

Kırıkkale University International Journal of Engineering Research and Development

International Peer Reviewed Journal
e-ISSN: 1308-5514



Volume: 11
Issue: 1

JANUARY 2019

Kırıkkale Üniversitesi
Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi
Uluslararası Hakemli Dergi

Cilt: 11 Sayı:1 Ocak 2019



**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

Osman YILDIZ
Dekan / Dean

Yardımcı Editörler / Associate Editors

Ertuğrul ÇAM
Murat LÜY

Alan Editörleri / Area Editors

Burak BİRGÖREN - Endüstri Mühendisliği / Industrial Engineering
Tolga EREN - Elektrik-Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering
Atilla ERGÜZEN - Bilgisayar Mühendisliği / Computer Engineering
İlker KALKAN - İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering
Hakan ARSLAN - Makine Mühendisliği / Mechanical 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

Ocak 2019 / January 2019

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 DAGDEVİREN 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 Structural and Magnetic Study of Fe-15,83%Mn-2,18%V and Fe-18,50%Mn-2,27%Cu Alloys** 1-6
Nermin Kahveci Yağcı, Hasan İnaç
DOI: 10.29137/umagd.414647
- 2 Estimation of Seismic Response of R/C Frame Structures to Vertical Earthquake Motion Considering Fixed Support and Soil-Structure-Interaction (SSI)** 7-17
Selçuk Baş
DOI: 10.29137/umagd.482482
- 3 B₄C Takviyeli Magnezyum (AZ91) Matrisli Kompozitlerin Mikroyapısal Karakterizasyonu** 18-24
Microstructural Variations In Cast B₄C-Reinforced Magnesium Matrix Composites
Işıl Kerti
DOI: 10.29137/umagd.388600
- 4 Clustering-based Sales Forecasting in a Forklift Distributor** 25-40
Pratiwi Eka Puspita, Tülin İnkaya, Mehmet Akansel
DOI: 10.29137/umagd.473977
- 5 İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesinde Hata Türleri ve Etkileri Analizinin (FMEA) Kullanımı** 41-50
Use of Failure Modes and Effects Analysis in Occupational Health and Safety Risk Assessment
Burak Birgören, Meryem Yalçınkaya
DOI: 10.29137/umagd.444534
- 6 Baybora-1 Borlama Tozu Kullanılarak Yüzey Sertleştirme İşlemine Tabi Tutulan 41Cr4 Çeliğinin Aşınma Davranışının İncelenmesi** 51-63
Investigation of Wear Behavior of 41Cr4 Steel Subjected to Surface Hardening Process Using Baybora-1 Boriding Powder
Bünyamin Yamanel, Osman Bican, S. Uğur Bayça
DOI: 10.29137/umagd.486402
- 7 Sis Bilişim Tabanlı İmza Doğrulama: Senaryoya Dayalı Bir Yaklaşım** 64-76
Fog Computing Based Signature Verification: A Scenario-Based Approach
Erdal Erdal
DOI: 10.29137/umagd.481464
- 8 Farklı Kimyasallarla Modifiye Edilen Doğal Atık Takviyeli Epoksi Reçine Matrisli Kompozitlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu** 77-86
Preparation and Characterization of Natural Waste Reinforced Epoxy Resin Matrix Composites Modified with Different Chemicals
Süheyla Kocaman
DOI: 10.29137/umagd.459758
- 9 Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen B₄C+TiB₂ Takviyeli Al 2024 Esaslı Kompozitlerde Takviye Miktarının Mekanik Özelliklere Etkisi** 87-98
The Effect on Mechanical Properties of Reinforcement Amount at B₄C + TiB₂ Reinforced Al 2024 Based Composites Produced by Powder Metallurgy
Muharrem Pul
DOI: 10.29137/umagd.407488

- Hibritlenmiş Fuzzy-AHP ve TOPSIS Yöntemi İle Ürün Seçimi için Bir Karar Destek Sistemi**
- 10 *A Decision Support System for Product Selection Using Hybridized Fuzzy-AHP TOPSIS Methods* 99-108
Ali Osman Kuşakcı
DOI: 10.29137/umagd.370349
- Türkiye’deki Endüstri Mühendisliği Eğitiminin Mezun Görüşlerine Dayalı Analizi**
- 11 *Analysis Based on Graduation Opinions of Industrial Engineering Education in Turkey* 109-123
Ukbe Üsame Uçar, Selçuk Kürşat İşleyen
DOI: 10.29137/umagd.385030
- Design of Remotely Controlled Hydraulic Bottle Jack for Automobile Applications**
- 12 *Ikpe Aniekan E. Owunna Ikechukwu B.* 124-134
DOI: 10.29137/umagd.440893
- Mathematical Modeling and Simulation of Full Flight Helicopter Simulator**
- 13 *M. Taylan Das, Ismail Kumpas* 135-140
DOI: 10.29137/umagd.454156
- Classifying White Blood Cells Using Machine Learning Algorithms**
- 14 *Abdullah Elen, M. Kamil Turan* 141-152
DOI: 10.29137/umagd.498372
- İmmobilize ve Serbest Lakkaz Enziminin Optimum Koşullarının Araştırılması ve Renk Giderme İşleminde Kullanımı**
- 15 *Investigation of the Optimum Conditions of Immobilized and Free Laccase Enzyme and its Use in Decolorization Process* 153-162
Haydar Altınok
DOI: 10.29137/umagd.508095
- Comparison of AHP-TOPSIS and AHP-VIKOR Methods in Product Selection in terms of Inventory Management**
- 16 *Melda Kokoç, Süleyman Ersöz* 163-172
DOI: 10.29137/umagd.391359
- Design of a Distributed Control System with Fuzzy Logic Controller and PLC in Wireless Sensor Network Based Industrial Environments and Monitoring the System with RFID**
- 17 *Akif Durdu, Üzeyir İlbay Bozkurt, Mehmet Celalettin Ergene* 173-191
DOI: 10.29137/umagd.396400
- Ni-P-Acetylacetonate-TiO₂ Composite Plating with Electroless Plating: Plating Parameters and Corrosion Resistance**
- 18 *Burcu Didem Çorbacioğlu* 192-199
DOI: 10.29137/umagd.398895
- Cost Optimization of Colored Gypsum Composites**
- 19 *Sadık Alper Yıldız, Gökhan Kaplan* 200-210
DOI: 10.29137/umagd.406809

- Katı Atık Depolama Tesisi Yer Seçimi için Birleştirilmiş Hedef Programlama ve AHP Yaklaşım**
20 *A Combined Goal Programming and AHP Approach for Solid Waste Landfill Site Selection* 211-225
Ayyuce Aydemir-Karadag
DOI: 10.29137/umagd.412446
- Hydrodynamic Analysis Of Shark Body Hydrofoil Using CFD Methods**
21 *Abdullah Muratoğlu* 226-238
DOI: 10.29137/umagd.415901
- Araç Rotalamada Karbon Ayak İzi Ve Endüstriyel Bir Uygulama**
22 *Carbon Footprint In Vehicle Routing And An Industrial Application* 239-252
Bensu Kaplanseren, Betül Mercan, Büşra Özdemir, Hatice Hazel Kadioğlu, Çağrı Sel
DOI: 10.29137/umagd.418539
- Predicting the Turkish Stock Market BIST 30 Index using Deep Learning**
23 *Halil Raşo, Mehmet Demirci* 253-265
DOI: 10.29137/umagd.425560
- Modern Optimizasyon Yöntemleri ile Bir Hidroelektrik Santralde Frekans Kontrolü**
24 *Frequency Control in a Hydroelectric Power Plant with Modern Optimization Methods* 266-274
Hasan Tiryaki, Alper Gün
DOI: 10.29137/umagd.427027
- Afyon Kilinin Porselen Karo Bünyelerinde Kullanımının Araştırılması**
25 *Investigation Of The Usage Of Afyon Clay In Porcelain Tile Bodies* 275-281
Müge Tarhan, Baran Tarhan
DOI: 10.29137/umagd.433307
- Farklı Çaplara Sahip Dairesel Borularda Grafen Oksit (GO)-Saf Su Nanoakışkanı Kullanımının Isı Transferi Artışı Üzerindeki Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi**
26 *Experimental Investigation of the Effect of Graphene Oxide (GO)-Distilled Water Nanofluid Usage on Heat Transfer Increment In Circular Tubes Having Different Diameters* 282-301
Koray Karabulut, Ertan Buyruk, Ferhat Kılınç
DOI: 10.29137/umagd.449657
- Yapısal Eşitlik Modeli (YEM) İle Aile İşletmelerinde Performans Analizi**
27 *Performance Analysis in Family Businesses with Structural Equation Modelling* 302-315
H. Handan Demir, Cemal Zehir
DOI: 10.29137/umagd.525684
- Fotovoltaik Sistemin Çıkış Gücünün Sıcaklık ve Işımaya Bağlı Matematiksel Modellemesi ve Simülasyonu**
28 *Mathematical Modeling and Simulation of the Photovoltaic System's Output Power depends on Temperature and Irradiance* 316-327
Süleyman Adak, Hasan Cangi, Ahmet Serdar Yılmaz
DOI: 10.29137/umagd.456988
- Formula SAE Aracında Ağırlık Azaltılmasına Yönelik Fren Pedalının Topoloji Optimizasyonu Yöntemiyle Optimum Tasarımı**
29 *Optimum Design Of Brake Pedal Using Topology Optimization Method Intended For Weight Reduction On The Formula SAE Car* 328-334
Emre İsa Albak
DOI: 10.29137/umagd.467057

- 30** **Faster R-CNN Kullanarak Elmalarda Çürük Tespiti**
Bruise Detection in Apples using Faster R-CNN 335-341
Onur Cömert, Mahmut Hekim, Kemal Adem
DOI: 10.29137/umagd.469929
- 31** **Sürekli Olay Simülasyonlarında Kesiklileştirme ve Semantik Bilgiye Dayalı Sorgu Yapıları**
İngilizce Başlık 342-349
Mehmet Fatih Hoccoğlu
DOI: 10.29137/umagd.481584
- 32** **Seminal Quality Prediction Using Deep Learning Based on Artificial Intelligence**
Hilal Benli, Bülent Haznedar, Adem Kalınlı 350-357
DOI: 10.29137/umagd.484786
- 33** **ERP Kurulum Sürecinin Tamamlanmasının Ardından Modelleme Çalışmalarına Geçiş**
Transition to Modeling After Completion of ERP Installation Process 358-369
Emel Yontar, Süleyman Ersöz
DOI: 10.29137/umagd.489852
- 34** **Karbon Nanotüp (CNT) Ve Nano Grafen (G) Takviyeli Al 2024 Kompozitlerin Vorteks Yöntemiyle Üretilerek Aşınma Ve İşlenebilme Özelliklerinin İncelenmesi**
Investigation Of Abrasion And Machining Properties Of Carbon Nanotube (CNT) And Nano Grafen (G) Reinforced Al 2024 Composites By Vortex Method 370-382
Muharrem Pul
DOI: 10.29137/umagd.493868
- 35** **Optical Bio-barcode Nanobiosensors**
Fikret Yalçinkaya, Abdulhamid Hamsho 383-395
DOI: 10.29137/umagd.503309
- 36** **Akıllı Yol Durum Sensörü Tasarımı**
Intelligent Road Condition Sensor Design 396-401
Fecir Duran, Mustafa Teke
DOI: 10.29137/umagd.510777
- 37** **ATM Cash Flow Prediction and Replenishment Optimization with ANN**
Sefik Ilkin Serengil, Alper Ozpınar 402-408
DOI: 10.29137/umagd.484670
- 38** **KOBİ'LER İÇİN KOSGEB Destek Modellerinin Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri İle Sıralanması**
Sorting The KOSGEB Support Models For SMEs By Multicriteria Decision Making Methods 409-425
Ali Sevinç, Tamer Eren
DOI: 10.29137/umagd.485366



Structural and Magnetic Study of Fe-15,83%Mn-2,18%V and Fe-18,50%Mn-2,27%Cu Alloys

Nermin Kahveci Yağcı^{*1} , Hasan İnaç² 

¹Kirikkale University, Department of Physics, Kirikkale 71450, TURKEY

²Kirikkale University, Department of Mathematics and Science Education, Kirikkale 71450, TURKEY

Başyuru/Received: 12/04/2018

Kabul/Accepted: 21/11/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Abstract

In this study, the microstructure and magnetic properties of martensite transformation induced were investigated in Fe based alloys (Fe-15,83%Mn-2,18%V ve Fe-18,50%Mn-2,27%Cu alloys). Micro structures were studied with Scanning Electron Microscope. The effect of the adding V and Cu in Fe-Mn alloy on the magnetic properties has been investigated by Mössbauer spectroscopy technique respectively. It was investigated that the adding of V and Cu to Fe-Mn alloy reveals the ferromagnetic and paramagnetic properties of alloy respectively. The other result of this study is the rate of Mn amount in Fe-Mn-X alloy. If the Mn rate in the Fe-Mn-X alloy is 18% or more, no α -martensitic transformation have been observed. Thus, this study showed that the additional atom has great importance on changing the magnetic properties of alloys.

Key Words

“Phase transformation, Magnetic properties, Mössbauer spectroscopy, Scanning electron microscope”

1. INTRODUCTION

Metal alloys have become materials that make life easier for human beings. Since the 19th century, Fe-based alloys have attracted the attention of material science. First studies have began in 1861 with Henry Sorby and continued with the German scientist Adolf Martens. The transformations in which the crystal structure changes with any physical effect and the neighborhoods of atoms in metal alloys are unchanged are called martensitic transformations. Adolf Martens first observed and is referred to by his name [Nishiyama(1978)]. Cotes et al.(2002) studied the magnetic properties of the Fe-13,7%Mn alloy with X-ray diffraction (XRD) and Mössbauer spectrometry(MS). The addition of third element to the Fe-Mn alloys because influences significantly their several physical and mechanical properties, Fe-Mn-X alloys have been intensively studied.

In 1998, J. H. Jun et al. studied the microstructural properties of Fe-Mn-Co alloys and their dependence on the martensitic phase transformation of the mechanical energetic vibration enhancement of the heat treatment by the material. In 2003, P. Marinelli et al. studied martensitic transformations in Fe-Mn-Co alloys depending on the temperature. Sari et al. investigated the effect of martensitic transformation and magnetic properties of Mo and Co on Fe-Mn alloys. As a result of the studies, γ (fcc) \rightarrow ϵ (hcp) phase transformation occurring in Fe-Mn based alloys examined how the percentage of the added element affects the transformation and the defects occurring in the alloy. In this paper we study the magnetic properties and Austenite-Martensite Phase Transformation Fe-Mn-Cu and Fe-Mn-V alloys in the the experimental techniques of X-Ray diffraction (XRD), Mössbauer spectroscopy(MS) and scanning electron microscopy (SEM).

2. METHODS

In this study, Fe-15,83%Mn-2,18%V and Fe-18,50%Mn-2,27%Cu alloys were prepared at TUBITAK Gebze Research Center in Turkey. Fe, Mn, V and Fe, Mn, Cu elements which are in powder form in 99.9% purity are put together and melted at high temperature and poured into cylindrical rods of 1 cm diameter and 10 cm length. The composition of the alloys obtained in this way were obtained as Fe-15,83%Mn-2,18%V and Fe-18,50%Mn-2,27%Cu (% weight) by EDS (Electron Dispersion Spectroscopy) technique using IXRF system. Special slices from the ingots alloys were cut by using diamond saw. The samples were sealed into quartz tubes and then heat treated in the austenite γ - phase equilibrium region. Alloys were homogenized at 1100 °C for 12 hours and then subjected to slow cooling in the furnace.

For scanning electron microscopy (SEM) observations, the surfaces of the samples were first mechanically polished and afterwards the damaged surface layers were eliminated by etching in a solution composed of 40%HCL, 30%C₃H₈O₃ and 30%HNO₃ for 40 s. The microstructure characteristics of samples surfaces were investigated by SEM of Jeol - JSM 5600 at 30 kV.

Mössbauer spectroscopy was applied to study the magnetism and volume fractions of both the austenite and martensity phases. Specimens examined by SEM were used for Mössbauer spectroscopy measurements at room temperature. Then, the Mössbauer spectra values of these samples were obtained using a Normos-90 computer program. Finally, XRD spectrum of the samples were measured by X-ray diffraction method.

3. RESULTS

3.1. Investigation of the Martensite Structure Formed in Fe-15,83%Mn-2,18%V and Fe- 18,50%Mn-2,27%Cu Alloys by Scanning Electron Microscopy (SEM)

Fe-15,83%Mn-2,18%V and Fe-18,50%Mn-2,27%Cu alloys were homogenized at 1100 ° C for 12 hours and subjected to slow cooling process in the furnace. In the sample studied by SEM, ϵ bands were observed in γ phase with thermal effect. The structure observed in any region were carried out in Fig.1.

By examining the SEM image of the Fe-15,83%Mn-2,18%V alloy, it has been easily seen that the formed martensitic layers begin at the grain boundaries and finish at grain boundaries and have different orientations. The α' and ϵ bands in this structure are shown in Fig.1. Askeland (2003) noted that the atomic sequences within these Alloys, which are observed as the result of slow cooling, are identical, and that the orientation of atoms in each of these particles is different. SEM image of Fe-18,50%Mn-2,27%Cu alloy is show in Fig.2.

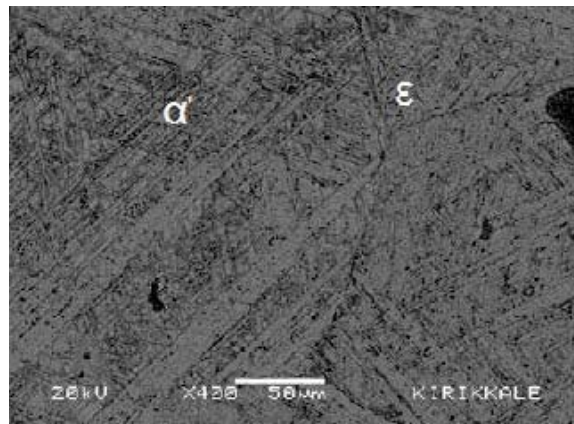


Fig. 1. SEM image of Fe-15,83%Mn-2,18%V alloy

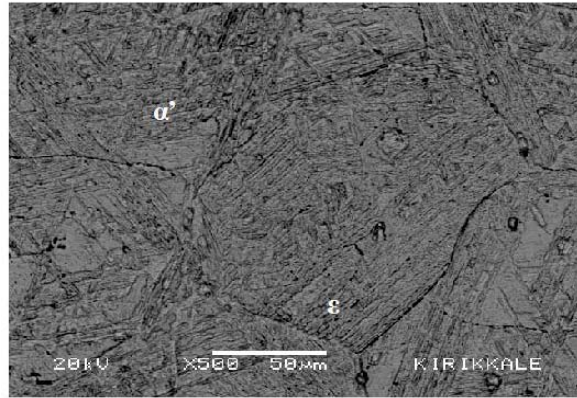


Fig. 2. SEM image of Fe-18,50%Mn-2,27%Cu alloy

By examining Fig.2, it has been observed that the slow-cooling samples were piled parallel to each other and formed ϵ martensite plates with different orientations. It was stated by Porter et al.(2009) that the growth of martensite plates is inhibited at the grain boundaries and that the number of martensite nuclei has no effect on the grain size, but the shape and size of the formed martensite plates is a function of the grain size. ϵ martensite plates have been introduced in Cotes et al.(2004) and Kajivara (1984) studies in which they form parallel plates in the grain. In the intersection regions of the martensite plates, a formation of α' (bcc) martensite is possible.

3.2. Investigation of Fe-15,83%Mn-2,18%V and Fe-18,50%Mn-2,27%Cu Alloys by X-ray Diffraction Method

The X-ray diffraction system is a suitable experimental method for investigating the properties of solid inorganic and crystalline materials, which are mostly composed of heavy elements. For X-ray diffraction measurements, 20 mg dust samples were prepared from the alloys. A X-ray beam of λ wavelength is sent onto this dust sample. So, angle and intensity values given in accordance with Bragg diffraction are poured on a graph to obtain intensity peaks corresponding to 2θ angles. After structure analysis is carried out by determining the planes providing these peaks (hkl). With this method, crystal lattice parameters, phase structures occurring at different temperatures and different phase components can be revealed easily. The results obtained for Fe-15,83%Mn-2,18%V and Fe-18,50%Mn-2,27%Cu alloys are given in Fig.3 and Fig.4.

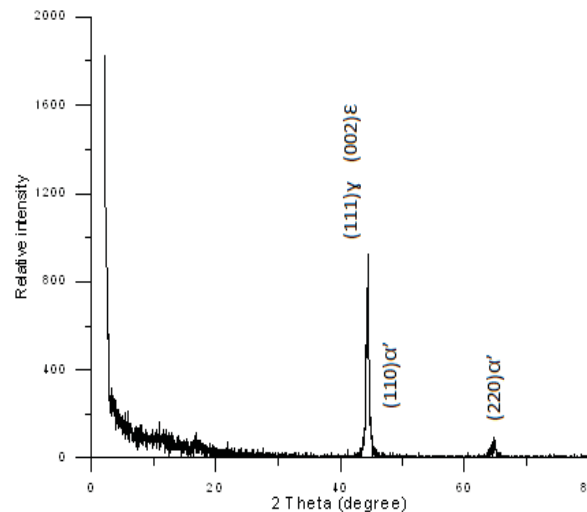


Fig. 3. X-ray diffraction pattern of Fe-15,83%Mn-2,18%V alloy

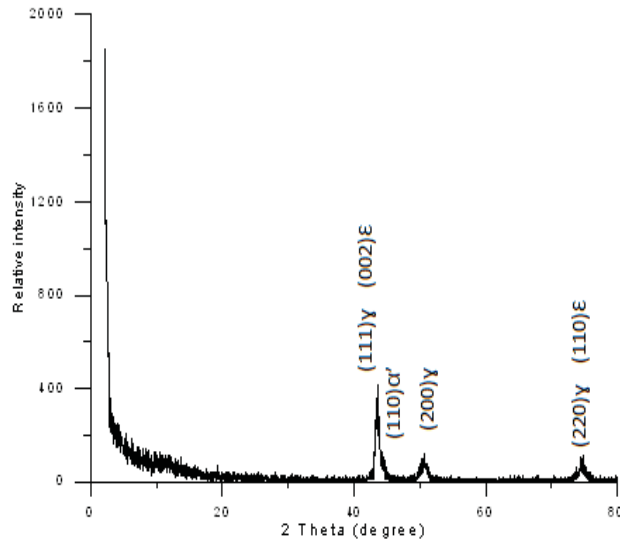


Fig. 4. X-ray diffraction pattern of Fe-18,50%Mn-2,27%Cu alloy

Comparing the X-ray diffraction graphs, the (111) γ and (002) ϵ peak of the Fe-15,83%Mn-2,18%V alloy at $2\theta = 44,421^\circ$ are more intense than the same peaks in Fe-18,50%Mn-2,27%Cu alloy. In addition to these; sample alloy at $2\theta = 65^\circ$, there is α' peak. Unlike the other samples of Fe-18,50%Mn-2,27%Cu alloy, there are peaks at $2\theta = 50,62^\circ$ (200) γ and $2\theta = 74,80^\circ$ (220) γ , (110) ϵ . The lattice parameters α' (bcc) of the Fe-15,83% Mn-2,18 %V and Fe-18,50%Mn-2,27%Cu alloys are $a = 0.28406$ nm, $a = 0.28743$ nm, respectively.

3.3. Investigation of Fe-15,83%Mn-2,18%V and Fe-18,50%Mn-2,27%Cu Alloys by Mössbauer Spectroscopy Method

Mössbauer spectrometry is widely used in studying phase transformations of metal and metal alloys. With this method, the magnetic properties of austenite and martensite structures, the volume fractions of martensite crystals formed by different effects, and the internal magnetic field of the martensite phase can be determined. The Mössbauer spectra taken to determine the magnetic properties of the martensite structure observed in Fe-15,83%Mn-2,18%V and Fe-18,50%Mn-2,27%Cu alloys are given in Fig.5 and Fig.6.

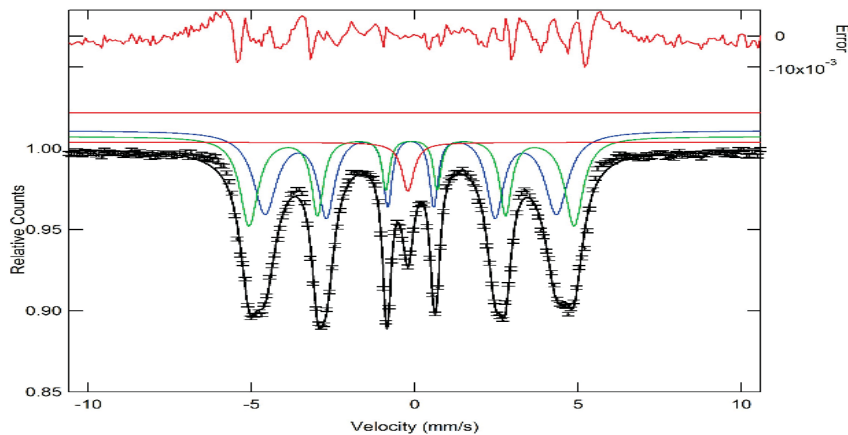


Fig. 5. Mössbauer spectrum of Fe-15,83%Mn-2,18%V alloy

As seen in the Fig.5, Fe-15,83%Mn-2,18%V alloy gives 6 (six) peaks. It is well known in Mössbauer spectroscopy that these six peaks indicates that the material represent ferromagnetic properties (or antiferromagnetic). In the studies Cotes et al.(2002) and Sumiyama et al. (1981) carried out, although the austenite (γ) and martensite (ϵ) phases of Fe-Mn alloys generally showed paramagnetic properties, α' phase is ferromagnetic. Therefore, the sextets belong to α' martensite phase in Fig.5.

In Fe-based alloys, the austenite structure is usually paramagnetic, and this phase is characterized by a single absorption line. Austenite structure shows paramagnetic properties in Fe-18,50%Mn-2,27%Cu alloy in Fig.6.

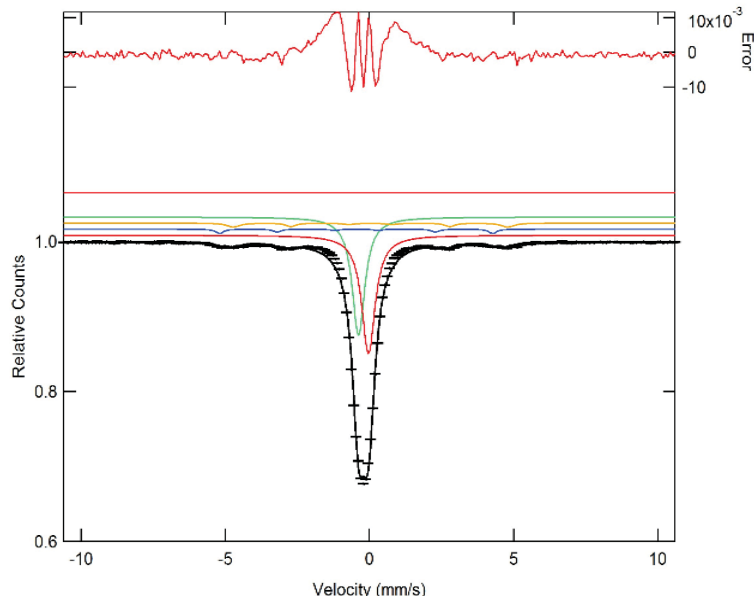


Fig. 6. Mössbauer Spectrum of Fe-18,50Mn-% 2,27Cu alloy

According to Mössbauer results, we have found out that these two alloys have two sextets and singlets as shown by Mijovilovich et al. (2000).

The formation percentages of austenite and martensite structures obtained by Mössbauer spectrometry method, hyperfine magnetic field values of martensite structure and isomer shifts values of austenite and martensite phases are given in Table 1.

Table 1. Some Mössbauer parameters of alloys

Samples	Structure	H_{eff}		$W(\text{mm s}^{-1})(\pm 0.02)$	Area (%)
		(T)(± 0.1)	I.S.($\text{mms}^{-1})(\pm 0.004)$		
Fe-%15,83Mn- %2,18V	Austenite	-	-0.1053	0.4482	6.015
	Sextet 1	30.862	0.0051	0.2794	36.871
	Sextet 2	27.671	-0.0185	0.3222	57.114
Fe-%18,50Mn- %2,27Cu	Austenite1	-	0.0734	0.5648	48.936
	Austenite2	-	-0.2717	0.5353	43.846
	Sextet 1	29.498	0.1457	0.5177	5.1797
	Sextet 2	29.357	-0.3478	0.3084	2.0384

When the results obtained from the Mössbauer spectrometer in Table 1 are evaluated, with increasing amount of martensite formed, the internal magnetic field value (H_{eff}) changes. The values of these parameters, determined from the Mössbauer spectroscopy, are directly dependent on the Fe core in the absorber. The values of the internal magnetic field in the Fe core are changes greatly depending on the number and distance of the atoms neighboring to the Fe core. As Sari et al. (2009) and Cotes et al.(2002) demonstrated each Fe atom neighboring to the Fe core is raising the internal magnetic field value of the Fe core; Fe atoms (C, Ni, Mn, Al, Cr) which are not adjacent to the Fe core, reduces the value of the internal magnetic field.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

In this study, crystallographic and magnetic properties of martensite crystals formed in Fe- 15,83%Mn-2,18%V and Fe-18,50%Mn-2,27%Cu alloys were investigated. Occuring microstructural changes were investigated by scanning electron microscopy (SEM) and it was found that martensite transformation occurred. In the SEM analysis shown in Fig. 1 and Fig.2, the ϵ martensite was formed as parallel plates and ended at the grain boundary. The austenite grains are clearly visible in alloys. The grain sizes of Fe-15,83%Mn-2,18%V and Fe- 18,50%Mn-2,27%Cu alloys are different from each other. The results of the Mössbauer studies show that the martensite formation is greater in the Fe-15.83% Mn-2.18 %V alloy than in the Fe-18.50% Mn-2.27% Cu alloy. This result is also compatible with the SEM observations. In the Mössbauer observation, Fe-15,83%Mn-2,18%V alloy gives six peaks showing ferromagnetic character. The phase formed in Fe-18,50%Mn-2,27%Cu alloy shows a paramagnetic (single peak) property. Fe-18,50%Mn-2,27%Cu alloy have a low martensite transformation, indicating that the element of Cu is an element stabilizing element. In Sarı&Kırındı (2011) studies have shown that α -martensite transformation was not observed when the Mn rate in Fe-Mn-X alloys were more than 18%. Therefore, the results in this study are consistent with the literature studies.

ACKNOWLEDGMENT

This study was financially supported by the Scientific Research Fund of Kırıkkale University . (Project Number 2013/16)

REFERENCES

- Askeland, D.R., (2003). *The Science And Engineering of Materials* (4th ed.). Thomson Learning Inc., California.
- Cotes, S.M., Cabrera, A.F., Damonte, L.C., Mercader, R.C., & Desimoni, J. (2002). Phase transformations in Fe-Mn alloys induced by Ball Milling. *Hyperfine Interactions* 141/142 409-414. doi:10.1023/A:1021204909505.
- Cotes, S.M., Cabrera, A.F., Damonte, L.C., Mercader, R.C., & Desimoni, J.(2002). Magnetic properties of ball-milled Fe–Mn alloys. *Physica B* 320 274–277. doi:10.1016/S0921-4526(02)00711-1.
- Cotes, S.M., Guillermet, A.F., & Sade, M. (2004). Fcc/Hcp Martensitic transformation in the Fe-Mn system: Part II. Driving force and thermodynamics of the nucleation process. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 23 83-91. doi:10.1007/s11661-004-0111-y.
- Jun, J.H., Kong, D.K., & Choi, C.S. (1998). The influence of Co on damping capacity of Fe–Mn–Co alloys. *Materials Research Bulletin* Vol. 33, No. 10 1419–1425. doi:10.1016/S0025-5408(98)00145-7.
- Kajiwarra, S. (1984). Continuous observation of isothermal martensite formation in Fe-Ni-Mn alloys. *Acta Metallurgica*, 32 407-413. doi:10.1016/0001-6160(84)90114-7.
- Marinelli, P., Fernandez Guillernet, A., & Sade, M. (2004). The enthalpy change of the hcp → fcc martensitic transformation in Fe–Mn–Co alloys: composition dependence and thermal cycling effects. *Materials Science and Engineering A* 373 1–9. doi:10.1016/j.msea.2003.05.006.
- Mijovilovich A., Goncalves Vieira A., Paniago R., Pfannes H.D., Mendonca Gonzalez B., (2000). Mössbauer study of the retained austenitic phase in multiphase steels. *Materials Science and Engineering A* 283, 65–69. doi:10.1016/S0921-5093(00)00620-1.
- Nishiyama, Z. (1978). *Martensitic transformations*, Academic Press, London.
- Porter, D.A., Eeasterling, K.E., & Sherif, M.Y. (2009). *Phase Transformations in Metals and Alloys* (3.ed.). CRC Press, London, New York.
- Sarı, U., Güler, E., Kırındı, T., & Dikici, M.(2009). Characterization of martensite in Fe-25%Ni-15%Co-5%Mo alloy. *Journal of Physics and Chemistry of Solid*, 70 1226-1229. doi:10.1016/j.jpcs.2009.06.013.
- Sarı, U., Kırındı, T., Yüksel, M., & Ağan, S. (2009). Influence of Mo and Co on the magnetic properties and martensitic transformation characteristics of a Fe-Mn alloy. *Journal of Alloys and Compounds* 476 160–163. doi:10.1016/j.jallcom.2008.09.047.
- Sarı, U., & Kırındı, T. (2011). Effect of Mn content on the austenite-martensite phases and magnetic properties in Fe-Mn-Co alloys. *Mataterials Chemistry and Physics*, 130(2011)738-742. doi:10.1016/j.matchemphys.2011.07.063.
- Sumiyama, B.K., Kadono, M., & Nakamura, Y. (1981). Metastable bcc Fe-Mn alloys produced by rf sputtering. *Transaction of the Japan Institute of Metals*, Vol.22, No.10 686-690. doi:10.2320/matertrans1960.22.686.



Estimation of Seismic Response of R/C Frame Structures to Vertical Earthquake Motion Considering Fixed Support and Soil-Structure-Interaction (SSI)

Selçuk Baş*¹ 

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Bartın University, 74100 Bartın, TURKEY

Başvuru/Received: 13/11/2018

Kabul/Accepted: 23/11/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Abstract

The present study aims to demonstrate the effects of vertical earthquake excitation on reinforced concrete (R/C) frame structures incorporating the approaches of Soil-Structure-Interaction (SSI) and rigid foundation. Three earthquake time-histories are regarded to properly elucidate this effect. For the linear time-history analysis (LTHA), finite element model (FEM) of a high-rise existing R/C structure designed according to Turkish Seismic Code (TSC, 2007) is developed. For the SSI analysis, the Direct Method (DM) is utilized instead of separated FEM (the Substructure Method). The comparative study is carried out between the SSI and the fixed support (FS) model under both only horizontal (H) and horizontal+vertical (HV) seismic motions. The difference between only H and H+V load cases on the basis of the considered parameters showed that vertical earthquake motion was determined not to be effective on the base shear force, and that the SSI model could be recommended to be taken into account for analysis due to resulting higher change than the FS. Noticeable increase in the overturning moment revealed that vertical load bearing elements required more bending moment capacity. The percentage increase in the base axial force is resulted as higher under H load than H+V load, which means that vertical seismic motion treats as balancing effect. Such a lower change under H+V load case is directly pertinent to damping properties of the soil media. Therefore, the columns and piers are recommended to be designed against axial force with more safety according to the outcomes from the FS model.

Key Words

“vertical earthquake motion, soil-structure interaction, fixed support system, direct method, finite element method”

1. INTRODUCTION

Seismic analysis of civil structural systems is one of the most challenging issues in the field of structural earthquake engineering due to the complexity of seismic motions. Over the last decades, certain advanced procedures for not only analysis methods but also retrofitting techniques have been continued to be developed by many researchers and the design codes (ASCE, 2007; ASCE, 2010; ASCE, 2014; Eurocode-8, 1998; IS: 1893, 2000; NBC105, 1994; NZS1170.5, 2004; TSC, 2007; UBC, 1997). In order to develop sophisticated analysis methods/design procedures, it is also essential to have reliable information for the structural behavior of load-bearing frame systems. In the seismic design stage, structural system is commonly considered to be subjected to only lateral load under earthquake motion due to high value of horizontal components of earthquakes. Vertical earthquake motion, therefore, is generally adopted in many design codes as either certain times of the horizontal component with a_{max} value or not required. This assumption is generally based on that structural elements designed under vertical service loads (dead, live etc.) have high capacity for vertical motion. In other words, vertical ground motion can be safely carried by structural system due to high vertical strength capacity of structural elements. However, unexpected severe structural damages on frame systems or total collapse of structures were reported in many post-earthquake site observations to result from vertical effects of seismic motion. For example, Loma Prieta (1989), Northridge (1994), Kobe (1995), L'Aquila (2009) and NZ sequences (2010, 2011) EQs were known to give rise to severe brittle damages on structural elements due to their high vertical (H)-to-horizontal (H) ratios (V/H).

Due to certain limitations on experimental testing of scaled laboratory model of structures under vertical seismic excitation, many researchers were concentrated on specific numerical and analytical studies as well as field reconnaissance rather than experimental tests. Abdollahiparsa et al. (2016) investigated the effects of vertical earthquake motion on steel frame structures with different story levels considering the SSI and fixed-base case of structures. They proved that vertical earthquake motion and SSI increased the demand of earthquake from structures and could lead to reaching critical capacity range of structural elements. Similar research study on R/C mid-rise building structures under vertical motion was conducted by Abd Rahim et al. (2016) taking into account SSI effect. After the seismic analysis of R/C structures under specified earthquake time-histories with V/H ration range of 0.9-1.6, the need for the consideration of SSI was underlined to better understand the response of structure to vertical earthquake motions. Certain studies were performed on the vertical motion and SSI effects under earthquake ground motion (Azari et al., 2015; Hamid Reza Tabatabaiefar et al., 2014; Tabatabaiefar et al., 2015; Tabatabaiefar et al., 2014; Yu and Liu, 2016). In these studies, two key points were generally stated that (i) vertical earthquake motion and (ii) the SSI directly affected structural behavior of buildings with increase in displacement and sectional forces. Experimental investigation was made to verify and update the advanced soil-structure model proposed by Tabatabaiefar et al. (2014). Using shake table for experimental study, they revealed that the proposed numerical model and modeling considerations were able to accurately predict the influence of SSI effect compared to the fixed base model. A comparative investigation was also done by Bas and Kalkan (2016) performing linear time-history analysis of high-rise R/C structures under only H and H+V earthquake motion. Based on the comparison, they proved that vertical earthquake motion was not effective on the shear force while the overturning moment under V+H loading was obtained four times higher than that under only H load. Accordingly, many studies in literature including the SSI and vertical earthquake motion effects generally concluded that SSI, vertical earthquake excitation and the combination of them made structure more vulnerable to seismic motion.

With the light of these studies, the effects of vertical earthquake motion on high-rise R/C frame structures are investigated in this study considering SSI and fixed support condition. The main of this investigation is to present the practical outcomes in terms critical structural parameters of the base shear force, overturning moment and base axial force when an earthquake with high V/H ratio hits R/C frame structures considering the different modeling approaches of fixed support and SSI. For this objective, a typical existing high-rise R/C frame structure designed as per the provisions of TSC (2007) is adopted. The R/C structure is excited by two different load cases, which are only horizontal (H) and horizontal + vertical (H+V). Comparing the linear time-history analyses (LTHA) results obtained from the SSI and fixed support model for each load case stated above, vertical seismic motion influence is estimated depending on the engineering parameters of the base shear force, base axial force and overturning moment. According to the estimations in the study, this study is also aimed to help those in the field of structural engineering to utilize which modeling technique, SSI or fixed support, is more accurate to regard vertical seismic motion in the design stage of R/C structures.

2. EARTHQUAKE RECORDS FOR LINEAR TIME-HISTORY ANALYSIS (LTHA)

The earthquake records shown in Figure 1 are determined based on the V/H ratio to clearly indicate the influence of vertical earthquake motion according to the considered engineering parameters. Since reflecting the general features of near-fault effect, 1979 Imperial Valley ($M_w=6.53$), 1995 Kobe ($M_w=6.90$) and 1999 Kocaeli ($M_w=7.4$) records are used in the LTHA. In addition, these earthquakes are specifically selected due to leading to non-ductile structural damages observed in the site observations after these earthquakes. General properties of the records are presented in Table 1. Taking into account a limit distance of 15 km to fault source, the distance to source (Δ) of the earthquakes is specified within the range of 1.35 km -11.0 km as given Table 1. As depicted in Figure 1, the earthquake duration of 1999 Kobe EQ is higher than 1979 Imperial Valley EQ and 1999 Kocaeli EQ, respectively. The earthquake ground motions are recorded on soft soil deposits and they are resulted from the strike-slip fault mechanism. General consideration for the number of earthquake records to be utilized in the response history analysis is to use three or seven earthquake motions as stated in ASCE (2010), TSC (2007) and Reyes and Kalkan (2011). Therefore, three earthquake motions are considered in the present study and critical value for the engineering parameters is determined according to max. value of three

earthquake records. All data of the earthquakes are obtained using the open access database of PEER (2015). As revealed in Figure 2, frequency response analyses of the earthquakes are also performed to identify effective vibration frequency of horizontal (H) and vertical (V) record. High period range is obtained for horizontal component of all earthquakes and vertical component of Kobe and Kocaeli EQs, but low period range is seen for vertical earthquake component of Imperial Valley EQ as depicted in Figure 2.

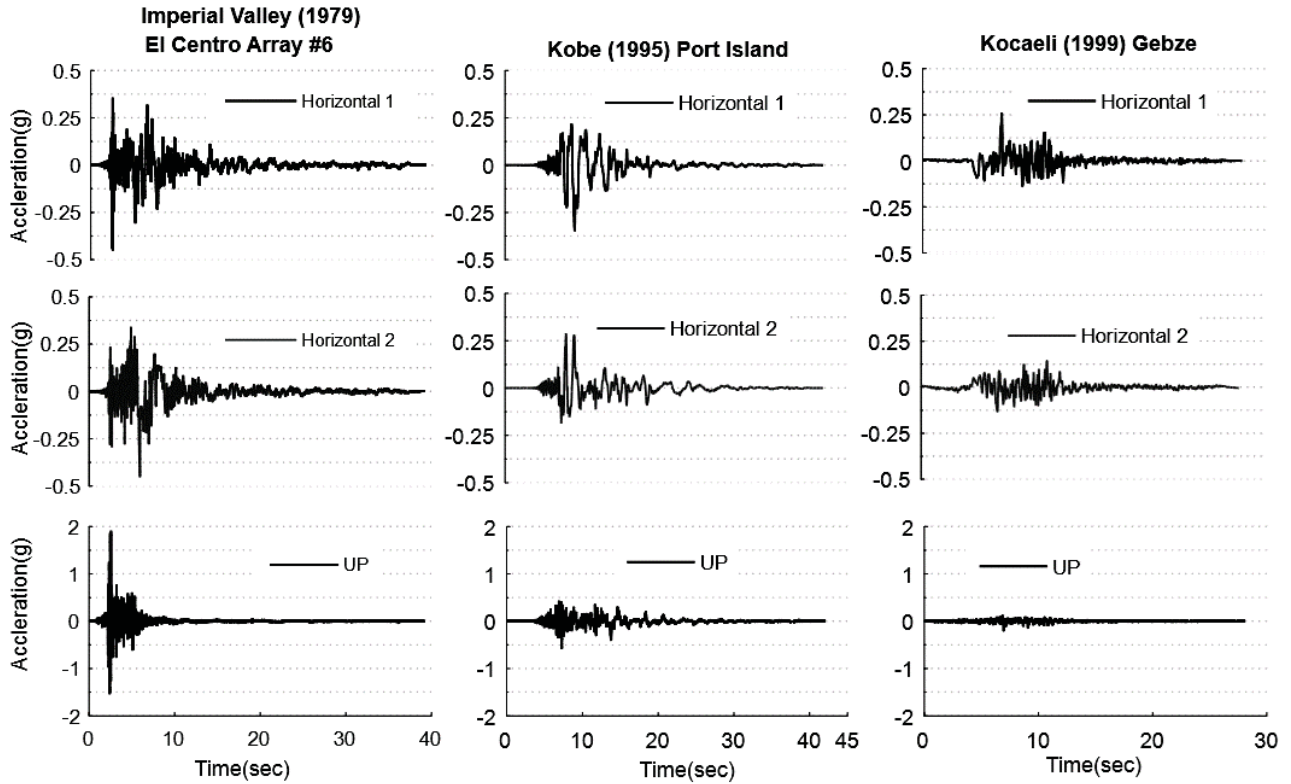


Figure 1. Earthquake records used in the LTHA

Table 1. Properties of the considered earthquakes

Year	Earthquake	Station	Δ [km]	PGA (g)			V/H
				H ₁	H ₂	V	
1979	Imperial Valley	El Centro Array #6	1.35	0.45	0.44	1.90	4.31
1995	Kobe	Port Island	3.31	0.35	0.29	0.57	1.96
1999	Kocaeli	Gebze	10.92	0.26	0.14	0.19	0.73

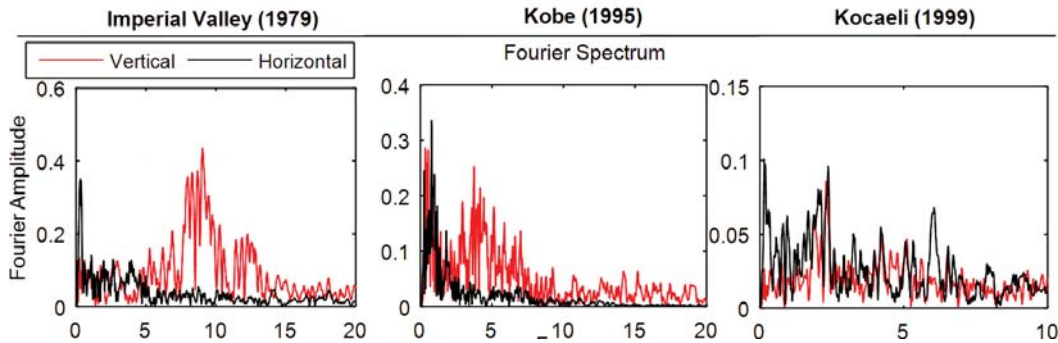


Figure 2. Frequency contents of the earthquake records

3. NUMERICAL FE MODEL OF R/C STRUCTURE AND SIOL ZONE FOR SSI

3.1. FE Model of the R/C Structure and Modeling Considerations

Structural model for the LTHA is selected as existing high-rise R/C semi-ductile system having shear wall and column-beam frames. As shown in Figure 3(b), the height of the structure with ten stories is 45.0 m, and the story height is 4.5 m. The test structure is designed according to specifications of TSC (2007). The same floor plan for each story is given in Figure 3(a). All columns and shear walls are located on the plan symmetrically, and no cantilever elements are considered in the project of the structure. Therefore, no irregularity condition is defined for the structure. More details related to design and analysis of the structure are summarized in Table 2.

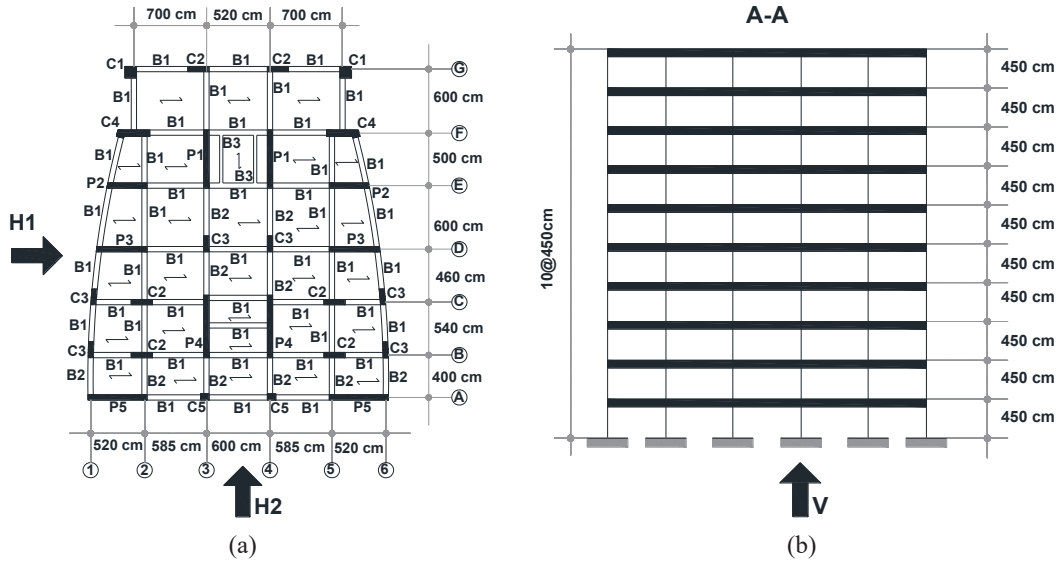


Figure 3. (a) Floor plan (b) Elevation of test structure

Table 2. General properties of the test structure

Number of stories:	10
Story height (m):	4.5
Occupation type:	Municipality
Structural system:	Shear-wall-frame ($R=7$)
Concrete grade:	C35 ($f_{ck}=30$ MPa)
Reinforcement grade:	S420 ($f_{yk}=420$ MPa)
Live load participation factor (n):	0.3
Dead and Live load:	7.50 and 5.0 kN/m ²
Total mass =10 x floor mass:	10x1342.6 (ton)=13426 (ton)
Seismic zone:	1 st ($A_0=0.4$)
Importance factor (I):	1.5
Type of the ground:	Z3 ($T_a=0.15$ s, $T_b=0.60$ s)

Considering the complementary properties of the test structure, FE model of the R/C building is established using SAP2000 (2015) structural analysis software. For this aim, columns and beams are modeled as frame element. Shell element is assigned to slab and shear wall, and for the mat foundation with the height of 1.0 m, plate element is defined. Rigid diaphragm condition is considered for each different level story of the structure, which is necessary to safely transfer earthquake load to other frames and to provide no to be out-of-plane response of concrete slab. The completed FE model of the structure and its 3-D view are shown in Figures 4(a)-4(b), respectively.

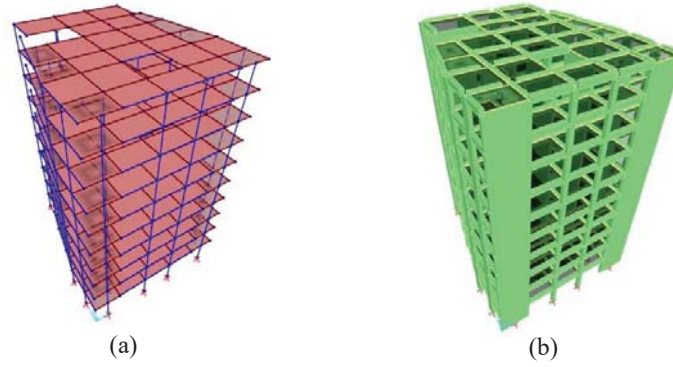


Figure 4. (a) FE model (b) 3-D view of the structure

3.2. FE Model of Soil Medium and SSI Method

Soil zone under the foundation has infinite dimensions in reality, but finite element soil zone can be considered when properly reflecting the boundary condition around the separated surface of infinite soil zone. Modeling of soil zone is directly dependent on SSI method to be adopted. In literature, the SSI methods are regarded as two approaches: (i) Direct Method (ii) Substructure Method (Aydemir and Ekiz, 2013; Aydinoğlu, 1993; Far, 2017; Lou et al., 2011; Lysmer and Kuhlemeyer, 1969). In the direct method, soil and structure are modeled together, and coupled response is thus taken into account. The substructure method is based on assumption that soil and structure are modeled separately and coupled effect is considered indirectly. More details for these methods are given in the study of Aydinoğlu (1993). The equation of motions proposed for dynamic soil-structure-interaction and solving these equations are considerably complex. General governing equation of motion for SSI is as given in Eq. (1).

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = -[M]\{\ddot{x}_g\} + \{F_V\} \quad (1)$$

where, $\{\ddot{x}\}$: acceleration, $\{\dot{x}\}$: velocity and $\{x\}$: nodal displacements of the common nodal points between foundation and top level surface of soil medium. $[M]$, $[C]$ and $[K]$ are the mass matrix, the damping matrix and stiffness matrix, respectively. $\{\ddot{x}_g\}$: the earthquake excitation acceleration and $\{F_V\}$: force vector resulting from the boundary condition. Since the direct method enables to develop a unified soil-structure FE model, the equation of the motion can be solved only with estimating near-field effects. In this study, direct method is adopted for SSI, and the main composing elements of structure, common nodes, soil foundation system and earthquake excitation at the bedrock level are depicted in Figure 5.

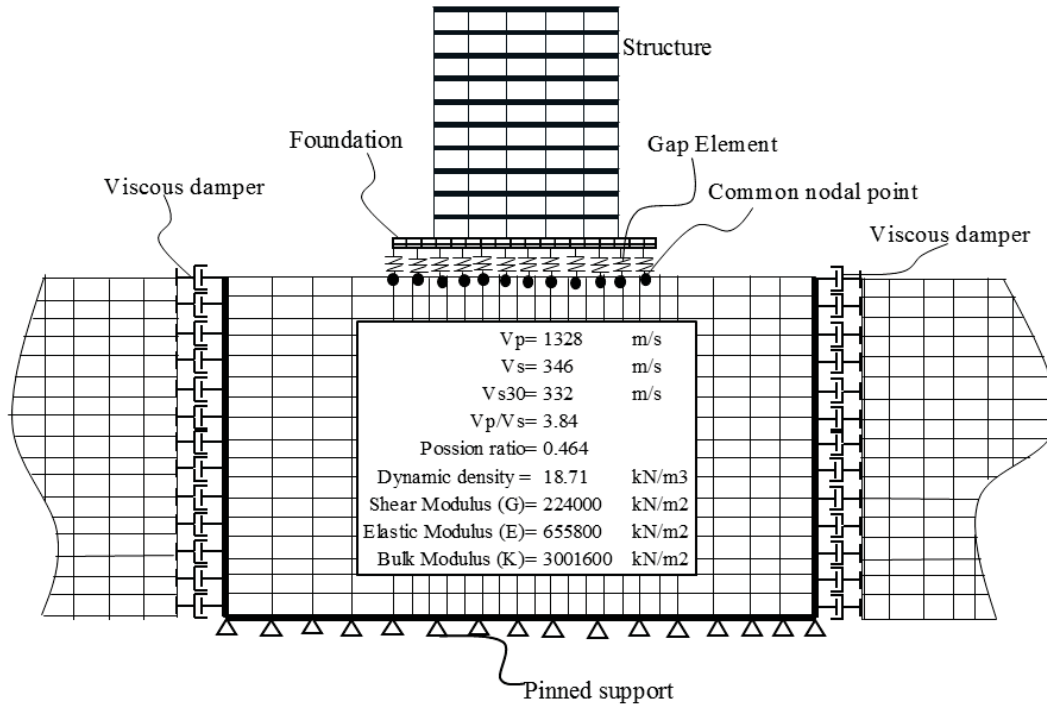


Figure 5. Schematic representation of FE modeling for SSI with transmitting boundaries

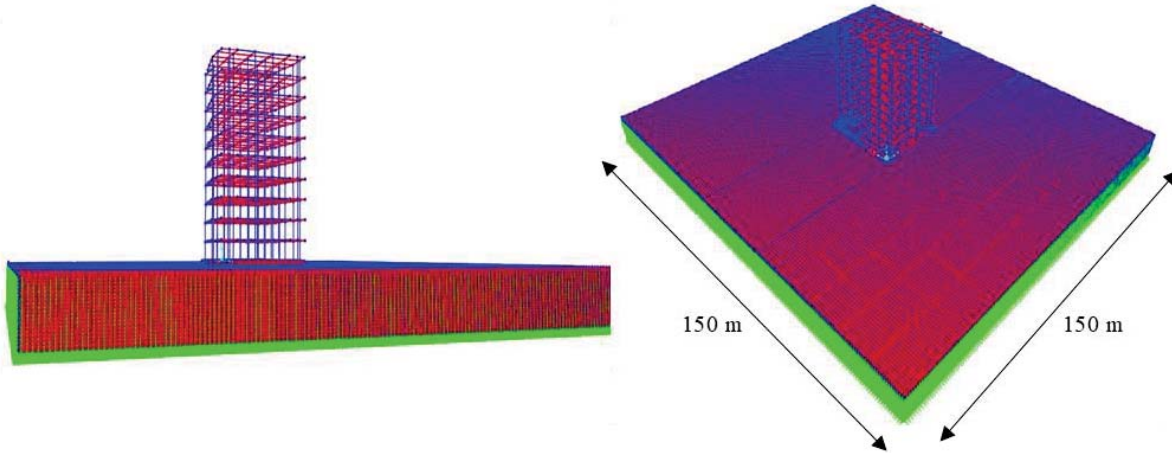


Figure 6. Entire FE model of the soil-structure system through direct method

According to the direct method, the far-field effect of unbounded infinite soil medium is tried to be reflected by the boundary conditions: (i) free boundaries (ii) tied boundaries and (iii) transmitting boundaries (viscous boundary) (Aydinoğlu, 1993; Manafpour and Moradi, 2012). Thus, the soil medium in the current study is established as elastic solid element considering the parameters of Standard Penetration Test (SPT) results. For the interface between the near-field and far-field, viscous dampers are used in the vertical and horizontal direction as revealed in Figure 5, and damping coefficient is calculated with Eq. (2) proposed by Lysmer and Kuhlemeyer (1969). In this finite modeling method of soil media, they revealed that the infinite media might be considered as two parts: the near field and far field. The soil part corresponding to near-field should be considered directly modeling the soil while the rest of the infinite soil media could not be included in the model provided that a transmitting soil interface as shown in Figure 5 was defined and damper far-field were assigned to all points on this interface utilizing Eq. (2). Based on these modeling considerations, the entire FE model of the soil structure is established as shown in Figure 6. In the FE model, the dimension of the bounded soil media is assumed as 150mx150m that is five times of the dimensions of the mat foundation of the structure.

$$C_h = -\rho \cdot V_p \cdot A; C_v = -\rho \cdot V_s \cdot A \quad (2)$$

where, C_h : horizontal viscous damping coefficient, C_v : vertical viscous damping coefficient, V_p : compressive shear wave velocity and V_s : shear wave velocity, A = effective nodal area and ρ =mass density.

4. LINEAR TIME-HISTORY ANALYSIS (LTHA)

In order to compare the results from the SSI with those from the FS model, the linear-time history analysis (LTHA) is performed in this study. For this aim, Rayleigh damping ratio calculated according to the modal damping ratio of %5 is considered for the test structure. This value is taken as 4.5% for the soil media modeled with solid elements. Besides, the non-linear dead-load analysis is also done as an initial condition for the LTHA. Thus, the dead-load deformed shape is considered for the LTHA, which gives rise to a change in the stiffness matrix of the structural system. For more accurate results, 50 modes are also taken into consideration for the LTHA. Specifically selected earthquake records as shown in Figure 1 are applied to the SSI model at the bedrock level. Therefore, the displacement time-histories of the records considered are used for this model instead of the acceleration time-histories that are used in the FS model.

As depicted in Figure 7, no change in the base shear force during earthquake is obtained as expected before the analysis of SSI model. This result is mostly based on that the base shear force is more sensitive to horizontal components of earthquake than that of vertical component. As a result, vertical earthquake motion is concluded not to be effective on the base shear force. The percentage change in the base shear force is also given in Table 3. In order to determine the influence of the SSI model with soil on the fixed support model (FS) with no soil, these models having different modeling approach are compared for H and H+V load conditions. The SSI model is estimated from the comparison to result in higher base shear value than the FS model regardless of loading condition. Hence, it is recommended to utilize the SSI model instead of FS model to make reliable seismic design of building structures. When it comes to percentage change in the base shear force according to the earthquakes, Kobe and Kocaeli EQs give higher percentage value from Imperial Valley EQ. The high change is estimated with close frequency values of them to the natural vibration frequency of the R/C building.

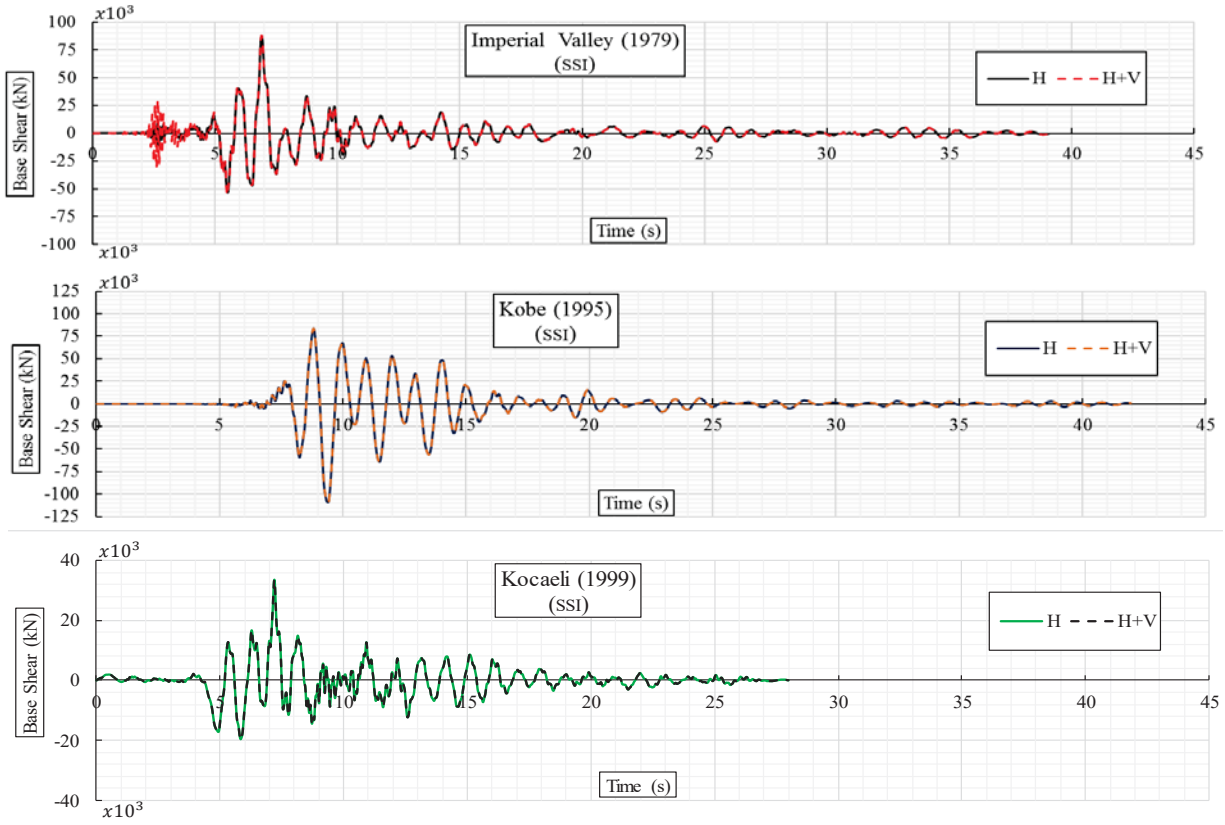


Figure 7. Variation of the base shear force of the SSI model in earthquake duration

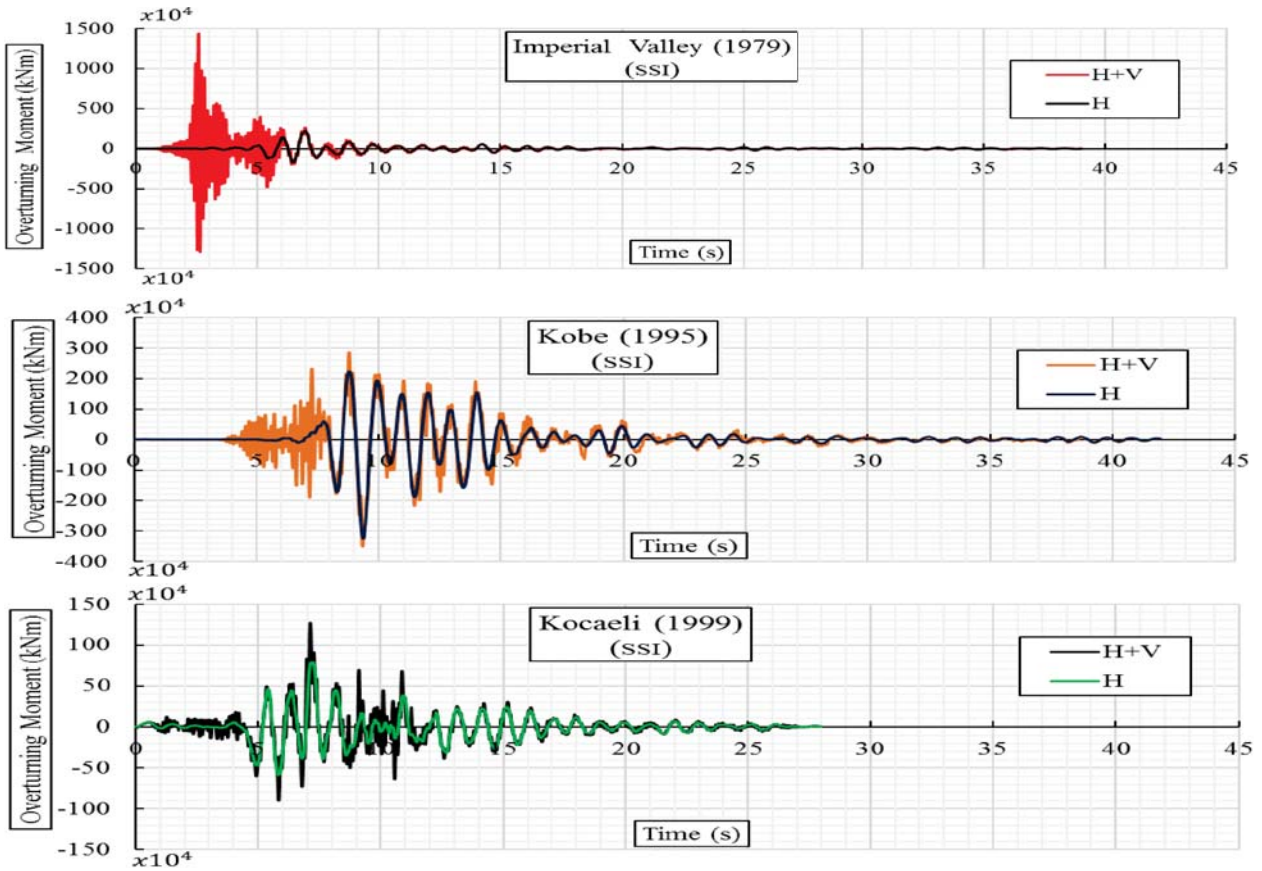


Figure 8. Variation of the overturning moment of the SSI model in earthquake duration

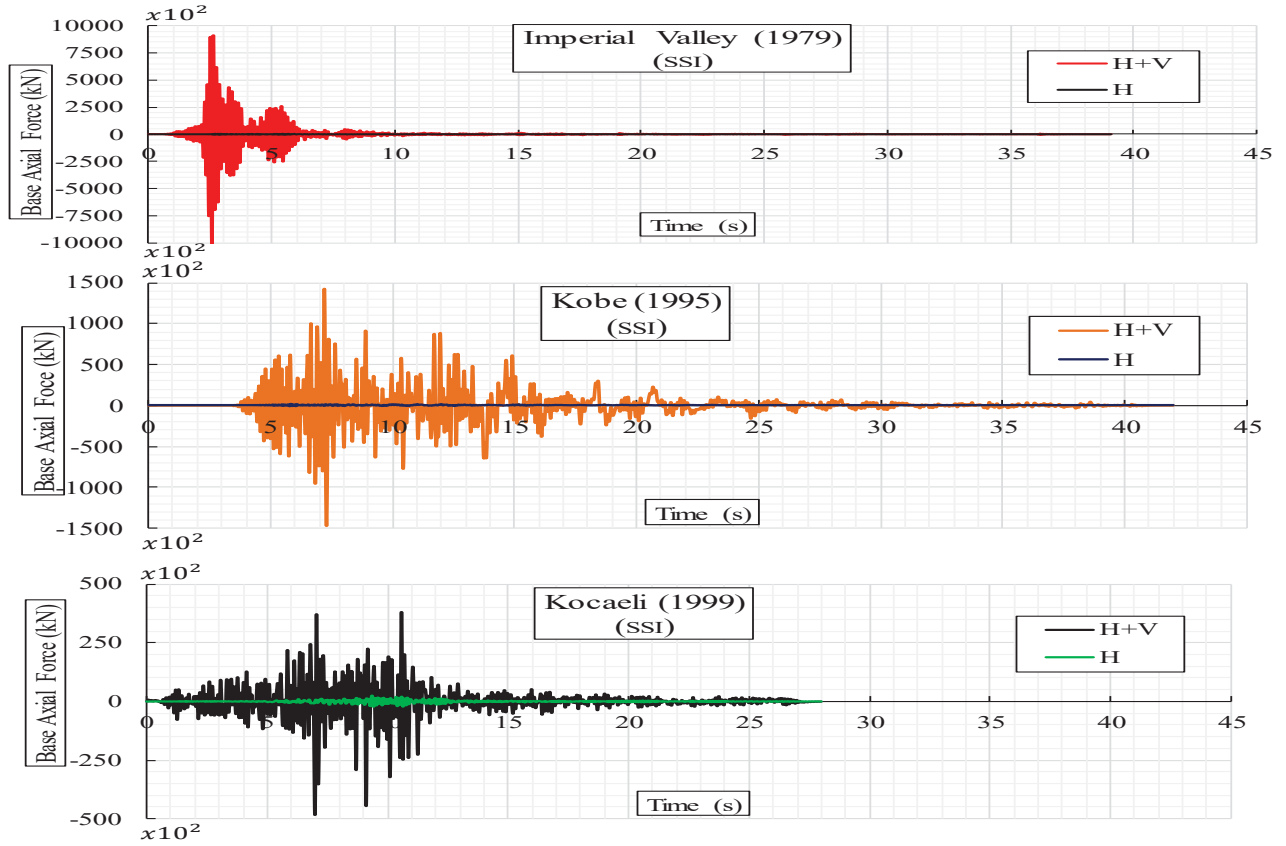


Figure 9. Variation of the base axial force of the SSI model in earthquake duration

Table 3. Max. percentage change value in the engineering parameters

Base Shear Force (kN)				
EQs	H	H+V	Change % (H+V/H)	
	Change % (SSI-FS)	Change % (SSI-FS)	% (FS)	% (SSI)
Imperial Valley	4	4	0.0	0.3
Kobe	61	62	-0.2	0.5
Kocaeli	28	28	0.0	0.1
Overturning Moment (kNm)				
EQs	H	H+V	Change % (H+V/H)	
	Change % (SSI-FS)	Change % (SSI-FS)	% (FS)	% (SSI)
Imperial Valley	-7	52	301	554
Kobe	61	47	21	10
Kocaeli	-91	-86	9	60
Base Axial Force (kN)				
EQs	H	H+V	Change % (H+V/H)	
	Change % (SSI-FS)	Change % (SSI-FS)	% (FS)	% (SSI)
Imperial Valley	427	55	71786	21095
Kobe	811	54	69176	11584
Kocaeli	1038	52	14587	1856

Unlike to the base shear force, the overturning moment is highly affected from the consideration of vertical seismic motion as shown in Figure 8. In all earthquakes, the higher overturning moment values are estimated for both H and H+V load cases, but those obtained from H+V analysis are higher than that from H analysis. In addition, the overturning moment estimation is done using SSI model instead of FS model due to noticeable increase in SSI model. According to results given Table 3, the percentage increase in the overturning moment is determined compatible with the V/H ratio. Considerable increase in the overturning moment is predicted that vertical load bearing elements such as, columns and piers need to more strength capacity in terms of bending moment. In other words, the flexural strength capacity of these structural elements should be considered as high when vertical earthquake excitation will adopted in the analysis.

As predicted before the LTHA, the highest increase among the other parameters is obtained in the base axial force. The variation of the base axial force is demonstrated in Figure 9, and the value of this change is given in Table 3 in terms of percentage for each earthquake. However, the percentage increase is resulted as higher under H load than H+V, which means that vertical seismic motion treated as balancing effect. Similarly, the SSI model is obtained to give lower results than FS model. This lower change is directly pertinent to damping properties of the soil media. In the current study, the bounded soil media as given in Figure 6 is developed taking into account elastic soil with 4 % damping ratio. With the relatively high increase in the base axial force, current axial force capacity of columns and piers at the 1st floor, which was designed according to only H load, is estimated not to provide sectional axial force demand from the earthquakes for both the SSI model and H+V load case.

