Network based on Mobility, QoS and Priority using Fuzzy Logic and Neural Networks', Conference Proceedings, IEEE International Conference on Contemporary Computing, Noida, pp. 53 – 58.
- Song, Y., Xie, J., "Common Hopping based Proactive Spectrum Handoff in Cognitive Radio Ad Hoc Networks", IEEE Global Telecommunications Conference, 1-5. Miami, USA, 2010.
- Tianwei, W., Yafeng, W., Chao, L., "A Spectrum Handoff Scheme based on Comprehensive Cost in Cognitive Radio System", International Conference on Wireless Communications, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems, 1-5. Aalborg, Denmark, 2014.
- Tragos, E. Z., Zeadally, S., Fragkiadakis and A. G. and Siris, V. A. (2013) 'Spectrum Assignment in Cognitive Radio Networks: A Comprehensive Survey', IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 15, no. 3, July, pp. 1108-1135.
- TÜİK, (2015). Türkiye İstatistik Kurumu. <http://www.tuik.gov.tr/Start.do> (Erişim Tarihi: 12.04.2017).
- Xie, X., Yang, G., Ma, B., "Spectrum Handoff Decision Algorithm with Dynamic Weights in Cognitive Radio Networks", Global Mobile Congress, 1-6. Shanghai, China, 2011.
- Zahed, S., Awan, I. and Cullen, A. (2013) 'Analytical Modeling for Spectrum Handoff Decision in Cognitive Radio Networks', Simulation Modelling Practice And Theory Journal, vol. 38, November, pp. 98-114.



MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ

Uluslararası Mühendislik
Araştırma ve Geliştirme Dergisi
International Journal of
Engineering Research and
Development

UMAGD, (2020) 12(2), 700-710.



10.29137/umagd.747710

Cilt/Volume:12 Sayı/Issue:2 Haziran/June 2020

Araştırma Makalesi / Research Article

The Importance of Energy Quality in Medical Devices and Evaluation of Measurements Made in Kırıkkale University Medical Faculty MRI Device within the Scope of TS EN 50160I

Emre Metin¹ , Özgür Karagülle¹ , Kardelen Kamişlı¹ , Ertuğrul Çam^{*2} 

¹AES Innovation, Kırıkkale Üniversitesi Teknopark, 71450, Kırıkkale, TURKEY

²Kırıkkale University, Department of Electrical & Electronics Engineering, 71450, Kırıkkale, TURKEY

Başyuru/Received: 13/05/2020

Kabul / Accepted: 07/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Abstract

Today, the increase in demand for electrical energy has revealed a more reliable and higher quality energy concept. This subject has taken its place in electrical engineering as "Power Quality" or "Electric Energy Quality" and has made a point for its importance with the studies on it. Especially in the process of working with devices containing electronic circuits with direct current and using the alternating current offered from the network by using rectifiers, the devices may fail or become disabled due to self-protection circuits in case of power quality problems arising from the mains or the rectifiers of the device. In this article, a detailed analysis is carried out considering the problem may be due to the power quality due to the fact that the MRI device in Kırıkkale University Faculty of Medicine is in continuous failure mode. In addition, the analyzes made in accordance with TS EN 50160 standard within the scope of the research were analyzed in computer environment and the results were shared in our article. In this article, the relationship between power quality problems and grounding is also examined.

Key Words

“energy analysis, 50160, flicker, crest factor”

1. Introduction

Although statistical information about electrical energy quality is limited, most problems have been identified in recent years. The most common problems are; harmonic components that can last from a few seconds to a few hours, complete power outages (voltage depressions), voltage fluctuations where the voltage reaches very low or high values, semiconductor technology widespread in all areas, the power factor desired to be at least 0.95, even when talking with the mobile phone, relay tripping problems electromagnetic interactions that can result.

As the reasons for more frequent mention of energy quality issues in recent years, the following can be said.

- There are problems affecting the whole system instead of local problems due to interconnected systems,
- Industrial users who are renewed with microprocessor and power electronics components are more likely to experience the effects caused by minor non-standard fluctuations in voltage,
- Competitions for producing higher quality energy among producers,
- Consumers begin to be more sensitive and knowledgeable about power quality issues.

The most common energy quality problems in the network can be listed as follows:

- Voltage disturbances
- Voltage drop (Dip-Sag)
- Voltage rise (Swell)
- Voltage Deduction (Outages)
- Transients
- Notch
- Voltage Fluctuations, Flicker
- Regular or irregular step voltage changes (Welding and rolling machines are caused by tunnel or mine ventilation systems.)
- Regular or irregular voltage changes (Arc furnaces)
- Distortion caused by harmonic components
- Voltage harmonics
- Current harmonics
- Notches
- Imbalances (Unbalances)
- Electromagnetic Interference (EMI)
- Noise (Noise)

In this article, measurements on the causes of frequent malfunctions of MRI devices at Kırıkkale University Medical Faculty were analyzed with the equipment purchased with the project numbered 2019/166 supported by Kırıkkale University BAP. The results showed that the Faculty grid's energy quality problems are not large enough to affect MRI devices, and device problems are mostly caused by user errors. (Anderson & Fouad,1994), (NEMA, 1996), (NFPA 70, 2011), (Arrillaga & Arnold,1990), (Arrillaga et al., 1985)

2. Background of the Electrical Energy Quality Problems

In practice, there is always a close relationship between current and voltage in any power system. Although generators generate voltage very close to the sine wave, currents passing through the impedance of the system can cause various disturbances in the voltage. For example;

- The current resulting from a short circuit may cause the voltage to drop or the voltage to collapse completely.
- Currents resulting from lightning strikes can cause high-impact voltages in the power system, causing "high-impact voltages".
- The distorted currents formed by harmonic generating loads pass the system impedance and also disturb the voltage and thus, the customers are fed with a distorted voltage. (Arrillaga et al., 1997), (Berg,1978).

In Table 1, it is seen that the weather conditions are mainly caused by voltage depressions and interruptions in the power line. Also, in the same table, it is seen that voltage depressions affect the computer systems four times more negatively than interruptions. In addition to these, transient events are very important for the systems. The term "Transient" has been used for a long time to indicate an undesirable and instantaneous event in the analysis of power systems. Transient events are very short-lived (up to a few milliseconds) voltage distortions, but their intensity is very high and the rise is very fast. Most temporary events are caused by lightning strikes, large loads, and reactive loads. Transient states can be classified under two categories as pulsed and oscillating. These terms reflect the waveform of the current and voltage transient state. Generally, protection systems keep temporary effects below a certain level of security. If the place where temporary events occur is close to the installation or inside the installation, problems may arise(Sankaran, 2001), (Chapman, 2001), (Domijan & Embriz-Santander,1992).

Table 1. Causes of computer system failures due to network disruptive effects

Causes	Disruptive Effects		Computer System Failures
	Breakdowns	Outages	
Weather Conditions	37	14	51
Power System Failures	8	0	8
Traffic Accidents	8	2	10
Living beings	5	1	6
Tree felling	1	1	2
Unknown	21	2	23
TOTAL	%80	%20	%100

These problems can be listed as follows:

- The damage caused can be very sudden,
- Installation or equipment repairs can be damaged in an impossible way,
- The data on the computer may disappear,
- The effects can be repeated over time and damage the insulation of the materials. (Dugan, et al., 1996), (Kwasnicki et al., 2004)

As a result of these accumulations, much larger damages may occur. Costs to take measures are relatively low. The precautions to be taken can be listed as follows:

- A low impedance grounding system with a wide frequency range should be selected, with a good low impedance connection in the ground electrode system.
- The design of lightning protection systems should be done appropriately, taking into account local factors such as determining the number of days when lightning events occur per year.
- Protection systems should be located in the first entrance of the incoming line, including telephone and other communication lines.
- Organizations manufacturing protection systems should also provide protection against temporary events occurring in switching devices. (Dommel, 1969), (HPQ,1996)

The transient event is also defined as a sudden change in the steady-state condition without a frequency of power in both voltage and current parameters that are one-way (positive or negative) in terms of polarity. They are normally characterized by pulsed transient events, rising and delay times. Pulse-like transients can stimulate the natural frequencies of power systems circuits and produce transient states. In these cases, the systems have oscillations, mostly. The oscillation is defined as a sudden change in the frequency of power of both voltage and current parameters containing non-unidirectional positive and negative polarity values. Oscillation transients include currents and voltages whose sudden values quickly change polarity. They are characterized by frequency content, amplitude, and duration. The commissioning of capacitor groups in turn will cause the formation of transient currents in the form of oscillations. Commissioning and disconnecting wired lines with breakers will also cause voltage transients to oscillating in the same frequency region. (Radatz, 1998)

Additionally, some voltage changes can occur in the power systems due to their characteristics, too. These changes can last long or short term. The ANSI C84.1 standard clearly states the steady-state voltage tolerances in a power system. When the ANSI limits are exceeded by values greater than 1 minute, the voltage change is considered for a "long term". Long-term changes can be in the form of overvoltage or undervoltage. Overvoltage and low voltages are not generally the result of system failures, but they can occur due to load changes in the system and on-off events in the network. However, short term changes include the voltage drops (dips) and short voltage cuts according to the International Electrotechnical Commission IEC. Short-term voltage changes occur because of the malfunctions. Also, energizing large loads that have high starting current is another reason for this situation. Sometimes, it also occurs due to the short-term non-contact in the fasteners. Depending on the location of the malfunction and the state of the system, the malfunction may temporarily cause a voltage drop, rise, or cut off voltage completely. The malfunction may be near or far from

the point of interest. In both cases, the effect on the voltage during the breakdown is a short-term change until the protection relays come on and clear the fault. (Lamoree et al., 1991)

Power frequency variations, another problem, are expressed as deviations from the fundamental frequency of the power system, determined by nominal values of 50 Hz. or 60 Hz. Power system frequency is directly related to the angular velocity of the generators feeding the system. When the dynamic balance between load and production changes, insignificant changes occur in frequency. The magnitude and duration of the deviation in frequency depending on the load characteristics and the response of the production control system to the load changes. Frequency changes can cause the failure of a large part of the transmission system, large-scale loads, or large-power generators to fail if the power system goes beyond the limits accepted for normal steady-state operation. In this case, the system has to be black-out. The distortion of the waveform is in principle steady from the ideal sine wave-shaped power frequency, which is characterized by the spectral content of the deviation. It is expressed as aberration. There are basically five different waveform distortions: These are DC component, harmonics, intermediate harmonics, notch, noise and voltage fluctuation. Electromagnetic Interference (EMI) is a small energy distorting wave with amplitude between 100 μV and 100 V, frequency between 10 kHz and 1 GHz. Switched power supplies arise from motor control circuits, radio broadcasts and communications over power lines. For this purpose, the examination of the MR waveform becomes important (Frank,1997), (Schwartzenberg et al., 1995), (Kennedy, 2000), (Kocatepe et al., 2003), (Ludbrook, 1993), (McGranaghan, 1981), (McGranaghan & Mueller, 1999).

3. MRI Waveform Type

A wide range of gradient waveforms is utilized for MR imaging. The most common waveforms include trapezoidal, triangular, and sinusoidal. MR gradient heating depends on the time derivative of the gradient waveform and on-device shape, size, and conductivity of its conductive elements and applied gradient frequency content. Experiments have been performed using simple structures, e.g. cylindrical disk, showing that a critical frequency can be identified over which heating becomes less due to inductive effects. In order to maximize the amount of power deposited, a low-frequency sine waveform is proposed to evaluate device heating when exposed to gradient fields present in an MR scanner. A sine waveform does not contain higher-order harmonics present in the triangle or trapezoidal waveforms. Because of this all of the power induced on a test article will be focused at the frequencies not attenuated by device inductive effects. It is known that frequency dependence exists related to gradient-induced device heating. As frequency decreases below a certain critical frequency, device heating might be maximized. Thus, it is desired to determine the lowest possible clinically relevant frequency which a device might experience in an MR scanner assuming a sine wave gradient signal. Using a sine wave test signal, the $B_G(t)$ function can be described as follows: (Cenelec, 2014)

$$B_G(t) = BG \times \sin(2\pi \times f \times t) \tag{1}$$

where

BG is the magnitude of the gradient field in the MR scanner and bench test coil, in T;

f is the frequency, in Hz;

t is time, in s.

By differentiating the formula above with respect to time, the following formula is produced:

$$\frac{dB_G(t)}{dt} = 2\pi \times f \times B_G \times \cos(2\pi \times f \times t) \tag{2}$$

From this formula, the dB/dt_{rms} value can be determined as:

$$\left(\frac{dB_G(t)}{dt} \right)_{rms} = \frac{2\pi \times f \times B_G}{\sqrt{2}} \tag{3}$$

From the values previously discussed, we have:

$$42 \frac{T}{s} = \frac{2\pi \times f \times (35 \text{ mT})}{\sqrt{2}} \tag{4}$$

Solving for frequency produces the following result:

$$f = \frac{\left(42 \frac{\text{T}}{\text{s}}\right) \times \sqrt{2}}{2\pi \times (0,035 \text{ T})} = 270 \text{ Hz}$$

(5)

The sine wave frequency for alternative values are shown in Table 2.

Table 2. The sine wave frequency for alternative values

BG mT	Frequency Hz
60	158
50	189
40	236
35	270
30	315
20	473

Due to test system *BG* limitations, it might not be possible to test at the required

$\left(\frac{dB_G(t)}{dt}\right)_{\text{rms}}$ value. In this case, it is acceptable to apply a *BG* waveform of the same frequency with lower peak and $\left(\frac{dB_G(t)}{dt}\right)_{\text{rms}}$ value and scale the results proportional to the square of the applied $\left(\frac{dB_G(t)}{dt}\right)_{\text{rms}}$.

4. Power Quality Standards: TS EN 50160 and TS EN 61000-4-30

4.1. TS EN 50160

The object of this European Standard is to define, describe and specify the characteristics of the supply voltage concerning:

- frequency;
- magnitude;
- waveform;
- symmetry of the line voltages.

These characteristics are subject to variations during the normal operation of a supply system due to changes of load, disturbances generated by certain equipment and the occurrence of faults which are mainly caused by external events. The characteristics vary in a manner which is random in time, with reference to any specific supply terminal, and random in location, with reference to any given instant of time. Because of these variations, the values given in this standard for the characteristics can be expected to be exceeded on a small number of occasions. Some of the phenomena affecting the voltage are particularly unpredictable, which make it very difficult to give useful definite values for the corresponding characteristics. The values given in this standard for the voltage characteristics associated with such phenomena, e.g. voltage dips and voltage interruptions, shall be interpreted accordingly. (IEEE, 1995), (Series, 2014)

4.2. TS EN 61000-4-30

This part of IEC 61000-4 defines the methods for measurement and interpretation of results for power quality parameters in a.c. power supply systems with a declared fundamental frequency of 50 Hz. or 60 Hz. Measurement methods are described for each relevant parameter in terms that give reliable and repeatable results, regardless of the method's implementation. This standard addresses measurement methods for in-situ measurements. Measurement of parameters covered by this standard is limited to conducted phenomena in power systems. The power quality parameters considered in this standard are power frequency, magnitude of the supply voltage, flicker, supply voltage dips and swells, voltage interruptions, transient voltages, supply voltage unbalance, voltage harmonics and interharmonics, mains signalling on the supply voltage, rapid voltage changes, and current measurements. (I. E. C., 2015)

4.2.1. Classes of measurement

For each parameter measured, two classes, A and S, are defined in this standard. For each class, measurement methods and appropriate performance requirements are included.

– **Class A**

This class is used where precise measurements are necessary, for example, for contractual applications that may require resolving disputes, verifying compliance with standards, etc. Any measurements of a parameter carried out with two different instruments complying with the requirements of Class A, when measuring the same signals, will produce matching results within the specified uncertainty for that parameter. Synchronization of aggregation intervals for Class A you can see Figure 1

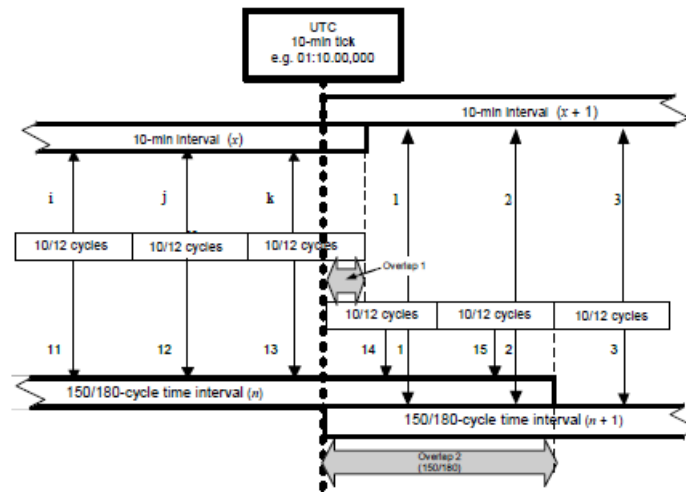


Figure 1. Synchronization of aggregation intervals for Class A

– **Class S**

This class is used for statistical applications such as surveys or power quality assessment, possibly with a limited subset of parameters. Although it uses equivalent intervals of measurement as Class A, the Class S processing requirements are much lower. Some surveys may assess power quality parameters of several measurement sites on a network; other surveys assess power quality parameters at a single site over a period of time, or at locations within a building or even within a single large piece of equipment.

– **Class B**

For Class B information, see Annex E (informative) of this standard. Class B methods shall not be employed for new instruments. Class B is moved to Annex E on the basis that all new instrument designs will comply with either Class A or Class S. Class B may be relevant for legacy instruments that are still in use. Class B may be removed in the next edition of this standard.

4.2.2. Rapid voltage change (RVC)

An RVC event is generally an abrupt transition between two r.m.s. voltages. By definition, the two r.m.s. voltages must be “steady state”, a condition that is defined in the method below.

Dips and swells often begin or end with abrupt transitions between two r.m.s. voltages. However, by definition these are not RVC events because they exceed the dip or swell thresholds. Figure 2.

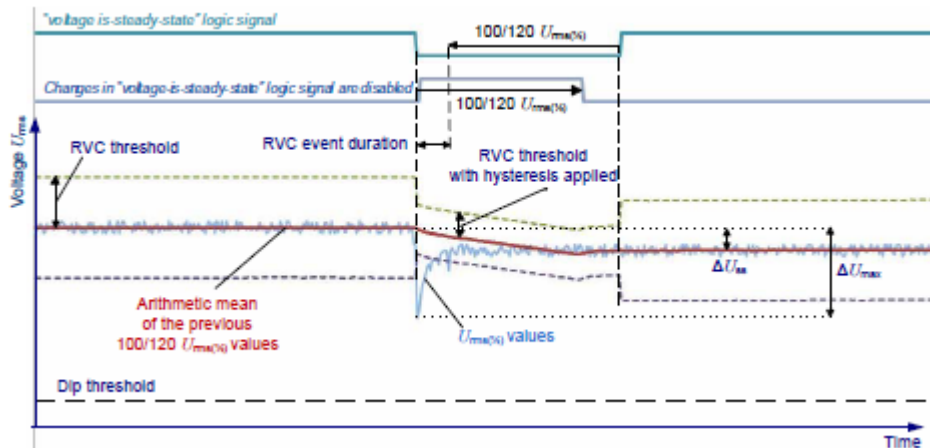


Figure 2. RVC event: example of a change in r.m.s voltage that results in an RVC event

5. Harmonic Limits

For Class A equipment, the harmonics of the input current shall not exceed the values given in Table 3.

Table 3. Limits for Class A equipment

Harmonic order h	Maximum permissible harmonic current A
Odd harmonics	
3	2,30
5	1,14
7	0,77
9	0,40
11	0,33
13	0,21
$15 \leq h \leq 39$	$0,15 \frac{15}{h}$
Even harmonics	
2	1,08
4	0,43
6	0,30
$8 \leq h \leq 40$	$0,23 \frac{8}{h}$

6. About Power Quality Measurement

According to EMRA Regulation on Service Quality Regarding Electricity Distribution and Retail Sale; Regarding the recording of technical quality parameters, the devices to be used must measure Class A specifications specified in the TS EN 61000-4-30 standard. Measurements will be made at OG and AG levels. Measurements will be carried out in locations where general assessment can be made through sampling to ensure different network characteristics and load profiles, customer groups, network sections that serve different population densities, from the network sections with the highest short circuit currents to the lowest network conditions.

7. Measurement Equipment

Portable power analyzer for measuring and recording all electrical parameters in singlephase, two-phase and three-phase networks. Measures leakage currents, power quality parameters and records transients. AR6 is an integral tool for problem diagnosis and detection in any electrical installation and can also be used to prepare energy studies. Technical features are high-accuracy energy-consumption studies, detection of problems relating to electrical protection elements, analysis of power quality and transient phenomena, local recording of start-up currents and other variables of interest on the unit.



Figure 3. Circutor AR6 Class A Power Analyzer

8. Measurement Data

Measurement results are as follows. Figure 4, Figure 5, Figure 6, Figure 7, Figure 8. Phase-Neutral voltage value tolerances (T) were found to be $T < 10\%$. It has been observed that these tolerance values are suitable for devices and equipment that contain sensitive electronic structures. The voltage tolerance values declared by the manufacturers for the device containing sensitive electronic structures should be taken into consideration and, if necessary, they should be supplied via online power supplies. UPS tested has been found to have UPS in Figure 4.

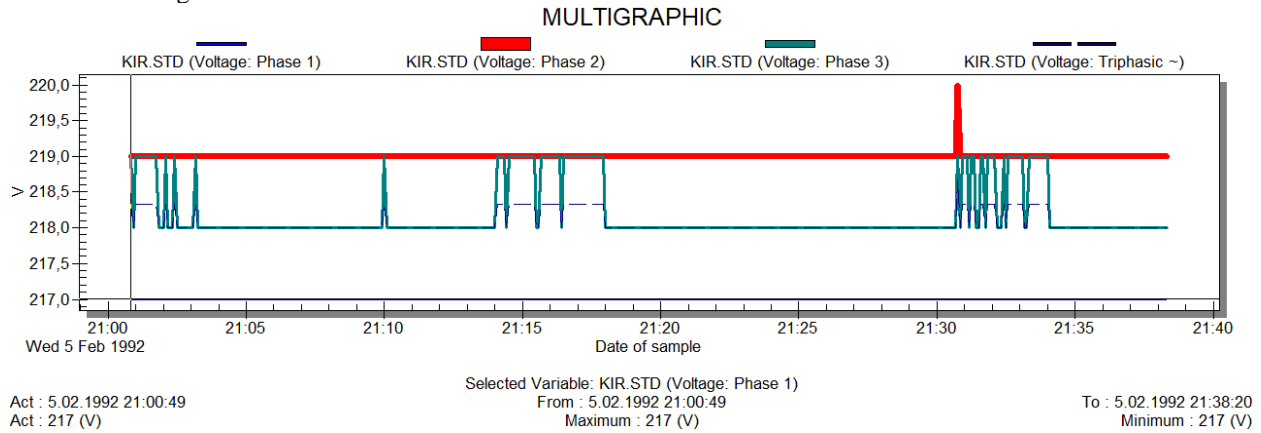


Figure 4. Voltage Graphic

5 min. records obtained in periods, we can state that the amount of current drawn in the system reaches 4.7A levels and an abnormality cannot be seen in Figure 5.

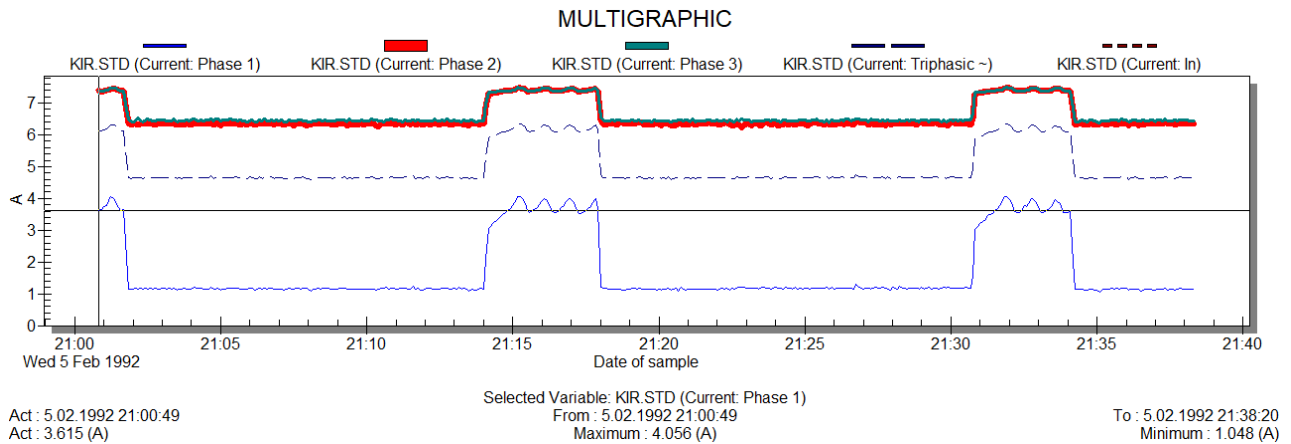


Figure 5. Current Graphic

It has been observed that the compensation system is generally sufficient for the observed time period in Figure 6.

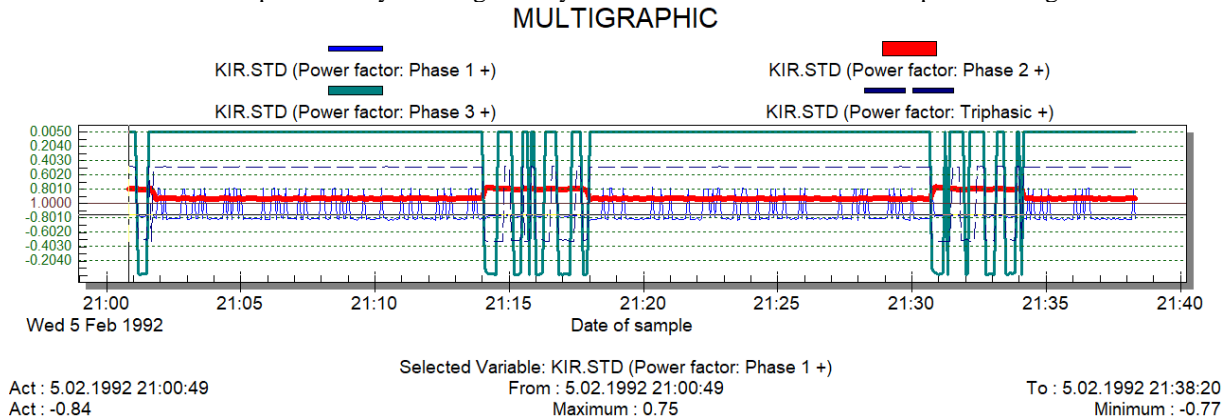


Figure 6. Power Factor Graphic

As seen in Table 6, the total voltage harmonics are around 2% and below the limit value (5%) that EN 50160, ANSI / IEEE-519-1992 and EMRA predict. No fault is anticipated due to the total voltage harmonics. Total current harmonics (TTB = total demand distortion) exceed the 20% value predicted in EMRA and IEEE-519. It is seen that the current total harmonic distortion level in A2 phase reaches up to 26,70%. Depending on the current harmonics, sensitive devices have the risk of malfunction in Figure 7.

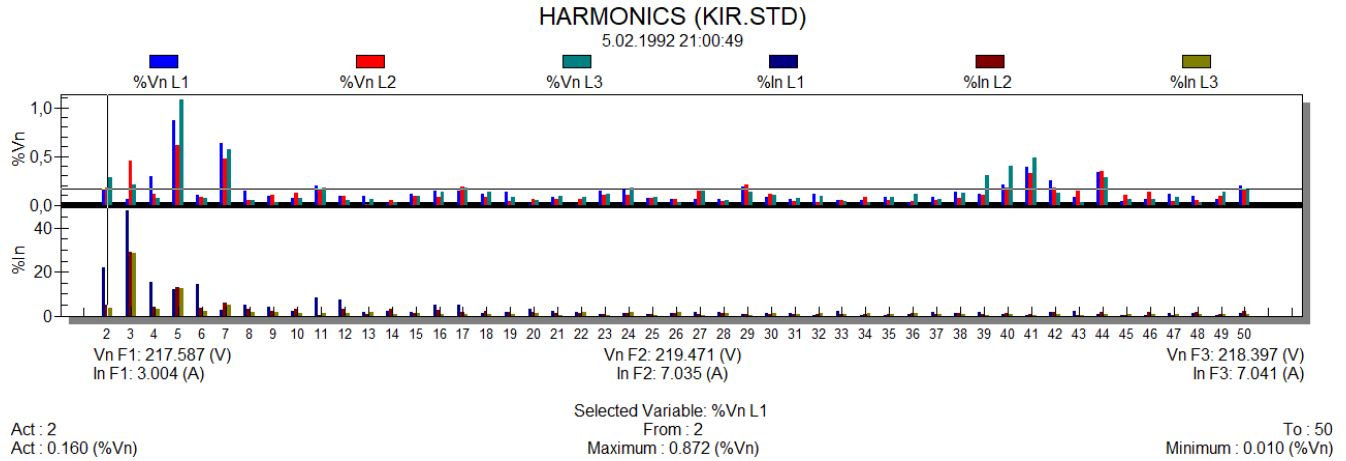


Figure 7. Harmonics Graphic

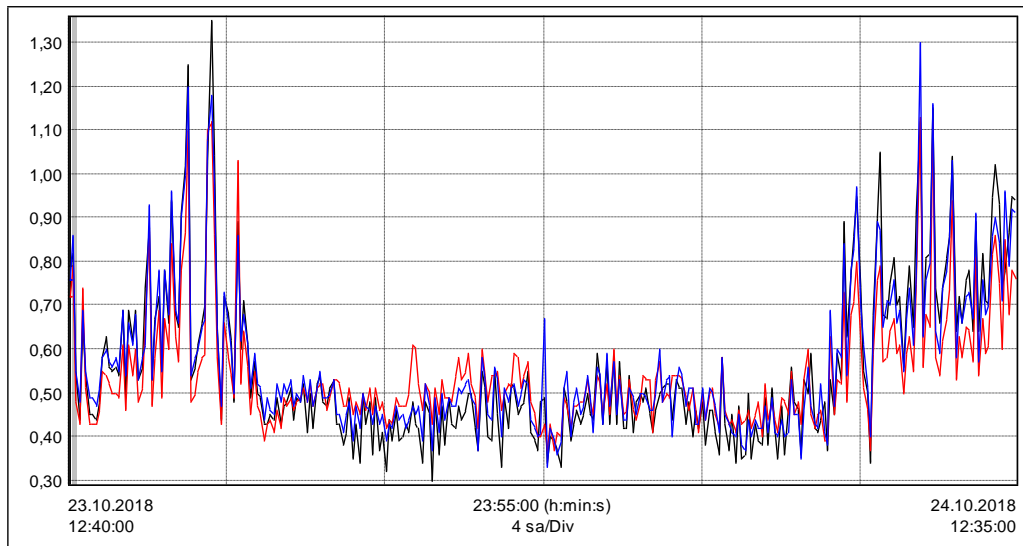


Figure 8. Flicker

Although the short-term flicker (in Figure 8) values detected were instantaneously above the limit values, they were generally found appropriate. No adverse effects are expected on medical equipment.

9. Acknowledgements

This project (2019/16) was supported by Kırıkkale University BAP. We would like to thank Kırıkkale University BAP for their contribution.

10. Conclusions And Future Work

According to the results of the measurement performed at the Energy input, UPS output and UPS input of the Kırıkkale University Faculty of Medicine MRI device, it was understood that there was no network-related harmonic, flicker problem, but the energy quality problem shown as the reason that the device constantly switched to Quench mode, and the problem was caused by the helium gas leakage of the MRI device. Also, according to the measurement results, it was observed that there was no grounding deficiency. In

medical locations it is necessary to ensure the safety of patients likely to be subjected to the application of ME (medical electrical) equipment. For every activity and function in a medical location, the particular requirements for safety have to be considered. Safety can be achieved by ensuring the safety of the installation and the safe operation and maintenance of ME equipment connected to it. The use of ME equipment on patients undergoing critical care has called for enhanced reliability and safety of Electrical installations in hospitals so as to improve the safety and continuity of supplies which is met by application of standards. In the later stages of the study, besides energy analysis, ROI analyzes will be carried out and a solution will be produced for high-end devices such as MRI.

References

- Anderson, P.M., FOUAD, A.A., (1994), Power System Control and Stability, Revised Printing, IEEE Press, 1994.
- Arrillaga, J., Bradley, D.A. ve Bodger, P.S., (1985), Power System Harmonics, John Wiley & Sons, Norwich.
- Arrillaga, J. ve Arnold, C.P., (1990), Computer Analysis of Power Systems, John Wiley & Sons, Essex.
- Arrillaga, J., Smith, B.C., Watson, N.R. ve Wood, A.R., (1997), Power System Harmonic Analysis, John Wiley & Sons.
- BERG G.J., "Assessment of critical voltage and load margins in VAR compensated power transmission systems", electric power system research, 12, pp.63-69, 1978
- Cenelec, E. N. (2014). 50160: Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems. *Cenelec, Brüssel*.
- Chapman, D. 2001. Güç Kalitesi Uygulama Kılavuzu, Copper Development Association, Sarkuysan Elektrolitik Bakır Sanayi ve Ticaret A.Ş. , İstanbul.
- Domijan, A., & Embriz-Santander, E. (1992). A novel electric power laboratory for power quality and energy studies: training aspects. *IEEE transactions on power systems*, 7(4), 1571-1578.
- Dommel, H. W. (1969). Digital computer solution of electromagnetic transients in single-and multiphase networks. *IEEE transactions on power apparatus and systems*, (4), 388-399.
- Dugan, R.C., McGranaghan, M.F., Beaty, H.W., "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill, 1996.
- EM Committee. (1995). IEEE recommended practice for monitoring electric power quality. *IEEE Std*, c1-81.
- Frank, J. M. (1997). Origin, development, and design of K-factor transformers. *IEEE Industry Applications Magazine*, 3(5), 67-69.
- Home Power Quality, <http://energyoutlet.com/res/powerqual/index.html>, Energy Outlet, Iris Communications, Inc, USA, 1996.
- Kennedy, B. W. (2000). *Power quality primer*. McGraw Hill Professional.
- Kocatepe, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A., & Arıkan, O. (2003). Elektrik Tesislerinde Harmonikler. *Birsen Yayınevi, İstanbul*.
- Kwasnicki, W. T., Fernando, I. T., & Gole, A. M. (2004). Modeling of Conventional and Advanced Static Var Compensators In An Electromagnetic Transients Simulation Program. *Winnipeg, Canada.: sn*.
- Lamoree, J., Smith, J. C., Vinett, P., Duffy, T., & Klein, M. (1991, October). The impact of voltage sags on industrial plant loads. In *First International Conference on Power Quality, PQA* (Vol. 91).
- Ludbrook, A. (1993). Manager's guide to electrical power quality. *Iron and Steel Engineer;(United States)*, 70(5).
- McGranaghan, M. F., Shaw, J. H., & Owen, R. E. (1981). Measuring voltage and current harmonics on distribution systems. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, (7), 3599-3608.
- McGranaghan, M. F., & Mueller, D. R. (1999). Designing harmonic filters for adjustable-speed drives to comply with IEEE-519 harmonic limits. *IEEE transactions on industry applications*, 35(2), 312-318.
- National Electrical Manufacturers Association. (1996). *American National Standard for Electric Power Systems and Equipment-Voltage Ratings (60 Hertz)*. National Electrical Manufacturers Association.

- National Fire Protection Association. (2011). *NFPA 70: National Electrical Code*. NationalFireProtectionAssoc.
- Radatz, J. (1998). *The IEEE standard dictionary of electrical and electronics terms*. IEEE Standards Office
- Sankaran C., "Power Quality", CRC Pres, 2001.
- Schwartzenberg, J. W., & De Doncker, R. W. (1995, October). 15 kV medium voltage static transfer switch. In *IAS'95. Conference Record of the 1995 IEEE Industry Applications Conference Thirtieth IAS Annual Meeting* (Vol. 3, pp. 2515-2520). IEEE.
- Series, T. F. (2014). Glossary and definitions of time and frequency terms.
- Std, I. E. C. (2015). 61000-4-30: 2015. *Electromagnetic Compatibility (EMC)–Part, 4-30*.
- Warren, C. M. (1992). The effect of reducing momentary outages on distribution reliability indices. *IEEE Transactions on power delivery*, 7(3), 1610-1617.



Hodgkin-Huxley Nöron Modelinin Matlab Temelli Elektriksel Devre Benzetimi

Matlab Based Electrical Circuit Simulation Of Hodgkin-Huxley Neuron Model

Fikret Yalçinkaya¹ , Burak Temel² , Ahmet Sami Doğru² , Ramazan Güngüneş³ 

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 71451, Kırıkkale, TÜRKİYE

²Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 71451, Kırıkkale, TÜRKİYE

³Kırıkkale Üniversitesi, Keskin Meslek Yüksekokulu, Elektrik Programı, 71451, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 13/05/2020

Kabul / Accepted: 07/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Sinir hücrelerinin çalışmasını anlamak, fizyolojik özelliklerini ve davranışlarını incelemek için geliştirilen Hodgkin-Huxley, FitzHugh-Nagumo, Morris-Lecar, Hindmarsh-Rose, Izhikevich, Integrate & Fire ve Adaptive Exponential Integrate-Fire gibi birçok modelleme mevcuttur. Bu nedenle özellikle son yıllarda nöron yapısı, davranışı ve nöronlar arası fenomenler üzerine yapılan çalışmalar önemli bir alan haline gelmiştir. Nöron fizyolojisinin ve davranışlarının daha iyi anlaşılması için Hodgkin-Huxley (HH) nöron modeli, nümerik metotlar ile birçok kez simüle edilmiştir. Fakat literatür incelendiğinde Hodgkin-Huxley nöron modelinin elektriksel eş devresinin simüle edilmediği görülmüştür. Bu çalışmada, Hodgkin-Huxley nöron modeli eşdeğer devresi temel alınmış ve MATLAB/Simulink ortamında temel elektronik devre elemanları kullanılarak, nümerik metot benzetimlerinde kullanılan parametre değer aralıkları ile simüle edilmiş ve aksiyon potansiyelinin sadece dinlenme aşamasının olduğu diğer aşamaların oluşmadığı gözlemlenmiştir. Ancak devreye uygulanan uyarı akımı ve devrenin kapasite parametreleri değiştirildiğinde aksiyon potansiyelinin dinlenme, depolarizasyon ve repolarizasyon aşamalarının olduğu fakat hiperpolarizasyon durumunun tam olarak oluşmadığı gözlemlenmiştir. Böylece, nöron elektriksel eş devresinin oluşturduğu membran geriliminin, uyarı akımlarıyla ve kapasitans değerleriyle doğrudan ilişkili olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Hodgkin-Huxley Modeli, Nöron Modelleri, Aksiyon Potansiyeli, Sinir Hücreleri, Nöron”

Abstract

Various neuron models have been developed to understand the working principles of nerve cells and their physiological properties and behavior, some of such models are Hodgkin-Huxley (HH), FitzHugh-Nagumo, Morris-Lecar, Hindmarsh-Rose, Izhikevich, Integrate & Fire and Adaptive Exponential Integrate-Fire models. Especially in recent years, research studies on neuron structure, behavior and inter-neuronal phenomena have become an important research area. HH neuron model has been simulated a number of times by numerical methods in order to better understand the physiology and behavior of the neurons. However, when the literature is looked at, it could easily be observed that the electrical equivalent circuit of the HH neuron model had not been simulated. In this paper, equivalent circuit of HH neuron model is simulated using the range of parameter values of numerical simulation methods, via MATLAB / Simulink and electronic circuit elements such as resistor, capacitor and voltage sources. And it is observed that the expected all stages of the action potential were not formed. But, it has been shown that resting, depolarization and repolarization phases of the action potential were obtained provided that the excitation current applied to the circuit and the change of capacitor values of the circuit but the hyperpolarization state was not fully formed. Therefore, it has been verified that the expected membrane voltages generated by electrical equivalent circuits are directly related to the excitation currents and capacitive values of variable capacitance.

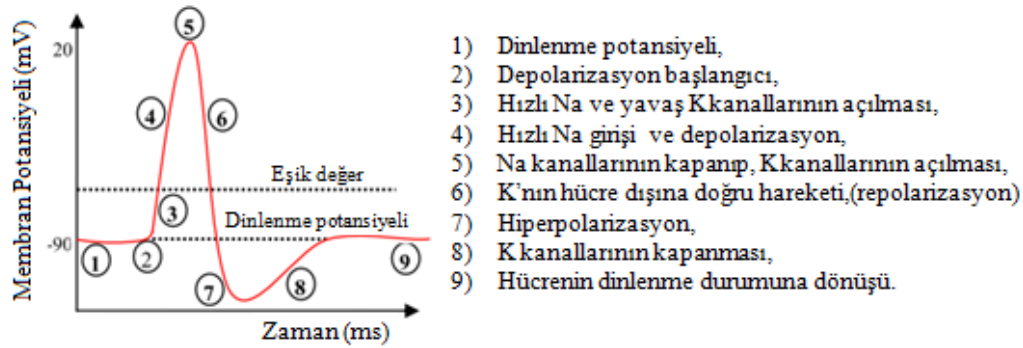
Key Words

“Hodgkin-Huxley Model, Neuron Models, Action Potential, Nerve cell, Neuron”

1. Giriş

Sinir sistemi, canlıların çevresini algılamasına yol açan, bilgi elde eden, ileten ve işleyen; vücut içerisindeki hücrelerin etkileşimi sayesinde biyolojik sinyallerin farklı bölgelere iletimini sağlayan, organların ve kasların aktivitelerini düzenleyen bir sistemdir. Sinir sistemi ile alakalı işlemlere katılan bilgileri işleyen temel fonksiyonel yapılara, sinir hücresi (nöron) denir. Nöronlar uyarılabilir ve bu uyarıları iletebilme yetenekleri sayesinde diğer vücut hücrelerinden ayrılırlar. Nöronlar uyarıldıklarında aksiyon potansiyeli (Action Potential-AP) adı verilen bir elektriksel işaret oluşturarak bu uyarıları diğer hücrelere iletirler. AP'nın oluşması için, hücre zarının (membran), eşik seviyesi olarak belirlenen değerin üstünde bir akım uyarı sinyali ile uyarılması gerekir (Dayan & Abbott, 2001).

Nöronların bir bilgiyi iletebilme yetenekleri, membrandaki iyonik akımlar aracılığı ile gerçekleşir. İyonik akımların oluşmasını sağlayan en önemli etken ise hücrede bulunan sodyum (Na^+), potasyum (K^+), kalsiyum (Ca^{+2}) ve klor (Cl^-) iyonlarının yoğunluk değişimleridir (Yalçınkaya & Ünsal, 2017). Bu iyonların hücre içindeki (intraseküller sıvı) ve hücre dışındaki (ekstraseküller sıvı) yoğunlukları farklıdır. Hücre dışında Na^+ ve Cl^- iyonlarının yoğunlukları yüksek iken Ca^{+2} iyonlarının yoğunluğu düşüktür. Hücre içerisinde ise K^+ iyonlarının yoğunlukları ve negatif iyon yoğunlukları yüksektir (Dahasert, 2012). Hücre zarının eşik seviyesinin üstünde bir akım etkisi ile uyarılması sonucu oluşan aksiyon potansiyeli, Şekil 1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 1. Aksiyon Potansiyeli ve Safhaları (Dahasert, 2012)

Sinir hücrelerinin bilgisayar ortamında modellenmesi, sinir sistemi yapısının ve işleyişinin anlaşılabilirliği bakımından oldukça önemlidir. Sinir sisteminde bulunan nöronları elektriksel olarak modellemek, membran üzerinde gerçekleşen iyonların hareketlerini matematiksel olarak ifade etmek, nöron davranışlarını ve hareketlerini deneysel ortamlarda test etmek, kısacası sinir sisteminin nasıl çalıştığını anlamak amacıyla birçok nöron modeli geliştirilmiş ve matematiksel olarak ifade edilmiştir.

A. L. Hodgkin ve A. F. Huxley 1952 yılında, membranın iç ve dış yüzeylerinde gerçekleşen iyon hareketleri sonucu meydana gelen elektrik akımı darbesini inceleyerek, en yaygın ve başarılı nöron modeli olan Hodgkin-Huxley Nöron Modeli (HH) fikrini ortaya atmışlardır (Hodgkin & Huxley, 1952).

Nagumo ve Sato tarafından 1972 yılında lineer olmayan diferansiyel denklemler şeklindeki matematiksel nöron modeli önerilmiştir (Nagumo & Sato, 1972).

C. Morris ve H. Lecar tarafından 1981 yılında konduktans temelli iki adet boyutsuz denklem içeren Morris-Lecar Nöron Modeli önerilmiştir (Morris & Lecar, 1981).

J.L. Hindmarsh ve R.M. Rose tarafından 1984 yılında, nöron davranışlarını üç adet birinci dereceden diferansiyel denklemle tanımlayabilen Hindmarsh-Rose (HR) nöron modeli önerilmiştir (Hindmarsh & Rose, 1984).

A. Van Schaik 2001 yılında yaptığı çalışmada membran potansiyelini modelleyen bir elektronik devre modeli sunmuştur. Bu model devre, bir sinir hücresinin membran kapasitansını modelleyen bir kapasitör üzerindeki voltaj değişimlerinden membran potansiyelinin değişimlerini incelemiştir (Schaik, 2001).

E. Izhikevich 2003 yılında Hodgkin-Huxley (HH) modelinde kullanılan dört farklı diferansiyel denklemi iki adet diferansiyel denkleme indirgemiş ve literatüre sunmuştur (Izhikevich, 2003).

R. B. Szlavik 2003 yılında yaptığı çalışmada nöron modelini transistörlerle modellemiştir. Bu model ile farklı fiziksel parametreler uygulayarak nörondaki aksiyon potansiyelinin değişken karakteristik davranışlarını incelemiştir (Szlavik, 2003).

Ş. Cinal ve arkadaşları 2005 yılında nöron membran modelinin benzetimini Simulink programını kullanarak incelemiştir. Çalışılan nöron modelinde kanalların stokastik davranışlarını da dahil ederek ve diğer nöronlardan kaynaklanan sinaptik gürültünün membran potansiyeli üzerindeki etkisini araştırmışlardır (Cinal vb., 2005).

M. Parangan ve arkadaşları 2010 yılında gerilim entegratör devreleri kullanarak bir analog nöron modeli üzerinde çalışmışlardır. Çalışma, aksiyon potansiyeli üreten iki devre modeli içermektedir (Parangan vb., 2010).

Ö. Coşkun ve arkadaşları tarafından 2012 yılında uyarılabilir hücrelerde elektriksel iletimin karakteristiği incelenmiştir. Çalışmada pasif kablo teorisinin esaslarına yer verilmiş ve iki farklı model (basitleştirilmiş pasif kablo modeli ve revize edilmiş pasif kablo modeli) kullanılarak nöronlarda yayılan aksiyon potansiyeli dalga şekli Matlab Simulink ortamında gerçekçi bir şekilde elde edilmiştir (Coşkun vb., 2012).

B. Tahayori ve S. Dokos 2012 yılında Hodgkin-Huxley (HH) nöron modeli üzerinde dalga şekli düzgün olan bir aksiyon potansiyeli üretmek için en küçük kareler optimizasyon yaklaşımı ile en uygun uyarı akımını belirlemek üzerine çalışmalar yapmışlardır (Tahayori & Dokos, 2012).

B. Vazifehkhah Ghaffari ve arkadaşları 2015 yılında, Hodgkin-Huxley (HH) nöron modelinden ve eşdeğerinden faydalanarak RLC devresinde değişen dinlenme membran potansiyelinin ve iyonik akımların rezonans üzerindeki etkilerini incelemişlerdir (Vazifehkhah vb., 2015).

A. Turan ve T. Kayıkçıoğlu 2016 yılında, Hodgkin-Huxley (HH) nöron modeline doğru akım (DC), sinüzoidal ve rastlantısal akımlar uygulayarak hücre zarı voltajı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir (Turhan & Kayıkçıoğlu, 2016).

S. Kirigeeganage ve arkadaşları tarafından 2018 yılında, Hodgkin-Huxley (HH) nöron modeli parametrelerinin genetik algoritma optimizasyonu ile nöronal patlama davranışlarını simüle etmek üzerine çalışmalar yapmışlardır (Kirigeeganage vb., 2018).

Literatürde mevcut çalışmalar incelendiğinde Hodgkin-Huxley (HH) Nöron modelinin elektriksel devresi, matematiksel olarak modellenmiş ve nümerik yöntemler ile analiz edilmiş olmasına rağmen; modelin elektriksel devre benzetiminin oluşturulmadığı ve devrenin çalışmasının analiz edilmediği görülmüştür. Bu çalışmada, Hodgkin-Huxley (HH) Nöron modelinin elektriksel devresinin benzetimi, MATLAB/Simulink kullanılarak temel elektronik devre elemanları ile oluşturulmuş ve devrenin uygulanan farklı uyarı akımı değerleri ile çalışması analiz edilmiştir.

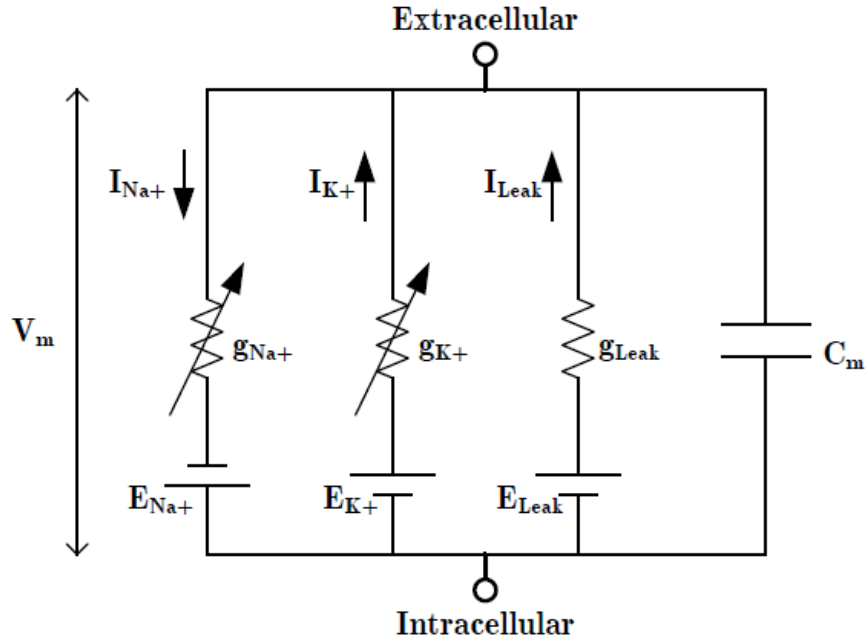
2. Nöron Modellerinin İncelenmesi

2.1. Hodgkin-Huxley (HH) Nöron Modeli

Hodgkin-Huxley (HH) Nöron modeli literatürde mevcut nöron modellerinin birçoğunun temelini oluşturmaktadır. Bu model, nöronun elektriksel davranışının analizinde, aksiyon potansiyelinin oluşumu ve iletiminin açıklanmasında iyi sonuçlar veren detaylı bir modeldir. Hodgkin-Huxley (HH) Nöron modeli sadeliğine rağmen pek çok sinir zarı özelliklerini gerçek değerlere yakın bir şekilde açıklamaktadır (Malmivuo & Plonsey, 1995).

A. Hodgkin ve A. Huxley (HH), hücre zarını geçmek için çeşitli iyon kanallarını kullanan farklı iyonları dikkate alarak, toplam bir membran akımını modellemişlerdir. HH modelinde kullanılan kabule göre, bu iyon kanallarının her biri bağımsız olarak hareket etmekte ve yalnızca belirli bir iyon türünü taşımaktadırlar. Örneğin bir sodyum kanalı sadece sodyum iyonlarını taşımaktadır. Bir sızıntı kanalı ise seçici geçirgenliğe sahip olmadığı için farklı iyon tiplerini taşımaktadır. Kapasitif akım ise uyarılabilir bir hücrenin fosfolipit çift katmanından geçen bir akım olarak değerlendirilmiştir (Ruzov, 2014).