5. SUMMARY AND CONCLUSIONS

In the present investigation, the consideration of the vertical earthquake motion is studied through the comparison of the base shear force, base axial force and overturning moment between only horizontal earthquake motion (H) and horizontal + vertical earthquake motion (H+V) for each modeling assumption of soil-structure-interaction (SSI) and fixed support condition (FS). After selecting well-known earthquake motions that reflects the effects of near-field earthquake according to vertical-to-horizontal-ratio (V/H) in terms of max. acceleration, FE model of high-rise R/C test structure is developed using different element and connection models of frame, shell, plate, gap, link and damper. Similar efforts are also made for developing SSI model including soil medium according to the SSI method. One of the SSI methods, the Direct Method, is adopted for this aim by modeling structure and infinite soil zone all together that also provides to consider the couple effect on considered engineering parameters. For the modeling soil zone, transmitting boundary condition is used and modeled as damper element according to the soil parameter obtained from the field-test of SPT. Pinned support connection is assigned to the nodes at the bedrock level where earthquake motion is applied. Based on these considerations related to modeling and method, the linear time-history analysis (LTHA) of the test structure is performed, and the results from the LTHA are presented in comparative manner for the considered engineering parameters. Thus, following main practical outputs are given below,

- As expected, no change in the base shear force under H+V load is obtained for the SSI and FS models, which means that vertical earthquake motion is not effective on this parameter. Therefore, no failure/damage, such as shear failure is not estimated on vertical load bearing elements upon considering vertical earthquake motion. When comparing the SSI model and FS model, the SSI model yields to higher results than FS model. So, structural design is recommended to be made utilizing the SSI model instead of the FS model.
- Higher overturning moment values are estimated for both H and H+V load cases, but those obtained from H+V analysis are higher than that from H analysis. The percentage increase in the overturning moment is determined compatible with the V/H ratio. The overturning moment estimation is recommended to be performed using SSI model instead of FS model due to noticeable increase in SSI model. Considerable increase in the overturning moment is predicted that vertical load bearing elements such as, columns and piers need to more strength capacity in terms of bending moment.
- The highest increase among the other parameters is obtained in the base axial force. However, the percentage increase is resulted as higher under H load than H+V, which means that vertical seismic motion treated as balancing effect. This lower change under H+V load case is directly pertinent to damping properties of the soil media. Therefore, design of columns and piers against axial force is recommended to be made for more safety according to the outcomes from the FS model.

Based on these conclusions, the effects of dimensions of the bounded soil media on the analyses results can estimated considering different dimensions instead of that in the current study. General estimations can be made by repeating the LTHA according to different soil types. For more realistic damage analyses, non-linear direct time-integration response history analysis of the test structure is recommended to be conducted.

6. REFERENCES

Abd Rahim, SM., Mohd Zahid, MZA., Wan Omar, WMS., Bin Ab Rahim, MA. & Faisal, A. (2016). Assessment of reinforced concrete building with soil structure interaction effect under vertical earthquake. *In: Materials Science Forum*, Kaohsiung, Taiwan, 2016. pp 331-336. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.857.331

- Abdollahiparsa, H., Homami, P., Khoshnoudian, F. (2016). Effect of vertical component of an earthquake on steel frames considering soil-structure interaction. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20, 2790-2801. doi:10.1007/s12205-016-0687-y
- ASCE (2007). *Seismic rehabilitation of existing buildings*, ASCE/SEI 41-06. American Society of Civil Engineers, Reston, VA
- ASCE (2010). *Minimum design loads for buildings and other structures*, ASCE/SEI 7-10. American Society of Civil Engineers, Reston, VA.
- ASCE (2014). *Seismic rehabilitation of existing buildings*, ASCE/SEI 41-13. American Society of Civil Engineer, Reston, VA.
- Aydemir, ME. & Ekiz, I. (2013). Soil–structure interaction effects on seismic behaviour of multistorey structures. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 17, 635-653. doi:10.1080/19648189.2013.810177
- Aydinoğlu, MN. (1993). Consistent formulation of direct and substructure methods in nonlinear soil-structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 12, 403-410. doi:https://doi.org/10.1016/0267-7261(93)90003-A
- Azari, B., Fatahi, B. & Khabbaz, H. (2015). Numerical analysis of vertical drains accelerated consolidation considering combined soil disturbance and visco-plastic behaviour. *Geomechanics and Engineering* 8, 187-220. doi:10.12989/gae.2015.8.2.187
- Bas, S. & Kalkan, I. (2016). The effects of vertical earthquake motion on an R/C structure. *Structural Engineering and Mechanics* 59, 719-737. doi:10.12989/sem.2016.59.4.719
- Eurocode-8 (1998). *Design provisions for earthquake resistance of structures - Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects*. CEN European Committee for Standardization, Brussel, Belgium.
- Far, H. (2017). Advanced computation methods for soil-structure interaction analysis of structures resting on soft soils. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 1-8. doi:10.1080/19386362.2017.1354510
- Hamid Reza Tabatabaiefar, S., Fatahi, B., Samali, B. (2014). An empirical relationship to determine lateral seismic response of mid-rise building frames under influence of soil–structure interaction. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 23, 526-548. doi:doi:10.1002/tal.1058
- IS:1893 (2000). *Indian standard criteria for earthquake resistant design of structures*. New Delhi, India.
- Lou, M., Wang, H., Chen, X., & Zhai, Y. (2011). Structure–soil–structure interaction: literature review. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31, 1724-1731. doi:https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2011.07.008
- Lysmer, J. & Kuhlemeyer, RL. (1969). Finite dynamic model for infinite media. *Journal of the Engineering Mechanics Division (ASCE)*, 95, 859-878
- Manafpour, AR., Moradi, V. (2012). Investigating conventional FE modelling for dynamic soil-structure interaction under horizontal and vertical ground motions. In: *The 15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal.
- NBC105 (1994). *Nepal national building code*. Ministry of Physical Planning and Works Department of Urban Development and Building Construction, Babar Mahal, Kathmandu, Nepal.
- NZS1170.5 (2004). *Structural Design Actions Part 5: Earthquake Actions-New Zealand Standards*
- PEER (2015) *The Pacific earthquake engineering research center ground motion database*, Berkeley, CA
- Reyes, JC. & Kalkan, E. (2011). Required number of records for ASCE/SEI 7 ground-motion scaling procedure. *U.S. Geological Survey*, US.
- SAP2000 (2015). *SAP 2000 v17.2 Integrated finite element analysis and design of structures*. Computers and Structures Inc, Berkeley, CA.
- Tabatabaiefar, HR., Fatahi, B., Ghabraie, K. & Zhou, W-H. (2015). Evaluation of numerical procedures to determine seismic response of structures under influence of soil-structure interaction. *Structural Engineering and Mechanics*, 56, 27-47.
- Tabatabaiefar, SHR., Fatahi, B. & Samali, B. (2014). Numerical and experimental investigations on seismic response of building frames under influence of soil-structure interaction. *Advances in Structural Engineering*, 17, 109-130. doi:10.1260/1369-4332.17.1.109

TSC (2007). Specification for buildings to be built in earthquake zones. Ministry of Public Work and Settlement, Ankara, Turkey

UBC (1997). Uniform Building Code, US

Yu, J. & Liu, X. (2016). The influence of vertical ground motion on the seismic behavior of RC frame with construction joints. *Earthquake and Structures*, 11, 407-420. doi:10.12989/eas.2016.11.3.407



B₄C Takviyeli Magnezyum (AZ91) Matrisli Kompozitlerin Mikroyapısal Karakterizasyonu

Microstructural Variations In Cast B₄C-Reinforced Magnesium Matrix Composites

Işıl Kerti*¹

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Davutpaşa Kampusu, 34210, Esenler, İstanbul,

Başvuru/Received: 01/02/2018

Kabul/Accepted: 05/06/2018

Son Baskı/Final Edition: 31/01/2019

Öz

B₄C takviyeli Magnezyum matrisli kompozit malzemelerden beklenen yüksek sertlik, aşınma direnci ve rijitlik özelliklerinin elde edilebilmesi için B₄C ile sıvı magnezyum arasındaki ıslatma sorununun giderilmesi çok önemlidir. Bu çalışmada, % 5 ve %10 B₄C ile takviye edilmiş magnezyum matrisli (AZ91) kompozit malzemeler 750°C'de karıştırma döküm yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin mikroyapı ve matris/takviye arayüzleri Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak, matris/takviye arasındaki reaksiyon tabakası EDS analizi ve X-ışını haritalaması ile karakterize edilmiştir. Yüksek çözünürlüğe sahip FEG-SEM ile yapılan mikroyapısal inceleme sonucunda, arayüzeyde oluşan ince tabakanın Mn-C ve Al-B bileşiklerinden oluştuğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Kompozit, Magnezyum, Arayüzey, Bor karbür, Karıştırma döküm, AZ91”

Abstract

It is very important to overcome the wetting problem between B₄C and liquid magnesium so that the high hardness, wear resistance and stiffness properties expected from B₄C reinforced Mg matrix composite materials can be obtained. In the present work, Magnesium matrix (AZ91) composites reinforced with 5 and 10%(wt.) B₄C_P were produced by using stir casting method at 750°C. Microstructure and matrix/reinforcement interfaces of produced composites were have been characterized using scanning electron microscopy (SEM) studies. The reaction layer between matrix/reinforcement was also characterized with EDS analysis and X-ray mapping. It was found from the microstructural observations by high resolution field emission gun SEM (FEG-SEM) that the wetting improved by the formation of very thin Mn-C and Al-B reaction layers.

Key Words

“Composite, Magnesium, Interface, Boron Carbide, Stir Casting, AZ91”

1. GIRIŞ

Malzeme tasarımında, düşük maliyet, hafiflik, tokluk ve çevresel etki gibi kriterler, her geçen gün daha fazla önem kazanmaktadır, günümüzün geleneksel malzemeleri bu ihtiyaçların karşılanmasında yetersiz kaldığı için daha üstün özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilmeye başlanmış ve bu konuda hızlı bir gelişme sürecine girilmiştir. Özellikle motorlu taşıt üreticilerinin yakıt tüketimini ve karbon emisyonunu düşürmeyi hedeflemeleri nedeniyle, taşıt araçlarında kompozit malzemeler kullanımı, sahip oldukları yüksek mukavemet/hafiflik oranı nedeniyle geleneksel malzemelere göre daha önemli hale gelmiştir. (Tokaji, K., (2005), Lopez, V.H. ve arkadaşları (2003)).

Metal matrisli kompozitlerde (MMK) SiC, Al₂O₃, B₄C, TiC ve Si₃N₄ gibi malzemeler takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır (Shorowordi, K. M. ve arkadaşları (2003), Rajan, T. P. D. ve arkadaşları (1998), Kerti, I., (2005)). Metallerin süneklik ve tokluk, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek elastik modülü özelliklerinin birleştirilmeleri neticesinde son derece önemli mühendislik malzemeleri olan MMK'ler ortaya çıkmaktadır (Özdin, K., (2006), Toptan, F., (2011)). Geçiş metallerinin karbürlerinin, borürlerinin ve nitrürlerinin ıslatılabilirliklerinin, kovalent ve iyonik bağlı seramiklere göre daha yüksek olduğu bilinmektedir (Kennedy, A.R., Karantzalis, A.E., (1999)).

B₄C sahip olduğu yüksek rijitlik ve sertlik, yüksek darbe ve aşınma direnci, yüksek ergime sıcaklığı, yüksek kimyasal direnç, üstün mekanik ve fiziksel özellikleri sayesinde MMK ler için cazip bir takviye malzemesidir (Zhang, H. ve arkadaşları (2004), Aizenshtein, M. ve arkadaşları, (2005), Jung, J., Kang, S., (2004), Zhu, X. Ve arkadaşları (2008), Shrestha, N.K. ve arkadaşları (2005), Khan, K.B., Kutty, T.R.G., Surappa, M.K., (2006)). Ancak, B₄C tozlarının maliyetinin, SiC veya Al₂O₃ gibi takviye malzemelerine göre daha yüksek olması, B₄C takviyeli MMK'ler üzerinde yapılan araştırmaların kısmen sınırlı kalmasına yol açmaktadır.

Magnezyum ve alaşımları günümüzde modern hafif yapılar için önemli bir malzeme olarak kabul edilmektedir. Magnezyumun 1,7 g/cm³'lük düşük yoğunluğu ile alüminyumla hemen hemen aynı dayanım değerine sahip olmasına rağmen ağırlık olarak alüminyumdan %36, demirden %78 daha hafiftir. Bu nedenle magnezyum matrisli kompozitler (Mg-MMK) düşük yoğunluk ve yüksek dayanımları sayesinde özellikle ağırlık tasarrufu gerektiren otomotiv ve havacılık uygulamaları için cazip hale gelmektedir (Atalay O., (2006)).

Günümüzde, sağladığı birçok avantaj ile kullanım alanları giderek artan magnezyum esaslı kompozit malzemeler, ticari saflıktaki magnezyum ve magnezyum alaşımlarından daha yüksek mekanik özelliklere sahiptir (Demir, A., (2006)). Magnezyumun düşük elastite modülü ve artan sıcaklıkla azalan dayanımı kullanımını sınırlarken, Al₂O₃, B₄C, SiC ya da TiC gibi farklı partiküllerin takviyesi ile bu özellikler iyileştirilebilmektedir.

Bu çalışmada üretilen Mg-B₄C kompozitlerinde, arayüzeyde üretim sırasında in-situ olarak oluşan Mn-C ve Al-B reaksiyon tabakasının magnezyumun bor karbür üzerindeki ıslatılabilirliğini artırdığı ve bu sayede kompozitlerin kısmen yüksek partikül ilave verimi ile (yaklaşık %85) üretilebildiği sonucuna varılmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

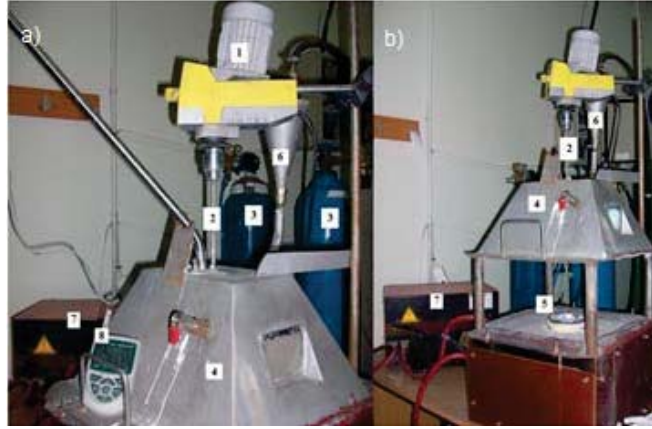
Çalışmada, matris malzemesi olarak, kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilen AZ91D magnezyum döküm alaşımı; takviye malzemesi olarak, Alfa Aesar (USA) dan temin edilen ortalama partikül boyutu 32 µm ve spesifik yüzey alanı 0,253 m²/g olan B₄C partikülleri kullanılmıştır.

Tablo 1. AZ91D Alaşımının Kimyasal Bileşimi

Alaşım	Al	Mn	Zn	Si	Cu	Ni	Fe	Be
AZ91D	8.5-9.5	0.2-0.3	0.45-0.90	0.05	0.025	0.01	0.04	0.0015

Kompozit malzemelerin üretimi karıştırmalı döküm (vortex) yöntemi ile koruyucu atmosferli indüksiyon fırını (Şekil 1) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ergitme aşamasında kontaminasyonun engellenmesi amacıyla grafit pota ve karıştırıcılar bor nitrür ile kaplanmıştır. Ergitme işlemi argon gazı altında gerçekleştirilirken, karıştırma işlemi için dört kanatlı paslanmaz çelikten imal edilmiş karıştırıcı kullanılmıştır. Yapılan tüm dökümlerde, matris malzemesi olarak 450 gram magnezyum döküm alaşımı (AZ91D) kullanılmıştır. B₄C tozları ilave edilmeden önce, yüzeylerindeki kirliliğin giderilmesi, absorbe olmuş gazların ayrılması ve nemin giderilmesi için 105°C'ta 2 saat ön ısıtılmıştır. Yüksek karıştırma hızlarında gaz çözündürme oranı arttığından karıştırma hızı olarak vorteksin olduğu 500 devir/dakika seçilmiştir. Ergiyik, silindirik şekilli önceden 105°C sıcaklığa ısıtılmış kokil kalıba dökülmüştür.

Döküm parçalarından numuneler alınmış ve elmas zımpara ve süspansiyonlar ile metalografik incelemeler için hazırlanmıştır. Mikroyapılar, EDX donanımlı JEOL JSM-5410 ve JEOL JSM 7000F FEG-SEM tarama elektron mikroskopları (SEM) kullanılarak incelenmiştir.

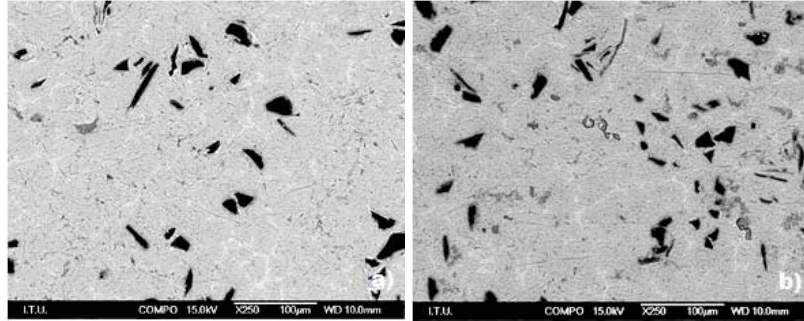


Şekil 1. Özel tasarım induksiyon fırını a) Deney düzeneğinin kapalı görünümü b) Deney düzeneğinin açık görünümü (1. Mekanik karıştırıcı, 2. Karıştırıcı şaft 3. Argon tüpü, 4. Fırın kapağı, 5. BN Kaplı grafit pota, 6. Takviye besleyici 7. Güç Ünitesi, 8. Sıcaklık kontrolü (Termokupl))

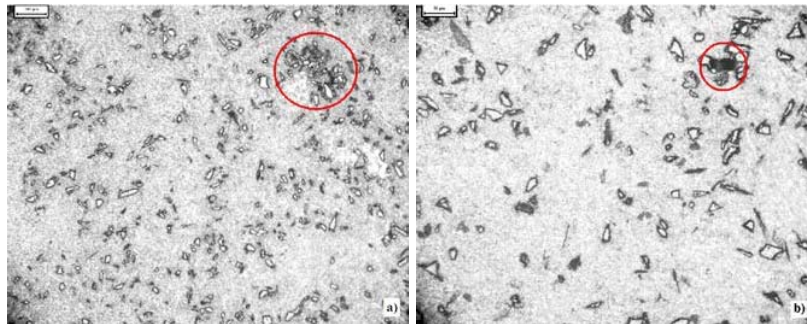
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Döküm numunelerinin mikroyapıları incelendiğinde, Şekil 2’de görüldüğü gibi, takviye malzemesinin, yapı içinde homojen olarak dağıldığı belirlenmiş, ancak az da olsa yer yer toplanmaların ve porozitelerin olduğu görülmüştür (Şekil 3).

Karıştırmalı dökümün başarılı olabilmesi için ıslanabilirliğin iyi olması gerekmektedir. Artan viskozite nedeniyle partiküllerin ergiyik içerisine ilavesinde bazı zorluklar ortaya çıkmakta, partikül toplanması veya dağılımının homojen olmaması gibi mikroyapısal homojensizlikler oluşabilmektedir. Karıştırma hızı, karıştırıcı şekli, boyutu ve ergiyik içerisindeki konumu gibi çeşitli etkenler MMK’lerin mikroyapısal dolayısıyla mekanik özelliklerini etkilemektedir.



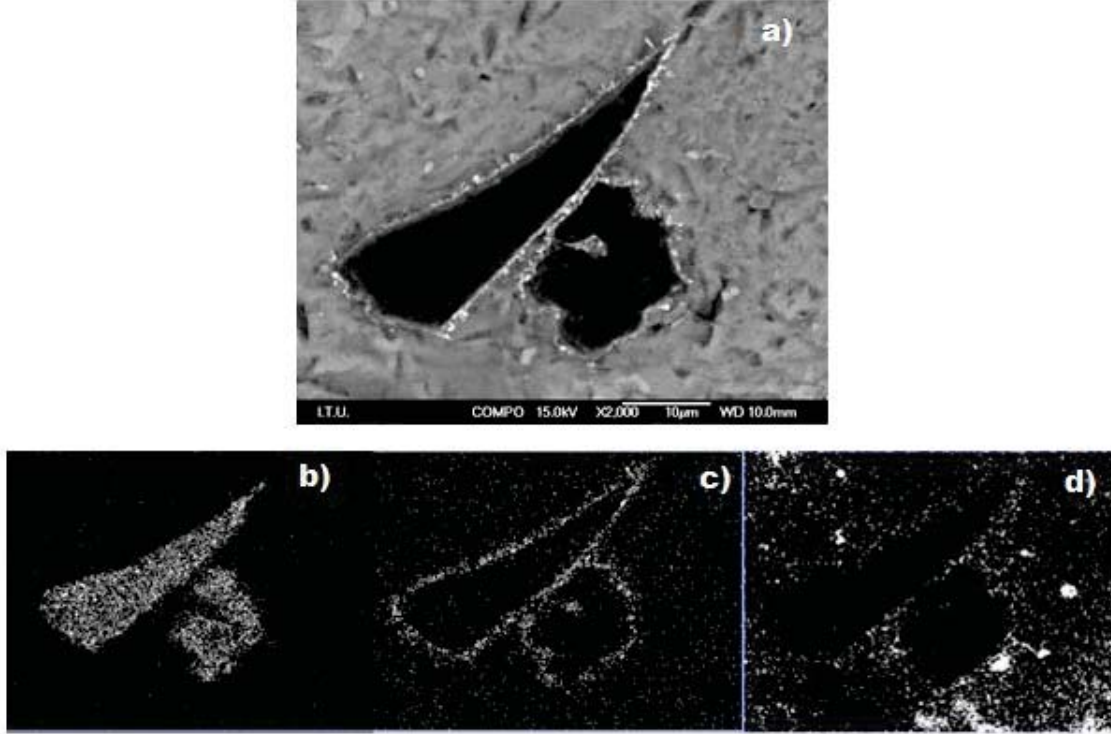
Şekil 2. a) % 5 B₄C and b) %10 B₄C hacim oranına sahip Mg-MMK lara ait SEM görüntüleri



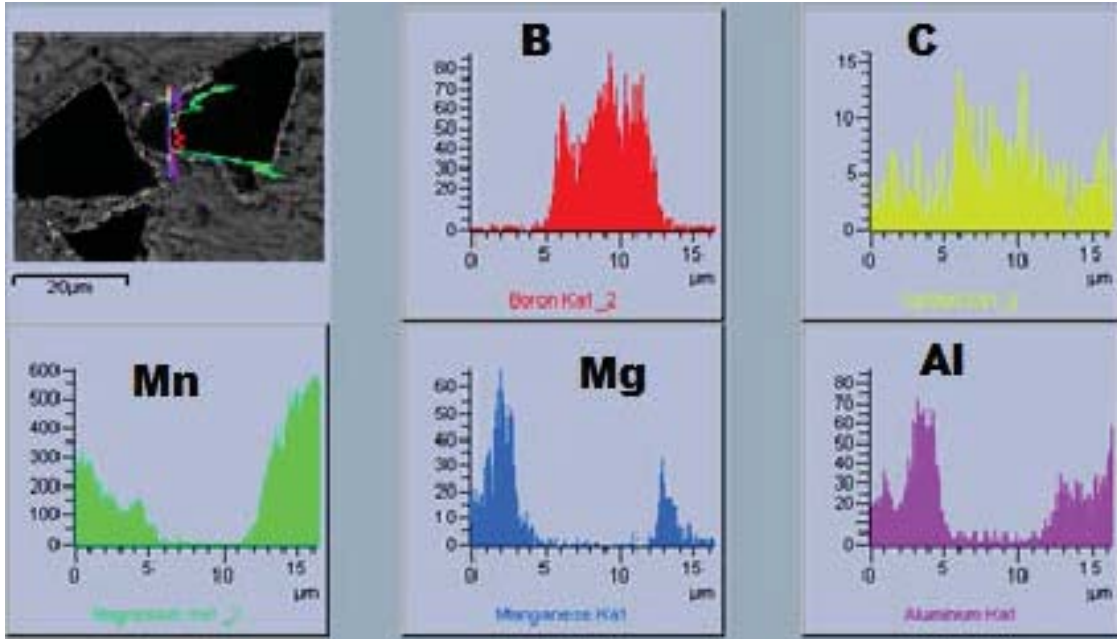
Şekil 3. %10 B₄C takviyeli Mg-MMK’ e ait ışık mikroskobu görüntüleri a) Toplanma b) Porozite

Yüksek büyütmelelerde yapılan detaylı inceleme ve analizlerde, B₄C partiküllerinin Mn-Al-C bileşikleri tarafından çevrelediği belirlenmiştir. Şekil 4’de % 10 B₄C içeren Mg-MMK’ e ait FEG-SEM görüntüsü ve X-ışını haritası incelendiğinde partikül matris

arayüzeyinde Mn ve Al'ca zengin ince bir tabakanın varlığı görülmektedir. Şekil 5'de verilen çizgi analizi verileri de bu sonucu desteklemektedir. .

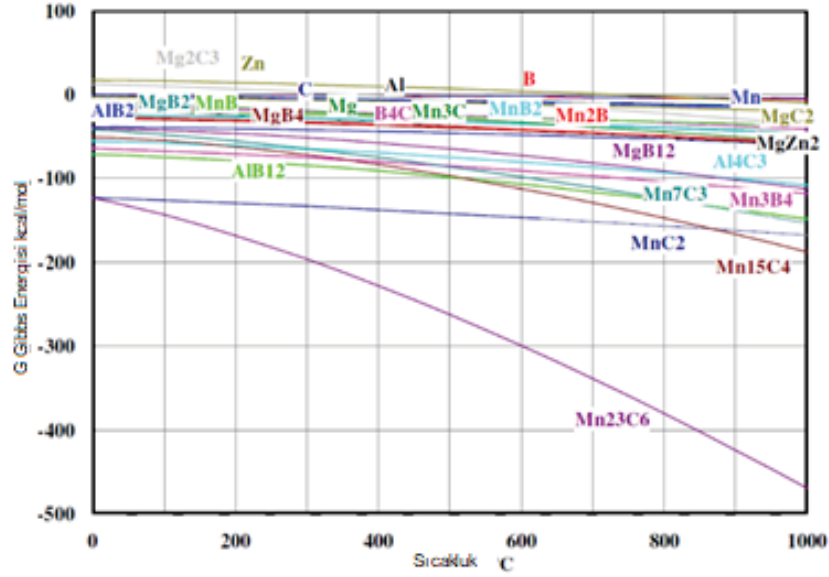


Şekil 4. a) B₄C ilavesiyle üretilen kompozit numuneye ait SEM görüntüsü ve b) B, c) Mn, d) Al elementlerine ait X-ışını haritaları



Şekil 5. % 5 B₄C takviyeli kompozitte matris-arayüzey-takviye boyunca çizgi analizi ve SEM görüntüsü

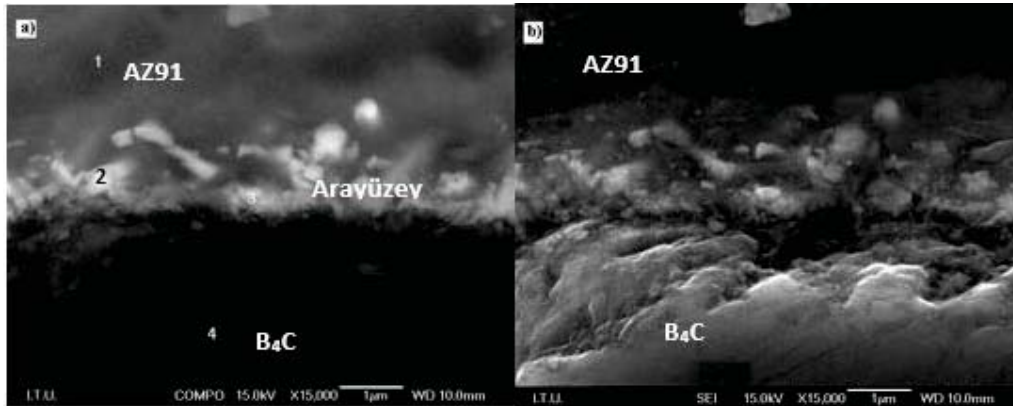
Mg-Al-Mn-Zn-B-C sisteminde yapılan taramalarda üçlü veya dörtlü bir bileşiğe rastlanmazken, sistemde olması muhtemel ikili bileşikler şunlardır: AlB₂, AlB₁₂, Al₄C₃, B₄C, MgB₂, MgB₄, MgB₁₂, MgC₂, Mg₂C₃, MgZn₂, Mn, MnB, MnB₂, Mn₂B, Mn₃B₄, MnC₂, Mn₃C, Mn₇C₃, Mn₁₅C₄ ve Mn₂₃C₆ (Roine, A., (2002)). Bu bileşikler ile HSC Chemistry programı kullanılarak oluşturulan Ellingham diyagramı Şekil 6'da verilmiştir.



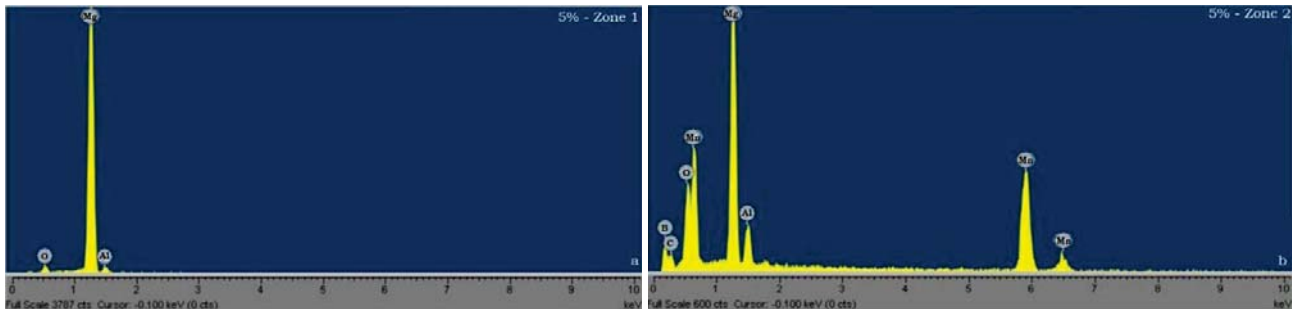
Şekil 6. Mg-Al-Mn-Zn-B-C'de ikili bileşiklerin Ellingham diyagramı (Roine, A., (2002))

Ellingham diyagramına göre, sistemde en düşük Gibbs serbest enerjisine (ΔG) sahip bileşiklerin Mn-C bileşikleri olduğu görülmektedir. Diyagrama göre, AlB_{12} bileşiği de nispeten düşük serbest enerjiye sahiptir. Şekil 4 ve Şekil 5'de verilen harita ve analizler incelendiğinde, alaşımdaki miktarı oldukça düşük olmasına rağmen (%0,2-0,3) arayüzeyde yüksek miktarda Mn'a rastlanmıştır. Bunun yanısıra arayüzeyde Al miktarının matrise göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, bu termodinamik öngörüler ve EDS analizleri incelendiğinde arayüzeyin genel olarak Mn-C fazlarından oluştuğu ve bir miktar da AlB_{12} fazı içerdiği düşünülmektedir.

Hacimce %5 B_4C takviyeli Mg-MMK malzemede matris-takviye arayüzeyinden yüksek büyütmede alınan SEM görüntüleri Şekil 7'de ve üç farklı noktadan alınan EDS analizleri Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 7. %5 B_4C takviyeli Mg-MMK malzemede matris-takviye arayüzeyi a) COMPO, b) SE SEM görüntüleri



Şekil 8. Şekil 7 de verilen görüntüde a) 1 b) 2 ve 3 noktaldan alınan EDS analizleri

"1" noktasından alınan (Şekil 7) EDS analizi, Mg ve Al elementlerinin bulunduğu bu alanın matris olduğunu göstermektedir. "2" ve "3" ile işaretli bölgelerden alınan EDS analizinde Mg, Al, Mn, C, B ve Oksijen elementlerinin varlığı tespit edilmiştir. Mg, Al ve Mn elementlerinin kaynağı döküm alaşımıdır. Mg'un oksijene olan yüksek afinitesinden dolayı yapılan EDS analizinde oksijenin tespit edilmesi beklenen bir durumdur. %10 B₄C içeren kompozit malzemede de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Magnezyum matrisli B₄C partikül takviyeli kompozitler sıvı faz üretim yöntemleriyle üretilmiş ve mikroyapısal özellikleri incelenmiştir.

Hacimce %5 ve %10 B₄C partikül takviyeli Mg matrisli kompozitler sırasıyla %4,2 ve %8,58 deneysel hacim oranı ve %84,07 ve %85,08 partikül ilave verimi ile üretilmiştir.

Mikroyapı incelemelerinde B₄C partiküllerinin matris içerisinde homojen bir şekilde dağılım gösterdiği, ancak az da olsa toplanma ve porozite olduğu gözlemlenmiştir.

Mg-Al-Mn-Zn-B-C sisteminde yapılan termodinamik taramalar ve matris/takviye arayüzeyinde gerçekleştirilen EDS analizlerine dayanarak üretim sırasında arayüzeyde Mn-Al-C bileşiklerince zengin bir reaksiyon tabakası oluştuğu sonucuna varılmıştır. Bu reaksiyon tabakasının ıslatılabilirliği arttırdığı ve kompozitlerin nispeten yüksek partikül ilave verimi ile üretilebilmesine olanak sağladığı düşünülmektedir.

REFERANSLAR

Aizenshtein, M., Froumin, N., Shapiro-Tsoref, E., Dariel, M.P., Frage, N., (2005), Wetting and interface phenomena in the B4C/(Cu–B–Si) system, Scripta Materialia 53, 1231–1235, doi:10.1016/j.scriptamat.2005.08.006

Atalay O., (2006), Magnezyum ve Alaşımının Konstrüksiyon Malzemesi Olarak Otomotivde Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Demir, A., (2006), Metaller Arası Bileşik Mg₂Si Takviyeli AZ91/Mg₂Si Kompozit Malzemelerin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Jung, J., Kang, S., (2004), Advances in Manufacturing Boron Carbide–Aluminum Composites, J. Am. Ceram. Soc., 87 [1] 47–54, doi: 10.1111/j.1551-2916.2004.00047.x

Kennedy, A.R., Karantzalis, A.E., (1999), The incorporation of ceramic particles in molten aluminium and the relationship to contact angle data, Materials Science and Engineering A264, 122–129, doi:10.1016/S0921-5093(98)01102-2

Kerti, I., (2005), Production of TiC reinforced-aluminum composites with the addition of elemental carbon, Materials Letters, 59, 3795 – 3800, doi:10.1016/j.matlet.2005.06.032

Khan, K.B., Kutty, T.R.G., Surappa, M.K., (2006), Hot hardness and indentation creep study on Al–5% Mg alloy matrix–B₄C particle reinforced composites, Materials Science and Engineering A 427, 76–82, doi:10.1016/j.msea.2006.04.015

Lopez, V.H., Scoles, A., Kennedy, A.R., (2003), The thermal stability of TiC particles in an Al7wt.%Si alloy, Mater. Sci. & Eng. A, 356, 316-325, doi:10.1016/S0921-5093(03)00143-6

Özdin, K., (2006), Production of aluminium based SiC-reinforced composite materials and investigation of their wear properties, PhD Thesis, Gazi University. (in Turkish)

Rajan, T. P. D., Pillai, R.M., Pai, B. C., (1998), Review, Reinforcement coatings and interfaces in aluminium metal matrix composites, Journal of Materials Science Vol.33, 3491-3503, doi: 10.1023/A:1004674822751

Roine, A., (2002), Outokumpu HSC Chemistry for Windows, Ver. 5.1, 1999, Outokumpu Research Oy: Pori, Finland.

Shorowordi, K. M., Laoui, T., Haseeb, A. S. M. A., Celis, J. P., Froyen, L., (2003), Microstructure and interface characteristics of B₄C, SiC and Al₂O₃ reinforced Al matrix composites: a comparative study, Journal of Materials Processing Technology, 142, 738-743, doi:10.1016/S0924-0136(03)00815-X

Shrestha, N.K., Kawai, M., Saji, T., (2005), Co-deposition of B₄C particles and nickel under the influence of a redox-active surfactant and anti-wear property of the coatings, Surface & Coatings Technology 200, 2414– 2419, doi: 10.1016/j.surfcoat.2004.08.192

Tokaji, K., (2005), Effect of stress ratio on fatigue behaviour in SiC particulate-reinforced aluminium alloy composite, *fatigue fract. eng. mater.*, 28, 539–545 , doi: 10.1111/j.1460-2695.2005.00894.x

Toptan, F., (2011), Production of high wear resistant B4C particle reinforced aluminium matrix composites, PhD Thesis, Yildiz Technical University. (in Turkish)

Zhang, H., Ramesh, K. T., Chin, E.S.C., (2004), High Strain Rate Response of Aluminium 6092/B4C Composites, *Materials Science and Engineering, A* 384, 26-34, doi:10.1016/j.msea.2004.05.027

Zhu, X., Dong, H., Lu, K., (2008), Coating different thickness nickel–boron nanolayers onto boron carbide particles, *Surface & Coatings Technology* 202, 2927–2934, doi:10.1016/j.surfcoat.2007.10.021



Clustering-based Sales Forecasting in a Forklift Distributor

Pratiwi Eka Puspita¹ , Tülin İnkaya^{*1} , Mehmet Akansel¹ 

¹Uludağ University, Industrial Engineering Department, Görükle Campus, Bursa 16059, Turkey

Başvuru/Received: 07/06/2018

Kabul/Accepted: 27/08/2018

Son Versiyon / Final Version: 31/01/2019

Abstract

Sales forecasting refers to the prediction of future demand based on past data. A vast literature on sales forecasting has accumulated due to its vital role in balancing demand and supply. Among these, data mining has emerged as a powerful tool to facilitate sales forecasting. In this study, we use data mining methods for accurate and reliable sales forecasts in a forklift distributor company. Monthly sales data for 100 different types of forklifts between 1998 and 2016 are used. The proposed forecasting methodology includes three steps. First, products with similar sales patterns are determined using hierarchical clustering. Dynamic time warping is applied to calculate the similarities among product sales data. Second, features are extracted and selected for each cluster. In addition to the features adopted from the literature, four new features are proposed to characterize intermittency. Multivariate adaptive regression splines model is used for feature selection. Third, support vector regression is used to predict future sales of each product cluster. Finally, the performance of the proposed approach is evaluated according to forecasting error and complexity. The numerical analysis shows that the proposed approach gives reasonable accuracy with less complexity.

Key Words

“Data mining; clustering; forecasting; multivariate adaptive regression splines (MARS); dynamic time warping (DTW); support vector regression (SVR)”

1. INTRODUCTION

Sales forecasting refers to the prediction of future demand based on past data. It has a vital role in today's business environment as accurate and reliable forecasts form the fundamental basis for the capacity and production planning decisions in a company. Additionally, effective forecasting helps the companies in the supply chain improve overstock and understock costs, and decreases the safety stock requirements.

A vast literature on sales forecasting has accumulated due to its vital role in balancing demand and supply. Some widely known methods for sales forecasting are moving average (MA), single exponential smoothing (Brown, 1959), Holt-Winters model (Winters, 1960), and auto regression integrated moving average (ARIMA) (Box and Jenkins, 2015). However, these traditional methods may fail when there exist noise, outliers, and intermittency in the data.

In the recent years, data mining has emerged as a powerful tool to facilitate sales forecasting to overcome the limitations of the traditional forecasting approaches. Data mining refers to extracting the interesting, non-trivial, implicit, previously unknown and potentially useful patterns or knowledge from large amounts of data (Han et al., 2012). Data mining tasks are classified into two categories: descriptive and predictive. Descriptive tasks, such as clustering and association rule mining, characterize the general properties of the data, whereas predictive ones, such as classification and regression, make predictions using the existing data (Han et al., 2012). In this study, we consider sales forecasting as a prediction problem for time series data.

A number of studies suggest that support vector regression (SVR) has gained considerably wider acceptance in time series forecasting, including intermittent data (Bao et al., 2005), due to its strengths compared to other approaches (Levis and Papageorgiou, 2005; Yu et al., 2013). Nalbantov et al. (2005) claim that SVR can be used to avoid overfitting problems and to improve the robustness of outlier detection. In addition, Thissen et al. (2003) explain that SVR implementation has advantages, such as finding a globally optimal solution and calculating a nonlinear solution efficiently. Das and Padhy (2012) discuss the advantage of SVR compared to the use of back propagation neural network (BPN) in forecasting the non-linear time series of stock market. Zuo et al. (2014) obtain the best outcome with SVR model compared to linear discriminant analysis, logistic regression, and Bayesian network for the Radio Frequency Identification (RFID) data of consumer in-store behavior.

Hybridization of SVR with other methods improves the forecasting accuracy. Wisner et al. (2015) state that integrated forecasting is expected to reduce errors. Hua and Zhang (2006) conclude that the hybridization of logistic regression and SVR (LRSVM) outperforms the forecasting methods for intermittent time series such as Croston's method (Croston, 1972), Markov bootstrapping, and single SVR.

Some studies focus on the selection of the useful features for SVR. Lu et al. (2009) use independent component analysis (ICA) to remove the features containing noise. ICA together with SVR results in better accuracy in forecasting financial time series compared to pure SVR. Also, Lu et al. (2012) perform feature selection with multivariate adaptive regression splines (MARS). In a recent study, Lu (2014) extracts features adopted from the technical indicators of the stock market and characterizes different properties of the data set, i.e. trend, growth ratios, and sales volatility.

A stream of studies conducts customer segmentation before forecasting so that customized forecasting models are developed for customers with similar characteristics. For this purpose, clustering methods are adopted for customer segmentation such as hierarchical clustering (Huber et al., 2017; Biscarri et al., 2017), k-means (Kuo and Li, 2016; Dai et al., 2015) and fuzzy c-means (Bao et al., 2004). Clustering can be performed using categorical variables such as customers' properties (Biscarri et al., 2017) or time series data (Lu and Kao, 2016; Chen and Lu, 2017). For example, Bala (2012) first clusters the customers according to their demographic data and purchasing behavior. Then, for each customer cluster (segment), an autoregressive integrated moving average (ARIMA) is used for forecasting. Dai et al. (2015) apply k-means algorithm to extract the disjoint clusters in the aggregate sales of computer servers. Then, for each cluster, SVR is used for forecasting.

In most of these studies, Euclidean distance is used for calculating the dissimilarities among the products. However, products may have different release and phase-out times, so the lengths of the sales data may differ. In this case, it is not convenient to use Euclidean distance as a dissimilarity measure. Dynamic time warping (DTW) distance (Berndt and Clifford, 1994) is able to calculate the distances between temporal sequences having different lengths. It provides the optimal alignment between two temporal sequences. Murray et al. (2017) use DTW distance for customer segmentation, however, they only focus on time series clustering. Different from their study, we combine clustering, feature selection and extraction, and forecasting, and by doing so propose an integrated forecasting methodology.

In this study, we consider sales forecasting problem for a forklift distributor. Monthly sales data for 100 different types of forklifts between 1998 and 2016 are used. A new clustering-based forecasting methodology is proposed. The proposed approach includes three steps. In the first step, the products having similar sales patterns are determined using hierarchical clustering. Products have different release and phase-out times; therefore, the lengths of the sales data are not equal. For this purpose, we adopt dynamic time warping (DTW) as a distance measure in clustering-based forecasting. We also determine the representatives of each cluster. In the second step, feature extraction and selection are performed using MARS. In addition to the features used for time series data, new features are proposed for intermittent data. In the third step, SVR is used for forecasting. The proposed approach aims to decrease the number of forecasting models via clustering.

As a summary, the contributions of this paper are as follows:

1. A new forecasting methodology based on data mining is proposed. The proposed methodology integrates the clustering, feature extraction, feature selection, and prediction tasks of data mining.
2. DTW is adopted as a distance measure for clustering sales data with unequal lengths.
3. New features are proposed for forecasting intermittent data.

The rest of the paper is organized as follows. Section 2 explains the methods used in the study. Section 3 introduces the proposed clustering-based forecasting methodology. Section 4 includes the numerical studies and results. Finally, Section 5 provides the conclusion and directions of future work.

2. METHODS

This section explains the methods used throughout the paper.

2.1. Clustering

Clustering is the process of grouping a set of objects such that similar objects are in the same cluster and dissimilar objects are in different clusters (Han et al., 2012). It has applications in various fields such as market segmentation, image segmentation, pattern recognition, and so on. Basically, the clustering methods are classified into five categories: partitioning methods, hierarchical methods, density-based methods, grid-based methods, and probability-based methods.

In this study, we use the hierarchical clustering, which groups data points into a tree of clusters (Han et al., 2012). According to the hierarchical decomposition method, there are agglomerative (bottom-up) and divisive (top-down) approaches. In the agglomerative approach, each cluster is initialized as a data object, and then clusters are merged until all objects are in a single cluster. The divisive version does the reverse of the agglomerative version.

The linkage scheme defines how the distance between the clusters is calculated. Single-linkage clustering uses the minimum distance to determine the distance between two clusters. When the maximum distance is used to calculate the distance between two clusters, it is known as complete linkage. Average linkage uses the average of the distances between two clusters. Ward's linkage algorithm considers the sum of squares between clusters (Han et al. 2012). Also, hierarchical clustering can be used with various distance measures including DTW.

2.1.1. Cluster representative

In time series clustering, cluster medoid is commonly used as the cluster representative (Hautamaki et al., 2008). That is, the data object having the minimum total distance to the rest of the cluster members is selected as the representative:

$$H_i = \arg \min_{S_j \in C_i} \left\{ \sum_{S_k \in C_i \setminus S_j} d(S_k, S_j) \right\} \quad (1)$$

where H_i is the representative for cluster i , d is the distance measure, S_k is data object k , and C_i is the set of data objects in cluster i .

Another method for finding the cluster representative is DTW Barycenter Averaging (DBA) (Petitjean et al., 2011). This approach minimizes the sum of squared DTW distances from the average sequence, namely barycenter, to the sequences of all time series

in the cluster. Technically, let $\mathbb{S} = \{S_1, \dots, S_N\}$ be the sequences of time series in cluster, and $C = \langle C_1, \dots, C_T \rangle$ be the average sequence of \mathbb{S} at iteration i . DBA minimizes the within group sum of squares (WGSS) iteratively as follows:

$$\text{WGSS}(C) = \sum_{k=1}^N d_{DTW}^2(C, S_k) \quad (2)$$

In each iteration, two steps are performed: 1) DTW distance between the average sequence and each sequence in the cluster is computed, and 2) each coordinate in the average sequence is updated as the barycenter of the coordinates associated with it.

2.1.2. Dissimilarity measure

In clustering, the dissimilarities among the objects are measured using various distance functions. Euclidean distance is often used to calculate the dissimilarity between two data objects (Agrawal et al., 1993). The Euclidean distance between vectors X_i and X_j is calculated as follows:

$$d(X_i, X_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (X_{ik} - X_{jk})^2} \quad (3)$$

where X_{ik} and X_{jk} denote the k th attributes of vectors X_i and X_j respectively, and n is the number of attributes.

Although it is used in several studies on customer segmentation (Thomassey and Fiordaliso, 2006; Kumar and Rathi, 2011; Chen and Lu, 2017), it has limitations in datasets with unequal lengths (Keogh, 1997).

As a remedy, dynamic time warping (DTW), which is an elastic measure, is introduced (Berndt and Clifford, 1994). DTW calculates the dissimilarity between two sequences of time series with unequal lengths. Let $Q = (q_1, \dots, q_n)$ and $P = (p_1, \dots, p_m)$ be two sequences with lengths n and m . A n -by- m matrix is constructed such that the (i, j) th element shows the Euclidean distance between $d(q_i, p_j)$. A warping path, W , depicts a mapping between Q and P , and the k th element of W is defined as $w_k = (i, j)_k$. So, the warping path becomes:

$$W = w_1, \dots, w_K \quad \max(m, n) \leq K \leq m + n - 1 \quad (4)$$

The warping path is subject to constraints, i.e. boundary conditions, continuity, and monotonicity. Boundary conditions require the path to start from $w_1 = (1, 1)$ and to finish at $w_K = (m, n)$ in the diagonally opposite corner of the matrix. For continuity, the allowable steps are restricted, i.e. given $w_k = (a, b)$ then $w_{k-1} = (a', b')$ where $a - a' \leq 1$ and $b - b' \leq 1$. Also, the points in W are forced to be monotonical, given $w_k = (a, b)$ then $w_{k-1} = (a', b')$ where $a - a' \geq 0$ and $b - b' \geq 0$.

The aim is to find the warping path with the minimum warping cost:

$$DTW(Q, P) = \min \left\{ \sum_{k=1}^K w_k \right\} \quad (5)$$

The optimal path can be calculated using dynamic programming to assess the following recursive function:

$$\gamma(i, j) = d(q_i, p_j) + \min \{ \gamma(i-1, j-1), \gamma(i-1, j), \gamma(i, j-1) \} \quad (6)$$

where $\gamma(i, j)$ is the cumulative distance between points q_i and p_j .

2.2. Multivariate Adaptive Regression Splines

Multivariate adaptive regression splines (MARS) is a nonparametric regression procedure to model the interactions between dependent and independent variables without any assumption about their functional relationship (Friedman, 1991). It can handle data sets with high-dimensionality. Besides, MARS can investigate the important variables without long training processes, and saves computation time (Lu et al., 2012).

MARS uses the so-called basis function $(t-x)$ and $(x-t)$, where t is the knot of the basis functions, to approximate the linear or nonlinear relationships. Only positive part of the basis functions is considered, otherwise it takes a value of zero. The technique starts with the simplest model of the basis function. Then, it continues with adding the basis function (for each variable and for all possible knots) recursively so that prediction error is minimized.

The general MARS function can be defined as follows (Lu, 2014):

$$f(x) = a_0 + \sum_{m=1}^M a_m \prod_{k=1}^{K_m} [S_{km}(x(k, m) - t_{km})] \quad (7)$$

where a_0 is intercept, a_m is the coefficient of the model, M is the number of basis functions, K_m is the number of knots, S_{km} is the right/left position of the associated step function, $x(k, m)$ is the label of the independent variable, and t_{km} is the knot location.

The details of MARS are provided by Friedman (1991).

2.3. Support Vector Regression

Support vector regression (SVR) (Vapnik, 1995) is based on statistical learning theory, and it is a version of support vector machine (SVM) for regression. SVR can be formulated as follows (Vapnik, 1995):

$$f(x) = (w \cdot \phi(x)) + b \quad (8)$$

where w is the weight vector, x is the model input, $\phi(x)$ is the kernel function to transform the non-linear inputs to linear form, and b is the bias.

Given training data $\{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\} \subset \mathbb{R}$, the aim is to find a function $f(x)$ that deviates at most ε from the target values in the training data. The slack variables ξ_i and ξ_i^* are introduced to allow errors beyond ε precision. Hence, the weight vector (w) and bias (b) are estimated by using the following convex optimization problem:

Minimize,

$$z = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^n (\xi_i + \xi_i^*) \quad (9)$$

Subject to

$$y_i - (w \cdot \phi(x_i)) - b \leq \varepsilon + \xi_i \quad i = 1, \dots, n \quad (10)$$

$$(w \cdot \phi(x_i)) + b - y_i \leq \varepsilon + \xi_i^* \quad i = 1, \dots, n \quad (11)$$

$$\xi_i, \xi_i^* \geq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (12)$$

where $C > 0$ is a constant to specify the trade-off between $\|w\|^2$ (flatness of function f) and the tolerance to deviations larger than ε .

Using Lagrangian multipliers and Karush-Kuhn-Tucker conditions, Equations (9)-(12) transform into the dual Lagrangian form as follows:

Maximize,

$$L_d(\alpha, \alpha^*) = -\varepsilon \sum_{i=1}^n (\alpha_i + \alpha_i^*) + \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) y_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) (\alpha_j - \alpha_j^*) K(x_i, x_j) \quad (13)$$

Subject to

$$\sum_{i=1}^n (\alpha_i^* - \alpha_i) = 0 \quad (14)$$

$$0 \leq \alpha_i \leq C \quad i = 1, \dots, n \quad (15)$$

$$0 \leq \alpha_i^* \leq C \quad i = 1, \dots, n \quad (16)$$

where α_i and α_i^* are the Lagrangian multipliers that satisfy $\alpha_i \alpha_i^* = 0$, and $K(x_i, x_j)$ is a Kernel function. The optimal solution of the weight vector can be calculated as $w^* = \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) K(x, x_i)$. Thus, the general form of SVR becomes as follows:

$$f(x, w) = f(x, \alpha, \alpha^*) = \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \alpha_i^*) K(x, x_i) + b \quad (17)$$

3. PROPOSED METHODOLOGY

In this section, clustering-based forecasting methodology is introduced for time series data with unequal length and intermittency. The proposed approach addresses the forecasting problem of a company with a high product variety. Therefore, the aim is to achieve high forecasting accuracy with less complexity.

The proposed methodology has three steps, and its flowchart is provided in Fig. 1. In the first step, agglomerative hierarchical clustering is used to determine the products with similar sales patterns using DTW distance. The number of clusters is determined according to the inter-cluster heterogeneity and intra-cluster homogeneity. Also, for each cluster, the cluster representative is found calculating both cluster's medoid and DBA. In the second step, feature extraction and selection are performed. Table 1 presents the 26 features adopted from Lu (2014). They characterize amount, trend, growth, and volatility. In addition to them, Table 2 shows the four new features, which we introduce to characterize the intermittency. After feature extraction, MARS is used to select the useful features for each cluster. In the third step, SVR is used to build a forecasting model for each cluster representative.

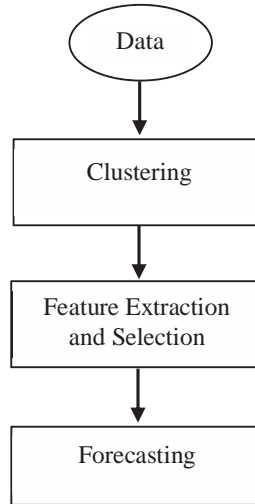


Fig. 1. Flowchart of the proposed methodology.

Table 1. Features for time series data (Lu, 2014).

Feature	Description	Period	Characteristic
T1	$X_1 = C_{(t-1)}$	Short term	Amount
T2	$X_2 = C_{(t-2)}$	Short term	Amount
T3	$X_3 = C_{(t-3)}$	Short term	Amount
T5	$X_4 = C_{(t-5)}$	Mid term	Amount
T10	$X_5 = C_{(t-10)}$	Mid term	Amount
T15	$X_6 = C_{(t-15)}$	Long term	Amount
T20	$X_7 = C_{(t-20)}$	Long term	Amount
MA2	$X_8 = \sum_{i=1}^2 C_{(t-i)} / 2$	Short term	Trend
MA3	$X_9 = \sum_{i=1}^3 C_{(t-i)} / 3$	Short term	Trend
MA5	$X_{10} = \sum_{i=1}^5 C_{(t-i)} / 5$	Mid term	Trend
MA10	$X_{11} = \sum_{i=1}^{10} C_{(t-i)} / 10$	Mid term	Trend
MA15	$X_{12} = \sum_{i=1}^{15} C_{(t-i)} / 15$	Long term	Trend
RDP1	$X_{13} = 100 \times (C_t - C_{(t-1)}) / C_{(t-1)}$	Short term	Growth ratios
RDP3	$X_{14} = 100 \times (C_t - C_{(t-3)}) / C_{(t-3)}$	Short term	Growth ratios
RDP5	$X_{15} = 100 \times (C_t - C_{(t-5)}) / C_{(t-5)}$	Mid term	Growth ratios
RDP10	$X_{16} = 100 \times (C_t - C_{(t-10)}) / C_{(t-10)}$	Mid term	Growth ratios
RDP15	$X_{17} = 100 \times (C_t - C_{(t-15)}) / C_{(t-15)}$	Long term	Growth ratios
BIAS5	$X_{18} = 100 \times (C_t - MA5) / MA5$	Mid term	Volatility
BIAS10	$X_{19} = 100 \times (C_t - MA10) / MA10$	Mid term	Volatility
BIAS15	$X_{20} = 100 \times (C_t - MA15) / MA15$	Long term	Volatility
ROC5	$X_{21} = 100 \times C_t / C_{(t-5)}$	Mid term	Volatility
ROC10	$X_{22} = 100 \times C_t / C_{(t-10)}$	Mid term	Volatility
ROC15	$X_{23} = 100 \times C_t / C_{(t-15)}$	Long term	Volatility

Table 1. (Cont.) Features for time series data (Lu, 2014).

Feature	Description	Period	Characteristic
<i>Disparity5</i>	$X_{24} = 100 \times C_t / MA5$	Mid term	Volatility
<i>Disparity10</i>	$X_{25} = 100 \times C_t / MA10$	Mid term	Volatility
<i>OSCP5</i>	$X_{26} = 100 \times (MA5 - MA10) / MA5$	Mid term	Volatility

Note: C_t denotes the amount of sales in period t .

Table 2. Proposed intermittency features.

Feature	Description	Period	Characteristic
<i>IML</i>	$X_{27} = \sum_{k=1}^{t-1} I_k / (t-1)$	Long term	Intermittency
<i>IMM</i>	$X_{28} = (CC_{(t-1)} + CC_{(t-2)}) / 2$	Mid term	Intermittency
<i>IMS1</i>	$X_{29} = CC_{(t-1)} / \sum_{k \in \{k: C_t \in CC_{t-1}\}} I_k$	Short term	Intermittency
<i>IMS2</i>	$X_{30} = \sum_{k \in \{k: C_t \in CP_{t-1}\}} I_k / CP_{(t-1)} $	Short term	Intermittency

Notes: 1. I_k is an indicator variable such that $I_k = 1$ if $C_k = 0$, i.e. the amount sales in period k is 0.

2. CC_t is a sequence $CC_t = (C_{t-k}, \dots, C_t)$ such that $C_{t-k} > 0$ and $\sum_{k=0}^{k+1} C_{t-k} = 0$.

3. CP_t is a sequence $CP_t = (C'_{t-k}, \dots, C'_t)$ such that $C'_{t-k-1} > 0$ and $\sum_{k=1}^k C'_{t-k} = 0$.

4. CASE STUDY

The proposed forecasting methodology is applied to a distribution company for industrial heavy equipment, i.e. forklifts. The company is located in Indonesia with 15 branch offices throughout the country, and it has the biggest market share for forklift distribution in the last five years. It employs 750 workers to satisfy the demand of about 5,000 customers.

4.1. Sales Data

The monthly sales data for 100 different types of forklifts were collected from the company. The sales data span a time horizon of 19 years, from January 1998 to December 2016.

Data preprocessing operations were performed on the dataset. In this context, two products without any demand in this time interval were removed. Hence, 98 products are considered during the numerical study. Next, sales data of each product were cropped according to the release and phase-out times. These preprocessing steps yielded time series data with varying lengths between 12 and 228. Fig. 2 shows the sales data of four example products.

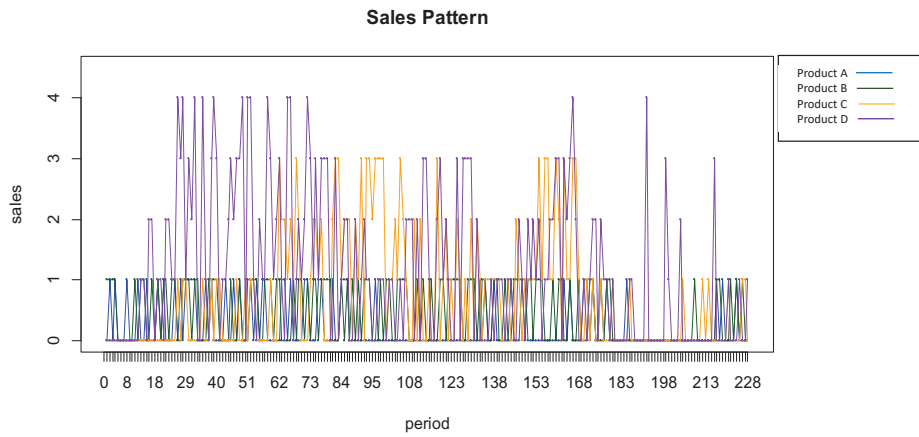


Fig. 2. Sales pattern of four example products.

Also, the intermittency level of each product is evaluated. The intermittency level for item i , $ilevel(i)$, is calculated as follows:

$$ilevel(i) = \frac{\# \text{ of zero demand values in item } i}{\text{length of sales data for item } i} \tag{18}$$

Fig. 3 presents the histogram of the intermittency levels for all products. The histogram indicates that more than half of the products show high intermittency, i.e. the intermittency level is higher than 0.5. Only two products have no intermittency.

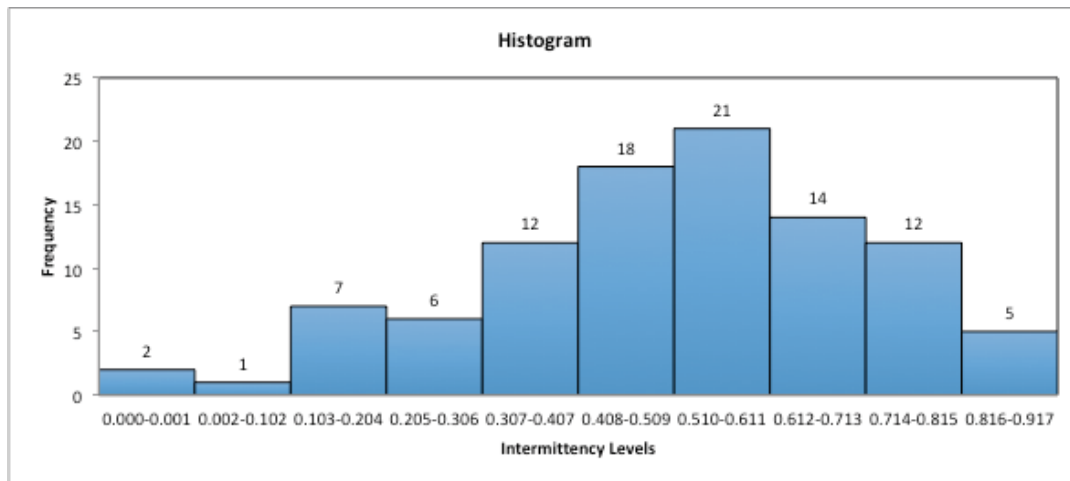


Fig. 3. Histogram of the intermittency levels for all products.

4.2. Parameter Settings and Performance Criteria

In the numerical study, agglomerative hierarchical clustering with complete linkage is used. The parameters of DTW are set as follows: i) step pattern is symmetric2, ii) window type is slanted-band, and iii) window size is 16.

MARS and SVR are evaluated using “leave-one-out” cross-validation. In SVR, radial basis function (RBF) kernel is selected, and a grid search is performed to determine the best parameter setting for C and ϵ . For this purpose, parameters of C and ϵ are iterated within a range of $[2^0, 2^{15}]$ and $[0, 1]$, respectively.

The performance of the forecasting results is evaluated using root mean square error (RMSE), mean square error (MSE) and mean absolute deviation (MAD) (Lu, 2014). The formulas of the performance measures are as follows:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (y_k - \hat{y}_k)^2} \quad (19)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (y_k - \hat{y}_k)^2 \quad (20)$$

$$MAD = \frac{\sum_{k=1}^n |y_k - \hat{y}_k|}{n} \quad (21)$$

where n denotes the number of periods, y_k is the actual demand for the k^{th} period, and \hat{y}_k is the forecasted demand for the k^{th} period.

4.3. Numerical Results

The results of the proposed methodology are explained in this section. Note that all numerical experiments were conducted in R (R Core Team, 2017).

4.3.1. Clustering results

Determination of the number of clusters is a challenging task, as there is not a widely accepted method in the literature (Jain, 2010). Since the aim of this study is to obtain homogenous clusters with products having similar sales pattern, clustering results are evaluated according to both homogeneity and heterogeneity measures. Homogeneity is calculated as the mean pairwise DTW distance within the same cluster, whereas heterogeneity is calculated as the mean pairwise DTW distance between two clusters. While the value of heterogeneity is a “larger-the-better” measure, the value of homogeneity is regarded with a “smaller-the-better” approach.

We varied the number of clusters (k) between 2 and 30, and applied agglomerative clustering algorithm with DTW distance. The heterogeneity and homogeneity measures are plotted with respect to the number of clusters as in Fig. 4. The result indicates that homogeneity and heterogeneity measures stabilize for $k = 7, 16, 27$. As an example, the dendrogram for $k = 7$ is provided in Fig. 5. Note that, in the clustering result, there are four singletons, i.e. clusters with a single product. Also, clusters 1, 2 and 6 have 70, 21 and 3 members, respectively.

After determination of the number of clusters, the members and the representative of each cluster are obtained as shown in Fig. 6.

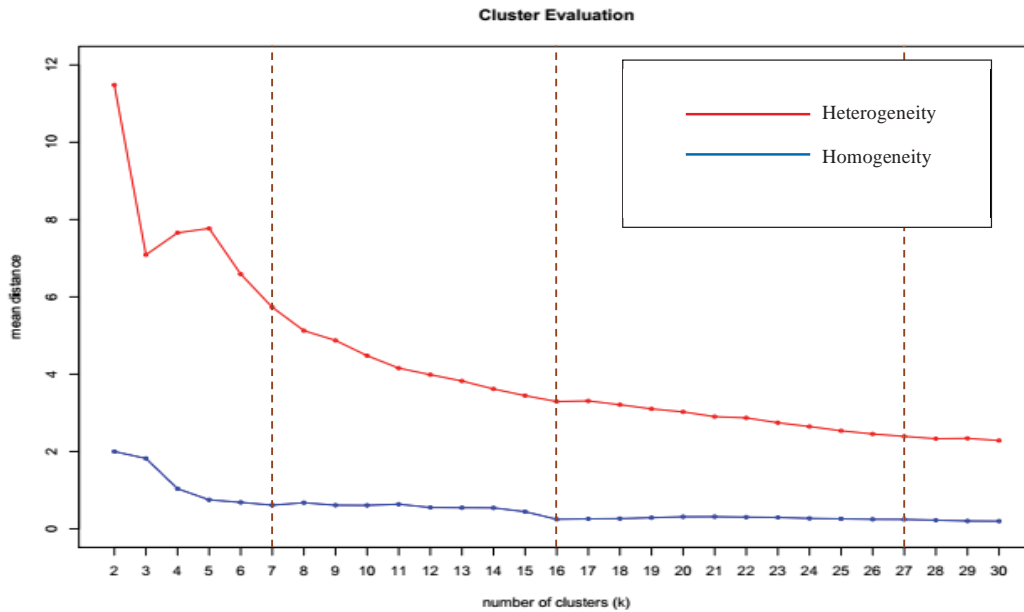


Fig. 4. Evaluation of the number of clusters with respect to homogeneity and heterogeneity measures

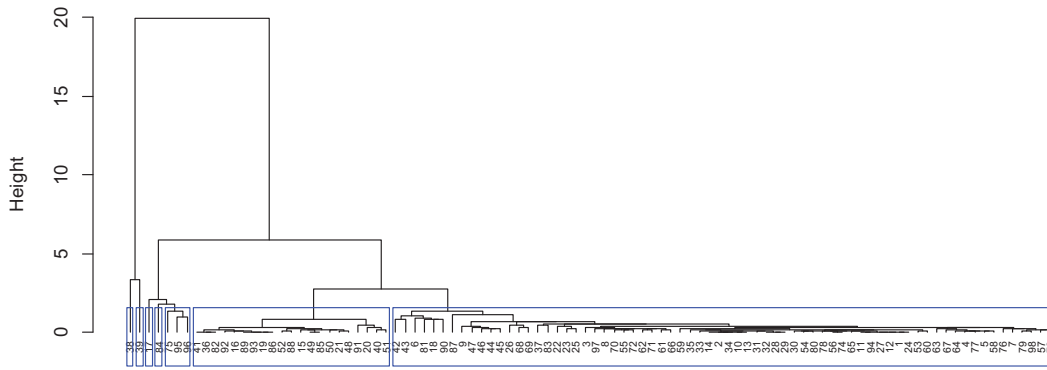


Fig. 5. Dendrogram for $k=7$ (blue rectangles show the seven clusters).

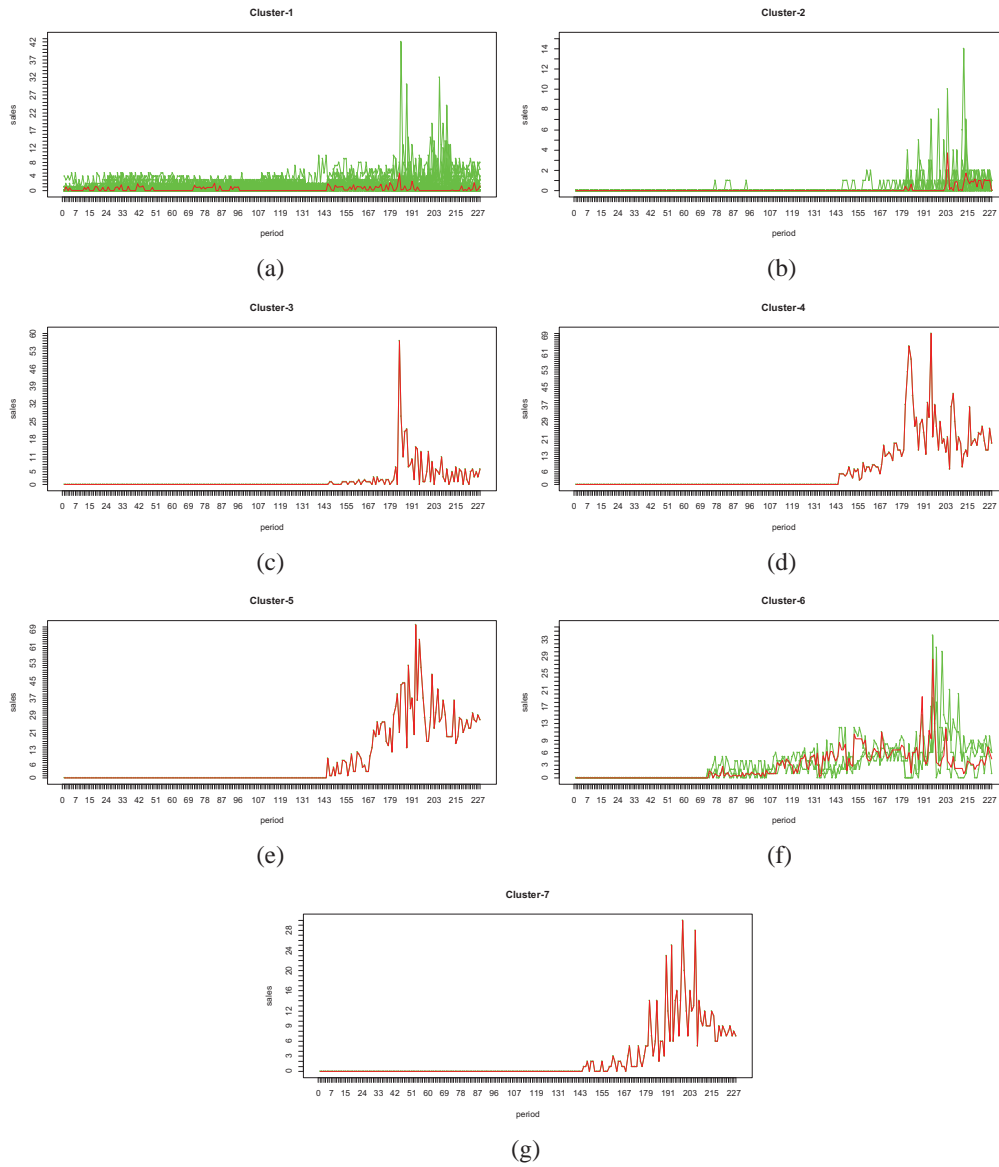


Fig. 6. Cluster members for $k=7$ and cluster representatives with DBA (red lines show the cluster representatives)

4.3.2. Feature extraction and selection results

The forecasting performances with and without intermittency features are compared in order to evaluate the contribution of the proposed intermittency features in Table 2. In the forecasting without intermittency features (IF), only features in Table 1 are used as input to the SVR model, whereas, in the forecasting with IF, features in both Tables 1 and 2 are used in the SVR.

The summary of the results for the products with positive intermittency levels is presented in Table 3. Table 3 indicates that RMSE, MSE, and MAD values for the SVR with IF are less than the ones without IF. Hence, the proposed features are able to characterize the intermittency of time series, and improve the forecasting errors.

After feature extraction, MARS is applied to select the useful features. For a sample product, 16 out of 30 features are selected: *T10, T20, MA3, MA5, MA15, RDP3, BIAS10, BIAS15, ROC10, Disparity5, Disparity10, OSCP5, IML, IMM, IMS1, IMS2*.

Table 3. Evaluation of the proposed intermittency features.

Performance criteria		SVR without IF	SVR with IF
		(only Table 1)	(Tables 1 and 2)
RMSE	Maximum	4.355	4.121
	Minimum	0.000	0.000
	Average	0.911	0.709
	Standard deviation	0.728	0.622
MSE	Maximum	18.969	16.979
	Minimum	0.000	0.000
	Average	1.361	0.889
	Standard deviation	2.689	2.070
MAD	Maximum	2.656	1.923
	Minimum	0.000	0.000
	Average	0.541	0.367
	Standard deviation	0.493	0.376

4.3.3. Forecasting results

The performance of the proposed clustering-based forecasting (C-MARS+SVR) methodology is compared with other forecasting models: S-SVR, S-MARS+SVR, and C-SVR. In S-SVR and S-MARS+SVR, a separate forecasting model is developed for each product, so 98 forecasting models are generated. In C-SVR and C-MARS+SVR, a forecasting model is developed for each cluster, so the number of models is equal to the number of clusters. Also, cluster representatives are calculated using medoid and DBA methods.

Table 4 summarizes the numerical results. For all forecasting error measures, the best results are observed in S-MARS+SVR. Except MSE measure, S-SVR follows S-MARS+SVR. On the other hand, 98 models need to be trained and tested for both S-SVR and S-MARS+SVR. As a remedy, clustering is used to reduce the number of models. Among three clustering results, C-MARS+SVR with $k=27$ and DBA provides the minimum error. The representative selection method and the number of clusters affect the forecasting errors. In another word, when $k=27$, DBA yields smaller forecasting errors compared to medoid approach. For other k values, medoid approach provides smaller error values. As the number of clusters decreases, all error measures increase. Therefore, the sales patterns of the products are better identified for larger number of clusters.

The use of MARS improves the forecasting errors for individual models and for $k = 27$. It eliminates the redundant variables and results in a less complex model.

Table 4. Comparison of the forecasting models.

Method	Complexity	Average		
		RMSE	MSE	MAD
S-SVR	2817	0.942	3.529	0.502
S-MARS+SVR	1072	0.885	2.811	0.474
C-SVR with $k=7$ and medoid	195	1.375	4.471	0.916
C-SVR with $k=7$ and DBA	207	1.588	5.315	1.037
C-MARS+SVR with $k=7$ and medoid	80	1.376	3.905	0.916
C-MARS+SVR with $k=7$ and DBA	69	1.622	4.700	1.091
C-SVR with $k=16$ and medoid	464	1.262	4.088	0.820
C-SVR with $k=16$ and DBA	477	1.354	4.355	0.816
C-MARS+SVR with $k=16$ and medoid	143	1.239	3.440	0.809
C-MARS+SVR with $k=16$ and DBA	132	1.390	3.869	0.885
C-SVR with $k=27$ and medoid	781	1.248	3.991	0.791
C-SVR with $k=27$ and DBA	781	1.220	3.957	0.746
C-MARS+SVR with $k=27$ and medoid	254	1.185	3.248	0.754
C-MARS+SVR with $k=27$ and DBA	241	1.165	3.236	0.724

4.4. Discussion

In this paper, the aim is to obtain an accurate forecasting model with low complexity. Hence, two criteria are used to evaluate the forecasting models. The first criterion is the forecasting error, i.e. RMSE, MSE, or MAD. The second criterion is the complexity, i.e. the number of forecasting models and the number of features used in the model. Hence, the best forecasting model is selected within the multiple criteria (attribute) decision making framework. In this context, a solution is *dominated* if there are other solutions that are better than it in at least one criterion and as good as it in other criteria (Yoon and Hwang, 1995). If a solution is not dominated by other solutions, it is called *non-dominated solution* (Yoon and Hwang, 1995).

The non-dominated solutions obtained with respect to the two criteria are presented in Fig. 7. Based on average RMSE and complexity, the non-dominated solutions are S-MARS+SVR, C-MARS+SVR with $k=7$ and medoid, C-MARS+SVR with $k=7$ and DBA, C-MARS+SVR with $k=16$ and medoid, and C-MARS+SVR with $k=27$ and DBA. Based on average MSE and complexity, S-MARS+SVR, C-MARS+SVR with $k=7$ and medoid, C-MARS+SVR with $k=7$ and DBA, C-MARS+SVR with $k=16$ and medoid, C-MARS+SVR with $k=16$ and DBA, and C-MARS+SVR with $k=27$ and DBA are the non-dominated solutions. The non-dominated solutions for average MAD and complexity are the same ones obtained for average MSE and complexity.

On one hand, S-MARS+SVR provides the minimum errors with a high complexity. On the other hand, C-MARS+SVR with $k=27$ and DBA provides reasonable errors with less complexity. That is, 77.5% of reduction in the complexity results in 15.1% of increase in MSE. Meanwhile, the RMSE and MAD values increase by 31.6% and 52.7%, respectively.

To sum up, the decision maker can select the proper forecasting method considering the balance of error and complexity. Also, the proposed approach can be applicable for the newly released products. The sales of the product can be forecasted using the cluster representative.

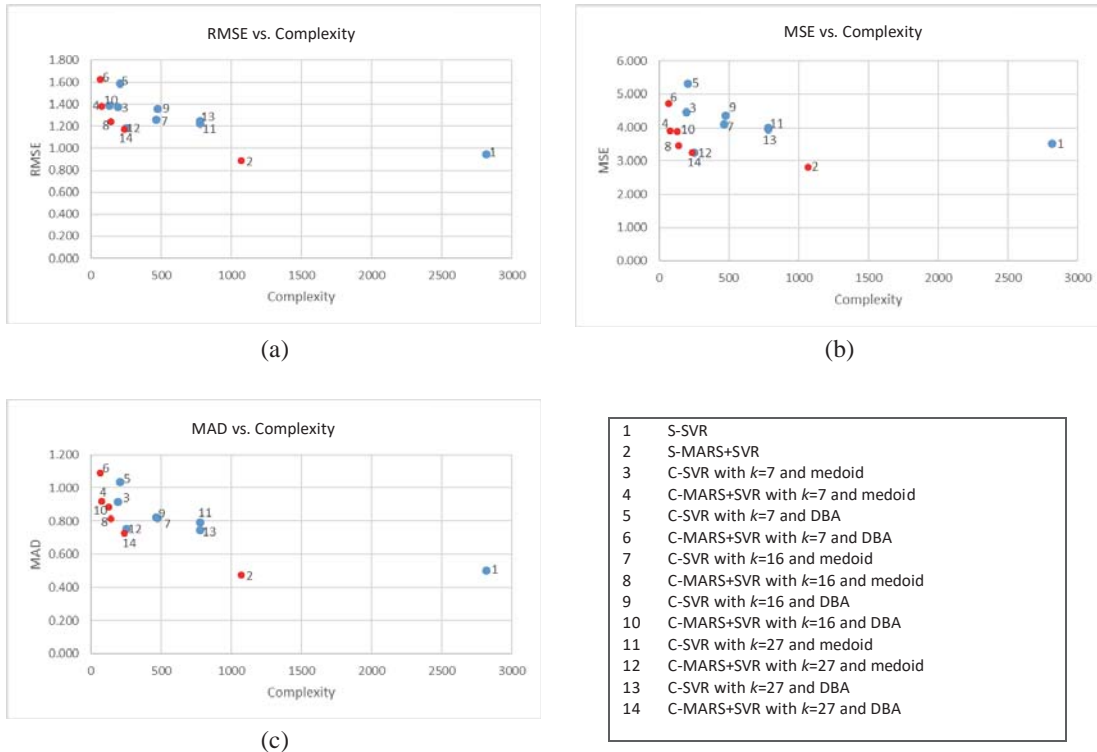


Fig. 7. Non-dominated solutions with respect to the forecasting errors and complexity.

5. CONCLUSION

This study presents a forecasting methodology for the companies that offer high product variety. The proposed methodology particularly focuses on sales data with unequal lengths and intermittency. For this purpose, the methodology combines various data mining tasks, i.e. clustering, feature extraction, feature selection, and prediction.

First, clustering is performed to determine the products having similar sales patterns. In this context, DTW is adopted to determine the dissimilarities for the products having different release and phase-out times. Second, in addition to the features that consider trend, volatility, and so on, new features are proposed to characterize intermittency. Additionally, for each cluster representative, features are selected with MARS. Finally, SVR is used for forecasting sales.

The proposed methodology is implemented in a forklift distributor company. Numerical results indicate that the proposed approach provides a reasonable level of accuracy with low complexity. Meanwhile, the non-dominated solutions with respect to the forecasting error and complexity are identified, and trade-offs between the two criteria are presented. The decision maker can select an appropriate model based on his/her preferences.

The proposed approach can be applied to a wide variety of companies such as retailers of fast fashion. Further studies can focus on the incremental updates of the clustering and prediction results. Additionally, new dissimilarity measures can be developed for intermittent data.

REFERENCES

Agrawal, R., Faloutsos, C., & Swami, A. (1993). Efficient similarity search in sequence databases. The Fourth International Conference Foundations of Data Organization and Algorithms, 69-84. doi:10.1007/3-540-57301-1_5

Bala, P.K. (2012). Improving inventory performance with clustering-based demand forecasts. *Journal of Modelling in Management*, 7(1), 23-37. doi:10.1108/17465661211208794

Bao, Y., Wang, W., & Zhang, J. (2004). Forecasting intermittent demand by SVMs regression. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 1, 461-466. doi:10.1109/icsmc.2004.1398341

- Bao, Y., Wang, W., & Zou, H. (2005). SVR-based method forecasting intermittent demand for service parts inventories. *Rough Sets, Fuzzy Sets, Data Mining, and Granular Computing*, 604–613. doi:10.1007/11548706_64
- Berndt, D., & Clifford, J. (1994). Using dynamic time warping to find patterns in time series. *Workshop on Knowledge Knowledge Discovery in Databases*, 398, 359–370.
- Biscarri, F., Monedero, I., García, A., Guerrero, J. I., & León, C. (2017). Electricity clustering framework for automatic classification of customer loads. *Expert Systems with Applications*, 86, 54–63. doi:10.1016/j.eswa.2017.05.049
- Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons.
- Brown, R. G. (1959). *Statistical forecasting for inventory control*. McGraw/Hill.
- Chen, I. F., & Lu, C. J. (2017). Sales forecasting by combining clustering and machine-learning techniques for computer retailing. *Neural Computing and Applications*, 28(9), 2633–2647. doi:10.1007/s00521-016-2215-x
- Croston, J. D. (1972). Forecasting and stock control for intermittent demands. *Operational Research Quarterly*, 23(3), 289-303. doi:10.2307/3007885
- Dai, W., Chuang, Y.-Y., & Lu, C.-J. (2015). A Clustering-based sales forecasting scheme using support vector regression for computer server. *Procedia Manufacturing*, 2, 82–86. doi:10.1016/j.promfg.2015.07.014
- Das, S., & Padhy, S. (2012). Support vector machines for prediction of futures prices in Indian stock market. *International Journal of Computer Applications*, 41(3), 22–26. doi:10.5120/5522-7555
- Friedman, J. H. (1991). Multivariate adaptive regression splines. *The Annals of Statistics*, 19(1), 1–67.
- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2012). *Data mining: concepts and techniques*. San Francisco, CA, Morgan Kaufmann.
- Hautamaki, V., Nykanen, P., & Franti, P. (2008). Time-series clustering by approximate prototypes. *19th International Conference on Pattern Recognition*, 1–4. doi:10.1109/ICPR.2008.4761105
- Hua, Z., & Zhang, B. (2006). A hybrid support vector machines and logistic regression approach for forecasting intermittent demand of spare parts. *Applied Mathematics and Computation*, 181(2), 1035–1048. doi:10.1016/j.amc.2006.01.064
- Huber, J., Gossmann, A., & Stuckenschmidt, H. (2017). Cluster-based hierarchical demand forecasting for perishable goods. *Expert Systems with Applications*, 76, 140–151. doi:10.1016/j.eswa.2017.01.022
- Jain, A. K. (2010). Data clustering: 50 years beyond k-means. *Pattern Recognition Letters*, 31(8), 651–666. doi:10.1016/j.patrec.2009.09.011
- Keogh, E. (1997). A fast and robust method for pattern matching in time series databases. In: *Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, pp. 578–584.
- Kumar, V., & Rathi, N. (2011). Knowledge discovery from database using an integration of clustering and classification. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2(3), 29–33. doi:10.14569/ijacsa.2011.020306
- Kuo, R. J., & Li, P. S. (2016). Taiwanese export trade forecasting using firefly algorithm based K-means algorithm and SVR with wavelet transform. *Computers and Industrial Engineering*, 99, 153–161. doi:10.1016/j.cie.2016.07.012
- Levis, A. A., & Papageorgiou, L. G. (2005). Customer demand forecasting via support vector regression analysis. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(8 A), 1009–1018. doi:10.1205/cherd.04246
- Lu, C.-J. (2014). Sales forecasting of computer products based on variable selection scheme and support vector regression. *Neurocomputing*, 128, 491–499. doi:10.1016/j.neucom.2013.08.012
- Lu, C. J., and Kao, L. J. (2016). A clustering-based sales forecasting scheme by using extreme learning machine and ensembling linkage methods with applications to computer server. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 55: 231–238. doi:10.1016/j.engappai.2016.06.015
- Lu, C. J., Lee, T. S., and Chiu, C. C. (2009). Financial time series forecasting using independent component analysis and support vector regression. *Decision Support Systems*, 47(2): 115–125. doi:10.1016/j.dss.2009.02.001

- Lu, C. J., Lee, T. S., & Lian, C. M. (2012). Sales forecasting for computer wholesalers: A comparison of multivariate adaptive regression splines and artificial neural networks. *Decision Support Systems*, 54(1), 584–596. doi:10.1016/j.dss.2012.08.006
- Murray, P. W., Agard, B., & Barajas, M. A. (2017). Market segmentation through data mining: A method to extract behaviors from a noisy data set. *Computers & Industrial Engineering*, 109, 233–252. doi:10.1016/j.cie.2017.04.017
- Nalbantov, G., Groenen, P. J., & Bioch, J. C. (2005). Support vector regression basics. *Medium Econometrische Toepassingen*, 13(1), 16-19.
- Petitjean, F., Ketterlin, A., & Gançarski, P. (2011). A global averaging method for dynamic time warping, with applications to clustering. *Pattern Recognition*, 44(3), 678–693. doi:10.1016/j.patcog.2010.09.013
- Thissen, U., Van Brakel, R., De Weijer, A. P., Melssen, W. J., & Buydens, L. M. C. (2003). Using support vector machines for time series prediction. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 69(1–2), 35–49. doi:10.1016/S0169-7439(03)00111-4
- Thomassey, S., & Fiordaliso, A. (2006). A hybrid sales forecasting system based on clustering and decision trees. *Decision Support Systems*, 42(1), 408–421. doi:10.1016/j.dss.2005.01.008
- Vapnik, V. (1995). *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer Verlag. doi:10.1007/978-1-4757-2440-0
- Winters, P. R. (1960). Forecasting sales by exponentially weighted moving averages. *Management Science*, 6(3), 324–342. doi:10.1287/mnsc.6.3.324
- Wisner, J. D., Tan, K. C., & Leong, G. K. (2015). *Principles of supply chain management: A balanced approach*. Cengage Learning.
- Yoon, K. P., & Hwang, C. L. (1995). *Multiple attribute decision making: an introduction*. Sage publications.
- Yu, X., Qi, Z., & Zhao, Y. (2013). Support vector regression for newspaper/magazine sales forecasting. *Procedia Computer Science*, 17, 1055–1062. doi:10.1016/j.procs.2013.05.134
- Zuo, Y., Ali, A. B. M. S., & Yada, K. (2014). Consumer purchasing behavior extraction using statistical learning theory. *Procedia Computer Science*, 35, 1464–1473. doi:10.1016/j.procs.2014.08.209



İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesinde Hata Türleri ve Etkileri Analizinin (FMEA) Kullanımı

Use of Failure Modes and Effects Analysis in Occupational Health and Safety Risk Assessment

Burak Birgören¹ , Meryem Yalçinkaya¹ 

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

Başvuru/Received: 17/07/2018

Kabul/Accepted: 26/11/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Öz

Otomotivden uzaya kadar birçok imalat sektöründe risk değerlendirme aracı olarak kullanılan FMEA yönteminin (Failure Modes and Effects Analysis – Hata Türleri ve Etkileri Analizi) son yıllarda İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) uygulamalarında yoğun kullanımı dikkat çekmektedir. İSG'nin başlı başına bir uzmanlık alanı olması da FMEA terminolojisi ve yaklaşımının İSG'ne göre uyarlanma gerekliliğini beraberinde getirmiş ve bunun için mevzuatlar hazırlanmıştır. Ancak şimdiye kadarki operasyonel risk uygulamalarında iş sağlığı ve güvenliğine dair özel değerlendirmelerin olmaması FMEA'nın İSG'nde nasıl uygulanacağı konusunda bir boşluk olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada İSG çatısı altında FMEA yönteminin etkin kullanımı için FMEA terminolojisinin İSG'deki karşılıkları ve farklılıkları üzerinde durulacak, yöntemin ilerleyişinde olası hataların altı çizilerek dikkat edilmesi gereken hususlar vurgulanacak ve günümüzde genellikle iş sağlığı risklerinin analize dahil edilmemesine karşın iş güvenliği ve iş sağlığı risklerinin birlikte FMEA'da nasıl kullanılacağı izah edilecektir.

Anahtar Kelimeler

“FMEA, Risk Değerlendirmesi, İş Sağlığı ve Güvenliği”

Abstract

As an effective risk assessment tool used in several industrial sectors ranging from automotive to aerospace industries, FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) technique has experienced an increasing use in Occupational Health and Safety (OHS) in recent years. The fact that the OHS is a professional field in itself requires the necessity of adaptation of the terminology and the approach of FMEA to the needs of OHS. However, no such systematic adaptation has been proposed in the literature of operational risk applications of FMEA, yet. For an effective use of FMEA under OHS framework, this study will focus on the provisions and differences of FMEA terminology in OHS and highlight important points to take into consideration for avoiding potential mistakes in applications of FMEA. Besides, because occupational health risks are not usually included in the analysis, special attention will be given to how occupational health and safety risks can be treated together in FMEA.

Key Words

“FMEA, Risk Assessment, Occupational Health and Safety”

1. GİRİŞ

Rekabetin arttığı yerel ve küresel pazarda büyüme ve sürdürülebilirlik için İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) yönetiminin önemi giderek artmaktadır. İSG yönetiminin de belkemiği risk yönetimidir. Sağlıklı ve sürdürülebilir bir risk yönetimi için de işyerlerinin risk değerlendirmesi süreçlerini etkin bir şekilde çalıştırmaları gerekir. İşyerlerinde risk değerlendirmesi gelişmiş ülkelerde bir yasal zorunluluk olmakla birlikte birçok büyük işletme risk değerlendirmesinden azami faydayı sağlayabilmek için etkin risk değerlendirmesi yöntemleri seçmekte ve en iyi şekilde uygulamaya gayret göstermektedir.

En çok kullanılan yöntemler arasında risk değerlendirmesi matrisleri, Fine-Kinney yöntemi ve FMEA sayılabilir (Birgören, 2017, Popov vd., 2016). FMEA ülkemizde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Özellikle otomotiv sektöründe dünya genelinde kullanımından dolayı Türk otomotiv sektöründe de yaygın şekilde kullanıldığı görülmektedir. Geleneksel olarak FMEA sistem, alt-sistem, süreç ve donanımların güvenilirliğini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Ancak günümüzde bir işyerindeki her türlü operasyonel riskin değerlendirmesinde kullanılmaktadır; bu çerçevede iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesi uygulamalarında da tercih edilen bir yöntemdir.

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununa dayalı çıkarılan İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğine (ÇSGB, 2012) göre risk değerlendirme süreci şu adımlardan oluşmaktadır: Tehlikelerin tanımlanması, risklerin belirlenmesi ve analizi, risk kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması, uygulanması, izlenmesi ve risk değerlendirmesinin yenilenmesi. Literatürde risk değerlendirme yöntemi olarak ifade edilen birçok yöntem bu aşamalardan sadece bir ya da birkaçını gerçekleştirecek araçlar sunarken FMEA tüm bu adımları gerçekleştirebilmektedir.

FMEA, 2010 sonrasında yayımlanan üç uluslararası risk değerlendirmesi standardında da önemli risk değerlendirme yöntemleri arasında sayılmaktadır. Bunlar IEC/ISO 31010:2009 Risk Yönetimi – Risk Değerlendirmesi Yöntemleri (IEC/ISO 31010, 2009), ANSI/ASSE Z690.3-2011 Amerikan Ulusal Standardı – Risk Değerlendirme Yöntemleri (ANSI/ASSE Z690.3, 2011) ve ANSI/ASSE Z590.3-2011 – Tasarım Yoluyla Önleme: Tasarım ve Yeniden Tasarım Süreçlerinde İş Tehlikeleri ve Riskleriyle ilgili kılavuzdur (ANSI/ASSE Z590.3, 2011) (Bu standartların Türkçeleri mevcut değildir).

FMEA için güvenilirlik çalışmalarına yönelik sistem, tasarım ve süreç FMEA uygulamalarını ayrı ayrı açıklayan kılavuzlar vardır (örnek olarak bakınız: SEMATECH (1992) kılavuzu ve Ford FMEA (1992) kılavuzu). Diğer taraftan FMEA'nın genel olarak operasyonel risklere uygulamalarını ele alan çalışmalara ancak yakın yıllarda rastlanmaktadır. Bu açıdan Popov vd. (2016) yukarıda bahsi geçen üç standartla uyumlu olacak şekilde FMEA'nın nasıl kullanılacağına dair bir yaklaşım sunmaktadır. Ancak bu yaklaşımda İSG'ne dair özel değerlendirmeler yer almamaktadır.

Bu çalışmada FMEA yönteminin İSG kullanımına odaklanılarak etkin bir uygulama için dikkat edilmesi gereken hususlar vurgulanacaktır. İSG'ndeki ve FMEA'daki temel kavramlar arasındaki farklılıklar üzerinde durulacak, güvenilirlik boyutu için hazırlanmış kılavuzlar takip edildiğinde düşülebilecek hataların altı çizilerek bunlardan nasıl kaçınılacağı izah edilecektir.

2. FMEA YÖNTEMİNE GENEL BAKIŞ

FMEA yönteminde anahtar kavram hata türüdür. Hata türü literatürde farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Burada konumuz açısından kullanışlı iki tanım verilecektir:

Hata Türü¹: Hata oluşturan ya da doğru çalışmayan şey (ANSI/ASSE Z590.3, 2011).

Hata türü²: Bir nesne (parça/madde/ürün ya da ekipman) ya da sürecin kendisinden beklenen fonksiyon ya da zorunlulukları yerinde getirememeye ya da karşılayamama şekli (Carlson, 2012)

FMEA yönteminde hata türlerinin öncelikleri bir Risk Öncelik Sayısı (RÖS) üretilerek belirlenir. RÖS değeri hataların Olasılıkları (*O*), Şiddeti (*Ş*) ve Fark edilebilirlik (*F*) değerlerinin çarpımıyla elde edilir.

$$RÖS = O \times \text{Ş} \times F$$

O: Her bir hata türünün oluşma olasılık değeri

Ş: Şiddet, diğer bir deyişle zararın ne kadar önemli olduğunun değeri

F: Fark edilebilirlik, diğer bir deyişle zarar meydana getirecek durumun keşfedilmesinin zorluk derecelendirilmesi

Bu çarpanların her biri 1 ile 10 arasında puan alır. Tekrardan kaçınmak için güvenilirlik uygulama kılavuzlarındaki genel puan tanımlamalarına yer verilmeyecek, bunun yerine bir sonraki bölümde İSG için önerilen puanlar ve karşılıkları ele alınacaktır.

FMEA süreci, FMEA'nın kapsam ve sınırlarının belirlenmesi, kapsama göre uygun bir ekibinin kurulması ve incelenecek sürecin belirlenmesi ile başlar. FMEA süreci yürütülürken Tablo 1'de gösterildiği gibi FMEA amacını, ekip rollerini, sorumluluklarını, hata türlerini ve iyileştirmeye yönelik aksiyonların tanımının yapıldığı bir çalışma sayfası kullanılmalıdır (SEMATECH, 1992). Bu sayfa aynı zamanda bir FMEA çalışmasının nasıl yürütüldüğünü de anlamak açısından faydalıdır. FMEA çalışma sayfasında dokümanite edilmesi gereken alanları da açıklamak gerekirse;

Alt sistem modülü ve fonksiyonu: FMEA’da incelenecek süreç büyük ise üzerinde çalışmak zor olacağı için, süreç alt süreçlere ayrılmalı, her bir alt süreç için ana fonksiyon ve sistemi oluşturan parçaların tasarım fonksiyonları tanımlanmalı ve sürece göre özel ekipler kurulmalıdır (Özkılıç, 2016). Bununla birlikte çapraz fonksiyonlu ve çok disiplinli bir FMEA takım sorumluluğu için ekibin her üyesi kendi süreci dışında diğer süreçleri de takip edebilmelidir. Ekip büyüklüğü için uygun sayı 4-6 kişidir (Hosseini, 2011).

Potansiyel hata türü: FMEA ekibi geçmiş dönemlere ait kayıtlar, süreç akış diyagramları, tasarım özelliklerinin yer aldığı formlar vb. belgeler rehberliğinde sorumlu oldukları sürecin her adımında “burada nasıl bir hata oluşabilir?” sorusunu sorar ve mevcut durumda oluşmamış fakat oluşabilecek potansiyele sahip hata türlerini Tablo 1’in ikinci sütununda fiziksel özellikleri ile tanımlar.

Potansiyel lokal ve sonuç hata etkileri: Tablo 1’in üçüncü ve dördüncü sütunlarında, olası hatanın gerçekleşmesi ile bu durumun ekipmanı veya makineyi kullanacak operatör veya çevre üzerindeki etkileri ele alınır. Burada lokal ifadesi ile olası hatanın alt sisteme olan etki/etkilerinden; sonuç ifadesi ile de alt sistemin hatasının, sistemin çıktısı (işlevi) üzerindeki güncel etki/etkilerinden bahsedilir. Lokal hata etkilerinin incelenmesi, sistemin o düzeydeki destek teçhizatının veya düzeltici çalışmaların etkinliğini belirlemede yardımcı olacaktır (Özkılıç, 2016).

Şiddet: Hatanın gerçekleşmesi durumunda operatör ve çevre üzerinde ne kadar etki yaratacağı analiz edilir ve sonuç şiddet tablosundaki (bakınız Tablo 2) 1-10 skor aralığına değerlendirilerek Tablo 1’de ilgili sütuna kaydedilir. Hataların şiddeti genellikle, felaket getirici, kritik, büyük ve küçük olarak sınıflandırılır.

Kritik Güvenlik (Cr) hata türü: Bir hatanın sonuç etkisi, tehlikeli veya felakete yol açabilir şeklinde sınıflandırılıyorsa ilgili hata, kritik güvenlik hata türü olarak değerlendirilir ve ilgili sütuna evet anlamında “E” yazılır (SEMATECH,1992).

Potansiyel nedenler: Tablo 1’in potansiyel hata nedeni sütununda hatanın meydana gelmesine neden olabilecek sebepler ve koşullar listelenir. Potansiyel nedenler açık ve net olmalıdır. Belirsiz ve kesin olmayan sebepler yazılmamalıdır. Potansiyel nedenleri tanımlamak için beyin fırtınası, sebep-sonuç diyagramları, hata ağacı analizleri kullanılabilir (Özkılıç, 2016).

Olasılık: Grup üyelerinin bilgi birikimi ve tecrübelerine göre hata türünün oluşma sıklığı Tablo 3’teki 1-10 skor aralığına göre derecelendirilir ve derece notu Tablo 1’de ilgili sütuna kaydedilir.

Mevcut kontroller/Hata tespiti: Tablo 1’in dokuzuncu sütununda hatanın olmasının önüne geçmeye yönelik olan önleyici kontroller ve hata oluştuğundan sonra hatayı tespit etmeye yarayan keşfedici kontroller listelenir.

Fark edilebilirlik: Mevcut kontroller sonucunda olası hatanın istenmeyen sonuçlara yol açmadan tespit edilebilme derecesi Tablo 1’de ilgili sütuna işlenir. Personelin hatayı saptama olasılığının değeri fark edilebilirlik tablosundaki (bakınız Tablo 4) 1-10 skor aralığına göre derecelendirilir.

RÖS: FMEA ekibi her hata türü için 1-10 skalasında belirledikleri şiddet, olasılık ve fark edilebilirlik değerlerinin çarpımları ile 1-1000 arasında değişen bir risk öncelik katsayısını oluştururlar. Bu katsayı ilgili hata türünün risk barındırma kritiklik derecesini göstermektedir. FMEA ekibi, hata türlerini RÖS değeri en yüksek olandan en düşük olana göre sıralar ve bu önceliğe göre düzeltici, önleyici ya da kalite iyileştirici faaliyetler geliştirerek bu RÖS değerini düşürmeye çalışır.

Önerilen Faaliyetler – FMEA ekibi hata olasılığını azaltmak, hatanın gerçekleşmesi durumunda şiddetini azaltmak ve hata tespit edebilme kabiliyetini geliştirmek için faaliyet önerilerinde bulunurlar ve bunları çalışma sayfasına işlerler. Örneğin FMEA ekibi hata türünün olasılığını düşürmek adına plan, şartname, üretim yöntemleri, üretim akış yöntemleri, tasarım ve çevre ve koruma koşullarında değişiklik gibi önerilerde bulunabilirler. Diğer yandan, fark edilebilirlik yeteneğini geliştirmek için kontrol sıklıklarının ve kontrol yöntem güvenilirliğinin artırılması gibi öneriler geliştirebilirler.

Sorumluluk ve Tamamlanma Zamanı – Önerilen faaliyetler için sorumluluk sahibi kişi/ kişiler ve termin zamanlarının listelendiği alandır.

Yapılan faaliyetler: Önerilen faaliyetler uygulandıktan sonra, faaliyetle ilgili kısa bir açıklama ve faaliyetin yürürlük tarihinin girildiği alandır.

Faaliyet Sonuçları: Önleyici/düzeltilici faaliyet tamamlandıktan sonra son duruma göre şiddet, olasılık ve fark edilebilirlik dereceleri yeniden gözden geçirilmeli ve yeni RÖS değer, çarpan değerleri ile birlikte Tablo 1’in son dört sütununa kaydedilmelidir. Son RÖS değer için başka faaliyetler gerekli ise analizler tekrar edilmelidir. Her zaman sürekli iyileştirme üzerine odaklanmalıdır.

Tablo 1. FMEA Çalışma Sayfası

SİSTEM: HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (HTEA/FMEA)
ALT SİSTEM: ARIZA KODU

TARİH:
SAYFA:

HAZIRLAYAN:

REFERANS ÇİZİMİ:

Alt Sistem Modülü & Fonksiyonu	Potansiyel Hata Türü	Potansiyel Lokal Hata Etkileri	Potansiyel Sonuç Hata Etkileri	Şiddet	Ç	Potansiyel Hata Nedenleri	Olasılık	Mevcut Kontroller /Hata Tespiti	RÖS	Önerilen Faaliyetler	Sorumluluk ve Tamamlanma Zamanı	Yapılan Faaliyetler	Faaliyet Sonuçları			
													Şiddet	Olasılık	Farkedilebilirlik	
Alt Sistem ismi ve fonksiyonu	"Bu alt sistem işlevini nasıl yerine getiremiyor?" "Operatör ne görecek?"	1.Sistemdeki kesinti süreleri 2. Güvenlik 3. Çevresel etkisi. 4. Hurda kaybı	1.Sistemdeki kesinti süreleri 2. Güvenlik 3. Çevresel etkisi. 4. Hurda kaybı	7	E	Bu hata nasıl olabilir? "	5	"Bu nedenin etkisini tespit edebilecek, önleyecek ya da en aza indirebilecek mekanizmalar var mı?"	6	"Ne sorumluluk alınacak?" "Ne zaman bitecek?"	"Sorumlu düzeltmek için ne yapıldı?" Örnekler: Mühendislik değişikliği, Yazılım revizyonu, Eskime nedeniyle şu anda önerilen işlem yok.	6	6	1	6	
												"Yapılan faaliyetler" RÖS'ü nasıl değiştirdi?				

3. FMEA YÖNTEMİNİN İSG İÇİN KULLANIMI

FMEA yönteminin İSG uygulamalarında yukarıda verilen tanımlamalar yeterli olmamaktadır; çünkü İSG başlı başına bir uzmanlık alanıdır. Bu alan batı ülkelerinde ve ülkemizde yasal mevzuatla düzenlenmiştir ve bu alanın kendine ait terminolojisi ve yaklaşımları vardır.

İş sağlığı ve güvenliğinde tehlike ve risk kavramları konuyla yakından ilgilidir. Avrupa Birliğindeki İSG yaklaşımı esas alınarak hazırlanan 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunundaki tanımlamalar şöyledir (ÇSGB, 2012):

- Tehlike: İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek, çalışımı veya işyerini etkileyebilecek zarar veya hasar verme potansiyeli.
- Risk: Tehlikeden kaynaklanacak kayıp, yaralanma ya da başka zararlı sonuç meydana gelme ihtimali.

Kanundaki bu tanımlamaya göre tehlike, zarar veya hasar oluşturabilecek potansiyel bir durumu, hareketi ya da herhangi bir şeyi ifade eder. Tehlikeler genellikle tehlikeli durumlar ve olaylar olarak ikiye ayrılır. Örneğin belli bir kimyasal ile yapılan yapıştırma işlemi ya da merdiven üzerinde çalışma tehlikeli olaylardır; ortam havasında yoğun metal tozu bulunması ise tehlikeli durumdur. Risk ise tehlikelerden kaynaklanan muhtemel yaralanma, hastalık veya zarardır (Birgören & Yılmaz, 2015).

3.1. Hata Türleri ve İSG Tehlikeleri

Yukarıdaki tanımlar değerlendirildiğinde FMEA'daki hata türlerinin İSG çerçevesinde tehlike olarak ele alınması gerektiği açıktır. İncelenen birçok FMEA uygulama örneğinde de hata türlerinin tehlike tanımına uyduğu görülmektedir. Hata türlerinin doğrudan risk yani muhtemel yaralanma ve hastalık olarak ele alınması yanlış bir uygulamadır; Tablo 1'den de görülebileceği gibi böyle yapılırsa hata türünün olası etkilerinden bahsetmek mümkün olmaz. Bu tabloda hata türleri tehlike olarak ele alındığında ise olası etkileri arasında yaralanmalar, hastalıklar, maddi hasarlı kazalar, durmalar, bozulmalar vs.den bahsetmek mümkün olacaktır; öyle ki tüm bunlar İSG risk tanımı içine girer. Örneğin bir makinenin üreteceği olası bir arıza, hata türü olarak tabloya girilecek, bunun yol açacağı olası kazalar, üretim kaybı vs. hatanın olası etkileri sütununda bahsedilecektir.

Tablo 2'deki derece ve açıklamalar SEMATECH (1992) kılavuzunda, çevre, güvenlik ve sağlık için önerildiği şekliyle alınmıştır; iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında doğrudan kullanılabilir.

Tablo 2. Çevre, Güvenlik ve Sağlık Şiddet Seviye Tanımları

Derece	Önem	Düzye Açıklaması
10	Felaket I	Arıza, personelin ağır yaralanmasına veya ölümüne neden olur.
7 -9	Kritik II	Arıza; personelde hafif yaralanma, personelin zararlı kimyasallara veya radyasyona maruz kalması, uzuv kaybı, yangın veya çevreye kimyasal maddelerin salınması ile sonuçlanır.
4-6	Büyük III	Arıza, personelin tehlikeye düşük seviyede maruz kalmasıyla sonuçlanır veya tesis alarm sistemini aktive eder. İlk yardım dışında tıbbi yardım gerektiren yaralanmalarla sonuçlanabilir.
1-3	Küçük IV	Arıza, küçük sistem hasarlarına yol açar, ancak personelin yaralanmasına neden olmaz. Operasyonel veya hizmet personeli üzerinde göz ardı edilebilir düzeyde, olumsuz etki yaratır. İlk yardım yeterlidir. Kimyasalların çevreye salınmasına izin verilir.

3.2. Hata Türlerinin Olasılıkları

İSG risk değerlendirmesinde yaygın şekilde kullanılan risk matrislerinde riskin olasılık ve şiddeti derecelendirilerek risk puanı hesaplanır. Riskin olasılığının sağlıklı şekilde hesaplanması ise geçmiş kaza ve hastalık istatistiklerinin kullanılmasını gerektirir. Bu özellikle KOBİ niteliğindeki işletmelerde oldukça zordur; istatistikler tutulmamaktadır, risk olarak ifade edilen birçok kaza henüz işyerinde hiç yaşanmamıştır, genellikle bunlar için olasılık hesaplaması yapacak donanımda bir risk değerlendirme ekibi yoktur.

Diğer taraftan az önce ortaya konduğu üzere hata türleri tehlikeleri ifade etmektedir, bu yüzden FMEA'daki RÖS hesabında riskler yerine tehlikelerin olasılıkları kullanılır. Tehlikeli olaylar ve durumların olasılıkları Tablo 3 (SEMATECH, 1992) kullanılarak daha rahat bir şekilde üretilebilir. Örneğin belli bir atölyede baretsiz çalışma olasılığı geçmiş gözlemlerden rahatlıkla tahmin edilebilir. Ancak bundan kaynaklı bir yaralanmanın olasılığını tahmin etmek, özellikle de henüz böyle bir kaza olmamışsa, çok daha zordur.

Tablo 3. Olasılık Sıralama Ölçütleri

Sıra	Açıklama
1	Ortaya Çıkması Olası Olmayan Hatalar: Birim işleme aralığı boyunca hataların ortaya çıkma olasılıkları sıfıra yakındır. Tek bir hata türü için bu olasılık 0.001'den (1000 saatte 1 hatadan) küçüktür.
2-3	Ortaya Çıkma Olasılığı Uzak Olan Hatalar: Birim işleme aralığı boyunca hataların ortaya çıkma olasılıkları çok küçüktür (Örneğin iki ayda bir gibi). Tek bir hata türü için bu olasılık 0.001 -0.01 aralığındadır.
4-6	Ara Sıra Gözüken Hatalar: Birim işleme zaman aralığı boyunca hataların ortaya çıkma olasılıkları küçüktür (Örneğin ayda bir gibi). Tek bir hata türü için bu olasılık 0.01 - 0.10 aralığındadır.
7-9	Ortaya Çıkma Olasılığı Oldukça Yüksek Olan Hatalar: Birim işleme zaman aralığı boyunca hataların ortaya çıkma olasılıkları orta düzeydedir (örneğin iki haftada bir gibi). Tek bir hata türü için bu olasılık 0.10 - 0.20 aralığındadır.
10	Ortaya Çıkma Olasılığı Çok Yüksek Olan Hatalar: Birim işleme zaman aralığında hataların ortaya çıkma olasılıkları çok yüksektir (Örneğin haftada bir gibi). Tek bir hata türü için bu olasılık 0.20'den büyüktür.

3.3. Hata Türleri, Meslek Hastalıkları ve İşle ilgili Hastalıklar

İSG risklerinin olasılık tahmini zordur, ancak iş kazaları için bu yine subjektif de olsa yapılabilir. Diğer taraftan meslek hastalıkları ve işle ilgili hastalıklar için olasılık değerlendirmesi daha da içinden çıkılmaz bir hal alır. Çünkü kazalar, kısa bir zaman içinde gerçekleşir, eğer kaza istatistiklerinin kaydı tutuluyorsa belli bir zaman zarfında kaç adet olduğu hesaplanabilir. Diğer taraftan hastalıklar kimyasallara, biyolojik vb. etmenlere maruziyet nedeniyle yavaş yavaş gelişirler. Öyle meslek hastalıkları vardır ki on yılı aşkın bir maruziyetin ardından ortaya çıkar ve tanı konulabilir. Dolayısıyla hastalıkların teşhis edilmesini bekleyip önlem alınması son derece yanlış bir yaklaşımdır.

İş sağlığında işyeri hekimlerinin temel görevi koruyucu hekimliktir. İşyeri hekimi sağlık gözetimi yapmakla yükümlüdür; bunun için işyeri ortamını etkileyen psikososyal, ergonomik, biyolojik, kimyasal ve fiziksel tehlike kaynaklarını saptamalıdır ve alınması gerekli önlemleri kararlaştırmalıdır (Atlı vd., 2012). Dolayısıyla doğrudan iş sağlığı tehlikelerine bakarak, henüz hiçbir hastalık emaresi olmasa dahi, gerekli önlemlerin alınması iş sağlığı uygulamalarında temel yaklaşımdır. Bu nedenle bazı işyeri hekimleri iş sağlığı risklerinin risk değerlendirmesinde puanlanmasının yanıltıcı olduğunu dahi iddia etmektedirler. Çünkü genellikle iş sağlığı risklerinin (hatalıkların) olasılık puanları, işyerinde kimseye tanı konmadığı ya da çok az kişiye tanı konduğu için düşük verilmekte, bu da risk puanını düşürmektedir.

Türkiye'de genellikle işyeri risk değerlendirmesi çalışmalarında sadece iş güvenliği risklerinin risk analizine tabi tutulduğu, iş sağlığı risklerinin ise analize tabi tutulup puanlanmadığı gözlenmektedir. Ayrıca Türkiye'de meslek hastalıkları ve işle ilgili hastalıkların teşhisi konusunda da ciddi sıkıntılar söz konusu olduğu için teşhis istatistiklerine dayalı olasılık değerleri tahmini neredeyse imkansızdır.

Ancak bu hastalıklara yol açan nedenler, yani tehlikeler iş sağlığı literatüründe bellidir. Bir işyerinde bunlara maruziyetin ne sıklıkla ortaya çıktığını tahmin etmek ise nispeten kolaydır. Örneğin belli bir tehlikeli kimyasala solunum yoluyla maruziyetin ne sıklıkla olabileceği tahmin edilebilir. FMEA'da hastalıkların görülme sıklığını tahmin yerine tehlikeye maruziyetin sıklığı puanlanacağı için iş sağlığı risklerinin olasılık boyutunun hesaba katılması daha kolay olacaktır.

FMEA uygulamalarında iş sağlığı risklerinin hesaba katılmadığı, literatürde de bu konunun ele alınmadığı gözlenmiştir. İşyeri hekimliğinde riskin büyüklüğü tehlikenin varlığı ve buna maruziyetle ölçüldüğü için işyeri hekimlerinin bu yaklaşımı benimsemelerinin daha kolay olacağı öngörülebilir.

Tablo 3'deki olasılık değerlerinin iş sağlığı uygulamalarında nasıl kullanılabileceği, takip eden bölümdeki örneklerle izah edilecektir.

3.4. Hatanın Fark Edilebilirliği

FMEA'nın güvenilirlik uygulamalarında hatanın fark edilebilirliği, hatayı keşfetme zorluk derecesi olarak tanımlanmaktadır, ancak bu İSG uygulamalarında yanlış yorumlanabilmektedir. Popov vd. (2016) bunun yerine "alınan önlemlerin etkinliği"nin değerlendirilmesi gerektiği belirtmektedir. Örneğin bir atölyede baretless çalışma yapıldığının tespiti kolaydır. Ancak bunu önlemek için alınması gerekli tedbirler alınmış ve uygulanıyorsa fark edilebilirlik puanı düşecektir, bu da RÖS değerini aşağı çekecektir. Çünkü bu durumda baretless çalışmasını etkin şekilde engelleyen önlemler devrededir.

Popov vd. (2016)'un bu konudaki önerisi 1 ile 5 arasında değişen bir puanlamadır. Bu puanlama, Tablo 4'te gösterilen geleneksel fark edilebilirlik tablosuna (SEMATECH,1992) uyarlanarak Tablo 5'teki gibi özetlenebilir.

Tablo 4. Fark Edilebilirlik Sıralama Ölçütleri (SEMATECH,1992)

Sıra	Açıklama
1-2	Hatanın tespit edilme olasılığı çok yüksektir. Doğrulama ve/veya kontrollerle bir eksiklik veya kusurun varlığı hemen hemen kesin fark edilecektir.
3-4	Hatanın tespit edilme olasılığı yüksektir. Doğrulama ve/veya kontroller, bir eksiklik veya kusurun tespiti için iyi bir fırsata sahiptir.
5-7	Hatanın tespit edilme olasılığı ortadır. Doğrulama ve/veya kontrollerle bir eksiklik veya kusurun fark edilebilirliği olasıdır.
7-9	Hatanın tespit edilme olasılığı düşüktür. Doğrulama ve/veya kontrollerle bir eksiklik veya kusurun fark edilebilirliği uzak bir ihtimaldir.
10	Hatanın tespit edilme olasılığı oldukça düşüktür. Doğrulama ve/veya kontrollerle bir eksiklik veya kusurun fark edilebilirliği sifıra yakındır veya varlığı fark edilemez haldedir.

Tablo 5. Fark Edilebilirlik Sıralama Ölçütleri

Sıra	Açıklama
1-2	Tehlikelerle kaynağında mücadele yapılmaktadır
3-4	Mühendislik kontrolleri yapılmaktadır
5-7	Uyarılar ve idari kontroller yapılmaktadır
8-9	Kişisel koruyucu donanım kullanılmaktadır
10	Hemen hiçbir güvenlik önlemi alınmamıştır

Tablo 5, İSG'de kontrol hiyerarşisini esas almıştır. Bu tablo uygulanırken kontrollerin ve önlemlerin düzenli ve etkin bir şekilde uygulanması esastır. Örneğin belli bir tehlike için çalışanlara uyarılar ve idari önlem uygulaması düzensiz şekilde yapılıyorsa, ancak kişisel koruyucu donanım kullanımı etkin bir şekilde gerçekleştiriliyorsa 8-9 aralığında bir puan verilmelidir. Risk değerlendirmesi ekibi uyarı ve idari kontrollerin düzenli ve etkin şekilde yapıldığına kanaat getirdiğinde puan 5-7 aralığına düşürülebilir. İki açıklama arasında tereddütte kalındığında muhafazakar bir yaklaşımla yüksek puanlı açıklamanın tercih edilmesi tavsiye edilir.

4. ÖRNEK UYGULAMALAR

Bu bölümde bir operasyonun yol açabileceği iş güvenliği ve iş sağlığı riskleri kullanılarak uygulamanın nasıl yapılacağı izah edilecektir.

Bir çalışanın gerçekleştirdiği belli bir elle taşıma operasyonunu ele alalım. Bu operasyonda çalışan iki eliyle tuttuğu metal parçaları, önünde oturduğu taşıma makinesine bağlı dönen bir taşa temas ettirerek taşlamaktadır. FMEA'da bu elle taşıma operasyonu fonksiyon başlığı altına yazılır. Bu operasyonda çalışanın eli, yüzü ve gözü yaralanabilir. Ayrıca çalışan metal parçadan çıkan toksik ve kanserojen krom tozuna maruz kalmaktadır. Tablo 6'da bu fonksiyonla ilgili "elin taşıma teması", "taşlamada parça sıçraması" ve "krom tozu salınımı" olmak üzere üç hata türü yazılmıştır. Burada operatörün nadiren çıkarsa da düzenli olarak koruyucu eldiven ve gözlük kullandığı, ancak taşıma makinesindeki yüz koruyucu olarak kullanılan cam şiperin sökölüp devre

dışı bırakıldığı gözlenmiştir. Ayrıca solunum yolunu korumak için bir lokal havalandırma sistemi yoktur, çalışan toz maskesi kullanmamaktadır.

FMEA tablosunda üç hata türünün nedenleri, yol açacağı yaralanma ve hastalıklar ve mevcut önlemler ilgili sütunlara not edilmiştir. Hata türlerinin net bir ifadeyle yazılması, nedenleri, sonuçları ve önlemlerle ilgili de net ifadeler yazılabilmesini sağlar. Burada “dikkatsiz çalışma”, “kurallara uymama”, “idari önlemlerin eksikliği” gibi genel ve muğlak hata türü ifadeleri kullanımından kaçınılmalıdır.

Elin taşla teması ilk yardım gerektiren bir yaralanma ile sonuçlanacağı için $S = 3$ verilmiştir; elle temas birkaç haftada bir olmaktadır, bu nedenle $O = 7$ 'dir; KKD kullanımı sağlandığı ve idari kontroller yapıldığı için $F = 6$ verilmiştir. Burada O yaralanma olasılığı değildir, elle temas olasılığıdır, elle her temas ilk yardım gerektirmez, elin taşla ne sıklıkla temas ettiği ramak kala olay raporlarından ya da doğrudan çalışanın sözlü beyanından öğrenilebilir.

Taşlamada parça sıçramasının yüzde ufak yaralanmalardan kalıcı görme kaybına kadar giden sonuçları olabilir. Bu durumda bunların en şiddetlisi olan kalıcı görme kaybı esas alınır, dolayısıyla $S = 8$ 'dir; haftada birden çok sıçrama olduğu saptanmıştır, bu yüzden $O = 10$ 'dur; KKD kullanılmaktadır, ancak yüz koruyucu siper devre dışıdır, idari ve mühendislik kontrolleri (parça kalite kontrol) yetersizdir, bu yüzden $F = 8$ verilmiştir.

Yukarıda sayılan hata türleri iş kazalarına yol açmaktadır. Diğer taraftan krom tuzu salınımının bir meslek hastalığına (kanser) yol açma potansiyeli vardır. Şiddet düzeyi saptanırken mesleki kanserin olası bir ölümlü sonuçlanması göz önüne alınarak $S = 10$ verilmiştir. Henüz hiçbir hastalık gözlenmemiş olsa bile tehlikeye, yani krom tozuna düzenli maruziyet olduğu için (Tablo 3'e göre haftada birden sık) $O = 10$ verilmiştir. Solunum yolunun korunması için hiçbir önlem alınmadığı için de $F = 10$ 'dur.

Tablo 6'da sorumlular, tamamlanma zamanı ve yapılan faaliyetlere dair sütunlar doldurulmamıştır. Alınan önlemler tamamlandığında yeniden RÖS puanları hesaplanarak en sağdaki sütunlara yazılır, böylece ne ölçüde iyileşme sağlandığı gözlenebilir. Örneğin bu üç hata türünden RÖS puanı en yüksek olanın krom tozu salınımı olduğu görülmektedir. Buna öncelik verilerek uygun toz maskesi düzenli kullanımının sağlandığını, uyarı ve sıkı denetim olduğunu varsayalım. Çalışanın nadiren (birkaç ayda bir) maskesiz çalıştığı gözlenmiş olsun. Bu durumda puanlar $O = 3$, $F = 6$ olarak yeniden verilmiştir. Ancak $S = 10$ olacaktır, çünkü olasılık değerleri ne kadar düşerse düşsün, halen mesleki kanser riski vardır. Bu durumda $RÖS = (3)(10)(6) = 180$ değerine düşecektir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada FMEA yönteminin İSG risk değerlendirmesi uygulamalarında etkin bir şekilde nasıl kullanılabilceği ele alınmıştır. Bu çerçevede hata türlerinin İSG uygulamalarında tehlikeli olay ve durumlara karşılık geldiği; Risk Öncelik Sayısı bileşenlerinden Olasılık değerinin tehlikelerin olasılığı olarak yorumlanması gerektiği, bu nedenle FMEA yönteminin iş güvenliği risklerinin değerlendirmesine ek olarak iş sağlığı risklerinin değerlendirmesinde de başarılı bir şekilde kullanılabilceği ortaya konmuştur. Ayrıca Fark edilebilirlik bileşeninin alınan önlemlerin etkinliği şeklinde yorumlanması gerektiği belirtilerek fark edilebilirlik düzey ve açıklamaları bir tablo olarak verilmiş, benzer şekilde literatürden İSG uygulamaları için uygun Olasılık ve Şiddet tabloları önerilmiştir. Tüm bu hususların nasıl uygulanacağı da hem iş güvenliği hem de iş sağlığı risklerini içeren bir örnek üzerinde izah edilmiştir.

Bilimsel literatürde FMEA yönteminin İSG risk değerlendirmesinde nasıl kullanılması gerektiğine dair bu kapsamda bir çalışmaya rastlanmadığından bu çalışmanın İSG alanında bir boşluğu dolduracağı düşünülmektedir. Buna ek olarak bu çalışmanın, İSG risk değerlendirmesinde çok sık kullanılan bu risk değerlendirmesi yönteminin uygulayıcılarına da yol gösterici nitelikte bir kılavuz olacağı tahmin edilmektedir.

Tablo 6. Örnek FMEA Çalışma Sayfası

SİSTEM: HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (HTEA/FMEA)
ALT SİSTEM: ARIZA KODU

TARİH:
SAYFA:

REFERANS ÇİZİMİ:

HAZIRLAYAN:

Alt Sistem Modülü & Fonksiyonu	Potansiyel Hata Türü	Potansiyel Lokal Hata Etkileri	Potansiyel Sonuç Hata Etkileri	Siddet	C	Potansiyel Hata Nedenleri	Olasılık	Mevcut Kontroller /Hata Tespiti	Farkedilebilirlik	RÖS	Önerilen Faaliyetler	Sorumluluk ve Tamamlanma Zamanı	Yapılan Faaliyetler	Faaliyet Sonuçları		
														Siddet	Olasılık	Farkedilebilirlik
Subap taşlama operasyonu	Elin taşıla teması	Parmak yaralanması, ilk yardım yeterli	Üretimde kesinti, iş gücü kaybı	3		Eldiven kullanılmaması	7	Çalışanın gün içinde KKD kullanımını birçok kez kontrol edilmektedir. Kullanıyorsa uyarılmakta ve tektirilmektedir.	6	126	Çalışana işbaşı eğitimi					
Taşlamada parça sıçraması	Göze ya da yüze sıçrayan parçanın batması	Göze ya da yüze sıçrayan parçanın batması	Üretimde kesinti, iş gücü kaybı, kalıcı görme kaybı	8	E	Taşın körlemmesi, parçada yüzey problemleri	10	Taşın kontrolü operatördedir. Parça yüzey problemleri kontrol edilmektedir.	8	640	Çalışana işbaşı eğitimi, taşın mühendislik kontrolü, yüz sipertim devreye alınması.					
Krom tozu salınımı	Zehirlenme ve Mesleki kanser	Zehirlenme ve Mesleki kanser	Üretimde kesinti, iş gücü kaybı, işyeri havasının zehirlenmesi	10	E	Parçada krom olması, lokal havalandırma olmaması	10	Lokal havalandırma sistemini yoktur. Toz maskesi kullanılmamaktadır. Kontrol yoktur. Ölçüm yapılmamıştır.	10	1000	Öncelikle uygun toz maskesi seçimi ve düzenli kullanılması, çalışana işbaşı eğitimi (arından lokal havalandırma sistemini kurulumu)	Uygun toz maskesi düzenli kullanımı sağlandı, uyarı ve sıkı denetim yapılmaktadır.	10	3	6	180

REFERANSLAR

- ANSI/ASSE Z690.3-2011 (2011). American National Standard – Risk Assessment Techniques. Des Plaines, IL: The American Society of Safety Engineers.
- ANSI/ASSE Z590.3-2011 (2011). Prevention Through Design: Guidelines for Addressing Occupational Hazards and Risks in Design and Redesign Processes. Des Plaines, IL: American Society of Safety Engineers.
- Atlı, K., Froneberg, B., Matisane, L., Yıldız, A. N., Şimşek, C., Demirkol, D. & Rodoplu, S. (2012). Çalışma Yaşamında Sağlık Gözetimi Rehberi. Türkiye’de İş Sağlığı ve Güvenliği Koşullarının İyileştirilmesi Projesi (İSGİP) – TR0702.20-01/001 (AB Projesi, Yararlanıcı: İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü).
- Birgören, B. & Yılmaz, F. (2015). İş Sağlığı ve Güvenliğinde Standartlar ve Mevzuat ve Çerçevesinde Etkin Risk Yönetimi ve Değerlendirmesi. International Journal of Engineering Research and Development, 7(2), 1-14.
- 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.
- Carlson, C.S. (2012). Effective FMEAs – Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (2012). İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği. Resmi Gazete, 28512. Ankara.
- FORD (1992). FMEA Handbook, Ford Motor Company Engineering Materials and Standarts. Dearborn, Michigan.
- Hosseini, A. M. (2011). Risk Assessment by FMEA Method and Comparison of RPN Before and After Corrective Action in Bafq Direct Iron Reduction Projects. Seventh National Conference on Occupational Health and Safety. Quzvin, Iran.
- International Organization for Standardization (2009). IEC/ISO 31010: 2009. Risk Management – Risk Assessment Techniques. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/51073.html>.
- International SEMATECH (1992). Failure Mode and Effects Analysis (FMEA): A Guide for Continuous Improvement for the Semiconductor Equipment Industry. Technology Transfer #92020963B-ENG. Albany, NY: SEMATECH.
- Özkılıç, Ö. (2016), FMEA / FMECA - Hata Modu ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effects Analysis- Failure Mode and Critically Effects Analysis). Retrieved from <https://tr.linkedin.com/pulse/fmea-fmecca-hata-modu-ve-etkileri-analizi-failure-mode-%C3%B6zlem-%C3%B6zkili%C3%A7>.
- Popov, G., Lyon, B.K. & Hollcroft, B. (2016). Risk assessment: A practical guide to assessing operational risks. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.



Baybora-1 Borlama Tozu Kullanılarak Yüzey Sertleştirme İşlemine Tabi Tutulan 41Cr4 Çeliğinin Aşınma Davranışının İncelenmesi

Investigation of Wear Behavior of 41Cr4 Steel Subjected to Surface Hardening Process Using Baybora-1 Boriding Powder

Bünyamin Yamanel¹, Osman Bican^{*2}, S. Uğur Bayça²

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

²Kırıkkale Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 71450 Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 21/11/2018

Kabul/Accepted: 21/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Özet

Bu çalışmada SAE 5140 çeliğine 950 °C de yerli Baybora-1 borlama tozu kullanılarak 4 ve 6 saat süreli katı borlama işlemi yapılmıştır. Numunelerin içyapısı optik ve SEM de incelenmiştir. Ayrıca oluşan bor tabakalarının kalınlık ve sertlik değerleri Mikrovickers sertlik ölçme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Borlanan numuneler farklı yükler altında ve abrazyon aşındırıcı yüzeyler kullanılarak aşınma testine tabi tutulmuş ve aşınma yüzey fotoğrafları çekilmiştir. SAE 5140 çeliğinin içyapısının ferrit bölgeleri ve perlit lamellerinden oluştuğu görülmüştür. Farklı sürelerde borlama işlemine tabi tutulan SAE 5140 çeliğinin ise yüzey altında iki farklı tabaka oluştuğu XRD yöntemiyle belirlenmiştir. Bunların yüzeyden itibaren FeB ve Fe₂B tabakaları olduğu ve sertlik değerlerinin işlem uygulanmamış numunenin yaklaşık sekiz katı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu tabakaların kalınlığının artan borlama süresi ile arttığı belirlenmiştir. Ayrıca borlama işleminin aşınma direncini yaklaşık 4 kat artırdığı belirlenmiştir. SAE 5140 çeliği yerli bir borlama tozu kullanılarak başarılı bir şekilde yüzey işlemine tabi tutulmuştur. Uygulanan borlama işlemini sertlik, mukavemet ve aşınma direnci değerlerini yaklaşık 4 kat artırdığı görülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda en uygun borlama sıcaklığı 950 °C ve en uygun borlama süresi 4 saat olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

“AISI 5140, Borlama, Su verme, Sürtünme, SEM”

Abstract

In this study, 4 to 6 hours solid boronizing process was applied to SAE 5140 steel at 950 °C using Baybora-1 boriding powder. The microstructures of the samples were examined in optics and SEM. In addition, the thickness and hardness values of boron layers were determined by using Mikrovickers hardness measurement method. Borided samples were subjected to abrasion test under different loads and by using different abrasive surfaces and wear surface photographs were taken. The structure of the SAE 5140 steel found in the cast was made of ferrite zones and pearlite lamella. SAE 5140 steel, which has been subjected to boriding at different times, was determined by XRD method. These were FeB and Fe₂B layers and the hardness values were approximately eight times the untreated sample. In addition, the thickness of these layers increased with increasing boron time. It was also determined that the boriding process increased the wear resistance 4 times. SAE 5140 steel has been successfully surface treated using a local boronizing powder. It was found that the boronizing process increased the hardness, strength and abrasion resistance values by 4 times. As a result of the experiments, the optimum boriding temperature was determined as 950 °C and the most suitable boronizing time was 4 hours.

Key Words

“AISI 5140, Boronizing, Water quench, Friction, SEM”

1. GİRİŞ

Makine işlemlerinde kullanılan malzemelerin korozyon, aşınma gibi tribolojik etkiler nedeniyle kullanımın süreleri kısalmaktadır. (C.Martini vd. 2017; Calik, 2017 ; Atik, 2003; Dele Afolabi, 2017) En büyük eğilme ve burulma momentlerinin yüzeyde olması nedeniyle aşınma ve yorulmaya bağlı olarak malzemenin ömründe kısalma meydana gelmektedir. Bu olumsuz etkenleri ortadan kaldırmak ve kullanılan malzemelerin ömürlerini uzatmanın yolu ise ancak yüzeyleri iyileştirmekle mümkündür. (B.Venkataraman and G.Sundararajan, 1995; H.J.Hunger and G.Trute; 1994) Makine imalat sanayinde aşınma ve korozyona bağlı olarak büyük miktarlarda malzeme kayıpları meydana gelmektedir. Türkiye’ de bu duruma bağlı olarak kayıp miktarının 1991 yılı için yaklaşık 4,5 milyar dolar civarında olduğu düşünülmektedir. (Khoee, 1992) Yüzey sertleştirme yöntemlerinden biri de borlama işlemidir.(Azakli vd. 2018) Borlanmış yüzeylerin aşınma direnci yükselir ve sürtünme katsayısı azalır.(Bejar, 2006) borlanmış çeliklerin sertlik değerleri borlama öncesine oranla 5-7 kat oranında artmaktadır. Borlama neticesinde oluşan borür tabakası bu sertlik değerini 1000 °C’ ye kadar koruyabilmektedir. Ayrıca aşınma özellikleri de korunmaktadır. (Selçuk, 2003; Chong, 2016; Hazar, 2017) borlama sonunda yüzeyde borür tabakası meydana gelir. Bu yapı içerisinde genellikle Fe₂B ve FeB yapıları oluşmaktadır. Sertlik değerleri olarak 1800-2000 HV Titanyumda ise borlama sonucu sertlik değerleri 3000 HV ye kadar çıkmaktadır. (Kulka vd. 2017; Matijevic, 2014; Martini vd. 2004) Bor madeni kullanılarak bu işlem gerçekleştirilir. (Tavakoli, 2015; Bartkowska, 2018) Bor yer kabuğunun nadir bulunan elementlerinden biri olmakla birlikte, 150’den fazla mineralin yapısında mevcuttur. Ülkemiz ise bu kıymetli maden yönünden oldukça zengin bir ülke konumdadır. Dünya rezervleri göz önüne alındığında bor madeni yaklaşık olarak %62 oranında ülkemizde bulunmaktadır. Çok geniş bir kullanım alanına sahip olmakla birlikte farklı özellikteki malzemelere rahatlıkla uygulanabilir. Bütün demir esaslı metaller örneğin; AISI 1010, AISI 1020, AISI 1040 AISI 4140, AISI 5140, 310 paslanmaz çeliği alaşımlı ve alaşımsız çelikler için ayrıca sinterlenmiş demir gibi malzemeler için borlama işlemi uygun bir yöntemdir. Ayrıca demir dışı metal ve alaşımlara da başarı ile borlama yöntemi uygulanabilmektedir. (Ni,Co, Mo,Ti) (Ünlü vd. 2006)

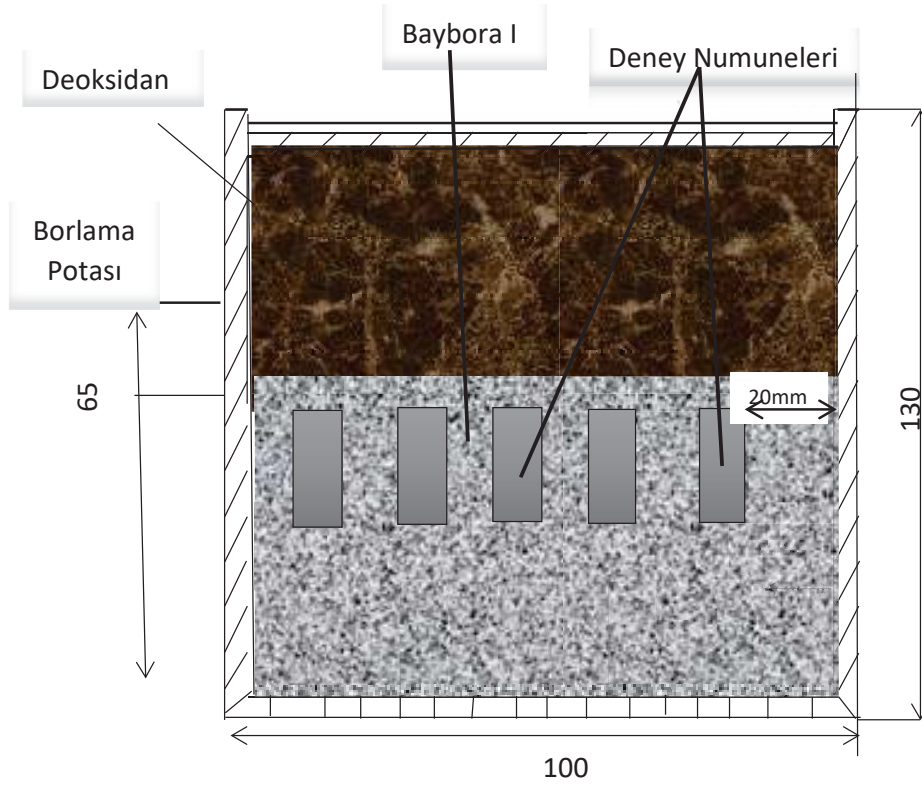
Bu çalışmada makine ve taşıt imalatında; ön aks, krank mili, aks kovani, direksiyon mili gibi parçalarda sıklıkla tercih edilen yüksek aşınma direnci altında çalışan AISI 5140 çeliği tercih edilmiştir. SAE 5140 çeliğine farklı sıcaklıklarda borlama işlemi uygulanarak yapısal, mekanik ve tribolojik olarak incelenmiştir.

2.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Kimyasal bileşim ve İyeyapı İncelemesi

Deneyde kullanılmak üzere AISI 5140 çeliği temin edilmiştir. Deney numunesi olarak kullanılacak AISI 5140 çeliği $\phi 10 \times 30$ mm olacak şekilde olacak şekilde üniversal torna tezgâhı kullanılarak işlenmiştir. Hazırlanan numunelerin ilk olarak argon spektrometresi yardımıyla kimyasal bileşimleri ölçülmüştür. Baybora 1 yerli borlama tozu kullanılarak 1223K sıcaklığında 4 ve 6 saat sürelerle borlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Borlama işleminde Şekil 1’de şematik resmi verilen pota kullanılmıştır. Bu pota ebatları deney numuneleri göz önünde bulundurularak 304 paslanmaz çelik malzemedir yapılmıştır. 10 adet AISI 5140 numune pota içerisine yerleştirilip, potanın içerisi 65 mm yüksekliğe kadar Baybora 1 borlama ajanı ile doldurulmuştur. Potanın kalan kısmında ise deoksidan malzeme kullanılarak numunelerin oksitlenmesi engellenmiştir. Numunelerin kenarlarında en az 1cm toz borlama ajanı ile dolu olmasına dikkat edilmiştir.

Borlama işlemi 4,3kW’ lık güce sahip ısıtma işlem fırını kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Fırının sıcaklık ve süre ayarlaması yapıldıktan sonra borlama potası fırın içerisine konulup fırın sıcaklığı 950°C sıcaklığa ulaştıktan sonra 4 saat beklenmiştir. Borlama işleminden sonra borlama potası ısıtma işlem fırını içinde soğumaya bırakılmıştır. Soğuyan pota içerisindeki numuneler zarar görmeyecek şekilde çıkarılarak 4 saat borlama işlemi tamamlanmıştır. Bu işlem basamakları 6 saat içinde tekrarlanmıştır. Kullanılan numune kodları Tablo 1’de verilmiştir. Her bir deney numunesi kesilmiş ve Mikro Test markalı bakalit alma cihazı kullanılarak bakalit alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Yüzeyler sırasıyla 120, 240, 400, 800 ve 1200 gritlik zımpara kağıtları ile zımparalanmış ve 6µm, 3µm’ luk elmas solüsyonlar yardımıyla parlatma işlemleri gerçekleştirilmiştir %4’lük nital çözeltisi hazırlanıp numuneler sırasıyla 3 saniye %4’lük nital çözeltisinde bekletilerek dağlama işlemi yapılmıştır. Temizlenen numunelere etil alkol damlatılıp kurutulmuştur. Nikon Eclipse MA 100 marka optik mikroskop yardımıyla numunelere ait içyapı görüntüleri elde edilerek incelenmiştir.



Şekil 1. Deney numunelerin bor potası içindeki şematik gösterimi

Tablo 1. Borlama grubu

NUMUNE KODU	MALZEME	BORLAMA SICAKLIĞI(°C)	BORLAMA SÜRESİ(Saat)
N	41Cr 4	950	-
B4	41Cr 4	950	4
B6	41Cr 4	950	6

2.2. Mekanik Testler

1223K sıcaklığında borlanmış çeliklerin sertlik değişimleri yüzey altı boyunca incelenmiştir. Sertlik ölçümleri Galileo Durometria markalı Vickers sertlik ölçme cihazı kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler 20µm aralıklarla 100g' lık yük altında 10s bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Her numune için 10' ar ölçüm yapılmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

2.3. Aşınma Testleri

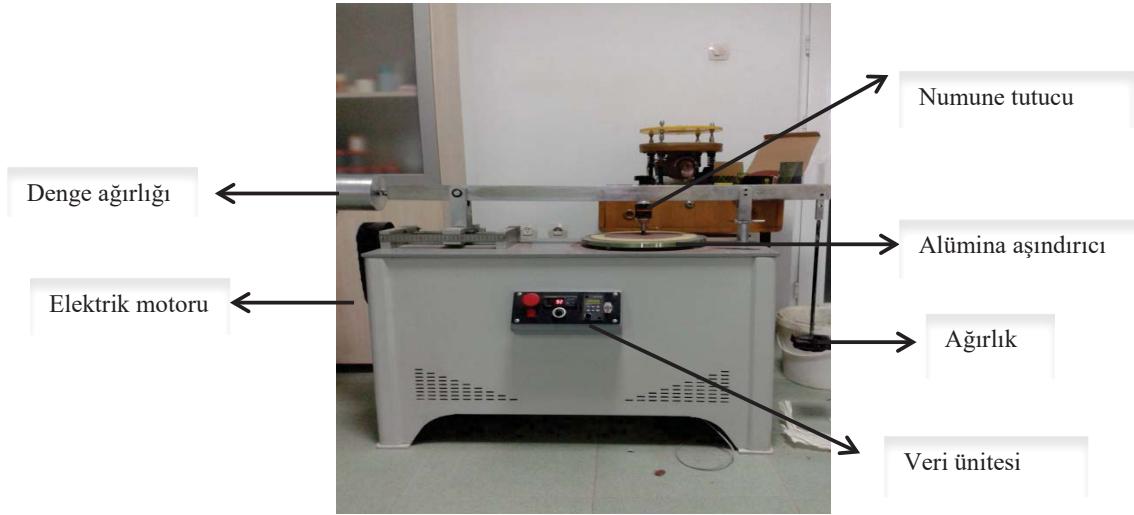
Borlama işlemine tabi tutulan numunelerin tribolojik davranışlarının incelenmesi amacıyla resmi Şekil 2' de verilen aşınma test cihazı kullanılmıştır. Cihaz bir yükleme sistemi ve hız kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Borlanan numuneler 0,5 m/sn sabit hızda 200 mm çaplı 177 µm ortalama parçacık boyutuna sahip alümina aşındırıcı kullanılarak 5-25 N yük aralığında aşınma testine tabi tutulmuştur. Deneylerde numuneler 40 m' lik kayma mesafesi altında gerçekleştirilmiştir. Test parametreleri Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. Abrasiv aşınma şartları

NUMUNE	HIZ(m/s)	UYGULANAN YÜK(N)
N	>0,5	>5,10,15,20,25
B4	>0,5	>5,10,15,20,25

B6 → 0,5 → 5,10,15,20,25

Aşınma testi öncesi ve sonrası ultrasonik temizleyicide temizlenen numunelerin ağırlıkları 10^{-4} hassasiyetli tartım cihazı kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 2. Aşınma Test Cihazı

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

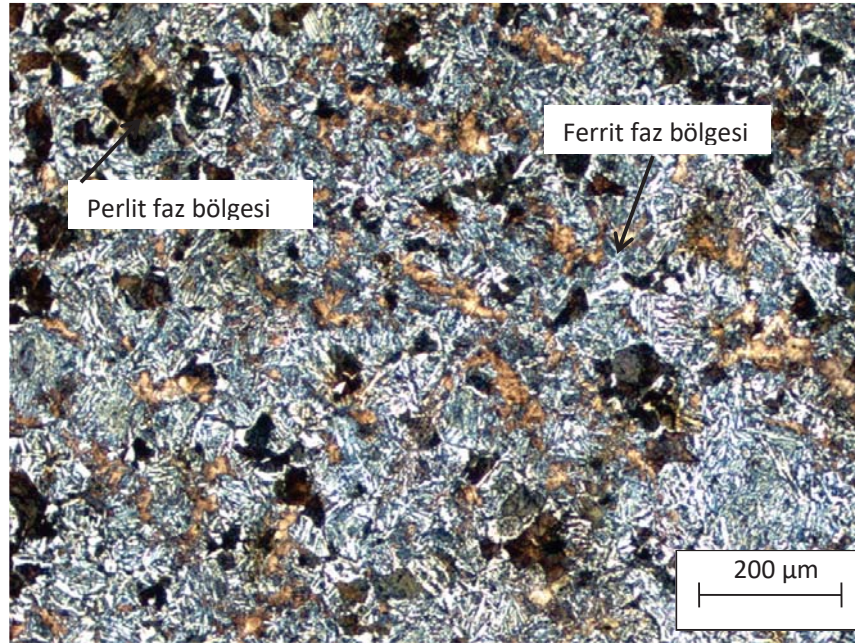
Tablo 3'de deney aşamalarında kullanılan SAE 5140 çeliğine ait argon spektrometresi kullanılarak elde edilen kimyasal bileşim verilmiştir.