Hodgkin-Huxley (HH) membran modeli gerilim kaynağı, direnç ve kapasitör gibi temel elektriksel devre bileşenleri kullanılarak modellenmiştir. Bu model aynı zamanda literatürde paralel konduktans modeli olarak da bilinir. Hodgkin-Huxley (HH) modelinin membranın kapasitör ve direnç elemanlarından oluşan eşdeğer devre şeması Şekil 2'de gösterilmektedir. I akımı, aktivasyon sırasında hücre zarı boyunca akan elektrik akımıdır. Her kanal (örneğin voltaj bağımlı (kapılı) sodyum kanalı, voltaj bağımlı (kapılı) potasyum kanalı ve sızıntı kanalı), bir direnç ve ilişkili denge potansiyelini ifade eden bir gerilim kaynağı ile gösterilir. Denge potansiyeli, hücre dışı ortam ile hücre içi ortam arasında net iyon akışının olmadığı V_m değeridir (Ruzov, 2014).



Şekil 2. Hodgkin-Huxley (HH) Modeli Eşdeğer Devresi (Thanapitak, 2011)

Sodyum, potasyum ve sızıntı kanalları için membranın iyon geçirgenliği Ohm kanununa göre aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanabilir (Ruzov, 2014).

$$G_{Na} = \frac{I_{Na}}{V_m - V_{Na}} \quad (1)$$

$$G_K = \frac{I_K}{V_m - V_K} \quad (2)$$

$$G_L = \frac{I_L}{V_m - V_L} \quad (3)$$

G_{Na}, G_K, G_L : Sodyum, potasyum ve diğer iyonlar için birim alandaki membran iletkenliği (mS/cm²)

I_{Na}, I_K, I_L : Sodyum, potasyum ve diğer iyonlar için birim alan başına taşınan elektrik akımı (µA)

V_{Na}, V_K, V_L : Sodyum, potasyum ve diğer iyonlar için Nernst gerilimleri (mV)

V_m : Membran gerilimi (mV)

Hodgkin-Huxley (HH) modelinde, toplam membran akımı Kirchhoff akım kanunu ile ifade edilir.

$$I_m = C_m \frac{dV_m}{dt} + (V_m - V_{Na})G_{Na} + (V_m - V_K)G_K + (V_m - V_L)G_L \quad (4)$$

I_m : Birim alan başına membran akımı (µA)

C_m : Birim alandaki membran kapasitansı (µF)

V_m : Membran gerilimi (mV)

V_{Na}, V_K, V_L : Sodyum, potasyum ve diğer iyonlar için Nernst gerilimleri (mV)

G_{Na}, G_K, G_L : Sodyum, potasyum ve diğer iyonlar için birim alandaki membran iletkenliği (mS/cm²)

2.2. Stokastik HH Nöron Modeli

Nöron fizyolojisinde, iyon kanallarının açılıp kapanmaları esnasında dalgalanmalar meydana gelmesi ve bu dalgalanmaların dinamik davranışı etkilemesine rağmen, Hodgkin-Huxley modellemesinde iyon kanallarında meydana gelen stokastik açılıp kapanmalar ihmal edilmiştir. Bu ihmalin nedeni, membranda çok sayıda iyon kanalı olması, kanalların stokastik açılıp kapanma hareketlerinin

(dalgalanma) membran içerisinde oluşturduğu değişimin ihmal edilebilir seviyelerde olmasıdır. Bu kapsamda, Hodgkin-Huxley (HH) deterministik modeli, dalgalanmaların ihmal edileceği büyük boyuttaki membran modelleri için geçerli olmaktadır. Deterministik Hodgkin-Huxley (HH) modelinin, stokastik versiyonu DeFelixe ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Deterministik Hodgkin-Huxley modelinin stokastik versiyonu çalışması, kanal gürültüsünün nöronlar üzerinde önemli bir değişikliğe neden olduğunu göstermiştir. Bu modelde karmaşık nümerik benzetimlerin basitleştirilmesi için m, n ve h ile sembolize edilen değişkenlerin değişim hızı için Langevin versiyonu kullanılmıştır, denklem 8 ile ifade edilmiştir (Cinal vb.,2005).

$$\frac{dx}{dt} = a_x(1 - x) - \beta_x x + \zeta_N(t); x = m, h, n \quad (5)$$

Bu denklemde birbirinden bağımsız olan ortalama beyaz Gauss gürültüsü olarak gösterilen $\zeta_x(t)$ bileşenlerinin, öz ilişki fonksiyonları kanal sayısı ile orantılı olup; denklem 9, 10, 11'de verilmiştir (Cinal vb.,2005).

$$\langle \zeta_m(t) \zeta_m(t') \rangle = \frac{2\alpha_m \beta_m}{N_{Na}(\alpha_m + \beta_m)} \delta(t - t') \quad (6)$$

$$\langle \zeta_n(t) \zeta_n(t') \rangle = \frac{2\alpha_n \beta_n}{N_K(\alpha_n + \beta_n)} \delta(t - t') \quad (7)$$

$$\langle \zeta_h(t) \zeta_h(t') \rangle = \frac{2\alpha_h \beta_h}{N_{Na}(\alpha_h + \beta_h)} \delta(t - t') \quad (8)$$

Denklemlerle ilişkili önemli bir nokta da m, n ve h değerlerinin [0,1] aralığında olmasının gerekliliğidir. İyon kanal yoğunluğunun homojen olması varsayımı ile kanal sayıları denklem 12 ile gösterilmektedir (Cinal vb.,2005).

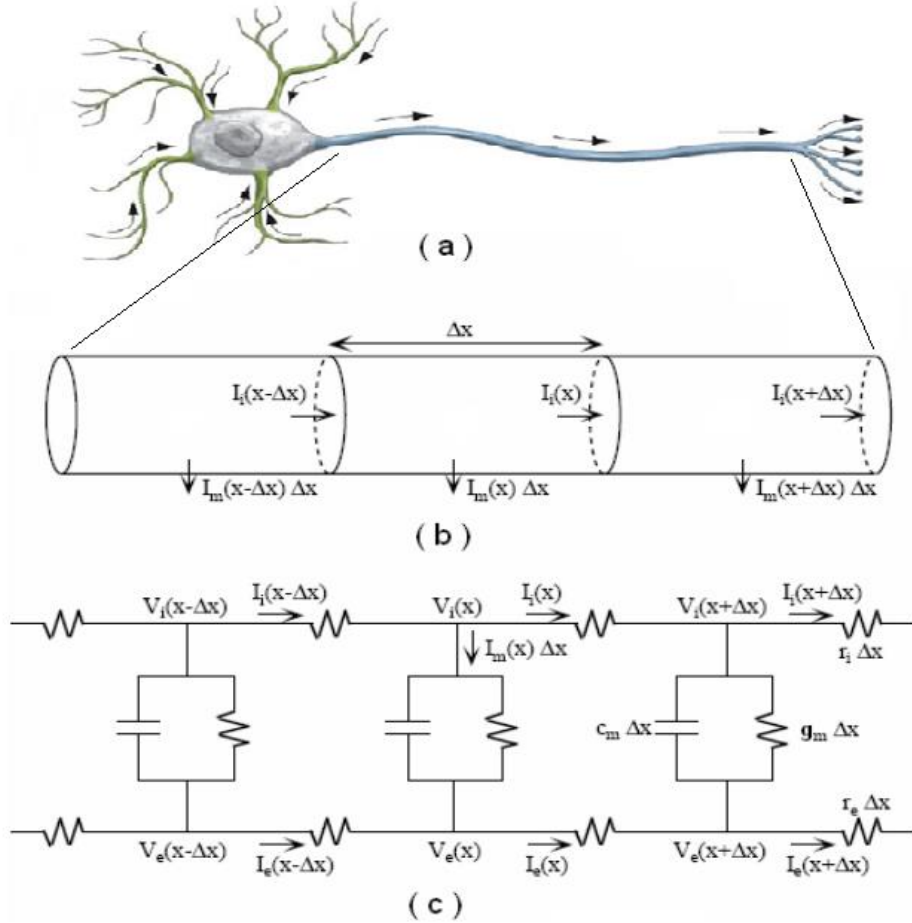
$$N_{Na} = \rho_{Na} S, \quad N_K = \rho_K S \quad (9)$$

Denklemlerde ρ_{Na} sodyum kanal yoğunluğunu göstermekte ve sayısal değeri 60 kanal/ μm^2 olarak kabul edilmektedir. ρ_K ise potasyum kanal yoğunluğu olup sayısal değeri 18 kanal/ μm^2 değerine sahiptir. N_{Na} membrandaki toplam sodyum kanal sayısını, N_K membrandaki toplam potasyum kanal sayısını ve S ise toplam membran alanını ifade etmektedir (Cinal vb.,2005).

2.3. Pasif Kablo Nöron Modelleme

Dentritler, nöronlarda sinaptik bilgiyi taşımada ve işlemede görevli bileşenlerdir. Sinaptik girdilerin aktifleşmesi sonrası, postsinaptik membranda iyonik akım üretilmekte ve bunun sonucu olarak membran potansiyelinde lokal bir değişim oluşturmaktadır. Oluşan değişim dentrit dalları boyunca yayılmaktadır. Dentrit ağaç dallanmalarında oluşan bu akımın akışını ve gerilimin yayılmasını tanımlayan kablo teoremi, 1959 yılında Rall tarafından önerilmiştir. Kablo teoremi tek boyutlu ve silindirik olarak idealleştirilmiş dentrit ağacında, kısmi diferansiyel denklemleri kullanarak pasif ve sürekli akımın ilerleyişini açıklamaktadır (Özer & Tutkun, 2002).

Şekil 3.a'da görülen nöronların uzantılarından oluşan dentrit ve aksonlar, kablo modellemesi uygulanarak Şekil 3.b'deki forma getirilebilir. Hücre dışı akışkan ve hücre içi stoplazmik öz, elektrik akımını iletken iyonik ortamlar olduğundan öz iletken olarak adlandırılabilir (Çoşkun vb., 2012). Silindirik yapının düzgün bir yarıçapa sahip olduğu kabulü ile membran üzerinde iletilen akıma karşı oluşan direnç, iç veya dış öz dirençten daha büyük olmasından dolayı, akımın büyük bir kısmı silindirik yapının eksenine paralel olarak daha uzak mesafelere ilerleme eğilimindedir. Bu sebeple kablo teoremi yalnızca tek boyutlu uzaydaki yayılmayı modeller. Modelde Şekil 3.b ile gösterilen silindir, Δx uzunluğuna sahip aralıklarla segmentlere bölünmesi halinde, bu durumda silindirin elektriksel kablo modeli formu, Şekil 3.c ile şekli gösterilebilir (Çoşkun vb., 2012).



Şekil 3. (a) Dendrit ve aksonların gösterimi, (b) geometrik gösterimi ve (c) elektriksel kablo modelinin şematik gösterimi (Çoşkun vb., 2012).

Her bir Δx mesafesine sahip silindir membran kapasitesi ($C_m \cdot \Delta x$) ve bu kapasiteye paralel iyonik admittanslar ($g_m \cdot \Delta x$) ile gösterilir. Burada iyonik akım olan I_{iyon} membran geriliminin nonlineer fonksiyonu olması ve karmaşık olmasına rağmen, pasif kablo teoremi için pasif olduğu varsayımı ile iyonik admittansının da sabit olduğu kabul edilmektedir.

Δx mesafesine sahip membran parçasından geçen toplam akım $I_m(x) \cdot \Delta x$, silindir içerisinde geçen toplam akım $I_i(x)$, hücre dışında silindire paralel olarak ilerleyen toplam akım $I_e(x)$, hücre içi gerilim $V_i(x)$ ve hücre dışı gerilim $V_e(x)$ olarak gösterilmek üzere membran gerilimi denklem 13' de görüldüğü şekliyle verilir:

$$V = V_i(x) - V_e(x) \quad (10)$$

Ohm kanununa göre düzenleme yapıldığında hücre içerisinde akan akım denklem 14 ile gösterilebilir.

$$V_i(x) - V_i(x + \Delta x) = I_i(x) r_i \Delta x \quad (11)$$

Δx mesafesinin sıfıra giden limiti alınır, denklem aşağıdaki eşitlik 15 ile ifade edilir.

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{V_i(x + \Delta x) - V_i(x)}{\Delta x} = \frac{\partial V_i}{\partial x} = -r_i I_i(x) \quad (12)$$

Benzer yöntemlerle hücre dışı için denklem 16, hücre içi ve dışı düğümlerinde akımın korunumu kanununa dayanarak denklem 17, membran akımının kapasite akımı ve iyonik akım toplamına eşit olması durumu denklem 18 ile ifade edilebilir (Çoşkun vb., 2012).

$$\frac{\partial V_e}{\partial x} = -r_e I_e(x) \quad (13)$$

$$\frac{\partial I_j}{\partial x} = -I_m(x) \text{ ve } \frac{\partial I_i}{\partial x} = -I_m(x) \quad (14)$$

$$I_m(x)\Delta x = g_m\Delta xV + c_m\Delta x\frac{\partial V}{\partial t} \quad (15)$$

$V=V_i(x)-V_e(x)$ eşitliği ve yukarıda verilen (15-16) denklemlerden faydalanarak denklem 19 aşağıda verildiği gibi elde edilebilir.

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 (V_i - V_e)}{\partial x^2} = -r_i \frac{\partial I_i}{\partial x} + r_e \frac{\partial I_e}{\partial x} = (r_i + r_e)I_m \quad (16)$$

18 denklemi 19 denkleminde yerine konulduğunda doğrusal olmayan kablo denklemi; denklem 20 elde edilir.

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = (r_i + r_e) \cdot (g_m V + c_m \frac{\partial V}{\partial t}) \quad (17)$$

Membran admitansı (g_m) yerine membran direnci $1/(r_m)$ yazılarak denklem 21 elde edilebilir.

$$\lambda^2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = \tau_m \frac{\partial V}{\partial t} + V \quad (18)$$

Denklem 21'de verilen uzunluk sabiti (λ) ve membran zaman sabiti (τ_m) denklem 22'deki gibi ilişkilendirilebilir.

$$\lambda = \sqrt{\frac{r_m}{r_i + r_e}} \text{ ve } \tau_m = r_m \cdot c_m \quad (19)$$

En son şekilde denklemin boyutsuz değişkenlerden oluştuğu düşünülürse denklem 23'deki gibi ifade edilebilir.

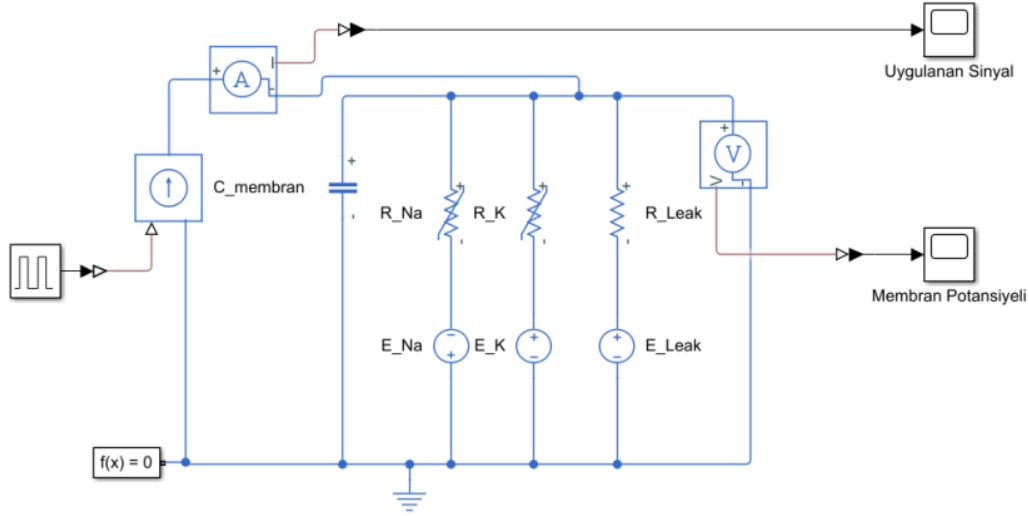
$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = \frac{\partial V_m}{\partial T} + V \quad (20)$$

Denklemden $X = x/\lambda$ ve $T = t/\tau_m$ alınmaktadır (Çoşkun vb., 2012).

3. Modelleme ve Simülasyon

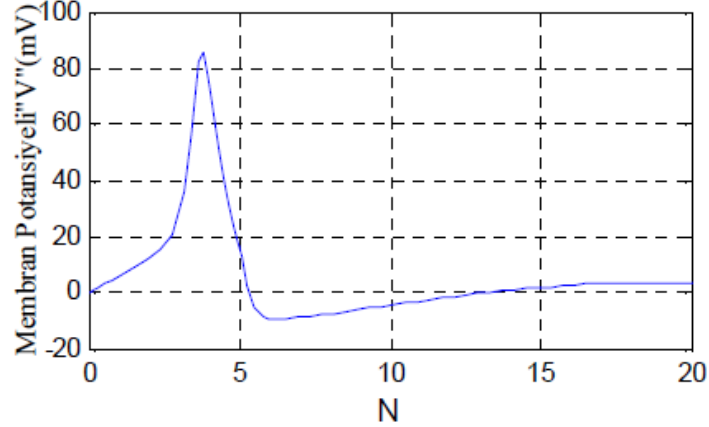
Genel anlamda modelleme bir sistemin incelenmesi ve daha iyi anlaşılması için o sistemin bir örneğinin çeşitli benzetimlerle oluşturulması anlamına gelmektedir. Bununla birlikte modelleme sonuçlarının gerçek sisteme yakın olması hatta mümkün olan en iyi sonuçları vermesi beklenir. Bu sonuçlar ne kadar fazla detay içerirse modellemenin de gerçek sisteme o kadar yakın davranması beklenir. Simülasyon ile birlikte kurulan modellemenin bilgisayar ortamında daha iyi analiz edilmesi ve kurulan matematiksel ilişkiler ile birlikte gerçekçi sonuçlar elde edilmesi sağlanır.

Yapılan bu çalışmada Hodgkin-Huxley (HH) Nöron modelinin elektriksel devresi, MATLAB/Simulink programı kullanılarak Şekil-4'te görülen devre şeması ile oluşturulmuştur. Hodgkin-Huxley (HH) modeline uygun olarak, sodyum ve potasyum kanallarının açılma-kapanma durumlarının kontrolü için voltaj kontrollü direnç (R_{Na} , R_K) ve sızıntı akımının devre içerisinde sürekli olarak akması sebebiyle sabit değerli direnç (R_{Leak}) kullanılmıştır. Devreye uygulanan darbe akımının süresini, genliğini ve sayısını ayarlayabilmek için devreye sinyal jeneratörü eklemiştir. Devrede Simulink/SimSpace elemanlarının kullanılması dolayısı ile devreye $f(x)=0$ çözücüsü eklenmiştir. Devreye uygulanan sinyalin gözlemlenebilmesi için akım kaynağının çıkışına Ampermetre ve membran potansiyelinin gözlemlenebilmesi için de devreye paralel bir Voltmetre bağlanmıştır.

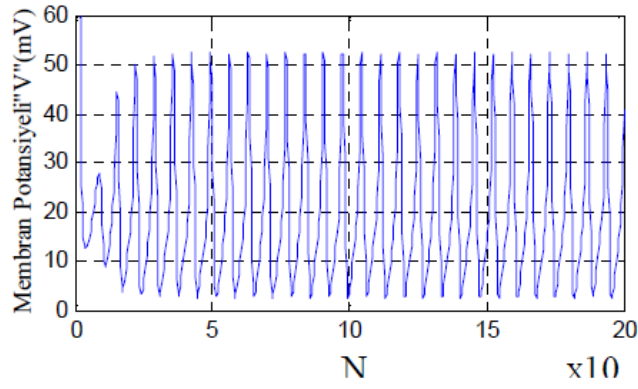


Şekil 4. Hodgkin-Huxley (HH) Modeli MATLAB/Simulink Eşdeğer Devresi

Şekil 4'te kurulan elektriksel devrenin sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla Hodgkin-Huxley (HH) modelinin nümerik metotlar ile $E_K = -12$ mV, $E_{Na} = 120$ mV, $E_{Leak} = 10.6$ mV, $gK = 36$ mS/cm², $gNa = 120$ mS/cm², $gL = 0.3$ mS/cm² ve $C = 1$ µF/cm² değerleri için yapılan nümerik simülasyon sonucu Şekil 5.a ve Şekil 5.b'de verilmektedir (Vazifekhhah vb., 2015). Şekil 5.a'da $I = 10$ µA/cm², Şekil 5.b'de $I = 100$ µA/cm² değerine sahip uyarı sinyalinin verilmesi durumu için oluşan membran potansiyelini göstermektedir. Bu grafiklerde, x eksenini (N) nümerik simülasyonda kullanılan iterasyon sayısını ve y eksenini de membran potansiyelini göstermektedir. Nümerik yöntemle hesaplanan simülasyon sonuçları Şekil 5.a ve 5.b incelendiğinde aksiyon potansiyelinin tüm aşamalarının oluştuğu görülmektedir.



Şekil 5.a. 10 µA/cm² uyarı sinyali uygulanması durumunda oluşan membran potansiyeli



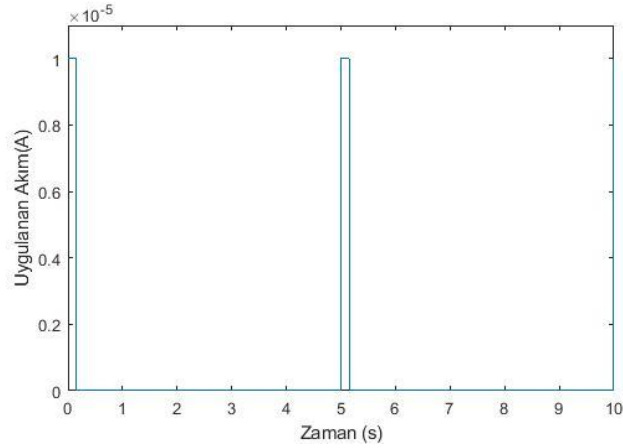
Şekil 5.b. $100 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ uyarı sinyali uygulanması durumunda oluşan membran potansiyeli

Oluşturulan modelleme için kurulan Şekil 4'te görülen devrede sodyum, potasyum ve sızıntı kanallarının membranın iyon geçirgenliğini temsil eden devre elemanları için kullanılan sayısal değerler aşağıda Tablo 1'de gösterildiği gibidir.

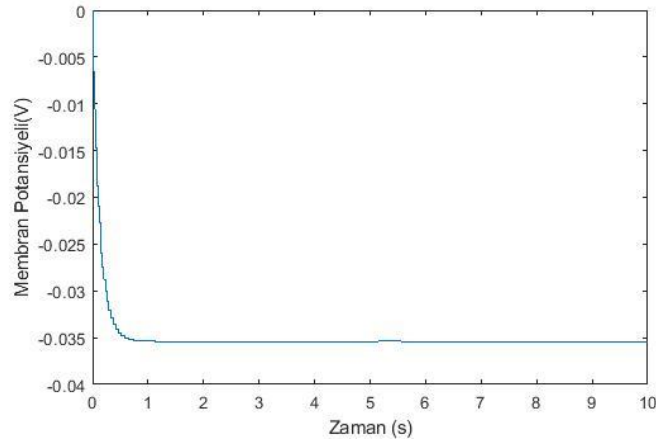
Tablo 1. Elektriksel Devre Modeli Parametreleri

Devre Parametreleri	E_Na	E_K	E_Leak	R_Na	R_K	R_Leak	C_membran
Değerleri	120 mV	12 mV	10 mV	8,33 Ω	27,7 Ω	3333,3 Ω	1 μF

Şekil 4'te görülen elektriksel devre modeli üzerine yapılan çalışmada Tablo 1'de bulunan değerler ile nümerik model üzerinde uygulanan Şekil 6'da gösterilen $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ değerindeki uyarı sinyali denenmiş ve Şekil 7'de gösterilen membran potansiyeli elde edilmiştir. Bu sonuç nümerik metotlarla elde edilen modellemede baz alınan değerler ile kurulan elektriksel devre modelinde tam bir membran potansiyelinin oluşmadığı sonucunu vermiştir.



Şekil 6. Elektriksel devre modeline uygulanan $10 \mu\text{A}$ değerindeki uyarı sinyali

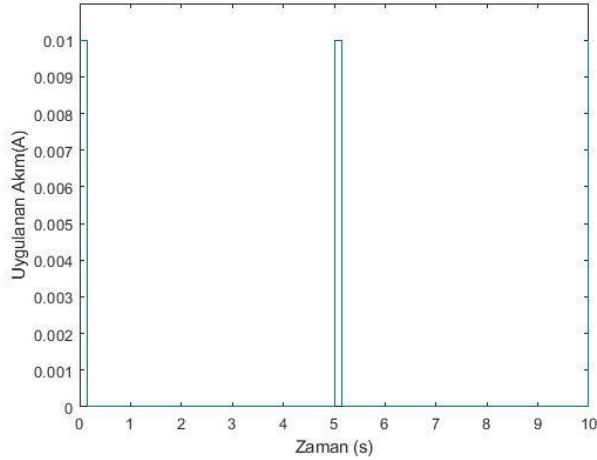


Şekil 7. 10 μ A değerindeki uyarı sinyalinin oluşturduğu membran potansiyeli

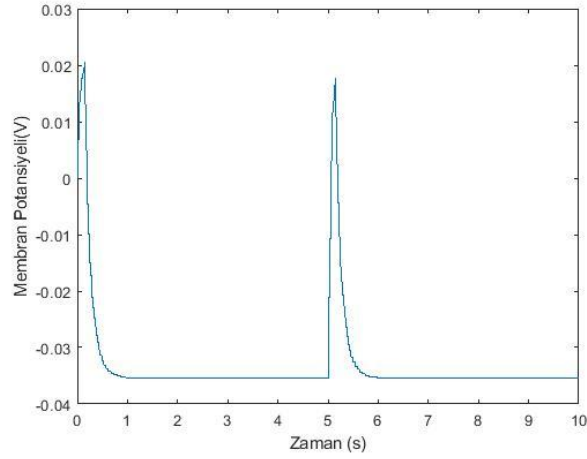
Simülasyon sonuçlarına Tablo 2’de bulunan değerler ve Şekil 8’de gösterilen 10 mA değerindeki uyarı sinyali ile devam edilmiş ve bu değer sonucunda elde edilen membran potansiyeli Şekil 9’da gösterilmiştir. Bu sonuç nümerik metotlarla elde edilen modellemede baz alınan değerlerden sadece C_membran değeri ve uyarı akımı değiştirilerek uygulanmıştır. Devrenin diğer parametre değerleri nümerik metot ile aynıdır.

Tablo 2. Elektriksel Devre Modeli Parametreleri

Devre Parametreleri	E_Na	E_K	E_Leak	R_Na	R_K	R_Leak	C_membran
Değerleri	120 mV	12 mV	10 mV	8,33 Ω	27,7 Ω	3333,3 Ω	10mF

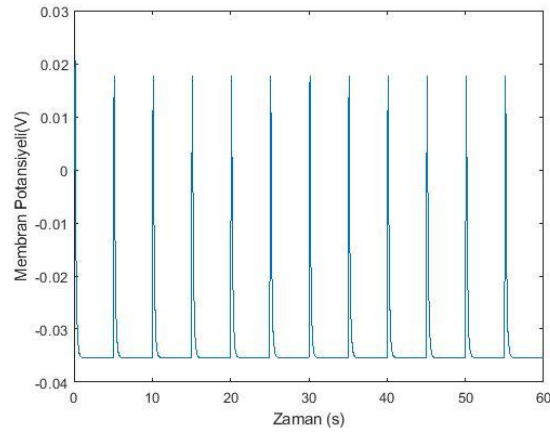


Şekil 8. 10 mA değerindeki uyarı sinyali



Şekil 9. 10 mA değerindeki uyarı sinyalinin oluşturduğu membran potansiyeli

Ayrıca simülasyon sonuçlarına Şekil 4'te görülen elektriksel model üzerine Tablo 2'de bulunan değerler ile uygulanan 10 mA seri uyarı akımı sonucu oluşan membran gerilimi, Şekil 10'da gösterildiği şekliyle ele edilmiştir. Bir önceki simülasyondan farkı, 60 saniye boyunca her 5 saniyede bir uyarı akımı devreye verilmiştir.



Şekil 10. Çok uyarılı membran potansiyel

4. Sonuçlar ve Tartışma

Canlılarda nöronal fonksiyonların ve yapıların çalışma prensiplerinin anlaşılması ve bunun sonucunda hastalıklı, zayıf ve arızalı yapıların düzeltilmesi için sinir sisteminin yapı taşları olan nöronların modellenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda, MATLAB/Simulink ortamında oluşturulan Şekil 4'te görülen elektriksel devre olarak modellenen Hodgkin-Huxley (HH) modelinin ürettiği sonuçlar analiz edilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda Hodgkin-Huxley (HH) modeli, nümerik yöntemler ile birçok kez test edilmiş ve aksiyon potansiyelinin tüm aşamaları oluşturulmuştur. Fakat önerilen elektrik devresinin, uyarı akımı verilerek çalıştırılmasının test edilmediği gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda oluşturulan Hodgkin-Huxley (HH) modeli; sodyum, potasyum ve sızıntı kanalları için membranın iyon geçirgenliğini analiz etmek amacıyla; nümerik yöntemlerde kullanılan Tablo 1 ve Tablo 2'deki parametre değerleri için ayrı ayrı denenmiştir.

Hodgkin-Huxley (HH) modelinin nümerik yöntemler kullanılarak elde edilen membran potansiyeli için kullanılan aynı sayısal test değerleri (uyarı akımı $10\mu\text{A}$, kapasitör değeri $1\mu\text{F}$) ile elektrik devresi analiz edildiğinde Şekil 7'de görülen sonuç elde edilmektedir. Şekil 7 incelendiğinde aksiyon potansiyelinin dinlenme potansiyeli aşamasının olduğu fakat depolarizasyon, repolarizasyon ve hiperpolarizasyon aşamalarının oluşmadığı gözlemlenmiştir. Uyarı akımı **10 mA** olarak değiştirildiğinde ve kapasitör değeri de **10 mF** değerine yükseltildiğinde Şekil 9'da görülen membran potansiyeli kısmen oluşmaktadır. Şekil 9'da görülen membran potansiyeli incelendiğinde dinlenme, depolarizasyon ve repolarizasyon aşamalarının olduğu fakat hiperpolarizasyon durumunun tam olarak oluşmadığı, potasyum (K) kanallarının yavaş kapanma durumunun elektrik devresi üzerinde gözlemlenmediği görülmektedir. Verilen bu değer neticesinde Hodgkin-Huxley (HH) model baz alınarak kurulan elektriksel modellemede, tam bir aksiyon potansiyeli

oluşmadığı görülmüş fakat bu modelin oluşturacağı membran gerilimlerinin uyarı akımlarıyla ve kapasitif değerlerle doğrudan ilişkili olduğu ve kapasite değerlerinin aksiyon potansiyelinin hiper-polarizasyon aşamasına kadar olan süreçte etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Referanslar

- Cinal, Ş., Ekmekci, N. H., & Özer, M. Stokastik Nöron Modellerinin Simulink İle Benzetimi. *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Müh*, 11, 458-461.
- Coşkun, Ö., Kahrıman, M., Çömlekçi, S., & Özkorucuklu, S. (2012). SİNİR HÜCRESİNİN PASİF KABLO MODELLEMESİ VE SİMÜLASYONU. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 27(1).
- Dahasert N., “Biyolojik Nöron Modellerinin Elektronik Donanımlarının İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, 2012.
- Dayan, P., & Abbott, L. F. (2003). Theoretical neuroscience: computational and mathematical modeling of neural systems. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(1), 154-155.
- Hindmarsh, J. L., & Rose, R. M. (1984). A model of neuronal bursting using three coupled first order differential equations. *Proceedings of the Royal society of London. Series B. Biological sciences*, 221(1222), 87-102.
- Hodgkin, A. L., & Huxley, A. F. (1952). A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. *The Journal of physiology*, 117(4), 500.
- Izhikevich, E. M. (2003). Simple Model of Spiking Neurons IEEE Transactions on Neural Networks.
- Kirigeeganage, S., Jackson, D., Zurada, J. M., & Naber, J. (2018, December). Modeling the bursting behavior of the Hodgkin-Huxley neurons using genetic algorithm based parameter search. In *2018 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT)* (pp. 470-475). IEEE.
- Malmivuo, J., & Plonsey, R. (1995). *Bioelectromagnetism: principles and applications of bioelectric and biomagnetic fields*. Oxford University Press, USA.
- Morris, C., & Lecar, H. (1981). Voltage oscillations in the barnacle giant muscle fiber. *Biophysical journal*, 35(1), 193-213.
- Nagumo, J., & Sato, S. (1972). On a response characteristic of a mathematical neuron model. *Kybernetik*, 10(3), 155-164.
- Özer M., Tutkun N., “Pasif Dentrilerde Kablo teoremi,” ELECO’2002 Elektrik - Elektronik - Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu Ve Fuarı bildirileri, Bursa, 2002.
- Parangan, M., Aravind, C., Parasuraman, H., Achuthan, K., Nair, B., & Diwakar, S. (2010). Action potential and bursting phenomena using analog electrical neuron. In *Proceedings of the 1st Amrita ACM-W Celebration on Women in Computing in India* (pp. 1-7).
- Ruzov, V. (2014). Neuromodulation: action potential modeling, Degree Master of Science in Biomedical Engineering, Faculty of California Polytechnic State University.
- Szlavik, R. B. (2003). Strategies for improving neural signal detection using a neural-electronic interface. *IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 11(1), 1-8.
- Tahayori, B., & Dokos, S. (2012). Optimal stimulus current waveshape for a Hodgkin-Huxley model neuron. In *2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (pp. 4627-4630). IEEE.
- Thanapitak, S., & Toumazou, C. (2012). A bionics chemical synapse. *IEEE transactions on biomedical circuits and systems*, 7(3), 296-306.
- Turhan A. and Kayıkçıoğlu T., “Hodgkin-Huxley Sinir Hücresi Modelinin Doğru, Alternatif ve Rastlantısal Akım Uyarılarına Tepkisinin İncelenmesi,” Ordu Üniv. Bil. Tek. Derg., vol.6, no. 2, pp. 170-183, 2016.
- Van Schaik, A. (2001). Building blocks for electronic spiking neural networks. *Neural networks*, 14(6-7), 617-628.
- Vazifekkhah Ghaffari, B., Kouhnavard, M., Aihara, T., & Kitajima, T. (2015). Mathematical modeling of subthreshold resonant properties in pyloric dilator neurons. *BioMed research international*, 2015.

Yalcinkaya, F., & Unsal, H. Matlab/Simulink Based Comparative Analysis of the Effect of Ion Concentration on Action Potential by Using Hodgkin-Huxley and Morris-Lecar Neuron Models. In *2017 21st National Biomedical Engineering Meeting (BIYOMUT)* (pp. i-iv). IEEE.



Kırmızı Çamur İlavesinin Seramik Duvar Karosu Bünyesi Üzerine Etkilerinin Araştırılması

Investigation of The Effects of Red Mud Addition on The Properties of Ceramic Wall Tile Body

Tuna Aydın¹ , Nazım Kunduracı¹ 

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

²Bülent Ecevit Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 23/04/2020

Kabul / Accepted: 11/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Endüstriyel atıkların depolanması ve bertaraf edilmesi çevresel etki açısından en önemli problemlerden birisidir. Bu atıkların yeniden kullanılması hem çevrenin korunması açısından hem de alternatif hammadde potansiyellerinden dolayı diğer sanayi dallarının ilgisini çekmektedir. Özellikle de seramik sektöründe giderek artan hammadde maliyetleri ve azalan hammadde kaynakları bu atıkların değerlendirilmesinin önemini artırmaktadır. Bu çalışmada, Konya Seydişehir Alüminyum tesislerinin atığı olan kırmızı çamur alternatif bir hammadde kaynağı olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışmada seramik duvar karo reçetelerinde maksimum % 30 oranında kaolin yerine kırmızı çamur ve kalsit yerinde mermer tozu kullanılmıştır. Numuneler 1130 ° C de 60 dakika süre ile laboratuvar koşullarında pişirilmiştir. Numunelerin pişme küçülmesi, su emme ve eğme dayanımları gibi teknolojik özelliklerinin yanı sıra sinterleme ve mikroyapı analizleri de araştırılmıştır. Yapılan testler sonucunda kırmızı çamur ilaveli bünyelerin pişme ve ham mukavemet değerleri artmıştır. Ayrıca herhangi bir pigment ilavesi olmadan sadece kırmızı çamur ilavesi ile kırmızı renkli bünyeler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Kırmızı çamur, geri dönüşüm, atık ve seramik duvar karo”

Abstract

Storage and disposal of the industrial waste are one of the most important problems in terms of environmental impact. Reuse of these wastes attracts the attention of other industries, both in terms of environmental protection and alternative raw material potentials. Especially in the ceramic industry, an increase in raw material costs and a decrease in raw material resources results in an increase in the importance of utilizing these wastes. In this study, Red mud, the waste of aluminum plant, obtained from Konya Seydişehir Aluminum Plant was used as an alternative raw material source. In this study, a maximum ratio of 30% red mud used instead of kaolin in ceramic wall tile recipe. Marble dust was also used instead of calcite. Samples were fired at 1130 ° C for 60 minutes under the laboratory conditions. Sintering analysis and microstructure properties of the prepared samples were investigated in addition to technological properties such as firing shrinkage, water absorption and bending strength. As a result of the mechanical tests, the firing and green strength values of the red mud added bodies increased. In addition, red colored bodies were obtained only with the addition of red mud without any pigment addition.

Key Words

“Red mud, recycling, waste, ceramic wall tile”

1. Giriş

Son yıllarda hammadde kaynaklarının azalması ile beraber endüstriyel atıkların değerlendirilmesi seramik malzeme üretiminde önemli bir yer almaya başlamıştır. Endüstriyel atıkların yarattığı en önemli sorunların başında çevre problemi gelmektedir. Taoyong L ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada da Kırmızı çamur gibi atıkların bu etkisinden bahsedilmiştir. Yapılan çalışmalarla beraber atıkların alternatif hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi hem çevre hem de ülke ekonomisi açısından da önem arz etmektedir. Tarhan M ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalarda endüstriyel atıkların seramik sektörü için önemli bir hammadde kaynağı olarak kullanılabilmesi gösterilmiştir. Bu atıklar hem teknolojik özellikler açısından seramik ürünlere önemli katkılar da sağlamakla beraber hammadde maliyetlerini de düşürmektedir. Aydın T ve arkadaşlarının çimento fırın baca atık tozu ve öğütme bölümü havalandırma sistemlerinde tutulan farin tozları ile yaptıkları çalışmalarda yine endüstriyel atıkların seramik sektörü için önemli hammadde kaynakları olabileceklerini göstermiştir. Öztürk Z ve Eren E, tarafından yapılan çalışmada da endüstriyel bir atık olan yüksek fırın cürufunun seramik sektörü için bir hammadde kaynağı olabileceği gösterilmiştir. Pontikes Y ve arkadaşları Kırmızı çamuru boksit atığı olarak tanımlamıştır ve alüminyum üretiminde Bayer prosesi ile ortaya çıkan bir endüstriyel atık olduğunu göstermiştir. Kaya E'nin yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında kırmızı çamur ile ilgili bilgiler verilmiştir. Seydişehir Etibank Alüminyum Tesislerinde alüminyum üretimi sırasında boksit cevherinin işlenmesi sonucunda her yıl ortalama 200.000 ton kırmızı çamur atığı açığa çıkmaktadır. Yaklaşık olarak 1 ton hammaddenin 0.45 tonu kırmızı çamur olarak atılmaktadır Bu durum kırmızı çamur atığının önemli bir alternatif hammadde kaynağı olmasını sağlamaktadır. Yapılan bu çalışma kapsamında belirli oranlarda kırmızı çamur seramik duvar karosu bünyelerinde kaolen yerine kullanılmıştır. Oluşturulan bünyelerin su emme, mukavemet gibi teknolojik özellikleri yanında sinterleme analizleri ve faz analizleri de yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Standart bir duvar karosu reçetesi elde etmek için kil, kaolen, sodyum feldispat ve kuvars hammaddeleri kullanılmıştır. Duvar karosu bünyelerinde CaO kaynağı olarak kullanılan Kalsit hammaddesi yerine bu çalışma kapsamında tüm bünyelerde mermer tozu kullanılmıştır. Standart bir duvar karosu reçetesi ile kıyaslama yapmak için oluşturulan katkılı duvar karosu reçetelerinde (ağırlıkça maksimum % 30) kırmızı çamur, kaolen yerine kullanılmıştır. % 60 katı % 40 su oranı ile hazırlanan karışım laboratuvar koşullarına bilyalı değirmenlerde öğütülmüştür. Daha sonra elde edilen slip etüvde 110°C de kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonrası belli tane boyut dağılımında granüller, kontrollü bir şekilde % 5-6 oranında nemlendirilerek preslemeye hazır masse haline getirilmiştir. Elde edilen masse tek eksenli kuru pres ile 280 kg/cm² basınçla 50 mm x 100 mm boyutunda şekillendirilmiştir. Şekillendirme işlemi Seramik Araştırma Merkezi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numuneler laboratuvar koşullarında 1130 °C de pişirilmiştir. Numunelerin mekanik, termal ve fiziksel test ve analizleri de laboratuvar koşullarında Seramik Araştırma Merkezi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Hammadde kimyasal analizleri XRF cihazı (Rigaku ZSX, Seramik Araştırma Merkezi) kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen bünyelerin faz analizleri için XRD cihazı (Rigaku Rint 2200, Seramik Araştırma Merkezi) kullanılmıştır. XRD grafikleri desenleri 5-70° aralığında çekilmiştir. Ham bünyelerin sinterleme analizleri için temassız optik dilatometre kullanılmıştır (MISURA ODHT HSM 1660/80, Seramik Araştırma Merkezi).

3. Deneysel Çalışmalar

3.1. Kimyasal Analiz

Kullanılan hammaddelere ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 1 de sunulmuştur. Reçetelerde kaolen yerine kullanılan kırmızı çamur yüksek oranda demir oksit (Fe₂O₃) içermektedir. Ateş zayıtı da ağırlıkça % 19 dur.

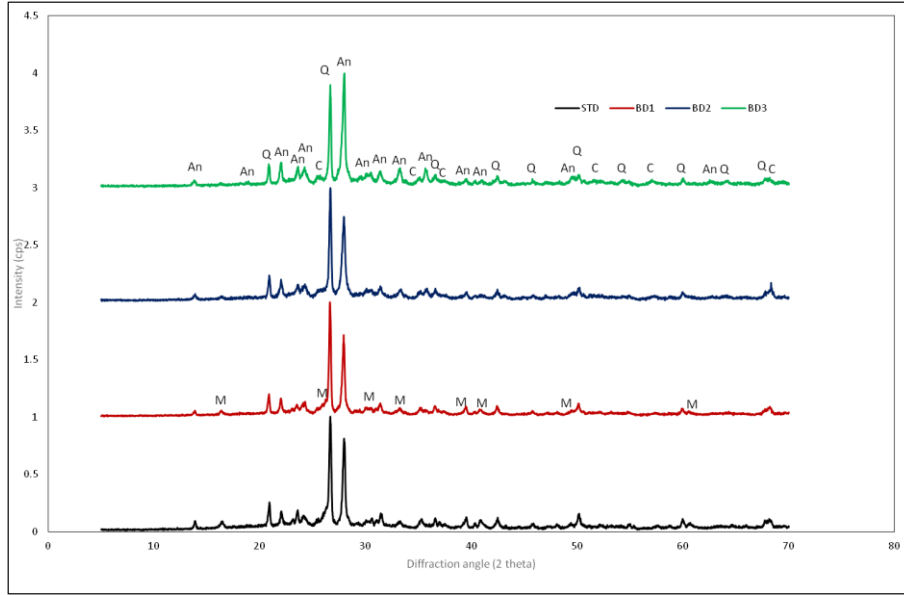
Tablo 1. Hammadde kimyasal analizleri (% ağırlıkça)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	A.Z.
Kaolen	65.000	23.000	0.500	0.500	0.200	0.150	0.200	0.300	10.000
Sodyum feldispat	71.100	17.400	0.050	0.240	0.600	0.100	9.360	0.340	0.500
Kuvars	97.640	0.730	0.180	0.030	0.100	0.010	0.010	0.470	0.430
Mermer Tozu	0.25	-	0.02	0.01	48.9	2.2	-	-	48.6
Kil	59.000	25.000	1.000	1.500	0.600	0.700	0.600	2.700	8.500
Kırmızı Çamur	16.9	15.40	39.68	5.63	2.14	-	-	0.42	19

A.Z.: Ateş zayıtı

3.2. Faz Analizleri

Numunelere ait XRD analizleri sonuçları Şekil 1 de verilmiştir. Numunelere yapılan faz analizi sonuçlarına göre ağırlıkça % 10 kırmızı çamur içeren BD1 bünyesi müllit, kuvars ve anortit fazları içermektedir. Ağırlıkça % 20 kırmızı çamur içere BD2 bünyesi ise Kuvars ve anortit fazları içermektedir. % 30 kırmızı çamur içeren BD3 bünyesi ise kuvars, anortit ve korundum fazları içermektedir. Kırmızı çamur yüksek oranda Fe₂O₃ içermesine rağmen geliştirilen bünyelerde Fe₂O₃ tespit edilmemiştir. Bu durum demir oksidin ya anortit yapısı içersine girmesi ile ya da camsı faz içinde çözüldüğünü düşündürmektedir



Şekil 1. Numunelere ait XRD analizi, Q: Kuvars, M:Müllit, An: Anortit, C: Korundum

3.3. Teknolojik Özellikler

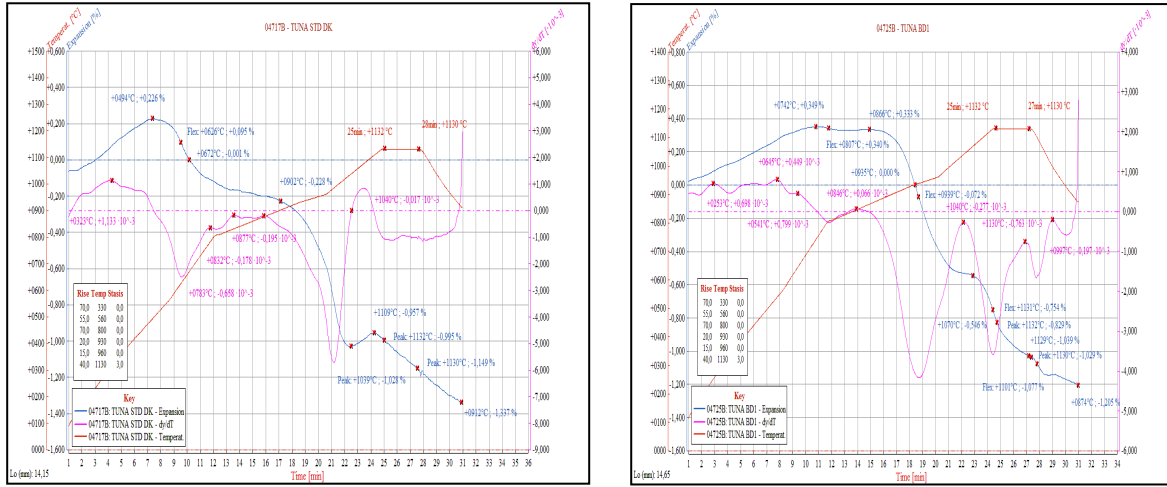
Numunelere ait teknolojik özellikler Tablo 2 de sunulmuştur. Kırmızı çamur ilavesi ile beraber numunelerin su emme değerleri artmıştır. Pişme küçülmesi değerleri de buna bağlı olarak azalmıştır. Artan oranlarda kırmızı çamur ilavesi ile hem kuru mukavemetlerde hem de pime mukavemetlerinde artış gözlemlenmiştir. Özellikle mukavemetteki artış faz analizlerinden de görüldüğü üzere kırmızı çamur ilaveli bünyelerde anortit fazının artması ve korund fazının oluşması ile alakalıdır. Korund fazının oluşumu mukavemet artırıcı ikinci faz etkisi göstermiştir. Mukavemet artışını sağlayan bu ikinci faz etkisi Tarhan B ve Aydın T tarafından yapılan çalışmalarda da gösterilmiştir. Özellikle de korund fazının yüksek elastik modülü mukavemet değerlerinde % 10 artış sağlamıştır. Aydın T yaptığı çalışmada alüminanın yüksek elastik modülünün elektroporselen bünyelerdeki katkısını göstermiştir. Renk analizi için CIElab metodu kullanılmıştır. Bu metoda göre karo beyazlığı ve rengi belirlemek için 3 ana parametre kullanılmaktadır. L* parametresi parlaklığı yani L = 100 değeri tam beyazlığı, L=0 değeri de tam siyah rengi ifade eder. a* parametresi ise kırmızı-yeşil renk aralığını, b* parametresi de sarı-mavi renk aralığını ifade ettiğini Tarhan ve Selli N çalışmalarında anlatmışlardır. Bu çalışmada elde edilen verilere göre artan oranlarda kırmızı çamur ilavesi ile numunelerin beyazlık değeri STD bünnyeye kıyasla azalırken bünyelerin kırmızı rengi (a*) artmıştır. Teknik özelliklerden ve renk analizi verilerinden elde edilen bulgular göstermektedir ki herhangi bir pigment ilavesi yapmadan kırmızı renkli bünyelerin eldesinde kırmızı çamur kullanılabilir.

Tablo 2. Numunelere ait teknolojik özellikler

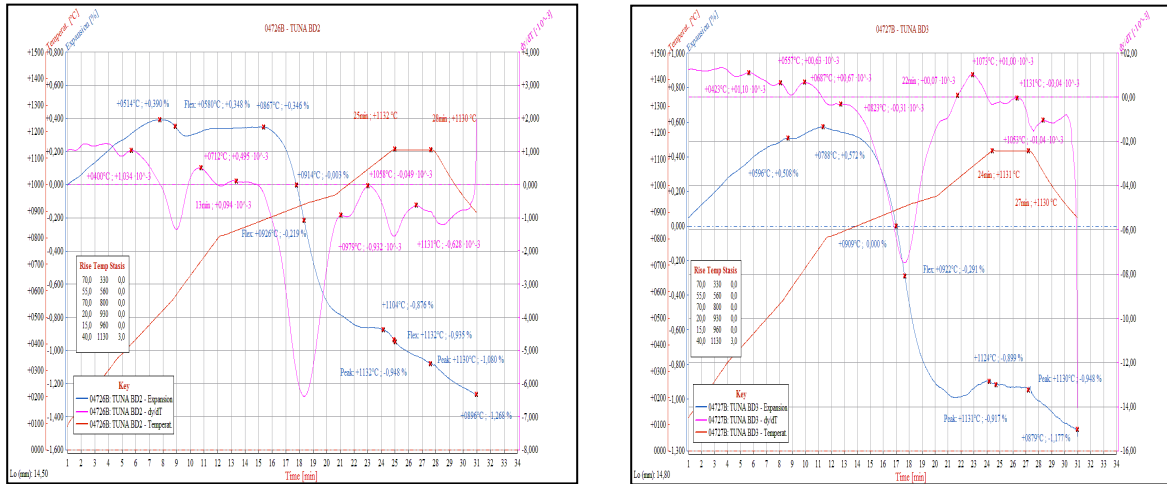
Numune	Su Emme	Pişme Küçülmesi	Yoğunluk gr/cm ³	Kuru Mukavemet kg/cm ²	Pişme Mukavemeti kg/cm ²	Renk analizi		
						L*	a*	b*
STD	18.38	1.16	1.68	11.01	159.23	89.37	2.00	7.43
BD1	18.40	1.09	1.72	11.14	168.86	69.98	10.21	18.32
BD2	20.43	1.08	1.70	11.63	161.13	57.88	14.02	21.13
BD3	21.58	1.00	1.70	15.92	175.26	46.97	12.22	17.29

3.4. Sinterleme Analizi

Bünyelere ait temassız optik dilatometre cihazı ile yapılmış pişirim analizi sonuçları Şekil 2 ve Şekil 3 de verilmiştir. Şekil 2 STD ve BD1 duvar karosu bünyelerine ait temassız optik dilatometre ile pişirim analizi sonucunu göstermektedir. Grafiğe göre STD bünye yaklaşık 900 °C ye kadar bir genişleme gösterdikten sonra küçülmeye başlamıştır. 1039 °C civarlarında kristalleşme göstermiştir. Bu kristallenme anortit fazlarının oluşumudur. Anortit fazının oluşum sıcaklığı Aydın T ve arkadaşlarının yatıkları çalışmalarda gösterilmiştir. BD1, BD2 ve BD3 bünyelerine ait pişirim eğrileri incelendiğinde Std bünyeye kıyasla pişirimin ilk aşamasında 900 °C ye kadar bu bünyelerin daha fazla genişlediği görülmektedir küçülme aşamasının da hemen hemen aynı sıcaklıkta başladığı tespit edilmiştir. XRD grafiklerinden de görüldüğü üzere Anortit fazlarının oluşumu kırmızı çamur ilavesi ile artmaktadır. BD1, BD2 ve BD3 bünyelerinde de kristalleşme bölgesi STD bünyeye kıyasla daha geniştir. Pişirim eğrisindeki bu durumda XRD analizini doğrulamaktadır.