Tablo 3. AISI 5140 çeliği kimyasal bileşimi

Malzeme	C%	Cr%	Mn%	P%	S%	Si%	Fe%
SAE 5140	0,414	1,01	0,671	0,021	0,0301	0,312	97,54

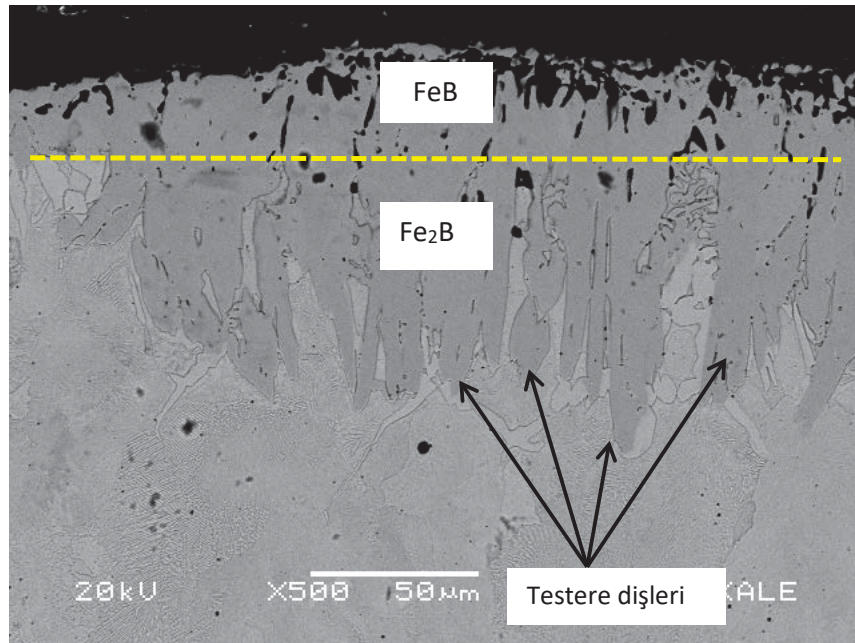
3.1. İç Yapı İncelemeleri

Borlama işlemine tabi tutulmayan SAE 5140 çeliğine ait iç yapı fotoğrafları optik mikroskop ve SEM cihazı yardımıyla elde edilmiştir. Çeliğin iç yapısının ferrit fazı ve perlit lamellerinden oluştuğu görülmüştür, Şekil 3.

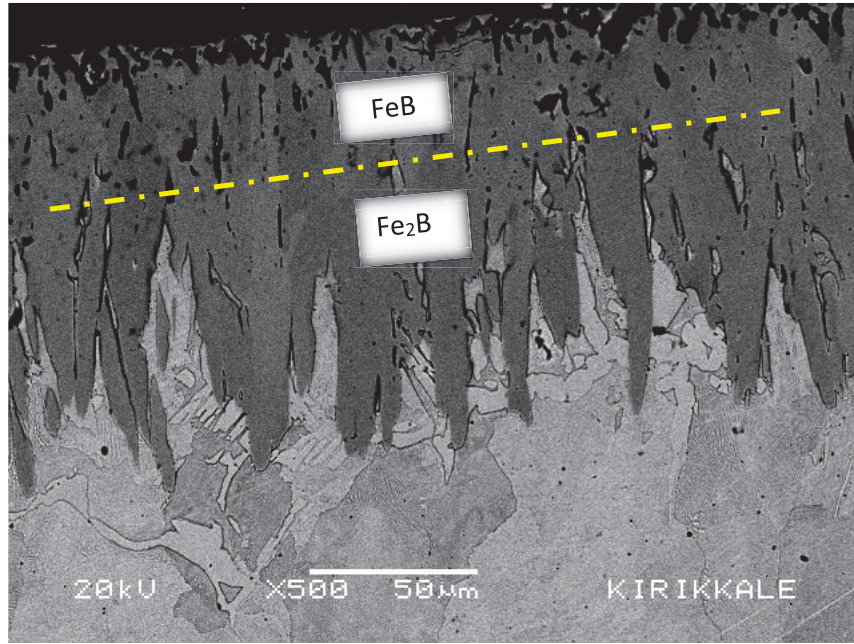


Şekil 3. N numunesine ait iç yapı optik mikroskop görüntüsü

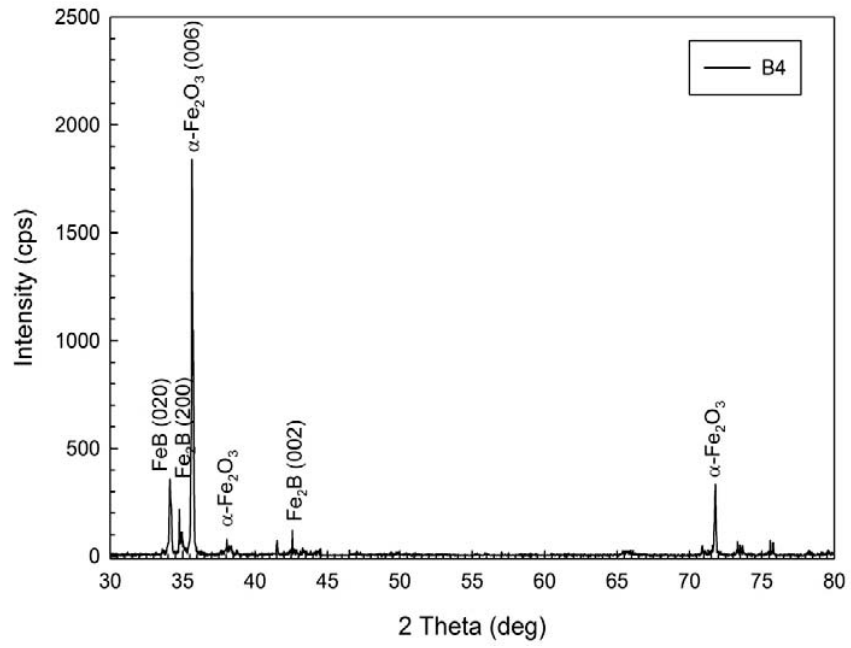
950 °C de 4 ve 6 saat süreyle borlama işlemi uygulanan AISI 5140 çeliğine ait numunelerin SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5 de verilmiştir. Numunelerinin içyapılarının ferrit, perlit ve yüzeyde borür tabakalarından oluştuğu gözlenmiştir. Borlama sıcaklık etkisiyle borun malzeme içine difüze olması şeklinde gerçekleşir. Bu difüze işlemi neticesinde FeB ve Fe₂B bileşikleri oluştuğu görülmüştür, Şekil 6 ve Şekil 7. Difüzyonun etkisiyle yüzeyde ilk borür çekirdeği oluşmaktadır. Zamanla borür çekirdeği metalin yüzeyinden içeriye doğru büyümeye devam etmektedir. Borür tabakasının diğer yönlerde büyümesi yavaş olduğu için içeri kısımda kolonsal bir yapı meydana gelir. Yapıda ilk önce Fe₂B fazı sonrasında ise yapıda yeterli miktarda bor olmasına bağlı olarak FeB oluşmaktadır. Bu yapılarda FeB fazı güçsüz ve kırılğan bir yapıya sahip iken Fe₂B fazı daha sert ve aşınmaya karşı dayanıklıdır. Farklı ısıl genleşme katsayılarına sahip bu iki fazın aynı yapıda oluşması numune yüzeyinde çatlamlara sebep olabilir. Bu durumun ortadan kaldırmak için FeB fazının oluşumu engellenmeli yahut oluşumun en aza indirilmesi gerekir.



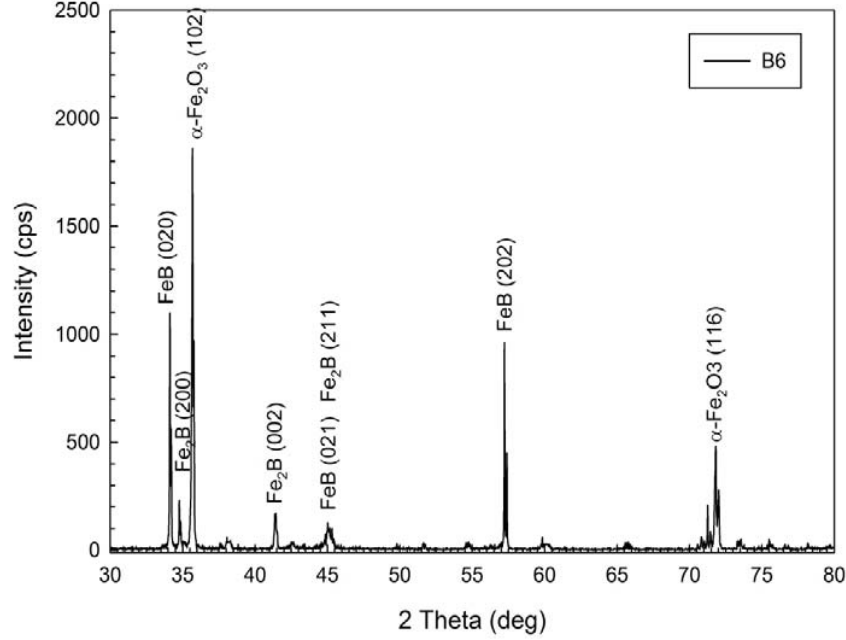
Şekil 4. B4 numunesine ait SEM görüntüsü



Şekil 5. B6 numunesine ait SEM görüntüsü



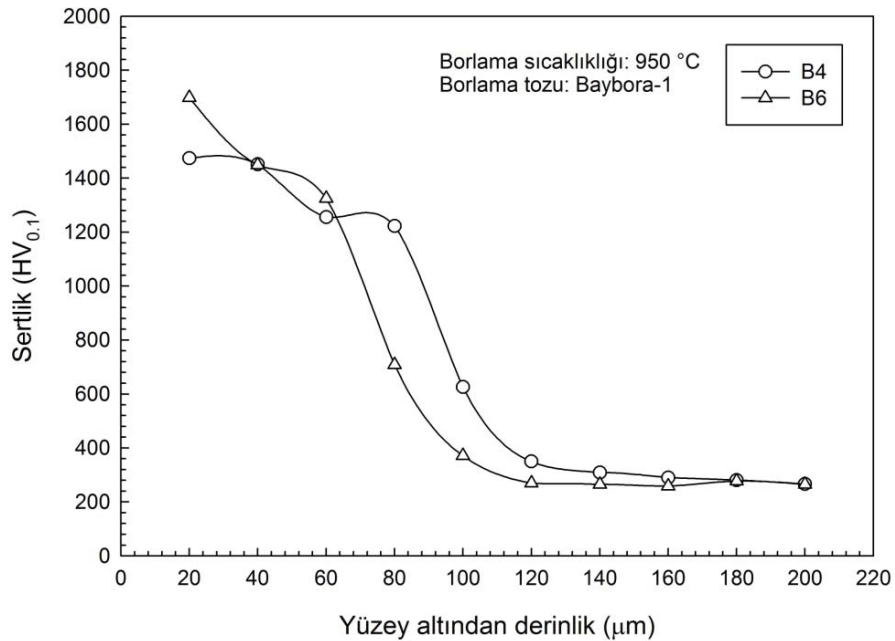
Şekil 6. 4 saat borlanmış AISI 5140 numunesinin X-ışını difraksiyon analizi



Şekil 7. 6 saat borlanmış AISI 5140 numunesinin X-ışını difraksiyon paterni

3.2. Mekanik Testler

950°C sıcaklıkta 4 ve 6 saat sürelerde olmak üzere katı borlama uygulanan AISI 5140 çeliği numunelere ait yüzey altında meydana gelen sertlik değişimlerinin yüzey altından derinliğe göre değişimleri Şekil 8.' de verilmiştir. 950°C' de gerçekleştirilen 4 ve 6 saatlik katı borlama işlemleri karşılaştırıldığında artan süreye bağlı olarak yüzeyde oluşan borür tabakası kalınlığının arttığı görülmüştür. 4 saatlik borlama neticesinde yüzeyde oluşan borür tabakası kalınlığı 90µm iken 6 saatlik borlama sonrası bu kalınlık 107,3 µm olarak ölçülmüştür.

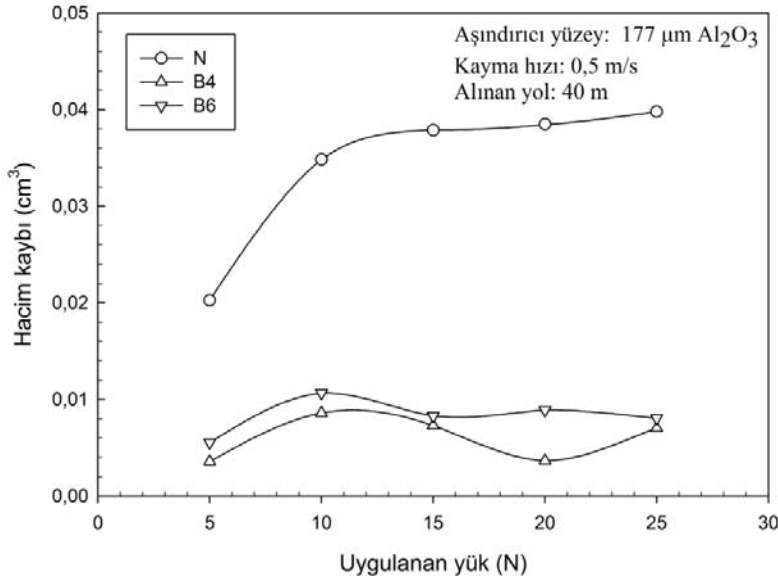


Şekil 8. Borlanmış çeliğin sertliğinin yüzey altı mesafesine göre değişimi

Borlama uygulanan AISI 5140 çeliği numunelerin hiçbir işlem görmeyen AISI 5140 çeliği numunelere göre sertlik değerleri 4-5 kat arttığı görülmüştür. Maksimum sertlik değerleri 6 saatlik süre sonunda yaklaşık 1750 HV olarak ölçülmüştür. Bu grafik incelendiğinde borlama neticesinde üç bölgenin oluştuğu görülür. Bor atomlarının difüze olduğu borür bölgesi, bor difüzyonunun azaldığı geçiş bölgesi ve ana matristir.

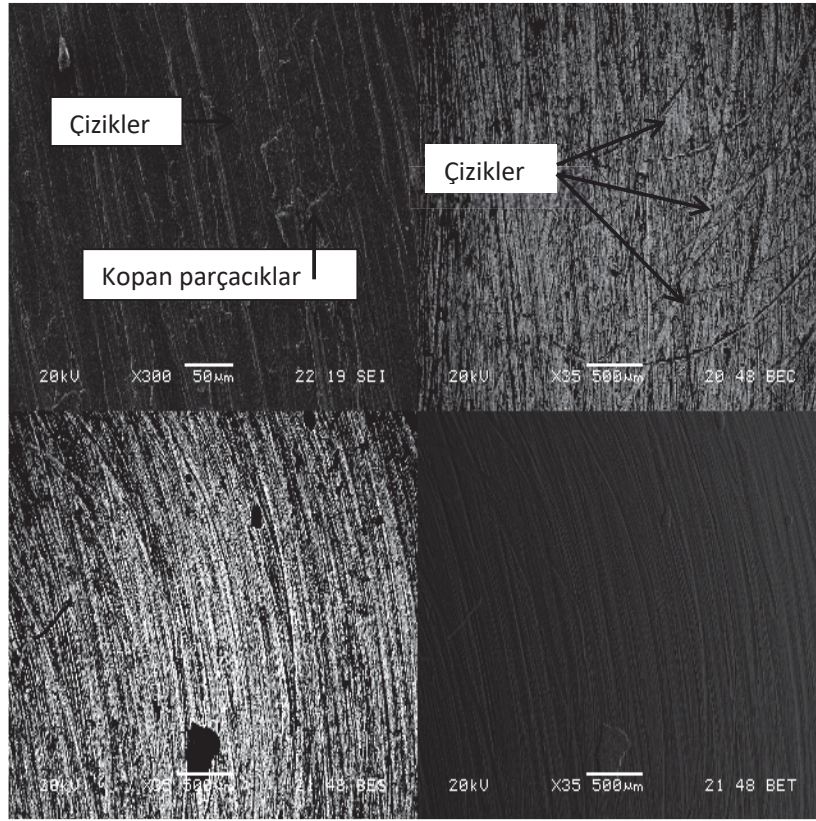
3.3. Aşınma Testi

950°C'de 4 ve 6 saatlik katı borlama işlemine tabi tutulan AISI 5140 çeliği numunelere ve herhangi bir işlem görmeyen AISI 5140 çeliği numunelere 15N ve 25N'luk yükler altında 177µm'lik Al₂O₃ aşındırıcı yüzeyde 0,5m/s kayma hızında ve 40m mesafede abraziv aşınma testi uygulanmıştır. Numunelerde meydana gelen hacim kaybının uygulanan yüke göre değişimini gösteren eğriler Şekil 9'da verilmiştir. Uygulanan yüklerle numunelerde meydana gelen hacim kaybının arttığı görülmüştür. 10 N 'luk yük değerinden sonra hacim kayıplarının hemen hemen sabit değerlere ulaştığı görülmüştür. Teste tabi tutulan numuneler içerisinde en yüksek aşınma direnci 950 °C de 4 saat borlama işlemine tabi tutulan numuneden elde edilmiştir. Herhangi bir işlem görmemiş SAE 5140 çeliğinde aşınma ile meydana gelen hacim kaybının uygulanan yük ile arttığı gözlenmiştir. Artan yüke bağlı olarak yüzeyde meydana gelen deformasyon artmış ve aşınma direnci kötüleşmiştir.

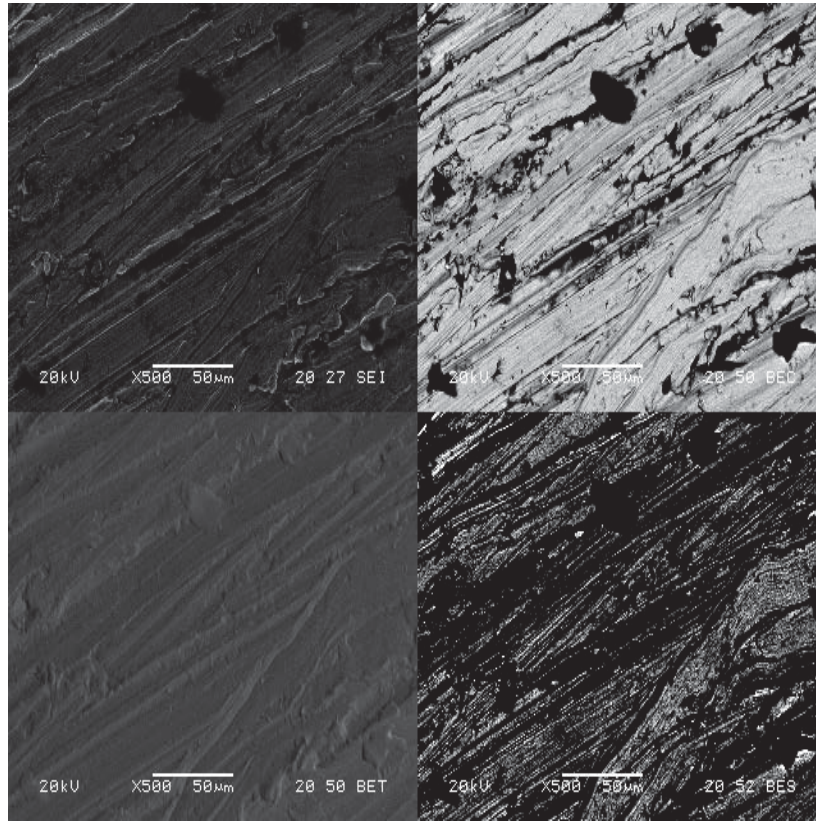


Şekil 9. Aşınma testine tabi tutulan AISI 5140 çeliğinin hacim kaybı-yük grafiği

Farklı yükler altında aşınma deneyine tabi tutulan 5140 çeliğinin aşınma yüzeylerinin SEM ve BSEM görüntüleri farklı büyütme oranlarında Şekil 10 ve 11 de verilmiştir. Aşınma yüzeylerinin kayma doğrultusu boyunca oluşan derin çiziklerden ve çukurcuklardan oluştuğu gözlenmiştir.



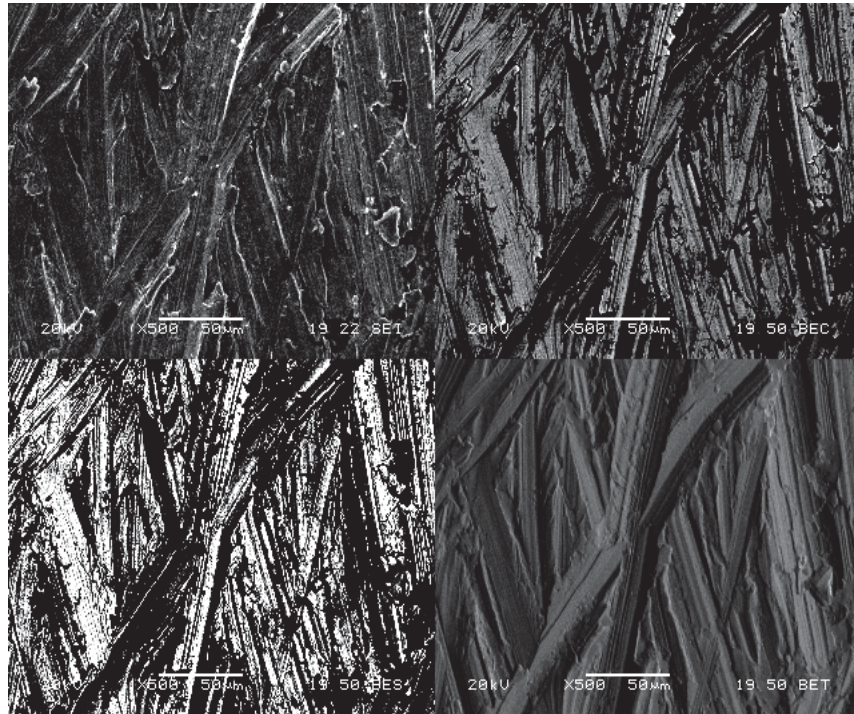
Şekil 10. N kodlu numune 15 N yük altında aşınma SEM ve BSEM görüntüleri



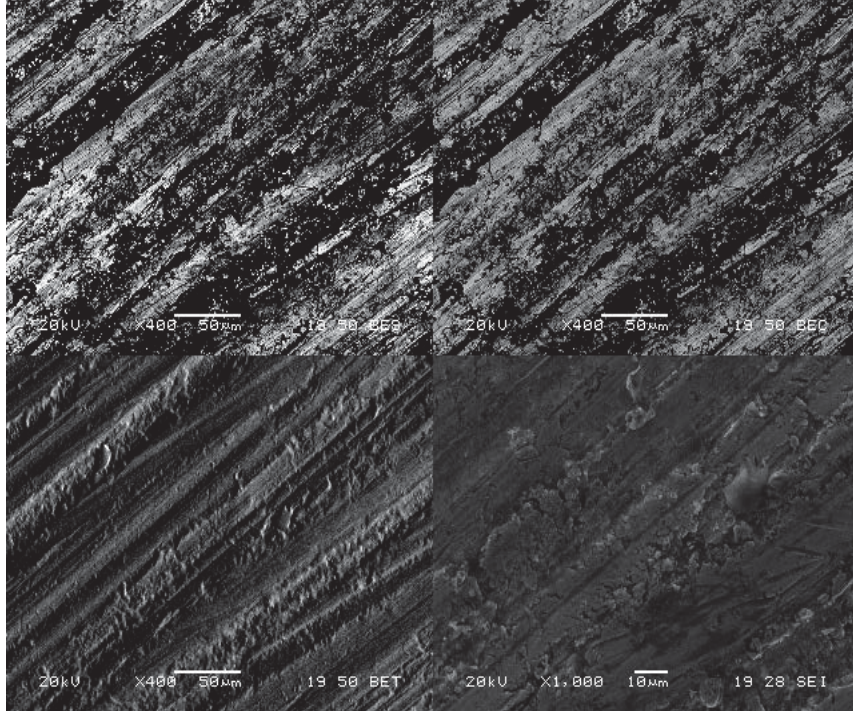
Şekil 11. N kodlu numune 25 N yük altında aşınma SEM ve BSEM görüntüleri

Yüzeyden kopan sert parçacıkların oksitlenerek yüzeyde bu tür bir plastik deformasyon oluşturduğu gözlenmiştir. Ayrıca yüzeyden kopan parçacıkların oluşturduğu çukurcukların yanında çatlak belirtilerine rastlanılmıştır. Artan yüklerle beraber bu çiziklerin derinliğinin ve kalınlığının arttığı görülmüştür.

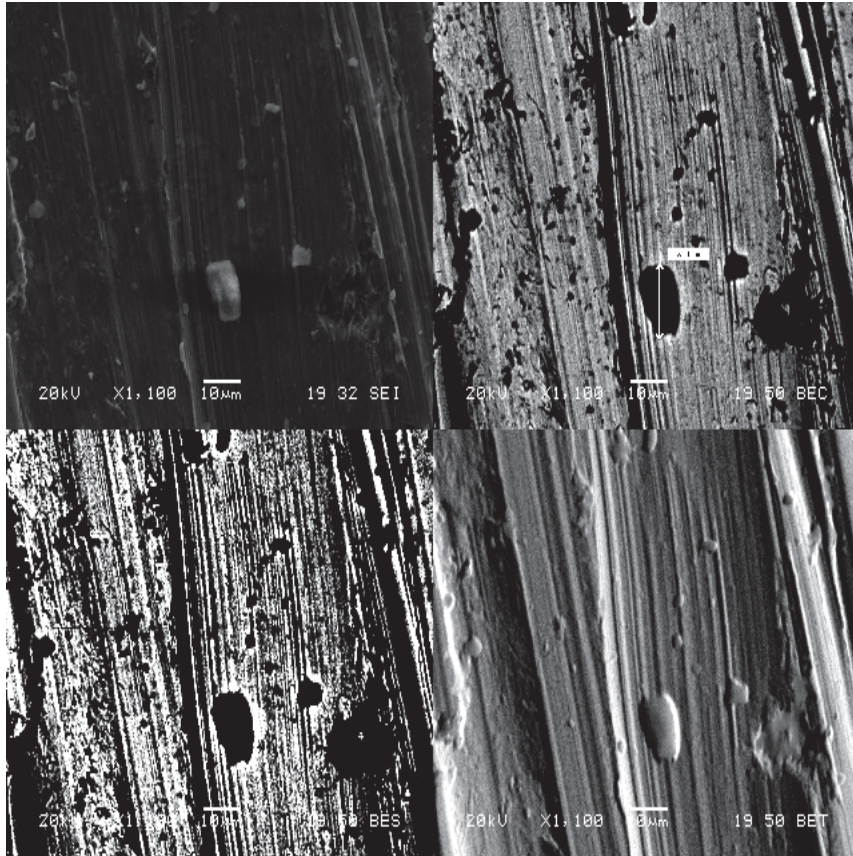
Borlanmış numunelerin farklı yükler altındaki aşınma yüzeylerinin SEM ve BSEM fotoğrafları Şekil 12-15' de verilmiştir. Yüzey işlemi yapılmayan numuneye karşılaştırıldığında, borlanmış numunelerin yüzeyinde daha az çukurcuk buna karşın daha çok sayıda çizik olduğu gözlenmiştir. Ancak bu çiziklerin derinliği işlem görmemiş 5140 çeliğinin yüzeyinde oluşan çiziklerden daha düşük derinliğe sahiptir. Ayrıca oluşan bor tabakalarının farklı aşınma davranışı gösterdiği görülmüştür. Şöyle ki, borlama sonucu FeB ve Fe₂B fazlarından oluştuğu yapılan iç yapı ve XRD analizlerinden görülmektedir. Oluşan bu fazlardan FeB ortorombik kristal yapıya, Fe₂B ise hacim merkezli tetragonal kristal yapıya sahiptir. 4 saat borlama işlemine tabi tutulan 5140 çeliğinin yüzeyi incelendiğinde; 15 ve 25 N' luk yük altında bor tabakasını tamamen yüzeyden ayrılmamaktadır. Buna karşın 6 saat borlama işlemine tabi tutulmuş numunede 25 N yük altında bor tabakalarının tamamen yüzeyden ayrıldığı görülmüştür. Bu durumun nedeni uzun süreli borlama esnasında oluşan kırılğan ve sert bir faz olan FeB yapısı ile açıklanabilir. Şöyle ki, artan borlama süresiyle FeB fazının yapı içerisindeki miktarının arttığı XRD analizleriyle tespit edilmiştir. Ortorombik kristal yapıya sahip FeB fazının gevrek ve kırılğan bir faz olduğu bilinmektedir. Gevrek ve kırılğan arayer bileşiği olan bu faz abraziv aşınmaya yol açarak aşınma direncini kötüleştirmektedir.



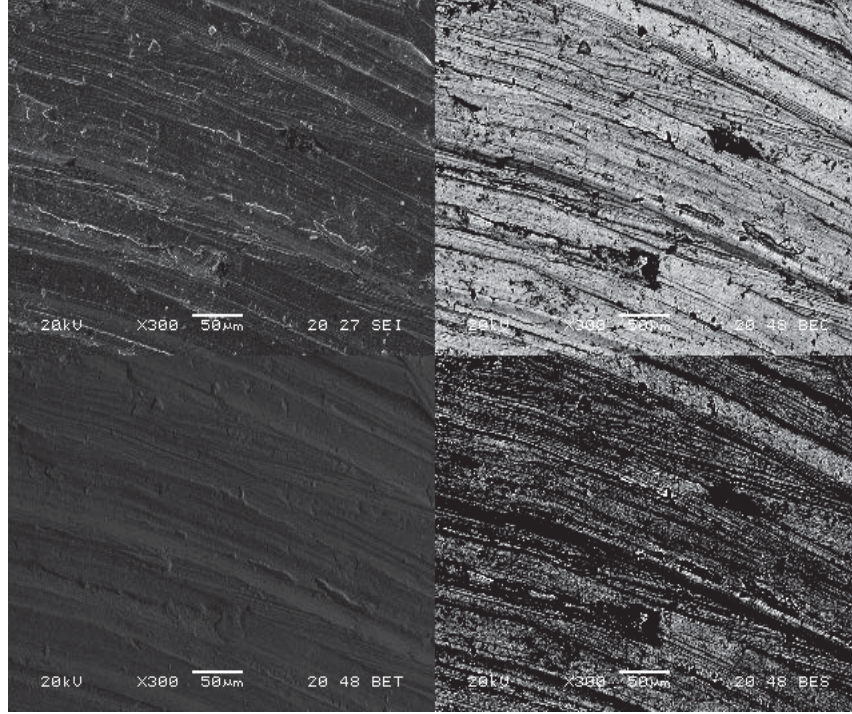
Şekil 12. B4 kodlu numune 15 N yük altında aşınma SEM ve BSEM görüntüleri



Şekil 13. B4 kodlu numune 25 N yük altında aşınma SEM ve BSEM görüntüleri



Şekil 14. B6 kodlu numune 15 N yük altında aşınma SEM ve BSEM görüntüleri



Şekil 15. B4 kodlu numune 25 N yük altında aşınma SEM ve BSEM görüntüleri

SAE 5140 çeliğine uygulanan 4 ve 6 saat borlama işleminin aşınma davranışını iyileştirdiği görülmüştür. 950°C de 4 ve 6 saatlik borlama işlemine tabi tutulan numunelerin aşınma direnci karşılaştırıldığında, 4 saat borlanan numunenin aşınma davranışının daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bu durumun yapı içerisinde oluşan bor bileşiklerinin kristal yapısına ve hacimsel oranına bağlı olduğu gözlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada piyasada oldukça yaygın olarak kullanılan ıslah çeliklerinden biri olan 5140 çeliğine 950 °C de 4 ve 6 saat süreli katı borlama işlemi uygulanmıştır. Katı borlama işlemi Baybora-1 isimli yerli borlama ajanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler neticesinde; mikro yapı, sertlik, aşınma ve bazı mekanik özellikler incelenmiştir. Bu işlemler neticesinde 4 ve 6 saatlik gerçekleştirilen katı borlama neticesinde 6 saatlik borlama neticesinde hem yüzeyde oluşan borür tabakası kalınlığının hem de elde edilen sertlik değerlerinin 4 saatlik borlama süresine göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Sertlik ölçümleri sırasında; borür, geçiş ve ana fazdan oluşan üç farklı bölgenin oluştuğu belirlenmiştir. Borlama işlemi neticesinde yapıda FeB ve Fe₂B' den oluşan fazlar tespit edilmiştir. Bu yapılardan dış kısımda oluşan ve gevrek bir faz olmasından dolayı istenmeyen FeB ile yüksek sertliğe sahip ve iç kısımda oluşan Fe₂B'dir. 4 ve 6 saatlik iki farklı borlama süresi karşılaştırıldığında 4 saatlik borlama süresinin daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Borlama işlemiyle malzemenin aşınma direncinin 4 katlık bir iyileşme gösterdiği tespit edilmiştir. İşlemler esnasında kullanılan Baybora-1 isimli yerli borlama ajanının ithal borlama ajanlarıyla yaklaşık aynı sonuçları verdiği gözlemlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma KKU-BAP tarafından 2017/79 kod no'lu proje ile desteklenmiştir. Söz konusu kuruma verdiği mali destekten ötürü teşekkür ederiz.

REFERANSLAR

A.Calik, O.Ozbakir and Karakas; Investigation of the erosive wear resistance of boronized ash-blowing nozzles; Acta Phys. Pol. A131, 252(2017)

B. Matijevic; Evaluation of boride layer growth on carbon steel surfaces; Met. Sci. Heat. Treat. 56, 269 (2014)

B. Selcuk; A study on friction and wear behaviour of carburized, carbonitrided and borided AISI 1020 and 5115 steels; J .Mater. Process .Technol.141,189(2003)

B.Venkataraman and G.Sundararajan; The high speed sliding wear behaviour of boronized medium carbon steel; Surf. Coat. Tech. 73, 177(1995)

- C.Martini, G.Palombarini, G.Poli and D.Prandstraller; Sliding and abrazeive wear behavior of boride coating; Wear 256, 608 2004
- E.Atik, U.Yunker and C. Meric; The effect of conventional heat treatment and boronizing on abrasive wear and corosion of SAE 1010,SAE 1040, D2 and 304 steels;Tribol. Int.36, 155(2003)
- H. Hazar ; Investigation of the effects of tripropylene glycol addition to diesel fiel on combustion and exhaust emissions at an isolated diesel engine ; Energ. Convers. Manege 142, 62 (2017)
- H.J.Hunger and G.Trute; Boronizing to produce wear-resistant surface layers; Heat. Treat. Met. 21, 31 (1994)
- Khoe, S.M.M., Ergimiş Boraks Banyosunda Çeliklere Vanadyum Karbür Kaplama, İ.T.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi,112s, İstanbul, 1992.
- M.Bejar and E. Moreno; Abrasive wear resistance of boronized carbon and low-alloy steels; J. Mater. Process., Technol. 173, 352 (2006)
- M. Kulka, N. Makuch, A. Petek and L. Maldzinski; Simulation of the growth kinetics of boride layers formed on Fe during gas boriding in H₂-BCl₃ atmosphere ; J. Solid. State. Chem. 199, 196(2013)
- T.T. Dele –Afolabi , M. A. A. Hanim, M. Norkhairunnisa, S. Sobri and R. Calin ; Research trend in the development of macroporous ceramic compenents by pore forming addivites from naturel organic matters: A. short review; Ceram. Int. 43,1633 (2017)
- Ünlü B., Yılmaz S., “Bor ve Borlamanın Kullanım Alanları” Mühendis ve Makine sayı:552, cilt:47, 2006
- Y.Azakli and M. Tarakci; Microstructural characterisation of boried binary Fe-W alloys ; Surf. Eng. 34, 226(2018)
- X.Chong, Y. Jiang , R. Zhou and J. Feng ; Stability, chemical bonding behaviour, elastic properties and lattice thermal conductivity of molybdenum and tungsten borides under hydrostatic pressure ; Ceram. Int. 42,2117 (2016)



Sis Bilişim Tabanlı İmza Doğrulama: Senaryoya Dayalı Bir Yaklaşım

Fog Computing Based Signature Verification: A Scenario-Based Approach

Erdal Erdal ^{1*}

¹Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 71450, KIRIKKALE

Başvuru/Received: 11/11/2018

Kabul/Accepted: 16/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Öz

Günümüzde teknolojinin gelişmesi hayatımızı her alanda büyük oranda kolaylaştırmaktadır. Ancak internet üzerinden yapılan işlemler güvenlik tehdidini beraberinde getirmektedir. Bu nedenle kişiye özel bir veriye yetkisiz kişiler tarafından erişimin engellenmesi için kontroller ve çalışmalar yapılmaktadır. Bu kontrollerden en önemlilerinden biri kullanıcılardan alınan imza bilgisidir. Ancak imza bilgisi taklit edilebilir ve çalınabilir olduğundan gözle kontrolü yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle imzaya özgü karakteristik bilgilerin imzadan çıkarılması, kaydedilmesi ve sonraki imzalarla karşılaştırılması en doğru yaklaşımdır. Bu gibi işlemler bulut bilişim üzerinde yapılmış ve geliştirilmiştir. Geleneksel bulut bilişim mimarisinde tüm veriler internet üzerinden gönderildiği ve paylaşıldığından güvenlik başta olmak üzere bant genişliği, enerji sarfiyatı gibi dezavantajlar barındırmaktadır. Bu nedenle sis bilişim mimarisi geliştirilmiş ve geleneksel bulut bilişimde yer alan eksiklikler büyük oranda giderilmiştir. Bu çalışmada sis bilişim tabanlı imza doğrulama yaklaşımı geliştirilmiştir. Güvenliğin yoğun olarak ele alındığı kurumlardan olan bankalar için bir senaryo geliştirilmiş ve bu senaryo ile değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda; geleneksel bulut bilişime kıyasla daha güvenli bir imza doğrulama çerçevesi ortaya konulmuştur. Yapılan çalışma bundan sonra yapılacak çalışmalara öncülük edecektir.

Anahtar Kelimeler

“Sis bilişim, Bulut bilişim, İmza doğrulama, Yazılım çerçevesi”

Abstract

Today, the development of technology greatly facilitates our lives in all areas. However, transactions over the internet bring about the security threat. For this reason, controls and studies are carried out to prevent unauthorized access to personal data. One of the most important of these controls is the signature information received from the users. However, since the signature information can be simulated and played, the visual control is insufficient. For this reason, signature-specific characteristic information is the most accurate approach to be signed out, recorded and compared with subsequent signatures. Such transactions have been made and developed on cloud computing. Since all data is sent and shared over the Internet in traditional cloud computing architecture, it has disadvantages such as bandwidth, energy consumption and security. Therefore, fog information architecture has been improved and the deficiencies in traditional cloud computing have been largely eliminated. In this study, fuzz computing-based signature verification approach has been developed. A scenario has been developed and evaluated in this scenario for banks from institutions where security is handled intensively. As a result of the study; a more secure signature verification framework has been developed compared to traditional cloud computing. The study will lead the studies to be carried out.

Key Words

“Fog computing, Cloud computing, Signature verification, Software framework”

1. GİRİŞ

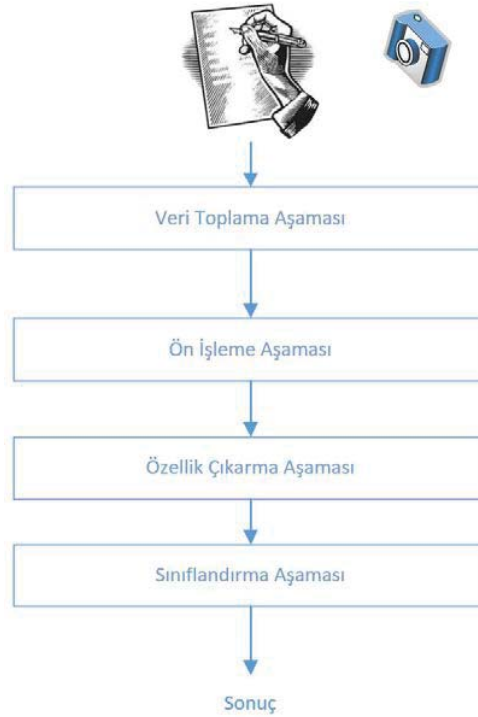
Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle gerek çevrimiçi sistemlerde gerek gerçek dünyada güvenliğe verilen önem ve duyulan ihtiyaç her geçen artmaktadır. İnsan tanımlama ve kimlik doğrulama, çevrimiçi güvenlik sistemleri ve gözetim sistemleri için önemli bir unsurdur. Bu alandaki sorunlara biyometri kavramı ortak bir cevap geliştirmiş ve fenomen olarak literatürde de kabul görmüştür.

1.1. Biyometri

Bir insanın kimliği, o kişinin eşsiz olmasıyla tanımlanabilir. Bu anlamda biyometri kavramı ancak bireyin davranış karakteristiğini analiz etmek ve incelemek için kullanılabilir. Günümüzde kullanılan biyometri sistemleri, insanın davranışsal ve fizyolojik özelliklerine dayanmaktadır (Connor & Ross, 2018; Doroz, Kudlacik, & Porwik, 2018; Kekre & Bharadi, 2011; Kekre, Bharadi, & Sarode, 2011).

İnsan vücuduna ait biyometrik özellikler incelendiğinde bunlar arasında göz, parmak izi, insan yüzü, retina, iris ve imza gibi özellikler başta gelecektir. Kullanıcılar tarafından unutulması ya da çalınabilmesi gibi riskleri bulunan token ya da şifre bazlı geleneksel doğrulama sistemleriyle kıyaslandığında biyometrik sistemler kullanıcılara daha verimli, güvenli ve sağlıklı bir alternatif sunabilmektedir. Kişisel tanımlama ve doğrulama için alternatif bir yol olan biyometrik sistemler kullanıcıların hafızasından ya da üçüncü şahıslar tarafından çalınması ihtimallerinden etkilenmezler. Biyometrik özellikler temel olarak iki gruba ayrılırlar, psikolojik ve davranışsal biyometrik özellikler. Psikolojik özellikler, parmak izi, iris, retina, yüz gibi özelliklerin ölçümüdür. Davranışsal biyometrik özellikler denildiğinde ise ses ve imza gibi özellikler sayılabilmektedir. Davranışsal özelliklerden olan imzanın benzersiz olması sayesinde veriler yetkisiz kişilerden korunmaktadır. Biyometrik özellik olarak imza, imza edinimi ve tanıma yöntemleri temelinde çevrimiçi ve çevrimdışı olarak sınıflandırılmaktadır. Çevrimdışı imza doğrulama kullanıcı kimliğinin doğrulanması aşamasında imzanın dinamik özelliklerini kullanmaktadır. Çevrimdışı imza doğrulama yönteminde ise kullanıcı imzası atıldıktan resim olarak saklanır ve kullanılır. Kişisel kimlik doğrulama yöntemi olarak imzanın yaygın kullanımı sayesinde çevrimiçi ve çevrimdışı imza tanıma sistemleri literatürde önem arz eden bir araştırma alanı olmuştur (Ito, Ohya, Wakabayashi, & Kimura, 2012; Kawazoe, Ohya, Wakabayashi, & Kimura, 2010; Muramatsu & Yagi, 2013; Radhika & Gopika, 2015).

Biyometrik kimlik doğrulaması Şekil 1'de görüldüğü gibi birden fazla adıma sahip bir süreçtir. İşlem adımları sırasıyla imzanın yakalandığı veri edinme aşaması, ön işleme aşaması, sonrasında özellik çıkarma aşaması ve sınıflandırılma işleminin yapılması aşamalarından oluşmaktadır (Radhika & Gopika, 2015).



Şekil. 1. İmza aşamalarının işlenmesi.

1.2. Bulut Bilişim

Bulut bilişim, uzak sunucuların büyük kümelerinin, bilgisayar hizmetlerine ve merkezi veri depolama veya kaynaklarına çevrimiçi erişimi sağlamak için bilgisayarların oluşturduğu ağıdır. Bulut bilişim, her zaman kullanıma hazır, isteğe bağlı ağ erişimini, marjinal yönetim çabası veya servis sağlayıcı ara yüzü ile hızlı bir şekilde hazırlanıp serbest bırakılabilen yapılandırılabilir ve paylaşımlı bilgi işlem kaynaklarına yetkilendirmek için kullanılan bir sistemdir (Mell & Grance, 2011).

Bulut bilişimin önemli özelliklerinden bazıları şunlardır:

- İsteğe bağlı kendi kendine servis
- Geniş ağ erişimi
- Kaynak havuzu
- Hızlı esneklik
- Ölçülü servis

Bulut uygulamaları, üç ana hizmet modelinden biri olarak sunulmaktadır.

- Hizmet Olarak Yazılım (Software as a Service – SaaS)
- Hizmet Olarak Platform (Platform as a Service – PaaS)
- Hizmet Olarak Altyapı (Infrastructure as a Service – IaaS)

Bulut kurulumu, aşağıdaki gibi beş farklı dağıtım modelinde dağıtılmıştır.

- Özel Bulut (Private Cloud)
- Topluluk Bulut (Community Cloud)
- Hibrit Bulut (Hybrid Cloud)
- Genel Bulut (Public Cloud)

Özetle, bulut altyapısının beş temel özelliği, üç servis modeli ve dört dağıtım modeli vardır (Ghazouani & Slimani, 2017; Mell & Grance, 2011; Singh & Chatterjee, 2017).

1.3. Bulut Bilişimde Biyometri

Bulut bilişim tarafından ele alınabilecek biyometrik sistemlerin kendilerine özel belirli gereksinimleri bulunmaktadır. Öncelikle, biyometrik sistemlerde büyük öneme sahip olan hesaplama mantığı, biyometrik tanıma sistemlerinde olduğu gibi, bazı yerel işlem birimlerinde değil, bulutta bulunur. Bu özellik, bulut tabanlı biyometrik teknolojiyi geniş ölçüde erişilebilir, kullanılabilir ve uygulanabilir kılar ve diğer tüketici ve güvenlik uygulamalarına entegrasyon için gerekli altyapıyı sağlar.

Bu alanda bir diğer önemli nokta ise depolama konusudur. Biyometrik verilerin bulutta depolanması, sistemi yüksek oranda ölçeklendirebilir ve teknolojinin giderek artan bir kullanıcı tabanına hızlı ve güvenilir bir şekilde uyarlanmasını sağlamaktadır. Getirdiği avantajların yanında bu alanda bazı endişeler de bulunmaktadır. Örneğin, biyometrik verilerin bulutta depolanması gizlilikle ilgili endişeleri artırabilir ve ulusal mevzuata uygun olmayabilir. Son olarak, biyometrik teknolojinin bir bulut uygulamasını kullanması, gerçek zamanlı ve paralel işlem yetenekleri, kullanıma göre faturalandırma gibi bulutun tüm değerlerini bünyesinde barındırmaktadır.

1.4. Sis Bilişim

Bulut bilişim, yüksek hesaplama gücü ve depolama kapasitesi nedeniyle verileri işlemenin verimli bir yolu olarak kullanılmıştır (Armbrust et al., 2010; Fernando, Loke, & Rahayu, 2013). Ancak, bulut bilişim yaklaşımı merkezi bir hesaplama modeli olduğundan, hesaplamaların çoğu bulutta gerçekleşmektedir. Bu yaklaşıma göre, tüm verilerin ve isteklerin merkezi bulutlara iletilmesi gerektiği anlamına gelmektedir. Veri işleme hızı teknolojisi hızla artmış olmasına rağmen, ağ bant genişliği kayda değer ölçüde artmamıştır. Her ne kadar hesaplama ve veri işleme hızı gücü yeterli olsa dahi büyük miktarda veri için ağ bant genişliği problemi bulut bilişimin darboğazı haline gelmektedir. Bu problem uzun gecikmelere neden olabilmektedir. Ancak günümüzde

akıllı taşımada kullanılan trafik ışık sistemleri, akıllı sağlık merkezleri, acil durumlar ve diğer gecikmeye duyarlı uygulamalarda verilerin aktarılmasından kaynaklanan gecikme kabul edilemez (Arkian, Diyanat, & Pourkhalili, 2017; Qiu, Zheng, Song, Han, & Kantarci, 2017; Yu, Songqing, Peng, & Brown, 2015). Ayrıca, bazı kararlar buluta aktarılmak zorunda kalmaksızın yerel alanda yapılabilir. Bazı kararlar bulutta yapılsa bile, tüm veriler karar verme ve analiz için yararlı olmadığından, tüm verilerin işlenmesi ve saklanması için buluta gönderilmesi gerekli değildir hatta efektif değildir. Bir anlamda, gecikme, ağ bant genişliği, güvenlikle ve güvenilirlik ilgili büyük verinin aşırı büyümesinin neden olduğu bu zorluklar, yalnızca bulut modeline bağlı olarak ele alınamaz.

Bu sorunların üstesinden gelmek için, cloudlet tarafından yerel süreç ve depolamayı gerçekleştirmek ve ağ aktarımı ile gecikme miktarını azaltmak için kullanıcılara yakın yerlerde bulunan hesaplama kaynaklarını kullanması önerilmiştir (Min, Yixue, Yong, Chin-Feng, & Di, 2015). Optimal işletim algoritması ile birleştirildiğinde, cloudlet sistemi hesaplama, iletim, depolama ve iletişim maliyetleri düşük bir sistem haline gelmektedir (Y. Zhang, Niyato, & Wang, 2015).

Ağ kenarı aygıtlarını ve bulut merkezini sorunsuz bir şekilde bütünleştiren sis bilişim, bu sınırlamaların ele alınabilmesi için daha etkili bir çözüm olarak sunulmaktadır. Sis bilişim, coğrafi olarak dağıtılmış bir bilgisayar mimarisi olup, ağın kenarındaki çeşitli aygıtlar, her zaman uyumlu bir şekilde, esnek hesaplama, iletişim ve depolama hizmetleri sağlamak için birbirine bağlanmaktadır (Yi, Hao, Qin, & Li, 2015). Sis bilişimin en belirgin özelliği, bulut hizmetinin ağın kenarına genişletilmesidir. Yerel kaynakları bir araya getirerek son kullanıcıya hesaplama, iletişim, kontrol ve depolama imkânı sunmaktadır. Veriler coğrafi olarak dağıtılmış ağ kenar cihazları tarafından yönetilmektedir. Bu sayede, veri aktarım süresi ve ağ aktarımının miktarı büyük ölçüde azaltılabilmektedir (Datta, Bonnet, & Haerri, 2015). Sis paradigması, gecikmeye duyarlı veya gerçek zamanlı uygulamaların taleplerini karşılayabilir ve özellikle ağ bant genişliği darboğazlarını rahatlatılabilir.

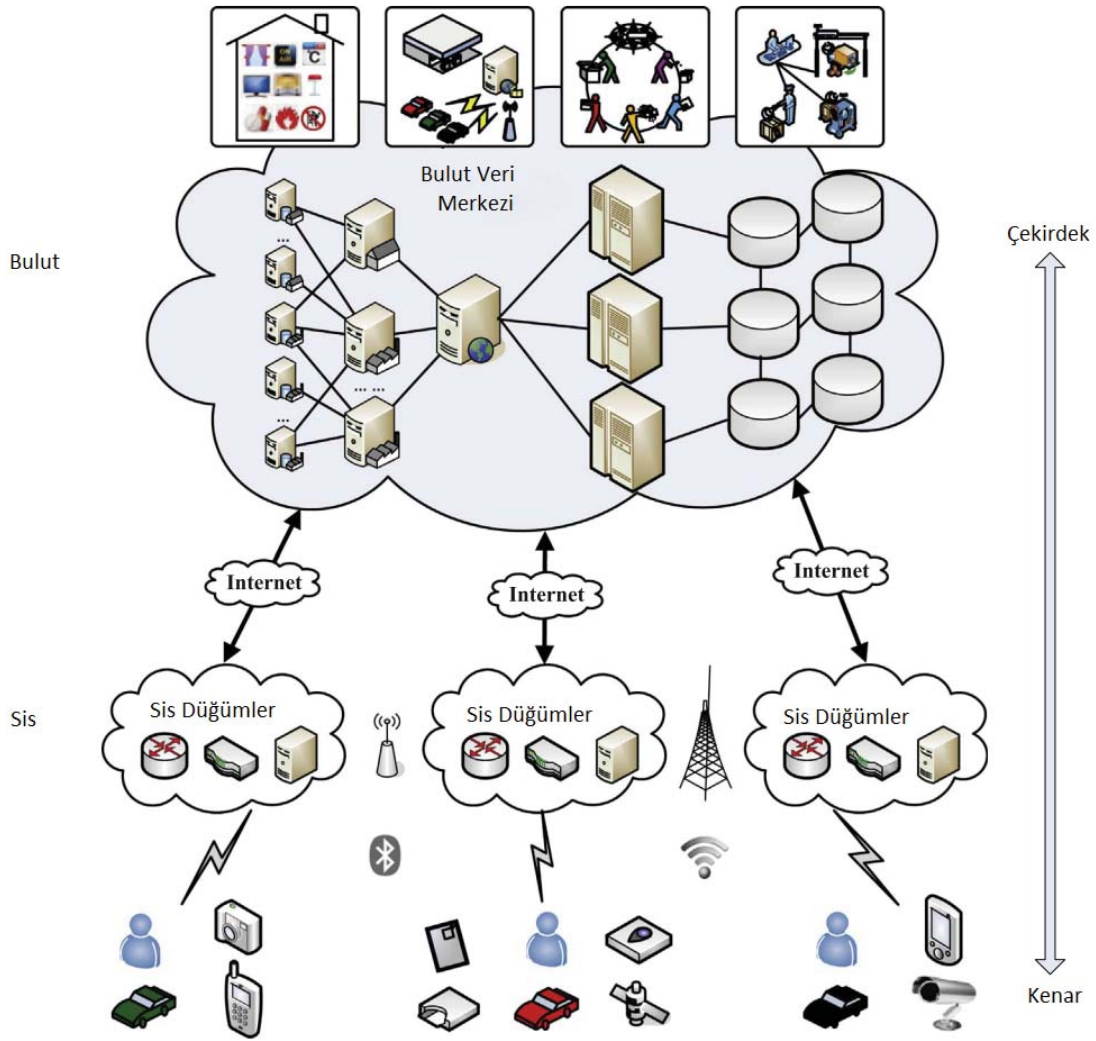
Sis bilişim mimarisi, düşük gecikme, yüksek güvenilirlik ve güvenlik, yüksek performans, hareketlilik ve birlikte çalışabilirlik konularında bu zorlukları karşılamak için uç cihazlar ve bulut arasında ekstra kaynak açısından zengin bir katman eklemektedir (Stojmenovic & Wen, 2014; Yi et al., 2015). Sis platformu, çok sayıda sis düğümlerinden oluşmaktadır. Sis düğümleri, bazı sanal kenarlı veri merkezleri bile dâhil olmak üzere, bu aygıtlardaki çeşitli ağ kenarı aygıtlarını ve yönetim sistemlerini içermektedir (H. Zhang et al., 2016). Sis bilişim, kenar kullanıcılar ile bulutlar arasında köprü görevi görmektedir. Bir yandan sis düğümleri, uç cihazlar ve kullanıcılarla bağımsız olarak bilgi işlem, hesaplama ve depolama hizmetleri sağlamak için mobil internet, bluetooth veya wireless gibi kablosuz bağlantı aracılığıyla bağlantı kurmaktadır. Öte yandan, bulutun zengin bilgi işlem ve depolama kaynaklarını tam olarak kullanabilmek için sis düğümleri de internet ile bulut ile bağlanabilmektedir (Aazam & Huh, 2016). Sis bilişim yaklaşımı, düşük gecikmeli veri analizi ve karar verme becerilerine uygun bir mimariye sahiptir.

Sis bilişimin, bulut bilişiminin yerine bulut bilişimin genişletilmesi ve genişletilmesi olduğu görülmektedir. Sis düğümleri, sensörler ve kenar aygıtları tarafından oluşturulan bu verileri işler ve saklar. Daha sonra kalan değerli veriler depolama veya sonraki işlemler için bulut sunucusuna aktarılmaktadır. Geleneksel bulut bilişim modeli ile iş birliği sayesinde, sis bilişim bulut bilişimin değerini daha etkili bir şekilde oynamasına ve daha yeşil bir bilgi işlem platformu olarak hizmet etmesine yardımcı olmaktadır (Hajibaba & Gorgin, 2014; Yannuzzi, Milito, Serral-Gracia, Montero, & Nemirovsky, 2014).

1.5. Sis Bilişim Mimarisi

Sis bilişim geleneksel bulut bilişimin, özelliklerinin ve imkânlarının ağın kenarına kadar genişletilmesine imkân sağlayan yeni bir hesaplama yaklaşımıdır. Bulut bilişim yaklaşımın aksine ağ kenarında kontrol, iletişim, depolama, hesaplama ve servis yetenekleri sağlamaktadır. Sis bilişim ile geleneksel bulut bilişimin farklarının daha net ifade edilebilmesi için sis bilişim mimarisinin ve özelliklerinin incelenmesi gerekmektedir.

Sis bilişime ait kesin bir referans mimari modelinin ortaya konulmamış olmakla beraber literatürde sıkça çalışmalar yapılan bir araştırma konusu haline gelmiştir. Son yıllarda sis bilişime ait bir dizi referans mimari önerilmiştir. Literatürde sis bilişime ait geliştirilen referans mimari modelleri çoğunlukla üç temel katmandan oluşmaktadır. Sis bilişim mimarisinin temelinde yatan en önemli yaklaşım ağ kenarında bulunan son aygıtlarla bulut arasında bir sis katmanı eklemektir. Sis bilişime ait hiyerarşik mimari Şekil 2'de gösterildiği gibidir (Aazam, Zeadally, & Harras, 2018a; Tang et al., 2017).



Şekil 2. İmza aşamalarının işlenmesi (Aazam et al., 2018a; Tang et al., 2017).

Şekil 2’de gösterilen sis bilişime ait referans mimari modeli aşağıdaki üç katmandan oluşmaktadır.

- **Terminal Katmanı** : Terminal katmanı sis bilişimin fiziksel ortama ve son kullanıcıya en yakın olduğu katmandır. Cep telefonları, akıllı kartlar, sensörler gibi son kullanıcıda bulunan cihazların bu alanda yer almaktadır. Bu katmanda bulunan cep telefonu ya da tabletler kendilerine ait işlem gücüne sahip olsa da bu gücü sadece kendi amaçları doğrultusunda kullanılmaktadırlar. Bu katmanda bulunan cihazların temel görevi olayların veya fiziksel nesnelere algılanması ve bu işlem sonucu elde edilen verilerin depolama ve işlem için mevcut mimaride bulunan üst katmana gönderilmesinden sorumludurlar.
- **Sis Katmanı** : Bulut ile terminal katmanı arasında bulunan sis katmanı ağın kenarında bulunmaktadır. Sis katmanı genellikle erişim noktaları, ağ geçitleri, yönlendiriciler, temel istasyonları, sunucular gibi cihazları içeren çok fazla sayıda sis düğümlerinden oluşmaktadır. Bu sis düğümleri bulut ile son cihazlar arasında dağılmış olarak alışveriş merkezleri, kamu kurumları, sokaklar, kafeler, caddeler gibi alanlarda barındırılmaktadırlar. Sis düğümler sabit bir yer olabileceği gibi hareketli bir taşıyıcıda mobil olarak da bulunabilirler. Son kullanıcıda bulunan cihazlar hizmet almak için sis düğümlerine bu yöntemlerle rahatça bağlantı kurabilirler. Sis düğümler son kullanıcıdan aldıkları verileri iletmek, geçici olarak depolamak ve işleme gibi yeteneklere sahiptirler. Gerçek zamanlı işlem yapmak zorunda olan gecikme toleransı bulunmayan uygulamalar bu katmanda işlemlerini yapmaktadırlar. Bahsedildiği gibi bu katmanda bulunan sis düğümleri IP ağı üzerinden buluta bağlanabilmektedir ve daha güçlü depolama ve veri işleme gücü gerektiğinde bu bağlantı üzerinden bulutla iletişime geçme çalışma gibi yetenekleri bulunmaktadır.
- **Bulut Katmanı** : Bulut katmanı bünyesinde birden fazla depolama cihazı ve yüksek performanslı sunucu aygıtlarından oluşmaktadır. Yüksek işlem kapasitesi ile başarılı hesaplama analizi ve güçlü depolama aygıtları ile büyük veriyi saklama gibi yetenekleri bünyesinde barındırmaktadır. Ancak sis bilişimde geleneksel bulut bilişimin yaklaşımının aksine tüm işlem ve depolama görevleri bulut bilişim tarafında yürütülmez.

Sis bilişim mimarisinde, her son cihaz bir kablosuz veya kablolu erişim altyapısı ile sis düğümlerine bağlanmaktadır. Kablosuz erişimde özellikle WiFi, 4G, 3G, Bluetooth gibi kablosuz erişim teknolojilerinden faydalanılmaktadır. Yine mimari sonucu olarak sis düğümleri de kendi aralarında bağlantı kurabilme yetisine sahiptirler ayrıca her bir sis düğüm IP ağı üzerinden buluta bağlanmaktadır. Bulut tabanlı uygulamalarda buluttan gelecek cevap işlem gücüne, ağ hızına veya sunucu yüklerine bağlı olarak uzun sürebilmektedir. Bulut bilişim ile sis bilişimin detaylı karşılaştırılması Tablo 1’de sunulmaktadır (Aazam et al., 2018a; Aazam, Zeadally, & Harras, 2018b; Díaz, Martín, & Rubio, 2016; Mahmud, Srirama, Ramamohanarao, & Buyya, 2018; Nobre et al., 2019; Salman, Elhajj, Chehab, & Kayssi, 2018).

Tablo 1. Bulut bilişim ile sis bilişimin karşılaştırılması.

	Bulut Bilişim	Sis Bilişim
Gecikme	Yüksek	Düşük
Gerçek zamanlı etkileşim	Destekli	Destekli
Yer farkındalığı	Kısmen destekli	Destekli
Hesaplama ve depolama yetenekleri	Güçlü	Zayıf
Bant genişliği maliyetleri	Yüksek	Düşük
Sunucu düğüm sayısı	Az	Çok
Coğrafi dağılım	Merkezi	Merkezi olmayan ve dağıtılmış
Enerji tüketimi	Yüksek	Düşük
Son cihazlara olan mesafe	Uzak	Yakın
Hizmet yeri	Internet ile	Lokal ağ kenarında
Çalışma ortamı	Özel veri merkezi	Dış ya da iç mekân
İletişim yöntemi	IP ağı	Kablosuz ya da kablolu bağlantı
Mobilite	Sınırlı	Destekli

Tablo 1’de görüldüğü üzere geleneksel bulut bilişimde bulunan kimi aksaklıklar veya eksiklikler sis bilişim ile giderilmiş ve daha efektif ve stabil yaklaşım geliştirilmiştir.

Bu çalışmada servis tabanlı bir imza doğrulama yöntemi geliştirilmiştir; geliştirilen yöntem bir senaryo üzerinde test edilmiş ve sonuçları tartışılmıştır.

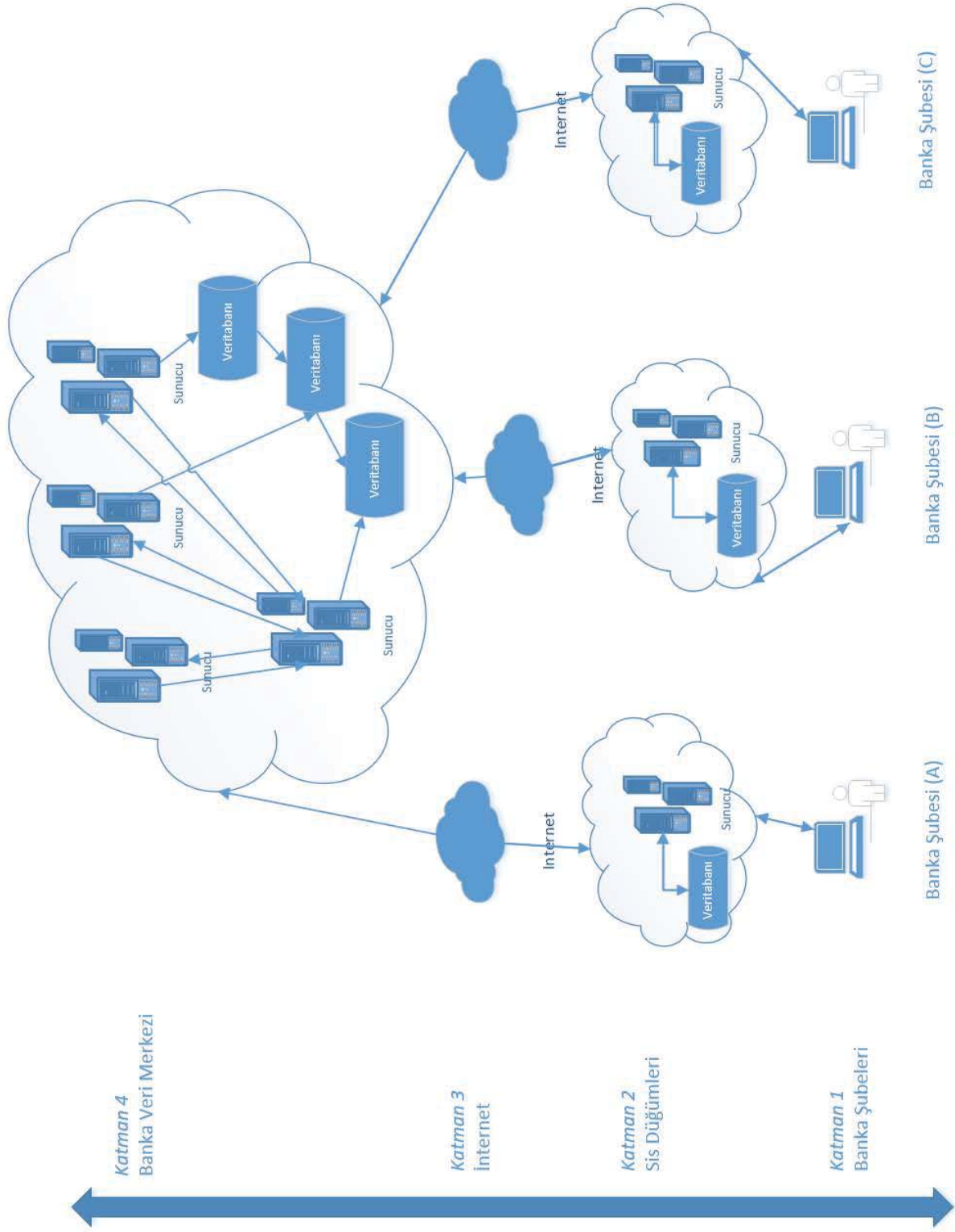
2. ÇALIŞMANIN KAPSAMI

Çalışmaya ait adımlar Şekil 3’te gösterilmektedir. Öncelikle kullanıcıların imzaları takip edilerek kayıt altına alınmaktadır. Kayıt edilen imza literatürde kullanılan imza özellik edinim yöntemleri ile dijital hale getirilmektedir. Elde edilen verilerle imza dosya yapısı oluşturulmaktadır. Çalışmaya özel oluşturulan imza dosya yapısı sis bilişim alt yapısına kaydedilmektedir.



Şekil 3. Çalışmanın adımları

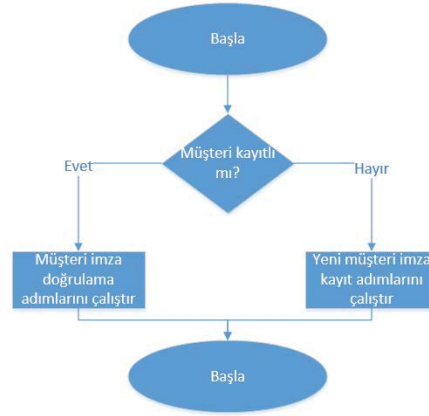
Literatürde bulunan imza doğrulama yöntemleri bulut bilişim alt yapısına uygulanmıştır ancak sis bilişim alt yapısına uygun bu tarz bir uygulamaya rastlanmamıştır. Ayrıca geliştirilen sistemin kullanımının ve uygunluğunun tartışılması için bir senaryo oluşturulmuştur. Şekil 4’te gösterilen senaryo bir bankaya ait olup geliştirilen yöntem bu senaryo üzerinde değerlendirilmiştir.