Şekil 2. STD ve BD1 bünyelerine ait temassız optik dilatometre analizi



Şekil 3. BD2 ve BD3 bünyelerine ait temassız optik dilatometre analizi

4. Sonuç

Endüstriyel bir atık olan kırmızı çamurun yeniden değerlendirilmesi amacı ile yapılan bu çalışmada maksimum % 30 oranında kaolen yerine kırmızı çamur kullanılması ile özellikle kuru mukavemet ve pişme mukavemet gibi teknik özelliklerde artış sağlanmıştır. Yapılan faz analiz sonuçları da korund fazının oluşumunu göstermiş ve bu faz oluşumunda ikinci faz etkisi ile mukavemetlerin artmasını sağlamıştır. Endüstriyel uygulamalarda özellikle proses kontrolünde kuru mukavemet değerleri önem arz etmektedir. Ürün kaybının azaltılması yönünde kırmızı çamur ilavesi kuru mukavemet değerlerini de artırmıştır. Bu çalışma ayrıca herhangi bir pigment kullanmadan kırmızı renkli bünyeler elde edilmesinde kırmızı çamurun kullanılabilirliğini göstermektedir.

Referanslar

- Aydin T., Tarhan M., Tarhan B., (2019). Addition of cement kiln dust in ceramic wall tile bodies, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 136:527–533
- Aydin T., Paksoy, C. , (2019). The effect of cement raw mix waste dust on porcelain tile properties, *Journal of the Australian Ceramic Society*, 55:37–45
- Aydin T., Kara A., (2016). Effects of Alumina on Porcelain Insulators, *Journal of The Australian Ceramic Society*, 52[1], 83 – 88
- Kaya E, (2010). Seydişehir kırmızı çamur atığının seramik sanatinde değerlendirilmesinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enst. , Konya Selçuk Üniversitesi
- Ozturk ZB, Eren E., (2007), Preparation of ceramic wall tiling derived from blast furnace slag. *Ceram Int.*, 41(9):12020–6, 2015
- Pontikes Y., Nikolopoulos P, Angelopoulos G.N., Thermal behaviour of clay mixtures with bauxite residue for the production of heavy-clay ceramics, *Journal of the European Ceramic Society*, 27, 1645–1649
- Selli NT. (2015). Development of anorthite based white porcelain stoneware tile compositions. *Ceram Int.*, 41:7790–5, 2015
- Taoyong L., Jiashuo Z., Jiaqi W., Jianlei L., Cui L., Tanxiang N., Zhiwei L., Xin Z., Qifeng Y., Anxian L., (2019). The utilization of electrical insulators waste and red mud for fabrication of partially vitrified ceramic materials with high porosity and high strength. *Journal of Cleaner Production* 223 790-800
- Tarhan M., Tarhan B., Aydın T., (2016). The effects of fine fire clay sanitary ware wastes on ceramic wall tiles, *Ceramics International*, 42, 17110–17115
- Tarhan B., Tarhan M., Aydın T., (2017). Reusing sanitaryware waste products in glazed porcelain tile production, *Ceramics International*, 43, 3107-31112
- Tarhan M., (2019). Whiteness improvement of porcelain tiles incorporated with anorthite and diopside phases, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 138, 929–936



Personel Görev Çizelgeleme Problemi İçin Bir Excel Çözücü Modeli: Orta Gerilim Sigorta Üretimi Uygulaması

An Excel Solver Model For Personnel Task Scheduling Problem: Application Of Medium Voltage Fuse Production

Mehmet Pınarbaşı¹ , Hacı Mehmet Alakaş¹ 

¹Dr. Endüstri Mühendisi, Ulukavak Mah. Mavral Sk. 19030, Çorum, TÜRKİYE

²Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 17/04/2020

Kabul / Accepted: 18/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Artan işçilik maliyetleri ile birlikte, işçi yoğun çalışan işletmeler işgücünü daha etkin ve dengeli olarak kullanmaya yönelmektedir. Bu sebeple işletmeler çalışan personellerini mümkün olduğu kadar maksimum görevde çalıştırmak istemektedirler. Bir veya birden fazla amacı en iyileyecek şekilde personellere görevlerin atanması problemi personel görev çizelgeleme problemi olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada personel görev çizelgeleme problemi için bir matematiksel model önerilmiştir. Model Excel çalışma sayfası ve Çözücü aracı kullanılarak çözülmüştür. Problem çözümünde orta gerilim sigorta üretimi yapan bir işletmeden elde edilen gerçek veriler kullanılmıştır. Bu gerçek veriler kullanılarak önerilen matematiksel model çözülmüştür. Excel çözücü modelinin etkinliğini ölçmek için matematiksel model sonuçları ile çözücü performansı karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Önerilen çalışma sayfası çözümü sayesinde işletmede işgücünün %85 oranında daha etkin ve verimli kullanılmasına önemli ölçüde katkı sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Personel görev çizelgeleme problemi, İşgücü dengeleme, Matematiksel modelleme, Excel çözücü, Orta gerilim sigorta”

Abstract

Along with increasing labor costs, labor-intensive firms tend to use the labor force more effective and balanced. For this reason, firms want to employ their personnel as to possible as maximum tasks. The personnel task scheduling problem is defined as the problem of assigning tasks to the personnel while one or more objectives are optimized. In this study, a mathematical model has been proposed for personnel task scheduling problem. The model is solved by using the Excel spreadsheet and Solver tool. The real-life data obtained from a firm that produces the medium voltage fuses are used in problem-solving. The proposed mathematical model is solved by using this real data. In order to measure the effectiveness of the Excel solver model, mathematical model results are compared with the solver's performance. Thanks to the proposed worksheet solution, a significant contribution has been made to the efficient and productive use of the workforce in the firm.

Key Words

“Personnel task scheduling problem, Workforce balancing, Mathematical modelling, Excel solver, Medium voltage fuses”

1. Giriş

Günümüzde üretim sistemlerinin en büyük problemlerinden biri ve başta geleni maliyetlerin yükselmesine karşın satış fiyatlarının pazar şartlarına bağlı olarak belirlenmesidir. Üreticiler bu rekabet ortamında hem malzeme maliyetlerini hem de süreçlerden kaynaklı maliyetleri minimize ederek karlarını artırmayı hedeflemektedirler. Özellikle süreçlerden kaynaklı maliyetlerin düşürülmesi için üretim planlama ve çizelgeleme büyük önem arz etmektedir.

Üretim planlama, taleplerin karşılanması için makine, ekipman ve işgücü gibi üretim kaynaklarının maksimum verimlilik ve minimum maliyetle kullanılması ile üretim faaliyetlerinin organize edilmesidir. Üretim planlama kapsamında talep tahmini, malzeme yönetimi, stok planlama, kapasite planlama ve çizelgeleme faaliyetleri ön plana çıkan ana konular olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle kısa dönem planlama çalışmalarında üretilecek ürünlerin ve adetlerinin belirlenmesinde kapasite planlaması önem arz etmektedir. Ana üretim planının ve çizelgelerin oluşmasında makine ve işçi kapasiteleri önemli bir kısıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir diğer önemli kısıt da taleplerin teslim tarihleridir. Pratikte ve teorikte hem taleplerin teslim tarihleri hem de fabrikanın üretim kapasitesi dikkate alınarak genellikle haftalık olarak ana üretim planları oluşturulmaktadır.

Ana üretim planının belirlenmesinde özellikle işçiliğin yüksek olduğu işletmelerde işgücü kapasitesi belirgin olmaktadır. Sınırlı sayıdaki işçinin üretimi aksatmayacak şekilde üretim süreçlerine dağıtımının ve zaman içerisinde işlerin koordinasyonunun düzenli bir şekilde yapılması çok önemlidir. Bir işletmede işgücünün üretim sürecinde bulunan görevlere bir veya birden fazla amacı göz önünde bulundurularak atanması problemine personel görev çizelgeleme problemi (PGÇP) denir.

Görev çizelgeleme problemi NP-zor yapıda olması nedeniyle literatürde çok fazla sayıda çalışmaya konu olmuştur (Hojati, 2018). Bu çalışmalarda genellikle matematiksel model veya sezgisel model yaklaşımları çözüm yöntemi olarak kullanılmıştır. Bu yöntemler etkinliği göz önünde bulundurulduğunda çok avantajlı olsalar da pratikte uygulanması açısından zorluklar çekilmektedir (Lapègue vd., 2013). Özellikle işletmeler kullanıcı dostu ve kolay uygulanabilir çözüm yöntemlerini tercih etmektedir.

Firmalarda, birçok gerçek hayat probleminin matematiksel modellerinin kurulması ve programlama yazılımlarının uygulanmasında firma çalışanlarının yeterli uzmanlık bilgisine sahip olmaması önemli bir sorundur. Personel görev çizelgeleme problemi firmalarda genellikle günlük veya haftalık olarak tekrarlı bir şekilde farklı ölçüm değerleri ve kısıtlar ile çözümlenerek yöneticiler tarafından yorumlanması gereken bir problemdir.

Matematiksel modellerin programlanmasında Lingo, GAMS, ILOG gibi birçok ticari yazılım kullanılmaktadır. Matematiksel modellemede ve programlamada tecrübeli bir endüstri mühendisi için bu tür yazılımlarda PGÇP'yi programlamak oldukça basit olsa da firma genelindeki kullanıcıların da problemdeki küçük parametre değişiklikleri ile problemi çözmeye kolaylıkla ulaşılabilir, anlaşılması kolay ve çeşitli grafik araçları ve yöntemleri ile yorumlar yapılabilmesine olanak sağlayan bir yazılıma sahip olması gerekmektedir. Bu sebeple problemin çözümünde etkili bir arayüze sahip, programlama bilgisi gerektirmeyen ve yaygın kullanılan bir yazılıma firmaların ihtiyacı vardır (Sakalli ve Birgören, 2009).

Excel işletmelerde hesaplama ve veri depolama amacı ile ilk sıralarda tercih edilen ve kullanılan bir tablolama yazılımıdır. İşletmeler problem boyutları küçük olduğunda, problemin çözümü için özel bir yazılıma sahip olunmadığı durumlarda veya problemin çözümü için özel bir teknik veya algoritmanın uygulanması için gerekli yeteneğe sahip olunmadığı durumlarda Excel'i tercih etmektedirler. İçerisinde bulundurduğu çeşitli istatistiksel ve matematiksel araçlar ile Excel işletmelerde karşılaşılan problemlere çözüm önerileri sunmaktadır. Bu çözüm önerilerinden biri de Çözücü aracı olarak bilinen, doğrusal ve doğrusal olmayan matematiksel modellerin çözümünde kullanılan araçtır. Çözücü, içerisinde maksimum tanımlanabilecek karar değişkeni sayısı, maksimum tanımlanabilecek kısıt sayısı gibi çeşitli modelleme kısıtları barındırır da genel olarak işletme problemlerinin çözümünde kullanışlı olmaktadır.

Bu çalışmada PGÇP ele alınmış ve problemin çözümünde Excel çalışma kitabı uygulaması üzerinde durulmuştur. Problem için personellerin toplam boş zamanını minimize edecek bir matematiksel model önerilmiştir. Modelde işçilerin yorulma ve motivasyon kaybını da göz önünde bulundurularak bir personele atanabilecek maksimum görev sayısı sınırlandırılmıştır. Modelin çözümü için Excel Çözücü aracından faydalanılmıştır. Model orta gerilim sigorta (OGS) üretimi yapan bir firmadan alınan gerçek veriler ile test edilmiştir. Firmada hali hazırda personel çizelgelemesi için herhangi bir model veya yazılım kullanılmaktadır. Bu sebeple firma için önemli olan bir probleme çözüm getirilmiştir. Firmanın hali hazırda bulunan görevlendirme çizelgesine göre daha etkin ve daha az boş zamana sahip bir görev ataması elde edilmiştir.

Çalışmanın devamı şu şekilde organize edilmiştir. Giriş bölümünden sonra Bölüm 2'de problem ile ilgili literatür araştırması verilmiştir. Bölüm 3'te PGÇP hakkında temel bilgiler ve önerilen matematiksel model verilmiştir. OGS bileşenleri ve üretim süreci hakkında detaylı bilgiler Bölüm 4'te sunulmuştur. OGS üretim sürecinde yer alan her bir alt bölümde gerçekleştirilen görevlere personel ataması, Excel çalışma sayfası çözümleri ve matematiksel model ile karşılaştırmalı sonuçlar Bölüm 5'te verilmiştir. Bölüm 6'da verilen sonuç bölümü ile çalışma sonlandırılmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

PGÇP literatürde farklı isimler ile ele alınmıştır. Bu problemleri şu şekilde sıralamak mümkündür: işçi çizelgeleme (Al-Yakoob ve Serali, 2007; Parisio ve Jones, 2015; Brezilianu vd., 2009; Ağralı vd., 2017; Drezet ve Billaut, 2008), vardiya çizelgeleme

(Al-Yakoob ve Sherali, 2007; Bhulai vd., 2008; Brunner vd., 2009; Topaloglu, 2009; Salvagnin ve Walsh, 2012; Solos vd., 2016; Boyer vd., 2014; Omar vd., 2015), PGÇP (Omar vd., 2015; Smet vd., 2014; Krishnamoorthy vd., 2012; Lapègue vd., 2013; Prot vd., 2015; Hojati, 2018), işgücü çizelgeleme (Valls vd., 2009; Fırat ve Hurkens, 2012; Liao vd., 2013; Laesanklang vd., 2015; Cuevas vd., 2016), personel çizelgeleme (Zolfaghari vd., 2009; Louly, 2013; Günther ve Nissen, 2010; Rocha, 2014; Soukour vd., 2012). Tablo 1’de PGÇP için literatür çalışmaları özetlenmiştir. PGÇP’nin çözümü için matematiksel programlama ve dal sınır algoritması gibi kesin yöntemlerin kullanılmasının yanı sıra birçok sezgisel yöntemin de (genetik algoritma, tabu arama, parçacık sürüsü vb.) kullanıldığı görülmektedir. Problemdaki personelin görev alanına göre de PGÇP çeşitli uygulama alanları bulmuştur. Bunları ise kısaca sağlık sistemleri, alışveriş merkezleri, çağrı merkezleri gibi birçok hizmet sistemleri ile araç üretimi, cam üretimi, telekomünikasyon sektörü gibi birçok üretim sistemleri olarak sıralamak mümkündür. Tablo 1’deki çalışmalardan da görüleceği üzere PGÇP’nin orta gerilim sigorta üretimi gibi bir firmada uygulamasına rastlanılmamıştır.

Tablo 1. Literatür çalışmaları

Problem tipi	Literatür	Çözüm yöntemi	Uygulama alanı
İşçi Çizelgeleme	Al-Yakoob ve Sherali (2007)	KT	Gaz istasyonu
	Parisio ve Jones (2015)	SP	Perakende Satış
	Brezulianu vd. (2009)	GA	Alışveriş Merkezi
	Ağralı vd. (2017)	KTP	Hizmet Endüstrisi
	Drezet ve Billaut (2008)	TA	Bilgi Teknolojileri
	Attia vd. (2019)	SA	-
Vardiya Çizelgeleme	Al-Yakoob ve Sherali (2007)	KTP	İş Merkezi
	Bhulai vd. (2008)	İM	Çağrı Merkezi
	Brunner vd. (2009)	TP	Doktor Çizelgeleme
	Topaloglu (2009)	ÇAP	Sağlık Sistemi
	Salvagnin ve Walsh (2012)	MP/KP	-
	Solos vd. (2016)	SA	Kamyon Üretimi
	Boyer vd. (2014)	DFA	-
	Omar vd. (2015)	SP	Acil Servis Bölümü
	Becker vd. (2019)	MP	Acil Servis Bölümü
	Kluger vd. (2020)	B	Salgın Personeli Çizelgeleme
Personel Görev Çizelgeleme	Smet vd. (2014)	SA	-
	Krishnamoorthy vd. (2012)	LY	-
	Lapègue vd. (2013)	KP	-
	Prot vd. (2015)	İSY	-
	Hojati (2018)	AS	-
	Chandrasekharan vd. (2020)	SA	-
İşgücü çizelgeleme	Valls vd. (2009)	GA	Hizmet Merkezi
	Fırat ve Hurkens (2012)	KTP	-
	Liao vd. (2013)	SP	Çağrı Merkezi
	Laesanklang vd. (2015)	AY	-
	Cuevas vd. (2016)	KTP	-
	Alfares ve Alzahrani (2019)	MP	Güvenlik Kapı Kontrolü
	Srinakorn ve Olapiriyakul (2020)	TP	Sağlık Sistemi
Personel Çizelgeleme	Zolfaghari vd. (2009)	GA	Perakende Sektörü
	Louly (2013)	AP	Telekomünikasyon Merkezi
	Günther ve Nissen (2010)	PS	-
	Rocha (2014)	YS	Cam Sanayi
	Soukour vd. (2012)	SA	Güvenlik Hizmeti
	Ozder vd. (2020)	ÇAP	Enerji Sektörü

KTP: Karışık Tam Sayılı Programlama, SP: Stokastik Programlama, GA: Genetik Algoritma, TA: Tabu Arama, İM: İteratif Metot, TP: Tam Sayılı programlama, ÇAP: Çok Amaçlı Programlama, MP: Matematiksel Programlama, KP: Kısıt Programlama, SA: Sezgisel Arama, DFA: Dal ve Fiyat Algoritması, LY: Lagrangean Yumuşatması, İSY: İki Safhalı Yaklaşım, AS: Açgözlü Sezgisel, AY: Ayrıştırma, AP: Amaç Programlama, PS: Parçacık Sürüsü, YS: Yapıcı Sezgisel, B: Benzetim

Tablo 2. Excel çalışma kitabı literatür çalışmaları

Literatür	Problem tipi	Çözüm yöntemi	Uygulama alanı
Erdoğan (2017)	Araç Rotalama Problemi	Meta-sezgisel/Çalışma Kitabı	Sağlık ve Turizm
Sakallı ve Birgören (2009)	Karışım Problemi	Doğrusal Programlama/Çalışma Kitabı	Döküm
Ovchinnikov ve Milner (2008)	Atama Problemi	Çok Kriterli Karar Verme/Çalışma Kitabı	Kolej
Shetty (2010)	Yalın Üretim	Anket/Çalışma Kitabı	Üretim Sistemi
Boute ve Lambrecht (2009)	Tedarik Zinciri Yönetimi	Simülasyon/Çalışma Kitabı	-
Kumar ve Kropp (2006)	Tedarik Zinciri Yönetimi	Simülasyon/Çalışma Kitabı	-
La Trobe-Bateman (2003)	Üretim Tasarımı	Çalışma Kitabı Araçları	-
Ashley (1995)	Personel Çizelgeleme	Çalışma Kitabı Formülasyonu	Kütüphane Personeli
Trautmann ve Gnägi (2015)	Kaynak Kısıtlı Proje Çizelgeleme	Çalışma Kitabı Formülasyonu	-
Cunha ve Fernando (2007)	Dağıtım Problemi	Çalışma Kitabı Modelleme	Gazete/Basın Yayın
LeBlanc vd. (2000)	Atama Problemi	Çalışma Kitabı Modelleme	Yapı Projesi
Briones ve Escola (2019)	Tasarım Problemi	Excel Çözücü Modelleme	Isı Ağı Tasarımı
Briones vd. (2020)	Sıralama Problemi	Excel Çözücü Modelleme	Damıtma Sistemi
Aljasser ve Sasidhar (2018)	Çok Aşamalı Çizelgeleme	Excel Çözücü Modelleme	Çoklu Ark Ağları

Excel çalışma kitabı uygulamalarına literatürde birçok problemin çözümünde rastlamak mümkündür. Bu çalışmalara, üretim sistemi problemlerinde (Erdoğan, 2017; Sakallı ve Birgören, 2009; Shetty, 2010; Boute ve Lambrecht, 2009; Kumar ve Kropp, 2006; La Trobe-Bateman, 2003), hizmet sistemi problemlerinde (Ovchinnikov ve Milner, 2008; Ashley, 1995; Trautmann ve Gnägi, 2015; Cunha ve Fernando, 2007; LeBlanc vd., 2000) çalışmaları örnek olarak verilebilir. Bu problemlerin çözümünde Excel ile birlikte yardımcı bazı metotlar da kullanılmıştır. Sezgisel veya metasezgiseller, çok kriterli karar verme yöntemleri, simülasyon gibi yöntemler bu metotlar arasında sayılabilir. Tablo 2’de Excel literatürü özetlenmiştir. Diğer Excel çalışma kitabı kullanılarak çözülebilen problem tipleri için Powell ve Baker (2014)’a bakılabilir. PGÇP için Excel çözücü modeli yaklaşımı literatürde hiç ele alınmamıştır.

Yazarların yaptığı araştırmaya göre, literatürde PGÇP’nin çözümü için Excel çalışma kitabı ve çözücü aracı kullanılarak yapılmış bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada PGÇP için önerilen bir matematiksel modelin Excel çözücü aracı ile modellenmesi ve çözümünün yanı sıra OGS üretimi yapan bir firmada uygulanması üzerinde durulmuştur. İşletmede yer alan tüm üretim süreçlerine ait Excel çözücü modeli ilerleyen bölümlerde detayları ile verilmiştir.

3. Problem Tanımı ve Matematiksel Model

PGÇP, P adet personelin T adet görevi yapmak üzere belirli bir amacı gerçekleştirmek üzere görevlendirilmesini sağlar. Bu çalışmada önerilen modelin amaç fonksiyonu personellerin toplam boş zamanını $I_i, i = 1, \dots, P$ en küçükmektir. Modelde dikkate alınan varsayımlar aşağıdaki gibidir.

- Günlük çalışma süresi 510 dakikadır.
- Personelde motivasyon eksikliği ve yorgunluğa sebebiyet vermemek için bir personele atanacak görev sayısı altı ile sınırlandırılmıştır. Bu açıdan matematiksel model firma isteklerine göre tanımlanmış yeni bir kısıt ile yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır.
- Her bir personel her bir görevi yapabilecek yeteneğe sahiptir.
- Görev süreleri sabittir ve önceden bilinmektedir.
- Görev süreleri personele göre değişmemektedir.
- Teknolojik kısıtlar dikkate alınmıştır. Bir görevin yerine getirilmesi için gereken personel sayısı önceden bilinmektedir.

Personel çizelgeleme problemi için çalışmada önerilen matematiksel model aşağıdaki gibidir.

İndisler

i = Personel

j = Görev

Parametreler P = Toplam personel sayısı T = Toplam görev sayısı W = Günlük çalışma süresi T_{\max} = Bir personele atanabilecek maksimum görev sayısı p_j = j görevi için gerekli personel sayısı t_{ij} = i personelinin j görevini gerçekleştirme süresi**Karar değişkenleri** $x_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ personeli } j \text{ görevine atanırsa} \\ 0, & \text{diğer durumlarda} \end{cases}$ I_i = i personelinin boş zamanı

$$\text{Min } \sum_{i=1}^P I_i \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^T x_{ij} \leq T_{\max} \quad i = 1, \dots, P \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^T x_{ij} \cdot t_{ij} \leq W \quad i = 1, \dots, P \quad (3)$$

$$I_i = W - \sum_{j=1}^T x_{ij} \cdot t_{ij} \quad i = 1, \dots, P \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^P x_{ij} \leq p_j \quad j = 1, \dots, T \quad (5)$$

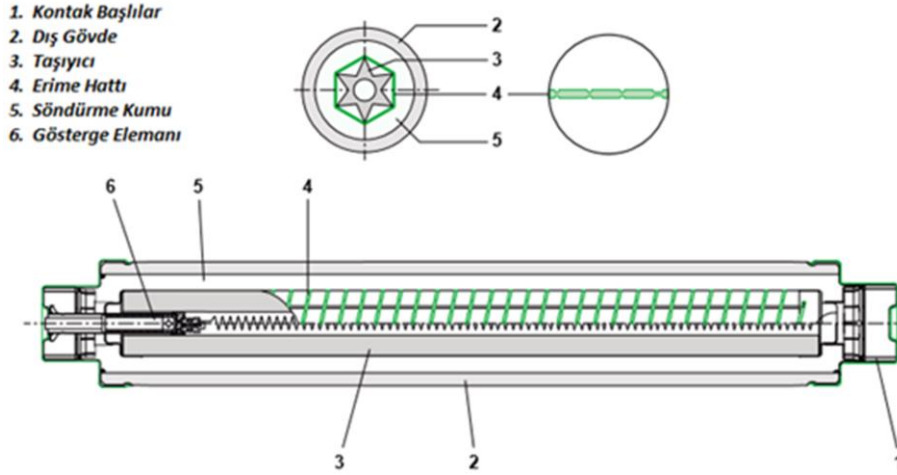
$$x_{ij} \in \{0, 1\}, I_i \geq 0 \quad (6)$$

Firmanın en önemli sorunu çalışan personellerin günlük çalışma zamanı içerisinde maksimum seviyede çalışmasını sağlamaktır. Bu sebeple önerilen model Eşitlik (1) personellerin toplam boş zamanlarını en küçükleyen amaç fonksiyonunu ifade edecek şekilde modellenmiştir. Firmada yer alan bazı görevlerin yorucu ve ağır olması nedeni ile bu etmenlerin personel üzerindeki etkisini azaltmak için bir personele atanacak toplam görev sayısı sınırlandırılmıştır. Bir personele atanabilecek maksimum görev sayısı Eşitlik (2) ile ifade edilmiştir. Eşitlik (3) bir personele günlük çalışma mesaisi süresinden (510 dk) daha fazla görev atanmamasını garanti eder. Bir personelin günlük boş zamanı toplam günlük çalışma süresinden ilgili personele atanan toplam görev zamanının çıkarılması belirlenir. Eşitlik (4) bu boş zamanları ifade eden denklem sistemini ifade etmektedir. Uygulamada gerçekleştirilen bazı görevlerin tek personel ile yapılamayacak kadar karmaşık veya ağır olması nedeni ile bazı görevler birden fazla personele ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeple her bir görevin yerine getirilmesi için gereken personel sayısı Eşitlik (5) ile garanti altına alınmıştır. Eşitlik (6) ise değişken kümelerini tanımlamaktadır.

4. Orta Gerilim Sigorta Üretimi

Orta gerilim sigortaları elektriksel sistemleri belirli bir gerilim aralığında otomatik ve seçici davranarak, sigortanın minimum kesme akımından daha büyük olan kısa devrelerde sistemi dinamik ve termal etkilerden koruyan elemanlardır. Genel hatları ile bir OGS Şekil 1'de gösterildiği gibi altı ana parçadan meydana gelmektedir. Bunlardan biri sigortanın görevini yapacağı elektriksel sistem ile bağlantısını sağlayan kontak başlıklardır. Bu başlıklar genellikle bakırdan imal edilmektedir ve iyi bir iletken olmak zorundadır. Dış gövde olarak tabir edilen bölüm seramikten imal edilmiş bir boru formundadır. Bu gövde termal ısınmalara ve elektriksel iletimden doğacak etkilere karşı dayanıklı ileri seviye seramiklerden üretilmektedir. Taşıyıcı olarak tabir edilen ve dış gövdenin içinde yer alan eleman ise sigorta içerisindeki elektriksel devrenin üzerine sarıldığı elemandır. Bu eleman da ileri seviye elektriksel seramik ürünlerdendir. Erime hattı taşıyıcı üzerine sarılan çok iyi derecede iletken olan bir tel formunda malzemedir. Bu malzeme için genellikle gümüş tercih edilmektedir. Dış gövde ile taşıyıcı arasında sigortanın çalışması durumunda meydana gelecek ısı enerjisini sönmölemek için bir söndürme kumu kullanılır. Bu kum çeşitli tanecik yapısına sahip genellikle silis veya kuvars kumundan oluşmaktadır. Gösterge elemanı ise mekanik veya optik olarak tasarlanan ve sigortanın görevini tamamlaması durumunda kullanıcıya sigortanın artık görev yapmadığını göstermek veya herhangi bir sistemin devreye konulması için bir butona basılmasını sağlamak amacıyla kullanılır. OGS'ler trafolar gibi elektriksel sistemlerin korunması için en yaygın ve ucuz olarak kullanılan malzemelerdir.

Çalışmada dikkate alınan orta gerilim sigorta üretiminde dört ana süreç yer almaktadır. Bu süreçler sırasıyla çamurhane, fırınlama ve kesme, yarı mamul imalatı ve montaj bölümlerinden oluşmaktadır. Üretim süreci kısaca çamurhane bölümünde hazırlanıp şekillendirilen pişmemiş seramik yarı mamullerin fırınlama ve kesme bölümünde pişirilmesi ve piştikten sonra istenilen ölçülerde kesilmesi ile devam eder. Daha sonra elde edilen seramik yarı mamuller montaj bölümüne iletilir. Montaj bölümünde nihai ürün montajının yanı sıra sigortanın kontak başlıkları, gösterge elemanı ve sigorta bağlayıcı elemanlarının üretimi gibi yarı mamullerin üretimi de gerçekleştirilir. Bu aşamalardan çamurhane ve fırınlama makine temelli olarak ele alınsa da ilgili makinelerde işlenecek malzemelerin hazırlanması, makineye işin yüklenmesi ve boşaltılması işçilik gerektirmektedir. Yarı mamul imalatı ve montaj işlemleri ise işçiliğin yüksek olduğu bölümlerdir. Bu bölümlerin kapasitesi işçi sayısı ile doğru orantılıdır. İşletmede toplam 12 işçi ve 43 görev yer almaktadır ve işlerin aksamadan koordinasyonunun sağlanarak yapılabilmesi için işçilerin üretim sürecinde farklı bölümlere atanması gerekmektedir. Bu aşamada hangi bölümde hangi işin hangi işçi tarafından yapılacağını belirlemek için bir problem olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1. Bir orta gerilim sigorta teknik resmi

5. Excel Çözücü Modeli ve Analizler

Excel Çözücü verilen bir matematiksel modelin parametreleri ile birlikte gerekli verileri Excel çalışma sayfası hücrelerinden alarak problemi çözmeye olanak sağlayan bir araçtır. Genel hatları ile modelin amaç fonksiyonu hedef hücre seçilerek çözücü parametreleri penceresinde hedef ayarla kutucuğunda belirtilir. Karar değişkenleri çalışma sayfasında çözücünün karar vereceği değişken hücreleri temsil eder ki çözücü parametreleri penceresinde değişken hücreler kutucuğunda belirtilir. Model kısıtları ilgili hücre veya hücre aralıkları ile sağ taraf değerleri çözücü parametreleri penceresinde kısıtlama ekleyerek tanımlanabilir. Daha sonra parametre penceresinde çözüm yöntemi (bu çalışma için Basit LP) seçilerek modelin çözümü sağlanabilir.

Excel standart lisansında 200 karar değişkeni ile 100 adet kısıtlama yapılmasına izin vermektedir. Çalışmada ele alınan problemin ve uygulama verilerine göre problemin boyutunun bu kısıtlamalardan çok büyük olduğu görülmektedir. Bu sebeple uygulama için problemin çözümü problem üretim sürecindeki farklı iş bölümlerine göre ayrıştırılmıştır. Örneğin, öncelikle çamurhane bölümündeki görevlere personel ataması yapılmış, daha sonra buradan elde edilen sonuç sonraki bölümler için bir girdi parametresi olarak kullanılarak problem kademeli olarak çözülmüştür. Son bölüm olan montaj bölümündeki görevlere personel ataması yapılması ile nihai çözüm elde edilmiştir. Sonraki bölümlerde problemin her bir iş bölümündeki çözümü verilmiştir.

Problem çözümündeki veriler işletmede yapılan zaman etütleri ile belirlenmiştir. Elde edilen veriler yapılan toplu ve ana üretim planları çerçevesinde günlük üretilmesi istenen OGS miktarı belirlenmiştir. Görev süreleri ve üretim planına göre bir görevin günlük plan içerisindeki toplam görev süresi belirlenmiştir. Bu süreler dikkate alınarak personellere görev atamaları yapılacaktır.

5.1. Çamurhane Bölümü Sonuçları

Bu bölümde OGS'de kullanılan ileri seviye seramiklerin belirli reçete oranlarında hammaddelerin karıştırılması ile elde edilen çamur hazırlanır. Değirmenlere doldurulan hammaddeler belirli sürelerde su ile öğütülerek çamur elde edilir. Elde edilen çamur elendikten sonra tanklarda muhafaza edilir. Preslerde suyu alınan çamurlar dış gövde veya taşıyıcı olarak şekillendirilmek üzere makinelerle yönlendirilir.

Dış gövde ortam şartlarından etkilenmemesi için sır ile kaplanmaktadır. Bu sır yine hammaddelerin belirli oranlarda değirmene doldurulması ve öğütülmesinin ardından elenir, daha sonra renklendirmesi yapılarak uygun kaplarda muhafaza edilir. Bu süreçlerde geçen toplam 12 görev Şekil 2'de verilmiştir.

Ayrıca Şekil 2'nin A bölümünde her bir görevin her bir personel tarafından gerçekleştirileceği süreler yer almaktadır. Bu çalışmada bu görev süreleri her bir personel için aynı kabul edilmiştir. Şekil 2'nin B bölümünde günlük çalışma süresi olan 510 dk. ve bir personele verilecek olan ortalama görev sayısı (bu çalışmada 6'dır) kısıtlarına ait veriler belirtilmiştir. C bölümünde ise her bir

görevin yerine getirilmesi için gerekli personel sayısı belirtilmiştir. Genel olarak Şekil 2’de verilen tablo problem girdilerinin tanımlandığı tabloyu ifade etmektedir.

		Personel												C	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
3	Çamurhane	Çamur Hammaddde Tartım	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	2
4		Değirimen Doldurma	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	4
5		Değirimen Su Verme	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	1
6		Çamur Eleme	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	1
7		Çamur Tanka Basma	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	1
8		Pres Boşaltma	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	2
9		Sır Hammaddde Tartım	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	1
10		Sır Değirimen Doldurma	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	2
11		Sır Eleme	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	1
12		Sır Ayarlama ve Renklendirme	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	2
13		Dış Gövde Şekillendirme	191.3	191.3	191.3	191.3	191.3	191.3	191.3	191.3	191.3	191.3	191.3	191.3	2
14		Taşıyıcı Şekillendirme	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	2
15															
16		Günlük Çalışma Süresi (dk)	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	
17	Ortalama Görev Sayısı	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		

Şekil 2. Çamurhane bölümü parametreleri (A: Görev süreleri, B: Günlük çalışma süresi ve ortalama görev sayısı kısıt parametreleri, C: Görevin gerçekleştirilmesi için gerekli personel sayıları)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	E
21	Çamurhane	Çamur Hammaddde Tartım	1		1									2
22		Değirimen Doldurma	1	1	1	1								4
23		Değirimen Su Verme		1										1
24		Çamur Eleme		1										1
25		Çamur Tanka Basma			1									1
26		Pres Boşaltma	1	1										2
27		Sır Hammaddde Tartım	1											1
28		Sır Değirimen Doldurma	1		1									2
29		Sır Eleme		1										1
30		Sır Ayarlama ve Renklendirme	1	1										2
31		Dış Gövde Şekillendirme			1	1								2
32		Taşıyıcı Şekillendirme								1	1			2
33														
34	Günlük Çalışma Süresi (dk)	240	285	356.3	221.3				102	102			F	
35	Toplam Görev Sayısı	6	6	5	2				1	1				
36	Boş Zaman (dk)	270	225	153.8	288.8	510	510	510	408	408	510	510	510	

Şekil 3. Çamurhane bölümü çözüm sonuçları (D: Karar değişkenlerine ait atama hücreleri: 1 ise personele görev atanmış değilse atanmamış, E: Görevin gerçekleştirilmesi için gereken personel sayısının atandığı hücreler, F: Günlük çalışma süresi, toplam görev sayısı ve boş zaman sonuçları)

Şekil 3’te verilen tabloda çözücü aracı için gerekli olan değişken hücreler, amaç fonksiyonu ve kısıtlamalara ait hesaplamalar yapılmıştır. Şeklin D bölümünde her bir göreve personelin atanıp atanmadığını gösteren ikili değişkenleri ifade eden tablo hücreleri tanımlanmıştır. E bölümünde her bir görev için atanan toplam personel sayısını ifade eder. Örneğin çamur hammadde tartım görevi için bu değer $TOPLA(C21:N21)$ formülü ile hesaplanır. Şeklin F bölümünde model kısıtlamaları için hesaplamalar yapılmıştır. Günlük çalışma süresi kısıdı birinci personel için $TOPLA(\text{ÇARPIM}(C21:C32;C3:C14))$ formülü ile hesaplanır. Formül birinci personele ait değişken hücreler ile Şekil 2’de birinci personele ait görev sürelerinin yer aldığı hücre aralığının tek tek çarpılmasını ve toplamını ifade eder. Toplam görev sayısı kısıdı $TOPLA(C21:C32)$ formülü ile hesaplanır. Buradaki toplam değer bir personele atanabilecek toplam görev sayısı olan altıyı geçmemelidir. Bir personele ait boş zaman ise birinci personel için C16-C34 formülü ile hesaplanır. Formül günlük çalışma süresinden personele atanan görevlerin toplam süresi çıkarılarak belirlenir. Diğer görev ve personeller için hesaplamalar da benzer şekilde yapılır.

Hazırlanan girdi parametrelerine ait tablolardan sonra Excel Çözücü aracı için gerekli parametrelerin belirtilmesi gerekir. Şekil 4’te çözücü parametreleri tanımlanmıştır. Hedef ayarla bölümünde yer alan hücrede amaç fonksiyonu olan tüm personelin toplam boş zamanı gösterilmiştir. Hücrede yer alan formül Şekil 3’te F bölümünde yer alan boş zaman hücrelerinin toplamı ile $TOPLA(C36:N36)$ şeklinde ifade edilir. Değişken hücreler bölümü Şekil 3’te D bölümünde yer alan hücre aralığıdır.

Çözücü parametrelerindeki kısıtlamalar bölümü ise sıra ile modeldeki kısıtları ifade eder. Bu kısıtlar sıra ile $\$C\$21:\$N\$32=ikili$ düzen şeklinde ifade edilen kısıt değişken hücrelerin ikili yapıda olacağını ifade eder. İkinci kısıt olan $\$C\$34:\$N\$34\leq\$C\$16:\$N\16 formülü bir personelin toplam günlük çalışma süresinden daha fazla süre çalışmamasını sağlayan kısıttır. Üçüncü kısıt olan $\$C\$35:\$N\$35\leq\$C\$17:\$N\17 formülü bir personele atanabilecek toplam görev sayısı kısıdını garanti eder.

$\$O\$21:\$O\$32=\$O\$3:\$O\14 formülü ile ifade edilen kısıt bir görevin yerine getirilmesi için gereken personel sayısını garanti eder. Modelimiz bir doğrusal programlama modeli olduğu için çözücü parametrelerinde çözüm yöntemi olarak Basit LP seçilip çöz butonuna basılarak çözüm elde edilebilir. Çamurhane bölümü için bu çözüm Şekil 3'te verildiği gibi elde edilmiştir.

Şekil 4. Çamurhane bölümü için Excel Çözücü parametrelerinin ayarlanması

5.2. Fırın ve Kesme Bölümleri Sonuçları

Fırın bölümü çamurhane bölümünden çıkan dış gövde veya taşıyıcı olarak şekillendirilmiş çamurun belirli sıcaklıklarda pişirildiği bölümdür. Fırın bölümünde ürün fırına girmeden önce eğer ürün dış gövde ise üzerindeki toz vb. pisliklerin alınması için rötuşlama işlemi yapılır. Daha sonra dış gövde hazırlanmış olan sır ile sırlanır. Elde edilen sırlanmış dış gövdeler fırınlara yüklenir ve pişim işlemi bittikten sonra fırından pişmiş ürünler boşaltılır.

Kesme bölümü ise pişimden gelen dış gövde ve taşıyıcıların belirli ölçülerde kesildiği ve sigorta bileşenlerinin montajı için gerekli olan bazı işlemlerin yapıldığı bölümdür. Dış gövde ve taşıyıcının OGS içerisine montajı için ürünler üzerine kanal diye ifade edilen belirli ölçü ve derinlikte bir işlem yapılır. Bu işlemler sırasında ürünlerin hasar görme ihtimallerini göz önünde bulundurarak ürünler kalite ayırımına tabi tutulur. Kalite şartlarını sağlayan ürünler montaj bölümüne gönderilir.

Fırın ve kesme bölümündeki toplam 10 göreve ait parametreler Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5 oluşturulurken Bölüm 5.1 ve Şekil 2'de anlatılan yazım şartları korunmuştur. Şekil 5'te farklı olan "Çamurhane Zamanı" şeklinde kırmızı ile gösterilen alan problemin ayrıştırılmasından dolayı personellere eğer varsa çamurhane bölümünden gelen görev sürelerini ifade eder. Bunun yanı sıra ortalama görev sayısı satırı da bir önceki bölümden elde edilen veriler ile güncellenmiştir. Örneğin çamurhane bölümünde üçüncü personele beş görev atandığı ve toplam görev sayısı kısıdı gereği diğer bölümlerde bu personele ancak bir görev daha atanabileceği görülmektedir.

Şekil 6'da bölüm 5.1 ve Şekil 3'te verilen yazım şartlarına uygun olarak hazırlanan fırın ve kesme bölümüne ait çözücü parametre tablolarıdır. Şekil 7 fırın ve kesme bölümü için Çözücü parametrelerinin nasıl ayarlandığını gösterir. Daha sonra problem çözüldüğünde Şekil 6'da verilen sonuçlar elde edilmiştir.

		Personel												Gereken Personel Sayısı	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
3	Fırın	Dış Gövde Rötuşlama	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	2
4		Dış Gövde Sırlama	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	2
5		Fırın Yükleme	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	3
6		Fırın Boşaltma	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	4
7	Kesme	Dış Gövde Kesme	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195	1	
8		Taşıyıcı Kesme	28.34	28.34	28.34	28.34	28.34	28.34	28.34	28.34	28.34	28.34	28.34	28.34	1
9		Dış Gövde Kanal Açma	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	1
10		Taşıyıcı Kanal Açma	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	1
11		Dış Gövde Kalite Ayırım	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	1
12	Taşıyıcı Kalite Ayırım	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	51.67	1	
13		Çamurhane Zamanı	240	285	356.3	221.3				102	102				
14															
15		Günlük Çalışma Süresi (dk)	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	
16		Ortalama Görev Sayısı			1	4	6	6	6	5	5	6	6	6	

Şekil 5. Fırın ve kesme bölümü parametreleri

			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Toplam Personel Sayısı
19	Fınn	Dış Gövde Rötüşlama				1	1								2
20		Dış Gövde Sırlama				1		1							2
21		Fınn Yükleme				1	1	1							3
22		Fınn Boşaltma					1	1	1	1					4
23	Kesme	Dış Gövde Kesme						1							1
24		Taşıyıcı Kesme						1							1
25		Dış Gövde Kanal Açma					1								1
26		Taşıyıcı Kanal Açma				1									1
27		Dış Gövde Kalite Ayrım					1								1
28		Taşıyıcı Kalite Ayrım					1								1
29															
30		Günlük Çalışma Süresi (dk)	240	285	356.3	417.9	491.7	353.3	30	132	102				
31		Toplam Görev Sayısı				4	6	5	1	1					
32		Boş Zaman (dk)	270	225	153.8	92.08	18.33	156.7	480	378	408	510	510	510	

Şekil 6. Fınn ve kesme bölümü çözüm sonuçları

Çözücü Parametreleri

Hedef Ayarla:

Hedef: En Büyük En Küçük Değeri:

Değişken Hücreleri Değiştirerek:

Kısıtlamalara Bağlıdır:

SCS19:\$N\$28 = ikili düzen
 SCS30:\$N\$30 <= SCS15:\$N\$15
 SCS31:\$N\$31 <= SCS16:\$N\$16
 SOS19:\$O\$28 = SOS3:\$O\$12

Şekil 7. Fınn ve kesme bölümü için Excel Çözücü parametrelerinin ayarlanması

5.3. Yarı Mamul İmalat Bölümü Sonuçları

Yarı mamul bölümü bir OGS için Şekil 1’de verilen bileşenlerin imal edildiği bölümdür. Sigortanın uç kısımlarında bulunan kontak başlıklar özel seçilmiş malzemelerden kesilip, şekillendirilip ve üzerine kanalının açılması ile bu bölümde üretilir. Sigorta iç kısmında yer alan taşıyıcıyı kontağı başlıklara tutturmak için kullanılan tarak ile ifade edilen yarı mamul de bu bölümde üretilmektedir. Ayrıca bu bölümde sigortanın dışardan görevini tamamlayıp tamamlamadığının görülmesi için kullanılan gösterge elemanının kurulumu yapılmaktadır. Yay, delikli kapak, son kapak ve kum sonlandırıcı olarak ifade edilen parçalar da bu bölümde üretilmektedir. Yarı mamul bölümündeki toplam 10 görev kısaca bu şekilde olup Şekil 8’de gerekli parametreler ile verilmiştir.

		Personel												Gereken Personel Sayısı	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
3	Yarı Mamul	Kontak Başlık Kesme	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	2
4		Kontak Başlık Şekillendirme	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	1
5		Kontak Başlık Kanal Açma	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	133.3	1
6		Yay Sarma	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	1
7		Tarak Presleme	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	2
8		Delikli Kapak Presleme	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	1
9		Kum Sonlandırıcı Presleme	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	1
10		Son Kapak Presleme	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	1
11		Tarak Takma	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	1
12		Gösterge Elemanı Yapma	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	1
13		Çamur+Fınn+Kesme Zamanı	240	285	356.3	417.9	491.7	353.3	30	132	102				
14															
15		Günlük Çalışma Süresi (dk)	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	
16		Ortalama Görev Sayısı			1			1	5	4	5	6	6	6	

Şekil 8. Yarı mamul bölümü parametreleri

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Toplam Personel Sayısı
19	Kontak Başlık Kesme							1	1					2
20	Kontak Başlık Şekillendirme			1										1
21	Kontak Başlık Kanal Açma						1							1
22	Yay Sarma							1						1
23	Tarak Presleme							1	1					2
24	Delikli Kapak Presleme							1						1
25	Kum Sonlandırıcı Presleme							1						1
26	Son Kapak Presleme								1					1
27	Tarak Takma								1					1
28	Gösterge Elemanı Yapma												1	1
29														
30	Günlük Çalışma Süresi (dk)	240	285	489,6	417,9	491,7	486,7	336,7	382	102				400
31	Toplam Görev Sayısı			1			1	5	4					1
32	Boş Zaman (dk)	270	225	20,41	92,08	18,33	23,32	173,3	128	408	510	510	110	

Şekil 9. Yarı mamul bölümü çözüm sonuçları

Şekil 10. Yarı mamul bölümü için Excel Çözücü parametrelerinin ayarlanması

Bölüm 5.1 ve Şekil 3'teki şartlara uygun olarak yarı mamul imalat bölümündeki görev çizelgeleme probleminin çözümü için gerekli olan çözücü parametrelerine ait tablolar Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 10'da ise bu bölüm için gerekli çözücü parametreleri ayarlanmış ve problem çözülmüştür. Çözüm sonuçları Şekil 9'da verildiği gibidir.

5.4. Montaj Bölümü Sonuçları

Montaj bölümü diğer bölümlerden gelen yarı mamullerin ürünün montaj şemasında verilen şekilde bir araya getirilerek nihai ürüne dönüştürüldüğü bölümdür. Toplam 11 adet görevin yer aldığı montaj bölümüne ait görevlerin parametre değerleri Şekil 11'de verilmiştir. Şekilde ortalama görev sayısı satırının önceki bölümlerdeki sonuçlar ile güncellenerek son dört personel haricinde tüm personellere maksimum görev sayısı kadar görevin atandığı görülmektedir.

Problemin montaj bölümü çözümü için gerekli çözücü parametreleri Şekil 12'de belirtilmiştir. Şekil 13'te gerekli çözücü parametreleri tanımlanıp problem çözüldüğünde elde edilen sonuç Şekil 12'de verildiği gibidir.

		Personel												Gereken Personel Sayısı
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
3	Erime Hattı Sarma	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	1
4	Kontak Başlık Sıvama	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	1
5	Taşıyıcı Puntalama	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	166.7	1
6	Gösterge Elemanı Takma	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	253.3	1
7	Tarak Puntalama	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	1
8	Delikli Kapak Sıvama	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1
9	Kumlama	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	1
10	Kum Sonlandırma Takma	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	1
11	Son Kapak Sıvama	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	1
12	Etiketleme ve Paketleme	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	233.3	1
13	Kolileme ve İstifleme	19.49	19.49	19.49	19.49	19.49	19.49	19.49	19.49	19.49	19.49	19.49	19.49	1
14	Diğer Bölüm Zamanları	240	285	489,6	417,9	491,7	486,7	336,7	382	102				400
15														
16	Günlük Çalışma Süresi (dk)	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	510	
17	Ortalama Görev Sayısı									5	6	6	5	

Şekil 11. Montaj bölümü parametreleri

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Toplam Personel Sayısı
20	Montaj	Erime Hattı Sarma										1		1
21		Kontak Başlık Sıvama										1		1
22		Taşıyıcı Puntalama									1			1
23		Gösterge Elemanı Takma									1			1
24		Tarak Puntalama									1			1
25		Delikli Kapak Sıvama											1	1
26		Kumlama									1			1
27		Kum Sonlandırma Takma									1			1
28		Son Kapak Sıvama										1		1
29		Etiketleme ve Paketieme									1			1
30	Kolileme ve İstifieme										1		1	
31														
32	Günlük Çalışma Süresi (dk)		240	285	489.6	417.9	491.7	486.7	336.7	382	502	506.2	506.7	500
33	Toplam Görev Sayısı										4	4	1	1
34	Boş Zaman (dk)		270	225	20.41	92.08	18.33	23.32	173.3	128	7.98	3.83	3.32	10

Şekil 12. Montaj bölümü çözüm sonuçları

Şekil 13. Montaj bölümü için Excel Çözücü parametrelerinin ayarlanması

Tüm bölümlerde personel görev çizelgesi yapıldıktan sonra elde edilen toplu sonuç Şekil 14’te verilmiştir. Ayrıca Excel çözücü modelinden sağlanan performans değerleri ile önerilen matematiksel modelden elde edilen performans değerleri karşılaştırmalı olarak Tablo 3’te verilmiştir. Matematiksel modelin çözümü için IBM ILOG CPLEX 12.6 yazılımından faydalanılmıştır ve Şekil 15’te elde edilen toplu personel görev çizelgesi verilmiştir. Şekil 14 ve Tablo 3’te verilen sonuçlara göre görevler için harcanan toplam zaman Excel çözücü modeli için 5144.42 dk. olarak gerçekleşirken matematiksel modelde 5144 dk. olarak gerçekleşmiştir. Tüm personellerin toplam boş zamanları çözücü ve matematiksel model için sırası ile 975,58 dk. ve 976 dk. olarak tespit edilmiştir. Her iki model için de verilen görev setini gerçekleştirmek için gerekli personel sayısı ortalama 11 olarak belirlenmiştir.

Excel çözücü modelinin detaylı analizinde, sekiz personele maksimum atanabilecek görev sayısı (6) kadar görev atanırken, bir personele beş, bir personele dört ve iki personele iki görev atanabilmiştir. Her ne kadar bazı personeller fazla bazı personeller az sayıda göreve atanmış olsa da toplam görev süresi açısından farklılıklar oluşabilmektedir. Örneğin iki adet görev alan 12. personelin sadece 10 dk. boş zamanı kalırken altı görev alan birinci personelin 270 dk. boş zamanı kalabilmektedir. Bu durum görev süreleri ve maksimum atanabilecek görev sayısı ile alakalıdır. Bunun yanı sıra firma zaten toplam işin gerçekleştirilmesi için gereken optimum personel sayısından fazla personel sayısı ile çalışmaktadır. Firma günlük çalışan personel sayısı açısından ani izinler nedeni ile günlük ortalama neredeyse bir kişi eksik olarak faaliyet göstermektedir. Bu sebeple yüksek boş zamanlar olması eksik personel durumu nedeni ile firma tarafından avantaj olarak kullanılmaktadır. Burada bahsedilen benzer durumlar matematiksel model sonuçları için de geçerli olup bu durum Tablo 3’te rahatlıkla görülebilmektedir. Excel çözücü modeli ile matematiksel modelin farklılaştığı tek sonuç görevlerin atandığı personel atama çizelgesidir. Karşılaştırmalı sonuçlar genel olarak değerlendirdiğinde Excel çözücü modelinin etkili ve başarılı bir performans ortaya koyduğu görülmektedir.