Şekil. 4. Banka senaryo tasarımı

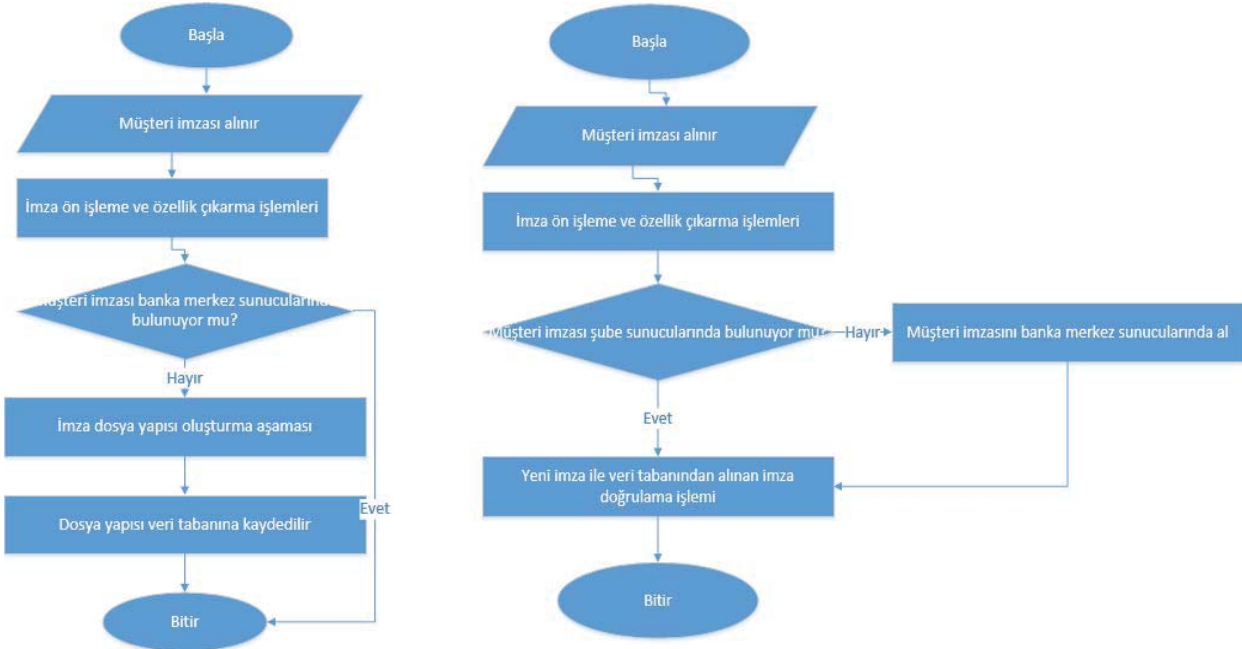
Şekil 4'te gösterilen senaryo 4 katmandan meydana gelmektedir. Senaryoda bulunan katmanlar ve katmanlarda bulunan görevler sırasıyla aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

- Katman 1 : Senaryonun ilk katmanı olan bu katman banka ile müşterinin temas sağladığı katmandır. İlk defa gelen müşteriye ait imzanın tanıtıldığı ve müşteriye ait verinin ilk defa okunduğu ya da daha önce kayıtlı olan müşterinin yaptığı işlemde imza doğrulama işleminin kontrol edildiği katmandır. Bu katmana ait detaylı akış diyagramını Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil. 5. Banka senaryo katman 1 akış diyagramı

- Katman 2 : Senaryonun ikinci katmanı bankanın ya da bankanın bağlı olduğu bir üst şubenin verilerinin işlendiği ve tutulduğu sunucuların barındırıldığı katmandır. Bu katmanda müşteriden alınan veriler sunucu aracılığıyla işlenir ve imzaya ait özellikler elde edilir. Bu edinim işlemi sonrasında imza dosya yapısı oluşturulur ve sonraki işlemler için veri tabanına kaydedilir. Bu işleyişe ait akış şeması Şekil 6a'da gösterilmektedir. Bu sisteme daha önce kaydedilmiş ve banka sisteminde var olan müşteri için imza doğrulama aşamasında sorgulamanın yapıldığı ve imza doğruluğunun kıyaslandığı aşama bu katmanda yer almaktadır. Bu işleyişe ait akış şeması Şekil 6b'de gösterilmektedir.



Şekil. 6(a). Banka senaryo katman 2 yeni müşteri akış diyagramı (b). Banka senaryo katman 2 var olan akış diyagramı

- Katman 3 : Senaryonun bu katmanında banka şubelerine ait küçük sis düğümleri ile bankanın büyük veri merkezi arasındaki iletişim sağlanmaktadır. İnternet üzerinden sağlanan bu iletişim servis tabanlı oluşturulmuş. Ancak bu iki nokta arasında yapılacak tüm iletişim güvenli şekilde yapılması gerekmektedir. Bu nedenle servis tabanlı sistem

üzerinde yapılan tüm haberleşme ve kurulan mimari güvenli hiper metin aktarım iletişim protokolü üzerinden yapılacak şekilde tasarlanmıştır.

- Katman 4 : Senaryonun dördüncü katmanı bankanın tüm verilerinin tutulduğu banka veri merkezinden oluşmaktadır. Burada bankaya ve bankanın hizmet verdiği müşterilere ait tüm bilgiler tutulmakta ve tüm sistemlerin üzerinde çalıştığı sunucular bu katmanda barındırılmaktadır.

3. METODOLOJİ

3.1. İmza Edinim Aşaması

Çalışmanın bu aşamasında giriş verisi olan kullanıcı imzasını aldıktan sonra yapılacak adımlar tanımlanmaktadır. Bu adımda giriş verisini daha hassas ve işlenebilir hale getirmek için bir ön işlem uygulanmaktadır. Ön işlem adımında otsu algoritması, normalizasyon, morfolojik operasyonlar ve medyan filtresi uygulanmaktadır. Bir sonraki adımda özellik edinimi yapılmaktadır. Bu işlemde her imzanın dikey ve yatay özellikleri yerel ve global özellikler olarak belirlenmektedir. Bu aşamada belirtilen global özellikler en boy oranı, genişlik, yükseklik, imza alanı, normalizasyon işlemi uygulanmış imza yüksekliği gibi özelliklerdir. Yerel özellikler ise imzanın ağırlık merkezi, açı, mesafe ve eğim gibi temel özelliklerini barındırmaktadır. Bu aşamada kullanılacak yola ait algoritma adımları Tablo 2’de gösterilmektedir.

Tablo 2. İmza edinim aşaması algoritma adımları.

Adım	İşlem
Adım 1:	Başla
Adım 2:	Giriş imzası görüntüsünü oku
Adım 3:	Resmi ikili sisteme dönüştür
Adım 4:	Resme normalizasyon işlemi uygula
Adım 5:	Resmi daha kullanışlı hale getirmek için morfolojik işlemleri uygula
Adım 6:	Medyan filtre ile görüntüdeki gürültüyü kaldırın
Adım 7:	Yatay ve Dikey özellikleri ayıkla
Adım 8:	Eğim, mesafe ve açığı ayıkla
Adım 9:	Genel özellikleri ayıkla
Adım 10:	Bitir

Kullanıcı imzasını kâğıt üzerine alındıktan sonra bir tarayıcı aracılığıyla görüntü sayısal veri haline dönüştürülür. Bu aşamada gerçekleştirilen ilk işlem giriş verisi olan imzanın ikili resmi almak ve imza özelliklerinin edinimi için Otsu segmentasyonu algoritması uygulanır. Elde edilen ikili görüntü sonraki aşamalarda ya da işlemlerde kullanılmak üzere 256 x 256 boyutlarında yeniden boyutlandırılırlar. Ardından görüntüdeki verimin artırılması için morfolojik işlemler uygulanır. Ancak bu işlem sırasında görüntü üzerinde gürültü oluşabilmektedir. İmzayı daha kullanışlı kılmak, oluşan gürültüyü ortadan kaldırmak ve doğrulama oranını artırmak için medyan filtreleme uygulanmaktadır. Adımlara ait detaylar çalışmanın bu aşamasında sunulmaktadır.

3.1.1. Otsu segmentasyonu

Görüntü bölümlenme adımında, giriş verisi olan imza görüntüsü uygun bilgiyi elde etmek için ikili görüntüye ayrılır. Bu segmentasyonun en önemli özelliği imzanın arka plandan ayrılmasıdır yani ön planda duran imzanın arka plandan ayrılarak kullanılabilir hale dönüştürülmesidir. Bu amaçla en sık kullanılan algoritma Otsu segmentasyonudur. Otsu segmentasyonunun hesaplanması için, ilk olarak, gri ölçekli görüntüdeki her yoğunluk seviyesine ait histogramı ve olasılık hesaplanmaktadır (Otsu, 1979). Her yoğunluk seviyesinin başlangıç ağırlıkları, ortalama ve ölçeklendirme parametresi sıfıra ayarlanır. Maksimum yoğunluk değerinin elde edilmesinde bir eşik değeri tanımlanmıştır. Eşik değeri yinelense de toplam yoğunluk değerleri sayısı yürütülür. Tüm tekrarlarda ağırlıklar ve ölçeklendirme parametresi değerleri güncellenir. Eşik değeri, maksimum yoğunluk değeri olarak seçilir.

3.1.2. Normalizasyon işlemi

Otsu segmentasyonu sonrasında elde edilen çıktı olan ikili imza görüntüsü bu aşamanın giriş parametresidir. Bu adımda bölümlenme işlemi uygulanmış görüntü 256 x 256 olarak yeniden boyutlandırılmaktadır. Yeniden boyutlandırılmış görüntüye çıkarma işlemi uygulanır. Bu işlemin amacı, bölümlere ayrılmış görüntünün maksimum yoğunluk değerini elde etmektir. Bu alan resimde imzalı bölgeyi barındırmaktadır.

3.1.3. Morfolojik işlemleri

Normalizasyon aşamasından sonra, normalize edilmiş görüntüde incleme ve kapama olarak adlandırılan iki morfolojik işlem uygulanır. Morfolojik işleme, bir görüntüdeki özelliklerin şekli veya morfolojisi ile ilgili doğrusal olmayan işlemlerin bir koleksiyonudur. Morfolojik operasyonlar sadece piksel değerlerinin göreceli olarak sıralanmasına dayanır bu nedenle özellikler

ikili görüntülerin işlenmesi için uygundur. Morfolojik teknikler, bir yapı elemanı olarak adlandırılan küçük bir şekle veya şablona sahip bir görüntüyü işler. Yapılandırma elemanı, görüntüdeki tüm olası konumlara yerleştirilir ve ilgili piksel komşusuyla karşılaştırılır. İkili bir görüntü üzerinde morfolojik bir işlem, pikselin sadece sıfırdan büyük bir değere sahip olduğu yeni bir ikili görüntü oluşturur (Efford, 2000).

3.1.4. Medyan filtreleme

Normalizasyon işlemi uygulanmış görüntüye morfolojik işlemler uygulanması aşamasında görüntüye gürültü eklenmesi ihtimali meydana gelmektedir. Bu gürültünün görüntüden çıkartılması bir zorunluluktur, bölümlere ayrılmış görüntüye 3 x 3 medyan filtresi uygulanmaktadır (Zhou & Zhang, 1999). Bu işlem sonrasında görüntüde oluşan gürültü giderilmiş olur.

3.2. Özellik çıkarımı

Çalışmanın özellikler çıkarma aşamasında imzaya ait global özellikler elde edilmektedir. İmza görüntüsüne ait özellikler ve denklemleri Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Global özellikler ve eşitlikleri.

Özellik	Eşitlik
En boy oranı	$\frac{Width}{Height}$
Siyah piksel alanı	$\sum_i^w \sum_j^h I(i,j)$
İmzanın saf genişliği	$\max(\text{sum}(I, 1))$
İmzanın saf yüksekliği	$\max(\text{sum}(I, 2))$
Normalleştirilmiş imza yüksekliği	$\frac{Saf\ genişlik}{Saf\ yükseklik}$
Alan	$\emptyset^A = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A[i,j]$

3.3. İmza Dosya Yapısının Oluşturulması

Elde edilen tüm özelliklerin veri tabanına kaydedilmesi ve sorgulama aşamasında kullanılabilmesi için probleme özel bir dosya yapısı geliştirilmiştir. Dosya yapısında yer alan bilgiler ve kapladıkları alan Şekil 7'de gösterilmektedir.

Banka Numarası	Müşteri Numarası	Şube Numarası	Şube Server Numarası	Dosya Oluşturulma Tarihi	En boy Oranı	Siyah piksel alanı	İmzanın saf genişliği	İmzanın saf yüksekliği	Normalleştirilmiş imza yüksekliği	Alan
long	long	long	long	datetime	float	float	float	float	float	float
8 byte	8 byte	8 byte	8 byte	8 byte	4 Byte	4 Byte	4 Byte	4 Byte	4 Byte	4 Byte

Şekil 7. İmza dosya yapısı

Tasarlanan dosya yapısında aramaya imkân vermek ve arama performansını geliştirmek için bölümlere ayrılarak tasarlanmıştır. Aranılan dosyanın hangi bankaya ait dosya olduğunu ilk aşamada tespit edebilmek için dosyanın ilk bilgisi olarak banka numarası belirlenmiştir. Bankaya ulaşıldıktan sonra şube bilgileri yerine Müşteri numarası bilgisi eklenmiştir. Bu yaklaşım kendi içerisinde iki nedene sahiptir. Bunlardan ilki, her müşteri imzasını kendi şubesinde vermiş olamayabileceğinden müşterinin şubesine gitmek imzanın bulunmamasına sebep olabilir. Bu nedenle banka bilgisinden sonra müşteri numarası bilgisine yer verilmiştir. İkinci neden ise banka numarası bilgisine erişildikten sonra, o bankaya ait müşteri numarası tekil değer olmaktadır. Bu nedenle banka ve müşteri numarasına öncelik tanınmıştır. Geliştirilen dosyada yer alan bir diğer bilgi şube numarasıdır. Burada belirtilen şube bilgisi müşterinin bağlı bulunduğu banka şubesi değildir, müşterinin ilgili imzayı verdiği şube numarasıdır. Şube sunucu numarası geliştirilen dosya sisteminde barındırılan bir diğer bilgidir. Sis bilişim yapısında gösterildiği üzere her bankanın kendisine ait bir sunucusu bulunmaktadır, aranan imzanın hangi sunucuda barındırıldığı bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Ayrıca imza dosyasının ilk oluşturulma tarihi veri bütünlüğünün sağlanması için dosya yapısına eklenmiştir. Tablo 3'te gösterilen global değişkenler dosya yapısına sırasıyla eklenmiştir. Şekil 7'de gösterilen dosya yapısı imza dosyasının başlığı niteliğinde geliştirilmiş olup sonrasında imza dosyası bulunmaktadır.

3.4. Sis Bilişim Altyapısı

Müşteri imzasına ait Tablo 3'te gösterilen özellik edinilmiştir. Şekil 7'de gösterilen probleme özgü geliştirilen imza dosya yapısı ile imzaya ait bilgiler ve imza dosyası oluşturulmuştur. Müşterinin imzasının alındığı şube sunuculara kaydedilmiştir. Bu sayede sonraki sorgulama ve güncelleme aşamalarında internet üzerinden buluta erişmeye gerek kalmaksızın şubenin kendi sunucularında tüm işlemler yapılabilecektir. Ayrıca geliştirilen imza dosya yapısı buluta gönderilerek kayıt edilmesi sağlanmaktadır. Bu yaklaşım sayesinde müşteriler başka bir şubeden ve hatta bankadan dahi işlem yapsalar tüm detaylar bulutta da tutulduğundan herhangi bir problem olmaksızın en hızlı şekilde erişim sağlanacak ve müşteri imzası kontrol edilecektir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada literatürde yoğun çalışmalar yapılan sis bilişim alt yapısı kullanılarak bir imza doğrulama yaklaşımı geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım çerçevesi imzaların sıklıkla kullanıldığı kurumlardan olan bankalara özel bir senaryo üzerinde kurgulanmıştır. Sunulan çerçeve, imza ön işleme süreçlerini, probleme özel geliştirilen imza dosya yapısının oluşturulması ve sis bilişime kayıt edilmesinden oluşan üç ana aşamadan oluşmaktadır. Çalışma ile geliştirilen mimari, imza doğrulama kullanan kurum ve kuruluşlara sis bilişim mimarisi konusunda rehberlik etmektedir. Yapılan çalışma ile elde edilen tespitler, sonuçlar ve öneriler aşağıda listelenmiştir.

- Bulut bilişim, güncel teknolojiler arasında popülerliğini korumaya devam etmektedir.
- Bulut bilişim, maliyetleri azaltan ve genişlemeye uygun bir yaklaşıma sahiptir.
- Sis bilişim, bulut bilişimde yer alan eksiklikleri ya da açıklıkları kapatmaktadır. Bulut bilişim mimarisini güçlendiren ve daha güvenli hale getiren bir yaklaşımdır.
- Sis bilişim, bant genişliği konusunda bulut bilişimden daha hassastır ve veri giriş veya çıkış işleminin yoğun olduğu bankalar, üniversiteler gibi yerel sunucular ile çalışmalarını mümkün olan daha kritik kurumlara ya da şirketlere uygundur.
- Biyometrik yöntemler arasında yer alan imza halen en sık kullanılan güvenlik araçları arasındadır.
- İmza gibi biyometrik verilerin doğrulanması aşamasında gözle kontrol yerine bilgisayar tabanlı kontroller hataları önleyerek güvenliği arttıracaktır.
- Sis bilişimin kritik güvenlik önemine sahip sistemlerde bulut bilişim yerine kullanılması uygun görülmektedir.

REFERANSLAR

- Aazam, M., & Huh, E.-N. (2016). Fog Computing: The Cloud-IoTVIoE Middleware Paradigm. *IEEE Potentials*, 35(3), 40-44. doi:10.1109/mpot.2015.2456213
- Aazam, M., Zeadally, S., & Harras, K. A. (2018a). Fog Computing Architecture, Evaluation, and Future Research Directions. *IEEE Communications Magazine*, 56(5), 46-52. doi:10.1109/mcom.2018.1700707
- Aazam, M., Zeadally, S., & Harras, K. A. (2018b). Offloading in fog computing for IoT: Review, enabling technologies, and research opportunities. *Future Generation Computer Systems*, 87, 278-289. doi:10.1016/j.future.2018.04.057
- Arkian, H. R., Diyanat, A., & Pourkhalili, A. (2017). MIST: Fog-based data analytics scheme with cost-efficient resource provisioning for IoT crowdsensing applications. *Journal of Network and Computer Applications*, 82, 152-165. doi:10.1016/j.jnca.2017.01.012
- Armbrust, M., Stoica, I., Zaharia, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A. D., . . . Rabkin, A. (2010). A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53(4), 50. doi:10.1145/1721654.1721672
- Connor, P., & Ross, A. (2018). Biometric recognition by gait: A survey of modalities and features. *Computer Vision and Image Understanding*, 167, 1-27. doi:10.1016/j.cviu.2018.01.007
- Datta, S. K., Bonnet, C., & Haerri, J. (2015). Fog Computing architecture to enable consumer centric Internet of Things services. 1-2. doi:10.1109/isce.2015.7177778
- Díaz, M., Martín, C., & Rubio, B. (2016). State-of-the-art, challenges, and open issues in the integration of Internet of things and cloud computing. *Journal of Network and Computer Applications*, 67, 99-117. doi:10.1016/j.jnca.2016.01.010
- Doroz, R., Kudlacik, P., & Porwik, P. (2018). Online signature verification modeled by stability oriented reference signatures. *Information Sciences*, 460-461, 151-171. doi:10.1016/j.ins.2018.05.049

- Efford, N. (2000). *Digital Image Processing: A Practical Introduction using Java* (1 edition ed.): Pearson.
- Fernando, N., Loke, S. W., & Rahayu, W. (2013). Mobile cloud computing: A survey. *Future Generation Computer Systems*, 29(1), 84-106. doi:10.1016/j.future.2012.05.023
- Ghazouani, S., & Slimani, Y. (2017). A survey on cloud service description. *Journal of Network and Computer Applications*, 91, 61-74. doi:10.1016/j.jnca.2017.04.013
- Hajibaba, M., & Gorgin, S. (2014). A Review on Modern Distributed Computing Paradigms: Cloud Computing, Jungle Computing and Fog Computing. *Journal of Computing and Information Technology*, 22(2), 69. doi:10.2498/cit.1002381
- Ito, T., Ohshima, W., Wakabayashi, T., & Kimura, F. (2012). Combination of Signature Verification Techniques by SVM. 430-433. doi:10.1109/icfhr.2012.192
- Kawazoe, Y., Ohshima, W., Wakabayashi, T., & Kimura, F. (2010). Improvement of On-line Signature Verification Based on Gradient Features. 410-414. doi:10.1109/icfhr.2010.70
- Kekre, H. B., & Bharadi, V. A. (2011). *Dynamic signature pre-processing by modified digital difference analyzer algorithm*, New Delhi.
- Kekre, H. B., Bharadi, V. A., & Sarode, T. K. (2011). *Dynamic signature using time based vector quantization by Kekre's median codebook generation algorithm*, New Delhi.
- Mahmud, R., Srirama, S. N., Ramamohanarao, K., & Buyya, R. (2018). Quality of Experience (QoE)-aware placement of applications in Fog computing environments. *Journal of Parallel and Distributed Computing*. doi:10.1016/j.jpdc.2018.03.004
- Mell, P., & Grance, T. (2011). *The NIST Definition of Cloud Computing*. U.S. Department of Commerce Computer Security Division Information Technology Laboratory: NIST.
- Min, C., Yixue, H., Yong, L., Chin-Feng, L., & Di, W. (2015). On the computation offloading at ad hoc cloudlet: architecture and service modes. *IEEE Communications Magazine*, 53(6), 18-24. doi:10.1109/mcom.2015.7120041
- Muramatsu, D., & Yagi, Y. (2013). Silhouette-based online signature verification using pen tip trajectory and pen holding style. 1-8. doi:10.1109/icb.2013.6612958
- Nobre, J. C., de Souza, A. M., Rosário, D., Both, C., Villas, L. A., Cerqueira, E., . . . Gerla, M. (2019). Vehicular Software-Defined Networking and fog computing: Integration and design principles. *Ad Hoc Networks*, 82, 172-181. doi:10.1016/j.adhoc.2018.07.016
- Otsu, N. (1979). A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(1), 62-66. doi:10.1109/tsmc.1979.4310076
- Qiu, T., Zheng, K., Song, H., Han, M., & Kantarci, B. (2017). A Local-Optimization Emergency Scheduling Scheme With Self-Recovery for a Smart Grid. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 13(6), 3195-3205. doi:10.1109/tii.2017.2715844
- Radhika, K. S., & Gopika, S. (2015). Online and Offline Signature Verification: A Combined Approach. *Procedia Computer Science*, 46, 1593-1600. doi:10.1016/j.procs.2015.02.089
- Salman, O., Elhadj, I., Chehab, A., & Kayssi, A. (2018). IoT survey: An SDN and fog computing perspective. *Computer Networks*, 143, 221-246. doi:10.1016/j.comnet.2018.07.020
- Singh, A., & Chatterjee, K. (2017). Cloud security issues and challenges: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 79, 88-115. doi:10.1016/j.jnca.2016.11.027
- Stojmenovic, I., & Wen, S. (2014). The Fog Computing Paradigm: Scenarios and Security Issues. 2, 1-8. doi:10.15439/2014f503
- Tang, B., Chen, Z., Hefferman, G., Pei, S., Wei, T., He, H., & Yang, Q. (2017). Incorporating Intelligence in Fog Computing for Big Data Analysis in Smart Cities. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 13(5), 2140-2150. doi:10.1109/tii.2017.2679740
- Yannuzzi, M., Milito, R., Serral-Gracia, R., Montero, D., & Nemirovsky, M. (2014). Key ingredients in an IoT recipe: Fog Computing, Cloud computing, and more Fog Computing. 325-329. doi:10.1109/camad.2014.7033259
- Yi, S., Hao, Z., Qin, Z., & Li, Q. (2015). Fog Computing: Platform and Applications. 73-78. doi:10.1109/HotWeb.2015.22

Yu, C., Songqing, C., Peng, H., & Brown, D. (2015). FAST: A fog computing assisted distributed analytics system to monitor fall for stroke mitigation. 2-11. doi:10.1109/nas.2015.7255196

Zhang, H., Xiao, Y., Bu, S., Niyato, D., Yu, R., & Han, Z. (2016). Fog computing in multi-tier data center networks: A hierarchical game approach. 1-6. doi:10.1109/icc.2016.7511146

Zhang, Y., Niyato, D., & Wang, P. (2015). Offloading in Mobile Cloudlet Systems with Intermittent Connectivity. IEEE Transactions on Mobile Computing, 14(12), 2516-2529. doi:10.1109/tmc.2015.2405539

Zhou, W., & Zhang, D. (1999). Progressive switching median filter for the removal of impulse noise from highly corrupted images. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, 46(1), 78-80. doi:10.1109/82.749102



Farklı Kimyasallarla Modifiye Edilen Doğal Atık Takviyeli Epoksi Reçine Matrisli Kompozitlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu

Preparation and Characterization of Natural Waste Reinforced Epoxy Resin Matrix Composites Modified with Different Chemicals

Süheyla Kocaman*¹

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Konya, 42075, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 13/09/2018

Kabul/Accepted: 12/11/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Öz

Bu çalışmada doğal atık bir malzeme olan kayısı çekirdeği kabuğu (KÇK), bisfenol-A tipi epoksi reçine (ER) matrisli kompozit malzemelerin hazırlanması için dolgu maddesi olarak kullanılmıştır. Ayrıca, doğal dolgu malzemesi NaOH ve asetik asitle (AA) kimyasal olarak modifiye edilerek çevre dostu üstün özellikli kompozitlerin hazırlanması hedeflenmiştir. Bu amaçla, epoksi reçine matrisli modifiye çevre dostu dolgu malzemesi katkılı yüksek derecede yenilenebilir malzemeler elde edilmiştir. Modifiye edilen doğal meyve çekirdeği atığının yapısı FTIR ile aydınlatılmış, partikül boyutu tayin edilmiştir. Dolgu oranının kompozitlerin mekanik ve termal özellikleri üzerine etkisi araştırılmış ve kompozitlerin yapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını toz difraksiyonu (XRD) ve termal gravimetrik analiz (TGA) ile karakterize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Epoksi reçine, kayısı çekirdeği kabuğu, kimyasal modifikasyon”

Abstract

In this study apricot kernel shell (AKS), which is a natural waste product, was used as raw material for the preparation of bisphenol-A type epoxy resin (ER) composite materials. In addition, the natural filler material is chemically modified with NaOH and acetic acid (AA) to prepare environmentally friendly superior composites. For this purpose, high-renewable materials were obtained by using modified environmental-friendly filling material combined with epoxy resin matrix. The structure of the modified natural fruit core waste is illuminated by FTIR, particle size was determined. The effect of filler ratio on the mechanical and thermal properties of the composites was investigated and the structure of the composites was characterized by scanning electron microscopy (SEM), X-ray powder diffraction (XRD) and thermal gravimetric analysis (TGA).

Key Words

“Epoxy resin, apricot kernel shell, chemical modification”

1. GİRİŞ

Epoksi reçinelerden mükemmel mekanik dayanıma, elektriksel ve kimyasal dirence, iyi ısı yalıtımına ve iyi yapışmaya sahip malzemeler üretilmektedir. Günümüzde epoksi reçinelerin; havacılık ve uzay sanayi, otomotiv sanayi, yapıştırıcılar, tutkallar, boyalar, yüzey kaplama, deniz malzemeleri, elektrikli ve elektronik bileşenler olmak üzere geniş ürün çeşitliliği bulunmaktadır (Mustata vd., 2012). Yeni polimer ürünlerin üretimi yeni zorlukları, özellikle çevre konusunda artan bir endişeyi de beraberinde getirmekte ve bu durum yeni biyobazlı ve/veya biyobozunur malzemelerin geliştirilmesine öncülük etmektedir. Son yıllarda biyobozunur ve biyouyumlu polimerler, yenilenebilir kaynaklardan sentezlenebilme gibi çevre dostu özelliklerinden dolayı büyük önem kazanmıştır. Ancak birçok biyobozunur polimer klasik ticari polimerlerle yarışan düşük maliyet, işlenmelerinin kolay olması, sert veya esnek yapıda olmaları, geri dönüşümlerinin kolay olması ve toksik madde içermemeleri gibi bazı üstün özellikler sergilemesine rağmen, neme duyarlı olmama, zayıf termal direnç ve/veya mekanik özellikler gibi sınırlandırmalara da sahiptir. Bu eksikliklerin giderilmesi amacıyla genellikle çeşitli takviye malzemeleri matris faza dahil edilerek polimer kompozitler hazırlanmakta ve uygulanmaktadır (Özdemir, 2014). Öte yandan, piyasaların rekabeti, ürünlerin en iyi maliyet ve performans dengesini de beraberinde getirmektedir. Bundan dolayı ucuz dolgu maddelerinin kullanılması özellikle ilgi çekici bir hal almıştır (Nakamura vd., 1992). Bir polimer matrisine dolgu maddelerinin dahil edilmesi, arzu edilen bir dizi özellikleri (yüksek mekanik ve termal dayanım gibi) elde etmek için hızlı ve düşük maliyetli bir yöntem olarak bilinmektedir (Fraga vd., 2009). Plastik, otomobil ve ambalaj sanayilerinde malzeme maliyetini azaltmak için doğal elyaf takviyeli kompozitlerin uygulandığı bilinmektedir (Narendar ve Priya Dasan, 2014). Doğal bitkisel liflerin kompozit malzemelerde güçlendirici olarak kullanımı son on yılda bilimsel ve endüstriyel ilgiyi üzerine çekmiştir. Bu ilginin nedeni, bu tür liflerin doğal bolluğu ve düşük maliyetinin yanı sıra, hafif ve yüksek spesifik modüle sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Cai vd., 2016).

Belirtilen avantajlarının yanında, doğal takviyeler ve polimer matris arasındaki zayıf yapışma elde edilen kompozitlerin mekanik özelliklerini sınırlayan bir unsurdur. Doğal takviye malzemelerinin birçoğunun hidrofilik yüzey yapısı hem polimer matrisle etkileşimini zayıflatmakta hem de kompozitin nem çekmesine bağlı olarak zamanla mekanik özelliklerde gerilemeye neden olmaktadır. Bu dezavantajı bertaraf etmek amacıyla doğal takviye malzemelerinin çeşitli yöntemlerle modifikasyonu yapılmaktadır. Çalışmamızdaki amaçlarımızdan biri bu sorunu çözmeye yönelik olarak, doğal takviye parçacıklarının kompozit hazırlama işlemleri öncesinde yüzey modifikasyonlarını gerçekleştirmektir. Dolgu malzemesi yüzeyinin kimyasal işleme ile modifikasyonunu gerçekleştirerek söz konusu sorunun üstesinden gelebileceği düşünülmüştür.

Lignoselülozik materyallerin kimyasal modifikasyonu yüzey topografyasını, yüzeydeki kimyasal grupları ve yapısal modifikasyonu iyileştirir. Bu modifikasyonlar genellikle lignoselüloz yapılar ile reaksiyona girebilen ve bileşimlerini değiştirebilen reaktif fonksiyonel grupların kullanımına dayanır. Yapılan değişiklikler polimer kompozitler için, ara yüzey etkileşimi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabilir. Lignoselülozların kimyasal modifikasyonu, matris ile etkili bir şekilde kenetlenen hidroksil gruplarını uyarır (Nam vd., 2011; Shih vd., 2012). Doğal elyafların kabuk katışıklarının (safsızlık) çıkarılmasının ana avantajı, fiberlerin hidroksil grupları arasındaki boyalar ve reçineler gibi kimyasal maddelere mekanik kenetlenmeyi ve bağlanma reaksiyon temasını arttıran elyaf-matris adezyonunu iyileştirmektir.

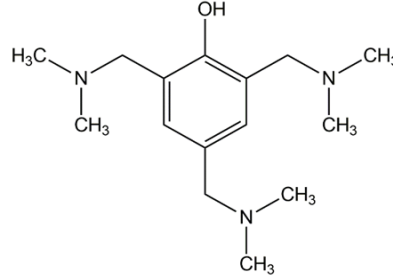
Lignoselülozik malzemeler için birçok kimyasal modifikasyon yöntemi benimsenmiştir (Ho vd., 2012; Lu vd., 2013). Kabir vd., (2012) doğal elyaf/polimer kompozitlere yönelik yaptıkları yeni bir incelemede; kimyasal modifikasyonun morfolojiye, liflerin ve kompozitlerin diğer özelliklerine etkisi üzerine bir dizi çalışmayı özetlemiştir. Lignoselülozların kimyasal modifikasyonu için benimsenen en yaygın tekniklerden biri alkali muameledir. Sodyum hidroksit ile muamele, hemiselülozlar, lignin ve balmumu gibi selülozik olmayan bileşenlerin çıkarılmasıyla sonuçlanır. Farklı asit muamelelerinin doğal dolgu maddeleri üzerindeki etkisi birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Kabir vd., 2013; Mishra vd., 2002). Akrilik asit (Sreekala vd., 2000; Suksabye ve Thiravetyan, 2012) ve asetik asit (Li vd., 2007; Melo vd., 2012) ile yapılan modifikasyon, lignoselülozların işlevselleşmesiyle sonuçlanmıştır. Lu vd., (2013) alkali ile işlenmiş jüt liflerinin kopma mukavemeti ve kopmada uzama gibi mekanik özellikleri geliştirdiğini bildirmiştir. Ayrıca fiberin çapını ve hidrofilitasını azalttığıda belirtilmiştir. Hindistan cevizi liflerinin alkali muamelesi, lif-matris arasındaki adezyonu iyileştirmiş ve kompozitlerin kopmada uzama değerini %53 oranında arttırmıştır (Arrakhiz vd., 2013).

Bu çalışmada ilk defa, kayısı çekirdeği kabuğu, alkali ve asetik asitle kimyasal yöntemle modifiye edilerek epoksi bazlı kompozitlerde doğal dolgu malzemesi olarak kullanılmış ve biyobazlı malzemelerin elde edilmesi hedeflenmiştir. Elde edilen epoksi bazlı kompozit malzemelerin özelliklerine takviye malzemesinin ve farklı kimyasallar kullanılarak gerçekleştirilen kimyasal modifikasyon yönteminin etkileri ortaya konulmuştur. Maliyetlerin düşürülmesi ve malzeme özelliklerinin iyileştirilmesi için kimyasal olarak modifiye edilen doğal dolgu malzemesi farklı oranlarda epoksi matris faza ilave edilerek uygun oran belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışmada matris sistemi olarak bisfenol-A tipi ticari epoksi reçine (NPEK 114) (Konuray Kimya ve Sanayi Ltd. Şti.) kullanılmıştır. KÇK'ler yerel marketlerden temin edilmiştir. Kürleştirici olarak sikloalifatik poliamin olan Polypox Hardener 043, hızlandırıcı olarak 2,4,6-tris(dimetil amino metil) fenol ($C_{15}H_{27}N_3O$ - yoğunluk: $25^{\circ}C$ 'de $0,969 \text{ g/cm}^3$) kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. $C_{15}H_{27}N_3O$ 'ün molekül yapısı.

2.2. Kayısı çekirdeği kabuğunun (KÇK) kimyasal modifikasyonu

2.2.1. NaOH ile kimyasal işlem

KÇK'lerin yaklaşık 100 gramı %5'lik alkali çözeltisi içerisinde oda sıcaklığında 1 saat süreyle çalkalanarak bekletilmiştir (Şekil 2). Daha sonra KÇK'ler süzülerek saf su ile yıkanmıştır. Ardından kabuklar $70^{\circ}C$ sıcaklıktaki etüvde 2 saat boyunca kurutulmuştur (Lu vd., 2013). Etüvden alınan kabuklar öğütülüp elenerek ($\leq 53 \mu\text{m}$) kompozitlerin hazırlanmasında kullanılmıştır.



Şekil 2. NaOH ile işlenmiş KÇK'lerin görüntüsü.

2.2.2. Asetik asit ile kimyasal modifikasyon

Alkali ile işlemden geçmiş KÇK'ler, üzeri kaplanacak şekilde asetik asit çözeltisi içerisine konulup, $30^{\circ}C$ 'de 1 saat karıştırılmıştır. Daha sonra 10 ml asetik anhidrit ve 1 damla derişik H_2SO_4 eklenmiş ve 10 dakika daha karıştırılmıştır. Süzülüp saf su ile yıkanan kabuklar, $40^{\circ}C$ 'de 24 saat kurutulmuştur (Jeyranpour vd., 2015). Kuruyan kabuklar önce öğütülmüş ardından da elenerek ($\leq 53 \mu\text{m}$) kompozitlerin hazırlanmasında kullanılmıştır.

2.3. Kompozitlerin Hazırlanması

Biyobazlı dolgu materyalleri (partikül boyutu $\leq 53 \mu\text{m}$) farklı oranlarda (kütlece %10-50) epoksi reçineye eklenerek mekanik karıştırıcıda (2000 rpm) 1 saat karıştırılmış ve dolgu maddelerinin matris fazda iyi dağılımının gerçekleşmesi için 1 saat boyunca $60^{\circ}C$ 'de ultrasonik banyoda bekletilmiştir. Daha sonra kütlece %30 epoksi kürleştirici ve %1 epoksi hızlandırıcı ilave edilerek 15 dk. mekanik karıştırıcıda karıştırılıp, kalıp içine aktarılmış ve 1 saat hava kabarcıkları giderilene kadar oda sıcaklığında bekletilmiştir. Kompozitler, ASTM D 638 standardına göre paslanmaz-çelik kalıp içinde hazırlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. ASTM D 638 standardına göre kalıplanmış kompozit numuneler.

2.4. Analiz ve Testler

Polimerik matris faz ile biyobazlı dolgu malzemeleri arasındaki arayüzün aydınlatılması ve KÇK'nin partikül boyut dağılımını incelemek için Philips XL30 SFEG marka SEM cihazı kullanılmıştır (SEM 01 SE Dedektör analizi). FTIR spektrumları, saf ve modifiye edilmiş doğal kabukların kimyasal yapılarını tayin etmek için Bruker-Platinum cihazı kullanılarak 70, 500 ve 4000 cm^{-1} arasındaki dalga boyunda, ATR aksesuarı kullanılarak 4 cm^{-1} çözünürlükte kaydedilmiştir. Biyobazlı kompozitlerin mekanik özelliklerinden sertlikleri A Shore Durometer TH 210 ile; çekme uzaması, çekme dayanımları ve elastisite modülü değerleri ise TST-Mares/TS-mxe marka çekme testi cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Tüm mekanik testler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Her bir malzemenin mekanik özelliklerini belirlemek için 5 numune test edilmiştir ve bunların aritmetik ortalamaları kullanılmıştır. Mekanik testler sonunda standart sapma değerleri, (1) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - x_m)^2}{n-1}} \quad (1)$$

s: Standart sapma

x: Her bir değer

x_m : Değerlerin aritmetik ortalaması

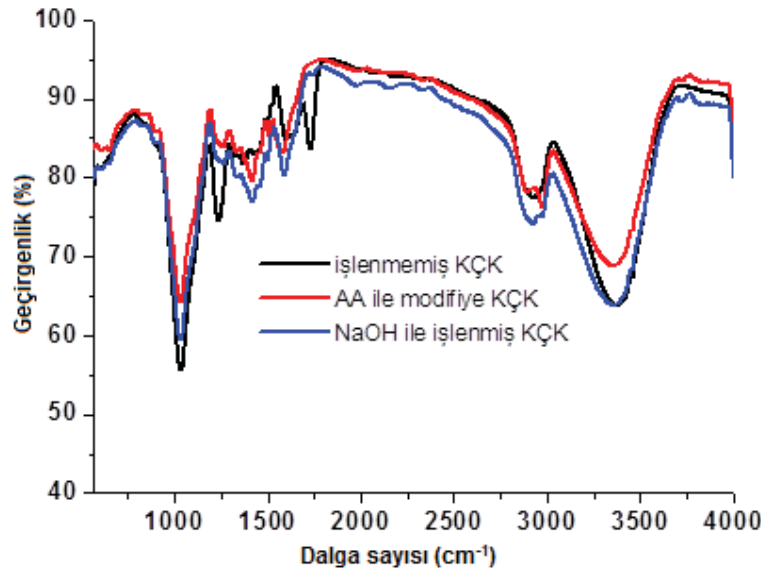
n: Değerlerin sayısı

Kompozitlerin termal dayanımları, Mettler Toledo termogravimetrik analiz cihazı (TGA) ile 20 $^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında, 0-840 $^{\circ}\text{C}$ aralığında N_2 atmosferinde gerçekleştirilmiştir. X-ışını kırınımı (XRD) analizi için bir Bruker D8 Cu-K α radyasyonu ($\lambda = 1.5406$ Å, güç = 40 kV) ile ileri toz difraktometresi kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Dolgu maddelerinin FTIR ile karakterizasyonu

İşlenmemiş, NaOH ile işlenmiş ve AA ile modifiye KÇK'lerin FTIR spektrumları Şekil 4'de verilmiştir. İşlenmemiş KÇK takviyeli kompozitin FTIR spektrumunda; 3360 cm^{-1} 'de O-H gerilmesi; 1590 ve 1520 cm^{-1} 'de aromatik C=C gerilmesi; 1820 cm^{-1} 'de polisakkaritlerde ve ksilenlerde bulunan konjuge olmayan C=O gruplarının gerilmesi; 2900, 1450 cm^{-1} 'de -CH₂- ve -CH₃- gruplarının C-H gerilmesi; 1431 cm^{-1} dalga boyunda ise C-H aromatik halka titreşimi olduğu görülmektedir (Şekil 4). Alkali işlem sonrası KÇK'nin kütlesinin % 17,6 azalması KÇK yüzeyinden lignin, hemiselüloz, pektin ve mumlu bileşiklerin bir kısmının uzaklaştırıldığını göstermektedir. 1420-1560 cm^{-1} aralığı aromatik halkalarda meydana gelen C=C gerilme titreşimlerini, 1300-1420 cm^{-1} aralığı ise alkan gruplarını belirleyen C-H eğilme titreşimini göstermektedir. Modifiye KÇK'lerin FTIR spektrumlarında, 1245 cm^{-1} 'de C-O gerilme bandının yoğunluğunun işlenmemiş KÇK'ye kıyasla azaldığı görülmektedir. Bu durum lignin miktarının azalmasının bir göstergesi olarak kabul edilebilir (Liu, 2007). 3200-3420 cm^{-1} 'de O-H gerilim titreşimlerinin modifiye kabuklarda azaldığı gözlemlenmiş olup, bu bantın alkollerini temsil ettiği söylenebilir.



Şekil 4. Saf, alkali ile işlenmiş, AA ile modifiye KÇK'lerin FTIR spektrumları.

3.2. Kompozitlerin Karakterizasyonu

3.2.1. Kompozitlerin mekanik özellikleri

Bu çalışmada, doğal dolgu materyali olan işlenmemiş ve modifiye KÇK'lerin, poliamin tipi kürleştirici kullanılarak ER matrisi üzerindeki etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir. ER matrisli, işlenmemiş, NaOH ile işlenmiş ve AA ile modifiye KÇK katkı kompozitlerin mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Kimyasal modifikasyon; KÇK kompozitlerinin çekme dayanımı ve elastisite modül değerlerini önemli derecede etkilemiştir. Saf ER ile kompozitler kıyaslanacak olursa kompozitlerin hem elastisite modül hem de çekme dayanımı değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 1). Bu da dolguların matris içerisinde homojen bir dağılım gösterdiğinin kanıtıdır. NaOH ile işlemeyle; lif yüzeyinden hemiselüloz, lignin ve mumsu bileşiklerin uzaklaştırılması KÇK parçacıklarının yapışma (adezyon) özelliğini artırmış ve yüzeyini daha pürüzlü hale getirmiştir.

SEM görüntülerinden de görüldüğü gibi modifikasyon matris ve takviye arasındaki ara yüzey adezyonunu artırmıştır (Şekil 7b-d). Buna bağlı olarak da işlenmemiş KÇK katkı kompozitlere göre modifiye KÇK içeren kompozitler daha iyi mekanik özellik göstermiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine KÇK miktarının ve modifikasyonun etkisi.

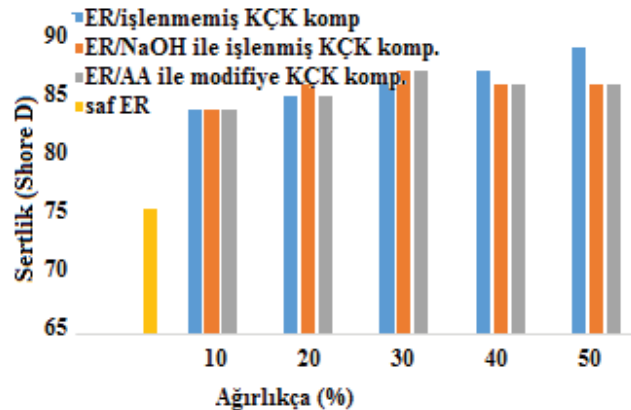
KÇK (kütlece %)	Çekme uzaması (%)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (GPa)
Saf ER			
-	0,806 ± 0,03	47 ± 2,4	3,4 ± 0,21
ER/işlenmemiş KÇK komp.			
10	0,859 ± 0,02	76 ± 1,3	5,2 ± 0,11
20	0,865 ± 0,04	78 ± 1,4	4,8 ± 0,13
30	0,777 ± 0,01	74 ± 1,9	5,2 ± 0,12
40	0,410 ± 0,02	43 ± 2,1	5,5 ± 0,21
50	0,394 ± 0,03	38 ± 2,4	8,9 ± 0,19

Tablo 1 (devam). Kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine KÇK miktarının ve modifikasyonun etkisi.

KÇK (kütlece %)	Çekme uzaması (%)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (GPa)
ER/AA ile modifiye KÇK komp.			
10	0,766 ± 0,03	79 ± 1,3	5,7 ± 0,12
20	0,970 ± 0,02	81 ± 1,5	7,2 ± 0,17
30	1,344 ± 0,02	98 ± 1,8	10,3 ± 0,11
40	0,651 ± 0,01	85 ± 2,1	6,8 ± 0,12
50	0,645 ± 0,03	73 ± 1,9	6,5 ± 0,13
ER/NaOH ile işlenmiş KÇK komp.			
10	0,645 ± 0,04	79 ± 1,5	6,2 ± 0,12
20	1,060 ± 0,03	89 ± 1,6	6,8 ± 0,13
30	0,752 ± 0,02	80 ± 1,9	6,4 ± 0,21
40	0,759 ± 0,02	78 ± 2,1	6,3 ± 0,17
50	0,580 ± 0,04	73 ± 2,3	6,1 ± 0,18

Kompozitlerin çekme dayanımı değerleri incelendiğinde; tüm kompozitler için katkı oranı belli bir miktara kadar arttıkça (\approx % 30'a kadar) maksimum mukavemet değeri de artmıştır. KÇK'nin AA ile modifikasyonu ve alkali işleme tabi tutulması, elastisite modülü ve çekme uzaması değerlerini de arttırmıştır. Bunun yanında, kompozitlerin çekme dayanımı değerleri, elastisite modül değerleri ile paralellik göstermemiştir. Bunun sebebinin, kimyasal modifikasyonun, lif mukavemetinden sorumlu olan selülozu etkilemiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Melo vd., (2012) alkali ile işlenmiş fiber katkılı kompozitlerin mekanik özelliklerini incelediklerinde; çekme mukavemeti değerlerinin işlenmemiş fiberlere göre arttığını buna karşın elastisite modüllerinin düştüğünü bildirmişlerdir.

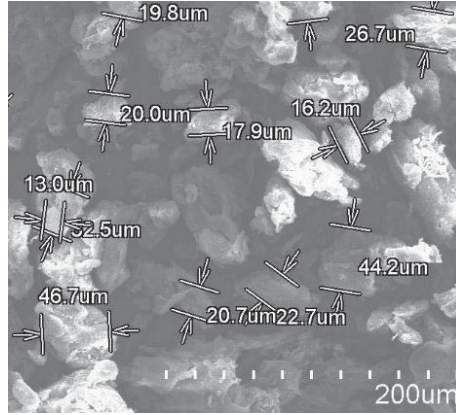
Lignin, yüksek molekül ağırlıklı ve üç boyutlu polimer yapısı nedeniyle, kabuğa sertlik kazandırır. KÇK partiküllerinin kimyasal modifikasyonu ile belli miktarda ligninin uzaklaştırılması, %30 dolgu oranından itibaren kompozitlerin sertliğini azaltmıştır (Şekil 5). Yine alkali ile işlenmiş ve AA ile modifiye KÇK kompozitleri için daha yüksek çekme uzaması değerleri; ligninin uzaklaştırılmasından kaynaklı esnekliği geliştirdiğinin kanıtıdır (Sreekala vd., 2000). Kompozitlerin çekme dayanım değerlerinin artması, sırasıyla işlenmemiş KÇK < NaOH ile işlenmiş KÇK < AA ile modifiye KÇK şeklindedir. AA ile modifiye %30 oranındaki KÇK kompozitinin en yüksek çekme dayanımı değerine (98 MPa) sahip olduğu görülmektedir. Elastisite modül değerleri için de AA ile modifiye KÇK dolgulu kompozitlerin daha iyi sonuçlar sergilediği söylenebilir.



Şekil 5. Saf ER ve KÇK kompozitlerinin sertlik grafiği.

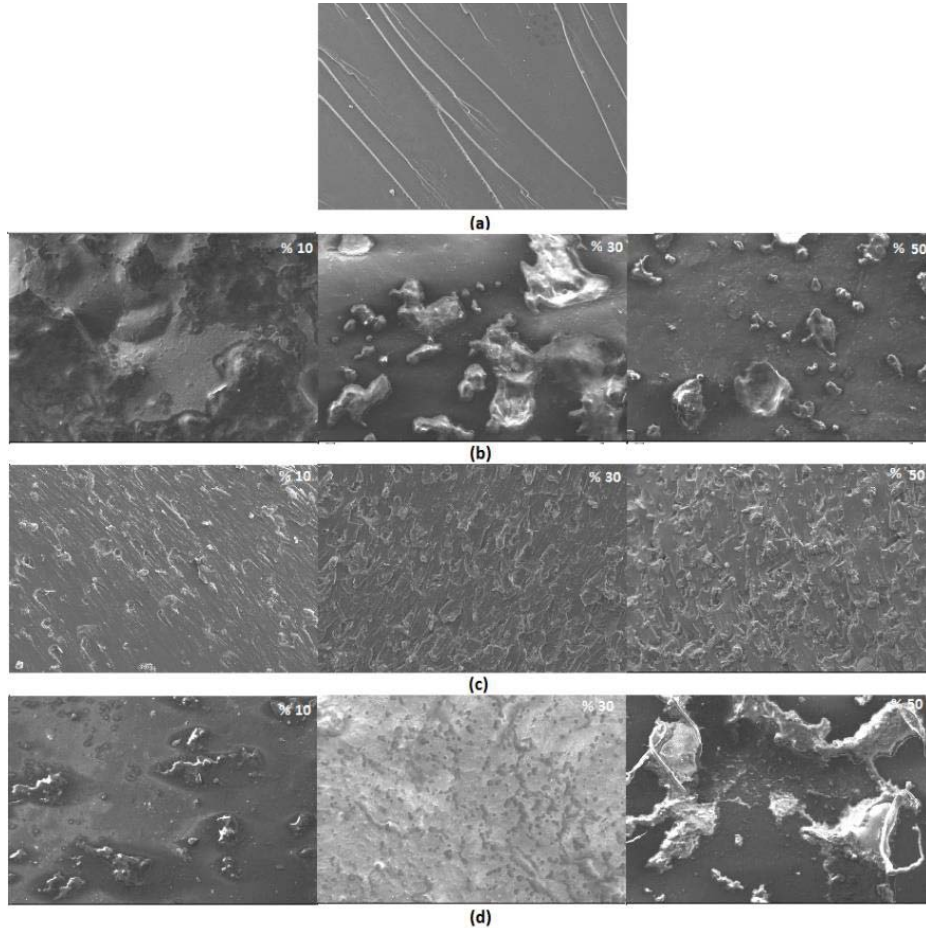
3.2.2. Kompozitlerin ve KÇK'nin SEM analizi

KÇK'nin partikül boyut dağılımını veren SEM görüntüsü Şekil 6'da verilmiştir. KÇK'nin SEM mikrografından da görüldüğü gibi partiküllerin boyut dağımı 53 μm 'nin altındadır.



Şekil 6. KÇK'nin partikül boyut dağılımını gösteren SEM mikrografı (büyütme:x200).

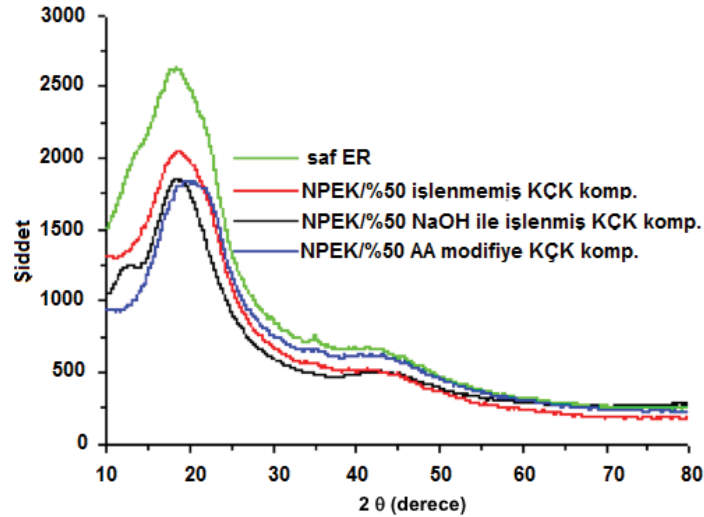
Saf ER, işlenmemiş KÇK, NaOH ile işlenmiş KÇK ve AA ile modifiye KÇK katkıli kompozitlerin SEM mikrografları Şekil 7'de verilmiştir. Saf ER'nin SEM görüntüsünden (Şekil 7a), yapısında düzenli çatlak şeklinde şeritlerin olması yapının kırılgen olduğunu göstermektedir. Fakat epoksi içerisine KÇK eklenmesiyle bu şeritlerin tamamen yok olduğu görülmüştür (Şekil 7b-c-d). Bu durum KÇK atığının epoksi matrisle iyi adezyon kuvvetleriyle bağlanması şeklinde açıklanabilir. Her üç tür kompozitde de (işlenmemiş/AA ile modifiye/NaOH ile işlenmiş) %30 dolgu maddesi oranına kadar yapıda daha homojen bir dağılım olduğu gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak da kompozitlerin kopma uzaması ve sertlik gibi mekanik özelliklerinin iyileştiği gözlenmiştir. Kütlece %30 dolgu ilavesi sonrası her üç dolgu malzemesiyle hazırlanan kompozit yapılarında aglomerasyon olduğu bunun sonucunda da mekanik özelliklerde zayıflama olduğu görülmektedir (Tablo 1).



Şekil 7. (a) Saf ER'nin; (b) ER/işlenmemiş KÇK (%10-30-50); (c) ER/AA ile modifiye KÇK (%10-30-50); (d) ER/NaOH ile işlenmiş KÇK kompozitlerinin SEM görüntüleri (büyütme:x250).

3.2.3. Kompozitlerin XRD analizi

Polypox ile kürleştirilmiş, saf ER ve belli bir oranda (%50) işlenmemiş KÇK, NaOH ile işlenmiş KÇK ve AA modifiye KÇK kompozitlerinin XRD eğrileri Şekil 8’de verilmiştir. Şekil 8’de amorf yapıdaki kompozitlerin XRD piklerinin saf ER’ye göre daha düşük şiddette oldukları görülmektedir. Kompozit piklerinin daha düşük şiddeti dolgu maddesinin polimer matris içinde iyi bir dağılım gösterdiğinin bir kanıtı sayılabilir. Öte yandan ER/KÇK kompozitlerinde matrise (ER) benzer kırınım modelleri olduğu da net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 8. Saf ER ve işlenmemiş KÇK (%50), NaOH ile işlenmiş KÇK (%50) ve AA ile modifiye KÇK (%50) kompozitlerinin XRD eğrileri.

Lignoselülozik malzemeler amorf ve kristalin bölgeyi temsil eder. Selüloz doğada kristaldir, hemiselüloz ve lignin ise amorfudur. NaOH ile işlenmiş KÇK katkılı kompozit, $2\theta = 19-22^\circ$ ’de ana yansıma tepe noktasını ve selüloza karşılık gelen $11-16^\circ$ ’lik omuz tepe noktasını sergilemiştir. KÇK katkılı kompozitlerin XRD spektrumlarında $2\theta = 19^\circ$ tarama açısı civarında dolgu maddesinin karakteristik pikleri görülmektedir.

3.2.4. Kompozitlerin TGA analizi

Saf ER ve farklı oranlarda (%10, 30, 50) işlenmemiş KÇK, NaOH ile işlenmiş KÇK ve AA modifiye KÇK kompozitlerinin termal özellikleri Tablo 2’de, TGA eğrileri Şekil 9’da verilmiştir.

Tablo 2. Saf ER ve KÇK kompozitlerinin termal özellikleri.

KÇK (ağırlıkça %50)	BBS (°C)	T ₅ (°C)	T ₁₀ (°C)	T ₅₀ (°C)	840 °C’de kalıntı (%)	LOI (%)
Saf ER						
-	94	230	337	385	6,1	19,9
ER/KÇK komp.						
İşlenmemiş	171	243	281	367	17,9	24,6
NaOH ile işlenmiş	155	223	271	373	18,9	24,9
AA modifiye	138	226	302	397	19,8	25,4

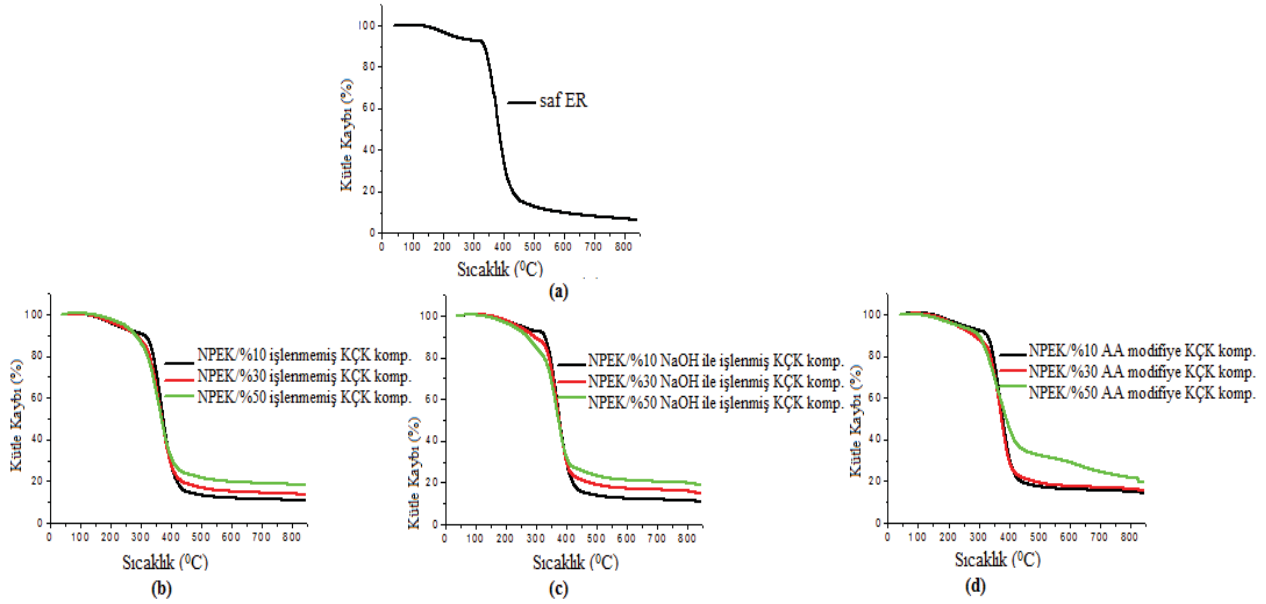
[BBS: Birinci bozunma sıcaklığı; T_{5, 10, 50}: %5, %10 ve %50 bozunmanın gerçekleştiği sıcaklıklar]

Saf epoksi reçinenin ilk termal bozunma aşaması 94°C ’de tespit edilmiştir. Kompozitlerin BBS’si saf epoksi matrise göre önemli derecede yüksek bulunmuştur (Tablo 2).

Şekil 9’da kompozitlerin hepsinde (işlenmemiş, NaOH ile işlenmiş, AA modifiye KÇK) dolgu oranının artmasıyla çar yüzdelere de arttığı görülmektedir. 840°C ’de tüm kompozitlerin kalıntı yüzdesi saf matrise göre % 6,1’den % 17,9-25,42’ye artmıştır. Bu durum doğal dolguların kompozitlerin termal dayanımlarını artırmasının kanıtı olarak değerlendirilebilir. Kalıntı yüzdesi (çar oranı) ile sınırlayıcı oksijen indeksi (LOI) değeri arasında Van Krevelen and Hoftzyer denklemine göre bir bağıntı vardır.

$$LOI = 17,5 + (0,4 \times \text{Kalıntı yüzdesi}) \quad (2)$$

LOI değeri 21’in üzerinde olan malzemelerin yanması alev kaynağı uzaklaştırıldıktan bir süre sonra söner (Kocaman vd., 2017). Saf epoksi matrisin hesaplanmış LOI değeri % 19,9’dur. KÇK kompozitleri için hesaplanmış LOI değerleri ise işlenmemiş, NaOH ile işlenmiş ve AA modifiye KÇK kompozitleri için sırasıyla % 24,6; % 24,9 ve % 25,4 olmuştur.



Şekil 9. (a) Saf ER'nin; (b) ER/işlenmemiş KÇK (%10-30-50); (c) ER/NaOH ile işlenmiş KÇK; (d) ER/AA ile modifiye KÇK (%10-30-50) kompozitlerinin TGA eğrileri.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

İşlenmemiş, NaOH ve AA ile kimyasal modifikasyonu yapılan kayısı çekirdeği kabukları ile kompozitler hazırlanıp karakterizasyonları yapılmıştır. Tüm KÇK takviyeli numunelerin, saf ER'ye göre daha yüksek çekme dayanımı değerine sahip oldukları görülmüştür. AA ile modifiye KÇK kompozitleri; işlenmemiş KÇK ve NaOH ile işlenmiş KÇK kompozitlerinden daha yüksek çekme dayanımı göstermiştir. Tüm kompozitlerin sertlik değerleri 80 Shore D'nin üzerinde tespit edilmiştir.

Kompozitlerin termal dayanımının saf ER matrisine göre çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Çar oranlarından hesaplanan LOI değerleri, KÇK katkılı kompozitlerin yanmaya daha dayanıklı özellikte olabileceği konusunda umut vaat edici sonuçlar vermiştir. Buradan yola çıkılarak kompozitlerin yanma testleri yapılarak çalışma geliştirilebilir, farklı doğal katkıları ve modifikasyon yöntemleri geliştirilerek yeni çalışmalara da yol açabilir.

Meyve çekirdeği kabuklarının biyodolgu olarak kullanımı konusunda yapılan ve takviye matris ara yüzey etkileşimini arttırmak için çeşitli kimyasal modifikasyon yöntemlerinin önerildiği çalışmalar mevcuttur. Ancak, aynı dolgu maddesine birkaç farklı kimyasal ile modifikasyon işlemi uygulanarak karşılaştırılması konusunda yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır ve doğal dolgu malzemesi olarak kayısı çekirdeği kabuğu kullanımına yönelik çalışmalara rastlanmamıştır. Bu çalışmada kullanılan iki modifikasyon yönteminin de kompozitlerin mekanik özelliklerini arttırdığı görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Koordinatörlüğü tarafından kabul edilen 17401149 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

REFERANSLAR

- Arrakhiz, F. Z., Malha, M., Bouhfid, R., Benmoussa, K., & Qaiss, A. (2013). Tensile, flexural and torsional properties of chemically treated alfa, coir and bagasse reinforced polypropylene. *Composites Part B: Engineering*, 47, 35-41. doi:10.1016/j.compositesb.2012.10.046
- Cai, M., Takagi, H., Nakagaito, A. N., Li, Y., & Waterhouse, G. I. N. (2016). Effect of alkali treatment on interfacial bonding in abaca fiber-reinforced composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 90, 589-597. doi:10.1016/j.compositesa.2016.08.025
- Fraga, F., Vázquez, I., Rodríguez-Núñez, E., Martínez-Ageitos, J. M., & Miragaya, J. (2009). Influence of the filler CaCO₃ on the cure kinetic of the epoxy network diglycidyl ether of bisphenol a (BADGE n = 0) with isophorone diamine. *Journal of Applied Polymer Science*, 114(5), 3338-3342. doi:10.1002/app.30253
- Ho, M.-p., Wang, H., Lee, J.-H., Ho, C.-K., Lau, K.-T., Leng, J., & Hui, D. (2012). Critical factors on manufacturing processes of natural fibre composites. *Composites Part B: Engineering*, 43(8), 3549-3562. doi:10.1016/j.compositesb.2011.10.001

- Jeyranpour, F., Alahyarizadeh, G., & Arab, B. (2015). Comparative investigation of thermal and mechanical properties of cross-linked epoxy polymers with different curing agents by molecular dynamics simulation. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, 62, 157-164. doi:10.1016/j.jmgm.2015.09.012
- Kabir, M. M., Wang, H., Lau, K. T., & Cardona, F. (2012). Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. *Composites Part B: Engineering*, 43(7), 2883-2892. doi:10.1016/j.compositesb.2012.04.053
- Kabir, M. M., Wang, H., Lau, K. T., & Cardona, F. (2013). Tensile properties of chemically treated hemp fibres as reinforcement for composites. *Composites Part B: Engineering*, 53, 362-368. doi:10.1016/j.compositesb.2013.05.048
- Kocaman, S., Karaman, M., Gursoy, M., & Ahmetli, G. (2017). Chemical and plasma surface modification of lignocellulose coconut waste for the preparation of advanced biobased composite materials. *Carbohydrate Polymers*, 159, 48-57. doi:10.1016/j.carbpol.2016.12.016
- Li, X., Tabil, L. G., & Panigrahi, S. (2007). Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: A review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15(1), 25-33. doi:10.1007/s10924-006-0042-3
- Lu, T., Jiang, M., Jiang, Z., Hui, D., Wang, Z., & Zhou, Z. (2013). Effect of surface modification of bamboo cellulose fibers on mechanical properties of cellulose/epoxy composites. *Composites Part B: Engineering*, 51, 28-34. doi:10.1016/j.compositesb.2013.02.031
- Melo, J. D. D., Carvalho, L. F. M., Medeiros, A. M., Souto, C. R. O., & Paskocimas, C. A. (2012). A biodegradable composite material based on polyhydroxybutyrate (PHB) and carnauba fibers. *Composites Part B: Engineering*, 43(7), 2827-2835. doi:10.1016/j.compositesb.2012.04.046
- Mishra, S., Tripathy, S. S., Misra, M., Mohanty, A. K., & Nayak, S. K. (2002). Novel eco-friendly biocomposites: Biofiber reinforced biodegradable polyester amide composites—fabrication and properties evaluation. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 21(1), 55-70. doi:10.1106%2F073168402024282
- Mustata, F., Tudorachi, N., & Rosu, D. (2012). Thermal behavior of some organic/inorganic composites based on epoxy resin and calcium carbonate obtained from conch shell of *Rapana thomasiana*. *Composites Part B: Engineering*, 43(2), 702-710. doi:10.1016/j.compositesb.2011.11.047
- Nakamura, Y., Yamaguchi, M., Okubo, M., & Matsumoto, T. (1992). Effects of particle size on mechanical and impact properties of epoxy resin filled with spherical silica. *Journal of Applied Polymer Science*, 45(7), 1281-1289. doi:10.1002/app.1992.070450716
- Nam, T. H., Ogihara, S., Tung, N. H., & Kobayashi, S. (2011). Effect of alkali treatment on interfacial and mechanical properties of coir fiber reinforced poly(butylene succinate) biodegradable composites. *Composites Part B: Engineering*, 42(6), 1648-1656. doi:10.1016/j.compositesb.2011.04.001
- Narendar, R., & Priya Dasan, K. (2014). Chemical treatments of coir pith: Morphology, chemical composition, thermal and water retention behavior. *Composites Part B: Engineering*, 56, 770-779. doi:10.1016/j.compositesb.2013.09.028
- Özdemir, E. (2014). *Organik olarak modifiye edilmiş montmorillonitlerin poli(laktik asit)'in termal bozunum davranışı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Shih, Y.-F., Cai, J.-X., Kuan, C.-S., & Hsieh, C.-F. (2012). Plant fibers and wasted fiber/epoxy green composites. *Composites Part B: Engineering*, 43(7), 2817-2821. doi:10.1016/j.compositesb.2012.04.044
- Sreekala, M. S., Kumaran, M. G., & Joseph, S. (2000). Oil palm fibre reinforced phenol formaldehyde composites: influence of fibre surface modifications on the mechanical performance. *Applied Composite Materials*, 7, 295. doi:10.1023/A:1026534006291
- Suksabye, P., & Thiravetyan, P. (2012). Cr(VI) adsorption from electroplating plating wastewater by chemically modified coir pith. *Journal of Environmental Management*, 102, 1-8. doi:10.1016/j.jenvman.2011.10.020
- Y. Liu, X., & Dai, G. C. (2007). Surface modification and micromechanical properties of jute fiber mat reinforced polypropylene composites, *Express Polymer Letters*, 1(5), 299-307. doi: 10.3144/expresspolymlett.2007.43



Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen B₄C+TiB₂ Takviyeli Al 2024 Esaslı Kompozitlerde Takviye Miktarının Mekanik Özelliklere Etkisi

The Effect on Mechanical Properties of Reinforcement Amount at B₄C + TiB₂ Reinforced Al 2024 Based Composites Produced by Powder Metallurgy

Muharrem Pul *¹

¹Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 19/03/2018

Kabul/Accepted: 06/07/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Özet

Bu çalışmada B₄C (bor karbür) ve TiB₂ (titanyum diborür) takviyeli Al 2024 esaslı kompozitler toz metalurjisi yöntemi kullanılarak, %4 TiB₂+%8 B₄C, %6 TiB₂+%12 B₄C, %8 TiB₂+%16 B₄C ve %10 TiB₂+%20 B₄C olarak farklı takviye oranlarında üretilmiştir. Üretilen kompozit numuneler, vakumlu fırında 120 min süre ile 560 °C sabit sıcaklıkta sinterlenmiştir. Sinterlemeden sonra Arşimet Prensibi'ne göre teorik yoğunlukları belirlenmiştir. Optik mikroskop ile kompozit numunelerin mikroyapı görüntüleri çekilmiştir. Daha sonra kompozit numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla, sertlik ölçümleri, çapraz kırılma deneyleri ve pin-on-disk yöntemi kullanılarak aşınma deneyleri yapılmıştır. Aşınma yüzeyleri optik mikroskopla, kırılma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. SEM görüntüleri çekimi esnasında EDS analizleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, TiB₂ ve B₄C takviye oranlarının artışına bağlı olarak yoğunluk, sertlik değerleri ve çapraz kırılma eğreleri azalmış olup aşınma miktarları artış göstermiştir. Al 2024 numuneye göre kıyaslandığında, %4 TiB₂ ve %8 B₄C gibi düşük takviye oranlarının bazı mekanik özellikleri iyileştirdiği ancak bu oranların üzerine çıkıldığında mekanik özellikler olumsuz etkilenmiştir.

Anahtar Kelimeler

"Kompozit, Bor karbür, Titanyum diborür, Mikroyapı, Mekanik Özellikler"

Abstract

In this study, SiC (silicon carbide) and B₄C (boron carbide) reinforced AA 7075 based composites were produced at different reinforcement rates of %4 TiB₂+%8 B₄C, %6 TiB₂+%12 B₄C, %8 TiB₂+%16 B₄C and %10 TiB₂+%20 B₄C by using powder metallurgy method. The composite specimens were sintered in vacuum furnace at 120 minutes at a constant temperature of 560 °C. After sintering, the theoretical densities were determined according to the Archimedesian Principality. Microstructure images of composite samples were taken with an optical microscope. Then, in order to determine the mechanical properties of the composite specimens were carried out hardness measurements, cross-break tests, and wear tests by using pin-on-disk method. Wear surfaces were examined by means of optical microscope and break surfaces were examined by means of SEM microscope. During SEM images were carried out EDS analysis. According to the results of the experiment, depending on the increase of TiB₂ and B₄C reinforcement ratios, the density, hardness and cross-breaking values decreased and wear amounts increased. Compared to Al 2024 sample, lower reinforcement rates such as 4% TiB₂ and 8% B₄C improved some mechanical properties, but when these ratios were exceeded, the mechanical properties were adversely affected.