Tablo 3. Excel çözücü ve matematiksel model sonuçlarının karşılaştırılması

Personel	Matematiksel Model			Excel Çözücü Modeli		
	Çalışılan Zaman	Boş Zaman	Atanan Toplam Görev Sayısı	Çalışılan Zaman	Boş Zaman	Atanan Toplam Görev Sayısı
1	473	37	6	240	270	6
2	195	315	6	285	225	6
3	503	7	6	489.59	20.41	6
4	473	37	6	417.92	92.08	6
5	510	0	6	491.67	18.33	6
6	411	99	6	486.68	23.32	6
7	451	59	6	336.68	173.32	6
8	298	212	6	382.01	127.99	6
9	503	7	5	502.02	7.98	5
10	500	10	2	506.17	3.83	4
11	507	3	4	506.68	3.32	2
12	320	190	2	500	10	2
Toplam	5144	976	61	5144.42	975.58	61

		Personel											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Çamurhane	Çamur Hammadde Tartım	1		1									
	Değirmen Doldurma	1	1	1	1								
	Değirmen Su Verme		1										
	Çamur Eleme		1										
	Çamur Tanka Basma			1									
	Pres Boşaltma	1	1										
	Sir Hammadde Tartım	1											
	Sir Değirmen Doldurma	1		1									
	Sir Eleme		1										
	Sir Ayarlama ve Renklendirme	1	1										
	Dış Gövde Şekillendirme			1	1								
	Taşıyıcı Şekillendirme								1	1			
Fırın	Dış Gövde Rötalama			1	1								
	Dış Gövde Sırlama			1		1							
	Fırın Yükleme			1	1	1							
	Fırın Boşaltma				1	1	1	1					
Kesme	Dış Gövde Kesme					1							
	Taşıyıcı Kesme					1							
	Dış Gövde Kanal Açma				1								
	Taşıyıcı Kanal Açma			1									
	Dış Gövde Kalite Ayrım				1								
Taşıyıcı Kalite Ayrım				1									
Ara ürün	Kontak Başlık Kesme						1	1					
	Kontak Başlık Şekillendirme			1									
	Kontak Başlık Kanal Açma					1							
	Yay Sarma						1						
	Tarak Presleme						1	1					
	Delikli Kapak Presleme						1						
	Kum Sonlandırıcı Presleme						1						
	Son Kapak Presleme							1					
	Tarak Takma							1					
	Gösterge Elemanı Yapma												1
Montaj	Erime Hattı Sarma											1	
	Kontak Başlık Sivama											1	
	Taşıyıcı Puntalama									1			
	Gösterge Elemanı Takma									1			
	Tarak Puntalama									1			
	Delikli Kapak Sivama												1
	Kumlama									1			
	Kum Sonlandırıcı Takma									1			
	Son Kapak Sivama										1		
	Etiketleme ve Paketleme									1			
Kolileme ve İstifieme										1			

Şekil 14. Personel görev çizelgeleme sonuçları

Sonuçlar değerlendirildiğinde işletme üretkenliği %85 seviyesine ulaşmıştır. Personellerin yapacağı görevleri önceden bilmeleri iş motivasyonunda ciddi anlamda artış sağlamıştır. İşletmede görev atama ve çizelgeleme için bir altyapı oluşturulmuştur. Model sonucunda bulunan personel sayısı her ne kadar 11 olarak gerçekleşmiş olsa da işletme her zaman bir fazla personel bulundurmamayı

tercih etmektedir. Çünkü aniden gerçekleşen izin kullanımı ve sağlık problemleri gibi durumlara karşı bu bir önlem olarak alınmıştır. Ayrıca esnek personel sayısı ani üretim miktarı değişikliklerine hızlı cevap vermeyi sağlamaktadır. Bu avantajları göz önünde bulundurulduğunda önerilen modelin ve Excel çözücü yönteminin etkin bir yaklaşım olduğu söylenebilir.

Önerilen matematiksel model ve yaklaşımın sayısal olarak kazandırdığı avantajların yanı sıra firma için de uygulama açısından birçok faydası olmuştur. Firma tarafından hali hazırda kullanılan Excel yazılımından faydalanılarak firmaya bilimsel problem çözme açısından yeni bir bakış açısı getirilmiştir. Geliştirilen ve yukarıda detaylı olarak görüntüleri verilen Excel çalışma sayfası ara yüzü ile firmanın kolaylıkla model değişikliklerini takip etmesi sağlanmıştır. Excel'in barındırdığı grafiksel araçlar kullanılarak modelden elde edilen sonuçlar yönetim toplantılarında periyodik olarak sunulabilmiş ve raporlanarak arşivlenebilmiştir. Model parametreleri ve sonuçları üzerinde yapılacak basit istatistiksel analizler ile firmanın yorumlama ve analiz imkânları geliştirilmiştir.

		Personel											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Çamurhane	Çamur Hammadde Tartım		1	1									
	Değirmen Doldurma	1	1		1	1							
	Değirmen Su Verme	1											
	Çamur Eleme	1											
	Çamur Tanka Basma	1											
	Pres Boşaltma	1	1										
	Sır Hammadde Tartım		1										
	Sır Değirmen Doldurma		1	1									
	Sır Eleme		1										
	Sır Ayarlama ve Renklendirme			1	1								
	Dış Gövde Şekillendirme			1	1								
	Taşıyıcı Şekillendirme			1	1								
	Fırın	Dış Gövde Rötüslama			1	1							
Dış Gövde Sırlama					1	1							
Fırın Yükleme						1	1	1					
Fırın Boşaltma						1	1	1	1				
Kesme	Dış Gövde Kesme					1							
	Taşıyıcı Kesme								1				
	Dış Gövde Kanal Açma					1							
	Taşıyıcı Kanal Açma						1						
	Dış Gövde Kalite Ayrım						1						
	Taşıyıcı Kalite Ayrım						1						
Ara ürün	Kontak Başlık Kesme						1	1					
	Kontak Başlık Şekillendirme							1					
	Kontak Başlık Kanal Açma							1					
	Yay Sarma								1				
	Tarak Presleme							1	1				
	Delikli Kapak Presleme											1	
	Kum Sonlandırıcı Presleme								1				
	Son Kapak Presleme								1				
	Tarak Takma									1			
	Gösterge Elemanı Yapma										1		
Montaj	Erişim Hattı Sarma									1			
	Kontak Başlık Sıvama											1	
	Taşıyıcı Puntalama											1	
	Gösterge Elemanı Takma												1
	Tarak Puntalama									1			
	Delikli Kapak Sıvama										1		
	Kumlama									1			
	Kum Sonlandırıcı Takma											1	
	Son Kapak Sıvama												1
	Etiketleme ve Paketleme	1											
	Kolileme ve İstifleme									1			

Şekil 15. ILOG personel görev çizelgeleme sonuçları

6. Sonuç

Bu çalışmada personel görev çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Problem için bir matematiksel model önerilmiştir. Önerilen model personellerin toplam boş zamanını en küçüklerken, günlük ortalama çalışma süresi, maksimum görev sayısı ve görev için gereken personel sayısı kısıtlarını da göz önünde bulundurmaktadır. Problemin çözümü için işletmelerde sıklıkla kullanılan Excel yazılımından faydalanılmıştır. Excel içerisinde matematiksel modellerin çözümünde kullanılan Çözücü aracı ile problem modellenmiştir ve çözülmüştür. Orta gerilim sigorta üretimi yapan bir işletmeden elde edilen gerçek veriler ile problem parametreleri belirlenmiştir. İşletmede bulunan dört ayrı üretim bölümü için personel görev çizelgeleri yapılmıştır. Excel çözücü modelinin performansı önerilen matematiksel modelin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen model ve Excel çözücü aracı çözümünün etkin bir yaklaşım olduğunu göstermiştir. Önerilen model ve çözüm yaklaşımını çeşitli şekillerde geliştirmek mümkündür. Görev sürelerini her bir personel için farklı kabul etmek, görev sürelerini stokastik kabul etmek, personel yeteneklerini modellemek, personel isteklerine göre (herhangi bir göreve talip olmak ya da o görevi yapmayı istememek) modeli genişletmek için gelecek çalışmalara örnek verilebilir. Bunun yanı sıra özellikle personel sayısının ve görev sayısının yüksek olduğu işletmelerde model çözümünün karmaşıklaşması ve zaman alması nedeni ile büyük boyutlu problemlerde Excel çözücü yaklaşımına entegre sezgisel veya meta-sezgisel yaklaşımlar kullanılabilir.

Referanslar

- Ağralı, S., Taşkın, Z.C., & Ünal, A.T. (2017). Employee scheduling in service industries with flexible employee availability and demand. *Omega*, 66, 159-169.
- Alfares, H. K., & Alzahrani, A. S. (2019). Optimum workforce scheduling for multiple security gates. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 1-18.
- Aljasser, I. A., & Sasidhar, B. (2018). Scheduling in a single-stage, multi-item compatible process using Multiple Arc Network Model and Excel Solver. *International Review of Management and Business Research*, 7(1), 23-31.
- Al-Yakoob, S.M., & Sherali H.D. (2007). Mixed-integer programming models for an employee scheduling problem with multiple shifts and work locations. *Annals of Operations Research*, 155, 119–142.
- Ashley, D.W. (1995). A spreadsheet optimization system for library staff scheduling. *Computers & Operations Research*, 22(6), 615-624.
- Attia, D., Bürgy, R., Desaulniers, G., & Soumis, F. (2019). A decomposition-based heuristic for large employee scheduling problems with inter-department transfers. *EURO J Comput Optim* 7, 325–357. <https://doi.org/10.1007/s13675-019-00119-3>
- Becker, T., Steenweg, P. M., & Werners, B. (2019). Cyclic shift scheduling with on-call duties for emergency medical services. *Health care management science*, 22(4), 676-690.
- Bhulai, S., Koole, G., & Pot, A. (2008). Simple methods for shift scheduling in multiskill call centers. *Manufacturing & Service Operations Management*, 10(3), 411-420.
- Boute, R.N., & Lambrecht, M.R. (2009). Exploring the bullwhip effect by means of spreadsheet simulation. *INFORMS Transactions on Education*, 10(1), 1-9.
- Boyer, V., Gendron, B., & Rousseau, L.M. (2014). A branch-and-price algorithm for the multi-activity multi-task shift scheduling problem. *Journal of Scheduling*, 17(2), 185-197.
- Brezulianu, A., Fira, M., & Fira, L. (2009). A genetic algorithm approach for a constrained employee scheduling problem as applied to employees at mall type shops. *Proceedings of the 2009 International Conference on Hybrid Information Technology*, Dong Seoul University, Korea, ACM.
- Briones, L., & Escola, J. M. (2019). Application of the Microsoft Excel Solver tool in the solution of optimization problems of heat exchanger network systems. *Education for Chemical Engineers*, 26, 41-47.
- Briones, L., Morales, V., Iglesias, J., Morales, G., & Escola, J. M. (2020). Application of the microsoft excel solver tool in the optimization of distillation sequences problems. *Computer Applications in Engineering Education*, 28(2), 304-313.
- Brunner, J.O., Bard, J.F., & Kolisch, R. (2009). Flexible shift scheduling of physicians. *Health Care Management Science*, 12(3), 285-305.
- Chandrasekharan, R. C., Smet, P., & Wauters, T. (2020). An automatic constructive matheuristic for the shift minimization personnel task scheduling problem. *Journal of Heuristics*, 1-23.
- Cuevas, R., Ferrer, J.C., Klapp, M., & Muñoz, J.C. (2016). A mixed integer programming approach to multi-skilled workforce scheduling. *Journal of Scheduling*, 19(1), 91-106.
- Cunha, C.B., & Fernando, M. (2007). A spreadsheet-based optimization model for the integrated problem of producing and distributing a major weekly newsmagazine. *European Journal of Operational Research*, 176(2), 925-940.
- Drezet, L.E., & Billaut, J.C. (2008). Employee scheduling in an IT company. *Resource-Constrained Project Scheduling: Models, Algorithms, Extensions and Applications*, 243-255.
- Erdoğan, G. (2017). An open source spreadsheet solver for vehicle routing problems. *Computers & Operations Research*, 84, 62-72.
- Firat, M., & Hurkens, C.A.J. (2012). An improved MIP-based approach for a multi-skill workforce scheduling problem., *Journal of Scheduling*, 15(3), 363-380.


- Günther, M., & Nissen, V. (2010). Particle swarm optimization and an agent-based algorithm for a problem of staff scheduling. *European Conference on the Applications of Evolutionary Computation*. Berlin: Springer-Heidelberg.
- Hojati, M. (2018). A greedy heuristic for shift minimization personnel task scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 100, 66-76.
- Kluger, D. M., Aizenbud, Y., Jaffe, A., Aizenbud, L., Parisi, F., Minsky-Fenick, E., ... & Kluger, Y. (2020). Impact of healthcare worker shift scheduling on workforce preservation during the COVID-19 pandemic. *medRxiv*.
- Krishnamoorthy, M., Ernst, A.T., & Baatar, D. (2012). Algorithms for large scale shift minimisation personnel task scheduling problems. *European Journal of Operational Research*, 219(1), 34-48.
- Kumar, S., & Kropp, J. (2006). Studying the operational efficiencies of a multi-product supply chain using excel spreadsheet model. *Technovation*, 26(10), 1186-1200.
- La Trobe-Bateman, J., & Wild, D. (2003). Design for manufacturing: use of a spreadsheet model of manufacturability to optimize product design and development. *Research in Engineering Design*, 14(2), 107-117.
- Laesanklang, W., Pinheiro, R.L., Algethami, H., & Landa-Silva, D. (2015). Extended decomposition for mixed integer programming to solve a workforce scheduling and routing problem. *International Conference on Operations Research and Enterprise Systems*, Lisbon, Portugal.
- Lapègue, T., Odile, B.M., & Damien, P. (2013). A constraint-based approach for the shift design personnel task scheduling problem with equity. *Computers & Operations Research*, 40(10), 2450-2465.
- LeBlanc, L.J., Randels, D., & Swann, T.K. (2000). Heery International's spreadsheet optimization model for assigning managers to construction projects. *Interfaces*, 30(6), 95-106.
- Liao, S., Van Delft, C., & Vial, J.P. (2013). Distributionally robust workforce scheduling in call centres with uncertain arrival rates. *Optimization Methods and Software*, 28(3), 501-522.
- Louly, M.A.O. (2013). A goal programming model for staff scheduling at a telecommunications center. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms in Operations Research*, 12(2), 167-178.
- Omar, E.R., Garaix, T., Augusto, V., & Xie, X. (2015). A stochastic optimization model for shift scheduling in emergency departments. *Health Care Management Science*, 18(3), 289-302.
- Ovchinnikov, A., & Milner, J. (2008). Spreadsheet model helps to assign medical residents at the University of Vermont's College of Medicine. *Interfaces*, 38(4), 311-323.
- Özder, E. H., Özcan, E., & Eren, T. (2020). Sustainable personnel scheduling supported by an artificial neural network model in a natural gas combined cycle power plant. *International Journal of Energy Research*. <https://doi.org/10.1002/er.5480>
- Parisio, A., & Jones, C.N. (2015). A two-stage stochastic programming approach to employee scheduling in retail outlets with uncertain demand. *Omega*, 53, 97-103.
- Powell, S.G., & Baker, K.R. (2014). *Management science: The art of modeling with spreadsheets*. New Jersey: Wiley
- Prot, D., Lapègue, T., & Bellenguez-Morineau, O. (2015). A two-phase method for the shift design and personnel task scheduling problem with equity objective. *International Journal of Production Research*, 53(24), 7286-7298.
- Rocha, M., Oliveira, J.F., & Carravilla, M.A. (2014). A constructive heuristic for staff scheduling in the glass industry. *Annals of Operations Research*, 217(1), 463-478.
- Sakalli, U.S., & Birgoren, B. (2009). A spreadsheet-based decision support tool for blending problems in brass casting industry. *Computers & Industrial Engineering*, 56(2), 724-735.
- Salvagnin, D., & Walsh, T. (2012). *A hybrid MIP/CP approach for multi-activity shift scheduling, Principles and practice of constraint programming*. Berlin: Springer-Heidelberg.
- Shetty, D., Ali, A., & Cummings, R. (2010). Survey-based spreadsheet model on lean implementation. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(4), 310-334.

- Smet, P., Wauters, T., Mihaylov, M., & Berghe, G.V. (2014). The shift minimisation personnel task scheduling problem: A new hybrid approach and computational insights. *Omega*, 46, 64-73.
- Solos, I.P., Tassopoulos, I.X., & Beligiannis, G.N. (2016). Optimizing shift scheduling for tank trucks using an effective stochastic variable neighbourhood approach. *Int. J. Artif. Intell.*, 14(1), 1-26.
- Soukour, A.A., Devendeville, L., Lucet, C., & Moukrim, A. (2012). Staff scheduling in airport security service. *IFAC Proceedings Volumes*, 45(6), 1413-1418.
- Srinakorn, K., & Olapiriyakul, S. (2020). A workforce scheduling model to reduce occupational heat stress and labor cost. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 25(01).
- Topaloglu, S. (2009). A shift scheduling model for employees with different seniority levels and an application in healthcare. *European Journal of Operational Research*, 198(3), 943-957.
- Trautmann, N., & Gnägi, M. (2015). On an application of Microsoft Excel's evolutionary solver to the resource-constrained project scheduling problem RCPSP. *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 646-650).
- Valls, V., Pérez, Á., & Quintanilla, S. (2009). Skilled workforce scheduling in service centres. *European Journal of Operational Research*, 193(3), 791-804.
- Zolfaghari, S., Quan, V., El-Bouri, A., & Khashayardoust, M. (2009). Application of a genetic algorithm to staff scheduling in retail sector. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 5(1), 20-47.



Yüksek Başarım İçin Bulanık Mantık Tabanlı Kişiyi Özel Sınav Üretme Sistemi Tasarımı

Design of a Fuzzy Logic Based Custom Exam Production System for High Performance

Özkan Taşkırdı¹ , Halil Murat Ünver^{2*} 

¹Şüküfe Nihal Ortaokulu 06210 Ankara, TÜRKİYE

²Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü 71450 Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 17/04/2020

Kabul / Accepted: 18/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Bu çalışmada, öğrencilerin başarılarındaki olumlu/olumsuz farklılıkların psikolojik etkilerini azaltarak performans ve motivasyonun üst seviyede tutulmasını amaçlayan bir yazılım Bulanık Mantık alt yapısı kullanılarak C# dilinde geliştirilmiştir. Matematik dersi esas alınarak yapılan çalışmada üniversite giriş sınavına hazırlanan öğrencilerin ünite sorularına verdikleri doğru cevap sayısı, sınavı alan diğer öğrencilerin ilgili üniteye doğru cevap sayıları ve önceki yıllarda alınan ders geçme notları bulanık mantıkla değerlendirilmiş, öğrencilerin her bir ünite için öğrenme oranları belirlenmiştir. Tespit edilen öğrenme oranlarına göre öğrenci düzeyine uygun soru kombinasyonlu sınavlar türetilmiştir. Geliştirilen yazılım ile öğrencilerin moral – motivasyon düzeyini yüksek tutmayı esas alarak sürekli bir gelişim çizgisinin yakalanması hedeflenmiştir. Kendileri için özel olarak türetilmiş sorularla yapılan test çalışmaları ile çalışma motivasyonunun ve öğrenci başarılarının belirgin düzeyde arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Bulanık mantık, C#, yapay zeka, sınav programı, performans değerlendirme ”

Abstract

In this study, a software which aims to keep the performance and motivation at the highest level by reducing the psychological effects of positive / negative differences in students' performance has been developed by using Fuzzy Logic infrastructure in C # language. In the study based on the mathematics course, the number of correct answers given to the unit questions of the students preparing for the university entrance exam, the number of correct answers of the other students taking the examination and the passing grades of the courses taken in the previous years were evaluated with fuzzy logic and the learning rates of the students were determined for each unit. According to the determined learning rates, exams with question combinations suitable for the level of the students were derived. With the developed software, it is aimed to achieve a continuous development line based on keeping the students' morale-motivation level high. It was observed that work motivation and student achievement were significantly increased with test studies conducted with specially derived questions.

Key Words

“Fuzzy logic, C #, artificial intelligence, exam program, performance evaluation ”

1. Giriş

Eğitim insanlık tarihi ile birlikte ortaya çıkmış ve günümüze kadar sürekli değişim göstermiştir özellikle gelişen teknoloji ile birlikte son yıllarda daha hızlı bir değişim sürecine girmiştir. Eğitim esas olarak kişi üzerinde istendik davranış değişikliği sağlayan süreç (Ertürk, 1994) veya bireylerin davranışlarını değiştirme ve şekillendirme süreci olarak tanımlanmıştır (Tay, 2005).

Eğitim alanında gelişen teknolojinin sağlamış olduğu katkı sayesinde öğrencilerin bilgi ve becerileri ve buna bağlı olarak da başarı düzeyleri artırılabilmektedir. Çağın gereklerine uygun donanım ile yetiştirmek için onların kişisel olarak bilgi ve yeteneklerinin tespiti, gelişim düzeylerinin izlenmesi, uygulanan eğitimin tekniğinin başarımının takibinin belirlenerek geri bildirimde bulunmak ölçme ve değerlendirme faaliyetleri açısından önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır (Aktürk, 2012).

Mantık-Matematiksel Zekâ, zeka kavramını tanımlamak için en çok kullanılan terimlerden biridir. Sayıların etkin kullanımı, veriler arasında mantıksal ilişkiyi, örüntüleri ortaya çıkarma, bilimsel çözüm algoritmaları geliştirme, genelleme ve sınıflandırma yapabilme, elde edilen sonuçları matematiksel olarak bir formülasyona dökülebilmek, bunun için hipotez kurma, hesaplama, deneme ve benzeşimler yapma gibi faaliyetleri kapsamaktadır (Kazu, 2009).

Kaliforniya Üniversitesi'nden Dr. Lotfi Zadeh günlük dildeği belirsizliği belirlemek için bulanık mantık kullanımı ilk 1965'de uygulanmıştır (Zadeh, 1965). Kümeleme ilkesine dayanan bulanık mantık tekniği günümüzde birçok alanda uygulama sahası bulmuştur. Klasik küme yaklaşımında bir elaman kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Bulanık mantık yaklaşımında ise eleman tanımlanan kümelerle belirli ölçülerde aitlik içerebilmektedir. Dolayısıyla belirsizlik içeren, klasik küme tanımlamalarıyla tam olarak ifade edilemeyen tanımlamalar yapılabilmektedir.

Öğrencilerin bireysel özelliklerinin yapay zeka ile belirlenmesi üzerine yapılan bir çalışmada, öğrencilerin bireysel farklılıklarının değerlendirilmesi esnasında yapay zeka kullanılanına ilişkin kullanılabilirliği üzerinde çalışmışlar ve değerlendirmede kullanılan ölçüklerin yapay zeka ile işlenmesinde kullanılabileceğini tespit etmişlerdir (Kazu, 2009; Özdemir 2009). Matematiksel denklemler ile ifadesi mümkün olmayan veya kompleks denklemler içeren tanımlamaların, bulanık mantık ile sözel olarak ifadesinin mümkün kılınmasıyla problemlerin çözümünü basitleştirilen çalışmalar yapılarak eğitim alanında bulanık mantığın çeşitli uygulamalar gerçekleştirilmiştir (Altunkaynak, 2010)

E-öğrenme'ye ilişkin tasarım ihtiyaçlarını belirlemek, en uygun öğrenme metodunu belirlemek için ihtiyaç duyulan hizmet desteklerini belirlemek için bulanık mantık yaklaşımını kullanılan çalışmalar yapılmıştır (Kazancoglu & Aksoy, 2011). Bulanık mantık modeli, öğrencilerin bilgi ve becerilerinin gelişimini değerlendirmek için kullanılmış, geliştirilen modelde öğrencilerin bilgi düzeylerini artırma, problem çözme ve akıl yürütme kabiliyetleri tüm öğrenci profili ihtimalinin hesaplanması üzerinden grup performansları hakkında hem nicel hem de nitel sonuçlar elde edilebilmiştir (Voskoglou, 2013). Genel not değerlendirmesi, sosyal sorumluluk projelerine katılım, bilgisayar kullanma becerisi değerlendirmesinde bulanık analitik hiyerarşi yaklaşımı ile başarılı öğrenci tespiti için çalışmalar yapılmıştır (Çiçekli & Karaçizmeli, 2013).

Öğrencilerin Matematik dersine karşı tutumlarının incelendiği bir başka çalışmada daha önce geliştirilmiş bir ölçme aracının hassasiyeti bulanık mantık kullanılarak yükseltilmeye çalışılmıştır (Güner & Çomak 2014). Bir başka çalışmada ise hiyerarşik uyarlanabilir ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi kullanılarak Matematik 1 dersi başarı tahmini üzerinde genel olarak iyi sonuçlar alınmıştır (Dülger, 2014).

“Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi” bölümü öğrencilerinin akademik başarılarını etkileyen faktörlerin tespiti (Uysal 2015), e-öğrenme sistemlerinde öğretmen etkilerinin modellenmesi ve değerlendirilmesinde (Bendjebbar vd., 2016), alan yazın üzerinden eğitim çalışmalarında (Bahadır, 2017), bulanık mantık tekniği kullanılmıştır. Gerçekleştirilen tez çalışmalarının incelenmesi sonucunda, çalışmaların bazı ortak sonuçlara ulaştıklarını tespit etmişler ve çalışmalarda, belirsizlik durumlarında bulanık mantığın tahmin etme ve karar vermede başarılı olduğunu, hassas sonuçlar verdiğini, birçok kriterin aynı anda değerlendirilebiliyor olduğunu vurgulamışlardır. Elde edilen sonuçların hem geleneksel yöntem ile hem de bulanık mantık yaklaşımı ile değerlendirilip karşılaştırılması yapılan çalışmalarda ise, bulanık mantık yaklaşımı kullanıldığında başarının ve performansın daha yüksek çıktığını belirtmişlerdir. Çalışmalar sonunda eğitimde bulanık mantık yaklaşımı kullanmanın olumlu sonuçlar verdiğini ve bu çalışmaların daha sonra yapılacak çalışmalar için referans niteliğinde olduğunu ileri sürmektedirler (Özdemir vd., 2019).

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, öğrencilerin üniversite hazırlık için aldıkları deneme sınavlarında elde ettikleri sonuçların olumlu/olumsuz neticelerinin psikolojik etkilerini azaltarak performans ve motivasyonun üst seviyede tutulmasını amaçlayan Bulanık Mantık alt yapısı kullanılarak C# dilinde bir yazılım geliştirilmiştir.

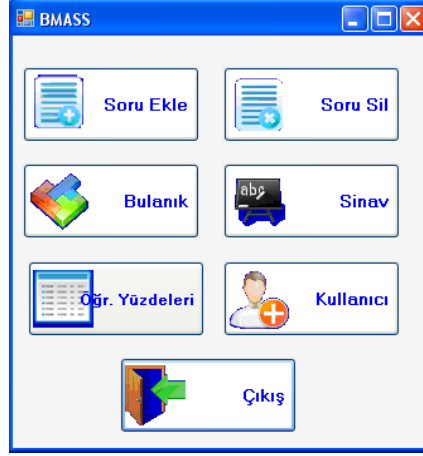
Matematik dersi esas alınarak yapılan çalışmada üniversite giriş sınavına hazırlanan öğrencilerin ünite sorularına verdikleri doğru cevap sayısı, sınavı alan diğer öğrencilerin ilgili üniteye doğru cevap sayıları ve önceki yıllarda alınan ders geçme notları bulanık mantıkla değerlendirilmiş, öğrencilerin her bir ünite için öğrenme oranları belirlenmiştir. Tespit edilen öğrenme oranlarına göre öğrenci düzeyine uygun soru kombinasyonlu sınavlar türetilmiş, geliştirilen sistem ile öğrencilerin moral/motivasyon seviyesi gözetilerek sürekli bir gelişme halinin tesisi amaçlanmıştır.

2.1. Yazılımın Geliştirilmesi

Güçlü ve verimli çalışan yazılımlar geliştirmemize olanak sağlayan C# programlama dili kullanılmıştır. Veritabanı için Microsoft Access seçilmiştir. Soruların tutulduğu “Sorular Veritabanı” ve giriş bilgilerinin tutulduğu “Kullanıcı Veritabanı” ve öğrencilerin öğrenme düzeyini tutan “Öğrenme Veritabanı” oluşturulmuştur.

2.1.1. Ana ekran

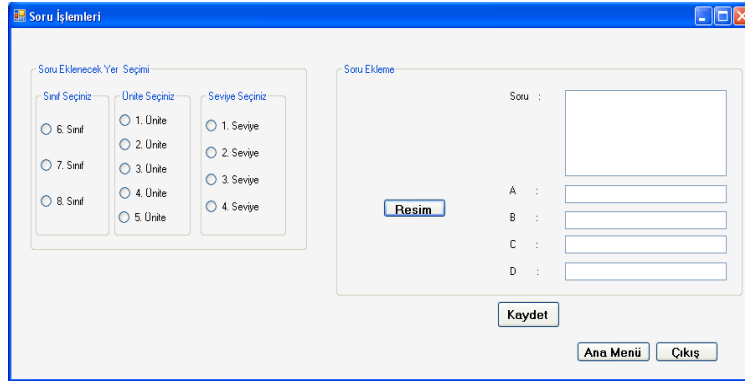
Ana Ekranda, eğitimci tarafından yapılabilecek işlemlere ait butonlar yer almaktadır. Sisteme giriş yapan eğitimci yapmak istediği işleme ait butona tıklayarak ilgili ekrana yönlendirilmektedir. Şekil 2.1.’de Ana Ekranın görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 2.1. Ana ekran görüntüsü

2.1.2. Soru ekle

Soru havuzuna, uzman görüşü alınarak Milli Eğitim Bakanlığı' nın yapmış olduğu LGS' ye uygun toplam 360 soru hazırlanmış ve sistem veritabanına kaydedilmiştir. Şekil 2.2’de eğitimcinin soru havuzuna soru ekleme yapmak için kullanılan “Soru Ekle” ekranı görülmektedir.

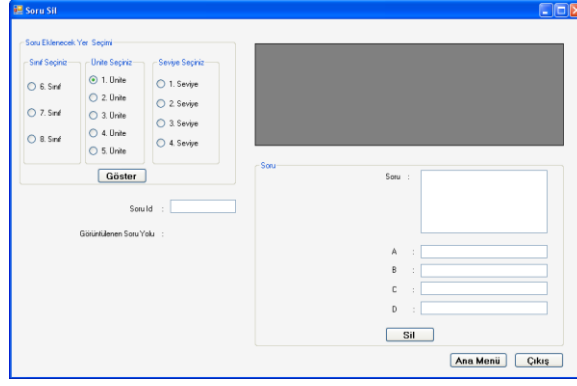


Şekil 2.2. Soru ekleme ekranı görüntüsü

Sorular 6, 7 ve 8 sınıf soruları 3 bölüm halinde soru havuzuna girilmiştir. Her sınıfta 5 ünite bulunmaktadır, her ünite kendi içinde 4 farklı zorluk derecesine sahiptir. Kullanıcının kolay kullanımı için soru ekle ekranında soruya ilişkin tanımlamalar yapılabilmektedir. Ekranın sol tarafında sorunun özellikleri tanımlanırken sağ tarafta soru ve şık girişleri bulunmaktadır. Resim butonu ile soruya ilişkin grafik, çizelge vs girilebilmekte ve kaydet butonu ile soru havuzunun ilgili bölümüne kayıt gerçekleştirilmektedir.

2.1.3. Soru sil ekranı

Soru havuzunda yer alması istenmeyen sorular Soru Sil ekranı ile çıkarılabilmektedir. Ekran görüntüsü Şekil 2.3.’ de görülmektedir.



Şekil 2.3. İstenmeyen soruların çıkarılmasını sağlayan Soru Sil ekranı

Herhangi bir karışıklık oluşmaması için kullanıcı için hangi sorunun silineceğini belirlemek üzere sol tarafta bir menü oluşturulmuştur. Kullanıcı hangi veri tabanından silme yapacağını seçtikten sonra Göster butonu ile sağ tarafta açılan pencerede yer alan sorulardan seçebilecektir. Seçilen soru Sil butonuna basılması ile birlikte veritabanından silinecektir.

2.1.4. Bulanık mantık ekranı

Ana Ekran'da yer alan "Bulanık" butonu tıkladığında öğrencinin ve içinde bulunduğu grubun doğru sayılarının aritmetik ortalaması ile öğrencinin 6 ve 7. Sınıftaki aldığı notların girilmesi ile öğrenme yüzdesini hesaplayarak Öğrenme Veritabanına kayıt yapmak üzere açılan ekran Şekil 2.4'de verilmiştir. .

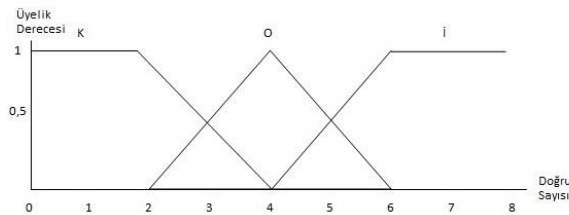


Şekil 2.4. Bulanık hesap ekranı

Geliştirilen yazılımda her öğrencinin başarımı ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Öğrencinin sınavda verdiği doğru cevap sayısı, o sınavı alan tüm öğrencilerin doğru cevap sayısının ortalaması ve 6. Ve 7. Sınıftaki başarımların bulanık ağırlıkların değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Her ünite 8 soru yer aldığından doğru sayısı ve ortalama değeri için giriş 0 ile 8 arasında sınırlandırılmıştır. Bunun dışında girilen değerler yazılım tarafında kabul edilmemekte, kullanıcıdan yeni değer girilmesi istenmektedir. İmleç kutunun üstüne geldiğinde açılan uyarı penceresi ile kullanıcı uyarılmaktadır. Benzer şekilde not ortalamaları girişinde 0 ile 5 arasında sınırlama yapılarak aralık dışında bir değer girişi önlenmiştir.

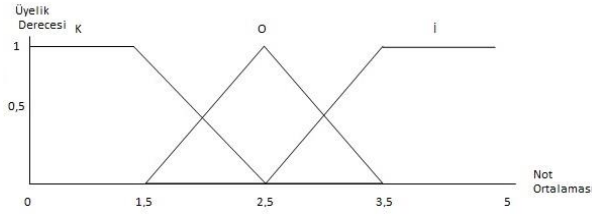
2.1.4.1. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi

Sınıftaki genel doru cevap sayılarının ortalaması ve ilgili öğrencinin doğru sayısına ilişkin üretilen üçgen üyelik fonksiyonu Şekil 2.5 'de verilmiştir.



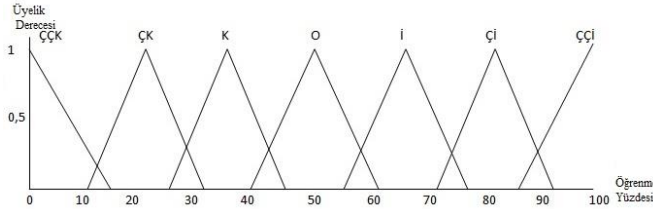
Şekil 2.5. Giriş değerleri için üretilen üyelik fonksiyonu

Şekil 2.6'da ilgili öğrencinin 6 ve 7. Sınıfta almış olduğu notların giriş değeri görülmektedir. İlköğretimde 5'lik not sistemi kullanıldığından giriş değerinin 0 ile 5 arasında olması gerekmektedir.



Şekil 2.6. İlgili öğrenciye ait 6 ve 7. Sınıf notlarına girişi

Üniteye ilişkin öğrenme oranı 7 birim olarak etiketlenmiş olup çıkış değerini vermektedir. Hasas bir değerlendirme yapabilmek amacıyla değerlendirme aralığı 0-100 olarak belirlenmiştir. Öğrenme yüzdeleri gösteren çıkış üyelik fonksiyonu Şekil 2.7.' da gibidir.



Şekil 2.7. Öğrenme Yüzdelerini Gösteren Çıkış Üyelik Fonksiyonu

Giriş ve çıkış değerleri için seçilmiş üçgen üyelik fonksiyonlarına giriş değerleri sokularak bulanıklaştırma işlemi yapılmıştır. Bulanıklaştırma için üyelik fonksiyonuna ilişkin eşitlik Denklem 2.1' de verilmiştir.

(2.1)

Denklem 2.1 'de yer alan a o kümeyle ait en küçük değeri (sol köşe) , orta değeri b (üçgenin tepe noktası) ve en büyük değeri ise c (sağ köşe) ifade etmektedir. Kullanıcının üyelik derecelerini görebilmesi için giriş ekranının sağına yerleştirilmiştir (Şen, 2004).

2.1.4.2. Kural Tabanı

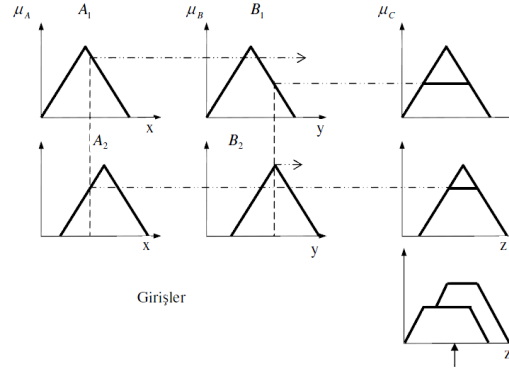
Üç giriş değeri kötü, orta ve iyi olmak üzere 3 kritere ayrılmış, çıkış değeri ise çok çok kötü, çok kötü, kötü, orta, iyi, çok iyi, çok çok iyi olmak üzere 7 seviyede olmak üzere kural tablosu hazırlanmıştır. Kural tablosu oluşturulurken öğrencileri doğru cevap sayısı, sınıfın aritmetik ortalaması ile not ortalaması birlikte yorumlanmıştır. Sınıftaki aritmetik ortalamasının yüksek olması halinde öğrenciye ait doğru sayısı ortalamadan düşükse öğrenme oranının düşük olduğu çıkış değeri olarak kabul edilmiştir. Öğrencinin ortalamadan yüksek olması durumunda ise öğrenme oranı yüksek seçilmiştir. Doğru sayıları ve aritmetik ortalamaların mukayesesinden elde edilen sonuca matematik dersinden öğrencinin aldığı sonuçlar da değerlendirmeye alınmıştır. Öğrencinin notunun ortalamasının düşük olması halinde öğrenme oranı çıkış değeri düşürülmüştür. Ortalamanın yüksek olması halinde ise öğrenme oranı yükseltilmiştir. Mesela öğrencinin doğru cevap sayısı ve sınıf ortalama doğru sayısı, not ortalamasında kötü bir yerde yer alıyorsa çıkış değeri de kötü olarak tanımlanmıştır. Ortalama doğru sayısı iyi, doğru sayısı ve not ortalaması kötü kümesine sahip değerler aldığında çıkış değeri çok çok kötü olarak tanımlanmıştır. Sözel olarak anlatılan kurallara Eğer – İse yapısıyla ifade etmek gerekirse;

Eğer Ortalama Doğru Sayısı=K ve Doğru Sayısı=K ve Not Ortalaması=K İse Çıkış=K

Eğer Ortalama Doğru Sayısı=İ ve Doğru Sayısı=K ve Not Ortalaması=K İse Çıkış=ÇÇK

2.1.4.3. Bulanık çıkarım

Bulanık çıkarım yapmak için Min-Max tekniği kullanılmıştır. Min-Max yöntemi bulanık mantık denetleyicisi kullanılan sistemler için çok kullanılan bir tekniktir. Fonksiyona giriş değerlerinin her birinin üyelik fonksiyonundaki derecesine bağlı olarak ilgili bulanık kümenin üyelik değerinin üstündeki kısım atılır. Ulaşılan yüzey toplam yüzey olarak ifade edilir (Elmas, 2003). Şekil 2.8’de bu çıkarım yöntemi verilmiştir.



Şekil 2.8. Min Max çıkarım tekniği

2.1.4.4. Durulaştırma kısmı

Kara verme işleminden sonra elde edilen verilerin bulanık değerlerinin net bir değere dönüştürülmesi zorunludur. Bu işleme “durulaştırma” denir Durulaştırma için pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmada farklı durulaştırma yöntemleri denenmiş ve en uygun yöntemin “Ağırlık Ortalaması Yöntemi” olduğu tespit edilmiştir (Gökmen vd., 2010).. Ağırlık ortalaması yöntemine ilişkin matematiksel ifade Denklem 2.2’de verilmiştir.

(2.2)

2.1.5. Sınav ekranı

Sistemden elde edilen öğrenme oranlarının yorumlanması için Uzman Rehber Öğretmen ve Matematik Öğretmeni ile birlikte oluşturulan Uzman Ölçme ve Değerlendirme birimi desteği alınmıştır. Yapılan çalışma sonucunda öğrencinin öğrenme oranına göre gireceği bir sonraki sınavda ki soru dağılımlarının nasıl olması gerektiğine ilişkin geliştirilen tablo Çizelge 2.2’de verilmiştir.

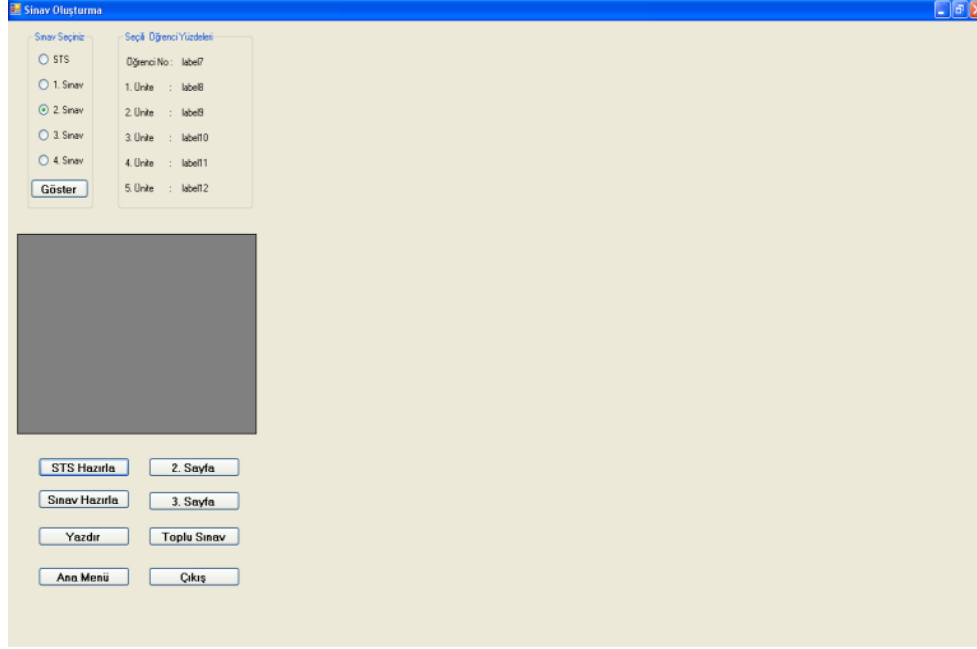
Çizelge 2.2. Öğrencilerin Yeni Girecekleri Sınavdaki Soru Dağılımları

Öğrenme Yüzdesi	Sınıf	Seviye	Soru Sayısı
0 – 20	6. Sınıf	1. Seviye	4
		2. Seviye	4
20 – 40	6. Sınıf	3. Seviye	4
	7. Sınıf	1. Seviye	4
40 – 60	6. Sınıf	4. Seviye	2
	7. Sınıf	2. Seviye	2
	7. Sınıf	3. Seviye	2
	8. Sınıf	1. Seviye	2
60 – 80	7. Sınıf	4. Seviye	4
	8. sınıf	2. Seviye	4
80 – 100	8. Sınıf	3. Seviye	4
	8. Sınıf	4. Seviye	4

3. Bulgular

Ünite sınavına hazır olmayan öğrencilerin zorluk seviyesi yüksek sorular sorulmasının öğrenciyi daha da başarısız kılacağı göz önüne alınarak öğrencinin seviyesine uygun sorular sorulması hedeflenmiştir. Tam tersi durumda öğrenciye seviyesinin altında sorular sormak ise öğrenciyi gereksiz bir özgüvene sürüklemekte çalışma temposuna olumsuz etki etmektedir. Geleneksel sınav yönteminde sınav yapan merciin iradesine göre belirlenen zorluk seviyesine bağlı olarak ölçüm ortaya çıkarken, geliştirilen yazılım sayesinde öğrencinin seviyesine uygun olarak seçilen sorularla öğrencinin çalışma temposunu olumlu yönde desteklemek ve dolaylı olarak girdiği sınavlarda belirli bir başarı düzeyinin sürekli olarak korunması üzerinden genel başarı oranının artırılması sağlanmıştır.

Öğrenciye mahsus sınav hazırlığı için “Sınav” butonu tıklanarak Sınav Ekranına ulaşılmaktadır. Sınav Ekranının görüntüsü Şekil 2.9.’ da verilmiştir.



Şekil 2.9. Sınav hazırlama ekranı

Sınav hazırlamak için öncelikle kaçınıcı sınavın oluşturulacağına ilişkin bir önceki öğrenme oranlarının seçilmesi gerekmektedir. Mesela 1. Sınav ise bu sınava ilişkin sorular seviye tespit sınavının öğrenme oranları kullanılarak seçilecektir. Ekranda STS Hazırla butonu tıklanarak, sınav kâğıdı öğrenciye uygun seçilen sorularla otomatik olarak hazırlanacaktır. Sınav 5 ünitenin her birinden öğrenci seviyesine uygun olarak seçilen 8 sorudan, toplamda ise 40 sorudan oluşmaktadır. Seçilen sorulardan oluşan sınav kâğıdı Sınav Hazırlama Ekranının sağ tarafında görüntülenecektir. Yazdır butonu ile hazırlanan soru kâğıdı yazıcıya aktarılacaktır.

Seviye tespit sınavından sonraki kişiye özel sınav kağıtları üretmek için öğrenme oranlarının seçilerek ekranda listelenmesi gerekmektedir. Mesela 1. Sınavın üretilmesi isteniyorsa STS kutusu seçilip “Göster” butonu tıklanarak sınıfın STS’deki 5 üniteye ilişkin öğrenme oranları ekranda görünecektir. Operatör tek bir öğrencinin öğrenme oranlarını “Seçili Öğrenci Yüzdeleri” bölümünde 5 üniteye ilişkin öğrenme oranları üzerinden görüntüleyip seçili öğrenciye mahsus sınav hazırlayabilecektir. “Toplu Sınav” butonu tıklanarak öğrenme oranlarına göre tüm sınıf için sınav kâğıdı hazırlanabilmektedir.

4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada geliştirilen kişiye özel sınav hazırlama yazılımı ile matematiksel olarak ifade edilmesi çok zor olan kişisel verilerin bulanık mantık tekniği kullanılarak amaca uygun şekilde değerlendirilmektedir. Doğru zorluk seviyelerinde soru seçimi ile sınava hazırlık aşamasındaki öğrenci moral/motivasyonu en yüksek düzeyde tutulması, düzenli bir çalışma temposu ve dolayısıyla sınav başarısının artırılması sağlanmıştır.

Tasarım grubunda yer alan öğrenciler, Kırşehir eğitim bölgesinde 2012 – 2013 eğitim öğretim yılında 8. Sınıfta okuyan 8 Haziran 2013’ te Üniversite giriş sınavına hazırlanan başarı düzeyleri farklı olan 10 gönüllü öğrenciden oluşturulmuştur. Geliştirme grubunda 1 tanesi Seviye Tespit Sınavı olmak üzere toplamda 3 sınav uygulanmıştır. Sınavlar öğrencilerin gelişimine müsaade etmek amacıyla birer ay arayla uygulanmıştır.

Bu sınavlarda, öğrenciler süreç içinde doğru cevap sayılarını artırmış, dolayısıyla buna ilişkin olarak öğrenme oranlarında da ciddi artış sağlanmıştır. Geliştirilen bulanık mantık tabanlı sistemin amaca uygun hizmet ettiği görülmüştür. Öğrencilerin uygulama yapılan matematik dersine bakış açıları da değişiklik gözlenmiştir. Grupta yer alan ortalamasının altı öğrencilerde “başarabiliyorum” hissi oluşturularak başarı hazzını yaşamaları sağlanmış, çalışma güduları artmış ve kendilerini geliştirmeleri

sağlanmıştır. Yüksek başarı seviyesine sahip öğrencilerin “nasıl olsa yapıyorum” şeklinde boş bir özgüven oluşturmadan, çalışma temposunun sürekliliği sağlanmıştır.

Yapılan uygulamaların sonuçları incelendiğinde sistem, sınavda öğrenciler için kişisel olarak hazırladığı sınavların zorluk derecelerini her seferinde artırmış olmasına rağmen öğrencilerin öğrenme oranlarında da belirgin bir artış olduğu görülmüştür. Ayrıca öğretmenlerin öğrenciye uygun soru seçimine ilişkin yaşanan güçlükleri ortadan kaldırarak hem doğru soru seçimlerinin yapılmasını hem de zaman tasarrufu sağlamıştır.

Geliştirilen yazılımın her ders için geniş alanda kullanımının öğrencilerin bireysel olarak gelişimlerini çok olumlu şekilde etkileyeceği düşünülmektedir.

Referanslar

- Altunkaynak, A. (2010). A predictive model for well loss using fuzzy logic approach. *Hydrol. Process.* 24, 2400–2404.
- Aktürk, A. (2012). Sosyal Bilgiler Öğretmenlerinin Sürece Dayalı Ölçme ve Değerlendirme Yöntemlerini Kullanabilme Durumları. Yüksek Lisans Tezi. Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir.
- Bahadır, E. (2017). Bulanık Mantık Yaklaşımının Eğitim Çalışmalarında Kullanılmasının Alan Yazın Işığında Değerlendirilmesi. 2017 Uluslararası Sosyal ve Eğitim Bilimleri Dergisi, VOL. 4, NO. 7, 28-42.
- Bendjebar, S., Lafifi, Y., & Seridi, H. (2016). Modeling and Evaluating Tutors' Function using Data Mining and Fuzzy Logic Techniques. *International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies (IJWLTT)*, 11(2), 39-60.
- Çiçekli, U. G. & Karaçizmeli, A. (2013). Bulanık analitik hiyerarşi süreci ile başarılı öğrenci seçimi: Ege Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Örneği. *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 4(1), 71-94
- Dülger, Ö. (2014). Hiyerarşik Uyarlanabilir Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi Kullanılarak Matematik 1 Dersi Başarı Tahmini. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (5), 166-173
- Elmas, Ç., Bulanık Mantık Denetleyiciler. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2003.
- Ertürk, S. (1994). Eğitimde Program Geliştirme. Ankara, 17. Meteksan Yayınevi.
- Gökmen, G. vd., (2010). Evaluation of student performance in laboratory applications using fuzzy logic, *Procedia Social and Behavioral Sciences*. 2, 902-909.
- Güner, N., & Çomak, E. (2014). Lise Öğrencilerinin Matematik Dersine Yönelik Tutumlarının Bulanık Mantık Yöntemi İle İncelenmesi Investigating Mathematics Attitude For High School Students By Using Fuzzy Logic Method. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 20(5), 189-196.
- Kazancoglu, Y., & Aksoy, M. (2011). A fuzzy logic-based quality function deployment for selection of e-learning provider. *TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 10(4). 80-98.
- Kazu, İ. Y., & Özdemir, O. (2009). Öğrencilerin bireysel özelliklerinin yapay zeka ile belirlenmesi (Bulanık mantık örneği). Akademik Bilişim 2009 Konferansı, 11–13 Şubat 2009 (pp. 457-466). Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Şen, Z., Mühendislikte Bulanık (Fuzzy) Mantık ile Modelleme Prensipleri. Su Vakfı, İstanbul, 2004
- Özdemir, A., Alaybeyoğlu, A. & Balbal, K.F. (2019). Bulanık mantığın eğitim alanındaki uygulamaları, *Bilim, Eğitim, Sanat ve Teknoloji Dergisi (BEST Dergi)*, 3(1), 45-50
- Tay, B. (2005). Sosyal bilgiler ders kitaplarında öğrenme stratejileri. *Gazi Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*. 6 (1): 209-225.
- Uysal, H. (2015). BÖTE Bölümü Öğrencilerinin Akademik Başarılarını Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi ve Akademik Başarı Tahmin Modelinin Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi.
- Voskoglou, M. G. (2013). Fuzzy Logic as a tool for assessing students' knowledge and skills. *Education Sciences*, 3(2), 208-221.
- Zadeh, L.A. & Kacprzyk, J. (1992). *Fuzzy Logic for the Management of Uncertainty*. John Wiley & Sons Inc., Newyork.