Key Words

"Composite, Boron carbide, Titanium diboride, Microstructure, Mechanical behaviors"

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile günümüzde klasik malzemeler ihtiyaçlara cevap verememektedir. Metal gibi klasik malzemelere göre kompozit malzemelerin en belirgin özellikleri hafiflik ve sağlamlıklarıdır. Yapılan çalışmalar neticesinde, bu malzemelerin çekme, darbe dayanımlarının artırılması; yorulma, kimyasal direnç ve elektrik özelliklerinin iyileştirilmesi mümkün olmuş ve kompozit malzemeler yaygın şekilde havacılık, deniz taşıtları, otomotiv, makine, inşaat ve uzay teknolojisi alanlarında kullanılmaya başlanmıştır. Askeri alanda ise özellikle zırh malzemelerinin üretiminde metal ve seramik matrisli kompozitler giderek yaygınlaşmaktadır. Kompozit malzemelerin bu özellikleri, takviye elemanı sayesinde daha da geliştirilerek, yüksek çekme mukavemeti, ergime sıcaklığı, ısıl kararlılık, kolay üretilebilirlik gibi özelliklerinin artırılması söz konusudur. Alüminyum matrisli kompozitlerin üretilmesinde B₄C, SiC, Al₂O₃, C, SiO₂, MgO, TiC, TiB₂ gibi seramik esaslı farklı takviye elemanları kullanılmaktadır. Kompozit malzeme türleri içerisinde metal matrisli kompozitler önemli bir yer oluşturmaktadır. Bu tür kompozitlerde matris malzemesi olarak genellikle alüminyum gibi hafif metaller tercih edilmektedir. Metal matrisli kompozitler; aralarında karıştırmalı döküm, basınçlı döküm, toz metalurjisi (TM), basınçlı sıvı metal süzdürme tekniği, derin çekme, haddeleme, sıcak ekstrüzyon gibi sıcak ve soğuk şekillendirme tekniklerinin bulunduğu oldukça geniş olan geleneksel ve ileri şekillendirme teknikleri ile şekillendirilirler. Son zamanlarda TM ile malzeme üretimi en hızlı gelişen imalat yöntemlerinden birisi olmuştur. TM ile üretim yöntemi, karıştırılmış metal tozlarının, oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıklarda, üretilecek parça şekli ve boyutlarına sahip kalıp içinde preslenerek şekillendirme ve ardından belirli bir sıcaklıkta sinterleme ile gerçekleştirilen bir imalat yöntemidir (Orhan, Gür, Çalgılı, 2007). Bu tür kompozitlerin üretimindeki ana sorun, matris metali ile takviye partikülleri arasındaki düşük ıslanmadır. Toz metalurjisi (TM) yöntemi ile teorik olarak ara yüzey kinetiğinin kontrolü iyi bir şekilde sağlanabilmektedir. Bu yüzden TM ile yapılan çalışmalar ara yüzeydeki ıslatılabilirlik seviyelerini arttırmak üzerine yoğunlaştırılmış olup, gelişmiş fiziki ve mekanik özellikleri verecek olan ekonomik bir yöntem henüz standartlaştırılmamıştır (Nazik, 2013). Ayrıca TiB₂ ve B₄C tozlarının maliyetinin, SiC veya Al₂O₃ gibi takviye malzemelerine göre daha yüksek olması, B₄C takviyeli malzemeler üzerinde yapılan araştırmaların nispeten sınırlı kalmasına yol açmaktadır (Ay, 2014). Metal Matrisli Kompozitlerin aşınma davranışları üzerine yapılan çalışmalarda; farklı matris malzemeleri ve takviye elemanları kullanıldığı görülmüş olup, takviye elemanının kompozit içerisindeki dağılımı, mikroyapıya etkisi, gözeneklilik, sertlik, aşınma davranışı ve kopma dayanımı gibi mekanik özellikler üzerindeki tesiri, karıştırma zamanı ve hızının etkisi gibi konularda birçok araştırmaya yer verildiği görülmüştür; (Sreenivasan A., Paul Vizhian S., Shivakumar N.D., Muniraju M. and Raguraman M., 2011), (Srivatsan T.S., Guruprasad G., Black D., Radhakrishnan R., Sudarshan T.S., 2005), (Keshavamurthy R., Sadananda Mageri, Ganesh Raj, Naveenkumar B., Prashant M, Kadakol and Vasu K., 2013), (Gomez L., Busquets-Mataix D., Amigo V., Salvador M.D., 2009), (Rahamian M., Parvin N., Ehsani N., 2010), (Abejonar J., Velasco F., Martinez, M.A., 2007).

Bu çalışmada TiB₂ ve B₄C takviyeli Al 2024 esaslı metal kompozitler toz metalurjisi yöntemi kullanılarak, %4 TiB₂+%8 B₄C, %6 TiB₂+%12 B₄C, %8 TiB₂+%16 B₄C ve %10 TiB₂+%20 B₄C takviye oranlarında üretilmiştir. Kompozitlerin üretiminde 750 MPa presleme basıncı, 120 min sinterleme süresi ve 560 °C sabit sıcaklık uygulanmıştır. Üretilen kompozit numuneler üzerinde, yoğunluk, sertlik, çapraz kırılma ve abrasif aşınma deneyleri yapılarak elde edilen değerler mikroyapı görüntüleri eşliğinde değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu deneysel çalışmada matris elemanı olarak 149 µm tane büyüklüğünde Al 2024, takviye elemanları olarak 63 µm tane büyüklüğünde B₄C ve 37 µm tane büyüklüğünde TiB₂ tozları kullanılmıştır. Literatür araştırmasındaki çalışmalardan yola çıkılarak, 4 farklı takviye oranı belirlenmiştir. Tablo 1’de 4 farklı kompozit numune için belirlenen TiB₂ ve B₄C takviye oranları verilmektedir.

Tablo 2: Kompozit numune karışım oranları

N1	%4 TiB ₂ + %8 B ₄ C + %88 Al 2024
N2	%6 TiB ₂ + %12 B ₄ C + %82 Al 2024
N3	%8 TiB ₂ + %16 B ₄ C + %76 Al 2024
	%10 TiB ₂ + %20 B ₄ C + %70 Al
N4	2024

Karışımların hazırlanmasında pervaneli karıştırıcı kullanılmıştır. Her numune için 500 rpm hızda 45 min süreyle karıştırma işlemi yapılarak kompozit yapı içerisinde homojen bir dağılım elde edilmiştir. Kompozitlerin karışımların ağırlık-hacim oranları Eşitlik 1’e göre hesaplanmıştır.

$$V_f = \frac{M_P/P_P}{\frac{M_m}{P_m} + \frac{M_P}{P_P}} \quad (1)$$

Burada; V_f = Parçacık hacim oranı; M_p = Parçacık ağırlığı, g; P_p = Parçacık yoğunluğu, g/cm^3 ; M_m = Matris ağırlığı, g; M_p = Matris yoğunluğu, g/cm^3 dir.

Sinterleme işleminden sonra numunelerin havadaki ağırlığı daha sonra da sudaki ağırlığı hassas terazi ile ölçülmüş ve Arşimet Prensibine göre Eşitlik (2) kullanılarak (%) cinsinden teorik yoğunlukları belirlenmiştir.

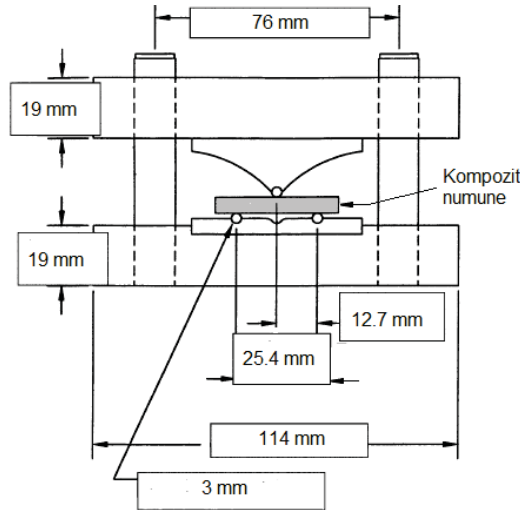
$$Dg = \frac{W_a}{W_a - W_b} \times D_{H_2O} \quad (2)$$

Burada; Dg = Numunenin görünür yoğunluğu, g/cm^3 ; D_{H_2O} = Suyun yoğunluğu, g/cm^3 ; W_a = Kuru numunenin havadaki ağırlığı, g; W_b = Numunenin su içindeki aslı ağırlığı, g dir.

Kompozit numunelere ait mikroyapıları incelemek amacıyla ilk olarak numunelerin yüzey hazırlama işlemi yapılmıştır. Bu amaçla sırasıyla 400, 800, 1200, 2400 mesh zımparalama, 3 μ m parlatma ve dağlama işlemi yapılmıştır. Daha sonra hazırlanan kompozit numunelerin, *Nikon ECLIPSE MA200* model optik mikroskopta 400 \times ve 1000 \times olmak üzere iki farklı büyütmede görüntüleri çekilmiştir.

Mekanik özellik belirleme deneylerinin ilk aşamasında, Brinell yöntemi kullanılarak sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümleri EN ISO 4498 (2011) ve TS EN ISO 6506-1 (2007) standartlarına uygun olarak, *Qness Q250M* model sertlik ölçme cihazında yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinde 2,5 mm çaplı bilya uç, 62,5 kg yük ve 14 saniye deney süresi uygulanmıştır. Sertlik ölçümlerinde her numune üzerinde 5 farklı noktadan ölçüm yapılarak ortalama değer hesaplanmıştır.

Üretilen kompozitlerin mekanik davranışlarını belirlemek amacıyla ikinci aşamada, çapraz kırılma (üç nokta eğme) deneylerini yapmak üzere ASTM-B 312 (2008) ve ASTM-B 528-05 (2008) standardına uygun olarak, her takviye hacim oranı için, 6,35 \times 12,7 \times 31,7 mm ölçülerinde deney numuneleri hazırlanmıştır. Kompozit numuneler, şematik olarak Şekil 1'de gösterilen standart çapraz kırılma deney aparatında kırılma deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 1: Standart çapraz kırılma (üç nokta eğme) deney aparatı şematik gösterimi

Kırılma işlemi 0,05 kN/sn yükleme hızıyla *ELE* marka hidrolik preste gerçekleştirilmiştir. Presten elde edilen yük değerlerine (P) göre numunelerin çapraz kırılma mukavemetleri Eşitlik 3'te verilen standart eşitlik ile hesaplanmıştır.

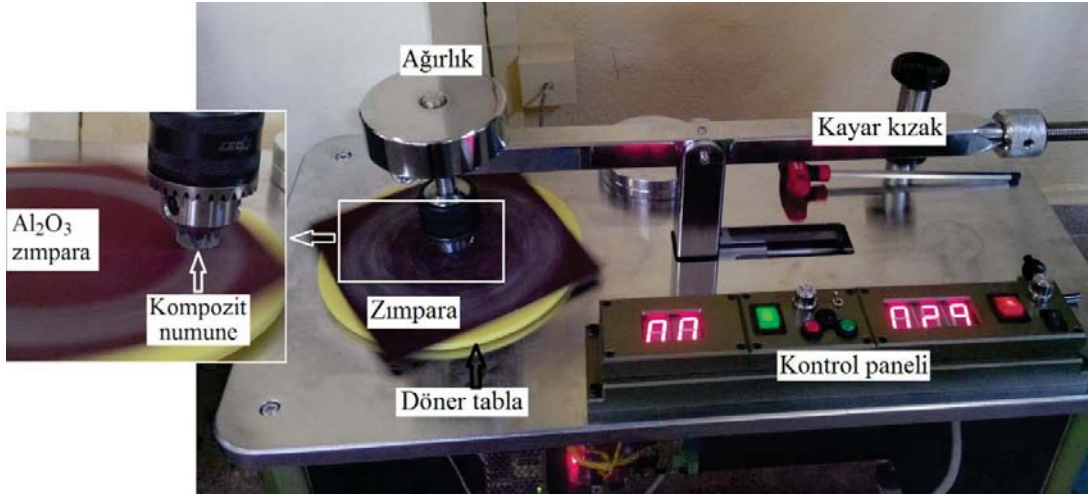
$$TRS = \frac{3 \times P \times L}{2 \times t^2 \times w} \quad (3)$$

Burada; TRS = Çapraz kırılma mukavemeti, MPa ; N = Deney parçasının kırıldığı anda ölçülen yük, N ; L = Destekler arası uzaklık, mm ; t = Deney parçasının yüksekliği, mm ; w = Deney parçasının genişliği, mm dir.

Çapraz kırılma deneylerinden sonra, kompozit numunelerin kırılma yüzeylerinden SEM ile 200 \times ve 1000 \times büyütmede görüntüler çekilmiş ve EDS analizi yapılmıştır. Kırılma dayanımı değerleri ile kırılan yüzeylere ait görüntüler birlikte değerlendirilmiştir.

Son aşama deneyler, kompozit numunelerin aşınma davranışlarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri, pin on disk yöntemi ile 30 N yük uygulanarak yapılmıştır. Aşınma deneylerinde, 63 μ m aşındırıcı tane boyutuna sahip, Al_2O_3 zımpara

kullanılmıştır. Her kompozit numune, $0,5 \text{ ms}^{-1}$ kayma hızında ve 60 s süre boyunca deneye tabi tutularak aşınma kayıpları kaydedilmiştir. Şekil 2’de aşınma deneyleri sırasında çekilmiş bir fotoğraf verilmektedir.

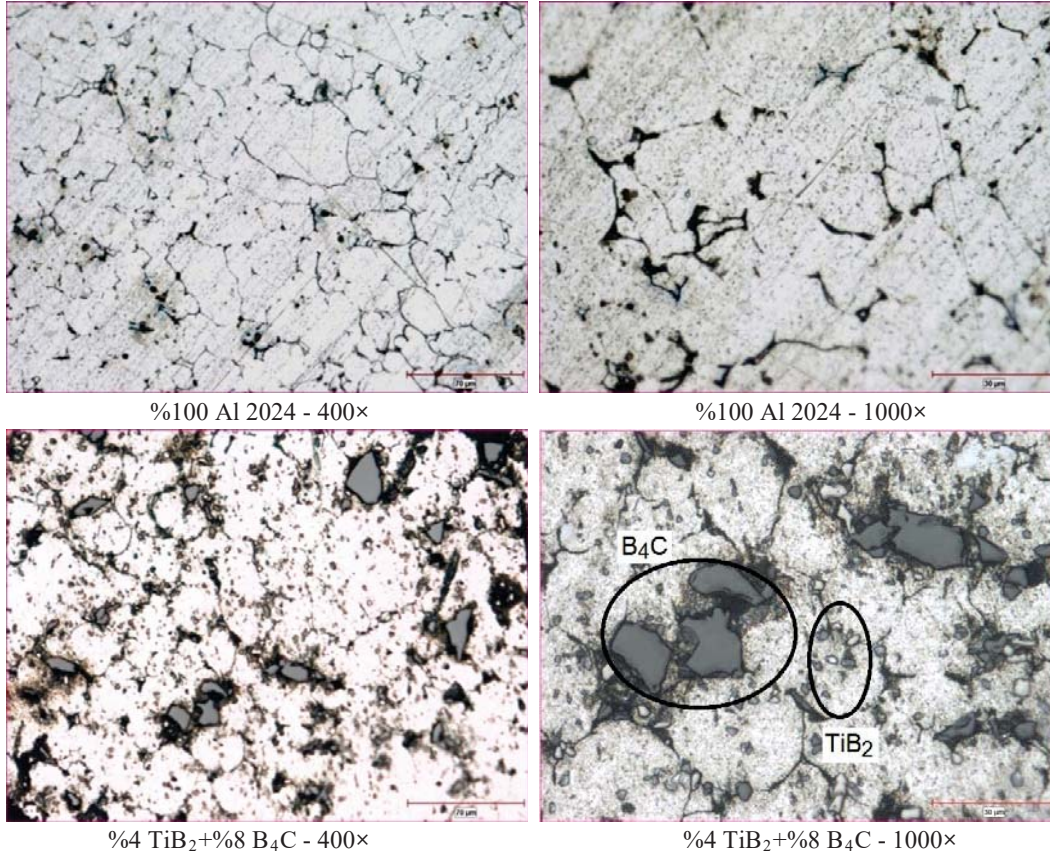


Şekil 2: Abrasif aşınma deney düzeneği

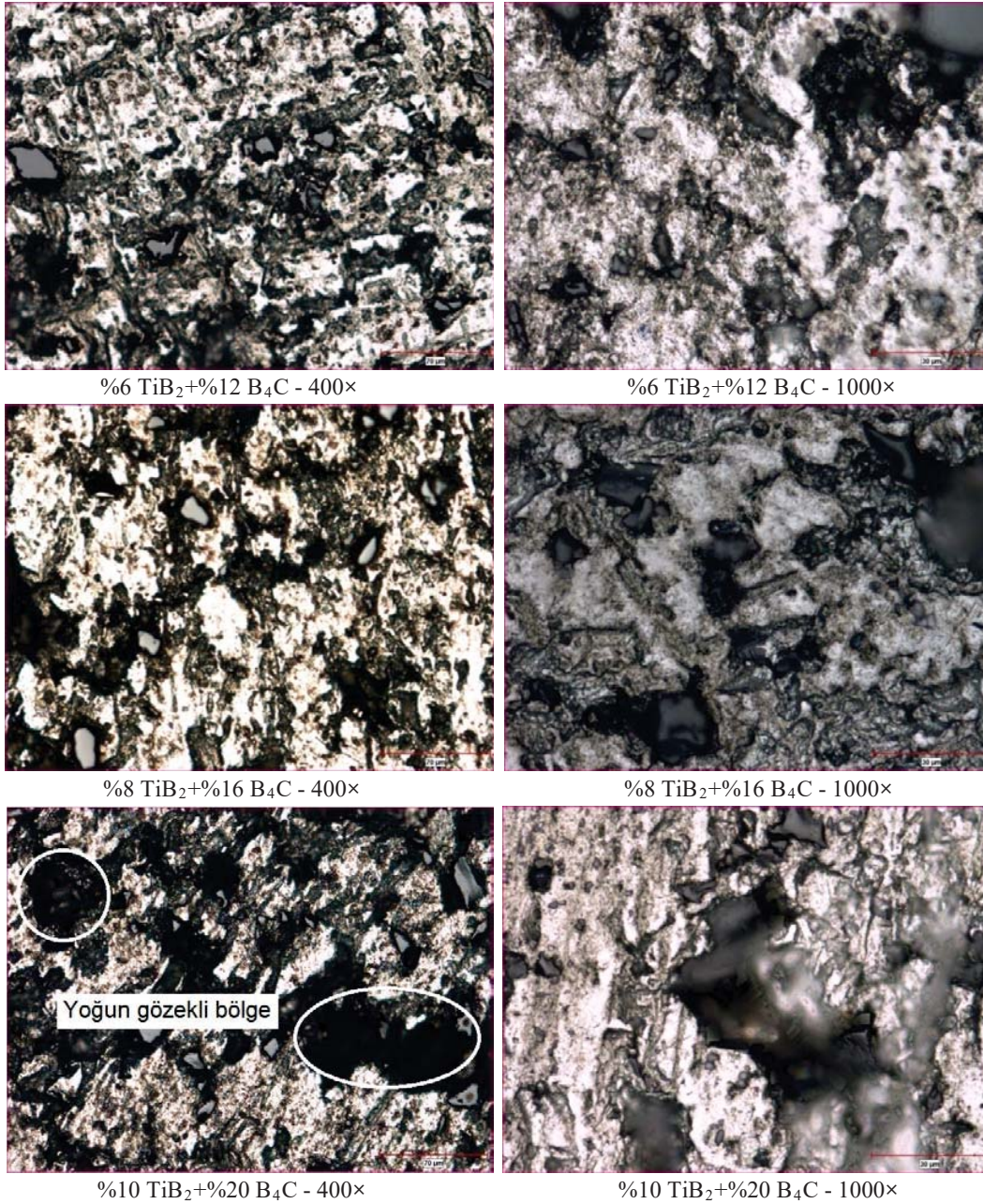
3.BULGULAR

3.1. Mikroyapıların değerlendirilmesi

Kompozitlerin mikroyapılarını değerlendirmek amacıyla, takviyesiz Al 2024 ve $\text{TiB}_2+\text{B}_4\text{C}$ takviyeli Al 2024 kompozitlerin, $400\times$ ve $1000\times$ büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3: $\text{TiB}_2+\text{B}_4\text{C}$ takviyeli Al 2024 kompozitlerin $400\times$ ve $1000\times$ büyütmede mikroyapı görüntüleri

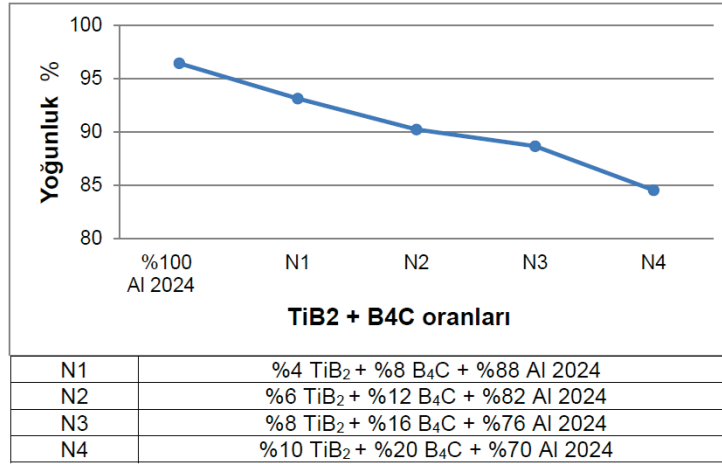


Şekil 3 (devam): TiB₂+B₄C takviyeli Al 2024 kompozitlerin 400× ve 1000× büyütmede mikroyapı görüntüleri

Şekil 3'deki görüntüler incelendiğinde, TiB₂ ve B₄C takviye oranının artmasına bağlı olarak parçacık dağılımındaki homojenliğin artış gösterdiği söylenebilir. Ancak takviye oranının artması ile bir miktar takviye topaklanmasının meydana geldiği görülmektedir. Yine aynı şekilde kompozit yapı içerisindeki gözenek (boşluk) miktarında takviye oranının artışına bağlı olarak artma göstermiştir. Kompozit yapı içerisindeki B₄C parçacıklarının farklı boyutlarda ve genellikle keskin köşeli, Al 2024 parçacıklarının da farklı boyutlarda ve genellikle küresel bir şekle sahip olduğu görülmektedir. TiB₂ parçacıklarının ise çok daha küçük boyutlu fakat keskin olmayan köşeli yapıya sahip olduğu söylenebilir. Şekil 3'deki 1000× büyütülmüş görüntülere bakıldığında, 750 MPa presleme basıncının ve sinterleme süresinin yeterli olduğu ifade edilebilir. Ancak takviye ile matris arasındaki ıslatmanın daha iyi olabilmesi ve tanecikler arası bağın daha güçlü olması için 560 °C olan sinterleme sıcaklığının bir miktar daha artırılması (570-580°C gibi) uygun olabilir. Bu tür kompozit yapılarda ana matris malzemesi içerisindeki toplam takviye miktarının %20'yi geçmesi halinde, kompozit yapının kararsızlaştığı ve özellikle takviye topaklanmasıyla birlikte gözenek değerlerinin yükseldiği genel olarak ifade edilebilir. Ayrıca, mikroskop görüntüleri alınmadan önce yapılan yüzey hazırlama işleminde, TiB₂ parçacıklarına göre daha büyük boyutta olan bir miktar B₄C parçacığının yapı içerisinden koparak uzaklaştığı ve yapı içerisindeki boşlukların oluşmasına katkı sağladığı düşünülmektedir.

3.2.Yoğunlukların değerlendirilmesi

Üretimi yapılan kompozit numunelerin Arşimet prensibi kullanılarak elde edilen teorik yoğunluk değerleri buna göre Şekil 4'te verilmektedir.

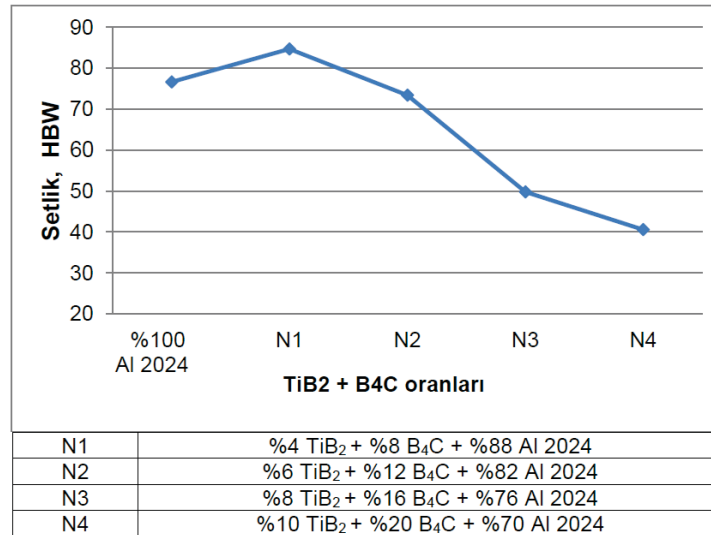


Şekil 4: Kompozit numunelere ait yoğunluk değerleri

Şekil 4'teki grafiğe bakıldığında, kompozit numunelerde takviye miktarının artmasıyla yoğunluk değerlerinde düşme olduğu görülmektedir. Diğer bir ifadeyle, takviye elemanının artmasıyla kompozit yapı içerisindeki gözeneklerin (porozite) artış gösterdiği söylenebilir. Literatüre bakıldığında (Ayvaz ve Çetinel, 2014), tarafından yapılan çalışmada da benzer sonuçlar ifade edilmiştir. En yüksek yoğunluk değeri % 96,45 ile takviyesiz % 100 Al 2024 numunede elde edilirken, en düşük yoğunluk % 84,54 ile %10 TiB₂+%20 B₄C takviyeli kompozit numunede elde edilmiştir. Bu yoğunluk sonuçlarına göre, takviye elemanının artmasıyla, TiB₂ ve B₄C parçacıkları ile Al 2024 tozları arasındaki ara yüzeylerde gözenek oranının artış gösterdiği ve buna bağlı olarak yoğunluk değerlerinin düştüğü değerlendirilmektedir.

3.3.Sertlik sonuçlarının değerlendirilmesi

Kompozit numunelerin, takviye oranlarına göre ölçümlerden elde edilen ortalama sertlik değerleri Şekil 5'deki grafiklerde gösterilmektedir.



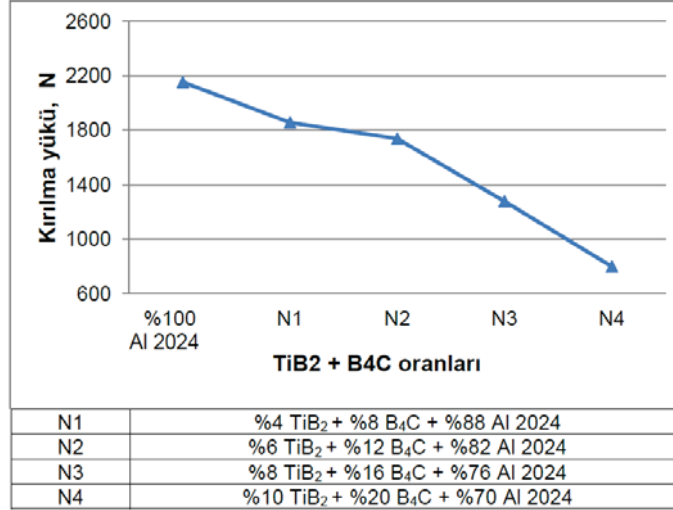
Şekil 5: Kompozit numunelere ait sertlik değerleri

Şekil 5'deki grafiğe bakıldığında ilk göze çarpan, takviye oranlarının artmasıyla sertlik değerlerindeki azalmadır. Bu durumu izah etmek için ilk akla gelen, takviye oranının artışı ile kompozit yapı içerisindeki gözenek miktarının artması olmaktadır. Şekil 3'teki mikroyapı görüntüleri ve yoğunluk ölçüm değeri sonuçları bu tezi destekler niteliktedir. Ancak, içerisine takviye elemanı katılmamış %100 Al 2024 numunenin sertlik değeri 1 numaralı numunenin (N1) sertliğinden düşük çıkmıştır. Demek ki, kompozit yapı içerisindeki düşük orandaki takviye fazları sertlik değerini arttırmıştır. Normal şartlarda hem B₄C hemde TiB₂ tanecikleri alüminyuma göre çok daha sert yapıya sahiptirler. Basit olarak düşünüldüğünde takviye fazlarının artmasıyla kompozit yapının sertliğinin artması beklenebilir. Ancak bu durum gerçekleşmemiştir. Çünkü, takviye oranının artmasıyla hem gözeleklik hemde

takviye yığılmalarında artış meydana gelmiştir. Sonuç olarak bu tür kompozitlerde %4 - %8 gibi düşük oranlarda takviye elemanları, kompozit yapı için sertlik değerini yükseltirken, bu oranların üzerine çıkıldığında sertlik değerlerinde azalmaların meydana geldiği tespit edilmiştir. Kompozit numuneler içerisinde en yüksek sertlik değeri %4 TiB₂+%8 B₄C, takviyeli numunede 84,72 HBW olarak, en düşük sertlik değeri ise %10 TiB₂+%20 B₄C, takviyeli kompozit numunede, 40,58 HBW olarak kaydedilmiştir.

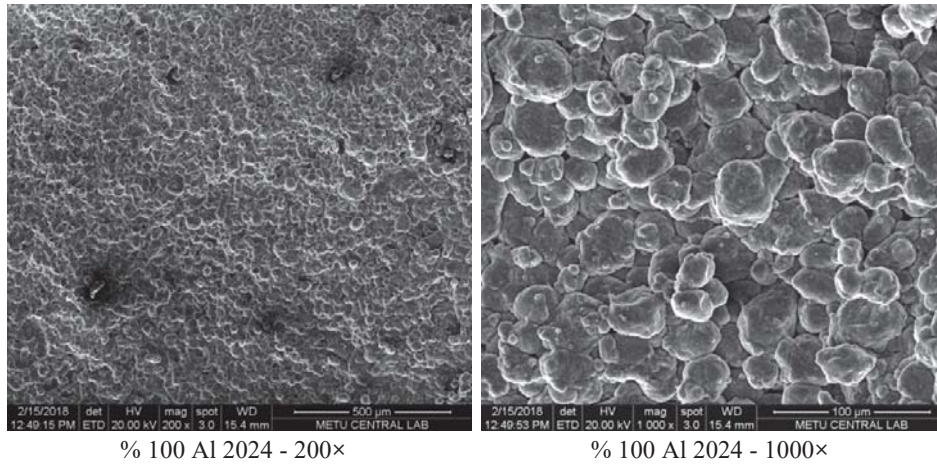
3.4. Çapraz kırılma sonuçlarının değerlendirilmesi

Kompozit numunelerin, ASTM-B 528-05 standardına göre yapılan çapraz kırılma deneylerinden elde edilen değerlere göre çizilen grafik Şekil 6'da verilmiştir.

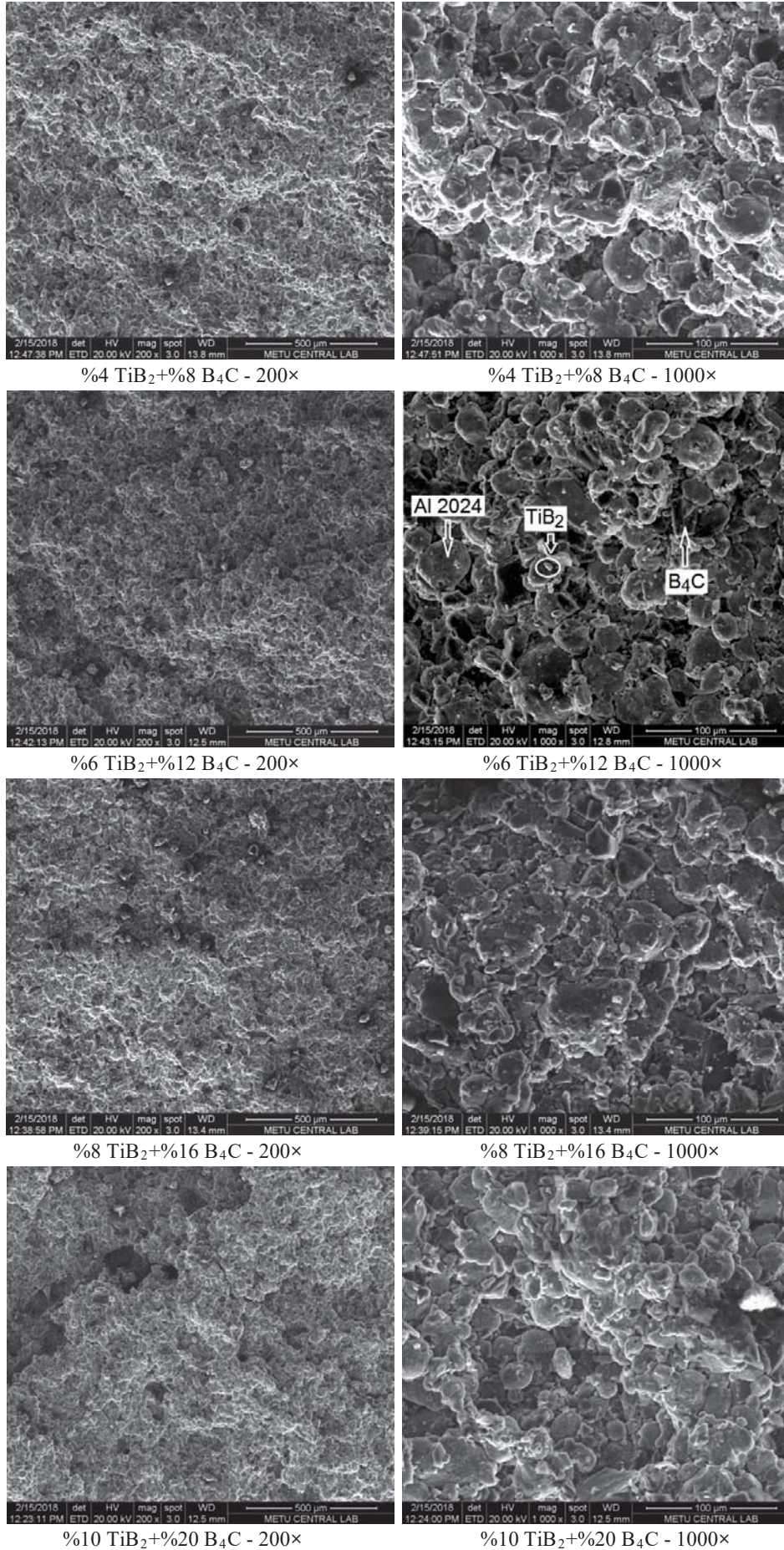


Şekil 6: Kompozit numunelere ait çapraz kırılma yükü değerleri

Şekil 6'daki grafiğe toplu olarak bakıldığında takviye oranlarının artmasıyla kırılma dayanımının azaldığı göze çarpmaktadır. Bu kırılma değerlerinin meydana çıkmasındaki ana sebebin, sertlik değerlerinde olduğu gibi, kompozit yapı içerisindeki gözenekli yapı olduğu ifade edilebilir. Bunun yanında, özellikle B₄C takviye elemanı parçacıklarının keskin köşeli şekli kompozit yapı içerisinde çentik etkisi yarattığı ve deneyler sırasında kırılmayı kolaylaştırdığı düşünülmektedir. Şekil 3'teki mikroyapı görüntüleri incelendiğinde, özellikle B₄C takviye parçacıkları etrafındaki gözeneklilik ve parçacıkların keskin köşeli şekli görünmektedir. Görüntülerdeki yoğun siyah bölgeler gözenekli yapıyı ifade etmektedir. Kırılma yükü değerleriyle, yoğunluk ve sertlik değerlerindeki sonuçlar birbirini destekler niteliktedir. İçerisine takviye elemanı katılmamış %100 Al 2024 numunenin kırılma yükü değerinin en yüksek çıkması beklenen bir sonuçtur. Takviyeli numunelere bakıldığında en yüksek kırılma değeri 1858 N ile %4 TiB₂+%8 B₄C, takviyeli numunede, en düşük kırılma değeri ise 802 N ile %10 TiB₂+%20 B₄C, takviyeli numunede gerçekleşmiştir. Kompozit yapıyı incelemek üzere en yüksek ve düşük kırılma değerine sahip kompozit numunelere ait 200× ve 1000× büyütmeli kırılma yüzeyi SEM görüntüleri Şekil 7'de verilmiştir.

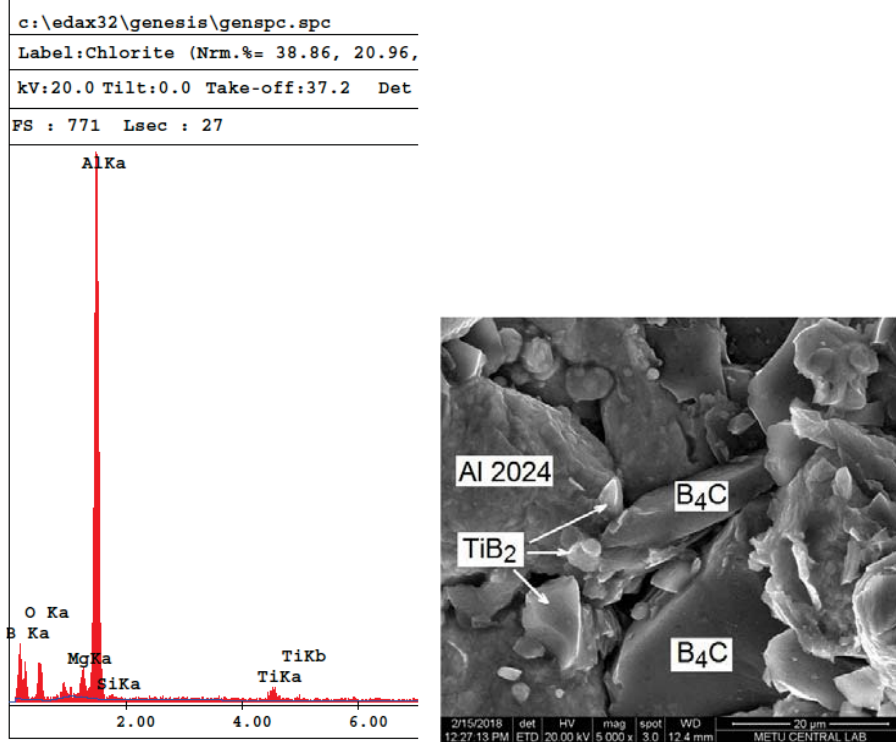


Şekil 7: Kumpozit numunelerin kırılmış yüzeylerine ait SEM görüntüleri



Şekil 7 (devami): Kumpozit numunelerin kırılmış yüzeylerine ait SEM görüntüleri

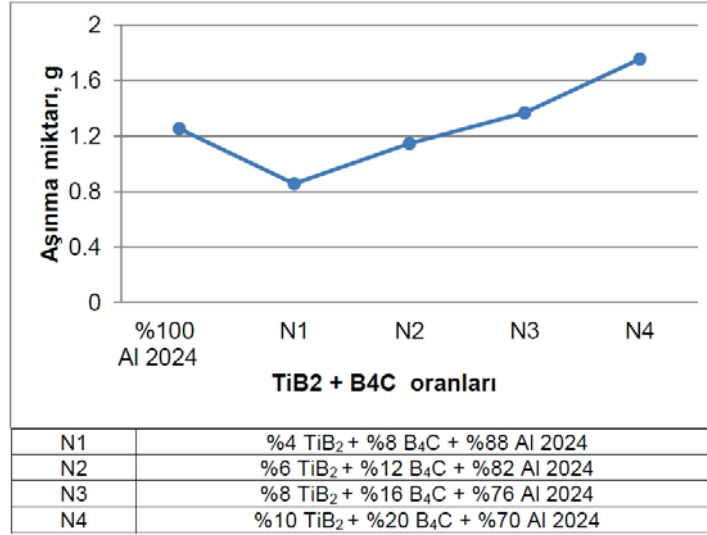
Şekil 7'deki kırık yüzey görüntüleri incelendiğinde, kırılmanın genelde gevrek kırılma şeklinde meydana geldiği anlaşılmaktadır. Kırılmanın çoğunlukla Al 2024 matris ile TiB_2 ve B_4C takviye elemanı ara yüzeylerinde olduğu, bunda ıslatma probleminin yanında matris ile takviye ara yüzeyinde yoğunlaşan boşluklardan ve takviye elemanlarının, kompozit yapı içerisinde oluşturduğu çentik etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. SEM görüntülerine dikkatlice bakıldığında, ne Al 2024 taneciklerinin nede takviye elemanı olan TiB_2 ve B_4C taneciklerinin kırılmadan kompozit yapı içerisinde kaldığı görülmektedir. Matris malzemesi Al 2024 tanecikleri ile takviye elemanı TiB_2 ve B_4C tanecikleri arasında çok güçlü bir bağ oluşmamıştır. Matris malzemesi takviye elemanlarını yeterince ıslatamamıştır. Islatma istenilen yeterlilikte olabilseydi, hem yoğunluk değerleri hemde kırılma ve sertlik gibi diğer mekanik değerlerin daha yüksek çıkabileceği değerlendirilmektedir. Özellikle toplamda %30 olan en yüksek takviye oranı, kompozit yapı içerisindeki gevrekliği oldukça fazla yükseltmiştir. Şekil 7'deki görüntülere bakıldığında %4 TiB_2 +%8 B_4C takviyeli kompozit yapının, diğer kompozit yapılara göre daha tok ve yoğun olduğu gözlenmektedir. Yapılan bu yorumların yanında, kırılma deney sonuçlarına etki eden en önemli parametrenin, kompozit yapı içerisindeki takviye elemanlarının miktarı olduğu değerlendirilmektedir. SEM çekimleri sırasında kompozit yapı içerisindeki elemanların tespiti için ayrıca EDS analizi yapılmıştır. Yapılan EDS analizine ait görüntü ve grafik Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8: TiB_2 ve B_4C takviyeli Al 2024 kompozitin EDS analizi ve SEM görüntüsü

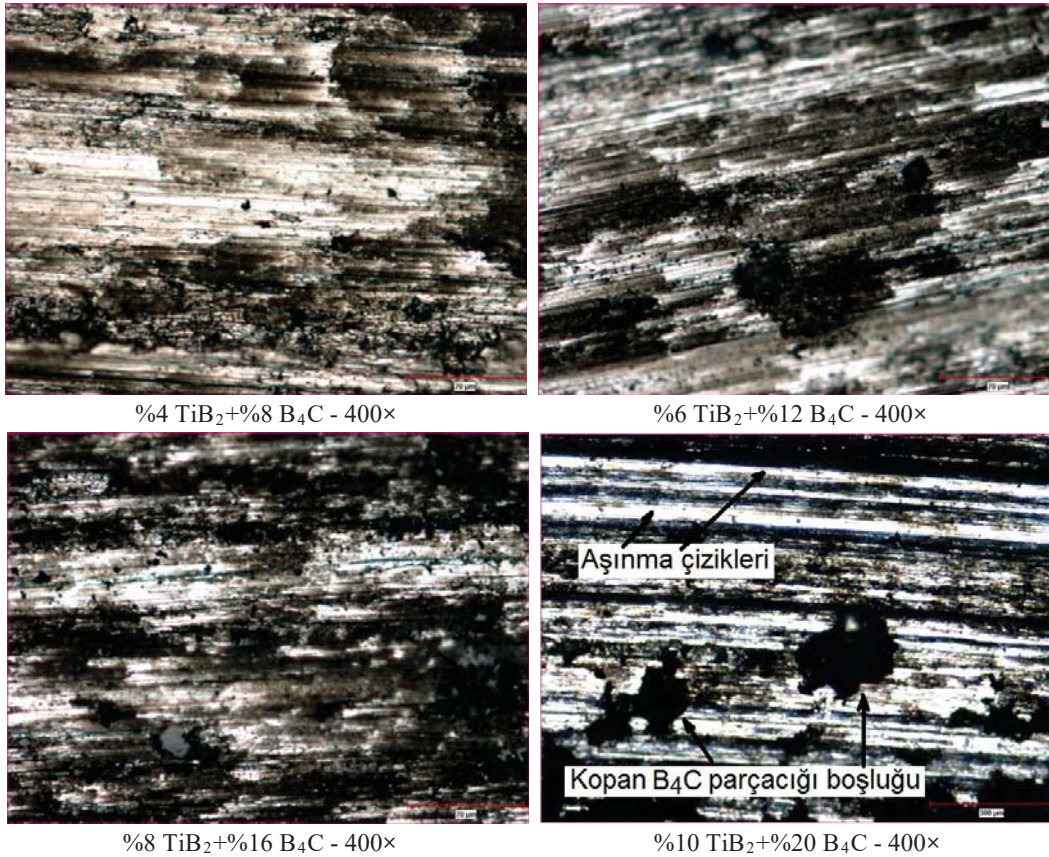
3.5. Aşınma sonuçlarının değerlendirilmesi

Kompozit numunelerin, pin-on-disk yöntemi ile yapılan aşınma deneylerinden elde edilen aşınma miktarı değerleri Şekil 9'daki grafikte gösterilmektedir.



Şekil 9: Kompozit numunelere ait aşınma miktarları

Şekil 9'daki grafiğe bakıldığında, takviye elemanı miktarının artmasıyla aşınma miktarlarındaki artış göze çarpmaktadır. Ancak takviyesiz %100 Al 2024 numune ile kıyaslandığında; en düşük takviye oranı olan 1 numaralı numune (N1), %100 Al 2024 numuneye göre daha yüksek aşınma direnci göstermiştir. Daha sonraki numunelerde kompozit yapı içerisindeki TiB₂ ve B₄C oranları arttıkça aşınma direnci azalarak aşınan malzeme miktarları artış göstermiştir. Yani, belli orana kadar olan (%4 - %8) takviye elemanı miktarı aşınma direncini artırırken, takviye oranı yükseldikçe aşınma direnci azalmaktadır. Bu durum sertlik değerleriyle birlikte ele alındığında, sertlik ile aşınma miktarları arasındaki ters orantı ortaya çıkmaktadır. Sertlik değeri en az olan %10 TiB₂+%20 B₄C takviyeli kompozit numune, en fazla aşınma miktarını sergilemiştir. Bu değerlendirmelerin yanında, önceki bölümlerde yapılan yorumları da dikkate alarak, gözeneklilik artışının aşınma miktarlarını doğrudan etkilediği söylenebilir. Benzer sonuçlar literatürde yer almaktadır Hasırcı ve Gül (2010), Islak ve Çelik (2015), (Meydanoğlu, Mindivan, Kayalı, Çimenoglu, 2006). Grafikler ve elde edilen sayısal değerler üzerine yapılan bu yorumlara ilaveten kompozit numunelerin aşınma yüzeylerinden 400× büyütme ile çekilen optik mikroskop görüntülerinden örnekler Şekil 10'da verilmektedir.



Şekil 10: Kompozitlerin aşınma yüzeyi görüntüleri

Şekil 8'deki görüntüler incelendiğinde, TiB₂ ve B₄C takviye elemanı miktarının artmasıyla kompozit yapı içerisindeki boşluk miktarın arttığı ve aşınma çizgilerinin genişlediği görülmektedir. Takviye elemanı miktarının artması giderek yoğunlaşan gözeneklilik sebebiyle TiB₂ ve B₄C parçacıkları ile Al 2024 matris malzemesi ara yüzeylerinde zayıflama hatta boşluklar meydana getirmiştir. Bu zayıflama ve boşluklar sonucunda aşınma deneyleri sırasında çok miktarda TiB₂ ve B₄C parçacığı kompozit yapı içerisinde koparak uzaklaşmıştır. Çok sert fazdaki TiB₂ ve B₄C parçacıklarının koparak uzaklaşması sırasında kompozit yapı üzerinde derin çizikler meydana gelmiştir. Hem kopan TiB₂ ve B₄C parçacıklarının miktarı hemde yumuşak fazdaki Al 72024 yapı üzerinde oluşturduğu çiziklerden meydana gelen malzeme kaybı sonucunda aşınma miktarı artmıştır. Özellikle Şekil 10 (d)'deki mikroskop görüntüsünde bu durum açıkça gözlenmektedir. Önceki bölümlerde de ifade edildiği gibi matris malzemesi ile takviye parçacıkları arasındaki yetersiz ıslatma sonucundaki zayıf bağ oluşumu, elde edilen aşınma değerlerinde önemli rol oynamıştır. Benzer sonuçlar İpek (2005) ve Cambronero, Sanchez, Ruiz-Roman, Ruiz-Prieto, (2003) yaptığı çalışmalarda ifade edilmiştir. Dolayısıyla, Şekil 10'daki optik mikroskop görüntüleri ile aşınma deneyleri sonucunda elde edilen değerlerin birbirini desteklediği söylenebilir.

4.SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Toz metalurjisi yöntemi kullanılarak elde edilen kompozit numunelerde nispeten homojen bir takviye dağılımı elde edilmiştir. Takviye oranının artmasına bağlı olarak homojenlikte artış gözlenmiştir. Ancak yoğunluk değerleri azalmıştır.
- 750 MPa presleme basıncı yeterli olmakla birlikte ileride yapılacak çalışmalarda 800 ve 850 MPa basınçlar denenebilir.
- Kompozit yapı içerisinde TiB₂ ve B₄C takviye miktarının %4 ve %8 olduğu kompozitte sertlik değeri saf Al 2024 numuneye göre artmış ancak, TiB₂ ve B₄C takviye miktarı yükseldikçe sertlik değeri azalmıştır.
- Bu çalışma için 560 °C olan sinterleme sıcaklığı tam yeterli olamamış ve matris ile takviye arasında istenen ıslatma, güçlü taneler arası bağ oluşturacak seviyeye çıkamamıştır.
- Meanik özellikler açısından en optimum takviye oranları 1 numaralı (%4 TiB₂+%8 B₄C) numuneden elde edilmiştir.
- Bu tür kompozitler için %10 TiB₂+%20 B₄C takviye oranları, mekanik özellikler yönünden yüksek kalmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 2017/005 numaralı proje kapsamında Kırıkkale Üniversitesi BAP Birimi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Abejonar J., Velasco F., Martinez, M.A., (2007). "Optimization of Processing Parameters for the Al+ 10% B₄C System Obtained by Mechanical Alloying", Journal of Materials Processing Technology 184,1-3, 441-446.

ASTM B312, (2008). "Transverse Rupture Strength Test Fixture of Metal Powder", ASTM International, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

ASTM-B 528-05, (2008). "Standard Test Method for Transverse Rupture Strength of Metal Powder Specimens" ASTM International, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

Ay H., (2014). "Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen AA7075 alüminyum alaşımına Ti ve B₄C ilavesinin aşınma davranışı üzerine etkisinin incelenmesi", Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

Ayvaz M., Çetinel H., (2014). "Farklı Matris Kompozisyonları ve Takviye Oranları İçin Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Karakterizasyonu", C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 10,1, 45-53

Cambronero L.E.G., Sánchez E., Ruiz-Roman J.M., Ruiz-Prieto J.M., (2003). "Mechanical characterisation of AA7015 aluminium alloy reinforced with ceramics", Journal of Materials Processing Technology, 143-144, 378-383.

Gomez L., Busquets-Mataix D., Amigo V., Salvador M.D., (2009). "Analysis of boron carbide aluminium matrix composites", Journal of Composite Materials, 43, 987-995.

Hasırcı H.,Gül F., (2010). "B₄C/Al Kompozitlerin Takviye Hacim Oranına Bağlı Olarak Abrasif Aşınma Davranışlarının İncelenmesi", SDU International Technologic Science, 2, 1,15-21.

Islak S., Çelik H., (2015). “Effect of Sintering Temperature and Boron Carbide Content on the Wear Behavior of Hot Pressed Diamond Cutting Segments”, *Science of Sintering*, 47, 131-143.

İpek R., (2005). “Adhesive wear behaviour of B₄C and SiC reinforced 4147 Al matrix composites (Al/B₄C–Al/SiC)”, *Journal of Materials Processing Technology*, 162–163, 71–75.

Orhan A, Gür A. K, Çalgılı U., (2007). “Al Matrisli B₄C Takviyeli Kompozitlerin Sıcak Presleme Yöntemiyle Üretimi”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4, 8-13.

Keshavamurthy R., Sadananda Mageri, Ganesh Raj, Naveenkumar B., Prashant M, Kadakol and Vasu K., (2013). “Microstructure and Mechanical Properties of Al₇₀75-TiB₂ in-situ composite”, *Research Journal of Material Sciences*, 1(10), 6-10.

Meydanoğlu O., Mindivan H., Kayalı E., Çimenoğlu, H., (2006). “Sıcak Presle Üretilen B₄C Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, 11.Uluslararası Malzeme Sempozyumu, 19-21 Nisan, Denizli.

Nazik C., (2013). “Alüminyum matrisli B₄C parçacık takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemiyle üretimi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Rahamian M., Parvin N., Ehsani N., (2010). “Investigation of Particle Size and Amount of Alumina on Microstructure and Mechanical Properties of Al Matrix Composite Made by Powder Metallurgy”, *Materials Science and Engineering*, 527, 4-5, 1031-1038.

Sreenivasan A., Paul Vizhian S., Shivakumar N.D., Muniraju M. and Raguraman M., (2011). “A study of microstructure and wear behaviour of TiB₂/Al metal matrix composites”, *Latin American Journal of Solids and Structures*, 8, 1-8.

Srivatsan T.S., Guruprasad G., Black D., Radhakrishnan R., Sudarshan T.S., (2005). “Influence of TiB₂ content on microstructure and hardness of TiB₂–B₄C composite”, *Powder Technology*, 159, 161 – 167.

TS EN ISO 4498, (2011). “Sinterlenmiş metal malzemeler (sert metaller hariç) - Görünen sertliğin ve mikrosertliğin tayini”, TSE, Ankara.

TS EN ISO 6506-1, (2007). “Metalik malzemeler - Brinell sertlik deneyi - Bölüm 1: Deney metodu” , TSE, Ankara.



Ürün Seçimi için Hibritlenmiş Fuzzy-AHP ve TOPSIS Yöntemine Dayalı Bir Karar Destek Sistemi

A Decision Support System for Product Selection Using Hybridized Fuzzy-AHP TOPSIS Methods

Ali Osman Kuşakcı*¹ 

¹*İbn Haldun Üniversitesi, Yönetim Bilimleri Fakültesi, İşletme Bölümü, İSTANBUL, TÜRKİYE*

Başvuru/Received: 07/06/2018

Kabul/Accepted: 27/08/2018

Son Versiyon / Final Version: 31/01/2019

Öz

Ürün gamının çok geniş olduğu ürün aileleleri için talep edilen ürünün müşterinin isteği doğrultusunda; maliyet, kalite, fonksiyonellik gibi müşterinin ihtiyaçlarına/önceliklerine en iyi cevap verebilecek şekilde seçilmesi süreci karmaşık ve zahmetli bir Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemidir. Bu çalışmada, Bulanık-AHP ve TOPSIS metotlarını kullanarak endüstriyel tip fan seçimi problemi için hibrit bir karar destek sistemi önerilmektedir. Önerilen model ile müşterinin taleplerine ve önceliklerine göre kriter ağırlıklarının Bulanık-AHP ile tespiti yapılmaktadır. Elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak TOPSIS yöntemi ile en iyi alternatifler sıralanmakta ve müşteriye sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler

“Çok kriterli karar verme, Fuzzy AHP, TOPSIS, Endüstriyel Fan Seçimi”

Abstract

Product selection process requires perfect satisfaction of the customer needs and preferences in terms of quality, cost and functionality. Considering this aspects, it is a complex multi-criteria decision making problem. This statement is especially true for such product families with wide product variety. This study aims to design an interactive decision support tool for selecting industrial fans by employing a hybridized fuzzy-AHP and TOPSIS approach. With this work, an expert system for industrial fan selection is realized which collects customer's requirements and preferences with Fuzzy-AHP and ranks the best fitting alternative products using TOPSIS approach.

Keywords

“Multi-criteria decision making, Fuzzy-AHP, TOPSIS, Industrial Fan Selection”

1. GİRİŞ

Karar destek sistemleri (KDS) son yıllarda daha da karmaşık hale gelen karar verme süreçlerini standardize etmek ve çözüm aşamasında etkili bir yaklaşım geliştirmek için gereklidir. Bu temel amaç çerçevesinde KDS'ler tedarikçi seçimi (Görener, Ayvaz, Kuşakcı, & Altınok, 2017) (Scott, Ho, Dey, & Talluri, 2015), yer seçimi (Uzun & Kuşakcı, 2016), toplu taşımada mod seçimi (Erdoğan & Kaya, 2016)(Aydın, Celik, & Gumus, 2015), sezgisel algoritmaların performans ölçümü (Krohling & Pacheco, 2015), personel seçimi (Abdullah & Zulkifli, 2015) (Özbek, 2014), yazılım seçimi (Kilic, Zaim, & Delen, 2014) ve montaj hattı dengeleme gibi çok farklı alanlarda uygulanmıştır (Behzadian, Khanmohammadi Otaghsara, Yazdani, & Ignatius, 2012; Celik, Gul, Aydın, Gumus, & Guneri, 2015; Mardani, Jusoh, & Zavadskas, 2015).

Uygun ürünün seçimi problemi de dikkate alınması gereken seçim kriterlerinin ve değerlendirmeye tabii tutulması gereken alternatiflerin sayısı göz önüne alındığında, karmaşık bir ÇKKV problemidir (Bulut, Duru, & Kocak, 2015)(Ahmed Ali, Sapuan, Zainudin, & Othman, 2015). Sanayinin birçok sektöründe endüstriyel tip fanlar kullanılmaktadır. Fan seçilirken kullanılacağı projeye göre fanın türü, tahrik şekli, yatırım maliyeti, bakım maliyeti, enerji verimliliği, boyutları ve kullanım koşulları gibi birden çok kriter göz önünde bulundurulur. Yine bu kriterlerin önem derecesi de müşteriden müşteriye değişmekte; bu önem derecelerinin müşteri tarafından sayısal değerlere dönüştürülerek ifadesi de genelde çok kolay olmamaktadır (Gul, Celik, Gumus, & Guneri, 2017). İşte tam da bu noktada insanın günlük hayatta kullandığı doğal dile ve değerlendirme yaklaşımlarına daha uygun olan Bulanık KDS'ler önem kazanmaktadır (Görener et al., 2017)(Ayvaz & Kuşakcı, 2017).

Bu çalışmada endüstriyel tip fan seçimi için iki aşamalı bulanık-AHP ve TOPSIS temelli bir KDS önerilmektedir. İlk aşamada müşteriden online olarak fan seçiminde önem arzeden kriterlerin ikili karşılaştırmalarını dilsel ifadeler ile (eşit önemli, daha az önemli gibi...) yapması istenmekte; ve elde edilen veriler Bulanık-AHP yöntemi ile sayılaşdırılmaktadır. İkinci aşamada müşterinin tercihlerine göre şekillenen kriter ağırlıklarının dikkate alarak firmanın Uzman Sistemi tarafından TOPSIS yöntemi uygulanmakta ve müşteriye talebine uygun olan ürün modelleri sıralanmaktadır. Bu çalışma endüstriyel tip fan seçimi sürecinde müşteri ve tedarikçi firmanın yaklaşımlarını sistematik olarak bir araya getiren pratik bir vaka çalışması olması dolayısıyla özgünlük arz etmektedir.

Makale ana hatları ile şu bölümlerden oluşmaktadır: Birinci bölümde konuya giriş yapılmış; ikinci bölümde yapılan uygulama ile ilişkili bilimsel çalışmalar irdelenmiştir. Üçüncü bölüm kullanılan metodolojiye ayrılmış; dördüncü bölümde örnek bir uygulama gösterilmiştir. Beşinci bölümde son söz okuyucunun dikkatine sunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

ÇKKV yöntemleri ile ilgili yapılan çalışmalar dikkate alındığında bu yöntemler ve bunların bulanık versiyonları ile yapılan çalışmaların yoğun şekilde kullanıldığı görülmektedir (Al-Oqla ve Salit, 2017; Ayvaz ve Kuşakcı, 2017; Balo ve Şağbaşı, 2016; Dožić ve Kalić, 2015; Gul vd., 2017; Serrai vd, 2017). Burada bahsedilen teknikler kullanılarak yapılan çalışmalardan özellikle ürün seçimine odaklanan küçük bir kısmına değinilmiştir.

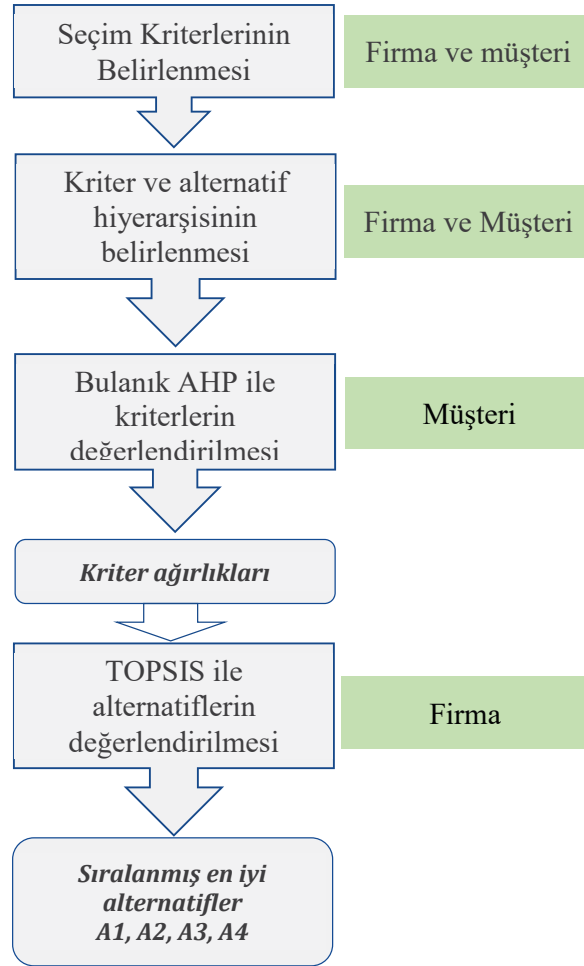
Serrai vd. (2017) web servis seçimi için dört farklı ÇKKV yöntemini kullanarak hibrit bir yöntem önermişlerdir. Elde edilen sonuçlar BORDA oylama yöntemi ile karşılaştırılmış ve alternatif sayısı arttıkça farklı ÇKKV metodlarının benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Ürün seçimi ile ilgili benzer bir karşılaştırılmalı çalışma (Dožić ve Kalić, 2015)'de yapılmış ve uçak tiplerinin seçilmesinde kullanılmıştır.

Gül vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada otomobil ön konsol göstergeleri için malzeme seçimi yapılmış ve bu amaçla bulanık PROMETHEE yöntemi önerilmiştir. Otomobiller için kullanılan kompozit malzeme seçimi problemi ayrıca (Ahmed Ali vd., 2015) tarafından da ele alınmış ve AHP yöntemi uygulanmıştır. AHP kullanılarak yapılan başka bir ürün seçimi çalışmasında güneş enerjisi paneli seçilmiştir (Balo ve Şağbaşı, 2016). AHP yaklaşımı endüstriyel makineler için güvenlik ekipmanlarının seçimi için de kullanılmıştır (Caputo vd., 2013). Yazarlar bu ürün seçimi probleminde öne çıkan kriterleri tespit ettikten sonra AHP yöntemi ile mevcut alternatifleri sıralamıştır.

Meng vd. (2016) ömrünü tamamlamış ürünlerin değerlemesi konusunda ilginç bir yaklaşım önermiş PROMETHEE ve hedef programlama yaklaşımları hibritlenmiştir. Karmaşık bir ÇKKV problemi olan üretim teknolojisi ve buna uygun olarak makine takım tezgâhi seçimi (Durán ve Aguilo, 2008) tarafından ele alınmış ve bulanık bir karar ortamı kabulü altında AHP modeli önerilmiştir. Önerilen yaklaşım pratik bir vaka için uygulanmıştır. Aynı alanda AHP kullanılarak benzer bir çalışma da Yurdakul (2004) tarafından yapılmıştır.

3. METODOLOJİ

Ürün seçimi sürecinde hem müşteri hem de üreticinin ve/veya distribütörün bakış açısının dikkate alınması çok önemlidir. Zira genelde müşteri kendisi açısından muhtemel kriterlerden hangilerinin daha önemli olduğuna karar verebilmekte ancak hangi ürünün hangi kriter açısından nasıl değerlendirilmesi gerektiği konusunda yeterli bilgiye sahip olmamaktadır.



Şekil 1. Önerilen hibrit metodun ana adımları

Önerilen yaklaşımda müşterinin endüstriyel fan seçimi ile ilgili dikkate aldığı kriterlere bulanık AHP yöntemi ile ağırlıklar vermesi beklenmektedir. Elde edilen bu çıktı firma müşteri temsilcisi tarafından TOPSIS ile değerlendirilmekte ve müşterinin beklentisine en uygun ürünler sıralanmaktadır. Önerilen bütünlük KDS'nin ana adımları

Şekil 1'de verilmiştir.

Sonraki alt bölümlerde, yapılan çalışmada kullanılan temel yaklaşımlar makalenin bütüncül yaklaşımını korumak için özetlenmiştir.

3.1. Bulanık AHP

Bulanık AHP yöntemi bulanık mantık yaklaşımını AHP yöntemi ile birleştiren ve bu yönü ile kesin verilerle sayısallaştırılmayan, belirsizliğin ve göreceliğin yüksek olduğu karar verme süreçlerinde etkin bir araçtır. Bu yaklaşımda karar vericinin kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi aşamasında kişisel değerlendirmesini sözel olarak ifade etmesi istenir. Bu yönü ile daha gerçekçi bir değerlendirme yöntemidir (Ayhan, 2013).

Alternatiflerin sıralanması dilsel değişkenler vasıtasıyla gerçekleştirilir. Her bir dilsel değişkenin bulanık mantıkta karşılığı vardır. Bu ifadelerin karşılıkları üçgensel üyelik fonksiyonlarıdır. Üçgensel üyelik fonksiyonunu tanımlayan 3 parametre vardır. Bu parametreler l, m, u olmak üzere üyelik fonksiyonu;

$$\mu_a(x; l, m, u) = \begin{cases} l \leq x \leq m & \text{ise} & \frac{(x-l)}{(m-l)} \\ m \leq x \leq u & \text{ise} & \frac{(u-x)}{(u-m)} \\ x > u \text{ veya } x < l & \text{ise} & 0 \end{cases} \quad (1)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada m üçgensel bulanık sayının $\mu_A(m) = 1$ olduğu değer, u ve l ise bulanık sayının üst ve alt destek değerleridir (Baykal & Beyan, 2004).

Bulanık-AHP'nin adımları aşağıdaki gibidir (Ayhan, 2013);

1. Adım: Tablo 1'deki bulanık sayılar kullanılarak kriterler arasında sözel karşılaştırma matrisi oluşturulur (Eşitlik 2). Bu aşamada, k karar vericinin n tane kritere ilişkin değerlendirme yaptığı bir problem için, her k karar vericisi için bulanık karşılaştırma matrisi aşağıdaki gibi tanımlanır.

Tablo 1. Bulanık AHP'de sözel ifadeler ve bulanık üçgensel sayı karşılıkları

Saaty Ölçeği	Tanımlama	Bulanık Üçgensel Sayıları
1	EŞİT ÖNEMLİ (EÖ)	(1,1,1)
3	AZ ÖNEMLİ (AÖ)	(2,3,4)
5	ÖNEMLİ (Ö)	(4,5,6)
7	ÇOK ÖNEMLİ (ÇÖ)	(6,7,8)
9	DAHA ÇOK ÖNEMLİ (DÇÖ)	(9,9,9)
2	İki tanımlama arasında kalan değerler	(1,2,3)
4		(3,4,5)
6		(5,6,7)
8		(7,8,9)

Bu karşılaştırma matrisinde \widetilde{a}_{ij}^k ifadesi k nolu karar vericinin i. kriteri j. kriterle sözel ikili karşılaştırmasına tekabül eden bulanık üçgensel sayıdır.

$$\widetilde{A}^k = \begin{bmatrix} \widetilde{a}_{11}^k & \widetilde{a}_{12}^k & \dots & \widetilde{a}_{1n}^k \\ \widetilde{a}_{21}^k & \dots & \dots & \widetilde{a}_{2n}^k \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \widetilde{a}_{n1}^k & \widetilde{a}_{n2}^k & \dots & \widetilde{a}_{nn}^k \end{bmatrix} \quad (2)$$

2. Adım: Eğer karar verici sayısı K ise bu değerlerin ortalaması alınır. Buna göre;

$$\widetilde{a}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^K \widetilde{a}_{ij}^k}{K} \quad (3)$$

Ortalaması alınan eşleştirme matrisi aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$\widetilde{A} = \begin{bmatrix} \widetilde{a}_{11} & \dots & \widetilde{a}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \widetilde{a}_{n1} & \dots & \widetilde{a}_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

3. Adım: Her bir kriter için verilen bulanık üçgen sayıların geometrik ortalaması bulunur (Buckley, 1985).

$$\widetilde{r}_i = \left(\prod_{j=1}^n \widetilde{a}_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}, i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

4. Adım: Her bir kritere ait bulanık ağırlık değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\widetilde{w}_i = \widetilde{r}_i \otimes (\widetilde{r}_1 \oplus \widetilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \widetilde{r}_n)^{-1} = (lw_i, mw_i, uw_i) \quad (6)$$

5. Adım: Bulanık olan \widetilde{w}_i değerleri aşağıdaki formül yardımı ile durulaştırılır.

$$M_i = \frac{lw_i + mw_i + uw_i}{3} \quad (7)$$

6. Adım: Son aşamada M_i değeri normalize edilir.

$$N_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (8)$$

3.2. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yöntemi, değerlendirilen alternatiflere göre yapay olarak oluşturulan pozitif ideal alternatife en yakın ve negatif ideale en uzak olan alternatifin seçilmesi fikrine dayanmaktadır (Lai, Liu, & Hwang, 1994).

TOPSIS yönteminin adımlarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

1. Adım: n kriter ve m alternatif olması durumunda karar verici her alternatifi n kritere göre değerlendirir.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

2. Adım: i . kriter ve j . alternatif için normalize edilmiş karar matrisi aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır.

$$R_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (i = 1, \dots, m \text{ ve } j = 1, \dots, n) \quad (9)$$

Buna göre normalize karar matrisi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mp} \end{bmatrix}$$

3. Adım: Daha önce Bulanık-AHP ile Eşitlik 8'e göre elde edilen ağırlıklar, n_i , kullanılarak normalize karar matrisi ağırlıklandırılır. Buna göre;

$$T_{ij} = \begin{bmatrix} n_1 r_{11} & n_2 r_{12} & \cdots & n_n r_{1n} \\ n_1 r_{21} & n_2 r_{22} & \cdots & n_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ n_1 r_{m1} & n_2 r_{m2} & \cdots & n_n r_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \cdots & t_{1n} \\ t_{21} & t_{22} & \cdots & t_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{m1} & t_{m2} & \cdots & t_{mn} \end{bmatrix}$$

4. Adım: T_{ij} değerleri kullanılarak Pozitif ideal (A^*) ve Negatif İdeal Çözüm (A^-) değerleri hesaplanır.

$$A^* = \{t_1^*, t_2^*, \dots, t_n^*\} \text{ her sütuna ait maks. değerler} \quad (10)$$

$$A^- = \{t_1^-, t_2^-, \dots, t_n^-\} \text{ her sütuna ait min. değerler} \quad (11)$$

5. Adım: Her i alternatifi için pozitif ideal ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklar (S_i^* ve S_i^-) sırasıyla Eşitlik 12 ve 13'e göre hesaplanır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (T_{ij} - T_j^*)^2} \quad (12)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (T_{ij} - T_j^-)^2} \quad (13)$$

6. Adım: Son adımda pozitif ideal çözüme göreceli uzaklık değeri C_i^* aşağıdaki gibi hesaplanır.

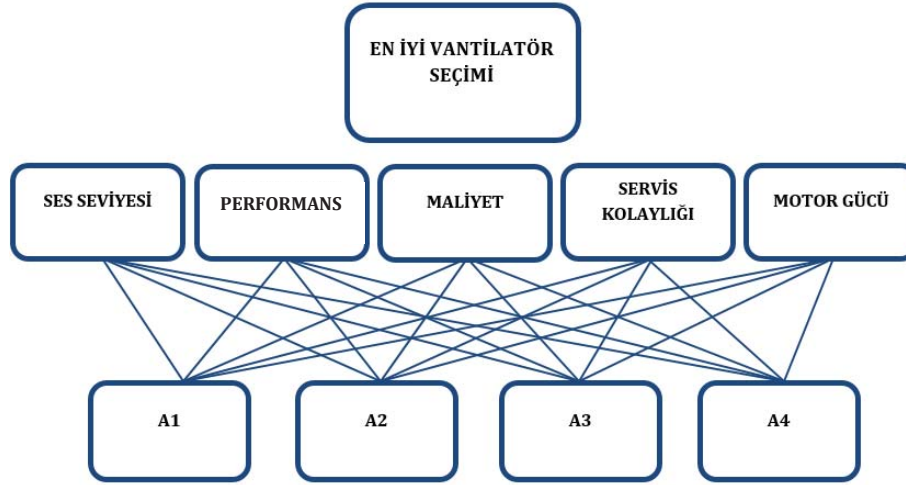
$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (14)$$

Burada C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığındadır.

4. ENDÜSTRİYEL FAN SEÇİMİ PROBLEMİ İÇİN BİR UYGULAMA

Uygulama yapılan firma 1976'dan beri sektörde olup, geniş bir ürün gamında aksiyal ve radyal vantilatörler üretmekte; başta ABD ve Avrupa ülkeleri olmak üzere ihracat yapmaktadır. Firmada önerilen yöntem öncesi ürün seçim süreci, müşteri ve müşteri temsilcisi arasında yapılan görüşmede 50 ila 70 arası ürün eğrisinin birbir değerlendirilmesini gerektiren meşakkatli bir süreçti.

Şekil 1'de önerilen yöntemin ana adımlarını dikkate aldığımızda, ilk etapta ürün seçimi için önemli olan kriterlerin tespit edilmesi gerekmektedir. Firmanın daha önceki satış tecrübeleri ve müşterilerinden aldığı geri dönüşlere göre problem hiyerarşisi Şekil 2'deki gibi oluşturulmuş ve beş temel seçim kriteri belirlenmiştir. Bu beş temel kriter ile müşteriden alınan ilk doneler kullanılarak geniş bir ürün gamından dört farklı alternatif (A1, A2, A3 ve A4) müşteriye sunulacak ve kriterlere müşteri tarafından verilen ağırlıklar ile önceliklere en uygun ürün belirlenecektir.



Şekil 2. Önerilen AHP hiyerarşisi

Bir sonraki aşamada müşteriden bu beş kriterle ilgili Tablo 1’de verilen dilsel ifadelerle ikili karşılaştırmalar yapması istenmiştir. Burada ürün seçim süreci bir örnekle açıklanacaktır. Müşteriden beş temel kriter için ikili karşılaştırma yapması istenmiş ve bu matris Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Dilsel ikili karşılaştırma matrisi

	Ses Seviyesi	Performans	Maliyet	Servis Kolaylığı	Motor Gücü
Ses Seviyesi	EÖ	AÖ	1/AÖ	Ö	1/DÇÖ
Performans	1/AÖ	EÖ	ÇÖ	AÖ	1/ÇÖ
Maliyet	AÖ	1/ÇÖ	EÖ	EÖ	AÖ
Servis Kolaylığı	1/Ö	1/AÖ	EÖ	EÖ	1/DÇÖ
Motor Gücü	DÇÖ	ÇÖ	1/AÖ	DÇÖ	EÖ

Müşteriden online olarak alınan bu verinin üçgensel bulanık sayı karşılığı Tablo 3’te gösterilmiştir.

Bölüm 3.1’de tarif edilen adımlar takip edildiğinde Tablo 4’teki kriter ağırlıklarına ulaşılmıştır. Buna göre bu müşteri için Motor Gücü kriteri fan seçiminde en önemli kriterdir.

Tablo 3. Karşılaştırma matrisinin üçgensel bulanık sayı halinde ifadesi

	Ses Seviyesi			Performans			Maliyet			Servis Kolaylığı			Motor Gücü		
Ses Seviyesi	1	1	1	2	3	4	¼	1/3	½	4	5	6	1/9	1/9	1/9
Performans	¼	1/3	1/2	1	1	1	6	7	8	2	3	4	1/8	1/7	1/6
Maliyet	2	3	4	1/8	1/7	1/6	1	1	1	1	1	1	2	3	4
Servis Kolaylığı	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3					1	1	1	1/9	1/9	1/9
Motor Gücü	9	9	9	6	7	8	¼	1/3	½	9	9	9	1	1	1

Son aşamada ise müşteriden alınan kriter ağırlıkları ile belirlenen dört alternatif ürün için TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Değerlendirilecek ilk dört ürün ile ilgili detaylar ve üretici kataloglarına göre atanan skorlar Tablo 5’teki gibidir.

Tablo 4. Kriter ağırlıkları Table 4. Weights of the criteria

<i>KRİTER</i>	M_i	N_i
Ses Seviyesi	0,148	0,145
Performans	0,168	0,164
Maliyet	0,173	0,169
Servis Kolaylığı	0,063	0,061
Motor Gücü	0,474	0,462

Tablo 5. Alternatif ürünlerin kriterlere göre değerlendirilmesi

Alteratifler	Ürün Kodu	Ses Seviyesi	Performans	Maliyet	Servis Kolaylığı	Motor Gücü
A1	ERV 50/63 CA 1000d/d 11kW	0,884	1	0,427	0,864	0,406
A2	ERV 60/56 CA 1500d/d 11kW	0,915	0,75	0,348	0,770	0,406
A3	ERV 90/100 CA 1000d/d 11kW	0,879	0,5	0,344	0,752	0,406
A4	ERV 35/71 CA 750d/d 11kW	0,750	1	0,328	0,687	0,406

Bir sonraki adımda Bulanık-AHP ile bulunan ağırlıklar kullanılarak Eşitlik 9'a göre normalize edilmiş karar matrisi bulunmuştur (Tablo 6 ve Tablo 7).

Tablo 6. Normalize edilmiş karar matrisi

R	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅
A1	0,514	0,596	0,586	0,560	0,5
A2	0,532	0,447	0,479	0,499	0,5
A3	0,511	0,298	0,472	0,487	0,5
A4	0,436	0,596	0,450	0,445	0,5

Tablo 7. Normalize edilmiş ağırlıklandırılmış karar matrisi

T=N*R	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅
A1	0,074	0,097	0,098	0,034	0,230
A2	0,077	0,073	0,080	0,030	0,230
A3	0,074	0,048	0,079	0,029	0,230
A4	0,063	0,097	0,076	0,027	0,230

Tablo 7'de verilen değerler kullanılarak Eşitlik 10 ve 11'e göre pozitif ve negatif ideal çözümler elde edilmiş ve Tablo 8'de verilmiştir.

Son adımda her alternatifin pozitif ve negatif ideal çözümlere uzaklıkları ve göreceli uzaklık değeri C, Tablo 9'daki gibi hesaplanmıştır.

Tablo 8. Pozitif ve negatif ideal çözümler

A ⁻	0,063	0,048	0,076	0,027	0,230
A [*]	0,077	0,097	0,098	0,034	0,230

Tablo 9. Alternatiflerin ideal çözümlere uzaklıkları ve göreceli uzaklık değerleri

	S*	S-	C
A1	6,85237E-06	0,003085928	0,99778440
A2	0,000937665	0,000824111	0,46777260
A3	0,002780011	0,000139348	0,04773253
A4	0,000767724	0,00238432	0,75643616

Buna göre öne çıkan bu dört alternatif, müşterinin kriterlere verdiği ağırlıklar neticesinde A1, A4, A2 ve A3 şeklinde sıralanmıştır.

Önerilen karar destek sistemi için hazırlanan yazılım arayüzü Şekil 3'te verilmiştir. Firma hazırlanan programı kullanıma almış; daha önce 50-70 civarı grafiğin incelenmesi ile uzun bir sürede yapılan ürün seçim işi önerilen yaklaşımla dakikalar içerisinde yapılmaktadır. Ayrıca sisteme doğrudan müşterinin katılımı müşteri memnuniyetini arttırmıştır.

The screenshot shows a software interface for fan selection. It includes input fields for flow rate (15000 m3/h), pressure (150 mmSS), operating temperature (50 C), and altitude (150 m). There are ten questions (SORU1 to SORU10) about fan selection criteria. Each question has a 'Cevaplar' (Answers) section with a dropdown menu. At the bottom, there are buttons for 'TAMAM', 'SIFIRLA', and 'KAPAT'.

Şekil 3. Önerilen KDS'nin arayüzü

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada interaktif bir karar destek sistemi aracı olarak endüstriyel tip fan seçimi problemine Bulanık-AHP ve TOPSIS metodlarını hibritleyen bir yaklaşım geliştirilmiştir. Önerilen KDS'de müşteri şahsi tercihlerine göre endüstriyel fan seçiminde önemli olan 5 temel kriterin kendisi için ne kadar önemli olduğunu program üzerinden dilsel ifadelerle (önemli, çok önemli gibi...) belirtmekte; bu ifadeler Bulanık-AHP ile kriter ağırlıklarına dönüştürülmektedir. Bir sonraki aşamada TOPSIS yöntemine göre ürünler için firma tarafından her bir kriter göre yapılan değerlendirmeler ve müşteriden alınan subjektif kriter ağırlıkları kullanılmaktadır. Önerilen yöntem elde edilen skorlara göre en iyi dört alternatifi müşteriye sıralamaktadır.

Yapılan çalışmanın sonucu olarak ortaya çıkan KDS müşterilerden alınan geri dönüşe göre çok büyük oranda başarı sağlamıştır. Programın en doğru biçimde çalışabilmesi için ürün gamının tamamının veri tabanına eklenmesi ve bu sistemin firmanın stok yönetimi yazılımı ile entegre edilmesi öngörülmektedir.

REFERENCES

- Abdullah, L., & Zulkifli, N. (2015). Integration of fuzzy AHP and interval type-2 fuzzy DEMATEL: An application to human resource management. *Expert Systems with Applications*, 42(9), 4397–4409. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.021>
- Ahmed Ali, B. A., Sapuan, S. M., Zainudin, E. S., & Othman, M. (2015). Implementation of the expert decision system for environmental assessment in composite materials selection for automotive components. *Journal of Cleaner Production*, 107, 557–567. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.084>

- Al-Oqla, F. M., & Salit, M. S. (2017). Material selection of natural fiber composites using the analytical hierarchy process. In *Materials Selection for Natural Fiber Composites* (pp. 169–234). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100958-1.00006-2>
- Aydin, N., Celik, E., & Gumus, A. T. (2015). A hierarchical customer satisfaction framework for evaluating rail transit systems of Istanbul. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 61–81. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.03.029>
- Ayhan, M. B. (2013). A Fuzzy AHP Approach for Supplier Selection Problem: A Case Study in a Gearmotor Company. *International Journal of Managing Value and Supply Chains (IJMVSC)*, 4(3), 11–23. <https://doi.org/10.5121/ijmvsc.2013.4302>
- Ayvaz, B., & Kuşakcı, A. O. (2017). A trapezoidal type-2 fuzzy multi-criteria decision making method based on TOPSIS for supplier selection. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 23(1), 71–80. <https://doi.org/10.5505/pajes.2016.56563>
- Balo, F., & Şağbaşıua, L. (2016). The Selection of the Best Solar Panel for the Photovoltaic System Design by Using AHP. *Energy Procedia*, 100, 50–53. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.10.151>
- Baykal, N., & Beyan, T. (2004). *Bulanık Mantık İlke Ve Temelleri* (1st ed.). İstanbul: Seçkin.
- Behzadian, M., Khanmohammadi Otaghsara, S., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 13051–13069. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>
- Buckley, J. J. (1985). Ranking alternatives using fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and Systems*, 15(1), 21–31. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(85\)90013-2](https://doi.org/10.1016/0165-0114(85)90013-2)
- Bulut, E., Duru, O., & Kocak, G. (2015). Rotational priority investigation in fuzzy analytic hierarchy process design: An empirical study on the marine engine selection problem. *Applied Mathematical Modelling*, 39(2), 913–923. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2014.07.018>
- Caputo, A. C., Pelagagge, P. M., & Salini, P. (2013). AHP-based methodology for selecting safety devices of industrial machinery. *Safety Science*, 53, 202–218. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.10.006>
- Celik, E., Gul, M., Aydin, N., Gumus, A. T., & Guneri, A. F. (2015). A comprehensive review of multi criteria decision making approaches based on interval type-2 fuzzy sets. *Knowledge-Based Systems*, 85, 329–341. <https://doi.org/10.1016/j.knsys.2015.06.004>
- Dožić, S., & Kalić, M. (2015). Comparison of Two MCDM Methodologies in Aircraft Type Selection Problem. *Transportation Research Procedia*, 10, 910–919. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.044>
- Durán, O., & Aguilo, J. (2008). Computer-aided machine-tool selection based on a Fuzzy-AHP approach. *Expert Systems with Applications*, 34(3), 1787–1794. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.01.046>
- Erdoğan, M., & Kaya, İ. (2016). Evaluating Alternative-Fuel Busses for Public Transportation in Istanbul Using Interval Type-2 Fuzzy AHP and TOPSIS. *Journal of Multiple-Valued Logic & Soft Computing*, 26(6), 625. Retrieved from <http://ezproxy.ticaret.edu.tr/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=116399297&site=eds-live>
- Görener, A., Ayvaz, B., Kusakci, A. O., & Altinok, E. (2017). A hybrid type-2 fuzzy based supplier performance evaluation methodology: The Turkish Airlines technic case. *Applied Soft Computing*, 56(1), 436–445. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.03.026>
- Gul, M., Celik, E., Gumus, A. T., & Guneri, A. F. (2017). A fuzzy logic based PROMETHEE method for material selection problems. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2017.07.002>
- Kilic, H. S., Zaim, S., & Delen, D. (2014). Development of a hybrid methodology for ERP system selection: The case of Turkish Airlines. *Decision Support Systems*, 66, 82–92. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2014.06.011>
- Krohling, R. A., & Pacheco, A. G. C. (2015). A-TOPSIS – An Approach Based on TOPSIS for Ranking Evolutionary Algorithms. *Procedia Computer Science*, 55(1), 308–317. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.054>
- Lai, Y.-J., Liu, T.-Y., & Hwang, C.-L. (1994). TOPSIS for MODM. *European Journal of Operational Research*, 76(3), 486–500. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)90282-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)90282-8)

Mardani, A., Jusoh, A., & Zavadskas, E. K. (2015). Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications - Two decades review from 1994 to 2014. *Expert Systems with Applications*, 42(8), 4126–4148. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.003>

Meng, K., Lou, P., Peng, X., & Prybutok, V. (2016). A hybrid approach for performance evaluation and optimized selection of recoverable end-of-life products in the reverse supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 98, 171–184. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.05.025>

Özbek, A. (2014). Selection of Executives in Non-Governmental Organizations with an Integrated Approach. *Uluslararası Muhendislik Arastirma ve Gelistirme Dergisi*, 6(2), 39–46. <https://doi.org/10.29137/umagd.346092>

Scott, J., Ho, W., Dey, P. K., & Talluri, S. (2015). A decision support system for supplier selection and order allocation in stochastic, multi-stakeholder and multi-criteria environments. *International Journal of Production Economics*, 166, 226–237. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.11.008>

Serrai, W., Abdelli, A., Mokdad, L., & Hammal, Y. (2017). Towards an efficient and a more accurate web service selection using MCDM methods. *Journal of Computational Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2017.05.024>

Uzun, S., & Kuşakcı, A. O. (2016). AFET LOJİSTİĞİ ALANINDA TESİS YERİ SEÇİMİ ÇALIŞMALARI. In *International Symposium on Natural Hazards and Hazard Management 2016* (pp. 798–806). Karabük.

Yurdakul, M. (2004). AHP as a strategic decision-making tool to justify machine tool selection. *Journal of Materials Processing Technology*, 146(3), 365–376. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2003.11.026>



Türkiye’deki Endüstri Mühendisliği Eğitiminin Mezun Görüşlerine Dayalı Analizi

Analysis Based on Graduation Opinions of Industrial Engineering Education in Turkey

Ukbe Üsâme Uçar¹ , Selçuk Kürşat İşleyen² 

¹Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, 23000 Elazığ, TÜRKİYE

²Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06000 Ankara, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 28/01/2018

Kabul/Accepted: 15/11/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Öz

Türkiye’de her yıl binlerce öğrenci farklı üniversitelerin endüstri mühendisliği bölümünden mezun olmakta ve çeşitli sektörlerde iş hayatına başlamaktadır. Öğrenciler, üniversitelerinden aldıkları eğitim ve vizyon sayesinde çalıştıkları sektörlerde başarılı olabilmektedir. Alınan eğitimlerin değerlendirilmesi ise ancak mezun olduktan sonra anlaşılabilir. Bu çalışmada, Türkiye’de endüstri mühendisliği eğitimi veren üniversitelerin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması için mezun görüşlerine dayalı bir anket çalışması yapılmıştır. Anket çalışmasının güvenilirliğinin test edilmesinde Cronbach Alpha testi, elde edilen sonuçların analiz edilmesinde ise istatistiksel metotlar kullanılmıştır. Bu çalışma ile Türkiye’de verilen endüstri mühendisliği eğitiminin mevcut durumunu analiz edip, güçlü ve zayıf yönlerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır, bu sayede, Türkiye’de, endüstri mühendisliği eğitiminin daha iyi bir yere taşınmasına katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Endüstri Mühendisliği, Anket Çalışması, İstatistiksel Analiz”

Abstract

Every year in Turkey, thousands of students graduate from industrial engineering departments of different universities and start their business life in various sectors. Students are able to succeed in the sectors they work with thanks to the education and vision they receive from their universities. The evaluation of the receiving education can only be understood after graduation. In this study, a questionnaire study based on graduate opinions was conducted for the evaluation and comparison of universities providing industrial engineering education in Turkey. Cronbach Alpha test was used to test the reliability of the questionnaire and statistical methods were used to analyze the results. This study aims to analyze the current situation of industrial engineering education in Turkey and to identify strengths and weaknesses of this education. In this way, it is desirable to contribute to improve the industrial engineering education in Turkey.

Key Words

“Industrial Engineering, Questionnaire Study, Statistical Analysis”

1. GİRİŞ

İnsanlar çeşitli sınavlardan geçip hayallerini gerçekleştirmek ve bir meslek sahip olmak adına üniversiteler kazanmakta, çok az bir bilgi ile girdikleri bölümlerden, alanında uzman, mesleğinin gerektirdiği donanımlara sahip bireyler olarak topluma kazandırılmaktadırlar. Çoğu birey hayatının tamamında bu meslek ve üniversitenin kazandırdığı yeteneklerle yaşamını devam ettirmekte, gerek hayatın getirdiği şartlar gerekse de zamansal durumlar nedeniyle bu becerilerin üzerine çok az bir katkıda bulunabilmektedirler. Bu bağlamda üniversiteler, mesleğine hakim, donanımlı, vizyon ve özgüven sahibi, inisiyatif alabilen bireylerin topluma kazandırılması açısından büyük bir önem arz etmektedir. Bu özelliklere sahip bireyler, kariyerleri başta olmak üzere hayatlarının büyük çoğunluğunda başarılı ve mutlu olmakta, bu donanımlardan yetersiz bireyler ise eksik kısımlarını tamamlamak için oldukça zaman ayırmakta, iş hayatında kolay rekabet edememekte ve yaptıkları işlerde başarı oranları düşük olmaktadır. Genel olarak baktığımızda ise donanımlı bireylerin çokluğu, ülke ekonomisi ve refahı açısından büyük bir öneme sahip olmakta, bu bireylerin yoğunlukta olduğu Kanada, İngiltere, Almanya, Amerika ve Avustralya gibi ülkelerde yaşam kalitesi ve başarı durumunun tatmin edici düzeyde olduğu gözlemlenmektedir. Bu ülkelerin tercih edilmesinin temel sebebi eğitim faaliyetlerinin yanında öğrencilere sağlamış olduğu sosyal imkânlar ve farkındalık yaratan çeşitli donanımlar olmaktadır.



Şekil 1. Üniversitede Verilen Örnek Bir Eğitim¹.

Günümüzde teknoloji ve bilim çok hızlı bir şekilde ilerlemekte, mevcut bilgilerin yerlerini yenileri almakta ya da hiç olmayan kavramlar, bilimsel literatüre dâhil olmaktadır. Bu yeni sistemler, sosyal ve iş hayatına hızlı bir şekilde entegre olmakta, bu hızlı gelişmeleri takip eden ve farkında olan bireyler, çağı yakalayıp başarılı bir kariyere ve yaşama sahip olmaktadır. Eğitim sistemi de bu hızlı değişimlerden etkilenmekte ve kendini güncelleme ihtiyacı doğmaktadır. Eski bilgiler ya da artık kullanılmayacak bilgiler ile eğitimi devam ettirmek, mesleğinde yetersiz bireylerin topluma katılmasına neden olmakta, bu durum yapılan iş ve faaliyetleri olumsuz etkilemektedir.

Üniversitelerce verilen eğitimin yeterliliği, yetişen bireylerin donanımı ve başarısı ise ancak öğrencinin mezun olduktan sonra iş hayatındaki başarımına göre tespit edilebilmektedir. Bunu en iyi tespit edecek kişileri ise mezun öğrenciler oluşturmakta, bu öğrenciler aldıkları eğitim ile iş hayatının gerçeklerini karşılaştırarak yeterliliği ile pozitif ve negatif yönlerini tespit edebilmektedir. Bu çalışmada, Türkiye’deki üniversitelerde verilen endüstri mühendisliği eğitimi hakkında genel bir bilgi sahibi olunması, eğitimin avantajlı ve dezavantajlı yönlerinin tespit edilmesi ve iş hayatındaki beklentilerin ortaya konulması adına ilgili bölümden mezun öğrencilere bir anket çalışması uygulanmıştır. Sonuç olarak ilgili bölümün daha iyi tanımlanması, mevcut durumun detaylı analiz ve yapılabilecek iyileştirmeler adına bir fikir oluşturulması amaçlanmıştır.

Literatürde endüstri mühendisliği eğitiminin ve çalışma alanlarının değerlendirilmesi üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Erginel ve ark.(2013), 2013 yaptıkları çalışmada TMMOB (Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği) Makina Mühendisleri Odası’na kayıtlı 437 endüstri mühendisinin anket sonuçlarına dayalı olarak Türkiye’deki endüstri mühendisi çalışanlarının mevcut durumunu analiz etmeye ve geleceğe yönelik çıkarımlarda bulunmaya çalışmışlardır. Ercan ve ark.(2005), çalışmalarında dünyada ve Türkiye’de endüstri mühendisliğinin başlangıcı, gelişimi ve kapsamı hakkında genel bir bilgi vermiştir. Mummolo, çalışmasında Avrupa Birliğindeki endüstri mühendisliği eğitimi değerlendirmiş, mezunların gereksinimlerini ve istihdam alanlarını analiz etmiştir. Avrupa’daki yüksek eğitime ve bu eğitimin cazip hale getirilmesi üzerine tespitlerde bulunmuş, endüstri mühendisliği eğitimindeki fırsatları araştırmıştır. Sonuç olarak endüstri mühendisliği ders programının modern ve yenilikçi endüstriyel sektörlerden gelen bilgi ve talepler doğrultusunda şekillenmesi gerektiğini belirtmiştir. Buzacott (1984) çalışmasında, endüstri mühendisliği eğitimi adına bazı problemler tespit etmiş ve bunlara ilişkin çözüm önerilerinde bulunmuştur. Buzacott (1984), endüstri mühendisliği eğitiminin teknolojik gelişmeler doğrultusunda güncellenmesi gerektiğini belirtmiştir. Chen ve ark. (2005), çalışmalarında çeşitli endüstri mühendisliği müfredatlarını araştırmış ve öğrencinin yaratıcılığını teşvik eden bir müfredatın bulunmadığını belirtmişlerdir. Bu meslekte en önemli şeyin problem çözme becerisine sahip yaratıcı öğrencilerin

¹https://www.google.com.tr/search?q=%C3%BCniversite+e%C4%9Fitim&rlz=1C1NDCM_trTR717TR717&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiC5YSz467XAhWEOsAKHaMIANsQ_AUIDCgD&biw=1366&bih=662#imgrc=hzYidfsD59m4mM:

yetiştirilmesi gereksinimini olduğunu ifade etmiş ve bu bağlamda üç yeni ders geliştirdiklerini belirtmişlerdir. Bu dersleri ise Endüstriyel İletişim (Industrial Communication), Yaratıcı Problem Çözme (Creative Problem Solving) ve Bilimsel Araştırma Metodoloji (Scientific Research Methodology) adları ile isimlendirmişlerdir. Elsayed (1999) çalışmasında, endüstri mühendisliğinin doğuşuna genel bir bakış açısı yapmış, üretim teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler ve sektörün talebini karşılamak adına müfredatta yapılması gerekenleri detaylı bir şekilde analiz etmiştir. Biles (1991), çalışmasında endüstri mühendisliğinin bilimsel temellerini özetlemekte ve bu bilim dalına dayalı olarak endüstri mühendisliği eğitimi için bir yaklaşım önermektedir. Ellis ve Pun (2010), çalışmasında endüstri mühendisliği eğitiminin mevcut durumunu analiz etmiş, eğitimdeki trendin hangi yönde olduğu hakkında bilgi vermiş ve mevcut programı geliştirmek adına yeni bir program önermiştir. Schutte ve ark.(2016), çalışmalarında Güney Afrika' daki endüstri mühendisliğinin içeriği ve tarihsel gelişimi hakkında bilgi vermiş, bu bilim dalını, üniversite çalışmaları, nitelikleri ve sektördeki kullanım alanları gibi bakış açıları altında analiz etmiştir. Kuo (2003) çalışmasında, endüstri mühendisliğinin genel tanımını yapmış, geçmişteki durumuna bir bakış açısı sağlamış, son olarak hem mevcut durum hem de gelecek durumuna ilişkin değerlendirmelerde bulunmuştur. Köksal ve Eğitman (1998), çalışmalarında Orta Doğu Teknik Üniversitesinde Endüstri Mühendisliği eğitiminin kalitesini geliştirmek için bir Kalite Fonksiyon Yayılımı(QFD) yaklaşımı geliştirmiş, farklı alanlardan paydaşların oluşturduğu bir grubun endüstri mühendisliği bölümünden mezun birinden beklentilerini ve ilgili bölümün gereksinimlerini, mülakatlar ve araştırmalar yoluyla belirlemeye çalışmışlardır. Bu çalışmalar haricinde endüstri mühendisliği başta olmak üzere çeşitli mühendislik eğitimi üzerine birçok çalışma bulunabilmektedir. Analiz edilen çalışmalardan hareketle, genel bir kanının endüstri mühendisliği eğitiminin teknolojideki gelişmelere bağlı olarak eğitim müfredatının sürekli gelişmesi ve güncellenmesi gereken bir bilim dalı olduğu anlaşılmakta, çalışma sahiplerinin de mevcut sistemi geliştirmeye yönelik bir çaba içerisinde olduğu anlaşılmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde ele alınan anket çalışmasının özellikleri ifade edilmekte, üçüncü bölümde anketin değerlendirilmesinde ve yorumlanmasında kullanılan metodolojiler takdim edilmekte, dördüncü bölümde ise genel bir değerlendirme yapılmakta ve gelecek çalışmalara ilişkin önerilerde bulunmaktadır.

2. ANKET ÇALIŞMASI

Bu çalışmada, Erginel ve arkadaşlarının 2013 yılında yapmış oldukları çalışma temel alınarak, Türkiye'de eğitim veren endüstri mühendisliğinden mezun öğrencilere sosyal medya ve çeşitli bloglar üzerinden bir anket çalışması düzenlenmiş, anketlerin hazırlanması ve değerlendirilmesinde Google Form' dan yararlanılmıştır. (Erginel ve arkadaşları;2013) Çalışma, temelde Erginel ve ark.(2013), çalışmalarından hareketle hazırlanmakta, farklı parametrelerin ve çeşitli performans ölçütlerin dikkate alınması nedeniyle bu çalışmadan ayrılmaktadır. Bu çalışmayı, diğer çalışmadan ayıran temel özelliklerden bazıları şu şekilde olmaktadır.

- Bu çalışmada dikkate alınan üniversite sayısı, Erginel ve ark., yaptıkları çalışmadan daha fazladır (Erginel ve arkadaşları; 2013)
- Erginel ve ark., çalışmalarında genel olarak endüstri mühendisliği mezunlarının hangi alanda çalıştıkları ve mesleğin gelecekteki durumları üzerine odaklanmışken, bu çalışmada alınan lisans eğitimi, akademik personelin yeterliliği, üniversitenin sağlamış olduğu imkanlar, öğretim elemanı-öğrenci ilişkisi gibi mevcut eğitim sisteminin ve öğretim elemanlarının olumlu ve olumsuz yönleri tespit edilmeye çalışılmıştır (Erginel ve arkadaşları;2013)
- Bu çalışmada, diğer çalışmadan farklı olarak mezunların bakış açısına göre Türkiye' deki endüstri mühendisliği eğitimi veren bölümlerin birbirlerine göre tercih edilebilirlikleri ve üstünlüklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.
- Bahar şenliklerinin yapılması, uluslararası anlamda yeterlilik gibi sosyal ve kişisel konuların dikkate alınması da bu çalışmayı, diğer çalışmadan ayıran özelliklerden biri olmaktadır.

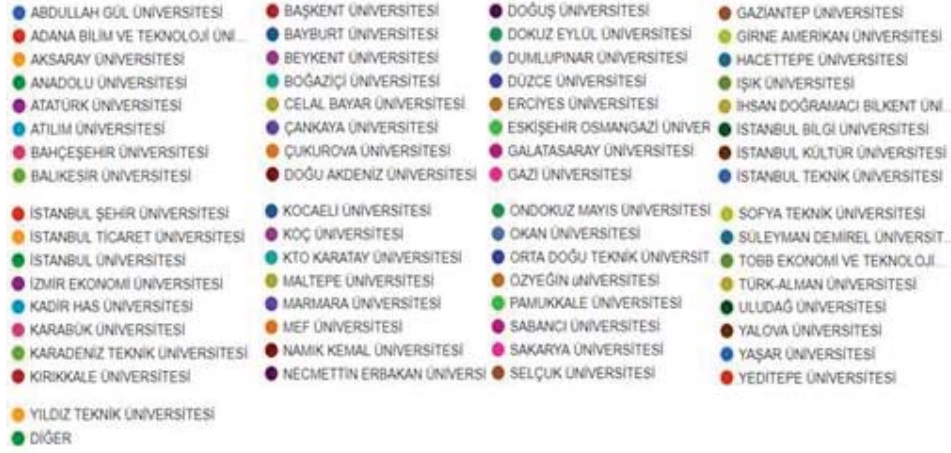
Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde yapılan anket çalışmasının demografik özelliklerinden bahsedilmekte ve anket sonuçları detaylı bir şekilde analiz edilmektedir.

2.1. Anket Çalışmasının Özellikleri

Anket çalışmasına çeşitli üniversitelerden birçok mezun katılmıştır. Bu kısımda anket çalışmasında dikkate alınan üniversiteler, mezunların çalıştığı sektör ve pozisyonlar gibi demografik özelliklere ilişkin bilgiler sunulmuştur. Ankete 66 farklı üniversitenin ismi yazılmış ve bunun dışında kalan üniversiteler diğer başlığı altında değerlendirilmiştir. Toplamda 67 farklı üniversiteden 224 mezun öğrencinin ankete ilişkin değerlendirmeleri dikkate alınmıştır. Anketin güvenilirliğini test etmek için Cronbach Alpha testinden faydalanılmıştır.

Cronbach Alpha testi, önceden belirlenmiş ölçekler doğrultusunda düzenlenmiş olan ankete verilen cevapların tutarlılığını ölçen istatistiksel bir yöntemdir. Bu analiz de tüm sorular için ortalama bir alfa değeri bulunur ve bu değer 0,6 dan büyük olması istenir. 0,6 den düşük olması, anketin düşük güvenilirliğe sahip olduğunu, 0,8 den büyük olması ise yüksek güvenilirliğe sahip olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada güvenilirlik değeri 0,727 olarak çıkmış, bu değer yapılan anket çalışmasının orta düzeyde güvenilir olduğunu ve istatistiksel açıdan kabul edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir. (Yaşar; 2014)

Ankete katılan üniversitelerin adları şekil 2 de gösterilmekte, en fazla katılım gösteren ilk yirmi üniversite ve özellikleri ise şekil 3 de ifade edilmektedir.



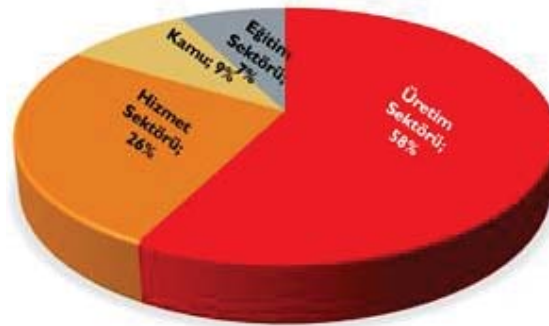
Şekil 2. Ankete Katılan Üniversitelerin İsimleri.

Şekil 3 e göre en fazla katılım gösteren üç üniversitenin sırasıyla %17 ile Gazi, %9,4 ile Kırıkkale ve %8,5 ile Erciyes olduğu görülmektedir.

Sıra	Üniversite Adı	Katılım Oranı	Sıra	Üniversite Adı	Katılım Oranı
1	Gazi	%17	11	Karabük	%3,1
2	Kırıkkale	%9,4	12	Atatürk	%2,7
3	Erciyes	%8,5	13	Çukurova	%2,7
4	Balıkesir	%5,8	14	Yıldız Teknik	%2,2
5	Kocaeli	%5,4	15	Pamukkale	%2,2
6	Selçuk	%4,9	16	Diğer	%2,2
7	Sakarya	%4,5	17	İstanbul	%1,8
8	Osmangazi	%3,6	18	Gaziantep	%1,8
9	ODTU	%3,1	19	Uludağ	%1,8
10	Dokuz Eylül	%3,1	20	Süleyman Demirel	%1,8

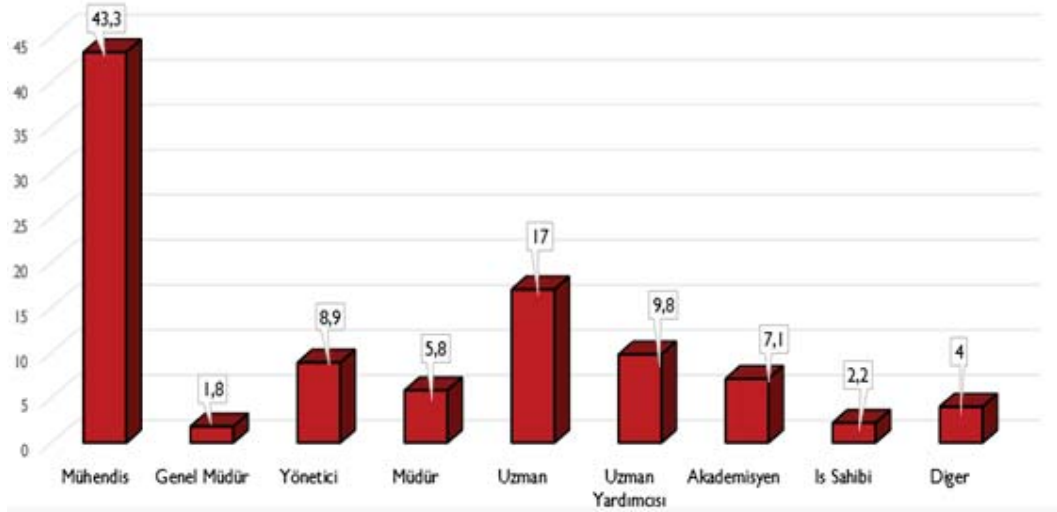
Şekil 3. Ankete En Fazla Katılım Gösteren İlk Yirmi Üniversite.

Ankete katılan mezunların çalıştığı sektörler ise şekil 4 de belirtilmektedir. Şekil 4 e baktığımızda, yapılan anket çalışmasına göre endüstri mühendislerinin genel olarak üretim sektöründe çalıştığını, bu sektörü ise hizmet sektörünün takip ettiğini görmekteyiz.



Şekil 4. Endüstri Mühendislerinin Çalıştığı Sektörler.

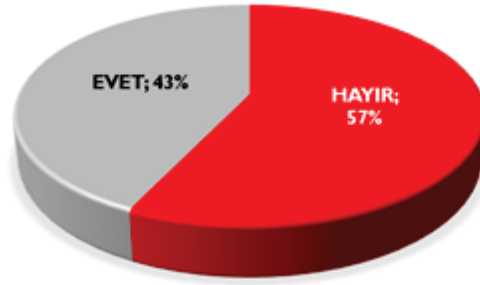
Endüstri mühendislerinin buldukları sektörlerde hangi pozisyonda çalıştıkları ile ilgili soruya verilen cevaplar ise şekil 5 de belirtilmektedir. Bu sonuçlara göre yapılan anket çalışmasından hareketle endüstri mühendislerinin en fazla mühendis pozisyonunda, en az ise genel müdür pozisyonunda çalıştığı anlaşılmaktadır.



Şekil 5. Endüstri Mühendislerinin İş Yerlerinde Çalıştığı Pozisyonlar

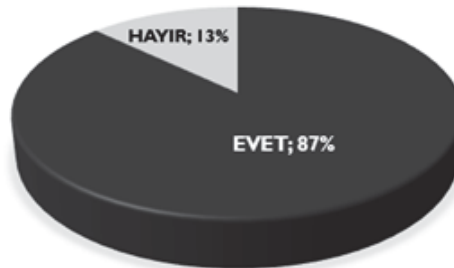
2.2. Endüstri Mühendisliği Eğitime İlişkin Anket Sonuçlarının Analizi

Bölüm 2.1 de ankete katılan kişilere ilişkin demografik özellikler takdim edilmişti. Bu bölümde ise ankete katılan mezunların, endüstri mühendisliği eğitimi ile ilgili sorulara verdiği cevaplar analiz edilmiştir. Ankette mezunlara lisans eğitimini yeterli bulup bulmadıkları sorulmuş ve sonuçlar şekil 6 da belirtilmiştir. Şekil 6 ya göre mezunların %57 sinin verilen lisans eğitimini yeterli bulmadıkları anlaşılmaktadır. Bu yetersizlik oranı, içerisinde birçok nedeni barındırabilmektedir. Akademik personelin yeterliliği, müfredatın güncelliği, sosyal imkânların tatmini bu nedenlerin başında gelebilmektedir. İlerleyen kısımlarda verilen cevaplardan hareketle daha net bir yorum yapmak mümkün olacaktır.



Şekil 6. Lisans Eğitiminin Yeterliliğine İlişkin Anket Sonuçları

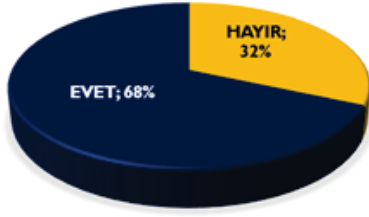
Mezunlara, endüstri mühendisliği eğitimine ait müfredatın güncellenmesine ilişkin görüşleri sorulmuş, şekil 7 deki sonuçlara göre katılımcıların %87'i bu konuda güncellenmesi gerektiği yönünde görüşlerini bildirmişleridir. Bu sonuç aslına birçok probleminde göstergesi olmaktadır.



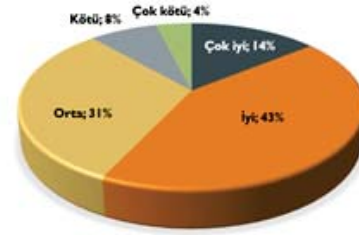
Şekil 7. Akademik Müfredatın Güncellenmesine İlişkin Bilgiler

Ankete bölüm 2'nin girişinde de belirtildiği üzere 67 farklı üniversiteden 224 mezun katılmıştı. Mezunların yaklaşık %87'nin bu görüşte olması ve bir fikir birliğine varması, ilgili eğitim müfredatının iş hayatındaki gereksinimleri karşılamakta yetersiz olduğunu, alınan eğitimin teoride kaldığını ve uygulamadan uzak olduğunu, öğrencilerin bilgilerini tam olarak iş hayatına aktaramadıklarını ya da eğitimin tam olarak verilmediği gibi birçok temel problemi içinde barındırabilmektedir.

Üniversitelerdeki akademik kadroların yeterliliği ve öğretim görevlilerinin konulara hâkimliği hakkındaki değerlendirmeler ise şekil 8 ve 9 da belirtilmiştir. Şekil 8 e göre “Dersi Anlatan Öğretim Üyelerinin Konulara Hâkim Olduğunu Düşünüyor Musunuz?” sorusuna katılımcıların %68 i olumlu görüş belirtmiş, %32 si ise olumsuz görüş belirtmiştir.



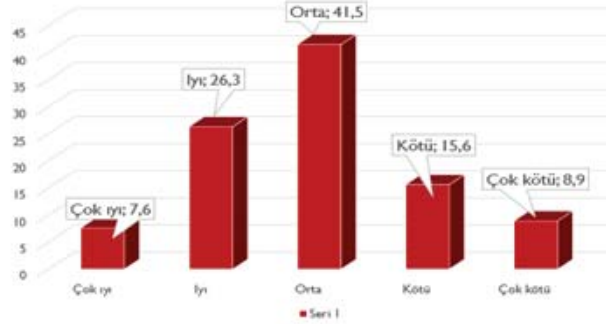
Şekil 8. Öğretim üyelerinin derse hakimliği.



Şekil 9. Akademik Kadronun Yeterliliğinin Tespiti

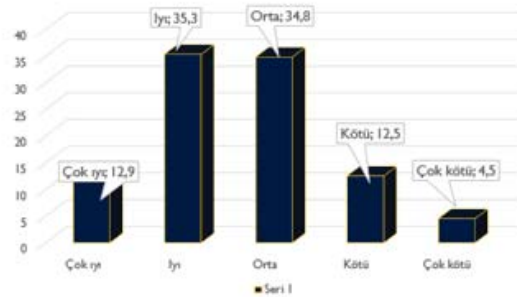
Şekil 9 da ise “Eğitim Aldığınız Üniversitenin Akademik Kadrosunu Nasıl Değerlendirirsiniz?” sorusuna katılımcıların %43 ü iyi, %31’ i orta ve %14 ü ise çok iyi görüşlerini iletmıştır. Bu iki şekilden hareketle endüstri mühendisliği alanında Türkiye’ de eğitim veren öğretim görevlilerin iyi ve üzeri derecelerde puanlandırıldığı anlaşılmaktadır. Ayrıca bu sonuç lisans eğitimin yeterliliğinin değerlendirilmesinde öğretim görevlilerin etkisinin daha az olduğu, bu yetersizliğin temelde başka problemlerden kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

“Üniversitenizin Asistanlarını yeterli buluyor musunuz?” sorusuna ise şekil 10’ a göre katılımcıların %41,5’ u orta, %26,3’ ü iyi, %7,6’ sı ise çok iyi olarak değerlendirmişlerdir. Bu sonuca göre katılımcılar açısından asistanların yeterliliği, orta ve üzeri düzeyde olmakta, asistanların daha yeterli olmak adına biraz daha çaba sarf etmesi gerektiği anlaşılmaktadır.



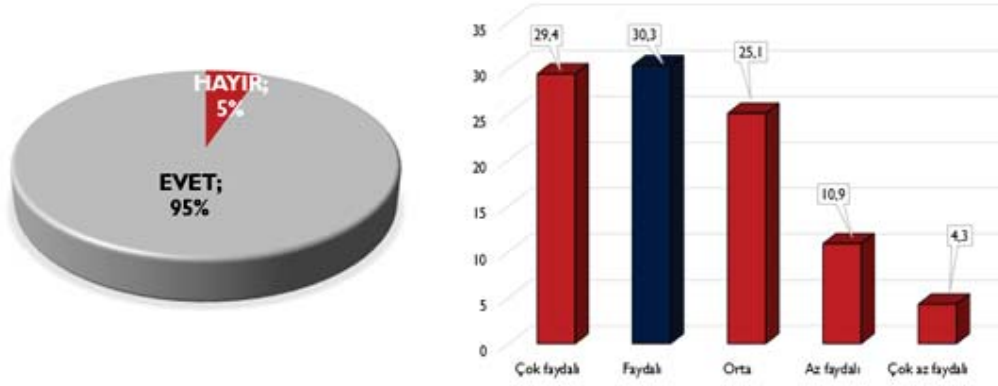
Şekil 10. Asistan Kadrosunun Değerlendirilmesi

Üniversite eğitiminde öğretim görevlisi ve öğrenci arasındaki iletişim büyük bir önem arz etmekte, bu ilişki öğrencinin derste başarıya başta olmak üzere özgüven, problem çözebilme, analitik çözüm yapabilme gibi birçok özelliğe etki edebilmektedir. Bu bağlamda “Öğretim Üyeleri ile Öğrenciler Arasındaki İletişim Nasıldı?” diye bir soru sorulmuş, elde edilen cevaplar ise şekil 11 de gösterilmiştir. Şekil 11 e göre katılımcıların, öğretim görevlileri ile orta ve iyi düzeyde bir ilişki kurduğu, bu durumda öğrencilerin, öğretim görevlileri ile rahat bir şekilde iletişim kurabildiğini belirtmektedir.



Şekil 11. Öğretim Üyesi-Öğrenci İletişiminin Değerlendirilmesi.

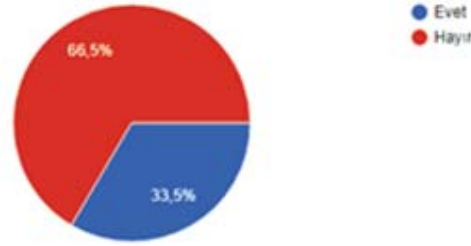
Katılımcılara eğitim aldığımız bölümde projeli derslerin varlığı ve bunların hangi oranda etkili olduğu sorulduğunda, %95 oranında projeli derslerin olduğunu ve bu derslerin oldukça faydalı olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Buna göre projeli derslerin öğrenmeyi kolaylaştırdığı ve iş hayatında daha faydalı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 12. Endüstri Mühendisliği Bölümünde Verilen Projeli Derslerin Faydasının Değerlendirilmesi

Bu sorulara ek olarak lisansüstü açısından üniversite ve mezunların durumunu görmek adına lisansüstü eğitimi ile ilgili olarak birkaç soru katılımcılara yöneltilmiştir. Şekil 13’ de ankete katılan mezunların %66,5’ u lisansüstü eğitimi almadığını, %33,5’ u ise lisansüstü eğitimi aldıklarını ifade etmişlerdir.

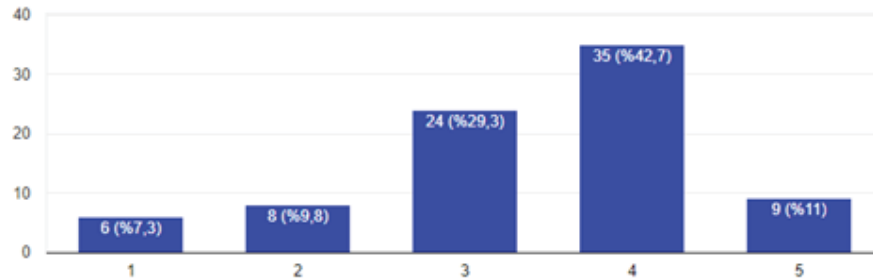
Lisansüstü Eğitimi Aldınız mı?



Şekil 13. Lisansüstü Mezun Katılımcı Sayısı.

Lisansüstü eğitimi alınan üniversitenin yeterliliğini değerlendirmek için katılımcılara “Lisansüstü eğitimi aldığınız üniversitenin eğitimi nasıldı?” sorusu yöneltilmiş ve elde edilen sonuçlar şekilde 14’ de belirtilmiştir. Şekil 14, 15 ve 16’ da 1(çok kötü), 2(kötü), 3(orta), 4(iyi) ve 5(çok iyi) ölçeğine karşılık gelmektedir. Şekil 14’ deki sonuca göre, katılımcıların lisansüstü eğitim konusunda üniversiteleri orta-iyi arası bir düzeyde gördükleri anlaşılmıştır.

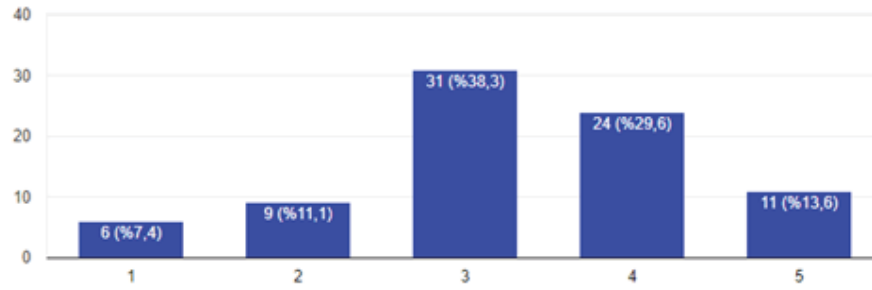
Lisansüstü Eğitimi Aldığınız Üniversitenin Eğitimi Nasıldı?



Şekil 14. Lisansüstü Eğitim Alınan Üniversitenin Mezunlar Açısından Değerlendirilmesi

Alınan lisansüstü eğitimde öğretim üyelerinin, öğrencilerine ne düzeyde katkı sağladıklarını görmek adına, “Lisansüstü eğitiminde öğretim üyelerinin katkısı nasıldı?” sorusu yöneltilmiş ve şekil 15’ de belirtilen sonuçlara göre lisansüstü eğitiminde öğretim üyelerin orta-iyi arası bir düzeyde öğrencilere yardımcı olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

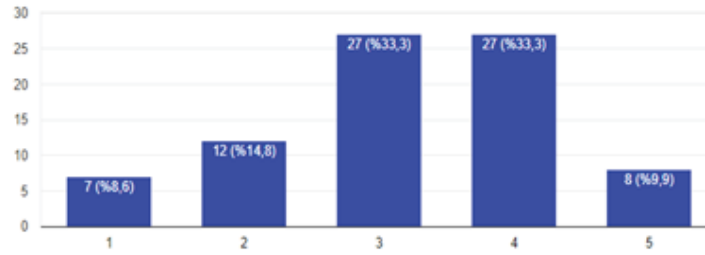
Lisansüstü Eğitiminde Öğretim Üyelerinin Katkısı Nasıldı?



Şekil 15. Lisansüstü Eğitiminde Öğretim Üyelerinin Katkısı

Şekil 14 ve 15’ deki sonuçlardan, katılımcıların lisansüstü eğitimi alırken, öğretim üyelerinin yeterli düzeyde katkı sağladığı anlaşılmaktadır. Son olarak da alınan lisansüstü eğitimin bireyin başarısına olan etkisini tespit etmek adına bir soru sorulmuş ve elde edilen cevaplar şekil 16’ da gösterilmiştir. Bu sonuca göre lisansüstü eğitiminin bireyin başarısına önemli bir düzeyde etki ettiği anlaşılmıştır.

Lisansüstü Eğitiminizin Bugünkü Başarıya Olan Katkısı Nedir?



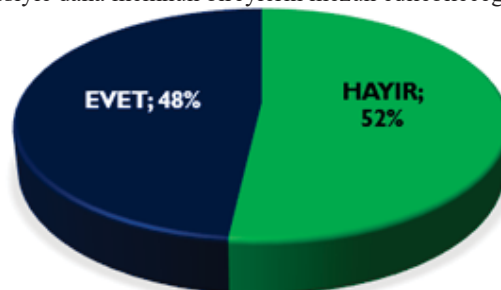
Şekil 16. Lisansüstü Eğitiminin, Başarıya Etkisi

Çalışmanın buraya kadar olan kısmında endüstri mühendisliği alanında alınan lisans ve lisansüstü eğitiminin değerlendirilmesi yapılmış, bir sonraki bölümde ise mezunların talepleri ve sektörün ihtiyaçları açısından endüstri mühendisliği bölümünün mevcut durumu analiz edilmiştir.

2.3. Endüstri Mühendisliği Mezunlarının İsteklerine ve Sektörün Taleplerine İlişkin Anket Sonuçlarının Analizi

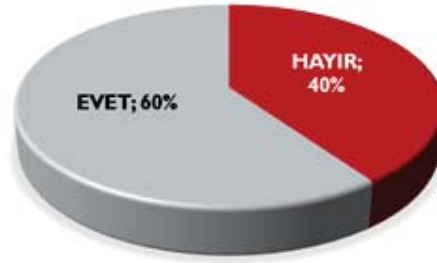
Bu bölümde, endüstri mühendisleri mezunlarına, mezun oldukları üniversitelerin kendilerini tatmin edip etmedikleri, sektörde ihtiyaç duyulan programlar, endüstri mühendisliği bölümünde avantaj ve dezavantajlara sahip olan donanımlar gibi çeşitli sorular yöneltilmiş ve Türkiye’deki endüstri mühendisliği bölümlerinin öğrenciyi tatmin etme düzeyleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Ankette katılımcılara “Mezun Olduğunuz Üniversite Beklentilerinizi Karşılıdı Mı?” sorusu iletilmiş ve elde edilen cevaplar şekil 17’de gösterilmiştir. Şekil 17’ye göre katılımcıların %52’si bu soruya olumsuz cevap belirtirken, %48’i olumlu cevap belirtmiştir. Bu durum bize öğrencilerin, mezun oldukları üniversitelerden beklentileri karşılanmış bir şekilde ayrıldıklarını göstermektedir. Bu memnuniyetsizliği altında üniversitenin sağlamış olduğu sosyal ve yaşamsal imkânlar, güvenlik, kütüphane imkânları, laboratuvar imkânları ve ulaşımda yaşanan problemler gibi birçok etmen yatabilmektedir. Üniversitelerin buna neden olan problemleri tespit edip iyileştirmesiyle daha memnun bireylerin mezun edilebileceği düşünülmektedir.



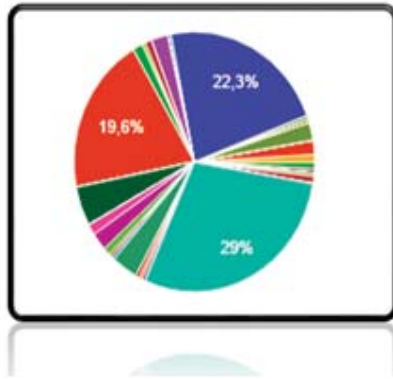
Şekil 17. Mezun Olunan Üniversitenin Öğrenci Beklentilerini Karşılama Durumu

Katılımcılara “Üniversiteniz Size Vizyon Kattı Mı?” diye sorulduğunda katılımcıların %60’ ı olumlu görüş bildirirken, %40’ ı olumsuz görüş bildirmektedir. Bu sonuçlar katılımcıların, üniversiteye girdikleri zamana kıyasla mezun olduklarında farklı bir bakış açısı, bilgi birikimi ve donanımla sahip olduklarını göstermektedir.



Şekil 18. Üniversiteniz Size Vizyon Kattı Mı? Sorusuna İlişkin Anket Cevapları

Ankette mezun öğrencilere “Mezun Olduğunuz Bölümü Hangi Üniversitede Okumak İstediniz?” diye sorulduğunda büyük bir çoğunluğun ilgili bölümü ait eğitimi başka bir üniversitede almak istediklerini göstermekte, bu durum mezunlar ile üniversiteler arasında bir sahiplenme-bağlılık kültürünün oluşmadığını göstermektedir. Şekil 19’e göre katılımcıların %29’ u Boğaziçi Üniversitesinde, %22,3’ ü ODTÜ’ de, %19,6’ sı ise İTÜ de endüstri mühendisliği eğitimi almak istemektedir.

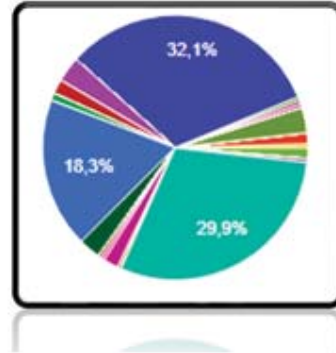


Sıra	Üniversite	Oran
1	Boğaziçi Üniversitesi	%29
2	ODTÜ	%22,3
3	İTÜ	%19,6
4	Bilkent	%4,9
5	Dokuz Eylül	%3,6
6	Galatasaray	%2,2
7	TOBB	%2,2
8	Koç	%2,2
9	Yıldız Teknik	%1,8
10	İstanbul	%1,3

Şekil 19. Mezunların Okumak İstedikleri Üniversitelere İlişkin Anket Sonuçları

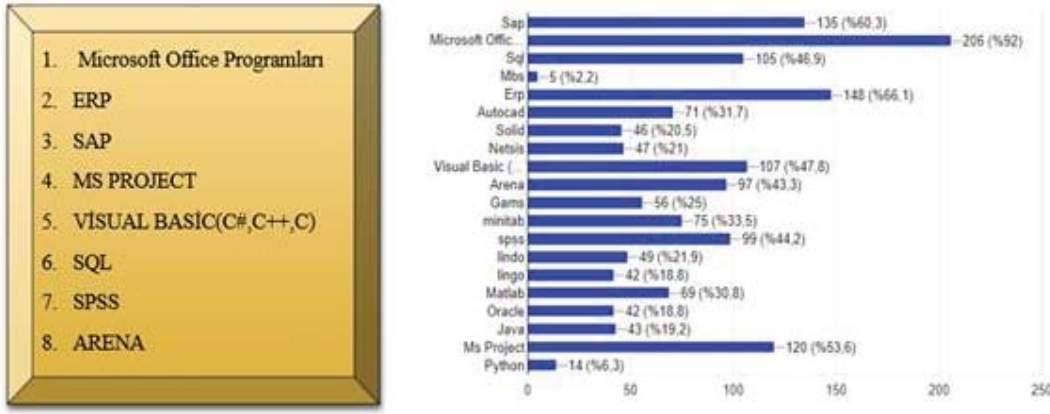
Mezunlara en iyi endüstri mühendisliği eğitimi veren üniversiteler hangisi diye sorulduğunda, katılımcıların %32,1’ i ODTÜ, %29,9’ u Boğaziçi, %18,3’ü ise İTÜ olduğunu belirtmişlerdir. Şekil 19 ve şekil 20’ deki sonuçlardan ODTÜ, Boğaziçi ve İTÜ’ nün katılımcıların görüşleri açısından Türkiye’deki endüstri mühendisliği eğitimi alanında en fazla istenen ve başarılı bulunan üniversiteler olduğu anlaşılmaktadır.

Sıra	Üniversite	Oran
1	ODTÜ	%32,1
2	Boğaziçi	%29,9
3	İTÜ	%18,3
4	TOBB	%3,1
5	Koç	%3,1
6	Bilkent	%2,7
7	Kırıkkale	%1,8
8	Galatasaray	%1,8
9	Yıldız Teknik	%1,3
10	Balikesir	%1,3



Şekil 20. Size Göre En İyi Endüstri Mühendisliği Eğitimi Veren Üniversite Hangisidir?

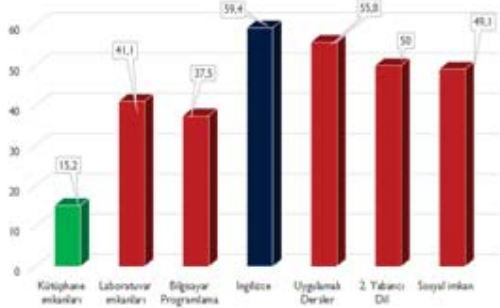
Üniversitelerde verilen eğitimin iş hayatında ne kadar etkili olduğu, sektörle ne kadar örtüştüğü ancak ilgili bölüm mezunlarının iş hayatına geçmeleri ile anlaşılmaktadır. Bu kapsamda iş hayatında endüstri mühendislerinin en fazla ihtiyaç duydukları programları belirlemek adına “Bir Endüstri Mühendisinin Bilmesi Gereken Bilgisayar Programları Nelerdir?” diye sorulduğunda elde edilen cevaplar şekil 21’ de gösterilmektedir.



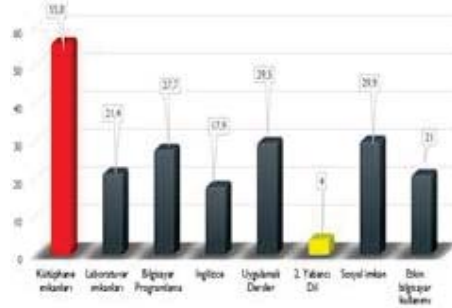
Şekil 21. Endüstri Mühendislerinin Bilmesi Gereken Programlara İlişkin Anket Cevapları

Şekil 21'deki sonuçlarda iş hayatında en fazla Office programlarına, daha sonra ERP-SAP gibi kurumsal kaynak planlaması programlarına ve MS-Project gibi proje tabanlı programlara ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır. Bu bağlamda endüstri mühendisliği eğitiminin sektörün talepleri doğrultusunda güncellenmesinin mezunların daha donanımlı olması ve sektörde başarılı olması adına büyük katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

İlgili bölüm ve üniversitenin avantajları ve dezavantajlarını değerlendirmek adına katılımcılara üniversitenizin olumsuz ve olumlu yanları nedir diye sorulduğunda ortaya çıkan sonuçlar şekil 22 ve şekil 23 de gösterilmektedir. Katılımcılara göre ilgili bölümler de en fazla eksikliğin İngilizce eğitiminin yetersiz oluşu, Uygulamalı Derslerin azlığı ve Sosyal İmkanların eksikliği konularında yaşandığı, en fazla olumlu görünen özelliğin ise kütüphane imkânları konusunda yaşandığı anlaşılmaktadır.

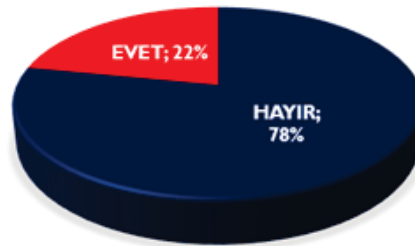


Şekil 22. Üniversitenizin Olumsuz Yanları



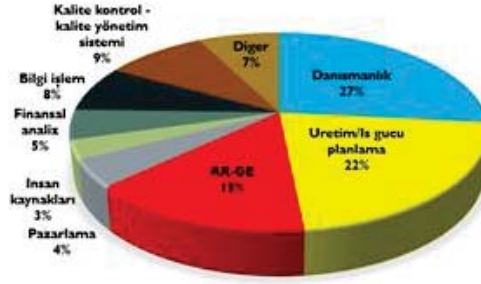
Şekil 23. Üniversitenizin Olumlu Yanları

Mühendislik öğrencilerinin lisans eğitimi hayatında en fazla karşılaştığı problemlerden biri staj yeri bulma konusudur. Katılımcılara "Üniversiteniz Staj Bulma Konusunda Yardımcı Oldu Mu?" diye sorduğumuzda mezunların %78'i bu soruya hayır, %22'si ise evet cevabını vermiştir. Üniversitelerin, öğrencilerine bu konularda daha yardımcı olması, öğrencilerin daha mutlu mezun olmasını sağlayacak ve kaliteli yerlerde staj yapmalarına zemin hazırlayacaktır.



Şekil 24. Üniversiteniz Staj Yeri Bulmada Size Yardımcı Oldu Mu?

Endüstri mühendisliği bölümünün gelecek on yıl içerisinde hangi doğrultuda gelişeceğini tespit etmek için mezunlara "Endüstri Mühendislerinin Gelecek 10 Yılda Çalışabileceği Alanlar Nelerdir?" diye sorduğumuzda ortaya çıkan cevaplar şekil 25 de gösterilmiştir.



Şekil 25. Endüstri Mühendislerinin Gelecek On Yılda Çalışabileceği Alanlar.

Şekil 25' e göre katılımcılar, endüstri mühendislerinin gelecek on yıl içerisinde %27 oranı ile en fazla danışmanlık firmalarında, %22 oran ile üretim planlama-kontrol alanında ve %13 oranı ile AR-GE alanında çalışacağını öngörmektedir. Bu durum, endüstri mühendislerine verilen lisans eğitiminin tekrardan güncellenip sektörün ihtiyaç duyduğu özelliklerde mühendis yetiştirilmesi gerektiğini belirtmektedir.

Türkiye' deki endüstri mühendisliği mezunu öğrencilerin özgüvenlerini tespit etmek ve kendilerini hangi seviyede gördükleri belirlemek adına, katılımcılara "Mezun Olduğunuzda Uluslararası Düzey-de Çalışabilecek Donanımda Olduğunuzu Düşünüyor Musunuz?" sorusunu yönelttiğimizde elde ettiğimiz sonuçlar şekil 26 da gösterilmiştir.

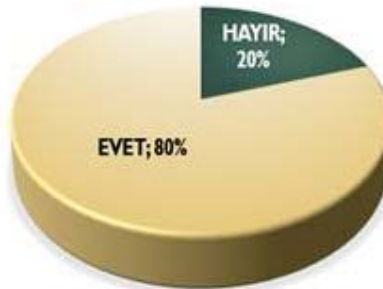


Şekil 26. Mezun Olduğunuzda Uluslararası Düzeyde Çalışabilecek Donanımda Olduğunuzu Düşünüyor Musunuz Sorusuna Verilen Anket Cevapları

Şekil 26' daki sonuçlara göre katılımcıların %79'u bu soruya hayır cevabını vermiştir. Bu durum ciddi bir problemin göstergesidir. Bu göstergenin birçok nedeni olabilmektedir. Bu nedenlerden bazıları aşağıda verilmiştir.

- Öğrencinin mesleki bilgisini tam olarak alamamış olması.
- Öğrencinin üniversitede aldığı eğitimin teoride kalması ve gerçek hayat uygulamalarından yoksun olması.
- Öğrencinin uluslararası düzeyde kendini ifade edebilecek dil seviyesine (özellikle İngilizce) sahip olamaması.
- Üniversite hayatı boyunca öğrencinin sürekli derslerle uğraşması ve sosyal yönünün sınırlı kalması.
- Öğrencinin kendi özelliklerinin farkında olamaması ve özgüven eksikliği.

Ankette üniversitelerin bahar şenliklerine desteğini görmek adına "Üniversitenizde Bahar Şenlikleri Yapılıyor Mu?" sorusu yöneltilmiş ve elde edilen sonuçlar şekil 27' de gösterilmiştir. Şekil 27'e göre Türkiye' deki üniversitelerin %80' i bahar şenliği yapmaktadır.



Şekil 27. Üniversitelerde Bahar Şenliklerinin Yapılma Durumu

Buraya kadar olan kısımda yapılan anket sonuçları detaylı bir şekilde analiz edilmiş ve bazı çıkarımlarda bulunulmuştur. Çalışmanın üçüncü bölümünde elde edilen sonuçlar istatistiksel açıdan yorumlanmış ve bu sonuçlara neden olan sebepler arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.

3. ANKET SONUÇLARININ İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Bu bölümde ankete verilen cevaplara dayalı olarak birtakım istatistiksel çıkarımlar yapılmış ve anket sonuçlarının yorumlanmasında çeşitli istatistiksel yöntemlerden yararlanılmıştır.

3.1. Anket Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

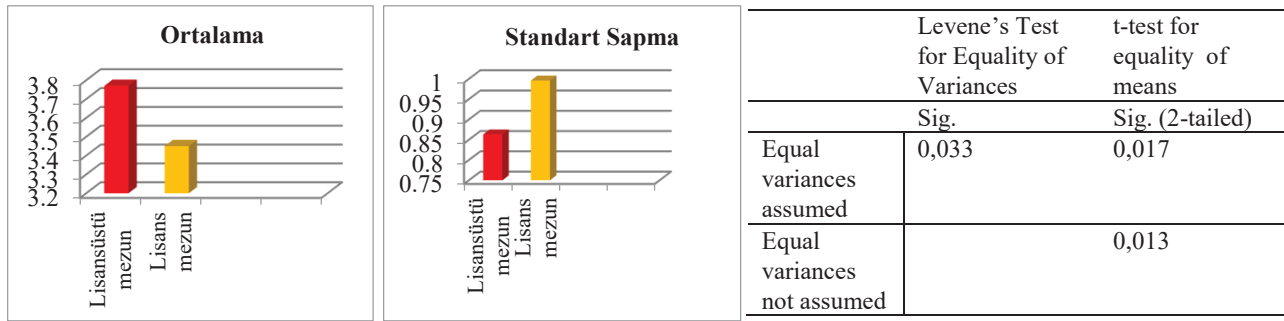
Anket çalışması sonucu elde edilen çıktılara dayalı olarak birçok istatistiksel çıkarım yapılabilen ve farklı bu bağlamda çeşitli istatistiksel yöntemler kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında yapılan çıkarımlar ve kullanılan istatistiksel yöntemler aşağıdaki gibidir.

Lisansüstü Ve Lisans Mezunlarının, Akademik Kadro Değerlendirme Ortalamalarının Aynı Olup Olmadığı.

Lisansüstü mezunu katılımcılar ile lisans mezunu katılımcıların akademik kadroyu değerlendirme konusunda aynı fikre sahip olup olmadıklarını belirlemek adına, bağımsız örneklem t-testine dayalı bir analiz çalışması yapılmıştır. Bağımsız örneklem t-testinde, tek örneklem t-testinden farklı olarak iki ayrı grubun ortalamaları karşılaştırılması ve bu ortalamalar arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığının belirlenmesi için bu yöntemle başvurulmuştur. Örneğin kızlar ile erkeklerin üniversite giriş sınavlarındaki başarılarının karşılaştırılmasında bağımsız örneklem t-testi kullanılabilir. İlgili testin yapılmasında ve çalışmada içerisinde yapılan tüm testlerde SPSS 15.0 programı kullanılmakta ve bu program yardımıyla aşağıdaki hipotez test edilmektedir.

H0 hipotezi: Lisansüstü ve lisans mezunlarının, akademik kadro yeterliliğini değerlendirme ortalamaları aynıdır.

H1 hipotezi: Lisansüstü ve lisans mezunlarının, akademik kadro yeterliliğini değerlendirme ortalamaları aynı değildir.



Şekil 28. Lisansüstü ve Lisans Mezunlarının Akademik Kadro Değerlendirmesine İlişkin SPSS Çıktısı

Şekil 28'e baktığımızda, Lisansüstü Ve Lisans Mezunlarının, Akademik Kadro Değerlendirme Ortalamaları aynı değildir. Lisansüstü mezunlar, akademik kadroyu daha yeterli bulmaktadır. Ayrıca iki grubun varyanslarının eşit olmadığı ilgili şekilden anlaşılmaktadır.

Mezunların aldıkları eğitimin değerlendirilmesi, öğretim elemanı-öğrenci ilişkisinden bağımsız mıdır?

Ankette soruya cevap verirken bireye etki eden birçok faktör bulunabilmektedir. Katılımcıların aldıkları eğitim değerlendirmesine de etki eden birçok faktör bulunabilmektedir. Öğretim elemanı-öğrenci ilişkisi de bu faktörlerden biri olabilmektedir. İstatistikte iki değişken arasında ilişki olup olmadığını kontrol etmek için çapraz tablolar yöntemi kullanılmaktadır. Bu bağlamda mezunların aldıkları eğitimi değerlendirirken, öğretim elemanı-öğrenci ilişkisinin bir etkisinin olup olmadığını çapraz tablolar yardımıyla anlaşılabilir ve arasındaki ilişki Ki-kare testi ile belirlenmeye çalışılmaktadır. İlgili test için kurulan hipotez ise aşağıda ifade edilmektedir.

H0: Mezunların aldıkları eğitimin değerlendirilmesinde, öğretim elemanı-öğrenci ilişkisinin bir etkisi yoktur.

H1: Mezunların aldıkları eğitimin değerlendirilmesinde, öğretim elemanı-öğrenci ilişkisinin bir etkisi vardır.

Yapılan analiz sonucunda Pearson Chi-Square için anlamlılık düzeyi 0.005 çıkmıştır. Bu değer 0.05 den küçüktür ve bu nedenden dolayı H0 hipotezi reddedilir. Yani alınan lisans eğitiminin değerlendirilmesinde, öğretim elemanı-öğrenci ilişkisi etkili bir faktördür.

Eğitim alınan üniversitenin akademik kadroları değerlendirilmesinde öğretim elemanı-öğrenci ilişkisi etkili midir?

Anket çalışmasında birçok değişken bulunabilmekte ve bu değişkenler arasındaki ilişkinin ne düzeyde olduğunu, birbirlerini olumlu mu ya da olumsuz mu etkilediklerinin bilinmesi istenmektedir. İstatistikte değişkenler arasındaki ilişkinin yönünün ve şiddetinin belirlenmesinde ise “korelasyon analizi” kullanılmaktadır. Çalışma içerisinde eğitim alınan üniversitenin akademik kadroları değerlendirilmesinde öğretim elemanı-öğrenci ilişkisinin hangi yönde ve ne düzeyde ilişkili olduğunun belirlenmesinde korelasyon analizinden faydalanılmaktadır. Yapılan analiz sonucunda mezun öğrencilerin akademik yeterliliği değerlendirmesi ile öğretim elemanı-öğrenci ilişkisi arasında %46,7 oranında yani orta düzeyde pozitif yönde anlamlı bir ilişki olduğunu görmekteyiz.

Lisans eğitiminin yeterliliği ile Seçmeli Dersler ve Projeli Dersler Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Anket çalışmasında bir sorunun değerlendirmesine etki edecek birden fazla değişken olabilmektedir. Burada herhangi bir değişkenin, diğer faktörlerden bağımsız olarak karara etki derecesinin belirlenmesi ve sorunun asıl sebebinin tespit edilmesi istenebilir. İstatistikte bir ya da birden fazla değişkenin etkisi kontrol altına alınarak iki değişken arasındaki ilişkinin belirlenmesinde “kısmi korelasyon analizi” kullanılmaktadır. Bu bağlamda, çalışma içerisinde lisans eğitiminin yeterliliği ile seçmeli dersler ve projeli dersler arasındaki ilişkinin incelenmesinde kısmi korelasyon analizinden faydalanılmaktadır.