Deprem Sonrası Mobil Hizmet Tesisi Seçim Problemi için Çok Kriterli Bir Karar Modeli Önerisi

A Multi-Criteria Decision Model Proposal for the Selection of the Mobile Service Plant Problem After Earthquake

Burcu Tezcan ¹ , Nermin Avşar Özcan ² , Evrencan Özcan ¹ , Tamer Eren ^{*1} 

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71452 Yahşihan Kırıkkale, TÜRKİYE

²Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü, Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, 06510 Çankaya Ankara, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 06/05/2020

Kabul / Accepted: 11/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Afetler meydana geldiği bölgede büyük zararlar vermekte ve toplumsal yaşamı kesintiye uğratmaktadır. Afet öncesinde zararların önlenmesi için alınması gereken tedbirler olduğu gibi sonrasında da afete maruz kalan bölgede kişilerin sağlık, barınma, beslenme, temizlik gibi ihtiyaçları karşılanmalıdır. Deprem gibi yüksek zararlara yol açan ve birçok alanı kullanılamaz hale getiren afetlerde kişilerin ihtiyaçlarının sağlanması için yeni tesislerin kurulması gerekmektedir. Bu aşamada, olası bir deprem öncesinde söz konusu tesislerin yerlerinin analitik bir temelle uygun olarak belirlenmesi, deprem sonrasında depremzedelere hizmetin etkin bir şekilde ulaşmasını sağlayacaktır. Kırıkkale, deprem üretme potansiyeli yüksek fay zonlarına mesafesi nedeniyle deprem tehlikesi yüksek olan bir şehirdir. Ayrıca, Türkiye'nin en önemli ve stratejik sanayi kuruluşlarının üretim tesislerini sınırları içinde bulundurmaktadır. Bunlara ek olarak, Ankara'ya en yakın il olan Kırıkkale, 46 ilin kesiştiği noktada yer almaktadır ve Kırıkkale-Ankara arasında kritik ve büyük sanayi tesisleri bulunmaktadır. Bu gerçekler, söz konusu yerlerde bir felaket için Kırıkkale'de kurulacak mobil hizmet tesislerini daha da önemli hale getirmektedir. Bu kapsamda bu çalışmada, literatürde ilk kez Kırıkkale ilinde mobil hizmet tesisi seçim problemi için çok kriterli bir karar modeli önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler

"Afet Yönetimi, Tesis Yeri Seçimi, AHP, TOPSIS"

Abstract

Disasters cause great damage in the region where they occur and disrupt social life. As well as the measures to be taken to prevent the damages before the disaster, health, shelter, nutrition and cleaning needs of the people who are exposed to the disaster should be met afterwards. It is necessary to establish new facilities to meet the needs of people in disasters that cause high damages such as earthquake which makes many areas unusable. At this stage, determining the locations of the relevant facilities prior to a possible earthquake on an analytical basis will ensure that the services reach the earthquake victims effectively after the earthquake. Kırıkkale is a city with high earthquake hazard due to its distance to important fault zones. Also, it has important manufacturing facilities of Turkey's most important and strategic industrial organizations within its borders. In addition to these, Kırıkkale, which is the closest province to Ankara, is located at the intersection of 46 cities and between Kırıkkale-Ankara there are critical and large industrial facilities. These facts make even more important the mobile service facilities to be established in Kırıkkale for a disaster in relevant locations. In this context, in this study, for the first time in the literature, a multi-criteria decision model is proposed for the mobile service facility selection problem in Kırıkkale province.

Key Words

"Disaster Management, Plant Location Selection, AHP, TOPSIS"

1. Giriş

Afet yönetimi; afet öncesi, afet esnası ve afet sonrası olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Doğal afetler zamanı net olarak tahmin edilemeyen ve engellenemeyen olaylardır ve bu nedenle, afetlerin tüm aşamalarına karşı hazır durumda olmak, can ve mal güvenliği açısından oldukça önemlidir. Yaşanan bir afet sonrası, insanlar en temel ihtiyaçlarını karşılayamama gibi büyük sorunlarla karşı karşıya kalabilmektedir. Bu gibi durumlarda can kaybını minimize etmek amacıyla afetzedelerin temel ihtiyaçlarının sistematik bir şekilde giderilmesi oldukça önemlidir. Özellikle deprem gibi ulaşım imkanlarının da kullanılamaz hale gelebileceği büyük afetler düşünüldüğünde, afetzede ihtiyaçlarının karşılanması için bilimsel yöntemlerin kullanıldığı bir afet yönetim planı hazırlanması bir gereklilik haline almaktadır. Bu planlamanın önemli aşamalarından birini ise, afet sonrası mobil hizmet tesislerinin yerlerinin analitik bir temele dayandırılarak belirlenmesi oluşturmaktadır.

Afet yönetiminin öneminden hareketle literatürde araştırmacılar bu konuya odaklanmışlar ve önemli çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalardan bir kısmı ise, afet sonrası planlama kapsamında yer alan ve bu çalışmanın da odaklandığı tesislerin yer seçimi problemidir. Bu çalışmalarda, küme kapsama yöntemi (Chen vd., 2019), hedef programlama (Vitoriano vd., 2009), (Eren ve Ünal 2016), (Körpeli vd., 2012), (Özcan vd., 2017) ve çok ölçütlü karar verme yöntemleri (Yalçın, 2012), (Chen vd., 2019) (Çalışkan ve Eren, 2016), (Kutlu vd., 2012), (Eren vd., 2017) gibi teknikler çözüm yöntemi olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte, problemin kapsamının belirli değerlendirme kriterleri altında alternatif lokasyonların öncelik sıralamasının belirlenmesinden oluşması ve çok kriterli karar verme yaklaşımlarının bu kapsama uygun çözüm yöntemleri içermesinden dolayı sıklıkla tercih edilen yöntem grubu çok kriterli karar verme teknikleridir. Bu grup içinde en sık kullanılan yöntem kombinasyonu ise AHP-TOPSIS (Asoğlu ve Eren, 2018). (Donevska vd., 2012), (Taş vd., 2018), (Yanık ve Eren, 2017), (Chu ve Su, 2012)'tir. Afet tipine göre afet sonrası hizmet sunacak tesislerin yer seçimi problemine odaklanan çalışmalardan bu çalışma ile ilgili olan bazıları Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Literatür Özeti

Araştırmacılar	Afet Tipi	Metot	Problem	Uygulama Yeri
El-Anwar vd. (2009)	Kasırğa	AHP	Konut hizmeti yer seçimi	ABD
Erden ve Coşkun (2010)	Afet	AHP-CBS	İtfaiye istasyonlarının yer seçimi	Türkiye
Chu ve Su (2012)	Deprem	AHP-TOPSIS	Acil durum sığınağı yer seçimi	Çin
Cheng ve Yang (2012)	Deprem	AHP	Acil durum sığınağı yer seçimi	Çin
Roh vd. (2013)	Afet	AHP	Depo yer seçimi	Kore
Bilgiliöglü (2014)	Heyelan	AHP	Duyarlılık haritası belirleme	Türkiye
Ahmadi vd. (2015)	Deprem	GAMS	Dağıtım yer seçimi	İran
Peker vd. (2016)	Deprem	AHP	Dağıtım merkezi yer seçimi	Türkiye
Şahin (2017)	Afet	TOPSIS-Bulanık VIKOR	Konut hizmeti yer seçimi	Türkiye
Ofluöglü vd. (2017)	Afet	SAW, TOPSIS, VIKOR	Depolama yer seçimi	Türkiye
Uslu (2018)	Afet	DEMATEL, FANP, TOPSIS	Hizmet yer seçimi	Türkiye
Junian ve Azizifar (2018)	Deprem	AHP	Konut hizmeti yer seçimi	İran
Şahin ve Hazırcı (2019)	Deprem	AHP, P-Medyan, GAMS	Geçici iskân yer seçimi	Türkiye

Bu kapsamda bu çalışmada, deprem sonrası yaşanması kuvvetle muhtemel olan kargaşa ve hizmet eksikliği ortamında, depremedelerin en temel ihtiyaçları olan gıda ve sağlık hizmetlerinden etkin bir şekilde yararlanabilmeleri için mobil hizmet tesisi yer seçimi problemi ele alınmıştır ve çalışmanın uygulama yeri olarak Kırıkkale seçilmiştir. Çünkü Kırıkkale, deprem üretme potansiyeli yüksek Kuzey Anadolu, Bala, Seyfe, Karakeçili, Kırıkkale-Sungurlu ve Keskin gibi önemli fay zonlarına mesafesi sebebi ile deprem tehlikesi yüksek olan bir şehirdir (Sönmezer vd., 2015). Ayrıca, Türkiye'nin en önemli ve stratejik sanayi kuruluşlarından Makine Kimya Endüstrisi Kurumu (MKEK) ve Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş. (TÜPRAŞ)'nin önemli fabrikalarını sınırları içinde bulundurmaktadır. İl merkezinin bu sanayi kuruluşlarına yakın olması dolayısıyla, deprem gibi büyük bir afet anında zararın daha da artması olasıdır. Bununla birlikte, girilmesi yasak ve korumalı bölgelerin varlığı, deprem sonrası tesislerin seçiminde ve ulaşım planlamasında bu alanların dikkate alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bunların yanı sıra, 46 ilin kesişim noktasında oluşu, özellikle Ankara'ya olan yakınlığı ve Ankara ile arasında yer alan Roketsan, Barutsan ve Baştaş gibi kritik ve büyük sanayi kuruluşlarının varlığı Kırıkkale'yi, sınırları haricindeki lokasyonlarda olabilecek bir depremde de mobil hizmet tesislerinin kurulumu açısından önemli bir konuma taşımaktadır.

Tüm bu açıklamalar ışığında bu çalışmanın literatüre sağladığı katkılar aşağıda özetlenmiştir:

- Çalışmanın hareket noktası, olası bir depremde depremezdelelerin temel ihtiyaçlarını karşılayabilmek için mobil hizmet tesisinin kurulacağı yerin tüm gerekli parametreleri dikkate alarak analitik bir yaklaşımla belirlenmesi gerekliliğidir. Bu tesisin olası deprem durumundan etkilenmemesi için arazi zemininin uygunluğu ile bu tesisin afetzedelere olan mesafesi literatürde ilk kez bu çalışmada birlikte dikkate alınmıştır.
- Literatürdeki çalışmalar dikkate alındığında problemin çözümündeki en uygun yöntem kombinasyonunun AHP-TOPSIS olduğu görülmektedir (Eren ve Gür, 2017), (Özcan vd., 2017), (Ayan vd., 2016), (Donevska vd., 2012), (Chu ve Su, 2012). Buradan hareketle bu çalışmada da deprem sonrası mobil hizmet tesislerinin seçimi probleminin çözümünde yöntemlerin sağladığı avantajlar da (bkz. Materyal ve Metot) dikkate alınarak AHP-TOPSIS kombinasyonu kullanılmıştır. Tablo 1'deki ilgili çalışmalar incelendiğinde, problemin depremezdelelerin afet sonrası ihtiyaçlarını kapsamlı bir düzeyde karşılaması temelinde bir tesisin yer seçimi bağlamında ilk kez bu çalışmada söz konusu yöntem kombinasyonu ile gerçekleştirildiği görülmektedir.
- Çalışmanın uygulama yeri seçiminde literatürde ilk kez Kırıkkale belirlenmiştir. Kırıkkale'nin seçiminde yukarıda verilen gerekçeler dikkate alındığında mobil hizmet tesisinin bu ilde kurulması için bir öneri sunması, bu çalışmanın literatüre sağlayacağı bir diğer katma değerdir.

2. Materyal ve Metot

Sonsuz sayıda seçeneğin örneklendirilme, sıralama, eleme, sınıflandırılma ya da seçilme gibi genel olarak ağırlıklandırılmış, nitel değerler alabilen ve birbirleriyle tutarsız fazla sayıda kriter kullanılarak değerlendirilmesi çok kriterli karar verme uygulamalarını beraberinde getirmiştir (Kütükçü ve Eren 2017). Yukarıda da belirtildiği üzere bu çalışma kapsamında belirlenen problemin çözümünde, problemin yapısı bu yöntemler grubunun çözüm üretme kabiliyetleri içerisinde olduğu için çok kriterli karar verme yöntemlerine başvurulmuş olup, bu yöntemler grubundan afet sonrası hizmet tesislerinin seçiminde en etkin yöntem konfigürasyonu olması açısından AHP-TOPSIS seçilmiştir. Problemin çözüm yöntemleri olarak bu tekniklerin seçilme gerekçesine etki eden söz konusu yöntemlerin muadillerine nazaran avantajları ile uygulama adımları aşağıda özetlenmiştir.

2.1. AHP

AHP, alternatiflerin karşılaştırılması ve kişisel önyargıların azaltılmasında literatürde geniş bir uygulama alanına sahip olan etkin bir yöntemdir. Bu yöntem diğer çok kriterli karar verme yöntemlerinin yanı sıra, kalite fonksiyonu, bulanık mantık, doğrusal programlama vb. analitik yöntemlerle uygulama esnekliğine sahiptir. Özellikle, bir karar problemindeki değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarının hesaplanmasında etkin sonuçlar sağlaması (Özcan vd., 2019) sebebiyle, olası bir deprem sonucunda afetzedelere sağlık, barınma, gıda, temizlik gibi hizmetlerinin verilebilmesi için en uygun mobil hizmet yerinin seçim probleminde değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarının hesaplanmasında AHP yöntemi kullanılacaktır. Saaty (1980) tarafından geliştirilen yöntem, kriterleri belirli bir hiyerarşiye göre düzenlemekte, ağırlıkları hesaplamakta ve kriterler bazında alternatiflerin karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Yöntemin adımları aşağıda sunulmuştur:

Adım 1: AHP yönteminde karar sürecini etkileyen uzman kişilerin görüşleri nitel ve nicel olarak değerlendirilir. Bu değerlendirilme sonucunda amaç, alternatifler, kriterler ve alt kriterler oluşturulur.

Adım 2: Problem tanımı kapsamında Tablo 2'deki skala kullanılarak ikili karşılaştırma matrisleri (kriterler arası ve kriter temelinde alternatifler arası) oluşturulur.

Tablo 2. Saaty 1-9 Skalası

Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	Eşit derecede önemli
3	Kısmen daha önemli
5	Çok daha önemli
7	Kuvvetli derecede önemli
9	Kesinlikle daha önemli
2,4,6,8	Ara değerler

Adım 3: İkili karşılaştırma matrisinde yer alan bütün sütunların değeri, bulunan sütun toplamına bölünür ve matris normalizasyonu gerçekleştirilir. Bu işlem için (1) nolu formül kullanılır.

$$b_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{\sum_{i=1}^n \alpha_{ij}} \quad (1)$$

Sonra satırda bulunan değerlerin ortalamaları alınarak öz vektörü hesaplayabilmek için (2) nolu formül kullanılmıştır.

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^n b_{ij}}{n} \quad (2)$$

Adım 4: Tutarlılık oranını (CR) hesaplayabilmek için ikili karşılaştırma matrisinin λ_{\max} en büyük özvektörünü hesaplamak gereklidir. Bunun için (3) ve (4) nolu formüller kullanılır.

$$[\alpha_{ij}]_{n \times n} * [w_i]_{n \times 1} = [d_i]_{n \times 1} \quad (3)$$

$$\lambda_{\max} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n d_i}{w_i} \right) / n \quad (4)$$

Tutarlılık indeksini (CI) hesaplamak için $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}$ formülü kullanılır. Bu formülde en büyük öz vektör değerini λ_{\max} , matrisin eleman sayısını ise n ifade etmektedir. CR için ise, $CR = \frac{CI}{RI}$ formülü kullanılır. Rassal indeks oranını RI ifade etmektedir. RI değerleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. RI Değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	0

İkili karşılaştırma matrislerinde tutarlılık oranı 0,10’den az olduğunda matris tutarlıdır (Kütükçü ve Eren, 2017).

Adım 5: Değeri en yüksek olan alternatif en iyi alternatif olarak seçilir.

2.2. TOPSIS

Çalışma kapsamında ele alınan problemde alternatif lokasyonların sıralanması için, diğer sıralama algoritmalarına nazaran uygulama kolaylığına sahip olması, niteliksel bilgileri tam olarak kullanması, en iyi çözüme yaklaşırken en kötü çözümden uzaklaşarak sonuç üretmesi ve bu sayede, uzmanlar tarafından doğru olarak belirlenmiş karar matrisleri kullanılması koşuluyla gerçek hayatla yüksek tutarlılıkta sonuçlar üretmesi (Özcan vd., 2019) sebebiyle TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Hwang ve Yoon tarafından geliştirilen yöntemin uygulama adımları aşağıda sunulmuştur:

Adım 1: Karar matrisinde (A_{ij}), satırlarda alternatifler sütunlarda kriterler yer almaktadır. Karar matrisi, (5) nolu formülde sunulmuştur.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{m1} & \cdots & \alpha_{mn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Matrisde yer alan m, alternatif sayısını ve n, kriter sayısını ifade etmektedir.

Adım 2: (A_{ij})’nin normalizasyonu ile standart karar matrisi (R_{ij}) (6) nolu formül ile elde edilir.

$$r_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m \alpha^2_{kj}}} \quad (6)$$

Adım 3: R_{ij} matrisinde yer alan sütunlardaki elemanların kriter ağırlıkları (W_i) ile çarpılması sonucunda ağırlıklı normalize karar matrisi (V_{ij}) elde edilir ((7) nolu formül).

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & \cdots & w_n r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & \cdots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Adım 4: V_{ij} matrisinde sütun değerlerinin sırasıyla en büyüğü ve en küçüğü seçilerek pozitif ve negatif ideal çözüm kümeleri olan A^+ ve A^- oluşturulur ((8) ve (9) nolu formüller).

$$A^+ = \{(\max V_{ij} | j \in J), (\min V_{ij} | j \in J')\} \quad (8)$$

$$A^- = \{(\min V_{ij} | j \in J), (\max V_{ij} | j \in J')\} \quad (9)$$

Adım 5: Ayrım ölçüleri (S^+, S^-)’nin hesaplanması için (10) ve (11) nolu formüller kullanılır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad (10)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (11)$$

Adım 6: İdeal çözüme göreli yakınlık (C_i^*) $C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+}$ ile hesaplanır. $0 \leq C_i^* \leq 1$ 'dir (Kütükcü ve Eren, 2017).

3. Bulgular

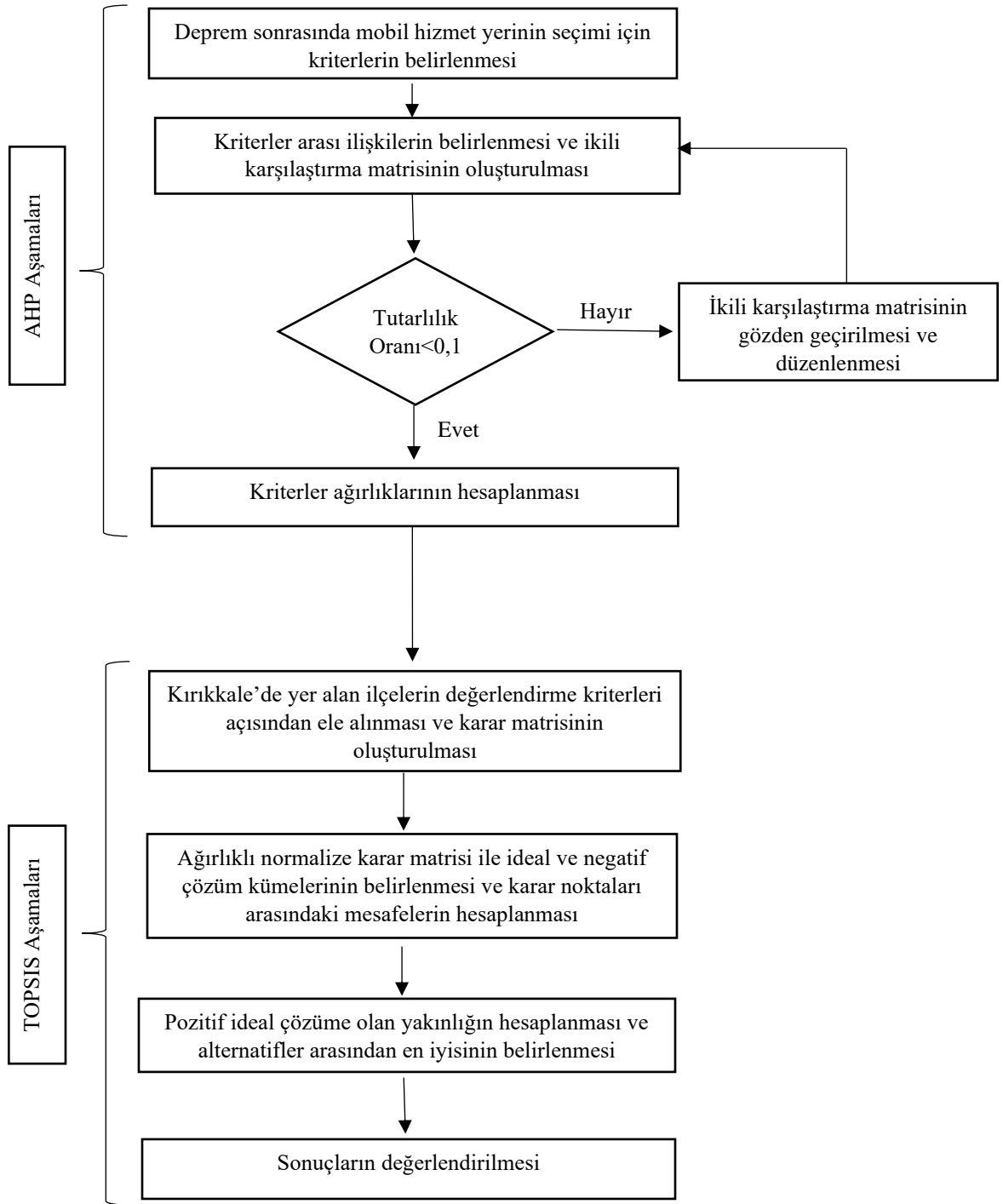
Depremler, herhangi bir yerde ve herhangi bir zamanda meydana gelebilmektedir. Dolayısıyla deprem anı ve sonrası oluşabilecek can ve mal kayıplarını minimize etmek, bilimsel yöntemlerin kullanıldığı iyi bir planlamayla mümkündür. Bir deprem sonrası insanların temel ihtiyaçlarını karşılayamaması istenmeyen bir durumdur. Depremlerin neden olabileceği zararların belirsiz olmasından dolayı deprem sonrasında bir plansızlık ya da bilimsel yöntemlerle destekli olmayan bir plan durumu, depremedelerin en temel ihtiyaçlarını karşılayamaması ile sonuçlanacaktır. Buradan hareketle bu çalışma, deprem sonrası afetzedelerin en temel insani ihtiyaçlarını karşılayabilmesi amacıyla hizmet sunacak olan en uygun mobil hizmet tesisinin yer seçimine odaklanmıştır. Bu noktada öneminden dolayı, jeolojik özelliklerden tesis yerinin kullanıcılara olan mesafesine kadar tüm kriterler tesisin yerinin belirlenmesinde dikkate alınmıştır. Böylece, deprem sonrası meydana gelmesi muhtemel can kayıpları, kargaşa ortamı ve hizmet eksikliği gibi istenmeyen durumların en aza indirgenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın gerçekleştirildiği Kırıkkale ilindeki olası bir deprem için deprem sonrası yönetim organizasyon planı, Kırıkkale'nin sahip olduğu güçlü sanayi ve coğrafi konumu düşünüldüğünde sadece Kırıkkale için değil aynı zamanda ülke ekonomisi ve diğer iller için de oldukça önemlidir. Çalışmanın uygulama aşamaları Şekil 1'de gösterilmektedir.

3.1. Problem Kapsamı ve Çalışmanın Gerekeçesi

Kırıkkale, İç Anadolu bölgesinde başkent Ankara'dan 70 km uzaklıkta konumlanmış, Türkiye'nin batı bölgelerini Doğu Anadolu, Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne bağlayan ulaşım ağlarının merkezinde bulunan bir kenttir. Şehre uzaklıkları yaklaşık 5 km olan Karakeçili ve Kırıkkale-Sungurlu Fay Zonları ile Keskin Fayı ve uzaklıkları 50 km olan Bala Fayı ve Seyfe Fay Zonu Kırıkkale'yi çevrelemiş durumdadır. Bu tektonik yapılar Kırıkkale'yi deprem tehlikesi yüksek olan bir şehir haline getirmektedir (Sönmezer vd., 2015). Ayrıca Kırıkkale sahip olduğu sanayi kuruluşları, endüstriyel tesisler ve coğrafi konumu açısından oldukça kritik bir şehirdir. Kırıkkale, bünyesinde bulundurduğu kuruluşlarıyla, savunma ve petro-kimya alanında ülkemizin can damarlarından birisi konumundadır. Bu kuruluşlar; TÜPRAŞ Orta Anadolu Rafinerisi, MKEK Ağır Silah ve Çelik Fabrikası, MKEK Hafif Silah Fabrikası, MKEK Mühimmat Fabrikası, MKEK Barut Fabrikası, MKEK Pirinç Fabrikası, MKEK Hurda İşletim Fabrikası ve Kırdemir Kırıkkale Demir Çelik Fabrikası'dır. Bu tarz kuruluşlarda yapılan üretim çeşitlerinin tehlikesinden dolayı, en ufak olağan dışı gelişen bir oluşum çok büyük can ve mal kayıplarına neden olabilecektir. Bir depremin bu kuruluşları etkilemesi, deprem sonrası doğması muhtemel kargaşa ortamını bir hayli artıracak ve depremden etkilenen kuruluş çevresine çok büyük zararlar verecektir. Bu gibi önemli kuruluşların bölgede var olması, deprem sonrası organizasyon planlarının çok daha hassas ve bilimsel temelli olarak yapılmasını gerektirmektedir. Kırıkkale'de bulunan bu kuruluşların, il merkezine yakın olmasından dolayı deprem meydana geldiğinde getirebileceği maddi ve manevi zararların daha da tehlikeli ve yıkıcı olması muhtemeldir. Bunun yanı sıra, bölge içinde deprem zararlarını artıracak bir diğer husus, Kırıkkale ilinin nüfus yoğunluğu bakımından ülke ortalamasının üzerinde olmasıdır. Bu da Kırıkkale için bir deprem sonrası yönetiminin önemini artırmaktadır. Herhangi bir bölgedeki yoğun nüfus, olası bir depremin zararlarını özellikle de can kaybını artıracaktır.

Şehir içerisinde bulunan kritik kuruluşlar dışında, kendisine yaklaşık 40 kilometre uzaklıkta olan Roketsan, MKEK Barutsan Roket ve Patlayıcı Fabrikası ve Baştaş Çimento A.Ş. gibi sanayi alanında önemli olan kuruluşlara da Kırıkkale, bazı depremler düşünüldüğünde yakın sayılabilecek bir konumdadır. Bu kuruluşları etkileyecek bir deprem düşünüldüğünde de coğrafi konumu baz alınarak Kırıkkale'nin destek sağlayabilecek ilk şehir olduğu söylenebilir. Özellikle de kuruluşların genel olarak hizmet verdiği savunma sanayii, her ülke için büyük bir önem taşımaktadır. Bu kuruluşların olası bir deprem sonrası üretimlerinin aksaması durumu ülke ekonomisi için büyük zararlara neden olacak ve savunma konusunda ülkemizi zafiyete düşürecektir.

Kırıkkale, ülkemizde diğer şehirlerle etkileşimi en fazla olan ildir. Dolayısıyla yapılacak bir deprem sonrası yönetim çalışması, Kırıkkale'nin coğrafi konumu ele alındığında çalışmanın önemini daha da artırmaktadır. Kırıkkale, başkent Ankara ile etkileşimi başta olmak üzere toplam 46 tane ilin keşişim noktasında bulunmaktadır. Şehrin bu özelliği düşünüldüğünde diğer illerde meydana gelebilecek bir deprem sonrasında, lojistik destek sağlanması noktasında Kırıkkale oldukça kritik bir konumdadır. Türkiye'nin başkenti ve en büyük ikinci şehri olan Ankara'da meydana gelebilecek bir deprem sonrası ilk desteğin geleceği ve başkente açılan bir kapı görevinde olacağı il de Kırıkkale'dir. Ayrıca diğer birçok ilden gelebilecek destekler de Kırıkkale içerisinden geçecektir. Geniş çaplı bir deprem olması durumunda Kırıkkale, lojistik merkez konumunda olacaktır. Kırıkkale içerisinde yapılacak olan bir deprem sonrası organizasyon planı, diğer birçok şehri de hayati derecede etkileyecektir. Kırıkkale hem sahip olduğu kritik kuruluşlar hem bulunduğu lojistik merkezi niteliğindeki konumu açısından ülkemiz için oldukça önemlidir. Bu kapsamda, bu çalışma ile ülke ekonomisi ve savunma sanayi gibi kritik konuların da olası bir deprem sonrası minimum zararla yönetilmesi hedeflenmektedir.



Şekil 1. Uygulama Aşamaları

3.2. En Uygun Mobil Hizmet Yeri Seçimi

Kırıkkale ilinde mobil hizmet yerinin en uygun bölgeye kurulması için değerlendirme kriterleri literatürdeki çalışmalar temel alınarak belirlenmiştir. Bu kriterler açıklamaları ile Tablo 4’te sunulmuştur.

Özellikle jeolojik özellikleri temel alındığında, olası bir depremden etkilenme düzeyinin minimum seviyede olacağı yetkili kuruluşlarca teyit edilen Kırıkkale’nin 4 ilçesi mobil bir hizmet tesisi için uygun alternatifler olarak belirlenmiş ve aşağıda sunulmuştur.

- A1: Kırıkkale’nin Yahşihan ilçesi.
- A2: Kırıkkale’nin Delice ilçesi.
- A3: Kırıkkale’nin Çevrimli Sulakyurt ilçesi.
- A4: Kırıkkale’nin Balışeyh ilçesi.

Tablo 4. Kriterlerin Açıklanması

Kriterler	Açıklama
K1 (Depoların Afetzedelere Mesafesi)	Seçimi yapılan uygun hizmet yerlerinin afetzedelere mesafesi (Özcan vd., 2011).
K2 (Arazinin Zemini)	Arazinin jeolojik yapısı, topografyası ve hizmet merkezinin kurulması için uygun arazi olup olmaması (Chan vd., 2007).
K3 (Karayolu Mesafesi)	Yardım malzemelerinin en kısa zamanda ve en az maliyetle nakledilmesi için karayollarına olan mesafe (Awasti vd., 2011, Roh vd., 2013).
K4 (İşgücü)	Alternatif hizmet yerlerinin iş gücü çeşitliliği (Ureten, 2006, Kobu, 2008).
K5 (Arazi Maliyeti)	Uygun görülen arazinin kamulaştırılması esnasında gereken maliyetler (Chen ve Qu, 2006, Liu, 2011, Yang vd., 2011).

Tablo 4’de verilen değerlendirme kriterleri altında 4 alternatif lokasyonun öncelik sıralamasının elde edilmesi için ilk aşamada, değerlendirme kriterlerinin ağırlıkları AHP yöntemi ile hesaplanmıştır. Kriterler arasında oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı 0,0256 olarak hesaplanmış olup, bu değer matrisin tutarlı olduğunu göstermektedir. Kriter ağırlıkları Tablo 5’de sunulmuştur.

Tablo 5. Kriter Ağırlıkları

Kriterler	Ağırlıklar
K1	0,26
K2	0,16
K3	0,05
K4	0,44
K5	0,09

Hesaplanan kriter ağırlıkları incelendiğinde, en önemli kriterin %44’lük oran ile alternatiflerdeki işgücü çeşitliliği olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum, mobil hizmet tesisinin depremzedelerin sağlık, beslenme ve temizlik gibi temel ve çeşitlilik gösteren hayati ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla kurulduğu düşünüldüğünde anlamlı bir sonuca işaret etmektedir. Çünkü, bu faaliyetlerin yerine getirilmesi farklı uzmanlıkları beraberinde getirmektedir ve Kırıkkale’nin ilçeleri olan alternatiflerde bu bağlamdaki bir işgücü çeşitliliği değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, en uygun mobil hizmet yeri seçim problemini bu kriterin en üst seviyede etkilemesi gerçeklerle tutarlıdır. İşgücü çeşitliliği kriterini alternatiflerin halka olan mesafesi kriteri %26’lık bir oranı ile takip etmektedir. Hayati ihtiyaçlara bu hizmet tesisi ile erişileceği düşünüldüğünde, hizmete erişim süresi kritik önem arz etmektedir ve bu süreyi etkileyen en temel unsurlardan birisi de mesafedir. Alternatif lokasyonların zemin özellikleri (%16), hiç şüphesiz ki karayoluna olan uzaklık (%5) ve arazi maliyeti (%9) kriterlerinden daha önemlidir. Burada, zemin özelliklerinin en önemli kriter olarak çıkmaması akıllarda bir soru işareti oluşturabilir. Bu durum, belirlenen alternatiflerin zaten depremden etkilenme tehlikesinin az olanlar arasından seçilmiş olmasıyla açıklanmaktadır. Karayoluna uzaklık kriterinin çok düşük bir oranla hesaplanmış olmasına rağmen bu durum, probleme etki eden tüm gerekli kriterleri belirleyen yapının kurgulandığına da bir işarettir.

Kriter ağırlıklarının hem matematiksel hem de gerçek hayatla tutarlı sonuçlar ürettiğinin belirlenmesinin ardından TOPSIS algoritmasına göre alternatif lokasyonların önem sırasının belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Bu kapsamda, karar matrisinin belirlenmesi için alternatiflerin kriterler temelindeki veri tablosu Tablo 6’da yer almaktadır.

Tablo 6. Karar Matrisi için Veri Tablosu

Kriterler/ Alternatifler	Depoların Afetzedelere Mesafesi (km)	Arazinin Zemini	Karayolu Mesafesi (km)	İş Gücü (50 konteyner taşıma TL)	Arazi Maliyeti (TL)
Yahşihan	14	Kil	20,6	25.000	78.000
Delice	50	Çakıl- Kum-Kil	85	40.000	80.000
Çevrimli Sulakyurt	56	Çakıl- Kum-Kil	52	47.500	65.000
Balışeyh	22	Kil	55,6	55.000	43.000

Bu veriler temel alınarak 0-10 arasında değişen bir skala dahilinde karar matrisi Tablo 7’deki şekilde hesaplanmıştır.

Tablo 7. Karar Matrisi

Kriterler/ Alternatifler	K1	K2	K3	K4	K5
A1	10	6	8	9	8
A2	7	5	5	6	7
A3	5	9	10	5	6
A4	8	7	7	8	10

Daha sonra AHP yönteminden elde edilen ağırlıklarla standart karar matrisi elde edilmiştir. Bu matrisin normalizasyonundan elde edilen matris üzerinden ideal ve negatif ideal çözüm setlerinden sapmalar dikkate alınarak karar noktalarından ideal çözüme olan yakınlıklar hesaplanmıştır. Sonuçta, ideal çözüme göreli yakınlık değeri olarak tanımlanan alternatif öncelikleri hesaplanarak Tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 8. Alternatiflerin Sıralaması

Alternatifler	Öncelik Değerleri
A1	0,80
A2	0,28
A3	0,25
A4	0,68

4. Sonuç ve Tartışma

Deprem potansiyeli yüksek fay zonlarına olan yakınlığı, sınırları içinde ve yakınında önemli sanayi kuruluşlarının varlığı, Türkiye’nin batı bölgelerini Doğu Anadolu, Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi’ne bağlayan ulaşım ağlarının merkezinde bulunması gibi birçok stratejik özelliğinden dolayı Kırıkkale veya yakınında olabilecek bir depremde Kırıkkale’de konumlandırılacak bir mobil hizmet tesisinin en uygun yerinin seçim probleminin ele alındığı bu çalışma, hem uygulama yeri olan Kırıkkale’nin söz konusu stratejik önemi hem hizmet tesisinin geniş kapsamı hem de tüm bunlar bağlamında afet sonrası planlama kapsamında yer alan bu problem için literatürde en sık kullanılan çok kriterli karar verme algoritmalarından AHP-TOPSIS kombinasyonunun kullanılması açısından literatürde ilk olma özelliğine sahiptir.

Yapılan değerlendirmede, deprem sonrası hizmet verecek mobil tesisin kurulması en uygun yerin Yahşihan olduğu tespit edilmiştir. Bu alternatifte en yakın diğer alternatif ise Balışeyh ilçesidir. Değerlendirme kriterleri arasından probleme en çok etki eden parametrelerin iş gücü çeşitliliği ve depremzedelere olan mesafe olduğu dikkate alındığında, Yahşihan’ın en avantajlı yer olduğu Tablo 6’dan görülmektedir. Ayrıca, Yahşihan’ın kil zemini depreme dayanıklılık açısından belirlenen alternatifler arasından en uygun malzemedir. Bununla birlikte, ikinci sıradaki Balışeyh iş gücü çeşitliliği açısından en kötü durumda olan ilçe olması açısından bu sırada yer almıştır. Birbirlerine yakın öncelik değerlerine sahip Delice ve Sulakyurt’un üçüncü ve dördüncü sırada yer almasındaki en önemli nedenler, depremzedelere en uzak alternatifler olmasının yanında, iş gücü çeşitliliği, zemin kalitesi, arazi maliyetleri ve karayoluna

olan uzaklık kriterleri açısından daha kötü değerlere sahip olmalarıdır. Elde edilen bu sonuçlar, Tablo 6'daki veri matrisi bağlamında gerçeğe uygun bir şekilde karar matrisinin oluşturulduğunu ve tutarlı sonuçların elde edildiğini göstermektedir.

Yukarıdaki bölümlerde önemi detaylı bir şekilde açıklanan probleme bu çalışma ile sunulan tutarlı sonuçlar göz önüne alındığında, afet sonrası planlama ile ilgili daha kapsamlı çalışmaların yapılması hem uygulamacılara hem de literatüre önemli katkılar sağlayacaktır. Bu kapsamda, Kırıkkale ya da Kırıkkale gibi stratejik öneme sahip olan şehirlerimizde deprem sonrası hizmet verecek tesislerin sunacağı hizmetler, depolanacak malzemeler ve buralarda çalışacak personel ile ilgili seçim, sıralama ve planlama problemleri için matematiksel modelleme yöntemleri, yapay zekâ teknikleri, istatistiksel analiz metotları ve çok ölçütlü karar verme yöntemleriyle ileri çalışmalar gerçekleştirilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından 2020/032 numaralı proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı BAP Birimine teşekkürlerimizi sunarız.

Referanslar

Ahmadi, M., Seifi, A. & Tootooni, B. (2015). A Humanitarian Logistics Model for Disaster Relief Operation Considering Network Failure and Standard Relief Time: A Case Study on San Francisco District. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 75, 145-163.

Afet, B., Başkanlığı, A. D. Y. (2011). Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı. 2012-2023.

Asoğlu, İ., & Eren, T. (2018). AHP, TOPSIS, PROMETHEE Yöntemleri ile Bir İşletme için Kargo Şirketi Seçimi. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(16), 102-122.

Awasti, A., Chauhan, S.S. & Goyal, S.K. (2011). A Multi-Criteria Decision Making Approach for Location Planning for Urban Distribution Centers Under Uncertainty. *Mathematical and Computer Modelling*, 53, 98-109.

Ayan, E., Cihan, Ş., Eren, T., Topal, T., & Yıldırım, E. K. (2016). AHP ve TOPSIS Yöntemleri ile Ekokardiografi Cihazı Seçimi. *Sağlık Bilimleri ve Meslekleri Dergisi*, 4(1), 41-49.

Bilgilioğlu, S.S. (2014). Ulusal Heyelan Haritaları için Coğrafi Veri Modelinin Geliştirilmesi ve Afet Yönetiminde Kullanılması. (Yüksek Lisans Tezi). Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.

Chan F.T.S. & Kumar, N. (2007). Global Supplier Development Considering Risk Factors Using Fuzzy Extended. *AHP-Based Approach*, *Omega-The International Journal of Management Science*, 35, 417-431.

Chan F.T.S., Kumar, N. & Choy, K. L. (2007). Decision Making Approach for the Distribution Centre Location Problem in an Supply Chain Network Using the Fuzzy-Based Hierarchical Concept. *Journal of Engineering Manufacture*, 221 (B): 725-739.

Cheng, H. & Yang, X. K., (2012). A Comprehensive Evaluation Model for Earthquake Emergency Shelter. *Sustainable Transportation Systems*, 412- 2.

Chen, N., Chen, L., Ma, Y., Chen, A. (2019). Regional Disaster Risk Assessment of China Based on Self-Organizing Map Clustering, Visualization and Ranking. *International Journal of Disaster Risk Reduct*, 33, 196–206.

Chen, Y. & Qu, L. (2006). Evaluating the Selection of Logistics Centre Location Using Fuzzy MCDM Model Based on Entropy Weight. *Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control on Automation*, 21-23 June Dalian China, 7128-7132.

Chu, J. & Su, Y. (2012). The Application of Topsis Method in Selecting Fixed Seismic Shelter for Evacuation in Cities. *Systems Engineering Procedia*, 3, 391-397.

Çalışkan, E., & Eren, T., (2016). Bankaların Performanslarının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemiyle Değerlendirilmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 85-107.

Donevska, K. R., Gorsevski, P. V., Jovanovski, M. & Peševski, I. (2012). Regional Non-Hazardous Landfill Site Selection by Integrating Fuzzy Logic AHP and Geographic Information Systems. *Environmental Earth Sciences*, 67(1), 121-131.

El-Anwar, O., El-Rayes, K. & Elnashai, A. S. (2009). Maximizing The Sustainability of Integrated Housing Recovery Efforts. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(7), 794-802.

Eren, T., Cihan, Ş., Enes, A., Topal, T., & Yıldırım, E. K. (2017). Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Ekokardiyografi Cihazı Seçiminin Yapılması. Sağlık Bilimleri ve Meslekleri Dergisi, 4(1), 41-49.

Eren, T. & Gür, Ş., (2017). Online Alışveriş Siteleri İçin AHP ve TOPSIS Yöntemleri ile 3pl Firma Seçimi. Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 10(2), 819-834.

Eren, T., & Ünal, F. M. (2016). Hedef Programlama ile Nöbet Çizelgeleme Probleminin Çözümü. Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 4(1), 28-37.

Erden, T. & Coşkun, M.Z. (2010). Acil Durum Servislerinin Yer Seçimi: Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve CBS Entegrasyonu. İTÜ Mühendislik Dergisi, 9(6), 37-50.

Junian, J. & Azizifar, V. (2018). The Evaluation of Temporary Shelter Areas Locations Using Geographic Information System and Analytic Hierarchy Process. Civil Engineering Journal, 4(7), 1678-1688.

Kobu B. (2008). Üretim Yönetimi. Genişletilmiş Güncellenmiş 14.Baskı, Beta Basım Yayım, İstanbul.

Körpeli, S., Şahin, B., & Eren, T., (2012). Hedef Programlama ile Menü Planlaması: Bir Örnek Uygulama. Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 2(1), 121-142.

Kutlu, B., Abalı, Y., & Eren, T., (2012). Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Seçmeli Ders Seçimi. Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 2(2), 5-25.

Kütükçü, A. & Eren, T., (2017). Acil Durum Haberleşmesinde Kullanılan El Telsizinin Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Seçilmesi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(2), 183-203.

Liu, S., Chan, F. T. S. & Chung, S. H. (2011). A Study of Distribution Center Location Based on the RoughSets and Interactive Multi-Objective Fuzzy Decision Theory. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 27: 426-433.

Özcan, T., Çelebi, N. & Esnaf, Ş. (2011). Comparative Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methodologies and Implementation of A Warehouse Location Selection Problem. Expert Systems with Applications, 38: 9773–9779.

Özcan, E., Danişan, T. & Eren, T. (2019). Hidroelektrik Santrallerin En Kritik Elektriksel Ekipman Gruplarının Bakım Stratejilerinin Optimizasyonu için Matematiksel Bir Model Önerisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(4), 498-506.

Özcan, E. C., Ünlüsoy, S., & Eren, T. (2017). A Combined Goal Programming–AHP Approach Supported with TOPSIS for Maintenance Strategy Selection in Hydroelectric Power Plants. Renewable And Sustainable Energy Reviews, 78, 1410-1423.

Özcan, E. C., Varlı, E., & Eren, T., (2017). Hidroelektrik Santrallerde Vardiya Çizelgeleme Problemleri için Hedef Programlama Yaklaşımı. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 10(4), 363-370.

Peker, İ., Korucuk, S., Ulutaş, Ş., Okatan, B. S. & Yaşar, F. (2016). Afet Lojistiği Kapsamında En Uygun Dağıtım Merkez Yerinin AHS-VIKOR Bütünleşik Yöntemi ile Belirlenmesi: Erzincan İli Örneği. Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 14(1), 82-103.

Roh, S., Jang, H. & Han, C. (2013). Warehouse Location Decision Factors in Humanitarian Relief Logistics. The Asian Journal of Shipping and Logistics, 29(1): 103-120.

Saaty, T.L., (1980). The Analytic Hierarchy Process. USA: Mcgraw-Hill International Book Company.

Sönmezer, Y. B., Akbaş, S. O. & Işık, N. S. (2015). Kırıkkale İli Yerleşim Alanı için En Büyük İvme, Zemin Büyütmesi ve Hâkim Titreşim Periyodu Özelliklerinin Değerlendirilmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(4).

Şahin, Y. & Hazırcı, M. (2019). Geçici İskân Alanlarının Seçimi için AHP Temelli P-Medyan Modeli: Burdur Örneği. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(2), 403-417.

Şahin, S. (2017). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Bulanık Ortamda Afet Yönetimi Sisteminde Geçici Barınma Alanları Yer Seçimi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Taş, C., Bedir, N., Eren, T., Alağaç, H. M., & Çetin, S. (2018). AHP-TOPSIS Yöntemleri Entegrasyonu ile Poliklinik Değerlendirilmesi: Ankara'da Bir Uygulama. Sağlık Yönetimi Dergisi, 2(1), 1-17.

Uslu, A. (2018). Afet Sonrası Hizmet Noktası Yer Seçimi için Kullanılacak Kriterlerin Belirlenmesi ve Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri Kullanılarak Bir Uygulama. (Yüksek Lisans Tezi). Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

Üreten, S., (2006). Üretim/İşlemler Yönetimi Stratejik Kararlar ve Karar Modelleri. Gazi Kitabevi, Ankara.

Vitoriano, B., Ortuno, T., & Tirado, G. (2009). HADS, A Goal Programming-Based Humanitarian Aid Distribution System. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 16(1-2), 55-64.

Yalçın, M. (2012). Afet Yönetimi-Hazırlık Bileşeni için Konumsal Veri Altyapısı Tasarlanması, Sel ve Taşkına Duyarlı Alanlar: İstanbul Avrupa Yakası Örneği. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yang, H., Yang, L. & Yang, S. (2011). Hybrid Zigbee RFID Sensor Network for Humanitarian Logistics Centre Management. Journal of Network and Computer Applications, (34): 938-948.

Yanık, L., & Eren, T. (2017). Borsa İstanbul'da İşlem Gören Otomotiv İmalat Sektörü Firmalarının Finansal Performanslarının AHP, TOPSIS, ELECTRE ve VIKOR Yöntemleri ile Analizi. Yalova Sosyal Bilimler Dergisi, 7(13), 165-188.



Yüksek Fırın Cürufunun Seramik Duvar Karosu Bünyesi Üzerine Etkilerinin Araştırılması

The Effects of Blast Furnace Slag on The Properties of Ceramic Wall Tile Body

Tuna Aydın¹

¹Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 22/04/2020

Kabul / Accepted: 14/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Günümüzde seramik kaplama malzemelerinin üretiminde hammadde kaynaklarının azalması ve maliyet artışlarından dolayı, alternatif hammadde kaynaklarının değerlendirilmesine yönelik çalışmalar büyük önem kazanmıştır. Özellikle endüstriyel atıkların geri dönüşümü ile hem maliyet hem de çevre konusunda kazanımlar elde edilebilmektedir. Bu çalışmada, endüstriyel atık olarak Zonguldak Ereğli Demir Çelik Fabrikasının yüksek fırın cürufu ve ayrıca bir mermer fabrikasından alınan mermer tozu seramik duvar karosu üretiminde alternatif bir hammadde kaynağı olarak kullanılmıştır. Seramik duvar karosu reçetelerinde maksimum % 10 oranında kalsit yerine yüksek fırın cürufu ve mermer tozu kullanılmıştır. Numuneler 1130 ° C de 60 dakika süre ile laboratuvar koşullarında pişirilmiştir. Numunelerin pişme küçülmesi, su emme ve eğme dayanımları gibi teknolojik özelliklerinin yanı sıra sinterleme analizleri de araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Sinterleme, Kırmızı çamur, atık, geri dönüşüm, seramik duvar karosu”

Abstract

Today, due to the decrease in raw material resources and the increase in the cost of raw material in the production of ceramic coating materials, studies on the evaluation of alternative raw material sources have gained great importance. Especially with the recycling of industrial wastes, both cost and environmental gains can be achieved. In this study, Zonguldak Ereğli Iron and Steel Factories blast furnace slag and marble dust from a marble factory was used as an alternative raw material for the ceramic wall tile production. Maximum 10 % by weight of blast furnace slag and marble dust were used instead of calcite in the wall tile recipes. All samples were sintered at 1130 °C for 60 minute under the laboratory conditions. Technological properties such as shrinkage, water absorption and bending strength were investigated and it was also examined sintering properties and microstructural properties of the green and fired samples.

Keywords

“Sintering, red mud, waste, recycling, ceramic wall tile”

1. Giriş

Ülkemiz enerji kaynakları yönünden dışarıya bağımlıdır. Bu durum enerji maliyetlerinin düşürülmesi ve bunun yanında da alternatif hammadde kaynaklarının kullanılmasına yönelik çalışmaları önem açısından üst sıralara çıkarmaktadır. Bu amaç doğrultusunda birçok akademik çalışma yapılmaktadır. Seramik sağlık gereçleri üretiminde yüksek fırın cürufunun kullanılması ile ilgili yapılmış önceki çalışmada, yüksek fırın cürufu Na feldispat yerine ağırlıkça maksimum % 10 kullanılarak elde edilen bünyelerin reolojik ve teknolojik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre özellikle teknolojik açıdan mukavemet değerlerinde % 15'lik bir artış olması ve yüksek oranda CaO içeriği seramik duvar karoları içinde alternatif bir hammadde kaynağı olabileceğini göstermiştir. Özellikle de atık camlar gibi yardımcı ergitici hammaddeler; hem enerji maliyetlerinin düşürülmesinde hem de alternatif hammadde kaynağı olarak kullanılabilir. Bunun yanında ergitici özelliğe sahip enerji maliyetlerini azaltabilecek uçucu kül ve seramik sağlık gereçleri ıskarta atıkları gibi endüstriyel atıklarda önemli geri kazanım hammaddeleri olarak öne çıkmaktadır. Tarhan M ve arkadaşlarının “*fine fire clay (FFC)*” seramik sağlık gereçleri atıklarının seramik duvar karosunda kullanımı ile ilgili yaptıkları çalışmada FFC endüstriyel ıskarta atıklar alternatif bir hammadde kaynağı olarak kullanılmıştır. FFC atıklarının seramik duvar karosunda kullanılması yine teknolojik özellikler açısından bulk yoğunluklarda ve mukavemetlerde artış sağlamış aynı zamanda da seramik duvar karolarının üretiminde en kritik faktörlerden biri olan ve ürün kalitesini etkileyen nem genleşmesini de düşürdüğü tespit edilmiştir. Tarhan B ve arkadaşlarının “*vitreous china.(VC)*” seramik sağlık gereci ıskarta atıklarının sırlı porselen karo bünyelerdeki etkilerini görmek için yapılan çalışmada ise VC atıklar boyutsal kararlılık ve deformasyonların azaltılması yönünden termal genleşme katsayısının azalmasında katkı sağlamıştır. Aydın T ve arkadaşlarının bir başka endüstriyel atık olan çimento döner fırın baca tozu atıklarının seramik duvar karosu üretiminde kullanıldığı çalışmalarında baca tozu atıklarının yüksek oranda CaO, SiO₂ ve Al₂O₃ içermesi yine seramik duvar karosu üretiminde alternatif bir hammadde kaynağı olarak kullanımı sağlamıştır. Aydın T ve Paksoy Ç tarafından yapılan çimento öğütme tesisleri havalandırma sistemlerinde tutulan farin tozlarının porselen karo üretimi için kullanıldığı çalışmada da farin tozlarının alternatif bir hammadde kaynağı olarak kullanılabilirliği gösterilmiştir. Öztürk Z ve Eren E tarafından da yüksek fırın cürufunun seramik karolarda alternatif hammadde kaynağı olarak kullanılabilirliği gösterilmiştir.

Bu çalışmada Zonguldak Ereğli Demir Çelik fabrikaların yüksek fırın cürufu (YFC) kullanılmıştır. Standart bir seramik duvar karosu reçetesinde kullanılan kalsit yerine ağırlıkça % 3, % 5 ve % 10 oranlarında yüksek fırın cürufu (YFC) kullanılarak bünyelerin mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir.

2. Materyal ve metod

Kil, kaolen, mermer tozu, sodyum feldispat ve kuvars hammaddeleri kullanılarak standart bir duvar karosu reçetesi oluşturulmuştur. Bu duvar karosu reçetesinde ağırlıkça maksimum % 10 YFC, kalsit yerine kullanılmıştır. Hammaddeler uygun oranlarda karıştırıldıktan sonra bilyalı değirmenlerde sulu olarak öğütülmüş sonra da elde edilen çamur 110°C de etüvde kurutulmuştur. Belli tane boyut dağılımında granüller, kontrollü bir şekilde % 5-6 oranında nemlendirilerek şekillendirilmeye hazır masse haline getirilmiştir. Elde edilen masse Seramik Araştırma merkezi laboratuvarlarında tek eksenli kuru pres ile 280 kg/cm² basınçla 50 mm x 100 mm boyutunda şekillendirilmiştir. Hazırlanan numuneler yine laboratuvar koşullarında 1130 °C de pişirilmiştir. Numunelerin mekanik, termal ve fiziksel test ve analizleri laboratuvar koşullarında Seramik Araştırma Merkezi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Hammadde kimyasal analizleri XRF cihazı (Rigaku ZSX, Seramik Araştırma Merkezi) kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen bünyelerin faz analizleri için XRD cihazı (Rigaku Rint 2200, Seramik Araştırma Merkezi) kullanılmıştır. XRD grafikleri desenleri 5-70° aralığında çekilmiştir. Ham bünyelerin sinterleme analizleri için temassız optik dilatometre kullanılmıştır (MISURA ODHT HSM 1660/80, Seramik Araştırma Merkezi).

3. Deneysel Çalışmalar

3.1. Kimyasal Analiz

Kullanılan hammaddelere ait kimyasal analiz sonuçları Tablo 1 de sunulmuştur. Çalışma kapsamında Kalsit yerine endüstriyel bir atık olan mermer tozu kullanılmıştır. Kullanılan mermer tozu yaklaşık % 48 CaO içermektedir ve ateş zaiyatıda ağırlıkça % 48.6'dır. bir başka endüstriyel atık olan Yüksek fırın cürufuda (YFC) % 36 CaO, %2.2 MgO içermektedir. Kızdırma kaybı ise %2.54'dür.

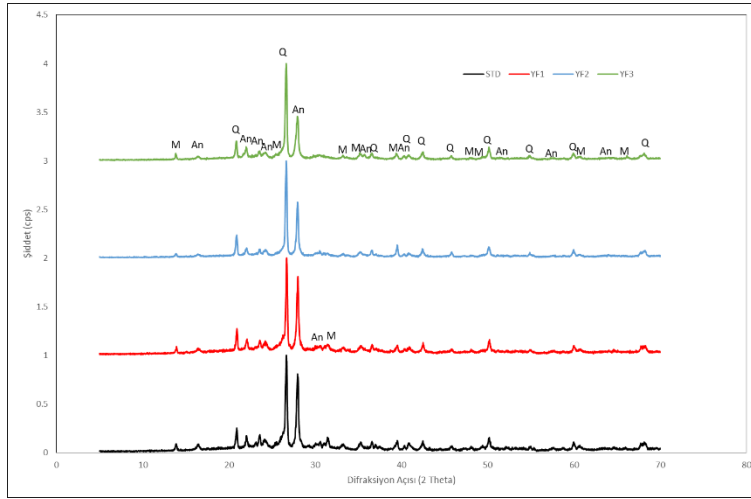
Tablo1. Hammadde kimyasal analizleri (ağırlıkça %)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	A.Z.
Kaolen	65.000	23.000	0.500	0.500	0.200	0.150	0.200	0.300	10.000
Sodyum feldispat	71.100	17.400	0.050	0.240	0.600	0.100	9.360	0.340	0.500
Kuars	97.640	0.730	0.180	0.030	0.100	0.010	0.010	0.470	0.430
Mermer Tozu	0.25	-	0.02	0.01	48.9	2.2	-	-	48.6
Kil	59.000	25.000	1.000	1.500	0.600	0.700	0.600	2.700	8.500
YFC	40.14	8.97	1.06	1.14	36.68	4.52	0.24	0.67	2.54

A.Z.: Ateş zaiyatı, **YFC:** Yüksek fırın cürufu

3.2. Faz Analizleri

Şekil 1 de numunelere ait XRD analizleri sonuçları verilmiştir. Faz analizi sonuçlarına göre hazırlanan bünyeler anortit, kuvars ve müllit fazlarını içermektedir. Özellikle yüksek fırın cürufu ilavesi anortit oluşumuna katkı sağlamıştır. Aydın T ve arkadaşlarının yüksek oranda CaO içeren atıklarla yapılan çalışmalarında da anortit oluşumları gösterilmiştir. Ancak artan oranlarda yüksek fırın cürufunun ilavesi ile anortit fazlarının oluşumunun artması beklenirken katkı oranı arttıkça azaldığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak duvar karosu bünyelerinde anortit oluşumunu artıracak düşük viskoziteli sıvı faz oluşumunun düşük sıcaklıklarda YFC ilavesi ile sağlanamamış olması olarak düşünülmektedir.



Şekil 1. Numunelere ait XRD analizi, Q: Kuvars, M: Müllit, An: Anortit

3.3. Teknolojik Özellikler

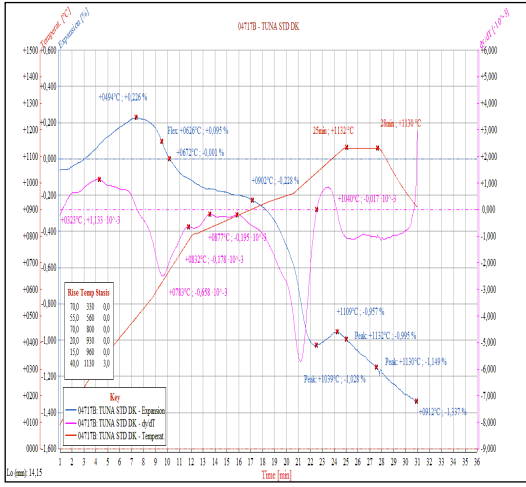
Numunelere ait teknolojik özellikler Tablo 2 de sunulmuştur. YFC ilavesi ile beraber numunelerin su emme, pişme küçülmesi değerleri azalmıştır. Ancak kuru mukavemet ve pişme mukavemeti değerleri ise artış göstermiştir. Üretim devamlılığı ve ürün kaybının azalması yönünden kuru mukavemetlerdeki artış çok önemli bir bulgudur. Faz analizlerine göre anortit fazının azalmasına rağmen mukavemetlerdeki artışın nedenin yoğunluk artışı olduğu düşünülmektedir [7]. CIElab metodu renk analizi için kullanılmıştır. Duvar karosunun beyazlığını ve rengini belirlemek için L* a* ve b* ana parametreleri kullanılmaktadır. L* parametresi parlaklığı yani L = 100 değeri tam beyazlığı, L=0 değeri de tam siyah rengi ifade eder. a* parametresi ise kırmızı-yeşil renk aralığını, b* parametresi de sarı-mavi renk aralığını ifade ettiğini Tarhan M ve Selli N.T çalışmalarında anlatmıştır. Artan oranlarda YFC ilavesi ile numunelerin beyazlık değeri STD bünyeye kıyasla azalmıştır.

Tablo2. Numunelere ait teknolojik özellikler

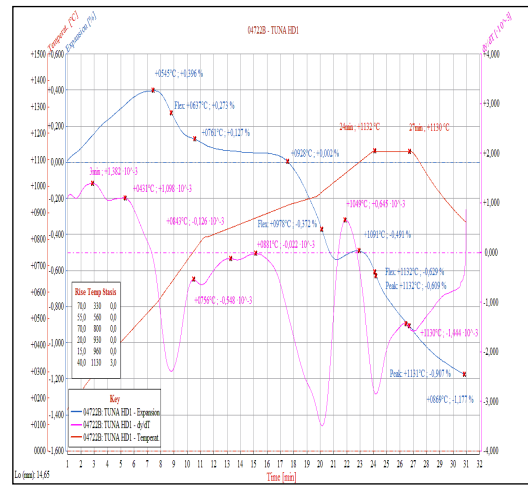
Numune	Su		Yoğunluk (gr/cm ³)	Kuru		Renk analizi		
	Emme (%)	Pişme Küçülmesi (%)		Mukavemet (kg/cm ²)	Pişme Mukavemeti (kg/cm ²)	L*	a*	b*
STD	18.38	1.16	1.68	11.01	159.23	89.37	2.00	7.43
YF1	16.72	1.09	1.76	16.07	193.86	87.75	2.30	7.99
YF2	16.56	0.90	1.79	15.62	199.93	87.08	2.14	9.25
YF3	14.48	0.82	1.87	15.49	201.03	82.83	2.82	11.74

3.4. Optik Dilatometre ile Sinterleme Analizi

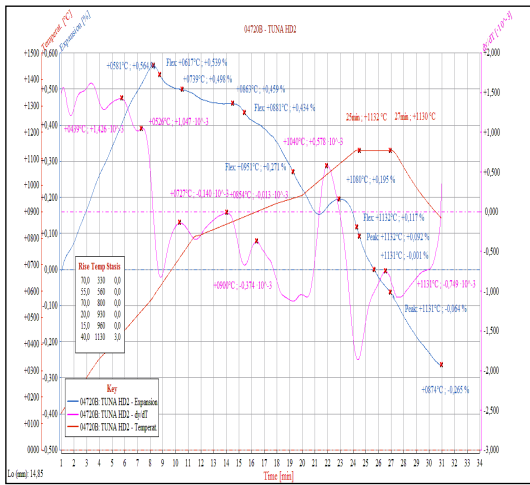
Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5 de bünyelere ait temassız optik dilatometre analizi sonuçları verilmiştir. STD duvar karosu bünyesine ait temassız optik dilatometre ile pişirim analizi grafiğine göre STD bünye yaklaşık 900 °C ye kadar bir genişleme gösterdikten sonra küçülmeye başlamıştır. Bu genişleme kuvars dönüşümü ile ilgili bir genişlemedir. Bünye yaklaşık 1039 °C civarlarında kristalleşme göstermiştir. Bu kristalleşme Aydın T'nın daha önceki çalışmalarında gösterdiği gibi anortit fazlarının oluşumu ile ilgilidir. YF1, YF2 ve YF3 bünyelerine ait pişirim eğrileri incelendiğinde Std bünyeye kıyasla pişirimin ilk aşamasında 900 °C ye kadar çok daha fazla genişlediği görülmektedir. Pişirimin STD bünyeye kıyasla da daha yavaş gerçekleştiği görülmektedir. Bu durumda özellikle anortit kristallerinin oluşumuna olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir. Yüksek fırın cürufu teknik özellikler açısından olumlu katkı yapmış olmasına daha önceki çalışmalarda porselen karo ya da vitrifiye ürünlerin pişirim şartlarını geliştirmesi gibi olumlu etkileri bu çalışmada maalesef tespit edilememiştir. Aksine standart bünyeye kıyasla pişirimin daha yavaş olmasına neden olmuştur.



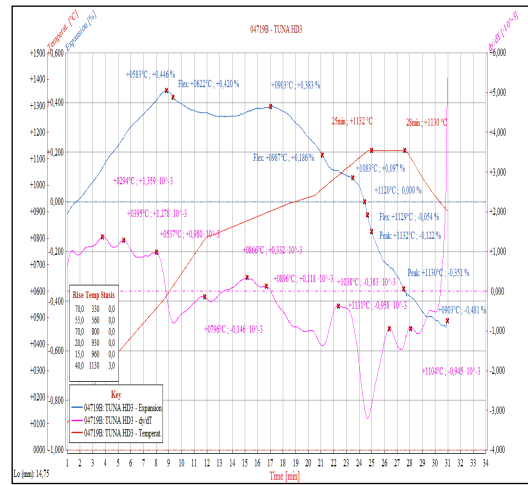
Şekil 2. STD bünyeye ait optik dilatometre grafiği



Şekil 3. YF1 bünyesine ait optik dilatometre grafiği



Şekil 4. YF2 bünyesine ait optik dilatometre grafiği



Şekil 5. YF3 bünyesine ait optik dilatometre grafiği

4. Sonuç

Demir çelik firmalarında yüksek fırından elde edilen endüstriyel bir atık olan cürufun ve mermer tozunun yeniden değerlendirilmesi amacı ile yapılan bu çalışmada maksimum % 10 oranında kalsit yerine YFC ile kuru mukavemet ve pişme mukavemet gibi teknik özelliklerde artış sağlanmıştır. Yapılan XRD analiz sonuçlarına göre anortit fazı artan oranlarda YFC ilavesi ile azalmıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda da gösterildiği üzere YFC ilavesi porselen karo ya da vitrifiye gibi ürünlerde teknik, termal ve mikroyapısal özelliklere olumlu katkılar sağlarken seramik duvar karosunda teknik açıdan ürün stabilitesinin sağlanması ve üretim bantlarında ürün kaybının önlenmesi açısından kuru mukavemetlerdeki artış bu çalışmanın en önemli sonucu olmuştur. Ancak yüksek fırın cürufun pişirim koşullarına olumlu bir katkısı tespit edilememiştir.

Teşekkürler

Yapılan bu çalışmaya desteklerinden dolayı Seramik Araştırma merkezine teşekkür ederim.

Referanslar

- Aydın T. (2018). Yüksek Fırın Cürufunun Seramik Sağlık Gereçleri Bünyeleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 10 (2), 178-182.
- Aydın T., Tarhan M., Tarhan B. (2019). Addition of cement kiln dust in ceramic wall tile bodies, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 136:527–533
- Aydın T., Paksoy, C. (2019). The effect of cement raw mix waste dust on porcelain tile properties, Journal of the Australian Ceramic Society, 55:37–45
- Ozturk Z.B., Eren E. (2015). Preparation of ceramic wall tiling derived from blast furnace slag. Ceram Int., 41(9):12020–6
- Selli NT. (2015). Development of anorthite based white porcelain stoneware tile compositions. Ceram Int., 41:7790–5
- Tarhan M., Tarhan B., Aydın T. (2016). The effects of fine fire clay sanitary ware wastes on ceramic wall tiles, Ceramics International, 42, 17110–17115
- Tarhan B., Tarhan M., Aydın T. (2017). Reusing sanitaryware waste products in glazed porcelain tile production, Ceramics International, 43, 3107-31112,
- Tarhan M., Whiteness improvement of porcelain tiles incorporated with anorthite and diopside phases, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08268-8>



Tahribatsız Yöntem Verileri Kullanılarak Yapay Sinir Ağı ve Regresyon Yöntemi ile Beton Basınç Dayanımının Tahmin Edilmesi

By Using Non-Destructive Method Data Estimation of the Concrete Compressive Strength with Artificial Neural Network and Regression Method

Serap Yörübulut*¹  Orhan Doğan²  Funda Erdugan¹  Suat Yörübulut³ 

¹Kırıkkale Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

²Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

³Kırıkkale Üniversitesi, Rektörlük, Yapı İşleri ve Teknik Dairesi Başkanlığı, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 09/05/2020

Kabul / Accepted: 16/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Yapay zeka (YZ) yöntemlerinden yapay sinir ağı (YSA) ve istatistiksel tahmin yöntemi olan regresyon analizi kullanılarak, yapı elemanlarına zarar vermeyen tahribatsız yöntemlerden, beton test çekici ve ultrasonik test cihazı ile kısa sürede ve düşük maliyetle elde edilen veriler ile beton basınç dayanımının tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla, 117 adet karot numunesi için tahribatsız yöntemlerle elde edilen veriler kullanılarak yapay sinir ağı ve regresyon modelleri oluşturulmuş ve bu iki modelden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tahribatsız deney verileri kullanılarak yapay sinir ağı ve regresyon yöntemleriyle tahmin edilen beton basınç dayanımları ile tahribatlı yöntem olan karot numunelerinin basınç dayanımlarının birbirlerine oldukça yakın sonuçlar veren modeller olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler

“Yapay Sinir Ağı, Regresyon Analizi, Beton Basınç Dayanımı, Tahribatsız Yöntem, Beton Test Çekici, Ultrasonik Test Cihazı”

Abstract

In this study it is aimed to estimate the concrete compressive strength by using non-destructive concrete test hammer and ultrasonic test which are applied without destroying structural members and are time and cost saving methods in accordance with artificial neural network (ANN) and regression analysis which is a statistical estimation method parts of artificial intelligence (AI).

For this purpose, artificial neural network and regression models were created using data obtained with non-destructive methods for 117 core samples and the results of these two models were compared.

Using the non-destructive test data, the compressive strengths estimated by artificial neural network and regression methods and the core strength samples of the destructive method have been found very close to each other.

Key Words

“Artificial Neural Network, Regression Analysis, Concrete Compressive Strength, Non-Destructive Method, Concrete Test Hammer, Ultrasonic Tester”

1. Giriş

Mevcut bir betonarme yapının veya yapı elemanının kalitesinin belirlenmesinde genellikle betonun basınç dayanımı ön plana çıkmaktadır. Ülkemizdeki yapıların hemen hemen tamamının deprem kuşağında yer alması, bu yapıların deprem performanslarına ilişkin beton basınç dayanımlarının hızlı değerlendirilmesinin önemini artırmıştır. Mevcut yapılarda beton basınç dayanımının belirlenmesi için yaygın olarak karot yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem, yapı elemanının kesitini zayıflamakta, taşıma kapasitesini azalmakta olup aynı zamanda malzeme, iş gücü ve zaman kaybına da neden olmaktadır. Bu dezavantajlar nedeni ile son yıllarda tahribatsız deney yöntemleri ile beton basınç dayanımının belirlenmesi önemli hale gelmiştir (Topçu vd 2010; Erdal ve Şimşek 2006).

Nisan 2010'da yürürlüğe giren TS EN 13791 standardı, mevcut yapıların ve yapı bileşenlerinin beton basınç dayanımının yerinde tahmin edilmesi ve değerlendirilmesinde, kalibre edilmek şartıyla beton test çekici ve ultrases geçiş hızı gibi tahribatsız deneylerin kullanılmasını tavsiye etmektedir.

Son zamanlarda, beton basınç dayanımının yaklaşık olarak belirlenmesinde kullanılan en etkin ve güvenilir yöntem, beton test çekici ile ultrases geçiş hızının birlikte kullanıldığı ve değerlendirildiği SONREB bileşik yöntemdir (Cristofaro vd, 2020; Topçu, 1993; Yüksel, 2003; Erdoğan, 2003).

Günümüzde, özellikle yapıya hasar verici deneylerden kaçınmak ve aynı zamanda ekonomik kayıpları önlemek amacıyla bir takım yapay zeka teknikleri ve istatistiksel analizler kullanılmaktadır. Bu yöntemler, bazı durumlarda deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında diğer ampirik modellere göre çok daha iyi sonuçlar vermiştir (Hong-Guang ve Ji-Zong, 2000; Hola ve Schabowicz, 2005).

Bu çalışmada 117 adet karot numunesine ait beton basınç dayanımı değerlerini tahmin etmek için bu numunelere ait tahribatsız yöntemler olan beton test çekici ve ultrasonik test cihazı ile ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler kullanılarak beton basınç dayanımının tahmin edilmesi için YSA ve regresyon yöntemleri kullanılarak yeni modeller ortaya konulmuş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. Gereç ve Yöntemler

Ülkemizin aktif ve riskli deprem kuşağında olmasından dolayı malzeme kalitesi ve dayanıklılığı son derece önemli hale gelmiştir. Yapının durumu hakkında bilgi edinmenin ilk şartlarından biri beton basınç dayanımının belirlenmesidir. Beton basınç dayanımı, tek eksenel basınç yükü altında betonun ezilmemek için gösterebildiği direnme kabiliyeti olup, genel olarak beton kalitesinin belirlenmesinde ve sınıflandırılmasında kullanılır.

Beton basınç dayanımı, tahribatlı-tahribatsız yöntemler ile belirlenmektedir. Mevcut yapı elemanından alınan karot örneklerinin kırılması ile elde edilen basınç dayanımı güvenilir sonuçlar vermesine karşın, yapı elemanı kesitinin azalmasına ve taşıma kapasitesinin düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca daha yüksek maliyet ve iş gücü gerektirdiğinden, yapıya zarar vermeden daha kısa sürede ve düşük maliyet ile yaklaşık sonuçlar veren tahribatsız yöntemlerin kullanılması son yıllarda önemli hale gelmiştir.

Literatüre bakıldığında bazı araştırmacılar beton basınç dayanımının tahmininde tahribatsız yöntemlerden yapay zeka yöntemleri ve istatistiksel analizler kullanılarak çeşitli modeller ortaya koymuşlardır. Özellikle SONREB yöntemi ile beton basınç dayanımını belirlemek için birçok modeller öne sürülmüştür. Cristofaro vd (2020) ultrases geçiş hızı ve beton test çekicinin birlikte değerlendirilmesi prensibine dayanan bilimselliği test edilmiş mevcut SONREB tahmin modellerinin etkinliğini araştırmış ve yeni sonuçlar ortaya koymuşlardır. Bazı araştırmacıların birbirinden farklı olarak önermiş oldukları bu bağıntılardan ikisi aşağıda verilmiştir.

$$f_{ck} = 0,0286 \cdot R^{1,246} \cdot V^{1,85} \quad (\text{Gasparik 1992}) \quad (1)$$

$$f_{ck} = 4,40 \cdot 10^{-7} \cdot (R^2 \cdot V^3)^{0,5634} \quad (\text{Del Monte vd. 2004}) \quad (2)$$

Buradaki eşitliklerde f_{ck} beton basınç dayanımı (Mpa), V ultrases geçiş hızı (m/s) ve R Schmidt çekici okumalarını ifade etmektedir.

Sarıdemir (2008) doktora tezi çalışmasında, farklı agregalarla üretilmiş betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini YSA ve bulanık mantık yöntemleri kullanılarak tahmin etmeye çalışmıştır. Subaşı ve Beycioğlu (2008) çalışmasında kırma taş kalker agregalı betonların basınç dayanımlarının belirlenmesi amacıyla çoklu doğrusal regresyon tekniği ve YSA yöntemiyle iki farklı tahmin modeli geliştirmiştir. Yaprak vd. (2013) çalışmasında betonun basınç dayanımını tahmin etmek için YSA geliştirmiş, YSA'nın farklı çimento, yaş ve kür koşullarının girdi parametreleri olarak kullanıldığı ve mevcut basınç dayanımı tahmin yöntemlerine iyi bir alternatif sağladığı sonucuna varmışlardır.

Murtazaoğlu vd. (2015) çalışmasında CFRP (karbon lifli polimer malzeme) ile güçlendirilmiş betonarme kolonların basınç dayanımının tahmini için mevcut olan matematiksel modellere alternatif olarak çoklu regresyon modelleri oluşturmuşlardır. Özbakır ve Nasuf (2016) çalışmasında agregaların fiziksel özelliklerinden yola çıkarak beton dayanımlarının YSA ile tahmin etmiştir. Yapay sinir ağı ile yapılan

tahminlerin regresyondan daha iyi olduğunu göstermiştir. Chopra vd. (2016) çalışmasında betonun basınç dayanımını YSA ve genetik programlama ile tahmin etmişlerdir. Bu iki modeli kıyaslayarak ve yapay sinir ağı kullanılarak, yapılan tahminin basınç dayanımını daha iyi tahmin ettiği sonucuna varmışlardır.

Bu çalışmada ise, SONREB metodu kullanılarak, YSA modelleri ve regresyon analizi ile beton basınç dayanımını tahmin etmek için modeller geliştirilecek, yapılan analizler sonucunda en uygun model belirlenmeye çalışılacaktır. Çalışmanın neticesinde elde edilen modellerin kullanılması durumunda da beton basınç dayanımının belirlenmesi çalışmalarında zaman, iş gücü ve maliyet açısından tasarruf edilmesi sağlanmış olacaktır.

3.Bulgular

Çalışmada Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiş olan 2018/001 numaralı proje kapsamında, Kırıkkale’de 5 farklı binadan alınan toplam 117 adet karot numunesi ile birlikte tahribatsız yöntemler olarak bilinen, beton test çekici ve ultrasonik test cihazları ile elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu veriler Yörübulut (2019)’de çizelge 5.1.a-e’de yer almaktadır. Karot numunesine ait beton basınç dayanımı (f_{ck}), karot numunelerinin alındığı yapı elemanlarından alınan 15 adet beton test çekici ortalama değeri (R) ve ultrases geçiş hızı (V) verilerine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Beton karot numunesine ait tanımlayıcı istatistikler

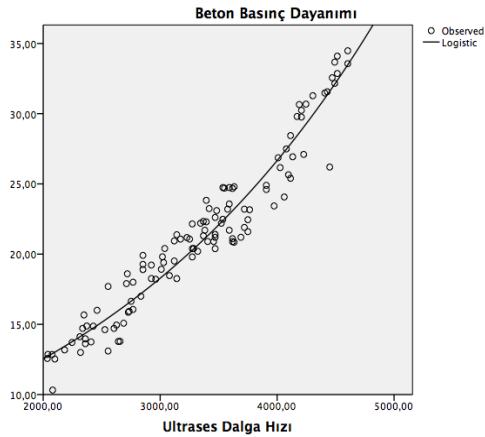
	n	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
R	117	14,00	40,00	22,15	5,53
V (m/s)	117	2035,01	4603,96	3319,41	689,91
f_{ck} (Mpa)	117	10,32	34,48	21,37	5,68

3.1 Regresyon Yöntemi ile Beton Basınç Dayanımının Tahmini

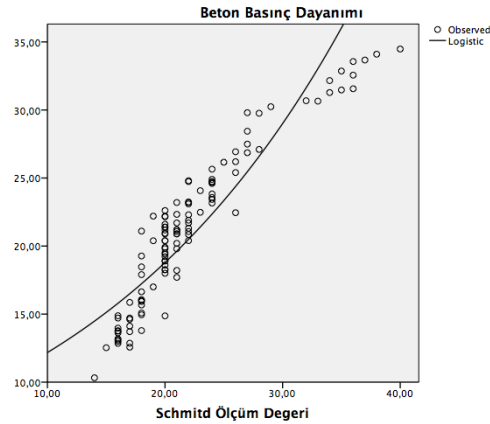
Beton basınç dayanımı değerlerinin ultrases geçiş hızı ve beton test çekici değerinin tek tek ele alındığı basit lineer regresyon modelleri ile birlikte kullanıldığı ve değerlendirildiği SONREB bileşik yöntemi için çoklu lineer regresyon modelleri ortaya konmuştur.

Öncelikle regresyon analizinin yapılması için bağımlı değişken olarak ele alınacak beton basınç dayanımı f_{ck} ’ların normal dağılım gösterip göstermediği Kolmogorov Smirnov-Z normallik testi ile incelenmiştir. Veriler normal dağılım varsayımını sağladığı için regresyon modellerinin oluşturulabileceği belirlenmiştir. ($p = 0,200 > 0,05$).

Kurulacak olan regresyon modellerinde beton basınç dayanımının ultrases geçiş hızı ve beton test çekici değerleri ile arasındaki bağıntıyı belirleyebilmek için Şekil 1. ve Şekil 2.’deki eğri tahminlerinden yararlanılmıştır.



Şekil 1. f_{ck} ve V arasındaki bağıntı



Şekil 2 f_{ck} ve R arasındaki bağıntı

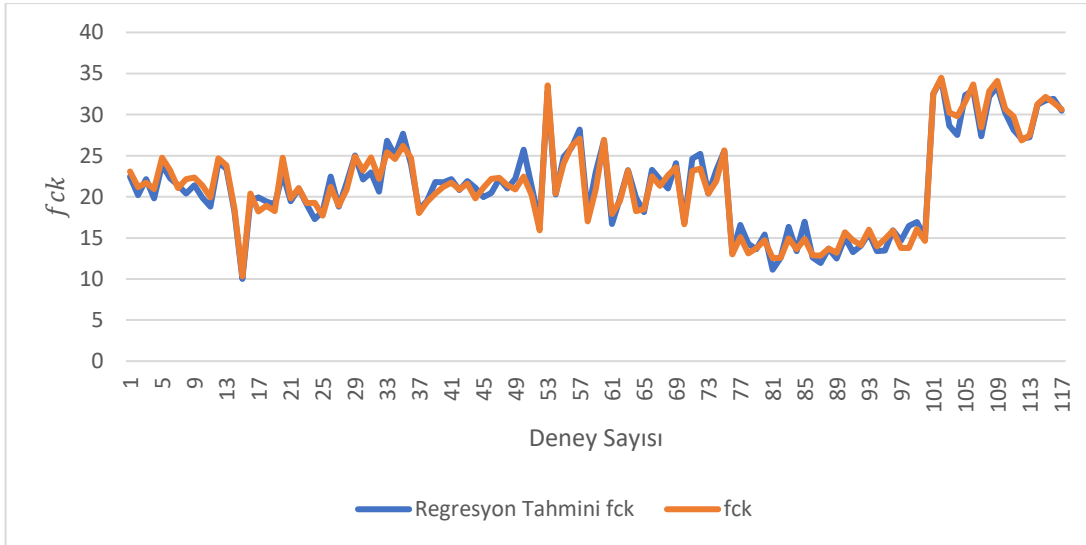
Şekil 1 ve Şekil 2 ile f_{ck} ’nın V ve R arasındaki bağıntının logaritmik olduğu görülmüştür. Değişkenler arasındaki bu logaritmik ilişki göz önüne alınarak oluşturulan modeller Tablo 2’de verilmiştir. Regresyon modellerinin anlamlılığı F -test değeri ve p - anlamlılık düzeyine bakılarak ($p < 0,05$) karar verilir. Beton basınç dayanımı için oluşturulan 4 ayrı model istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,05$).

Tablo 2. Beton Basınç Dayanımı Tahmini için Oluşturulan Regresyon Modelleri

Tahmini Modeller	F - Testi	R ²	Anlamlılık Düzeyi (p)
1 $\widehat{lnf_{ck}} = -0,391 + 1,113lnR$ $\widehat{f_{ck}} = 67,63 \times 10^{-4}R^{1,113}$	F = 738,4	%86,5	0,00
2 $\widehat{lnf_{ck}} = -4,730 + 1,207lnV$ $\widehat{f_{ck}} = 11,94 \times 10^{-4}V^{1,207}$	F = 1505,56	%92,9	0,00
3 $lnf_{ck} = -4,834 + 0,808lnV + 0,432lnR$ $\widehat{f_{ck}} = 79,54 \times 10^{-4}V^{0,808}R^{0,432}$	F = 1303,399	%95,8	0,00
4 $\widehat{f_{ck}} = -115,554 + 11,400lnV + 14,574lnR$	F = 1595,399	%96,6	0,00

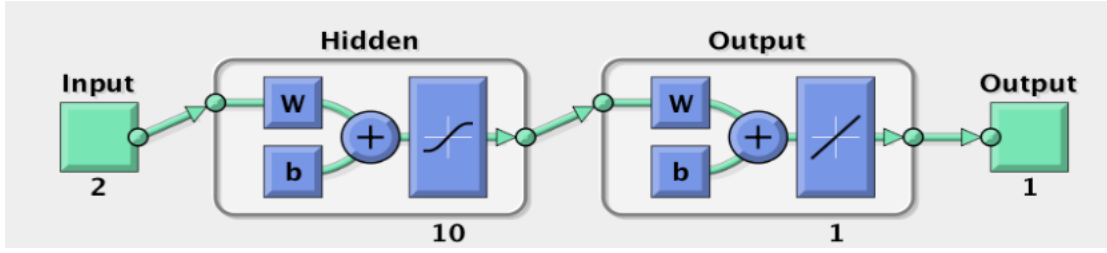
Yapılan basit regresyon analizi ile beton basınç dayanımı tahmininde; beton test çekici değeri ile açıklayıcılık oranı %86,5; ultrases geçiş hızı ile %92,9 ile yüksek derecededir. SONREB bileşik yöntemi için oluşturulan çoklu lineer regresyon analizi ile elde edilen iki yönlü logaritmik modelin açıklayıcılık oranı %95,8 iken, tek yönlü logaritmik modelin açıklayıcılık oranı %96,6 ile en yüksek olarak bulunmuştur.

En yüksek açıklayıcılık oranına sahip olan ve Tablo 2’de verilen 4. tahmini regresyon modeli kullanılarak elde edilen tahmini f_{ck} değeri ile gerçek f_{ck} ’lar arasındaki ilişki Şekil 3’de verilmiştir. Kurulan modelin anlamlı ve R^2 ’nin yüksek olması sonucunda tahmin edilen f_{ck} değeri, gerçek f_{ck} ’ya oldukça yakın olduğu görülmüştür.

**Şekil 3.** Regresyon modeli f_{ck} ile gerçek f_{ck} grafiği

3.2. Yapay Sinir Ağı ile Beton Basınç Dayanımının Tahmini

YSA ile karot numunelerinin beton basınç dayanımlarını tahribatsız yöntemler ile tahmin etmek için bu numunelere ait olan 117 adet ultrases geçiş hızı ve beton test çekici değerlerinin 81’i (verilerin %70’i) eğitim, 18’i (verilerin %15) test ve kalan 18 (verilerin %15) veri ise doğrulama için kullanılmıştır. Çalışma için Şekil 4’te gösterilen ultrases geçiş hızı ve beton test çekici değerleri girdi parametresi beton basınç dayanımı çıktı parametresi olarak iki tabakalı bir model ele alınmıştır.



Şekil 4. Geliştirilen YSA modelinin yapısı

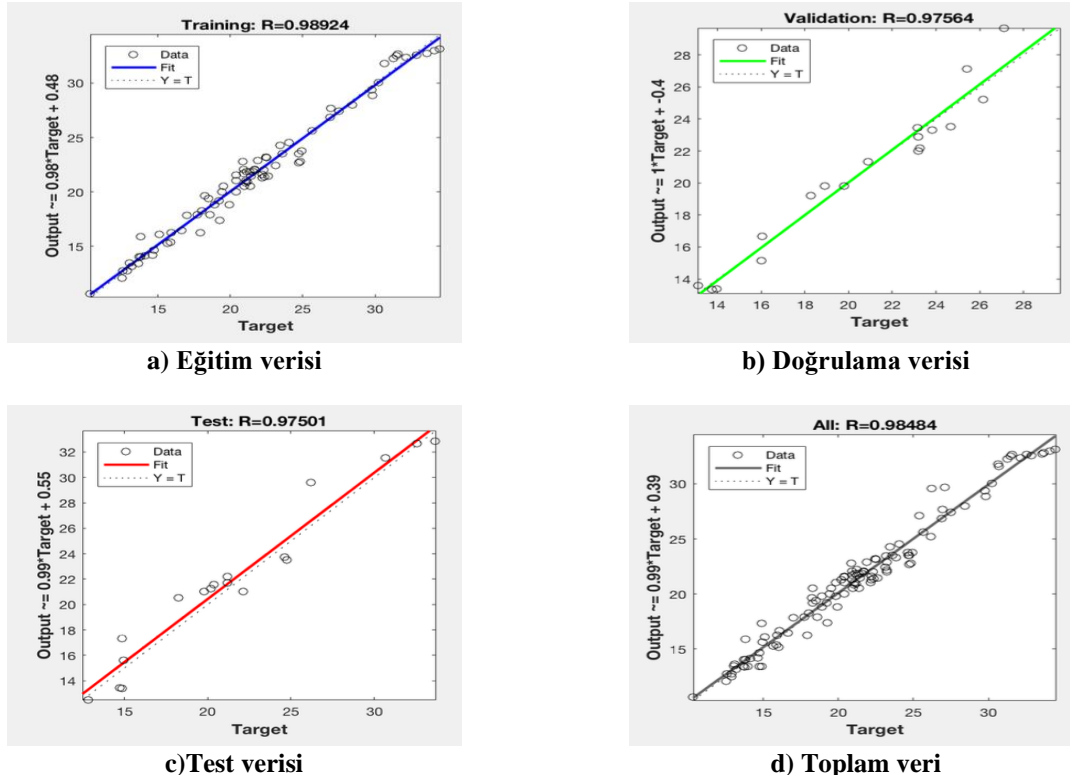
YSA(i,j,n) ağ mimarisi ile gösterilebilen YSA modelinde i girdi tabakasındaki hücre sayısını, j gizli tabakadaki hücre sayısını, n ise çıktı tabakasındaki hücre sayısını ifade etmektedir. Çalışmada, girdi tabakasındaki hücre sayısı $i=2$, gizli tabaka hücre sayısı beton basınç dayanımı tahminini en iyi temsil edebilecek hücre sayıları deneyerek $j=10$ ve çıktı tabaka hücre sayısı ise $n=1$ olarak belirlenmiştir.

Çalışmada iki tabakalı ıleri beslemeli YSA modeli ve aktivasyon fonksiyonu olarak Sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. İterasyon sayısı ise 1000 ile sınırlanmıştır.

Results			
	Samples	MSE	R
Training:	81	7.15835e-1	9.89241e-1
Validation:	18	1.03235e-0	9.75641e-1
Testing:	18	2.07956e-0	9.75012e-1

Şekil 5. YSA modeli için hataların kareleri ortalaması ve ilişkiler

Şekil 5.'e bakıldığında, YSA ile beton basınç dayanımı tahmininde, gerçek f_{ck} 'lar ile tahmin edilen f_{ck} 'lar arasındaki ilişkiyi gösteren R değerleri; eğitim için %99, test için %97 ve doğrulama sınavında %97 ile oldukça yüksek elde edilmiştir.

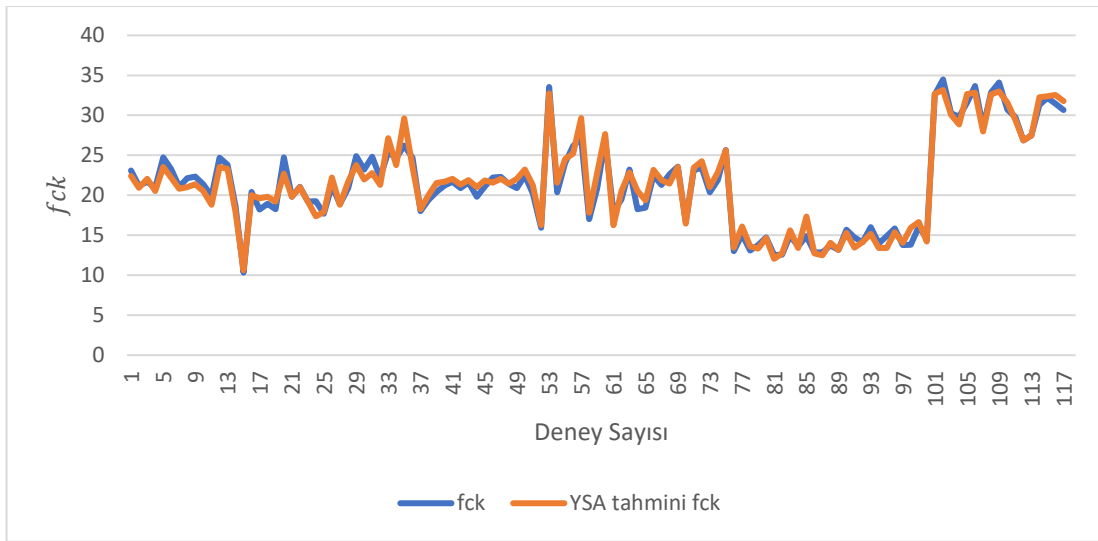
Şekil 6 a-d. YSA modelinde eğitim, test, doğrulama ve tüm veri seti için tahmin edilen f_{ck} değerleri ile gerçek f_{ck} değerleri arasındaki ilişkiler

Şekil 6'da görüldüğü üzere, YSA modelinde eğitim, test, doğrulama ve tüm veri seti için tahmin edilen f_{ck} değerleri ile gerçek f_{ck} değerleri arasındaki ilişkilerin 0.9'un üzerinde çıkması sonuçların istenilen seviyede olduğunu göstermektedir.

Tablo 3. YSA ile beton basınç dayanım tahminleri ve performans değerleri

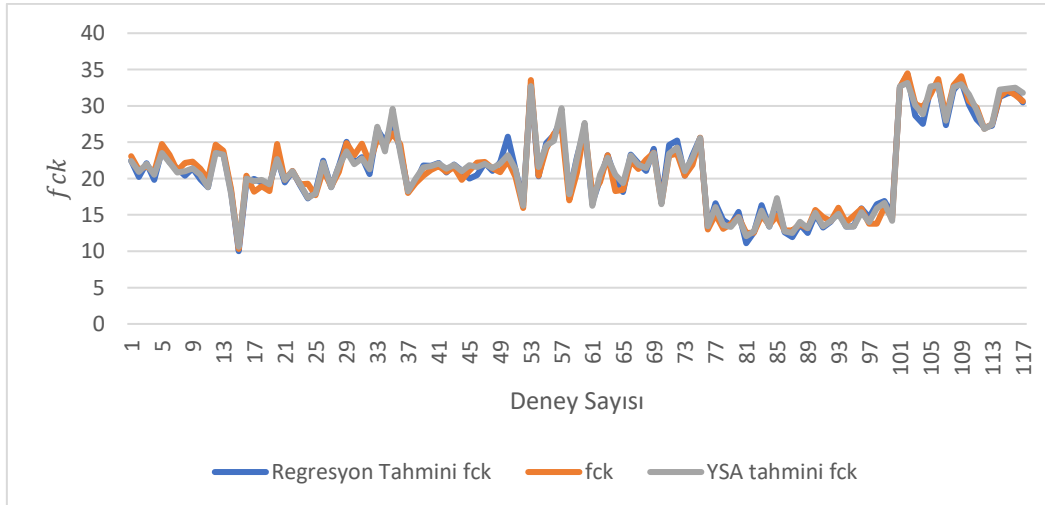
	Model	R	R ²
Eğitim	$y = 0,98x+0,48$	0,989	%97,8
Doğrulama	$y = x+0,4$	0,975	%95
Test	$y = 0,99x+0,55$	0,975	%95
Genel	$y = 0,99x+0,39$	0,984	%96,8

YSA modeli ile tahmin edilen f_{ck} değerleri ve gerçek f_{ck} değerleri arasındaki ilişki Şekil 7'de görülmektedir. Tüm R değerlerinin yüksek olması sonucunda tahmin edilen f_{ck} değeri, gerçek f_{ck} 'ya oldukça yakın çıkmıştır. Bu da Şekil 7.'de gösterilmektedir.



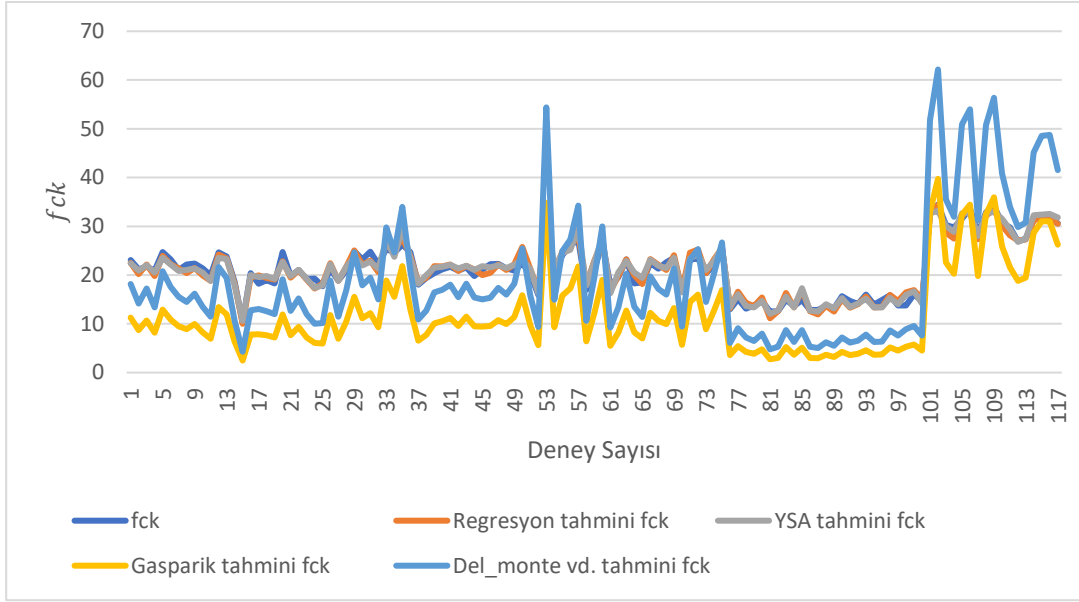
Şekil 7. YSA tahmini f_{ck} ile gerçek f_{ck} grafiği

Tahribatsız yöntemler ile tahmin yapabilmek için YSA ve regresyon analizleri ile elde edilen f_{ck} ve gerçek f_{ck} 'ların grafiği Şekil 8.'de verilmiştir. Bu grafiğe bakıldığında regresyon ve YSA'dan elde edilen tahminlerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Dolayısıyla bu tahmin modelleri birbirlerine alternatif olarak kullanılabilir.



Şekil 8. YSA ve Regresyon modeli ile tahmini f_{ck} ve gerçek f_{ck}

Bu çalışmada elde edilen tahmin sonuçları ile Gasparik (1992) ve Del Monte vd. (2004) tahmin sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 9 ile verilmiştir.



Şekil 9. Tahmin modellerinin karşılaştırılması

Şekil 9. incelendiğinde YSA ve regresyon yöntemleri ile tahmin edilen basınç dayanımlarının Gasparik (1992) ve Del Monte vd. (2004) modelleri ile tahmin edilen basınç dayanıma göre gerçek basınç dayanımlarını daha iyi tahmin edebildiği ortaya konulmuştur.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma ile 117 adet karot alınarak elde edilmiş betonun basınç dayanımları ile alternatif yollar olan YSA ve regresyon yöntemleri kullanılarak tahmin modelleri geliştirilmiştir. Her iki tahmin yöntemi ile kurulan modeller anlamlı ve açıklayıcılık oranları da yüksek olması ile tahmin edilen basınç dayanımı ile karot numuneleri basınç dayanımı sonuçları arasında yüksek oranda uyumluluk olduğu belirlenmiştir.

Oluşturulan modellerde açıklayıcılık oranları göz önüne alındığında ultrases ve Schmidt çerçici okumalarının tek tek ele alındığı modeller yerine her iki parametrenin birlikte değerlendirildiği SONREB metodunun daha güvenilir olacağı ortaya konulmuştur. Ayrıca YSA ve regresyon modellerinde veri setleri artırılarak açıklayıcılık oranı daha yüksek hata payı daha düşük modellerin elde edilebilirliği gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, ülkemizdeki deprem durumu da dikkat alındığında, mevcut yapıların deprem performanslarının daha hızlı ve ekonomik belirlenebilmesi için beton basınç dayanımlarının tahmin edilmesi, tahribatlı yöntemler yerine tahribatsız yöntemlerle alınan veriler kullanılarak, kurulan bu YSA yöntemi ve regresyon analizi modelleri ile tahmin edilebilecektir. Böylece yüksek maliyet, bina kullanıcılarına ve çevreye verdiği rahatsızlık, zaman ve iş gücü kaybı ile yapının/yapı elemanın zayıflaması vb. gibi birçok dezavantajlı durumlar bertaraf edilmiş olacaktır.

Referanslar

Arioglu, E., & Köylüoğlu, O. (1996). Discussion of prediction of concrete strength by destructive and nondestructive methods by Ramyar and Kol. *Cement and Concrete World*, 3, 33-34.

Chopra, P., Kumar Sharma, R. & Kumar, M. (2016). Prediction of compressive strength of concrete using artificial neural network and genetic programming. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1-10.

Cristofaro, M. T., Viti, S., & Tanganelli, M. (2020). New predictive models to evaluate concrete compressive strength using the SonReb method. *Journal of Building Engineering*, 27, 100962.

Del Monte, E., Lavacchini, G., & Vignoli, A. (2004). Modelli per la previsione della resistenza a compressione del calcestruzzo in opera. *Ingegneria Sismica*, 21(3), 30.

- Erdal, M. & Simsek, O. (2006). Bazı hasarsız deney metotlarının vakum uygulanmış betonların basınç dayanımlarının belirlenmesindeki performanslarının incelenmesi. *Gazi Üniv. Müh.-Mim. Fak. Dergisi*, 21(1), 65-73.
- Erdogan, T.Y. (2003). *Beton*. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.
- Gasparik, J. (1992). Prove non distruttive nell'edilizia. Quaderno didattico AIPn.D. Brescia, in Italian.
- Hola, J. & Schabowicz, K. (2005). New technique of nondestructive assessment of concrete strength using artificial intelligence. *NDT&E International* 38(4) 251-259.
- Ni, H. G., & Wang, J. Z. (2000). Prediction of compressive strength of concrete by neural networks. *Cement and Concrete Research*, 30(8), 1245-1250.
- Küçük, Ö.F. (2006). Ultrasonik Yüzey Dalgaları-Schmidt Yöntemi Yardımıyla Beton Dayanımının Bulunması. Yüksek Lisans Tezi. Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- McCullogh, W.S. and Pitts, W.A., 1943, A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, *Bull. Math. Biophysics*, Vol. 5, 115-133 p.
- McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4), 115-133.
- Meynink, P., & Samarin, A. (1979). Assessment of compressive strength of concrete by cylinders, cores, and non destructive tests. In *Quality Control of Concrete Structures*, Rilem Symposium, 1979, Stockholm, Sweden (Vol. 1) 127-134.
- Murtazaoğlu, S., Yetilmezsoy, K. & Doran B. (2015). CFRP ile güçlendirilmiş betonarme kolonların basınç dayanımının çoklu regresyon modelleriyle tahmini. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 31(3), 172-178.
- Özbakır O. & Nasuf S.E. (2016). Agregaların fiziksel özelliklerinden yola çıkılarak beton dayanımlarının yapay sinir ağları ile kestirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Journal of Engineering Science&Technology*, 4(3).
- Sarıdemir, M. (2008). Farklı Agregalarla Üretilmiş Beton Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık ile Tahmin Edilmesi. Doktora Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Subaşı, S., & Beycioğlu, A., (2008). Farklı tahmin yöntemleri kullanılarak kırmataş kalker agregalı betonların basınç dayanımının belirlenmesi. *e-Journal of New World Sciences Academy* 2008, Volume: 3, Number: 4 Article Number: A0099.
- Tanigawa, Y., Baba, K., & Mori, H. (1984). Estimation of concrete strength by combined nondestructive testing method. *Special Publication*, 82, 57-76.
- Topçu, İ. B., & Sarıdemir, M. (2008). Prediction of rubberized mortar properties using artificial neural network and fuzzy logic. *Journal of Materials Processing Technology*, 199(1-3), 108-118.
- Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T., & İnce, H. H. (2010). Hafif beton basınç dayanımının yapay sinir ağlarıyla tahmini. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(1), 19-29.
- Topçu, İ.B. (1993). Volkanik Cürüflü Betonlarda Sonreb Yöntemi Uygulaması. 5. Malzeme Semp., Pamukkale Üniv., Müh. Fak., 7-8-9 Nisan 1993, Denizli, Cilt 2, 770-779.
- TS EN 13791, Basınç dayanımının yapılar ve öndökümlü beton bileşenlerde yerinde tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Nisan 2010.
- Yaprak, H., Karacı, A., & Demir, İ. (2013). Prediction of the effect of varying cure conditions and w/c ratio on the compressive strength of concrete using artificial neural networks. *Neural Computing and Applications*, 22(1), 133-141.
- Yörübulut, S. (2019). Tahribatsız yöntem verileri kullanılarak yapay sinir ağı ve regresyon yöntemi ile betonun basınç dayanımının tahmin edilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- Yüksel, İ. (2003). Bileşik yıkıntısız yöntemle yerinde beton dayanımının tahmini. *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(2), 231-235.



Agrega Tipinin Ağır Betonların Radyasyon Soğurma Özelliklerine Etkisi

Effect of Aggregate Type on Radiation Attenuation Properties of Heavyweight Concretes

Merve Gümüş¹ , Şükrü Demir¹ , Özer Sevim^{1*} 

¹Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 71451, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 21/04/2020

Kabul / Accepted: 20/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Ağır betonların farklı kullanım alanlarına oranla en yaygın kullanım alanının nükleer enerji santralleri olduğu bilinmektedir. Nükleer enerji santralleri enerji çağını yaşayan günümüz dünyasında bir hayli öneme sahip olan aynı zamanda da bazı tehlikeleri beraberinde getiren yapı kompleksidir. Bu tehlikelerden en önemlisi herhangi bir patlama durumu söz konusu olduğunda bu yapıların radyasyon sızdırma ihtimallerinin olmasıdır. Bundan dolayı nükleer enerji santrallerinin inşasında kullanılacak olan betonların dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin titizlikle tasarlanması gerekmektedir. Tüm bunlar çalışma konusunun ne derece önemli ve incelenmeye değer olduğunu göstermektedir. Çalışma kapsamında kalker kırmataş, barit ve siderit olmak üzere 3 farklı tip agregaya kullanılarak üretilen betonların ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve radyasyon soğurma özellikleri incelenmiştir. Yapılan testlerin sonuçları karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. Sonuçta farklı agregaya tiplerinin betonun ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve radyasyon soğurma özelliklerini etkilediği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Kalker Agregası, Barit Agregası, Siderit Agregası, Ağır Beton, Gama Işını, Nötron Soğurma”

Abstract

It is known that the most common usage area of heavyweight concrete compared to different usage areas is nuclear power plants. Nuclear power plants are a complex of structures that are of great importance in today's world, which also lives the energy age, but also brings some dangers. The most important one of these dangers is that these structures have the possibility of radiation leakage in case of any explosion situation. Therefore, the strength and durability properties of concretes that will be used in the construction of nuclear power plants should be designed meticulously. All these shows how important and worthy this study subject is. In the scope of the study, ultrasonic pulse velocity, compressive strength and radiation attenuation properties of concretes produced using 3 different types of aggregate, crushed limestone, barite and siderite were investigated. The results of the tests were interpreted comparatively. As a result, it has been determined that different aggregate types affect the ultrasonic pulse velocity, compressive strength and radiation absorption properties of concrete.

Key Words

“Limestone Aggregate, Barite Aggregate, Siderite Aggregate, Heavyweight Concrete, Gamma Ray, Neutron Attenuation”

1. Giriş

Beton inşaat endüstrisinde en çok kullanılan yapı malzemesi olma özelliğini hala sürdürmektedir. Bu durumun nedenleri; üretiminin kolaylığı, bakım ve onarım maliyetinin az olması, kolay şekil verilebilmesi ve dış etkilere karşı yüksek performans göstermesi olarak sıralanabilir (Mehta, 2006; Neville, 1995). Fakat bazı yapılar için normal betonun yeterli gelmediği durumlarda farklı tasarımlara sahip özel betonlar kullanılmaktadır. Bu betonlardan biri de yüksek yoğunluk ve düşük maliyet özellikleri ile özel yapıların (köprü ayakları, istinat duvarı, baraj vb.) kayma ve devrilmeye karşı emniyetlerinin sağlanmasında kullanılan ağır betondur (Özturan, 2013).

Ağır beton etüv kuru durumdaki birim hacim ağırlığı 2600 kg/m^3 'ten büyük, genellikle etüv kuru tane yoğunluğu 3000 kg/m^3 üzerinde olan doğal ağır agregalar kullanılarak veya yapay ağır agregalar kullanılarak üretilen betondur (TS EN 206, 2002). Dünyada uzun zamandan beri kullanılmakta olan ağır betonlar başlangıçta kayma ve devrilmeye karşı emniyet sağlamak amacıyla kullanılmışlardır (Kılınçarslan vd., 2011). Kullanım alanlarının genişlemesi askeri mühimmat depoları, istinat depoları, sığınak yapıları ve petrol sondaj boru hatları gibi yapıların inşasına olanak vermiştir (Yılmaz, 2009). Günümüzde nükleer enerji santrallerinin gelişmesiyle birlikte temel bilimler tıp bilimleri enerji üretimi ve askeri alanlarda kullanılmaya başlanan radyasyona karşı ağır betonun ne derece önemli olduğu ortaya konmuştur (Kılınçarslan vd., 2007). Betonun birim ağırlığının artmasıyla radyasyona karşı soğurma performansı da artmaktadır. Kullanılan malzemenin yoğunluğu ne kadar büyük ise radyasyon zırlama yeteneği de o kadar yüksektir (Özen vd., 2016).

Radyasyona karşı normal beton zırhlarının geniş olması ve aynı koruyuculuğu birim ağırlıklarının fazla olması sebebiyle daha az zırh kalınlığı ile sağlayan ağır betonların önemini daha da arttırmıştır (Baradan vd., 2015; Demir vd., 2020). Bu sayede ağır betonların zırh kalınlıklarının azaltmak mümkün olmuştur (Mehta ve Monteiro, 2006). Özellikle nükleer santrallerde kullanılan kalın beton tabakaların çevreledikleri reaktörleri desteklemek ve yüksek radyasyon seviyesinden korunmak gibi iki temel işlevi bulunmaktadır (Yousef vd., 2008).

Bu betonlarda kullanılan agregaların seçimi, karışımın belirlenmesi, üretim ve yerleştirme esasları normal betonlara göre daha hassasiyet isteyen uygulamalardır. Ağır betonların radyasyona karşı zırh olarak kullanılmasından dolayı dayanım ve dayanıklılık özellikleri yüksektir. Ayrıca nükleer enerji santrallerinin silolarından kullanılacak olan ağır betonların basınç dayanım özellikleri önemlidir. Bu yapılar daha yüksek gerilme değerlerine maruz kaldığından dolayı yapıların ağır beton ile üretilmesi yapı tasarımında daha iyi sonuçlara ulaştığı belirtilmektedir (Baradan vd., 2015). Radyasyona karşı koruyucu yapısal beton duvarlarda ağır betonun basınç dayanımlarının 20-35 MPa aralığında olması yeterli iken, reaktör betonlarında bu dayanımların 60-75 MPa aralığında olması gerektiği belirtilmektedir (Mehta ve Monteiro, 2006).

Nükleer santrallerde meydana gelen patlamalarla birlikte erimiş metallerin beton ile temas haline geçmesiyle metal ile beton arasındaki etkileşimi belirlemek amacıyla yapılan çalışmada yüksek sıcaklık etkisiyle betonda yüzey atmaları meydana geldiği gözlemlenmiştir (Sevon vd., 2010). Farklı karışımların nötron zırlamasında kullanılabilirliğini inceleyen bir çalışmada hematit-serpantin, ilmenit-limonit, bazalt-manyetit, ilmenit, çelik parçaları, çelik manyetit agregaları her biri ayrı karışımlarda kullanılarak beton karışımlarından numuneler üretilmiştir. Sonuçta yoğunluğu $2,3$ ile $5,11 \text{ gr/cm}^3$ betonlar üretilmiş ve içerisindeki kristalleşmiş suyun $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar dayanabilmesi nedeniyle nötron zırlama için en uygun agreganın serpatin agregası olduğu vurgulanmıştır (Baster, 1997). Ağır betonun üretimi esnasındaki segregasyonunu inceleyen çalışmada; farklı oranlarda akışkanlaştırıcı ve barit agregası kullanarak iki tip ağır beton üretilmişlerdir. Akışkanlaştırıcı katkı maddesinin ve çökme değerlerinin artmasının yoğunluk ve basınç dayanımı özelliklerini olumsuz yönde etkilemediği tespit edilmiştir (Revelta vd., 2009). Farklı agregalar tipleri kullanılarak üretilen ağır betonların radyasyon zırlama özelliklerinin araştırıldığı çalışmada; referans olarak kabul edilen normal agregalı beton ile barit agregalı betonlar karşılaştırıldığında barit oranının artmasının radyasyon zayıflatılmasında daha iyi sonuçlar verdiği bunun nedeninin de beton yoğunluğunun artmasının olduğu tespit edilmiştir (Akyıldırım, 2011). Radyasyon zırlama amacıyla barit agregalı ağır betonun kullanılabilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada; s/ç oranının düşük olduğu serilerde C40 sınıfı beton üretilmediği tespit edilmiştir. Bu durumun nedeni olarak s/ç oranının düşüğe barit agregasının beton içerisinde karıştırılmasının güç olduğu gösterilmiştir. Buna rağmen barit agregası ile C20 ve C30 sınıfı beton üretilmiştir. Ayrıca barit oranının artması lineer soğurma katsayısını olumlu yönde etkilemiştir (Kılınçarslan vd., 2007).

Yapılan detaylı literatür araştırması sonucunda farklı agregalar tipleri kullanılarak üretilen ağır betonların dayanım ve radyasyon zırlama özellikleri açısından en iyi performansa sahip ağır betonun tespit edilmesi konusunda eksiklikler görülmüştür. Çalışma kapsamında kalker kırmataş agregası ile üretilen normal beton, barit agregası ile üretilen ağır beton ve siderit agregası ile üretilen ağır betonun özellikleri karşılaştırılmış, dayanım ve radyasyon zırlama özellikleri açısından en iyi performansa sahip ağır beton sunulmuştur.

2. Deneysel Program

2.1. Materyal

2.1.1. Çimento

Çalışma kapsamında CEM I 42,5 R tipi portland çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Portland çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Birleşimi (%)	CEM I 42,5 R
CaO	65,18
SiO ₂	13,98
Al ₂ O ₃	3,89
Fe ₂ O ₃	8,42
MgO	1,29
Na ₂ O	0,36
K ₂ O	0,98
SO ₃	3,93
Fiziksel Özellikler	
Kızdırma Kaybı	1,97
Özgül Yüzey Alanı (Blaine) (cm ² /g)	3355
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,11

2.1.2. Agregalar

Çalışmada 3 farklı agregalar kullanılmıştır. Ankara-Kutludüğün mevkiinden kalker kırmataş agregası, Adana-Osmaniye mevkiinden barit agregası, Malatya-Hekimhan mevkiinden siderit agregası temin edilmiştir. Çalışma kapsamında maksimum agregası dane çapı 11,2 mm'dir. Çalışmada agregalar 0-4 mm ve 4-11,2 mm olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Siderit agregasının 0-4 mm olan sınıfının su emmesi çok yüksek olduğundan siderit agregası ile üretilecek ağır betonda 0-4 mm siderit agregası yerine 0-4 mm barit agregası kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ince ve iri agregaların tane yoğunluğu EN 1097-6 (2013) standardına uygun olarak belirlenmiştir ve Tablo 2'de agregalara ait yoğunluklar verilmiştir.

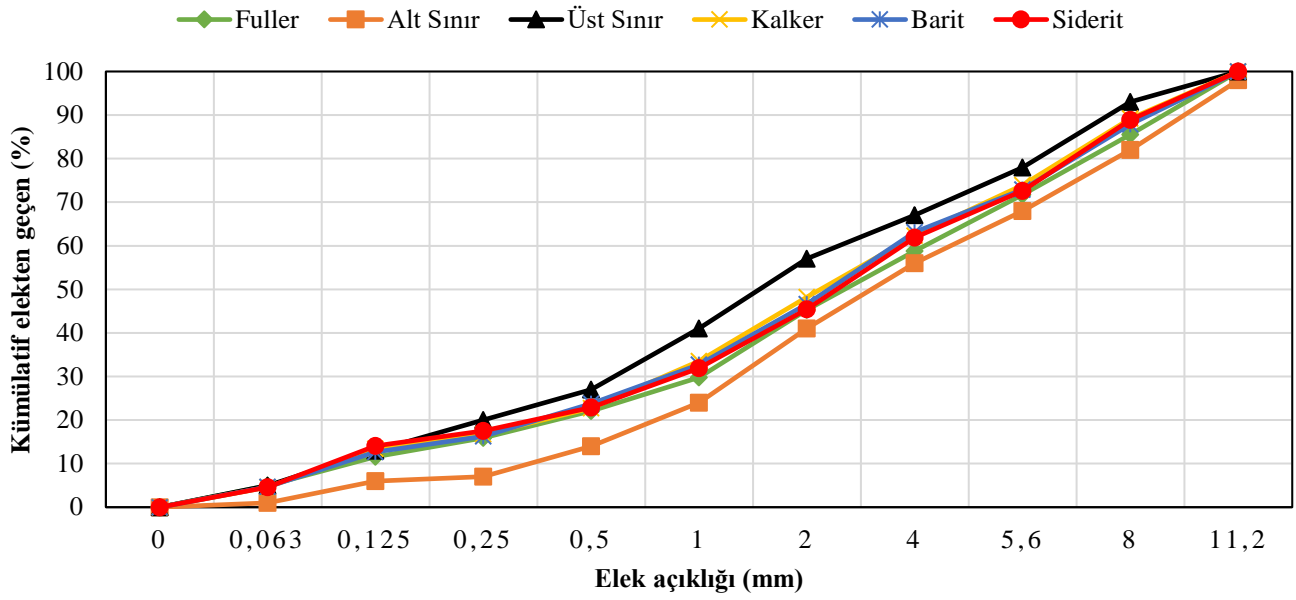
Tablo 2. Karışımlarda kullanılan agregalara ait özellikler

Agrega türü	Tane yoğunluğu (g/cm ³)	Su emme (%)
Kalker (0-4 mm)	2,65	1,9
Kalker (4-11,2 mm)	2,73	0,17
Barit (0-4 mm)	4,10	0,95
Barit (4-11,2 mm)	4,07	1,12
Siderit (4-11,2 mm)	3,65	0,61

2.2. Metot

2.2.1. Elek analizleri

Çalışmada kullanılan agregalara ait elek analizi grafikleri Şekil 1'de verilmektedir. Beton karışımında kullanılacak olan agregaların tane dağılımı; EN 933-1 (2012)'de belirtilen esaslara uygun olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Karışımlarda kullanılan agregalara ait elek analizi grafiği

Şekil 1 incelendiğinde agrega boyutlarının alt sınır ve üst sınır eğri ileri arasında kaldığı ve fuller eğrisi ile karışımın granülometri eğrisinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu durum da betonun agrega gradasyonunun iyi özellikte olduğunu kanıtlamaktadır. Karışımlarda kullanılan agregaların granülometri eğrilerinin sınır değerleri arasında ve fuller eğrisi ile yakın değerlerde olmasının beton dayanımına olumlu yönde etki etmiştir.

2.2.2. Beton karışımlarının hazırlanması

Agrega granülometrileri oluşturulduktan sonra çimento, agregalar, akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak 3 seri beton oluşturulmuştur. Tablo 3'te beton karışımlarına ait veriler bulunmaktadır. Beton karışımları EN 802 (2016) standardına uygun olarak belirlenmiştir. Tablo 3'te görüldüğü üzere siderit agregalı ağır betonda 0-4 mm barit agrega kullanılmıştır. Çalışma kapsamında siderit agreganın 0-4 mm olan kısmının su emmesinin yüksek olmasından dolayı 0-4 mm barit agrega kullanıldığı belirtilmiştir.

Tablo 3. Beton karışımlarına ait veriler (kg)

Malzeme	Normal	Barit	Siderit
Çimento	450	450	450
Su	180	180	180
Kalker kırmataş	971	-	-
Kalker kırmataş	787	-	-
Barit (0-4 mm)	-	1522	1424
Barit (4-11.2 mm)	-	1219	-
Siderit (0-4 mm)	-	-	-
Siderit (4-11.2 mm)	-	-	1126
Süper akışkanlaştırıcı	5.85	5.85	5.85
Toplam	2393.85	3376.85	3185.85
s/ç	0.40	0.40	0.40

2.2.3. Betonun kalıplara yerleştirilmesi ve kür uygulanması

Beton karışımları üretim tamamlandıktan sonra kalıplara yerleştirilmiştir. Numuneler kalıpta 24 saat bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılmış, 20 ± 2 °C'deki içi kirece doymuş su ile dolu olan kür havuzuna bırakılmıştır. Beton numuneler 28 gün kür havuzunda kalmıştır. Beton karışımlarının kalıplara yerleştirilmesi ve bakımı TS 1247 (2018) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.4. Sertleşmiş beton deneyleri ve gözlemler

28 gün kür edilen numunelere ultrases hız testi, basınç dayanımı testi ve radyasyon geçirgenliği testleri uygulanmıştır. Küp numuneler üzerinde ultrases hız testi ve basınç dayanımı testi yapılmıştır ve numunelerin birim hacim ağırlıkları tespit edilmiştir. Plaka numuneler üzerinde ise radyasyon geçirgenliği testi yapılmıştır.

2.2.5. Basınç dayanımı deneyi

Çalışmada $10 \times 10 \times 10$ cm boyutlu üretilen küp numuneler üzerinde basınç dayanımı testi yapılmıştır. Numunelerin 28 günlük basınç dayanımları ölçülmüştür. Deney EN 12390-3 (2010) standardına uygun olarak yapılmıştır.

2.2.6. Radyasyon deneyleri

Çalışma kapsamında üretilen numunelerin radyasyon geçirgenliklerinin tespiti için yapılan deneyler, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi tarafından yapılmıştır. Numuneler üzerinde nötron demetiyle ışınlama sonrası yavaş nötron soğurma katsayı tayini ve gama lineer azaltma katsayısı tayini deneyleri uygulanıp numunelerin radyasyon geçirgenlikleri tespit edilmiştir. Radyasyon geçirgenlik deneyleri için $30 \times 30 \times 3,5$ cm boyutlarında üretilen numuneler daha hassas ölçüm yapılabilmesi için küçültülmüştür. Nötron soğurma katsayısının tayini için $4 \times 3,5 \times 3$ cm boyutlu numuneler kullanılırken gama lineer azaltma katsayısının tayini için $4 \times 3 \times 1,5$ cm boyutlu numuneler kullanılmıştır. Gama ışını lineer azaltma katsayısı tayininde kobalt ve sezyum kaynakları ile (Cs-137) 661,62 keV, (Co-60) 1173,23 keV ve (Co-60) 1332,51 keV enerjileri kullanılarak deney yapılmıştır. Nötron deneylerinde ise 1293,56 keV, 1097,33 keV, 416,86 keV enerjileri kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Gama ışını lineer azaltma katsayılarının ölçümünde, HPGe dedektörlü gama spektrometresi kullanılmıştır. Gama ışını lineer azaltma katsayıları belirlenirken numune kalınlığı olarak tüm numunelerde 1,5 cm kullanılmıştır. Lineer azaltma katsayıları Denklem 1 ile hesaplanmıştır.

$$\mu = \frac{\ln \frac{I(x)}{I_0}}{x} \quad (1)$$

Burada; x: Hedef numune kalınlığı (cm), I_0 : Numune yokken alınan sayım, IX: X kalınlığında alınan sayım, μ : Deneysel olarak saptanan lineer azaltma katsayısıdır.

Çalışmada gama ışınları için radyasyon şiddetini yarıya düşüren zırlama kalınlıkları olan yarı değer kalınlık değerleri Denklem 2 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$X_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (2)$$

Burada; $X_{1/2}$: Yarı değer kalınlığı (cm), μ : Deneysel olarak saptanan lineer azaltma katsayısıdır.

Nötron soğurma katsayısının tayini için yapılan ölçümlerde nötron aktivasyon monitörü olarak $^{115}\text{In}(\text{n},\gamma) ^{116\text{m}}\text{In}$ nükleer reaksiyonu kullanılmıştır. Nötron soğurma katsayısı belirlenirken numune kalınlığı olarak tüm numunelerde 3 cm kullanılmıştır. Denklem 3 kullanılarak termal nötron soğurma katsayısı ölçülmüştür.

$$I(x) = I_0 e^{-\Sigma T x} \quad (3)$$

Burada; x: Hedef numune kalınlığı (cm), I_0 : Orijinal nötron demetinden elde edilen gama ışını pik alanları, IX: Hedef numuneyi geçen nötron demetinden elde edilen gama ışını pik alanları, ΣT : Termal nötron soğurma katsayısıdır (makroskopik tesir kesiti).

3. Deneysel Bulgular

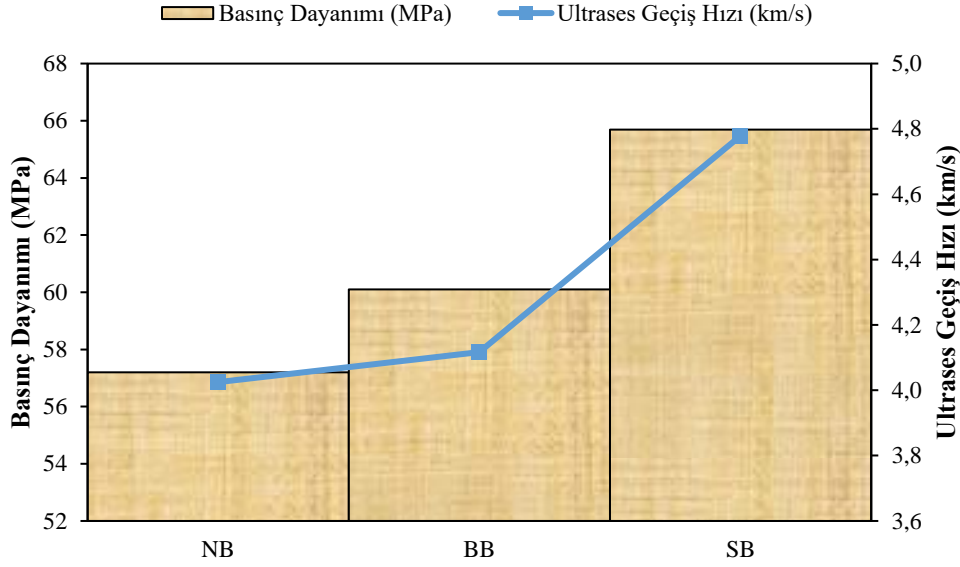
3.1. Ultrases Geçiş Hızı Test Sonuçları

Ultrases geçiş hızı testi uygulanırken ortama gönderilen ultrasonik dalganın bir ortamda yayılma hızı, ortamın yoğunluğuna ve ortamın boşluk yapısına bağlıdır. Çalışma kapsamında ultrases geçiş hızı testi numunelerin boşluk yapısı hakkında fikir sahibi olmak için uygulanmıştır. Çalışmada kalker agregası kullanılarak üretilen normal beton NB, barit agregası kullanılarak üretilen ağır beton BB, siderit agregası kullanılarak üretilen ağır beton SB olarak isimlendirilmiştir. Şekil 2’de farklı agregası tipleri kullanılarak üretilen ağır betonların ultrases geçiş hızı değerleri verilmiştir.

Şekil 2’ye göre 3 tip betonun ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde; en yüksek ultrases geçiş hızı değerini siderit agregalı ağır betonun aldığı tespit edilmiştir. En düşük değer ise kalker kırmataş agregalı normal betonda tespit edilmiştir. Burada siderit agregalı ağır betonun boşluk yapısının diğer betonlara oranla daha az olduğu ve ağır betonların ağır agregası ile üretilmesinden dolayı daha yoğun bir yapıya sahip olması sebebiyle normal betondan daha yüksek ultrases geçiş hızı değerlerine sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca ultrases geçiş hızı değerlerinin birbirine yakın olması betonların basınç dayanımlarının da birbirine yakın olması ile ilişkilendirilebilir.

3.2. Basınç Dayanımı

Yapılan çalışmada 3 tip betona ait basınç dayanım değerleri tespit edilmiş ve sonuçlar Şekil 2’de verilmiştir.

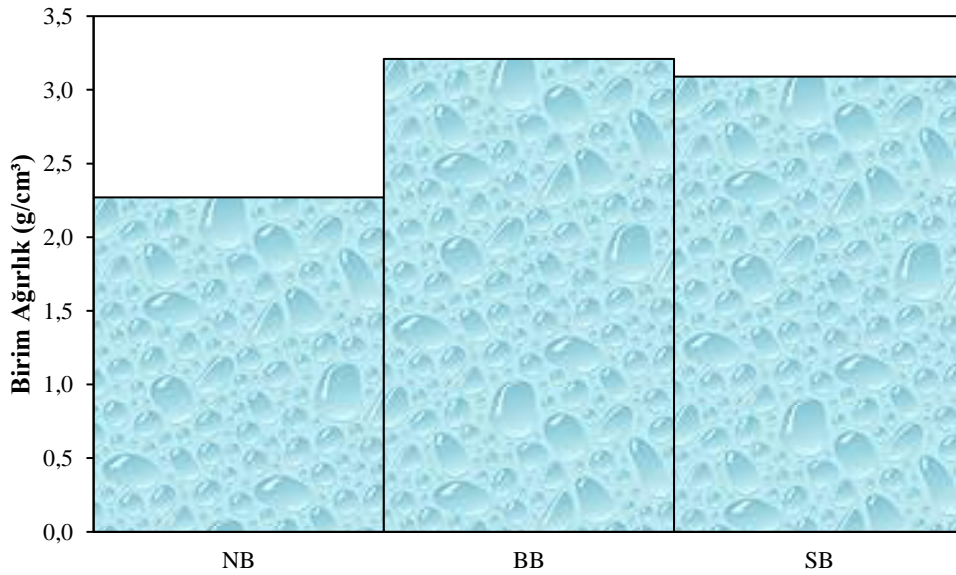


Şekil 2. Numunelerin basınç dayanımları ve ultrases geçiş hızları

Şekil 2’ye göre üretilen farklı tip betonların basınç dayanımları incelendiğinde; siderit agregalı ağır betonun 65,69 MPa, barit agregalı ağır betonun 60,1 MPa ve kalker kırmataş agregalı normal betonun 57,2 MPa basınç dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir. En yüksek basınç dayanımının siderit agregalı betonda tespit edilmesi ve barit agregalı beton ile kalker kırmataş agregalı betonun basınç dayanımlarının birbirine yakın olması ultrasese geçiş hızı değerlerini doğrular niteliktedir. Buradan boşluk yapısının ve agregat tipinin betonun basınç dayanım özellikleri üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Ayrıca siderit agregat ile üretilen ağır betonun basınç dayanım özellikleri açısından ağır betonda kullanılabilir olduğu da belirtilmelidir.

3.3. Birim Hacim Ağırlık

Çalışma kapsamında numunelere ait birim hacim ağırlık değerleri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 3’te verilmiştir.



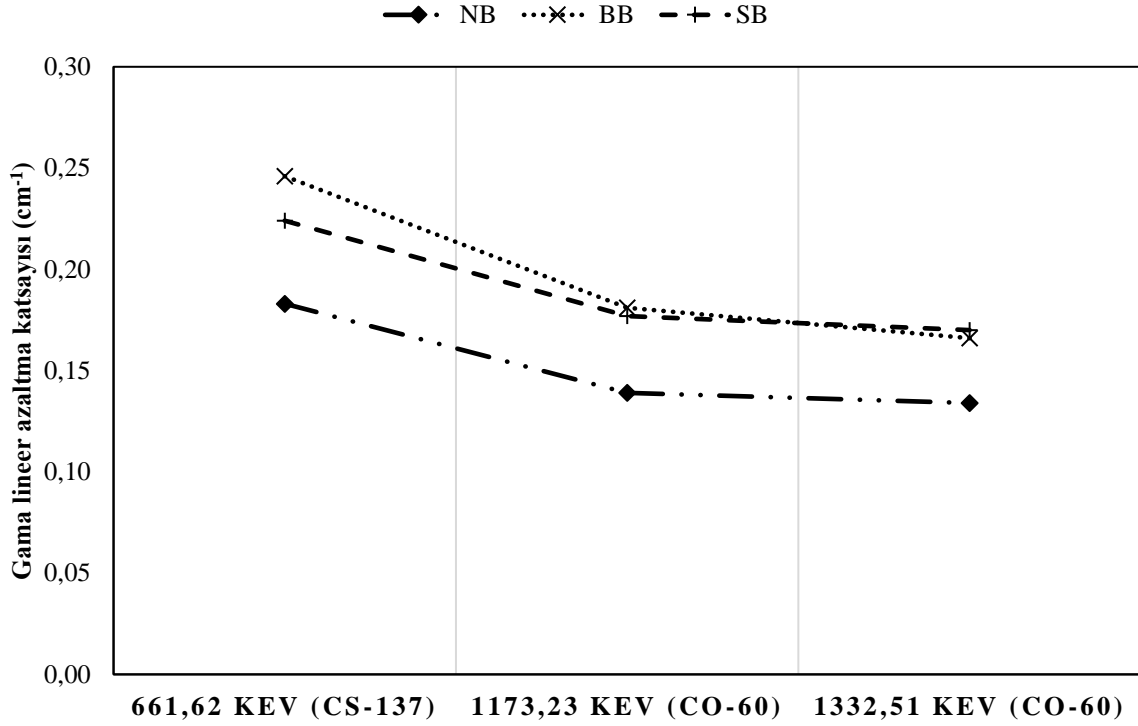
Şekil 3. Beton numunelere ait birim hacim ağırlık değerleri

Şekil 3 incelendiğinde ağır agrega ile üretilen ağır betonların kalker kırmataş ile üretilen normal betonun birim hacim ağırlığından daha fazla olduğu görülmektedir. En yüksek birim hacim ağırlık değeri $3,21 \text{ g/cm}^3$ olarak barit agregalı ağır betonda tespit edilmiştir. Siderit agregalı ağır betonun birim hacim ağırlığı $3,09 \text{ g/cm}^3$ kalker kırmataş agregalı normal betonun birim hacim ağırlığı ise $2,27 \text{ g/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir. Sonuçlar ağır agrega kullanılarak üretilen betonların birim hacim ağırlıklarının fazla olması gerektiğini doğrular niteliktedir.

3.4. Radyasyon Geçirgenliklerinin Tayini

3.4.1. Gama ışını lineer azaltma katsayısının tayini

Gama ışını lineer azaltma katsayısının tayini $4 \times 3 \times 1,5 \text{ cm}$ boyutlu numuneler üzerinde yapılmıştır. Çalışması kapsamında gama ışını lineer azaltma katsayısı tayini için (Cs-137) 661,62 keV, (Co-60) 1173,23 keV ve (Co-60) 1332,51 keV enerjileri kullanılmıştır. Gama ışını lineer azaltma katsayısının tayinine ait veriler Şekil 4'te verilmiştir.



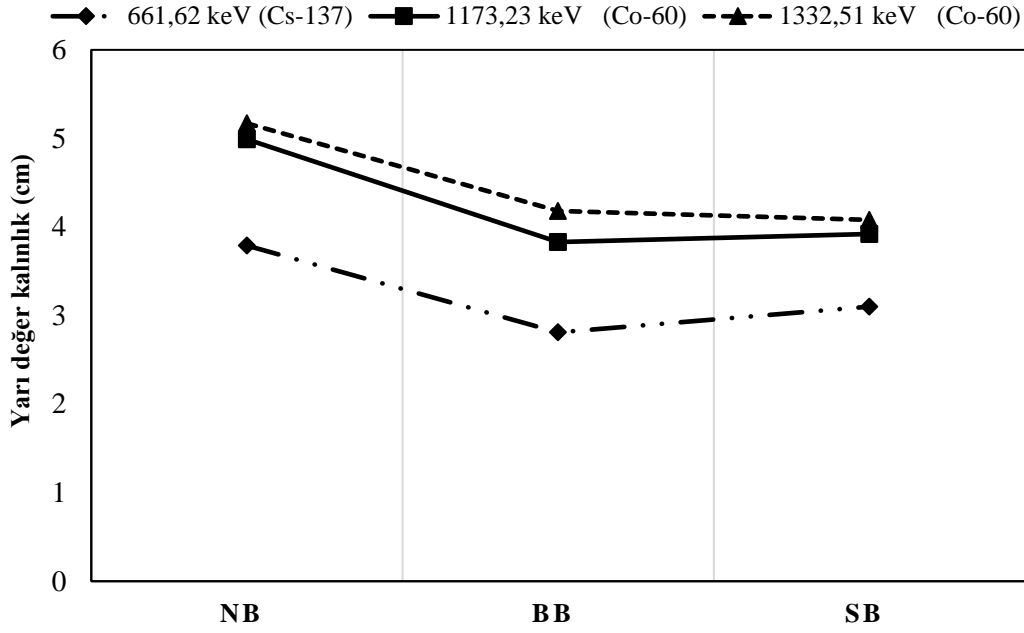
Şekil 4. Beton numunelere ait gama ışını lineer azaltma katsayıları

Şekil 4 incelendiğinde μ (lineer azaltma katsayısı) değerleri görülmektedir. Lineer zayıflatma katsayısı malzemelerin ışın zayıflatma kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Bu değer yüksek olması ise malzemenin radyasyonu tutabildiğini ve malzemede radyasyon geçirimsizliğinin düşük olduğunu bundan dolayı da malzemenin radyasyona karşı iyi bir kalkan olabileceğini göstermektedir.

661,62 keV enerji kullanılarak yapılan gama ışını soğurma testi sonuçları incelendiğinde 3 seri arasında en iyi değer barit agrega kullanılarak üretilen beton numunede olduğu tespit edilmiştir. Radyasyon geçirgenliği açısından en az radyasyon geçiren numunenin $0,246 \text{ cm}^{-1}$ ile barit agrega ile üretilen ağır beton olduğu gözlemlenmiştir. Siderit agrega ile üretilen ağır betonun lineer azaltma katsayısının $0,224 \text{ cm}^{-1}$ normal betonun ise $0,183 \text{ cm}^{-1}$ olduğu tespit edilmiştir. 1173,23 keV enerji kullanılarak yapılan gama ışını soğurma testi sonucu incelendiğinde 3 seri arasında en iyi değerlerin barit agrega kullanılarak üretilen beton numunelerde olduğu tespit edilmiştir. Radyasyon geçirgenliği açısından en az radyasyon geçiren numunenin $0,181 \text{ cm}^{-1}$ ile barit agrega ile üretilen ağır beton olduğu gözlemlenmiştir. Siderit agrega ile üretilen ağır betonun lineer azaltma katsayısının $0,177 \text{ cm}^{-1}$ ve normal betonun ise $0,139 \text{ cm}^{-1}$ olduğu tespit edilmiştir. 1332,51 keV kullanılarak uygulanan gama ışını soğurma testi sonuçları incelendiğinde uygulanan test sonuçları arasında en iyi sonucu siderit agrega kullanılarak üretilen ağır betonun verdiği tespit edilmiştir. Ağır agrega kullanılarak üretilen beton numunelerinin normal agrega kullanılarak üretilen beton numunelere göre radyasyon geçirgenliği açısından çok daha iyi zırh görevi yaptığı, ağır agregaların radyasyon soğurmada daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Böylece radyasyona maruz kalabilecek bir yapıda radyasyon soğurma özellikleri açısından ağır agrega ile üretilen betonların daha iyi sonuçlar vereceği söylenebilir.

3.4.2. Yarı değer kalınlıkları

Çalışma kapsamında gama ışını için yarı değer kalınlıkları gama ışınlarının enerjilerine bağlı olarak Şekil 5'te numunelere ait yarı değer kalınlıkları verilmiştir.

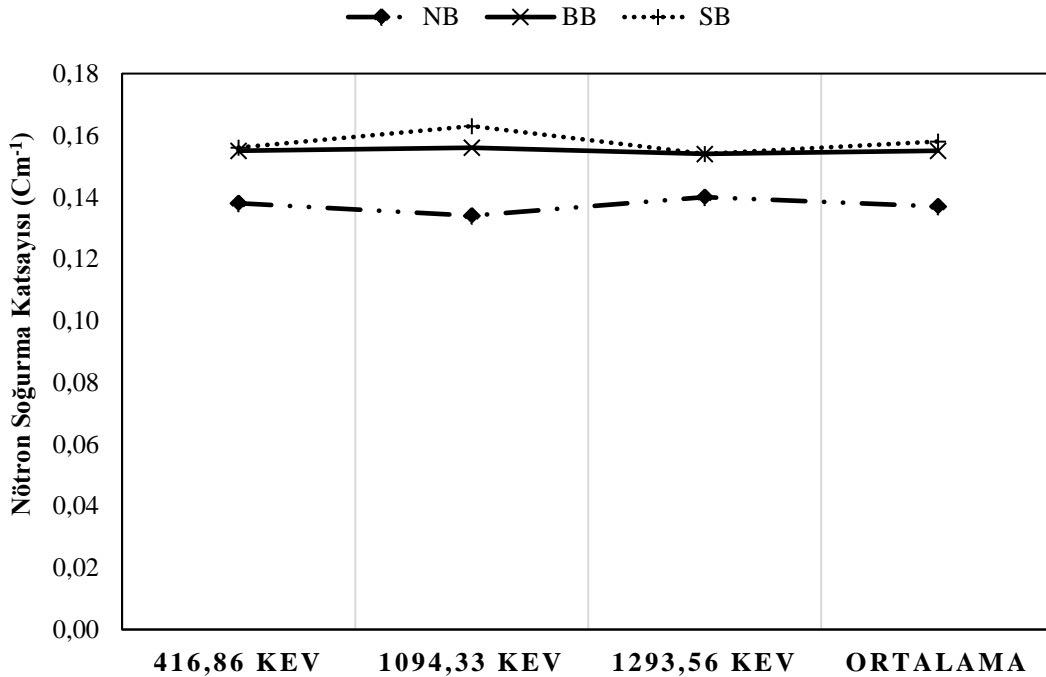


Şekil 5. Beton numunelere ait yarı değer kalınlıkları

Şekil 5'te radyasyon şiddetini yarıya düşüren zırhlama kalınlıkları görülmektedir. Görülen bu değerler radyasyon şiddetini yarıya düşüren malzeme kalınlıklarını ifade etmektedir. Gelen radyasyon şiddetini yarıya düşüren malzeme kalınlıkları açısından en iyi sonuçları barit agregası ile üretilen numunelerin verdiği görülmektedir. En düşük kalınlıklar barit agregalı ağır betonda elde edilmiştir. Kullanılan agregatlar arasında yoğunluğu en yüksek agreganın barit olması gama ışını soğurmasının yoğunlukla alakalı olduğunu göstermektedir. Yoğunluğu yüksek olduğundan en iyi soğurmayı barit agregalı ağır betonun yaptığı söylenebilir. Radyasyon zırhlama özelliği açısından ağır betonların normal betonlara göre daha iyi zırhlama yaptığı görülmektedir. Ağır betonların daha az kalınlık ile radyasyon şiddetini yarıya düşürebildiği görülmektedir.

3.4.3. Nötron soğurma katsayısının tayini

Nötron soğurma katsayısının tayini için $4 \times 3.5 \times 3$ cm boyutlu numuneler, nötron deneylerinde ise 1293,56 keV, 1097,33 keV, 416,86 keV enerjileri kullanılarak okumalar gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da nötron soğurma katsayısına ait bulgular verilmiştir.



Şekil 6. Beton numunelere ait nötron soğurma katsayısı

Şekil 6 incelendiğinde üretilen numuneler arasında nötron radyasyonuna karşı koyabilen en iyi numunenin $0,158 \text{ cm}^{-1}$ soğurma katsayısı ile siderit agregalı numuneler olduğu görülmektedir. Seriler içerisinde en iyi değeri siderit agregalı ağır betonun aldığı görülmüştür. Çünkü soğurma katsayısı yüksek olan malzemelerin radyasyonu soğurma güçleri de yüksektir. Barit agregalı ağır beton örneklerinin de radyasyon geçirgenliğine karşı koyma açısından iyi bir zırh malzemesi olduğu gözlenmektedir. Buradan ağır agregalı ile üretilen numunelerin radyasyona karşı zırhlama açısından olumlu özellik gösterdiği görülmektedir. Radyasyona maruz bırakılan numunelerde radyasyona engel olabilecek beton numunelerinin siderit ve barit agregalı ile üretilen beton numuneler olduğu görülmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışma nükleer enerji santrallerinde kullanılan ağır betonlar için bir öngörü oluşturabilmek için yapılmıştır. Özellikle çalışmada kullanılan kalker, barit ve siderit agregalı ile üretilen betonlar çalışmanın özgün değerini ortaya koymaktadır. Çalışma kapsamında kalker, barit, siderit agregalı kullanılarak 3 farklı beton serisi üretilmiştir. Üretilen bu numunelerin ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve radyasyon soğurma özellikleri incelenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalara göre;

- Ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde en iyi ultrases geçiş hızı değerinin siderit agregalı ile üretilen ağır betonda tespit edilmiştir. Barit agregalı ağır beton ve kalker kırmataş agregalı normal betonların ultrases geçiş hızı değerlerinin yakın olduğu gözlemlenmiştir. Ultrases geçiş hızı değerlerinin basınç dayanımı ile paralellik gösterdiği de gözlemlenmiştir. Ayrıca ağır betonlarda daha yüksek ultrases geçiş hızı değerlerinin tespit edilmesi ağır agregadan dolayı bu betonların daha az boşluklu yapıya sahip olmalarıyla ilişkilendirilmiştir.
- Benzer karışım oranlarında üretilen betonlarda en iyi basınç dayanımına $65,65 \text{ MPa}$ ile siderit agregalı ağır betonun sahip olduğu tespit edilmiştir. Barit agregalı ağır betonun basınç dayanımının $60,1 \text{ MPa}$ olduğu ve kalker agregalı normal betonun basınç dayanımının $57,2 \text{ MPa}$ olduğu tespit edilmiştir.
- Birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde barit agregalı ile üretilen ağır betonun en yüksek birim hacim ağırlık değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ağır agregalı ile üretilen ağır betonların birim hacim ağırlık değerlerinin ağır agregalı ile üretilmelerinden dolayı kalker kırmataş ile üretilen normal betonun birim hacim ağırlık değerlerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
- Gama ışını lineer azaltma katsayısının değerleri incelendiğinde; radyasyon soğurmaya karşı zırh özelliği en iyi olan betonun barit agregalı ile üretilen beton olduğu gözlemlenmiştir. Gama lineer azaltma katsayısı ile beton yoğunluğu arasında bir orantı olduğu vurgulanmıştır.
- Nötron soğurma katsayılarına bakıldığında nötron geçirgenlik testine en iyi karşı koyabilen numunenin siderit agregalı ile üretilmiş olan numune olduğu görülmektedir. Nötron soğurma özelliği için de ağır betonların kullanılmasının daha iyi sonuçlar vermesi açısından önemi vurgulanmıştır.

Sonuç olarak ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve radyasyon soğurma özellikleri açısından ağır agregalı kullanımının betondaki özellikler açısından iyi sonuçlar vereceği belirtilmelidir. Ayrıca ağır agregalı ile üretilen betonların nükleer enerji santrallerinde kullanılmasının normal betondan elde edilecek sonuçlardan daha iyi sonuçlar vereceği söylenebilir. Gerek basınç dayanımı gerekse radyasyon soğurma özellikleri olsun ağır beton kullanımının özellikle radyasyona maruz kalabilme ihtimali olan yapılarda kullanılması gerektiği vurgulanmalıdır. Özellikle ağır betonların normal betonlara göre daha az kalınlık ile radyasyon soğurabilmesi hem maliyet açısından hem de ince eleman üretilmesi gereken yerlerde radyasyonun soğurulabilmesi açısından önemli bir özellik olarak değerlendirilmelidir. İleriki çalışmalarda farklı ağır agregalı kullanılarak üretilen betonların radyasyon soğurma özellikleri, mekanik özellikleri ve kalıcılık özellikleri incelenebilir.

Referanslar

- Akyıldırım, H. (2011). Ağır Betonların Nükleer Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Baradan, B., Yazıcı, H., & Aydın, S. (2015). Beton (2. Basım), Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.
- Baster, I.I. (1997). Calculation of Radiation Attenuation Coefficients for Shielding Concretes. *Annals of nuclear Energy*, 24(17):1389-1401.
- Demir, İ., Gümüş, M. & Gökçe, H.S. (2020). Gamma ray and neutron shielding characteristics of polypropylene fiber-reinforced heavyweight concrete exposed to high temperatures, *Construction and Building Materials*, 257:119596.

- Kılınçarslan, Ş., Başyigit, C., & Akkurt, İ. (2007). Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlama Amacıyla Kullanımının Araştırılması, Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Dergisi, 22(2):393-399.
- Kılınçarslan, Ş., Sancar, S., & Uzun, İ. (2011). Barit Agregalı Ağır Betonların Betonarmede Kullanılabilirliği. 6th International Advanced Technololies Symposium. (IATS11). Elazığ, Turkey.
- Mehta, P.K. (2006). Concrete. Structure, properties and materials, McGraw-Hill Education, New York.
- Mehta, P.K., & Monteiro, P.J.M. (2006). Concrete: Microstructure, Properties, and Materials (3. Edition), McGraw-Hill, USA.
- Neville, A.M. (1995). Properties of concrete (Vol. 4), Longman, London.
- Özen, S., Şengül, C., Erenoğlu, T., Çolak, Ü., Reyhancan, İ.A., & Taşdemir, M.A. (2016). Properties of heavyweight concrete for structural and radiation shielding purposes, Arabian Journal for Science and Engineering, 41(4):1573–1584.
- Özturan, T. (2013). Özel betonlar, THBB Hazır Beton Dergisi, 118:70–83.
- Revuelta, D., Barona, A., & Navarro, D. (2009). Measurement of Properties and of The Resistance to Segregation in Heavyweight, Self-Compacting Barite Concrete. Materiales de Construcción, 59(295):31-44.
- Sevon, T., Kinnunen, T., Virta J., Holmström, S., Kekki, T., & Lindholm, I. (2010). Hecla Experiments on Interaction Between Metallic Melt And Hematite-Containing Concrete, Nuclear Engineering and Design, 240:3586–3593.
- TS 1247, (2018). Beton Yapım Döküm ve Bakım Kuralları (Normal Hava Şartlarında), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 206, Beton-Özellik. Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6, (2013). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3, (2010). Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney numunelerinde Basınç Dayanımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-1, (2012). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN-802. (2016). Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Yılmaz, B. (2009). Muş Yöresinden Temin Edilen Baritin Kullanımı ile Elde Edilen Ağır Betonun Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Turkey.
- Yousef, S., AlNassar, M., Naom, B., Alhajali, S., & Kharita, M.H. (2008). Heat effect on the shielding and strength properties of some local concretes, Progress in Nuclear Energy, 50(1):22–26.



Farklı Çimento ile Üretilen Granül Atık Kauçuk Agregaların İkame Edilmiş Kendiliğinden Yerleşen Beton Harcının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of Mechanical Properties of Granulated Waste Rubber Aggregates Substituted Self-Compacting Concrete Mortar Produced with Different Cement

Melek Akgül¹, Orhan Doğan², Serkan Etlî³

¹ Munzur Üniversitesi Tunceli MYO, 62000, Tunceli, TÜRKİYE

² Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

³ Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 62000, Tunceli, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 09/05/2020

Kabul / Accepted: 21/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Atık araç lastiklerinin depolanma ya da imha süreci zor, maliyetli ve zaman isteyen bir süreçtir. İmha edilme sürecinde kimyasal yapısı nedeni ile çevreye kirletici gazların salınımına sebep olan atık lastikler, gelişen ve ilerleyen teknoloji ile alternatif ürün bağlamında önemli bir geri dönüşüm malzemesi olarak değerlendirilmektedir. Atık araç lastikleri parçalanma aşaması sonrası belirli boyutlarda granül haline getirilmekte ve farklı birçok alanda üretime tekrar kazandırılmaktadır. Bu deneysel çalışma ile, Öğütülmüş Araç Lastiği Agregası 5 farklı oranda ince agregaya ikame edilerek, iki farklı çimento türü ile hazırlanan toplamda 12 farklı Kendiliğinden Yerleşen Harç (KYH) numunelerinin taze ve sertleşmiş özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. EFNARC'e uygun hazırlanan taze KYH numunelerin işlenebilirlik özelliklerinin değerlendirilmesi mini yayılma ve mini V-hunisi deneyleriyle yapılmıştır. Sertleşmiş KYH'nin mekanik özelliklerini belirlemek için 40x40x160mm boyutlarında prizmatik numunelerin 3., 7. ve 28. günlerinde basınç ve eğilme testleri yapılmış ve 28. gün 50x50x50mm kübik numuneler üzerinde kılcal su emme testi yapılmıştır. CEM-I 42.5R ve CEM-IV 32.5R çimento ile üretilen KYH karışımlarında Öğütülmüş Araç Lastiği Agregasının optimum kullanılabilirlik oranı grafikler ve tablolar aracılığı ile yorumlanmıştır. Bu çalışma ile KYH karışımında Öğütülmüş Araç Lastiği Agregası oranı arttığında, kılcal su emme miktarının arttığı, basınç ve eğilme kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler

"Kendiliğinden yerleşen harç, öğütülmüş atık lastik agregası, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, su emme kapasitesi"

Abstract

Storage or disposal of waste vehicle tires is difficult, costly and time consuming. Waste tires, which cause the release of pollutant gases to the environment due to its chemical structure in the process of destruction, are considered as an important recycling material in the context of developing and advancing technology and alternative products. Waste vehicle tires are granulated in certain sizes after the disintegration phase and reused in many different fields. With this experimental study, it is aimed to examine the fresh and hardened properties of 12 different self-compacting mortar (SCM) samples of Granulated Vehicle Tire Aggregates, which are substituted with 5 different fine aggregates and prepared with two different cement types. The evaluation of the workability properties of fresh SCM samples prepared in accordance with EFNARC was done with mini slump-flow and mini V-funnel experiments. In order to determine the mechanical properties of the hardened SCM, compressive and flexural strength tests were performed on the 3rd, 7th and 28th days of prismatic samples in 40x40x160mm dimensions, and capillary water absorption test is carried out on cubic samples in 50x50x50 mm dimensions on the 28th day. The optimum usability rate of Granulated Vehicle Tire Aggregates in SCM mixtures produced separately with CEM-I 42.5R and CEM-IV 32.5R cement is interpreted through graphs and tables. With this study, it was observed that when the rate of Granulated Vehicle Tire Aggregates was increased in the SCM mixture, the capillary water absorption amount increased, while the compressive and flexural strength decreased.

Key Words

"Self-compacting mortar, ground waste rubber aggregates, compressive strength, flexural strength, water absorption capacity"

1. Giriş

Dünya genelinde nüfus ve sanayileşme ile atık malzeme artışı, yaşam standardını iyileştirme çalışmaları ve geri dönüşümde yeni boyutları da beraberinde getirmiştir (Chang, 2008; Cao, 2007). Geri dönüştürülebilir malzemelerin büyük bir kısmı dünya genelinde atık malzeme olarak değerlendirilmektedir. Bu malzemelerin geri dönüşüm ile üretime tekrar dahil olması; doğal çevrenin korunması, doğaya verilen zararın en aza indirilmesi ülkelerin ekonomisi açısından oldukça önemlidir (Tosun ve Fırat, 2016).

Türkiye nüfusunun 2050 yılına kadar 93,47 milyona ulaşması beklenmektedir (TUİK, 2020). Gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülkede, ekonomik alım gücü ve refah düzeyine bağlı olarak artan araç kullanımı ve büyük bir pazara sahip olan araç lastiği üretimi; her geçen yıl atık araç lastiği ile büyük oranlarda çevre kirliliğine sebep olmaktadır (Lo Presti, 2013).

Araç lastikleri, fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulmalara karşı dirençli olduğu için çevre dostu malzemeler sınıfına girmektedir (De vd., 2006). Çevresel açıdan çok dayanıklı yüksek molekül yapıya sahip polimer bağlarla bağlanmış kauçuklardan üretilen lastikler, kullanım ömürlerini tamamladıktan sonra geridönüşüm sürecine dahil edilmediği takdirde doğada uzun yıllar varlığını sürdürmektedir (Gönüllü, 2004; Demirel ve Öz, 2017).

Birçok ülkede atık araç lastiklerinin depolama, imha ve geri kazanım süreci önemli çevresel konuların başında gelmektedir (Lin vd., 2008; Zhang vd., 2009). İlerleyen süreç ve gelişen teknoloji ile başta Amerika Birleşik Devletleri (ABD) olmak üzere, ülkeler atık lastiklere dair yönetim politikalarını oluşturmaktadır (Ordu vd., 2017). Ayrıca Avrupa Birliği (AB), kullanılmış atık lastiklerin büyük bir çoğunluğunu yasal koşullar çerçevesinde imha ettiklerini ve depoladıklarını bildirmiştir (Lo Presti, 2013). Türkiye’de ekonomik ve çevresel faktörlerden dolayı zorunlu hale gelen atık lastiğin geri kazanımı, 25 Kasım 2006 Tarihli (Sayı:26357) Resmî Gazetede yayımlanan ve yürürlüğe giren “Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği” ile yaygınlaşmıştır (Tüzüm, 2020; ÖTLKY, 2006).

Atık araç lastiği farklı geri dönüşüm prosedürlerinden sonra birçok farklı alanda tekrar kullanılmaktadır. Geri kazanım aşamasında mekanik olarak ya da azotla parçalanarak farklı boyutlara getirilerek fiber, çelik ve diğer farklı kirleticilerden ayrılmaktadır. Geri dönüşüm sürecinde farklı boyut ve geometrik özellik kazanan atık araç lastikleri, herhangi bir işlem gerektirmeden bütün olarak, tek kademeli ve iki kademeli parçalama ile iri parçalar ve kırıntı halinde, tek kademeli ve iki kademeli öğütme ile granül ve toz halinde değerlendirilebilmektedir (Tüzüm, 2020).

Kendiliğinden yerleşen beton veya harçların en önemli sakıncalarından biri maliyettir ve son yıllarda beton teknolojisinde karışım oranlarının hesaplanmasında KYH’ların reolojik özellikleri dikkate alınmaktadır (Açıkgeç, 2013). Beton elemanlarda çok sayıda endüstriyel atık özellikle agregaya ikameli olarak beton veya harç bileşeni olarak kullanılmaktadır. Beton ya da harç karışımına atık lastiklerin farklı oran, geometri ve uygulama yöntemleri ile eklenmesi karışımın birçok özelliği üzerinde belirgin etkilere sahiptir (Güneyisi ve Gesoğlu, 2007). İnşaat mühendisliğinde bazı uygulamaların da beton elemanların birim ağırlığının düşük, tokluk ile çarpma dirençlerinin ise yüksek olması istenmektedir. Ayrıca betonun kırılma esnasındaki plastik deformasyon özelliğini arttırmak amacıyla enerji yutma kabiliyeti yüksek olan lastik alternatif ürün olarak değerlendirilmektedir (Turgut ve Yeşilata, 2009). Atık araç lastiği; farklı şekil ve boyutta, öğütülmüş ya da parçalanmış, iri ya da ince agregaya ikameli olarak, farklı katkı maddeleri ya da çimento türlerinin değişen oranlarda beton ya da harç karışımında kullanımı vb. parametreye bağlı olarak birçok araştırmada; süneklik, çökme değeri, işlenebilirlik, hava boşluğu miktarı, büzülme (rötre) çatlakları, mekanik özellikleri, kimyasal stabilite, SEM (Search Electron Microscope) verileri, sünme değeri, küre ve orta dereceli ısı koşullardaki etkisi, termomekanik özelliklere olan etkisi vb. incelenmiştir. Beton içerisinde atık otomobil lastiği parçalarının kullanılması, betonun birim ağırlığında azalma, kırılma tokluğu ve süneklik değerlerinde artma ve ses yalıtımı özelliklerinde iyileşmeler sağlamaktadır. Basınç yükü altındaki beton elemanların önemli özellikleri, gerilme-deformasyon eğrileriyle değerlendirilmektedir. Lastik parçaları içeren beton numunelerin gerilme-deformasyon eğrilerinin kullanımıyla elde edilen tokluk değerinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Yapılan bu çalışmaların bir çoğu atık lastik malzemenin geri dönüşümündeki gerekliliği vurgular niteliktedir (Ordu vd., 2017; Etili vd., 2018; Topçu vd., 2014; Yıldırım vd., 2018; Topçu ve Demir, 2007; Argunhan, 2017; Koçak ve Alpaslan, 2011; Emiroğlu vd., 2013; Li vd., 2004; Thomas ve Gupta, 2016; Richardson vd., 2016; Siad vd., 2019; Khatib ve Bayomy, 1999; Topçu, 1995; Fedroff, 1996; Raghavan vd., 1998; Chou vd., 2010; Thakur vd., 2020).

Bu deneysel çalışmada; farklı 2 çimento türü ile 1’er kontrol karışımı ve Öğütülmüş Araç Lastiği Agregası (ÖALA)’nın ince agregaya farklı 5 oranda ikamesini esas alan toplam 12 KYH karışımı üretilmiştir. Çalışma kapsamında üretilen prizmatik numunelere 3. 7.ve 28. deney günlerinde basınç ve eğilmede çekme dayanımı deneyi ve 28. deney gününde kübik numunelere kılcal su emme deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları tablo ve grafikler ile yorumlanmış ÖALA’nın farklı 2 çimento türü için gösterdiği değişim kaydedilmiştir. KYH karışımında ÖALA’nın kullanılabilirliği ve optimum değerleri, verileri ışığında üretilen grafik ve tablolara bağlı olarak yorumlanmıştır.

2. Materyal ve Method

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında kendiliğinden yerleşen harç (KYH) karışımları hazırlanırken; TS EN 197-1’e uygun CEM-I 42.5R ve CEM-IV 32.5 R çimento ve doğal kum ince agrega (0-4 mm) kullanılmıştır. Karışım tasarımında kullanılan çimentoların kimyasal bileşimi Tablo 1’de yer almaktadır. Kullanılan ince agreganın elek analizi testi TS EN 933-1’e uygun olarak gerçekleştirilmiş ve Tablo 2’de verilmiştir. Çalışmada karışım suyu olarak TS EN 1008’e uygun Tunceli ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır. KYH özelliklerinin sağlanması için TS EN 934-2+A1’e uygun ürün kodu Sika Visco Crete Hi-Tech-28 olan polikarboksilat bazlı yüksek oranda su azaltıcı (HRWR) kullanılmıştır. İnce agrega ile ikameli olarak kullanılacak olan ÖALA çapı 1-4 mm arasındadır ve Şekil 1’de görülmektedir (TS EN 197-1, 2012; TS EN 1008, 2003; TS EN 933-1, 2012; TS EN 934-2+A1, 2013).

Tablo 1. Çimento Özellikleri

	CEM-I 42.5R	CEM-IV 32.5R	
Kimyasal bileşim (%)	SiO₂	20.00	28.37
	Al₂O₃	4.92	8.87
	Fe₂O₃	3.76	6.05
	CaO	62.74	43.48
	Na₂O	0.26	1.81
	SO₃	2.65	2.82
	K₂O	0.73	1.01
	MgO	1.84	3.21
Kızdırma kaybı	2.54	3.78	
Blaine (cm²/g)	3361	4456	
Özgül ağırlık (gr/cm³)	3.15	2.96	

Tablo 2. İnce Agregada Elek Analizi

Elek göz açıklığı (mm)	Elekten Geçen (%)
4	99.20
2	74.10
1	45.80
0.5	17.40
0.25	4.20
0.125	1.00
0.063	0.10
Toplama Kabı	0.00

**Şekil 1.** Ögütülmüş Araç Lastiği Agregası (ÖALA)

2.2. Method

Çalışmada üretilen KYH karışımları 2 farklı çimento türü ile hazırlanmıştır. CEM-I 42.5R çimento türü için Tip 1, CEM-IV 32.5R çimento türü için ise Tip 2 kısaltması kullanılmıştır. Tip 1 çimento türü ile Set1 KYH karışımları, Tip 2 çimento ile Set 2 KYH karışımları hazırlanmıştır. Karışım tasarımında kullanılan ÖALA, agregaya % 5, % 10, % 15, % 20, % 25 oranlarında ikameli olarak 5 karışım ve 1 kontrol karışımı olmak üzere her çimento türü için 6, toplam da 12 farklı KYH karışımı ASTM C109/C109M-13'e uygun ekipman ile Tablo 3'te belirtilen taze KYH dizayn miktarı esas alınarak hazırlanmıştır. Tüm setlerin 1 m³ karışım tasarımı Tablo 3'de verilmiştir. 12 farklı KYH karışımının her biri için 50x50x50 mm boyutlarında 3 adet kübik ve 40x40x160 mm boyutlarında 9 adet prizmatik numune hazırlanmıştır. Kütlece su/çimento oranı tüm setlerde sabit tutulmak şartı ile 0.45 alınmıştır (ASTM C109/C109M-13, 2016).

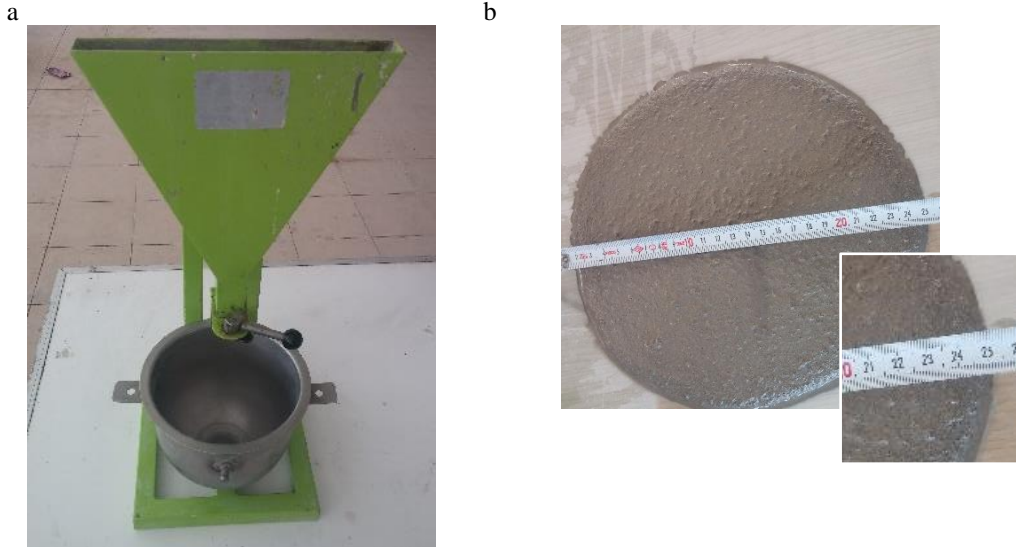
Tablo 3'te görüldüğü gibi; 12 farklı KYH karışımı; içerdikleri ÖALA oranına göre isimlendirilmiştir. Örneğin; KYH 42.5R0 (Set 1) ve KYH32.5R0 (Set 2) kontrol karışımıdır ve ÖALA kullanılmadan hazırlanmıştır. KYH 42.5R5 (Set 1) ve KYH32.5R5 (Set 2) %5 ÖALA ile üretilmiş harç karışımlarını temsil etmektedir. Karışım tasarımı her takip eden sette %5 ÖALA artacak şekilde en sonuncusu %25 ÖALA olarak tasarlanmıştır. Ayrıca ayrışma (segregasyon) değerlendirmesi, ÖALA oranı arttırarak denenmiş, daha önce yapılan deneysel çalışma verileri ve EFNARC kriterleri dikkate alınarak ince agregaya ikame oranı en fazla %25 olarak seçilmiştir (EFNARC, 2002).

Tablo 3. KYH Karışım Tasarımı

1 m ³ Dizayn (kg/m ³)						
	Çimento	Su	HRWR Visco crete	Doğal Kum	ÖALA	
Set 1	KYH42.5R0	560	252	10.25	1457.5	0
	KYH42.5R5	560	252	10.75	1383.5	30.2
	KYH42.5R10	560	252	11.75	1308.4	60.4
	KYH42.5R15	560	252	12.45	1234.2	90.5
	KYH42.5R20	560	252	12.90	1160.7	120.5
	KYH42.5R25	560	252	14.00	1086.1	150.4
Set 2	KYH32.5R0	560	252	9	1430.7	0
	KYH32.5R5	560	252	10.05	1356.7	29.7
	KYH32.5R10	560	252	10.40	1284.5	59.3
	KYH32.5R15	560	252	10.85	1212.2	88.9
	KYH32.5R20	560	252	11.25	1140.1	118.4
	KYH32.5R25	560	252	11.70	1068.0	147.9

Hazırlanan 12 farklı KYH karışımı için mini çökme-yayılma konisi ve mini V hunisi işlenebilirlik deneyleri EFNARC standardına uygun olarak yapılmış elde edilen veriler EFNARC'ın sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır (EFNARC, 2002).

EFNARC'a göre hedeflenmiş yayılma çapı değerleri (240-260 mm) sağlayan harçlarda, mini V-hunisi deney düzeneğinde (Şekil 2.a) sıkıştırılmadan doldurulduktan sonra harcın huniden akma süresi ölçülmüştür. Tablo 4'te verildiği gibi kontrol harcı da dahil olmak üzere tüm karışım harçlarında V-hunisi akma süresi 7-11 sn aralığında olup, EFNARC'a göre uygun değer aralığındadır. Mini çökme konisi KYH ile sıkıştırma yapılmadan doldurulduktan sonra koni kaldırılmış ve serbest yayılma çapı birbirine dik iki doğrultuda ölçülerek aritmetik ortalaması Tablo 4'te verilmiştir. Şekil 2.b'de yapılan bir ölçüme esas olan yayılmış harcın görüntüsü yer almaktadır. (EFNARC, 2002).



Şekil 2. (a)V Hunisi Deney Düzeneği; (b) Mini Çökme-Yayılma Konisi Yayılma Deneyi

Tablo 4. V hunisi ve Mini Çökme-Yayıma Konisi Deneyi Verileri

	V-hunisi Akma Süresi (sn.)	Mini çökme-yayıma konisi Yayılma Çapı (mm)
Set 1	KYH42.5R0	7.2
	KYH42.5R5	7.9
	KYH42.5R10	8.1
	KYH42.5R15	8.8
	KYH42.5R20	9.2
	KYH42.5R25	9.8
Set 1	KYH32.5R0	8.01
	KYH32.5R5	8.79
	KYH32.5R10	9.02
	KYH32.5R15	9.79
	KYH32.5R20	10.24
	KYH32.5R25	10.91

12 farklı KYH karışımı için 3 adet küp ve 9 adet prizma numune TS EN 12390-1'e uygun olarak hazırlanmıştır. KYH karışımları 50x50x50 mm boyutlu küp ve 40x40x160 mm boyutlu prizma kalıplara sıkıştırmadan ve vibrasyon yapılmaksızın dökülmüştür. Numuneler 24±2 saat sonunda kalıptan alınmış ve 3., 7., 28. deney günlerine kadar kür havuzunda 20 ± 2 °C sıcaklık ile %100 nispi nem ortamında kür edilmiştir (TS EN 12390-1, 2013).

KYH karışımının 3., 7. ve 28. deney gününde 3'er adet prizmatik numune üzerinde eğilme çekme dayanımı deneyleri ve akabinde 2 parçaya ayrılan numune eşleri üzerinde basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Eğilme çekme dayanımı deneyi 40x40x160 mm boyutundaki prizma numuneler üzerinde 3., 7. ve 28. deney günlerinde ASTM C348-14 standardına uygun olarak mesnet açıklığı 100 mm olacak şekilde numune ortasından tek noktadan (2640 ± 110 N/dk) yükleme hızında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Deney aletinin verdiği eğilme çekme dayanımı sonuç değerleri MPa olarak kayıt edilmiştir (ASTM C348-14, 2018).

Eğilme çekme mukavemeti uygulandıktan sonra, numunenin pozisyonunu bozmadan numune üzerinde ASTM C349'a göre 3., 7. ve 28. deney günlerinde basınç dayanımı testi yapılmıştır (Şekil 4). Deney aletinin verdiği basınç dayanımı sonuç değerleri MPa olarak kayıt edilmiştir (ASTM C349, 2018). Eğilme çekme dayanımı testinden sonra kauçuk parçacık dağılımı Şekil 5'de görüldüğü gibidir. Eğilme çekme dayanımı ve basınç dayanımı deney sonuçları her KYH karışım grubuna ait numunelerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Eğilme çekme ve basınç dayanımı deneyleri sonrası 12 KYH karışımı numunelerine ait genel görünüm Şekil 6'da verilmiştir.



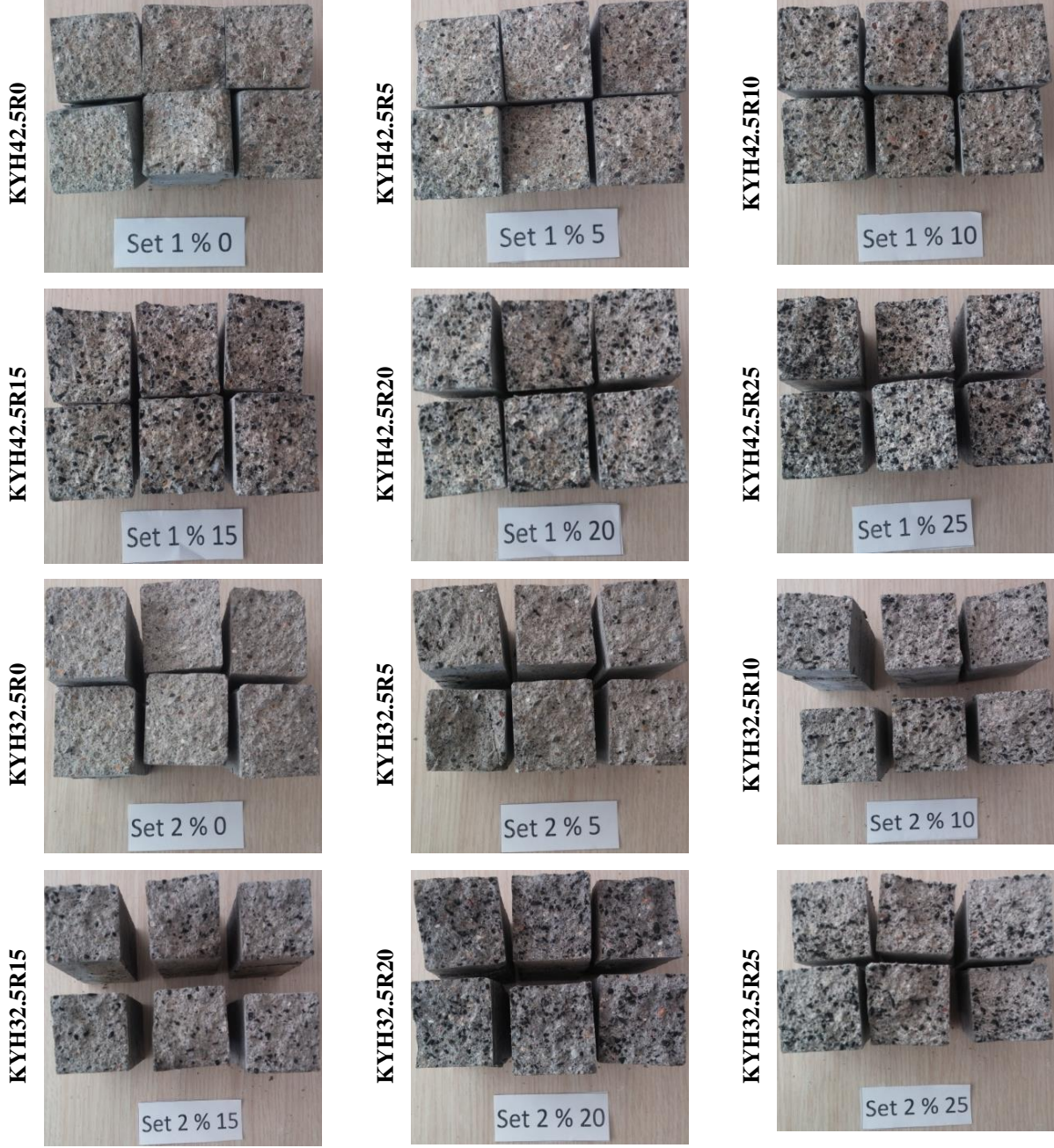
Şekil 3. Eğilme Dayanımı Deneyi



Şekil 4. Basınç Dayanımı Deneyi



Şekil 5. ÖALA Dağılımı



Şekil 6. Set 1 ve Set 2'ye ait 12 Farklı KYH Numune Yüzeylerindeki ÖALA Dağılımının Genel Görünümü

Bu çalışmada birim ağırlık değerlerindeki değişim tespit edilmiş, veriler Tablo 5'te verilmiştir. Her KYH karışımı için 3'er adet olmak üzere 50x50x50 mm boyutlu 28 günlük küp numuneler, kılcal su emme deneyine tabi tutulmuştur. Numuneler deneye tabi tutulmadan önce 105 ± 5 °C sıcaklıktaki hava sirkülasyonlu etüvde sabit ağırlığa kadar bekletilmiş ve etüv kurusu ağırlıkları alınan numunelerin yan yüzeyleri kaplanarak yalıtılmıştır. Numuneler Şekil 7'de verilen düzenek içerisine 5 mm yüksekliğinde tabandan su emecek şekilde yerleştirilmiştir ASTM C1585-11'e uygun olarak belirli zaman aralıklarında numunelere tabandan su emdirme yöntemi kullanılmıştır. Numuneler 5, 10, 30, 60, 240, 1140 dk'larda numunelerin yüzeylerindeki serbest su silinerek 0.01 g hassasiyetli bir tartı ile kütle artışları belirlenmiştir. Tartımlarda bulunan farklar zaman ile ilişkilendirilerek elde edilen bulgular Şekil 14'de görülmektedir (ASTM C642-13, 2013; ASTM C1585-11, 2013).



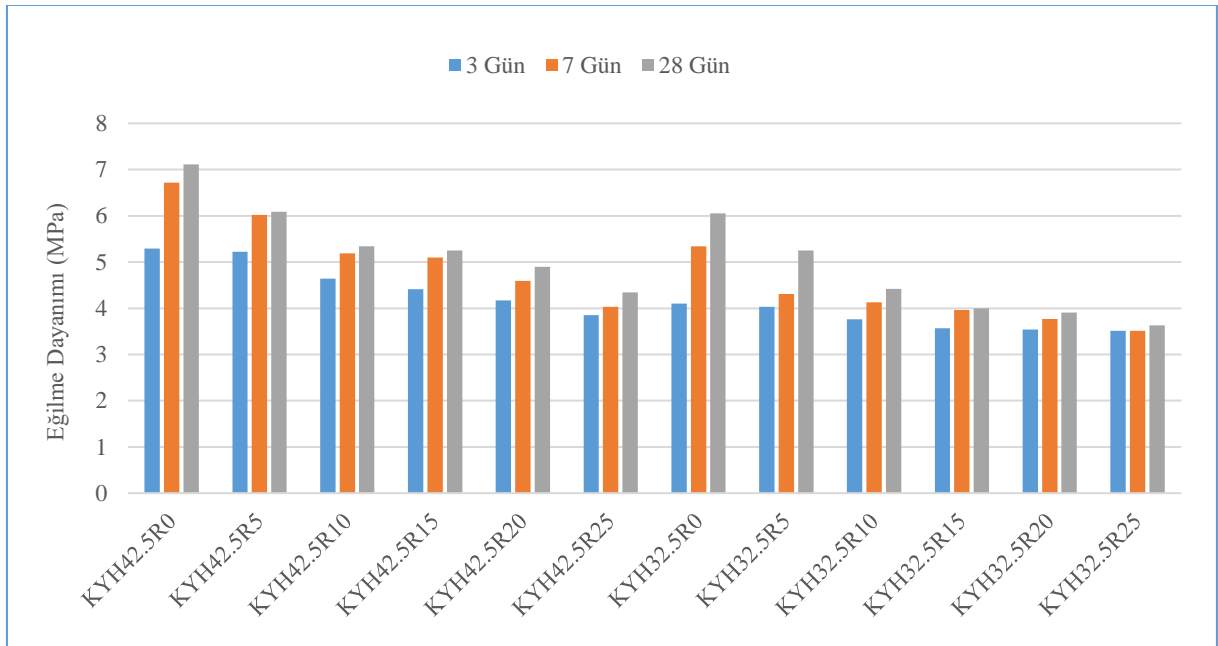
Şekil 7. Kılcal Su Emme Deneyi

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, atık otomobil lastiğinin KYH içinde agregaya ikameli olarak kullanımı sonucunda; özgül ağırlık, eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerlerinde kaydedilen veriler daha önce birçok araştırmacı tarafından yapılan deneysel çalışmanın sonuçlarına paralellik göstermektedir (Topçu vd., 2014; Topçu, 1995; Topçu, 1995; Chou vd. 2010; Topçu ve Demir, 2009).

Üretilen 12 farklı KYH karışımına 3, 7 ve 28 günlük kür sonrası eğilmede çekme dayanımı testi yapılmıştır. Şekil 8 eğilmede çekme dayanımı test verilerini göstermektedir. En yüksek eğilmede çekme dayanımı değerleri her iki karışım setinde, 28. deney gününde, ÖALA içermeyen kontrol karışımlarında Set 1 ve Set 2 için sırasıyla 7.11 MPa ve 6.05 MPa olarak kaydedilmiştir.

28. deney gününde kontrol karışımları ve %25 oranında ÖALA içeren Set 1 ve Set 2 KYH karışımlarının eğilme dayanımı değerleri kıyaslandığında; sırasıyla %39 ve %40 oranlarında azalma tespit edilmiştir. Kontrol karışımlarından %5 oranında ÖALA içeren KYH42.5R5 ve KYH32.5R5 karışımlarına geçişte en büyük eğilmede çekme dayanımı değişimleri Set 1 için %14.3 ve Set 2 için %12,3 olarak tespit edilmiştir. Devam eden her %5 oranında ÖALA ikamesinin eğilmede çekme dayanımındaki değişimi Şekil 8'da görülmektedir. Ayrıca Set 1 ve Set 2 karışımındaki artan ÖALA'nın çekme mukavemetine (MPa) etkisi ve denklemleri Şekil 12 ve 13 de verilmiştir. Set 1 ve Set 2'nin tüm numunelerinde en düşük eğilme dayanımı değerleri 3. deney gününde KYH42.5R25 ve KYH32.5R25 için sırasıyla 3.85 MPa ve 3.51 MPa'dır.

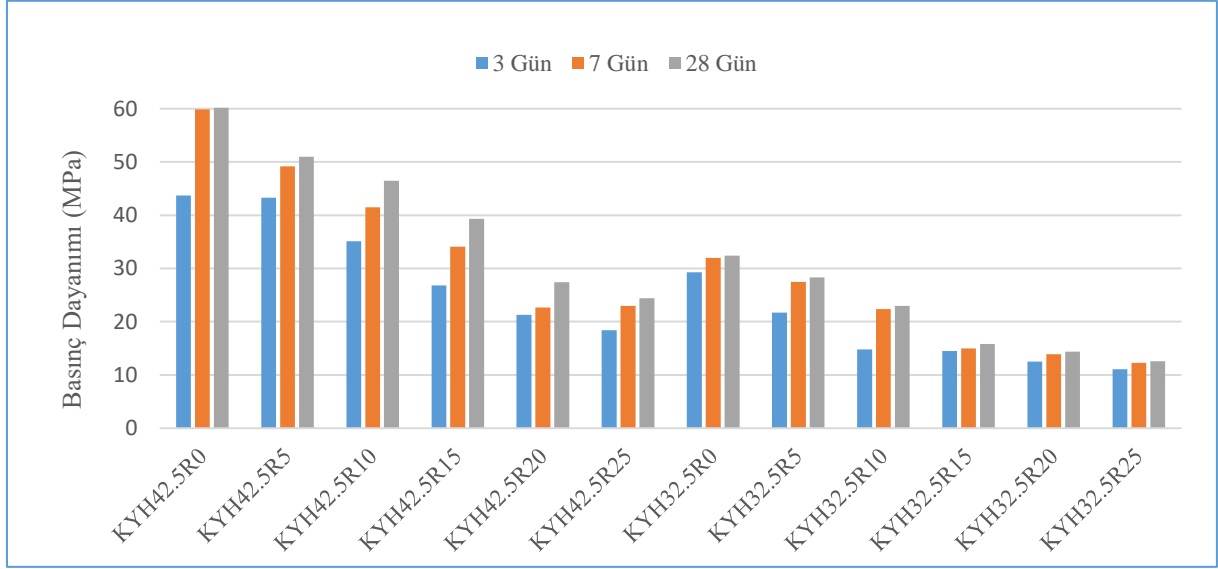


Şekil 8. Eğilme Dayanımı Deneyi Verileri

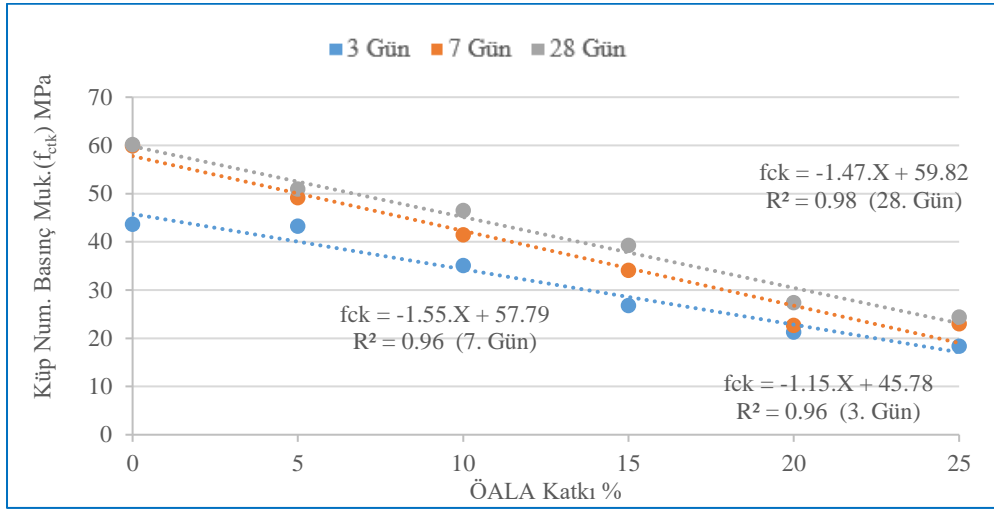
3, 7 ve 28. deney günlerinde eğilmede çekme dayanımı deneyi sonrası basınç dayanımı testi her KYH karışımı için 6 adet (3X2 adet) numunenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Şekil 9 basınç dayanımı verilerinin grafiksel gösterimidir. Set 1 için en yüksek basınç dayanımı değeri ÖALA içermeyen (kontrol karışımı) KYH42.5R0 karışımının 28. deney gününde 60.2 MPa olarak kaydedilmiştir. Benzer durum Set 2'de KYH32.5R0 karışımının 28. deney gününde 32.4 MPa'dır. Tüm KYH karışımlarında en düşük basınç dayanım değerleri 3. deney gününde ve %25 ÖALA içeren karışıma aittir. Kontrol karışımlarına kıyasla %25 ÖALA içeren KHY karışımlarında en büyük değişim oranları Set 1 ve Set 2 için sırasıyla 3. deney gününde %58 (43.7 MPa dan 18.4 MPa'ya)

ve %62 (29.3 MPa dan 11.1 MPa'ya); 28. deney gününde ise sırasıyla %59 (60.2 MPa dan 24.4 MPa'ya) ve %61 (32.4 MPa dan 12.6 MPa'ya) olarak tespit edilmiştir.

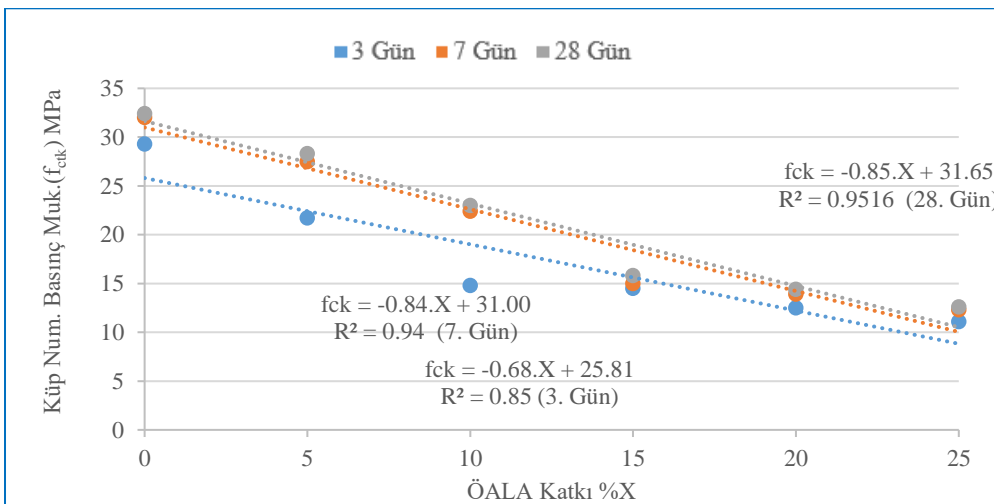
Tüm KYH karışımlarının Set 1 ve Set 2 için 28. deney günü basınç dayanım değerlerinin 3. deney günündeki kazanım oranı sırasıyla %76 ve %83'tür. Set 1 ve Set 2 karışımdaki artan ÖALA'nın basınç mukavemetine (MPa) etkisi ve denklemi Şekil 10 ile Şekil 11'de verilmiştir.



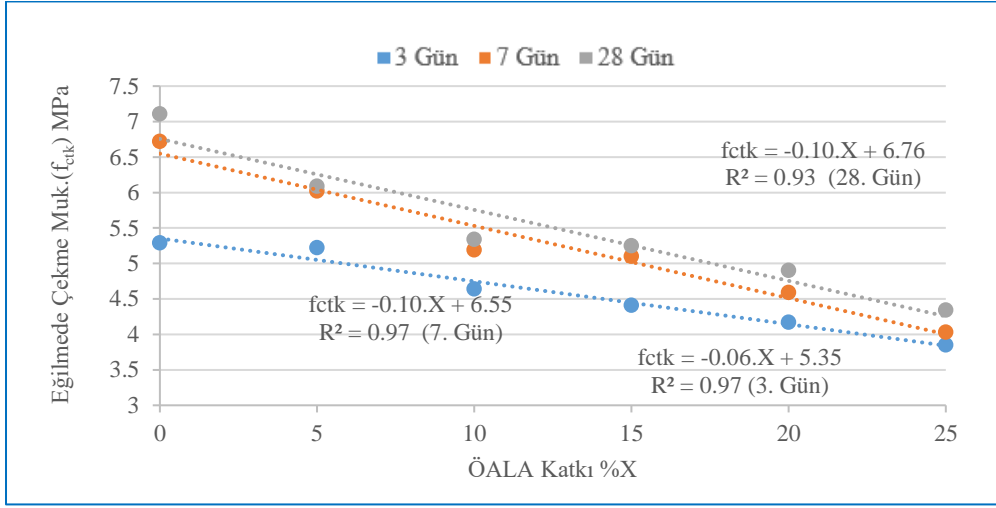
Şekil 9. Basınç Dayanımı Verileri



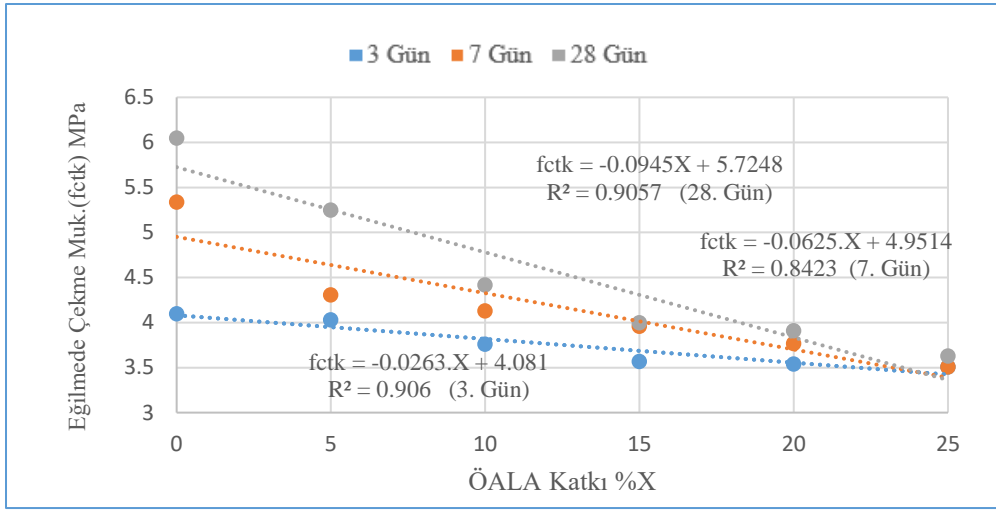
Şekil 10. Set 1 İçin ÖALA (%) Basınç Mukavemeti (MPa) Değişim Grafiği



Şekil 11. Set 2 İçin ÖALA (%) Basınç Mukavemeti (MPa) Değişim Grafiği

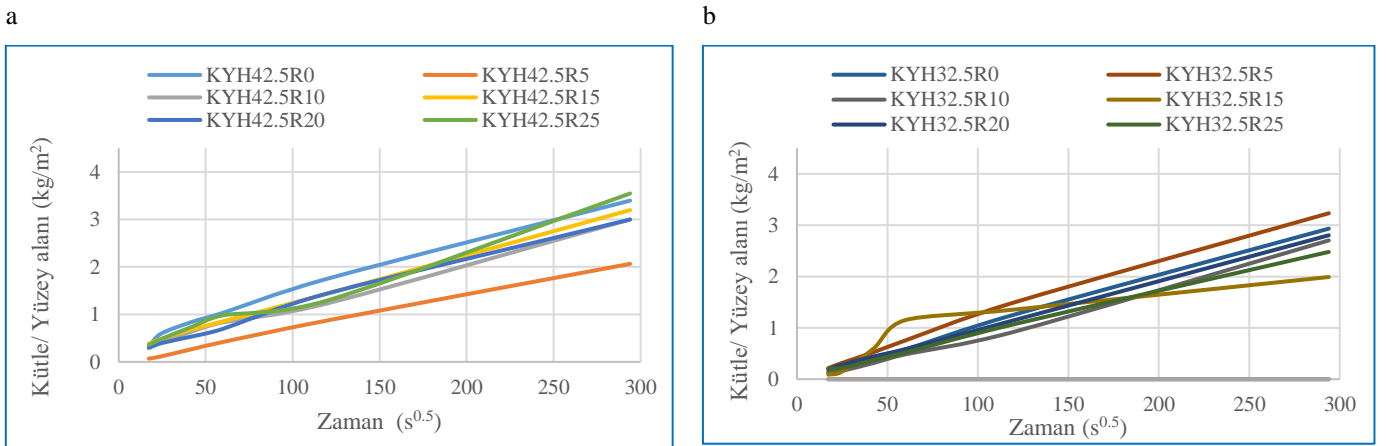


Şekil 12. Set 1 İçin ÖALA (%) Eğilmede Çekme Mukavemeti (MPa) Değişim Grafiği



Şekil 13. Set 2 İçin ÖALA (%) Eğilmede Çekme Mukavemeti (MPa) Değişim Grafiği

Beton ya da harcın su geçirimsizliğini etkileyen çok yönlü birçok etken vardır. Kullanılan agreganın tip, granülometrisi, boşluk yapısı ve boşluk oranı, çimento esaslı mineral katkıları ya da kimyasal katkıların varlığı ve oranı, temel bileşenlerin karışımındaki oranları, üretim ve kür koşulları vb. bunlardan sadece bir kaçıdır (Öz, 2017). Bu çalışmada üretilen 12 KYH karışımına ait 3'er adet 50x50x50 mm'lik küp numuneler ile 28 günlük kür sonrası kılcal su emme deneyi yapılmıştır. Kılcal su geçirimsizliğinde birim kesit alana numunenin zamanla emdiği su miktarıyla değerlendirilmiştir. Şekil 10 tüm karışımlara ait 3 adet kübik numuneden elde edilen sonuçların aritmetik ortalamasının alınarak elde edilen verileri yansıtmaktadır. Bu deneysel çalışmanın kılcal su emme deneyi verileri incelendiğinde artan ÖALA oranının kılcal su emme oranını da arttırdığı gözlemlenmiştir (Şekil 14).



Şekil 14. (a) Set 1 Kılcal Su Emme Deneyi Verileri (b) Set 2 Kılcal Su Emme Deneyi Verileri

Tablo 5. KYH Yoğunluk (kg/dm³)

		Tasarım Birim Ağırlık	Taze Birim Ağırlık	Sertleşmiş Birim Ağırlık
Set 1	KYH42.5R0	2.280	2.550	2.147
	KYH42.5R5	2.236	2.496	2.151
	KYH42.5R10	2.193	2.401	2.000
	KYH42.5R15	2.149	2.356	1.947
	KYH42.5R20	2.106	2.285	1.963
	KYH42.5R25	2.063	2.207	1.938
Set 2	KYH32.5R0	2.252	2.457	2,092
	KYH32.5R5	2.208	2.332	2.021
	KYH32.5R10	2.166	2.261	1.882
	KYH32.5R15	2.124	2.212	1.898
	KYH32.5R20	2.082	2.188	1.887
	KYH32.5R25	2.040	2.055	1.812

KYH numunelerinin birim ağırlık bulguları Tablo 5’te verilmiştir. Taze birim ağırlık değerleri 2.05 ile 2.55 kg/dm³ değerleri arasında değişmektedir. ÖALA artan oranları ile birim ağırlıklarda azalışlar belirgin şekilde artmaktadır. Set 1 ve Set 2 için en yüksek birim ağırlık değerleri sertleşmiş numunelerin kontrol karışımlarına aittir. ÖALA kullanımına bağlı olarak her iki setin KYH karışımlarında birim ağırlıklardaki azalış doğrusaldır. %25 oranında ikameli KYH karışımlarında en düşük birim ağırlıkların kaydedilmesindeki sebep ÖALP’sının özgül ağırlığının düşük ve karışımdaki kullanım oranının fazla olmasıdır. Elde edilen veriler daha önce yapılan farklı çalışmaların sonuçları ile örtüşmektedir (Topçu ve Demir, 2009).

4. Sonuç

Atık lastik malzemelerin sertliğin az, yoğununun düşük; elastikiyetinin, drenaj ve ısı yalıtım kapasitelerinin yüksek olması gibi karakteristik özellikleri, yenilikçi bir malzeme olarak, tüm dünyada ve ülkemizde özellikle beton sektöründe kullanım potansiyelini arttırmaktadır (Ordu vd., 2017).

Bu makale, ince agrega ile farklı oranlarda ve farklı iki çimento tipi ile üretilen ÖALA’lı KYH numunelerinin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmaya yöneliktir. Çalışma verilerine dayanarak elde edilen genel sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Farklı çimentolar ile artan ÖALA’nın kullanımı, birim ağırlıklarda doğrusal bir azalışa sahiptir. Artan ÖALA ile basınç dayanımında azalış, kılcal su emme de artış ile gözlenmiştir.
- 28. Deney günü basınç dayanımı verileri ışığında; KYH içinde ÖALA miktarı arttıkça kontrol karışımına oranla basınç dayanımı değerlerindeki azalmalar; %25 ÖALA ikameli harçlarda Set 1 ve Set 2 için sırasıyla %59.46 ve %61.11 ve %10 ÖALA ikameli harçlarda Set1 ve Set 2 için sırasıyla %22.75 ve %29.01’dir.
- KYH içinde ÖALA miktarının artışına bağlı eğilimde çekme dayanımındaki değişim incelendiğinde; Set 1 kontrol karışımında 3., 7., 28. deney günlerinde sırasıyla 5.29 MPa, 6.72 MPa, 7.11 MPa olarak kaydedilmiştir. Bu değerler aynı setin %25 ÖALA ikameli harçlarında kontrol karışımına göre sırasıyla %27.22, %40.02, %38.95 oranında azalma ile sırasıyla 3.85 MPa, 4.03 MPa, 4.34 MPa olarak kaydedilmiştir.
- KYH içinde ÖALA miktarı arttıkça kontrol karışımına oranla artan boşluk oranına bağlı kılcal su emme oranında belirgin artış gözlenmiştir.

Deneysel çalışma verilerine göre; KYH karışımına dahil edilen ÖALA, KYH’in bazı özelliklerini iyileştirirken, KYH’in basınç ve çekme dayanımını gibi bazı mekanik özelliklerini de olumsuz yönde etkilemektedir. KYH karışımında ÖALA’nın ikamesinde bu çalışmada elde edilen veriler ve daha önce yapılan çalışmalara paralel olarak %10 optimum değer kabul edilebilir düzeydedir. Buna göre ÖALA içeren harçlar düşük birim hacim ağırlık istenen durumlarda veya taşıyıcılık özelliği istenmeyen yerlerde kullanılabilir özelliktedir. ÖALA farklı puzolanik malzemelerle ve kimyasal katkılarla birlikte uygun oranda kullanılarak mekanik özelliklerinde iyileştirmeler kaydedilebileceği düşünülmektedir.

5. Referanslar

- Açıkgenç, M., Karataş, M., Ulucan, Z.Ç. (2013). Effects of Elazığ region waste brick and limestone powder on engineering properties of self-compacting mortar. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, 19(6), 249-255 doi: 10.5505/pajes.2013.24633
- Argunhan, Z. (2017). Yapı elemanlarında kullanılan atık lastiklerin ısı performansının incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8 (3), 621-630. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dumf/issue/33629/408565>
- ASTM C109/C109M-13. (2016). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C348-14 (2018). Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars, American Society for Testing and Materials, ASTM International, West Conshohocken, United States.
- ASTM C349 (2018). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic-Cement Mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure), American Society for Testing and Materials, ASTM International, West Conshohocken, United States.
- ASTM C642-13. (2013). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C1585-11. (2013). Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Cao, W. (2007). Study on properties of recycled tire rubber modified asphalt mixtures using dry process. *Construction and Building Materials*, 21, 1011–1015.
- Chang N. B. (2008). Economic and policy instrument analyses in support of the scrap tire recycling program in Taiwan. *Journal of Environmental Management*, 86, 435–450. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.026>
- Chou, L.H., Yang, C.K., Lee, M.T., Shu, C.C. (2010). Effects of partial oxidation of crumb rubber on properties of rubberized mortar. *Composites: Part B*, 41, 613-616, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2010.09.009>
- De D., Das A., De D., Dey B., Debnath S. C., Roy B. C. (2006) Reclaiming of ground rubber tire (GRT) by a novel reclaiming agent. *European Polymer Journal*, 42, 917–927. doi: <https://doi.org/10.1002/pen.20790>
- Demirel, S., Öz, H. (2017). Atık Malzemelerin Kendiliğinden Yerleşen Beton Performansına Etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (3), 40-48. doi: 10.17780/ksujes.309442
- EFNARC. (2002). Specifications and Guidelines for Self- Compacting Concrete. EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, www.efnarc.org, ISBN 0 953973344, 32.
- Emiroğlu, M., Yıldız, S., Özgan, E. (2013). Lastik Agregalı Betonlarda Elastisite Modülünün Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24 (3). Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6681/88294>
- Etili, S., Cemalgil, S., Onat, O. (2018). Mid-Temperature Thermal Effects on Properties of Mortar Produced with Waste Rubber as Fine Aggregate. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 4 (1), 10-22. doi:10.29132/ijpas.341413
- Fedroff, D. (1996). Mechanical Properties of Concrete with Ground Rubber, MSc thesis, North Carolina State University, Raleigh, 1532, 66-72. doi: <https://doi.org/10.1177/0361198196153200110>
- Gönüllü, M.T. (2004). Atık Lastiklerin Yönetimi. *Katı Atık Geri Dönüşüm Teknolojileri Semineri*, İstanbul Sanayi Odası, İstanbul.
- Güneyisi, E., Gesoğlu, M. (2007). Uçucu Kül ve Metakaolin İçeren Kendiliğinden Yerleşen Harçlar. 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 161-172, Ankara: Türkiye.
- Khatib, Z.K., Bayomy, F.M. (1999). Rubberized Portland Cement Concrete. *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, 11, 206– 213. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(1999\)11:3\(206\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1999)11:3(206))
- Koçak, Y., Alpaslan, L. (2011). Atık Lastiklerin Çimento ve Beton Sektöründe Kullanım Potansiyelleri. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elâzığ: Türkiye.
- Li G., Garrick G., Eggers J., Abadie C., Stubblefield M. A., Pang S. S. (2004). Waste tire fiber modified concrete, *Composites: Part B*, 35, 305–312. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2004.01.002>
- Lin C., Huang C. L., Shern C. C. (2008). Recycling waste tire powder for the recovery of oil spills. *Conservation and Recycling*, 52, 1162–1166. doi: 10.1016/j.resconrec.2008.06.003
- Lo Presti, D. (2013). Recycled Tyre Rubber Modified Bitumens for road asphalt mixtures: A literature review. *Construction and Building Materials*, 49, 863–881. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.007>
- Ordu, E., Bicer, P., Ordu, S., Abanozoglul, E. (2017). An investigation on the soil stabilization with waste tyres materials in granular soils. *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, 1 (1), 51-61. doi:10.29002/asujse.298083

- Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği. (2006). T.C. Resmî Gazete (26357 25 Kasım 2006).
- Öz, H.Ö. (2017). Atık Cam Tozu ve Yüksek Fırın Cürufunun İçeren Kendiliğinden Yerleşen Harçların Taze, Mekanik ve Durabilite Özellikleri. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(4)
- Raghavan, D., Huynh, H., Ferraris, C.F. (1998). Geri dönüştürülmüş lastik kauçuk dolgulu çimentolu bir kompozitin işlenebilirliği, mekanik özellikleri ve kimyasal stabilitesi. *Journal of Material Science*, 33, 1745-1752. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1004372414475>
- Richardson, A., Coventry, K., Edmondson, V., Dias, E. (2016). Crumb rubber used in concrete to provide freeze–thaw protection (optimal particle size). *Elsevier, Journal of Cleaner Production*. 112 (1), 599-606, doi: 10.1016 / j.jclepro.2015.08.028
- Siad, H., Lachemi, M., Ismail, M.K, Sherir, M. AA, Sahmaran, M., Hassan A.AA. (2019). Effect of Rubber Aggregate and Binary Mineral Admixtures on Long-Term Properties of Structural Engineered Cementitious Composites. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(11), doi: 10.1061 /% 28ASCE% 29MT.1943-5533.0002894
- Thakur, A., Senthil, K., Sharma, R., Singh, A.P. (2020). Employment of crumb rubber tyre in concrete masonry bricks. *Materials Today: Proceedings*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.106>
- Thomas, B. S., Gupta, R. C. (2016). Properties of high strength concrete containing scrap tire rubber. *Journal of Cleaner Production*, 113, 86-92. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.019>
- Topçu, İ. B., Demir, A. (2007). Atık Lastik ve Uçucu Küllü Harçların Özellikleri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, No:2
- Topçu, İ., Karakurt, C., Işıkdag, B. (2014). Atık Lastik Agregalı Harçların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 17 (1), 3-7. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/politeknik/issue/33069/367997>
- Topçu, İ.B. (1995). The Properties of Rubberized Concretes. *Cement and Concrete Research*, 25, 304-310. doi: [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00014-3](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00014-3)
- Topçu, İ.B. (1995). Lastik Katılmış Çimento Harçlarının Özellikleri. *Balıkesir Üniv., Müh.-Mim. Fak., III. Balıkesir Müh.-Mim. Sempozyumu*, 192-200, Balıkesir, Türkiye.
- Topçu, İ. B., Demir, A. (2009). Farklı Çimentolarla Üretilen Lastik Agregalı Harçların Bazı Özellikleri. *Politeknik Dergisi*, 12, (3) <https://hdl.handle.net/20.500.12438/917>
- Tosun, H., Fırat, F.K. (2016). Geri Dönüşümün Ekonomi Üzerine Etkileri, İnşaat Sektöründe Atık Lastik Kullanımı Örneği. *International Conference on Eurasian Economies 2016*. 503-509
- TS EN 197-1. (2012). Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri
- TS EN 933-1. (2012). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini- Eleme yöntemi.
- TS EN 934-2+A1. (2013). Kimyasal katkıları- Beton, harç ve şerbet için- Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları- Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme
- TS EN 1008. (2003). Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları
- TS EN 12390-1.(2013). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 1: Deneysel numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri
- TUİK. (2020). Nüfus Projeksiyonları, 2013-2075. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=15844>
- Turgut, P., Yeşilata, B. (2009). Atık Lastik Katkılı Harç Plak ve Briketlerin Termo-Mekanik Davranışlarının Araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24 (4), Retrieved from: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6682/88323>
- Tüzüm Demir, A. P. (2020). Araç lastiklerinin geri dönüşümü üzerine bir derleme. <http://www.plastik-ambalaj.com/tr>.
- Yıldırım, Z., Karacasu, M., Okur, D. (2018). Atık Lastik ve Cam Lif ile Modifiye Edilmiş Bitümün Asfalt Betonu Performansına Etkileri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18 (3), 1019-1027. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/akufemubid/issue/44157/544660>
- Zhang S. L., Xin Z. X., Zhang Z. X., Kim J. K. (2009). Characterization of the properties of thermoplastic elastomers containing waste rubber tire powder, *Waste Management*, 29, 1480-1485. doi: 10.1016/j.wasman.2008.10.004



e-issn: 1308-5514