			Lisans Eğitimini Yeterli Buluyor Musunuz?	Projeli Derslerinize Ne Kadar Faydalı Oldu?	Seçmeli Derslerinizin Bölümünüz Açısından Katkı(s) Nasıldır?
Control Variables	Lisans Eğitimini Yeterli Buluyor Musunuz?	Correlation	1,000	.338	.178
		Significance (2-tailed)	.000	.009	.009
		df	0	209	209
	Projeli Derslerinize Ne Kadar Faydalı Oldu?	Correlation	.338	1,000	.236
		Significance (2-tailed)	.000	.001	.001
		df	209	0	209
Seçmeli Derslerinizin Bölümünüz Açısından Katkı(s) Nasıldır?	Correlation	.178	.236	1,000	
	Significance (2-tailed)	.009	.001	.001	
	df	209	209	0	
Seçmeli Derslerinizin Bölümünüz Açısından Katkı(s) Nasıldır?	Lisans Eğitimini Yeterli Buluyor Musunuz?	Correlation	1,000	.309	
		Significance (2-tailed)	.000	.000	
		df	0	208	
Projeli Derslerinize Ne Kadar Faydalı Oldu?	Correlation	.309	1,000		
	Significance (2-tailed)	.000	.000		
	df	208	0		

Şekil. 29. Lisans Eğitiminin Yeterliliği ile Seçmeli Dersler ve Projeli Dersler Arasındaki İlişkinin İncelenmesine Ait SPSS Çıktısı

Şekil 29’ daki sonuçlara göre, lisans eğitimi ile projeli dersler arasında, seçmeli derslerin etkisi kontrol altına alındığında, pozitif yönlü, anlamlı ve zayıf bir ilişki olduğu, seçmeli derslerin ise projeli dersler ve lisans eğitimi üzerinde düşüğe olsa bir etkisi sahip olduğunu anlaşılmaktadır.

4. ANKET SONUÇLARINA GENEL BİR BAKIŞ

Bölüm 2’ deki detaylı analiz ve bölüm 3’ deki istatistiksel çıkarımlardan hareketle yapılan anket çalışmasına ilişkin genel bir değerlendirme yapılmış, tespit edilen problemler ile bunlara ilişkin bir takım öneriler aşağıda maddeler halinde ifade edilmiştir.

- Mezunlar, genel olarak üretim sektöründe çalıştıkları için Microsoft Ofis ve ERP programlarına ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenden dolayı Ofis ve ERP programlarının kullanılmasına ilişkin derslere olan eğilim artırılmalıdır.
- Office programları içerisinde Excel, en fazla ihtiyaç duyulan program olduğu tahmin edilmektedir. Bu kapsamda excel uygulamaları ile ilgili bir ders açılması, endüstri mühendisliği bölümü öğrencileri açısından oldukça faydalı bir işlem olacağı öngörülmektedir.
- Ankete katılanların %87’ si eğitim müfredatının güncellenmesi gerektiğini düşünmektedir. Teknoloji ve yazılım sektöründe meydan gelen gelişmeler, üretim başta olmak üzere tüm sektörleri etkilemekte, iş hayatında bu sistemleri algılayıp doğru bir şekilde yönetebilen mühendislere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumların dikkate alınarak müfredatın güncellenmesi ve yeni derslerin eklenmesi gerekmektedir.
- Genel olarak üniversitelerde en olumsuz yönün İngilizce ile ilgili olduğu anlaşılmaktadır. Bu alanda iyileştirme çalışmalarının yapılması, öğrencinin daha donanımlı bir şekilde mezun olmasına zemin hazırlayacaktır.
- Öğrencilerin problem yaşadığı bir diğer konu ise staj bulma işlemidir. Genel olarak öğrenciler staj bulamamakta, buldukları yerde ise stajdan yeterli kadar fayda sağlayamamaktadır. Bölümlerin bu konuda öğrencilere yardımcı olması ile birlikte öğrenci daha az zorluk yaşayarak hatta hiç yaşamayarak okulunun uygun gördüğü yerde staj faaliyetine gerçekleştirebilecektir.
- Yapılan anket çalışmasında uygulamalı derslerin çok faydalı olduğu görülmektedir. Bu bağlamda derslerin uygulama ve proje tabanlı olmasının daha yararlı olacağı tahmin edilmektedir.

- Öğrencilere endüstri mühendisliğinin öneminin daha iyi anlatılması ve kendi yeterliliklerinin farkında olması ile birlikte daha donanımlı ve özgüvenli endüstri mühendislerini yetiştirilebileceği öngörülmektedir.
- Mezunların büyük çoğunluğu üretim sektöründe çalışmaktadır. Bu bağlamda müfredatta üretim derslerine daha fazla ağırlık verilmeli ve dersler sektör uygulamaları ile daha fazla ilişkilendirilmelidir. Ayrıca bu alanla ilgili programların kullanımına ilişkin uygulama tabanlı dersler de verilmelidir.

Bu çıkarımların sayısı artırılabilir ve anket sonuçları farklı açılardan ele alınabilmektedir. Çalışma içerisinde tespit edilen durumlar ve bir takım öneriler yukarıdaki gibi olmakta, sonraki bölümde ise çalışma genel bir şekilde değerlendirilmekte ve sonraki çalışmalar için görüş ve öneriler sunulmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Lisans eğitimi, bireylerin yaşam döngüsü içerisindeki önemli aşamalardan biridir. Bu aşamada insanların büyük çoğunluğu yaşamları boyunca yapacakları mesleğe ilişkin bilgiler almakta, iş hayatına hazırlanmakta, belirli bir kültür ve bakış açısına sahip olmaktadır. Bu süreci verimli şekilde geçiren öğrenciler iş hayatında daha özgüvenli ve başarılı olurken, verimsiz geçiren öğrenciler iş hayatında daha az başarılı olmakta ve ilerleyen yıllarda eksiklerini kapatmak için ciddi bir efor sarf etmektedir. Bireylerin özgüvenli ve başarılı bir şekilde iş hayatına hazırlanmasında ise üniversitelere ve ilgililere büyük bir görev düşmektedir. Alınan lisans eğitiminin yeterliliği, sosyal ve kültürel imkânlar, kütüphane-laboratuvar imkânları ve akademik kadronun tutumu, bireyin başarısına etki eden önemli etkenlerden bazılarıdır. Üniversite ve bölümlerin bu konulardaki başarısı ise ancak öğrenciler mezun olduktan sonra ve iş hayatına geçince anlaşılabilir.

Bu çalışmada Türkiye’de endüstri mühendisliği eğitimi veren üniversitelerinin mezun görüşlerine dayalı olarak değerlendirilmesi, ilgili eğitimin, bölümün ve üniversitelerin olumlu ve olumsuz yönlerin tespit edilebilmesi için mezun görüşlerine dayalı bir anket çalışması düzenlenmiştir. Anket çalışması sonucu elde edilen çıktılar detaylı bir şekilde analiz edilmiş, istatistiksel açıdan incelenmiş ve çeşitli çıkarımlarda bulunulmuştur. Sonuç olarak bu çalışma ile Türkiye’de verilen endüstri mühendisliği eğitiminin mevcut durumunun analiz edilmesi, eğitimdeki problemlerin belirlenmesi ve çözülmesi adına bir taslak oluşturulması amaçlanmıştır.

Gelecek çalışmalarda katılımcı sayısının artırılması, farklı değerlendirme ölçütlerin belirlenmesi ve çeşitli istatistiksel metodların kullanılmasıyla daha anlamlı ve faydalı sonuçların elde edileceği düşünülmektedir.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışma Tubitak-BİDEB 2211 doktora burs programı tarafından desteklenmektedir.

REFERANSLAR

https://www.google.com.tr/search?q=%C3%BCniversite+e%C4%9Fitim&rlz=1C1NDCM_trTR717TR717&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewiC5YSz467XAhWEOsAKHaMIANsQ_AUIDCgD&biw=1366&bih=662#imgrc=hzYidfsD59m4mM: (Erişim Tarihi: 13.01.2018),

Biles, W. E. (1991). The engineering science of industrial engineering: a viewpoint of the industrial engineering curriculum. IIE transactions, 23(3), 208-214.

Buzacott, J. A. (1984). The future of industrial engineering as an academic discipline. IIE Transactions, 16(1), 35-43.

Chen, C. K., Jiang, B. C., & Hsu, K. Y. (2005). An empirical study of industrial engineering and management curriculum reform in fostering students' creativity. European Journal of Engineering Education, 30(2), 191-202.

Ellis, R. L., & Pun, K. F. (2010). Future of industrial engineering training at the university of the west indies: a curriculum proposal. 2nd Industrial Engineering and Management (IEM-2010) Conference

https://www.researchgate.net/publication/287990311_FUTURE_OF_INDUSTRIAL_ENGINEERING_TRAINING_AT_THE_UNIVERSITY_OF_THE_WEST_INDIES_A_CURRICULUM_PROPOSAL Erişim Tarihi: 13.01.2018)

Elsayed, E. A. (1999). Industrial engineering education: A prospective. European Journal of Engineering Education, 24(4), 415-421

Ercan, S., Metin, B. C., & Düzdar, İ. (2005). Endüstri mühendisliğine güncel bir bakış.

Erginel, N., Tekçe, M., Küçük, G., & Alper, A. (2016). Türkiye’de endüstri mühendisliği mesleğine bilimsel açıdan bir bakış. Journal of Industrial Engineering (Turkish Chamber of Mechanical Engineers), 27(1).

- Köksal, G., & Eğitman, A. (1998). Planning and design of industrial engineering education quality. *Computers & industrial engineering*, 35(3-4), 639-642.
- Kuo, W. (2003). The direction of education and research in industrial engineering. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 20(2), 83-90.
- Mummolo, G. (2007). The future for industrial engineers: education and research opportunities. *European Journal of Engineering Education*, 32(5), 587-598.
- Schutte, C. S., Kennon, D., & Bam, W. (2016). The status and challenges of industrial engineering in South Africa. *South African Journal of Industrial Engineering*, 27(1), 1-19.
- Yaşar, M. (2014). İstatistiğe Yönelik Tutum Ölçeği: Geçerlilik Ve Güvenirlik Çalışması. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi*, 36, 59-75.



Design of Remotely Controlled Hydraulic Bottle Jack for Automobile Applications

Ikpe Aniekan E.*¹ , Owunna Ikechukwu B.¹ 

¹ Department of Mechanical Engineering, University of Benin, Benin City, P.M.B. 1154, NIGERIA

Başvuru/Received: 07/06/2018

Kabul/Accepted: 27/08/2018

Son Versiyon / Final Version: 31/01/2019

Abstract

Remotely controlled hydraulic bottle jack was designed in this study to alleviate the difficulties encountered during auto servicing that requires certain choice of elevation. Major components of the hydraulic jack were housed in a metal casing of 220mmx220mmx180mm with 2mm thickness. Curb weight (weight of the car with all fluids and components but without the driver, passengers, and cargo) of several cars ranging from 1086kg-1970kg were determined using a scale at nearby automobile shop. Considering the weight of individual cars that the designed hydraulic jack elevated, the time required to attain upward stroke of the piston and specific height of elevation was recorded accordingly. The time varied between 1.2 minutes with specific height of 150 mm and 1.44 minutes with specific height of 112 mm. Half weight of 1970 kg (985 kg) was used as the load case in Finite Element Analysis (FEA) to check the stress deformations, displacement and equivalent strain. Maximum von-mises stress of 8.465×10^6 N/mm² was obtained which is below the yield strength of the jack piston material. Maximum displacement of 2.999×10^{-1} mm and maximum equivalent strain of 3.56×10^{-3} . Factor of safety was chosen on a scale of 1-10, and the colour chart in the analysis indicated blue colour in the range of 7-10 throughout the jack assembly. This was an indication that the jack is safe to operate under the aforementioned applied load. Therefore, adoption of remotely controlled hydraulic bottle jack can save time and energy required to elevate vehicles to working height.

Key Words

“Hydraulic jack, Automobile, Design, Remotely controlled, Electric motor.”

1. INTRODUCTION

Vehicles are lifted for various purposes like for downside inspection or repair, replacement of tyres etc. Till date, the application of manually operated devices also known as lifting gears such as block and tackles, hoists, rotating screws, gantries, wedges etc. in lifting and lowering of heavy equipment is still common in some developing countries with low technological expertise. However, the practice of lifting and lowering is as old as the existence of man, and continuous development of effective and suitable medium for lifting and lowering heavy equipment has evolved through these era. This study is focused on the design of remotely controlled hydraulic jack for lifting or jacking up of vehicles for basic maintenance and servicing. The application of a jack in automobile is generally for raising up vehicles so that auto mechanics/technicians can have more work space or easy access to perform various tasks underneath the vehicle. Jacks are commonly applicable to cars but are also used in several mechanical applications including industrial machineries (Patel et al. 2016). They can be short, tall, fat, or thin depending on the amount of pressure they are subjected to and the space they are required to fit into. In other words, Car jack is a mechanical device that allows drivers and mechanics to have easy access underneath a car, usually to replace tyres, oil or some car parts like the brakes. The need for the car jack is often necessitated by flat tyres that require repairs or replacement. Other cases where the use of car jack comes into play may include tasks that require going underneath the vehicle or cases where the mechanic has limited work space to access vehicle parts located at narrow areas. The type of car jack used will determine the amount of physical labour needed to raise the car up to the required height which sometimes may result in much exertion from the operator and could be time and energy consuming (Agu and Igwe, 2016). There are two major types of jacks namely, hydraulic jack and mechanical jack. In a typical hydraulic jack which usually consist of a cylinder and piston mechanism, the upward or downward movement of the piston rod is mainly used to raise or lower the load, whereas, Mechanical jacks can either be hand operated or power driven (Kamalakkannan et al. 2016). According to Singh & Mishra (2015), mechanical jacks are devices used for lifting and lowering heavy equipment. The most common types include a car jack, floor jack or garage jack which lifts vehicles so that maintenance can be carried out. Car jacks usually use mechanical advantage to simplify the act of raising up a vehicle and this in turn offsets the workforce and man power that could have been exhausted in the process. More powerful jacks use hydraulic power to provide more lift over greater distances. Mechanical jacks are usually rated for maximum lifting capacity. However, hydraulic jacks are typically used for shop work, rather than as an emergency jack to be kept in the trunk of a vehicle. Use of jacks not designed for a specific vehicle requires more than the usual care in selecting ground conditions, the jacking point on the vehicle, and to ensure stability when the jack is extended. Hydraulic jacks are often used to lift elevators in low and medium and high-rise buildings. In principle, hydraulic jack uses an incompressible fluid that is forced into a cylinder by a pump plunger (this depends on the pressure generated by the pump), and oil is generally used because of its lubricating effects on the moving parts (Singh & Mishra, 2015). When the plunger is pushed backward, it draws oil out of the oil sump through a suction check valve into the pump chamber. When the plunger is moved forward, it pushes the oil through a discharge check valve into the cylinder. The suction valve ball is within the chamber and opens with each draw of the plunger. The discharge valve is located outside the chamber and opens when the oil is pushed into the cylinder. At this point the suction valve within the chamber remains closed and oil pressure builds up within the cylinder (Majumdar, 2002; Sainath et al. 2014). Hydraulic jacks can be classified into three categories depending on their design and capacity and this includes bottle jacks, scissor jacks and floor jacks respectively. Lifting equipment is usually require in automotive and motorcycle workshops, and one of the major lifting equipment used in a typical automotive and motorcycle workshop is the bottle jack. This type of jack is widely known for its versatility, and it is not only applicable in raising up vehicles to the required height, but can equally play a vital role in pushing vehicles around. A typical bottle jack is compact in size, but are designed and built for maximum performance and efficiency. In recent times, the hydraulic jack design is replaced by a bottle Jack which takes the shape of a bottle, having a cylindrical body and neck from which the hydraulic ram emerges. In the bottle jack, a vertical piston directly supports a bearing pad which in turn serves as a supports for the load being lifted. With a single action of the piston, the lift is slightly less than twice the collapsed height of the jack (Deepa et al. 2016). In terms of portability, bottle jacks are a step up from scissor jacks. These jacks use a hydraulic mechanism and its principles to provide a lot of lift. They are designed in a wide range of sizes that can still fit into car trunks, and are more ideal for larger vehicle such as trucks or Sport Utility Vehicles (SUVs). Scissor jack is one the most common type of jack that is compatible with a wide range of cars. It is simple to lift and often found in the spare tire compartment of new cars. Scissor jacks operate by turning a large screw, which causes the two sides to “scissor” together and raise the car to the desired height. Scissor jack uses an arm to allow the car owner to lift the car. The lug nuts must be loosened if the car is jacked or raised up when changing tyres. The scissor jack is designed to turn the screw with the arm in a clockwise motion to raise the platform that the car rests on or the notch that fits into a hard point on the car's undercarriage (Oghenekome et al. 2014). They are usually lightweight and compact, so they make great additions to emergency kits. However, Floor jacks are mostly used in garages with jack stands. They are incorporated with wheels for easy movement, since they tend to be much heavier and unwieldy. These jacks are workhorses, particularly known for their durability and reliability, and are somewhat expensive than scissor or bottle jacks. Floor jacks will likely not be needed unless in cases where maintenance is performed often. Comparably, while a compact scissor jack is great for cars and convenient to tote around, equipment slightly beefier, such as the hydraulic floor jack might be necessary for vehicle that is on the larger side but bottle jack has a huge three-ton capacity and a height range of eleven to twenty-one inches, making it ideal for trucks, SUVs, and other large, heavy-duty vehicles.

2. METHODOLOGY

The power source was tapped from 12V battery in each of the cars the remotely controlled hydraulic jack was tested on. Electric cables with high corrosion resistance were used as extension wires from the cathode (-) and anode (+) of the battery and for connection between electric motor and micro-controllers. Prime mover of 12V, 312 watt, 2650 rpm electric motor was incorporated into the system to generate the torque transmitted to a pair of meshed spur gear. The gear system (driver and driven gear) was

introduced for the purposes of transmitting rotary motion of the prime mover to the crank link. Crank mechanism was installed in between the gear and the hydraulic cylinder to convert the rotary motion of the gear to linear motion required for the upward and downward movement of the jack plunger. Electronic Control Unit (ECU) was also added to the design to serve as control medium between the user and the device through a remote or switch controlled operation. The main function of the hydraulic system is to drive the bottle jack, a principle based on Pascal's law. For the base, a steel plate was cut and welded with external dimension as 216mmx216mmx30mm and 4mm thickness. After the complete construction work the unit was tested. Vehicle scale at nearby auto shop was used to determine the curb weight of several vehicles listed in this study. The control circuit was housed in a miniature panel casing. The design setup is shown in Figure 1 and 2.

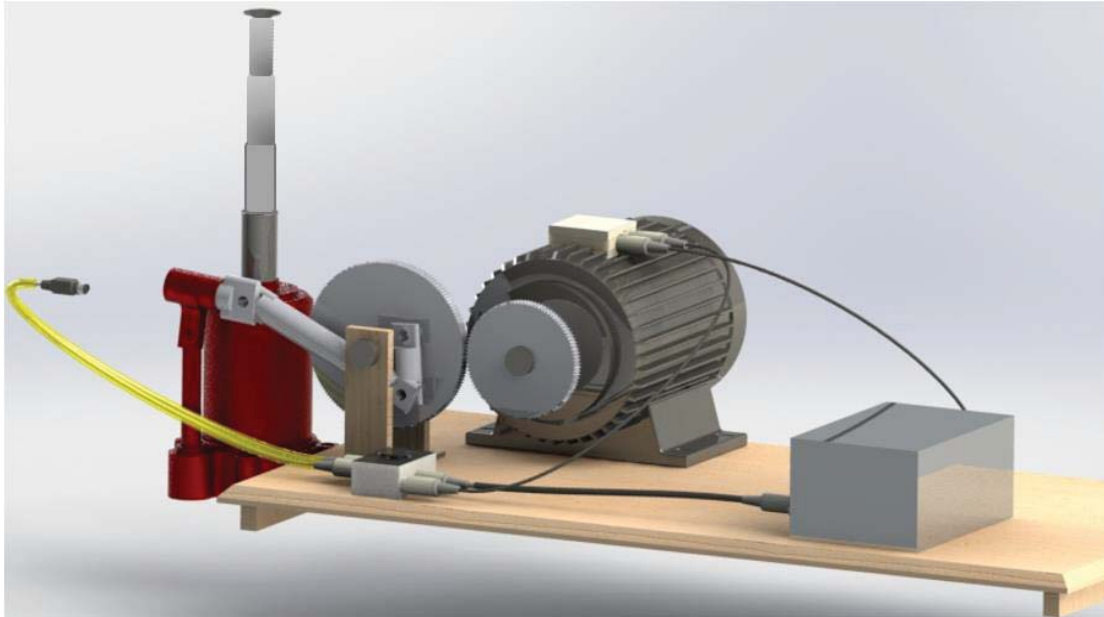


Figure 1. Front View of the Design Setup

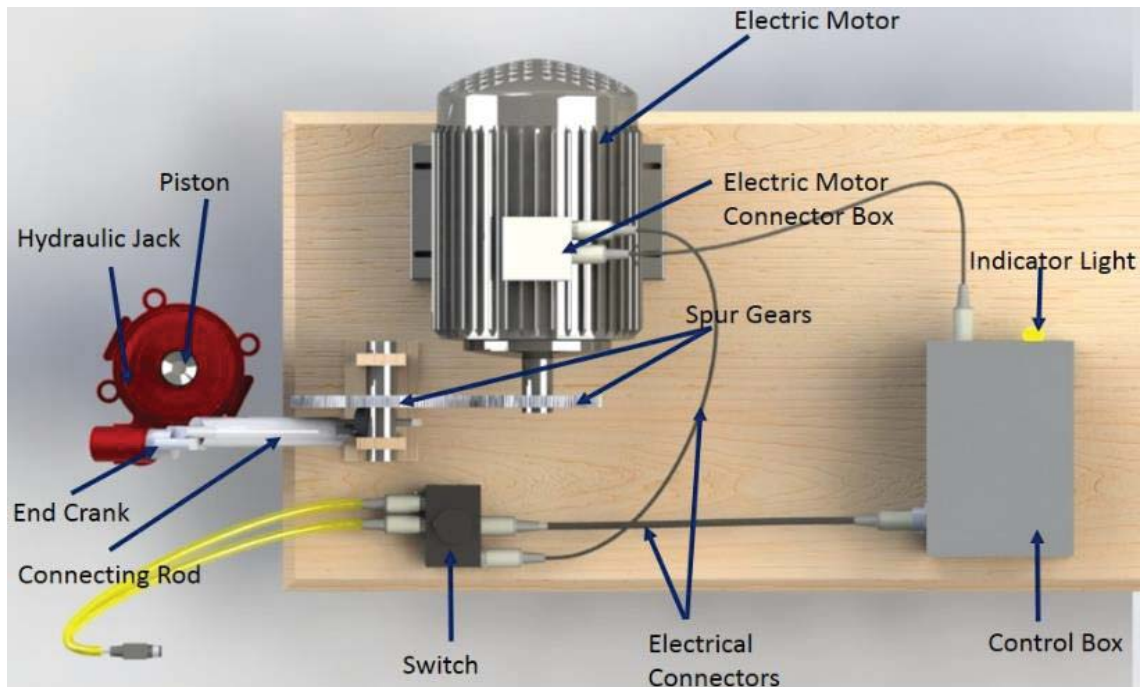


Figure 2. Plan View of the Design Setup

2.1. Working Principles

The motor connection cables are connected to the car battery terminals which provides power for the jack operation immediately after the power button is switched on. The jack consists of an electric circuit, electric motor, a switch, a control box, and the jacking assembly. The motor is supplied power through the electrical leads. When the switch is turned on, current flows to the control box,

to power it on. Meanwhile majority of the current flows to the motor to start the rotation of its shaft, the driving gear is connected to a larger driven gear for torque amplification. This rotation causes the four bar crank mechanism on the driven gear to rock the lever on the push rod to and fro thus pumping the fluid in the jack cylinder and by Paschal principle of pressure transmission, thus the piston begins to rise raising any load in its path. The control box has the following functions:

- i. Checks the current flowing to the motor.
- ii. Checks the condition of the motor during operation by measuring the working condition of the motor.

2.2. Gear System

To maintain the revolution speed of the motor, a spur gear system with the following specification was adopted.

For the driving gear;

No of teeth (N) = 9
 Pitch diameter (d_p) = 10mm
 Gear Module (m) = $\frac{d_p}{N} = 1.11mm$ (1)

For the driven gear;

No of teeth (N) = 62
 Pitch diameter (d_p) = 69mm
 Circular pitch (p) = $\frac{\pi d_p}{N} = \pi m = 3.5$ (2)

Using a gear motor with power rating of 6000W, the torque was calculated using equation 3;

$$T = \frac{P60}{2\pi n_p} = \frac{6000*60}{2*3.142*1850} = 31Nm$$
 (3)

Where, n_p is the rotational Speed of the gear motor in rpm

2.3. Crank System

This operates on variable degree of freedom which is the number of independent parameters required to define the position of every link in the mechanism. This does not depend on the length of the link but on the number of links, number of joints, types of joints and their distribution. The general equation for degree of freedom is given by equation 4;

$$F = \lambda[L - j - i] + \sum_{i=j} f_i$$
 (4)

Where F = Degree of freedom, L = Number of links, f_i = Degree of freedom of joints in the mechanism, j = Number of joints, λ = Degree of freedom of space (constant for the entire linkage). The kinematics analysis of a four bar linkage mechanism adopted for the hydraulic jack design in this study is based on Freudenstein equation (Ghosal, 2010) given by equation 5;

$$R_1 \cos \phi - R_2 \cos \psi + R_3 = \cos (\phi - \psi)$$
 (5)

Where, ϕ is the input angle, ψ is the output angle.

Figure 3 depicts the crank system showing the operating linkages, where, A, B, C, D, E, F, are the link lengths.

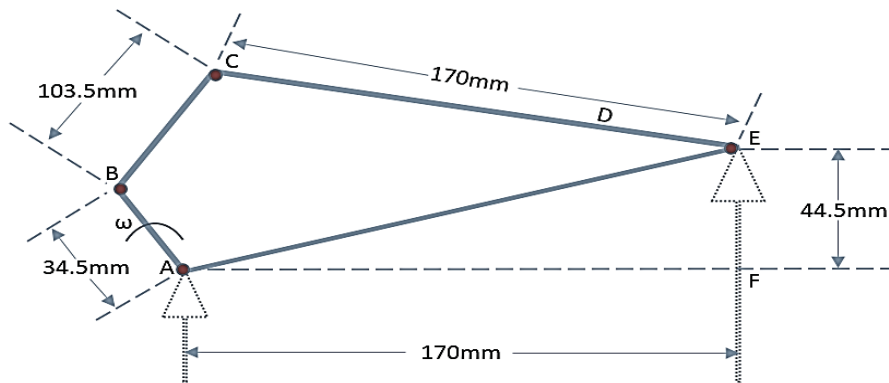


Figure 3: Operating Linkage of a Crank system

- AB = Crank = 34.5mm
- BC = Connecting Rod = 103.5mm
- CE = Lever arm = 170mm
- EF Distance between axis along x-axis = 44.5mm
- AF = Distance between axis along y-axis = 170mm

For optimal operation, it is important to consider the critical load at which the hydraulic jack can carry. The maximum load that can subject the jack plunger to a state of unstable equilibrium is known as critical load (P_{cr}), and can be calculated based on the following assumptions;

- i. Loading is only axial, therefore the centre of gravity of loading passes through the centre of gravity of the cross section.
- ii. Material is linearly elastic.
- iii. The material is free from initial stress.
- iv. Pin joints are frictionless and fixed ends are rigid.

Given by equation 6, the formula for determining critical load (longitudinal compression load on a column) was derived in 1757 by a Swiss mathematician known as Leonhard Euler.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (6)$$

Where E is the modulus of elasticity of the plunger material, P_{cr} is Euler's critical load, L is unsupported length of the plunger and I is the minimum area moment of inertia of the cross section of the plunger given by equation 7;

$$I = \frac{\pi D^4}{64} \quad (7)$$

Where D is the diameter of the plunger = 50mm, $E = 200 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ for A36 steel and the Length (L) at full extension = 180mm. Substituting these values into equation (6) gives;
 $P_{cr} = 18691090.93\text{N}$

2.4. Design Parameters for Cylinder

- i. Inner diameter of cylinder = 43 mm
- ii. Outer diameter of cylinder = 55 mm
- iii. Thickness of the cylinder = 3 mm
- iv. Pressure inside the cylinder = 9.6 N/mm²

2.5. Power Supply

The circuit needs a power supply of +5V for the control circuit. The power source of the circuit is from the car battery which 12V dc. Figure 4 shows the power supply diagram. R_L is a current limiting resistance for the regulator. To obtain the regulated +5V, a voltage regulator was used in the design to get the desired voltage.

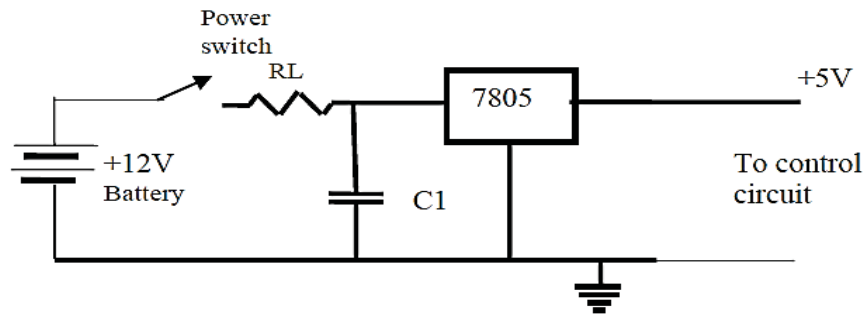


Figure 4: Power Supply Circuit

Specification for the 7805 Voltage Regulator is as follows;

Maximum input voltage = 35V

Output voltage = 5V

Drop out voltage = 2V

Minimum input voltage = 7V

Output current = 1A

Supply voltage $V_{cc} = 12\text{V}$

Regulator voltage $V_{reg} = 5\text{V}$

Load current $I_a = 0.3\text{A}$

R_L is a current limiting resistance for the regulator given as equation 8;

$$R_L = \frac{V_{CC} - V_{reg}}{I_a} = \frac{12 - 5}{0.3} = 23.3\Omega \quad (8)$$

The Infra-red Transmitter circuit is shown in Figure 5.

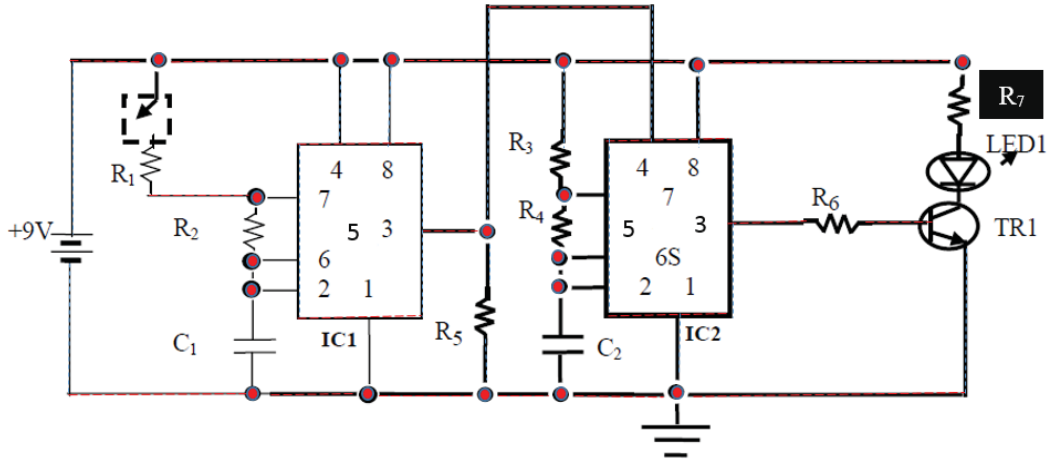


Figure 5: Infra-red Transmitter Circuit

The infra-red LED TIL131 has the following specifications;

Forward voltage drop $V_d = 3V$

Forward current $I_c = 15mA$

LED current $I_c = 15mA$

Supply voltage $V_{cc} = 9V$

R_L which is a current limiting resistance (R_7) for the circuit is given by equation 9;

$$\text{Limiting resistance } R_7 = \frac{V_{cc} - V_d}{I_c} = \frac{9 - 3}{15 \times 10^{-3}} \tag{9}$$

$R_7 = 400\Omega$

Figure 6 illustrates the DC motor-actuator control circuit incorporated in the jack assembly design

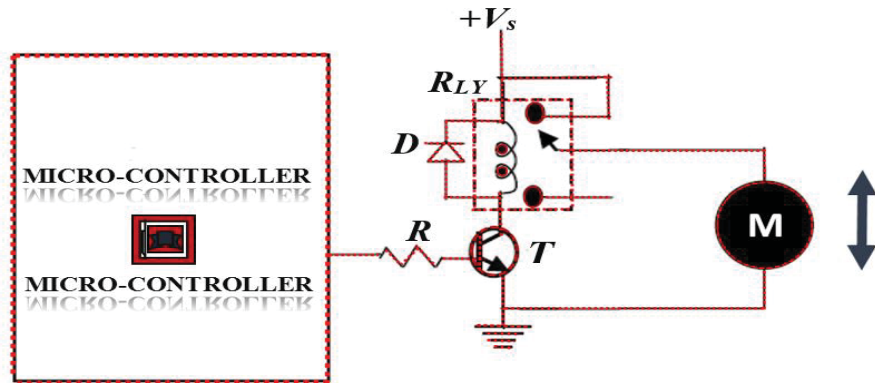


Figure 6: DC motor-actuator Control circuit

Incorporated with the motor-actuator control circuit is a transistor-relay switch that transmits power to the d.c motor to enable movement of the car jack. In other words, operation of the hydraulic jack is aided by a dc motor actuator via an infra-red transmitter which transmits a modulated infra-red beam to the receiver. The receiver amplifies and modulates the signal to suite the coded language of the microcontroller for upward and downward movement of the hydraulic jack. Figure 7 shows testing of the jack after the final design phase.



Figure 7: Testing of the Jack after the Final Design Phase

Effective stress also known as von-mises stress (named after Dr. R. Von Mises who contributed significantly to stress deformation theory) can be calculated theoretically using equation 10, but Finite Element Analysis (FEA) which saves more time and generates more accurate results (Ikpe et al. 2017a) was adopted in this study to determine the behaviour of the jack piston under loading condition.

$$\sigma' = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{10}$$

Mesh control was applied to the heat source in order to establish some salient factors such as the element shape, midside node placement and element size. Curvature based mesh was also applied in order to refine all regions of higher curvature, as these regions are prone to stress formations due to the cylindrical shape of the heat source. These information are basically for the model development process, and can affect the accuracy of the model and subsequent analysis. Generally, the denser the mesh, the higher the accuracy of the solution. This is evidence in Table 1, where the meshed model can be visualized to be highly dense. The boundary conditions employed in the analysis are presented in Table 2.

Table 1. Selected Mechanical Properties for the Hydraulic Jack Model

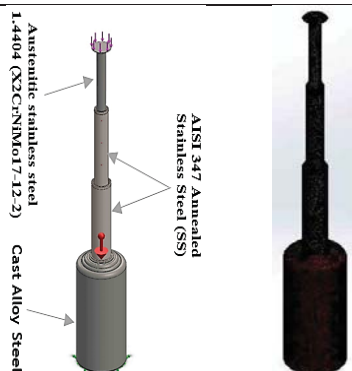




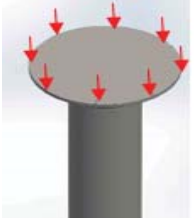
Jack Model	Mesh Visualization (Solid Mesh)	Mechanical Properties		
		Austenitic stainless steel 1.4404 (X2CrNiMo17-12-2)	AISI 347 Annealed Stainless Steel (SS)	Cast Alloy Steel
		Yield strength: 4e+008 N/m ²	Yield strength: 2.75e+008 N/m ²	Yield strength: 2.41275e+008 N/m ²
		Tensile strength: 6e+008 N/m ²	Tensile strength: 6.55e+008 N/m ²	Tensile strength: 4.48082e+008 N/m ²
		Elastic modulus: 2e+011 N/m ²	Elastic modulus: 1.95e+011 N/m ²	Elastic modulus: 1.9e+011 N/m ²
		Mass density: 8000 kg/m ³	Mass density: 8000 kg/m ³	Mass density: 7300 kg/m ³
		Thermal expansion coefficient: 1.1e-005 /Kelvin	Thermal expansion coefficient: 1.7e-005 /Kelvin	Thermal expansion coefficient: 1.5e-005 /Kelvin

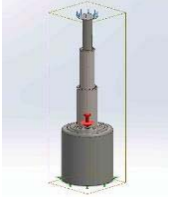
Table 2. Boundary Condition Employed in the Bottle Jack Analysis
Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details
Fixed-1		Entities: 1 face (s) Type: Fixed Geometry

Resultant Forces				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force (N)	-0.142613	34260.6	0.556175	34260.6
Reaction Moment (N.m)	0	0	0	0

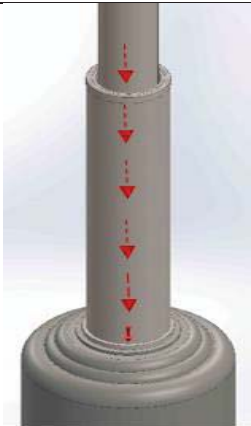
Table 2 (cont). Boundary Condition Employed in the Bottle Jack Analysis

Load		
Load name	Load Image	Load Details
Pressure-1		Entities: 18 face(s) Type: Normal to selected face Value: 8 Units: N/mm ² (MPa) Phase Angle: 0 Units: deg
Gravity-1		Reference: Top Plane Values: 0 0 -9.81 Units: m/s ²
Force-1		Entities: 1 face(s) Type: Apply normal force Value: 31137.6 N

Contact Information		
Contact	Contact Image	Contact Properties
		Type: Bonded Components: 1 component (s) Options: Compatible mesh

In load bearing applications like the hydraulic jack, highly dense mesh implies that the load bearing capacity of the component is high. This is usually justified in a simple static analysis which will be presented later in this study. The mesh details selected in this study are presented in Table 3.

Table 3. Mesh Properties and CAD Model showing the Direction of Force under Loading

Mesh Information	Mesh Details	Direction of Force
Mesh type	Solid Mesh	
Mesher Used	Curvature-based mesh	
Jacobian points	4 Points	
Maximum element size	4.07967 mm	
Minimum element size	0.815933 mm	
Mesh Quality Plot	High	
Total Nodes	266210	
Total Elements	160764	
Maximum Aspect Ratio	49.528	
% of elements with Aspect Ratio < 3	97.2	
% of elements with Aspect Ratio > 10	0.151	
% of distorted elements (Jacobian)	0	
Time to complete mesh (hh:mm:ss)	00:01:25	

3. RESULTS AND DISCUSSION

Table 4 shows the list of car models and curb weight the jack was tested with, and the overall time required to elevate a given car to desired height. Curb weight of several vehicles was considered in this study which involved vehicle weights with all fluids and components without the driver, passengers, and cargo. A vehicle scale at nearby auto shop was used to determine the curb weight of different vehicles.

Table 4. List of Car Models and curb weight used for testing the Jack

S/N	Car Model	Curb Weight (Kg)	Height above ground (mm)	Time (Minute)
1	2012 Toyota Avalon	1620	120	1.32
2	2012 Toyota Camry	1446	130	1.28
3	2012 Toyota Prius	1379	135	1.19
4	2013 Toyota Matrix	1309	135	1.22
5	2013 Chevrolet Malibu	1539	125	1.30
6	2013 Chevrolet Corvette	1455	130	1.26
7	2013 Chevrolet Equinox LS	1713	115	1.39
8	2012 Subaru Outback	1585	125	1.31
9	2014 Subaru Impreza	1455	130	1.30
10	2013 BMW 740i Sedan	1970	112	1.44
11	2012 Honda Civic LX Coupe	1187	145	1.9
12	2013 Hyundai Accent	1086	150	1.2
13	2013 Hyundai Elantra	1225	140	1.14
14	2012 Scion xB	1398	135	1.20
15	2012 Scion TC	1407	130	1.27
16	2013 Buick Regal	1632	120	1.33
17	2014 Buick LaCrosse	1703	115	1.38
18	2014 Buick Verano	1496	130	1.26
19	2013 Kia Optima Hybrid	1585	125	1.30
20	2014 Kia Cadenza	1663	120	1.34
21	2012 Lexus IS-F	1714	115	1.40
22	2013 Audi A6	1670	120	1.32
23	2014 BMW 5-Series	1730	115	1.39

As shown in Table 5, the forces acting on the jack piston under loading condition are observed to occur in three different directions including the X, Y and Z direction. However, the values obtained for the forces on X and Z directions were negligible and would have an insignificant effect on the geometry of the jack piston under service condition, whereas, the value obtained for the force (34260.6 N) acting on the jack piston in Y direction was significant in a manner that can incite stresses, displacements and strains on the jack piston. Depending on the severity of forces acting on the material, deformations may ensue that can result in failure of the piston when subjected to intense loading condition. Reaction forces acting on all the three (3) directions and the resultant force are presented in Table 5. Figure 8 represents the von-mises stress and displacement distribution on the Jack Piston while Figure 9 represents the strain and factor of safety distribution on the jack piston.

Table 5. Forces Acting on the Jack Piston under Loading Condition

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant Force (per Force point)
Entire Model	N	-0.142613	34260.6	0.556175	34260.6

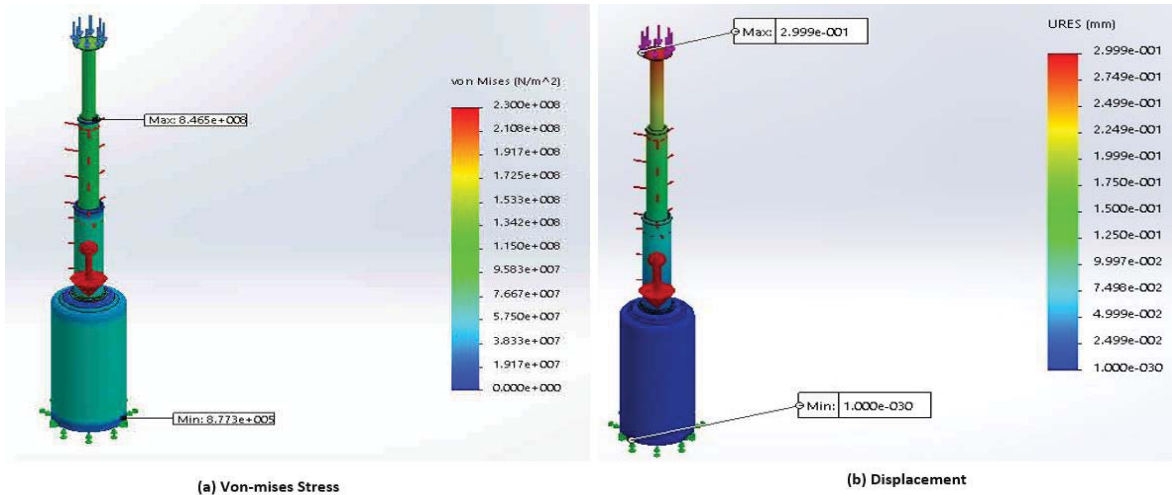


Figure 8. Von-mises stress and Displacement Distribution on the Jack Piston

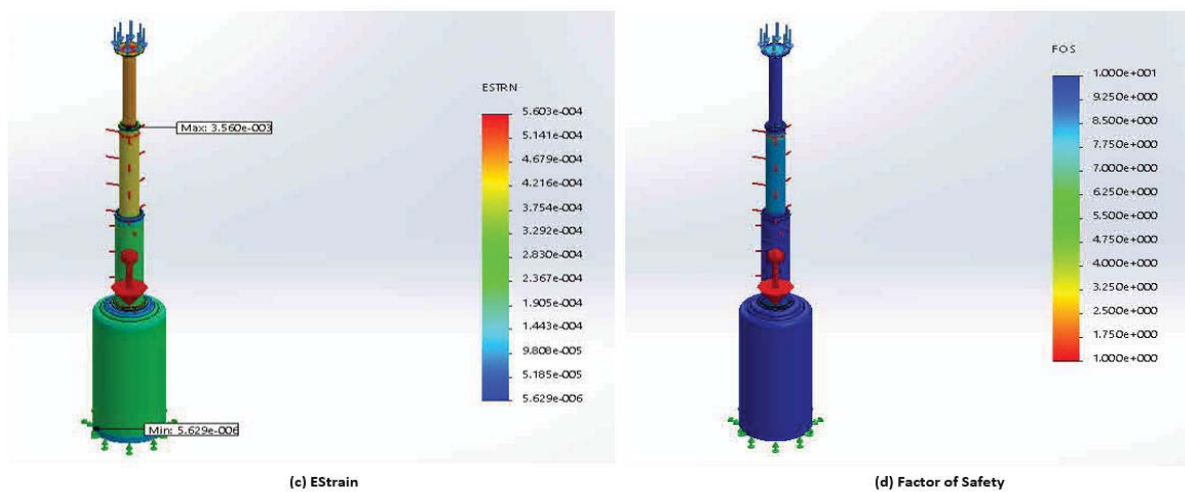


Figure 9. Strain and Factor of Safety Distribution on the Jack Piston

Program for the circuit was written in assembler language MPASM. The codes were computed and downloaded to the PIC16F84A. The infra-red beam is directed towards the receiver unit where the signal is received by infra-red module and demodulates it to produce an output which is transferred to the microcontroller. A code was also generated for the microcontroller to monitor the output of the infrared sensor and decode it for the upward movement of the jack. The microcontroller on reception of pulses checks for frequency and if it is 68Hz, allows the motor to control the jack for upward movement by sending a pulse to TR3. TR3 in turn conducts and activate the relay (RLY). The jack is controlled downwards by manually adjusting the valve for downward movement control of the jack. An optimal synthesis of a four-bar linkage by method of controlled deviations was adopted. The advantage of this approximate method is that it allows control of motion of the coupler in the four-bar linkage such that the path of the coupler is in lined with the desired direction. The curb weight for 2013 BMW 740i Sedan (1970 kg) which was the highest among all the car models was divided into two halves and one half of the curb weight (985 kg) was assumed to be the weight handled by the jack at each phase of operation. This is because, the jack is designed to jack-up only one side of the vehicle at a time and that weight is one half of the vehicle curb weight (985 kg). Assuming the jack is subjected to a load of 985 kg in each operational phase, it is therefore important to check the stress distributions around the jack piston which is constrained from the top to the bottom (base) in its service condition. According to Ikpe et al. (2017b), Von Mises stress is the design criterion used in ductile materials to analyse failure. It is a stress deformation theory that helps verify how a given design will perform under the influence of forces and helps in predicting whether or not failure will occur. Therefore if at any point in the model, von-mises stress induced in a material is higher than the yield strength of the material in a design, there is high tendency of failure occurrence and vice versa. Static analysis was carried out using SOLIDWORKS 2017 version to determine the stresses induced on the piston under one sided vehicle load of 985 kg to determine if the jack component design is safe under the influence of the aforementioned load case. Under the aforementioned vehicle load, maximum von-mises stress of $8.465 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$ (MPa) and minimum von-mises stress of $8.773 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ was obtained from the analysis presented in Figure 8a. Making reference to von-mises stress deformation theory, maximum von-mises stress obtained from the analysis was below the yield strength of all the three (3) materials presented earlier in Table 1, implying that the design is safe under the specified conditions. Furthermore, maximum and minimum displacement of $2.999 \times 10^{-1} \text{ mm}$ and $1 \times 10^{-30} \text{ mm}$ was obtained as shown in Figure 8b with maximum and minimum equivalent strain of 3.56×10^{-3} and 5.629×10^{-6} as shown in Figure 9c. From the maximum strain value, it can be observed that the rate at which elongation occurred on the jack piston as a result of the applied load was within tolerable level that will not result in the displacement value being outrageous. Factor of safety plays a vital role in mechanical engineering designs, as users of engineering components oftentimes

overload the components beyond their design limit which eventually exposes the component to premature failure during service condition. However, selection of low Factor of Safety (FOS) in engineering design implies that such design may not always meet its design life expectancy due to poor design considerations and low integrity and vice versa (Ikpe et al. 2016). As presented in Figure 9d, FOS plot shows the distribution of the FOS about the entire model. The FOS is defined by the ratio of the Design load to the von-mises stress. From the distribution about the model in Figure 9d, a scale of 1-10 can be observed for the FOS in which case a very low factor of safety is prone to failure and vice versa. The distribution chart however indicated that a factor of safety between one (1) and two (2) may likely be prone to failure under half weight of 1970 kg which was assumed as the weight on one side of the vehicle. From the colour distribution chart in Figure 9d, areas with FOS between three (3) and six (6) was designated by yellow and pear green colours which implied that areas with these colours are most likely safe but may not withstand further service loads acting on them. In addition, areas with FOS between seven (7) and ten (10) was designated by turquoise blue and royal blue colours which indicated that areas with these colours are safe and can withstand further service loads acting on them. However, carefully observing the FEA jack model from the colour distribution chart from the top of the piston to the base of the hydraulic jack presented in Figure 9d, royal blue colour was predominant with little traces of turquoise blue on the mid-section of the upward projecting piston. This was a clear indication that the design FOS was between the range of 7 and 10, and this is very much safe considering the colour distribution factor.

5. CONCLUSION

In this study, Remotely Controlled Hydraulic Bottle Jack was designed and tested on eighteen (18) different car models to observe its workable height on each of them. Finite Element Analysis was employed in modelling and examining the stress deformations, displacements and equivalent strains when the jack is subjected to half the curb weight of 2013 BMW 740i Sedan and it took 1.44 minute to hoist one half of the maximum curb weight (985) which was assumed as the weight on one side of the vehicle. Compared to the time and energy required to manually hoist different vehicles to workable heights, the remotely controlled hydraulic bottle jack designed in this study can save vehicle users and auto mechanics a considerable amount of time and energy, and above all provide comfort during maintenance and trouble shooting in automobiles related problems.

REFERENCES

- Agu, C. S. & Igwe, J. E. (2016). Design and Construction of a Remote Control Car Jack. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 5(8), 76-80.
- Deepa, A., Naveen, K. B. & Sagarnath, G. (2016). Design, Development and Testing Of Novel Remote Controlled Electrically Operated Hydraulic Jack. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(12), 7958-7961.
- Ghosal, A. (2010). The Freudenstein equation: Design of four-link mechanisms. *Resonance*, 15, 699-710.
- Ikpe, A. E., Owunna, I. & Ebunilo, P. O. (2016). Determining the Accuracy of Finite Element Analysis when Compared to Experimental Approach for Measuring Stress and Strain on a Connecting Rod Subjected to Variable Loads *Journal of Robotics, Computer Vision and Graphics*, 1(1), 12-20.
- Ikpe, A. E. & Owunna, I. (2017a). Design of Vehicle Compression Springs for Optimum Performance in their Service Condition, *International Journal of Engineering Research in Africa*, 33, 22-34.
- Ikpe, A. E., Owunna, I. B. and Satope, P. (2017b). Design optimization of a B-pillar for crashworthiness of vehicle side impact, *Journal of Mechanical Engineering and Sciences* 11(2), 2693-2710.
- Kamalakkannan, A. Kalaiselvan, P. Isaac, R. & Vijay, V. (2016). Automatic Motorized Screw Jack to Reduce Man Power. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7 (5), 21-24.
- Majumdar, S. R. (2002). *Oil Hydraulics Systems: Principles and Maintenance*. Tata McGraw-Hill Education, ISBN-13:9780071406697.
- Oghenekome, E., Oladimeji, T. & Oshevire, P. (2014). Design and Implementation of a Remote Controlled Car Jack. *Journal of Advancement in Engineering and Technology*, 1(1), 1-7.
- Patel, P. M., Patel, P. S., Shah, V. H. and Shah, S. R. (2016). Automatic Hydraulic Jack Inbuilt in a Four Wheeler. *International Journal of Scientific & Technology Research* 5(8), 156-158.
- Singh, B. & Mishra, A. (2015). Analysis and Fabrication of Remote Control Lifting Jack. *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS)* 1 (3), 308-319.
- Sainath, K., Mohd, J. B. & Mohd, S. (2014). Design of mechanical hydraulic jack. *IOSR Journal of Engineering*, 2278-8719.



Mathematical Modeling and Simulation of Full Flight Helicopter Simulator

M. Taylan Das^{*1} , Ismail Kumpas² 

¹ Kirikkale Üniversite Ankara Yolu 7. Km,71450, Kirikkale, TURKEY

² Vestel Savunma, 06935 Ankara, TURKEY

Başyuru/Received: 16/08/2018

Kabul/Accepted: 25/11/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Abstract

In Aviation, Flight simulators are highly technological devices which are especially used to create the highly-accurate and zero-risk training environment for orientation, emergency, refresher, combat readiness & maintenance / testing pilot training. Full Flight Simulators are the simulators including a cockpit exactly like the real cockpit, visual system which is very close adapting the outside world images, a main simulation software which simulates the aerodynamic flight performance and the disruptive effects of helicopter. In this study, mathematical modelling of AS-532 Cougar helicopter is performed by using Newton-Euler equation. Matlab-Simulink is used for demonstration of simulation results. Comparison of real simulator values and simulation results are enclosed.

Key Words

“Mathematical Modelling, Simulation, Full Flight Simulator”

1. INTRODUCTION

The aviation industry has correlated with simulation more than any other safety-critical industry. While simulators are still used for stick-and-rudder and instrument training, today they are also part of practically all aspects of aviation training and further the new multi-crew pilot license (MPL) rests almost entirely on simulated flight training. The investment in simulation for aviation industry ensures industry-wide confidence that it can save time, money and lives, in addition to provide effective training.

The importance of pilot flight training simulators is increasing day by day for military use as well as civil use. Nowadays, the importance of Simulator is increasing on both Military and Civilian Pilot Trainings. Simulator provides for excellent flexibility in training of normal, abnormal, and emergency procedures as well as flight maneuvers for initial training, recurrent training and type rating certification.

Flight simulators play a critical role in modern aviation training and give perfect opportunity to the pilots training with realistic flight instruments with realistic malfunctions. Flight simulators help new pilots to prepare real flights and gain experience on flight controls and help experienced pilots to refresh their flight procedures. In addition, pilots can try several malfunctions safely and low-cost that cannot be tested or difficult to try but possible to occur on real flight (ICAO, 2014).

Flight hours on modern simulators are considered actual flight hours cause of feeling almost all effects on aircraft. So that the actual flight hours revised in pilot flight trainings and some of these hours are applied on simulators. For instance; Turkish Air Force (TURAF) revised initial flight training on training aircraft (before fighting aircraft). Normally new pilot needed 85 actual flight sorties to get the flight certification or flight license. While TURAF had added to train on simulator in initial flight training new pilot needs 69 actual flight sortie and the remaining's are on 10 modern simulators (that are developed and produced by HAVELSAN) for getting the flight certification. The training is applied in this situation nearly one year and 30,000 hours' simulator training is used. This training increases the effectiveness and safety of flight trainings are observed (Dahlstrom, N et al., 2009).

Simulator trainings provide especially for new pilots to improve readiness of cognitive situations and train behaviors what to do during unexpected cases. Because simulator trainings provide flexibility in training of normal, abnormal, and emergency procedures as well as flight maneuvers for pilots that they cannot try or having great risk to try them during actual flight. Therefore; to decrease the risk of any accident, simulator training is more safe, effective and economic training method (MSI, 2015).

Literature review is achieved for types of simulators and understanding of full flight simulator. Then, Modeling and disruptive effects are described. Simulation results are compared with real simulator data. Especially used simulator which is designed with high technology and modeled of the dynamic effects and simulation of the real aircraft is described detailed. In addition to known disruptive effects which are widely used by commercial simulators, AS 532 Cougar Helicopter simulator designed by HavelSAN has 9 types and 271 malfunctions/disruptive effects (420 if sub-malfunctions included).

1.1 Flight Simulators

The flight simulator is a system that tries to simulate as closely as possible and in a realistic manner while in the experience of actual flight. Flight simulators have great wide-concept from computer games to Full Mission / Full Flight Simulators that can be controlled by advanced computer technology and have an exact same cockpit mounted on the hydraulic or electromechanical actuators (HavelSAN, 2007).

Flight simulation can be defined as a representation of the dynamic characteristics of vehicles and systems that have different realities with the purpose of research, design, development, training or entertainment. Flight simulation should be real time during training. Real time means all temporal relationship on simulator should be same as on aircraft. For instance; weather situation, terrain situation, aerodynamics effects, sound effects on simulator should be same as on real aircraft.

Flight simulators used especially for type-rating training in civil aviation. It is also widely used for refreshment training. Federal Aviation Administration (FAA) approves all type-rating training on the simulator if the simulator meets the requirements of Airplane Simulator Qualification AC120-40C published by FAA. Same as FAA, the other authority European Aviation Safety Agency (EASA) also accepts all type-rating training on the simulator if the simulator has the certification of JAR-FSTD-A (for airplane) or JAR-FSTD-H (for helicopter) published by EASA. Regarding to this certification, there are four levels (A-B-C-D) per maturity and realistic level. Level D is the highest full flight simulator qualification. If the simulator has Level D certification, it means this is equipped with high technological systems.

1.2 Full Flight Simulators (FFS)

Full Flight Simulators (FFS) are the simulators comprising many sub-systems such as; a cockpit exactly like the real helicopter / aircraft cockpit, a high-fidelity visual system which is very close adapting the outside world images, a main simulation software which simulates the aerodynamic model and the behavior of the flight system of helicopter / aircraft, 6-axis motion system (6 DOF motion system) and control loading system which provide accurate physical sensations. (HavelSAN, 2007) The pilot can interact with the simulator in real time since the simulation software is in real time. All displays which are generated by very complicated computers called Image Generators (IG) are an almost real world that you cannot recognize you are in the simulator. All

instruments, avionics and hardware in the cockpit are real or simulated equipment. All sound effects and communications are simulated.

In the full flight simulator, the pilot can observe the velocity, altitude of the aircraft in the cockpit instruments. Orientation changes can be observed in the visual system and seen again in cockpit indicators. Calculated accelerations and changes in these calculated values are felt by the help of the motion system. Control loading system provides pilots accurate force feedback of flight controls. High-frequency vibration effects are given to the pilot via vibration system. The aircraft position on the earth can be exactly observed from navigation instruments. It means that pilots can feel all aircraft effects on a full flight simulator. (Wikipedia,2016)

The Eurocopter AS-532 Cougar is a twin-engine, medium-weight, multi-purpose helicopter shown in Figure 1(a). All tests for this study were realized in the full flight simulator of AS-532 Cougar Helicopter Platform having Level-D certification shown in Figure 1(b).



Figure 1 (a) AS-532 Cougar Helicopter, (b)AS-532 Cougar Helicopter Full Flight Simulator

2.SIMULATION AND MODELLING

2.1 Simulator Specifications

This full flight simulator has been designed and manufactured in order to create the highly-accurate and zero-risk training environment for orientation, emergency, refresher, combat readiness & maintenance / testing pilot training of AS-532 Cougar helicopter pilots. It is designed in HAVELSAN, one of Turkish Defense Company. Providing experience and capabilities required for each pilot can be achieved with the most realistic training at six-axis motion platform using an unlimited variety of scenarios with effects created by the computer by using realistic three-dimensional modeling of the AS-532 Cougar flight missions in the simulator environment. The full flight simulator of Cougar helicopter basically includes main software simulation, instructor operation station, input/output (I/O) system, visual system, motion system, control loading system, sound system and vibration system. All related software and hardware work compatible with each other.

The main software contains high-fidelity helicopter flight and mission subsystems models. The core of the flight-related subsystems is six-DOF (Degree of Freedom) flight dynamics modeling with rigid body assumption. The translational and rotational equations of motion are derived by using Newton-Euler Law. These calculations support the all mission profile phases. These phases are taxi, take-off, IGE (In Ground Effect) hover, OGE (Out of Ground Effect) hover, low and high-speed cruise, climb, descent, vertical climb, auto-rotation, and landing. In addition, detailed Stability Augmentation System (SAS) and Automatic Flight Control System (AFCS) modeling are performed. High-fidelity aerodynamic modeling for main rotor, tail rotor, and fuselage is realized. Detailed engine and transmission system modeling are included. Other flight related subsystems physical models such as electrics, hydraulics, and fuel system are included. Similarly, related sensor and navigation models are realized.

In brief, simulator has technical specifications as; JAR Level D qualification in international (EASA) standards; Six-Axis hydraulic motion system; Three-axis vibration platform, 220 ° horizontal x 60 ° vertical visual system, 5-Channel image generator and projectors.

In order to support the pilot training, there are approximately 271 (if sub-malfunctions included it will be approximately 420) defined malfunctions available in the Cougar helicopter flight simulator. Malfunctions are identified for different subsystems such as engine, electrics, hydraulics, fuel, sensor & navigation and automatic flight control system.

The main training capabilities of simulator are Cockpit Procedures; Engine Start-Up, Taxi Controls and Taxiing, Landing, Take-off, Normal and Emergency Procedures; Engine Stop and Rotor Stop, Search & Rescue Training. Figure 2 demonstrates the cockpit view of helicopter.



Figure 2. AS-532 Cougar Helicopter Full Flight Simulator Cockpit View

2.2 Mathematical Model

The mathematical modeling of the helicopter flight dynamics is built-up by using superimposing the component effects. The forces and moments that are affecting on the related component such as the main rotor, tail rotor, fuselage, propulsive subsystem, and landing gear subsystem are calculated and then these calculated forces and moments are transported to the center of gravity of the helicopter. The equations of motions including translational and rotational manner are derived. Acceleration, velocity and position equations of the helicopter are obtained. During this calculation, the effect of altitude, air pressure and temperature change are also included into model. Ground effect is added in the aerodynamic calculations especially in the hover modeling. The helicopter and surface type interactions are taken into account during taxi, take-off and landing phases. The force and moment equations in body axis system (shown in Figure 3) can be given as follows;

$$\text{Force Equations} \quad : \quad \vec{F} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} \Big|_B + m \cdot \vec{\omega} \times \vec{V} \quad (1)$$

$$\text{Moment Equations} \quad : \quad \vec{M} = \frac{d\vec{H}}{dt} \Big|_B + \vec{\omega} \times \vec{H}, \quad \vec{H} = I\vec{\omega}_E \quad (2)$$

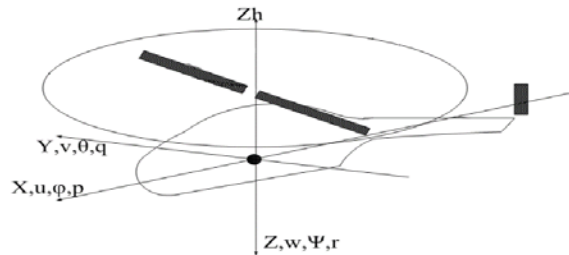


Figure 3. Body Axis System Representation

Where F is the total force vector, M is the total moment vector. The force components in the body axis system are X, Y, Z ; and moment components in body system axis are L, M, N . Translational velocity components are u, v, w ; and rotational velocity components are p, q, r . The helicopter mass is m and $\vec{\omega}$ the angular velocity, \vec{V} the translational velocity, \vec{H} the angular momentum and I represented as the inertia matrix. Euler angles ϕ, θ, ψ represent roll, pitch, and yaw respectively. Subscript B refers to body axis system, subscript E refers to Earth-Fixed axis system.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = m \begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \end{bmatrix} + m \cdot \det \begin{bmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ p & q & r \\ u & v & w \end{bmatrix} \quad (3)$$

Then, by re-arranging the equations;

$$\begin{aligned} \dot{u} &= \frac{X}{m} + rv - qw \\ \dot{v} &= \frac{Y}{m} - ru + pw \\ \dot{w} &= \frac{Z}{m} + qu - pv \end{aligned} \quad (4)$$

When Eq. 4 (Tichon, J.G et al.,2014), (Etkin, B. & Reid, L.D., 1996) is integrated, translational velocity components in body axis are obtained. Then, by performing a transformation to earth-fixed axis system and integrating, the positions are calculated in the earth-fixed axis systems.

Similarly, moment equations are given as follows;

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{xx} & -I_{xy} & -I_{xz} \\ -I_{xy} & I_{yy} & -I_{yz} \\ -I_{xz} & -I_{yz} & I_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} + \vec{\omega} \times \begin{bmatrix} I_{xx} & -I_{xy} & -I_{xz} \\ -I_{xy} & I_{yy} & -I_{yz} \\ -I_{xz} & -I_{yz} & I_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (5)$$

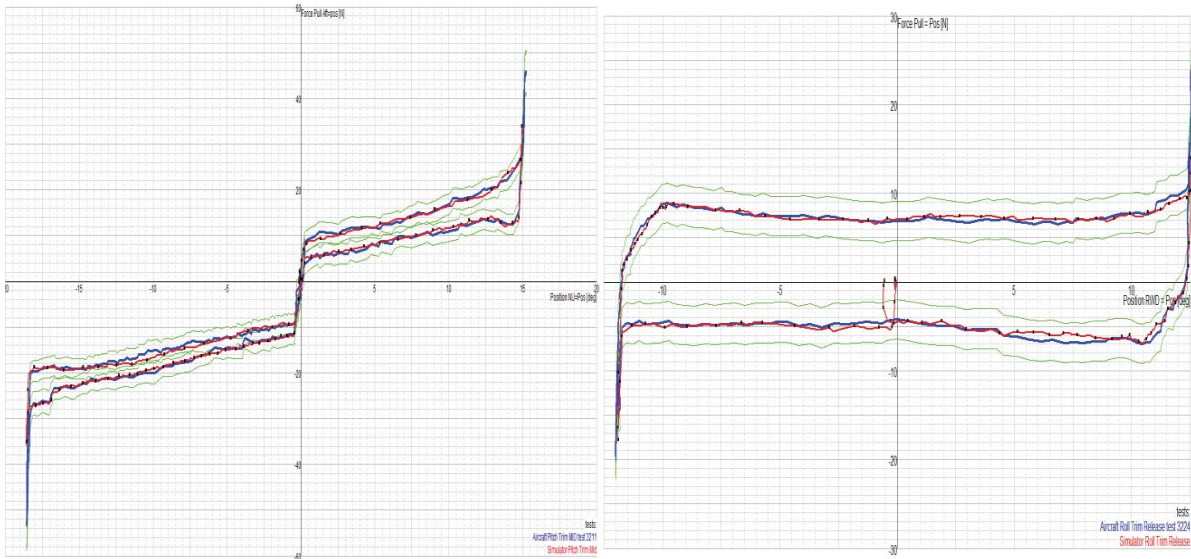
Then, by re-arranging the Eq. 5 (Tichon, J.G et al.,2014), (Etkin, B. & Reid, L.D., 1996) and assuming $I_{xy} = 0$ and $I_{yz} = 0$ since exact values are small,

$$\begin{aligned} \dot{p} &= (I_{xz}[I_{xx} - I_{yy} + I_{zz}]pq - [I_{zz}(I_{zz} - I_{yy}) + I_{xz}^2]qr + I_{zz}L + I_{xz}N)/(I_{xx}I_{zz} - I_{xz}^2) \\ \dot{q} &= \frac{1}{I_{yy}} [(I_{zz} - I_{xx})pr - I_{xz}(p^2 - r^2) + M] \\ \dot{r} &= ((I_{xx} - I_{yy})I_{xx} + I_{xz}^2)pq - I_{xz}[I_{xx} - I_{yy} + I_{zz}]qr + I_{xz}L + I_{xx}N)/(I_{xx}I_{zz} - I_{xz}^2) \end{aligned} \quad (6)$$

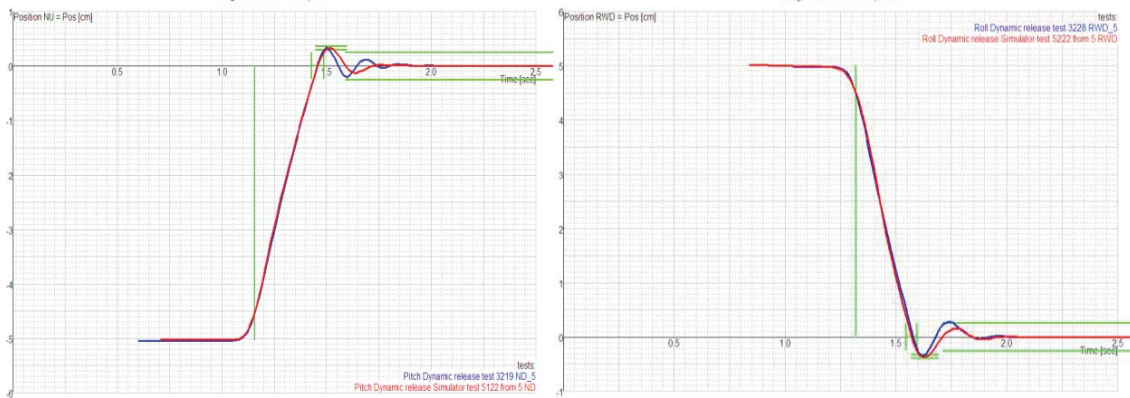
Angular velocity components in body axis are obtained by integrating Eq 6. Euler orientation angles are determined by integrating Eq. 7, (McCormick, B. W. ,1995). Simulator was modelled according to these assumptions and derivations.

$$\begin{aligned} \dot{\phi} &= p + \sin \phi \tan \theta q + \cos \phi \tan \theta r \\ \dot{\theta} &= \cos \phi q - \sin \phi r \\ \dot{\psi} &= \sin \phi \sec \theta q + \cos \phi \sec \theta r \end{aligned} \quad (7)$$

Cougar Simulator (Force Effects) QTG Test Results and the comparison of static and dynamic forces between the aircraft and simulator data are illustrated in Figures 4 and 5 respectively. In Figure 6, longitudinal response is compared for aircraft data (blue line) and simulator data (pink dashed line). Results are nearly same on longitudinal response for cyclic motion. The simulator data are between the tolerance rates.



a) Pitch Static Trim Mid - Hydr Sys On b) Roll Static Trim Off/Release - Hydr Sys On
Figure 4. (a), (b) Comparison of Simulation and simulator static trim behavior



a) Pitch Dynamic Test Stick Normal from Forward b) Roll Dynamic Test Stick Normal from Right

Figure 5. (a) and (b) Simulator dynamic behavior for Pitch and Roll motion.

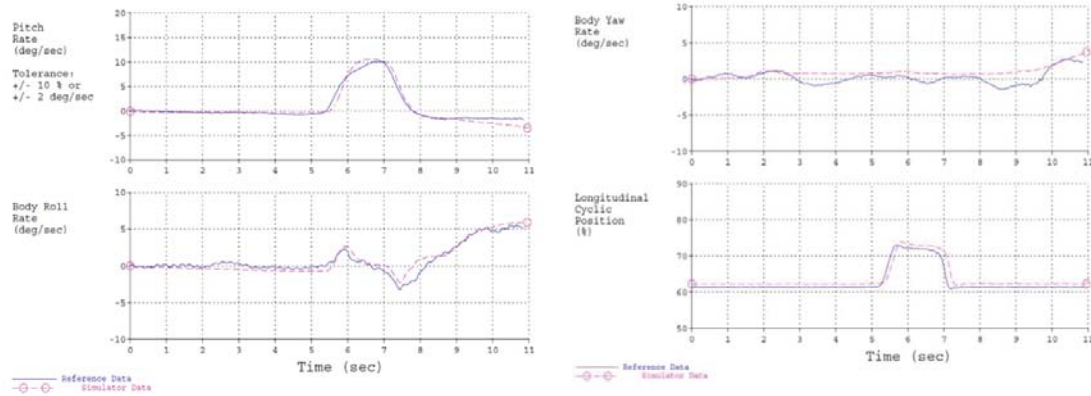


Figure 6. Cougar Simulator Longitudinal Response QTG Test Results for Pitch, Roll and Yaw

CONCLUSION

Generally, simulator improves the training level of the pilots. It helps intermediate and advanced level pilots to improve their technical skills, whereas it helps beginner level pilots to increase awareness related to flight training. In this study, Mathematical modelling of AS-532 Cougar helicopter is represented by using Newton-Euler equation. Simulation and application results are compared. Results show that this simulator can respond like a real helicopter. Comparison of real simulator values and simulation results are enclosed.

REFERENCES

- Dahlstrom, N., Dekker, S., Van Winsen, R., & Nyce, J., Fidelity and validity of simulator training. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 10(4), 305-314, 2009.
- Etkin, B. & Reid, L.D., *Dynamics of Flight - Stability and Control*, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc, 1996.
- MSI. (2015). <http://www.milscint.com/tr/simulator-egitim-merkezi-kazandirdi/>.
- Full flight simulator, In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved 07:55, March 12, 2017, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Full_flight_simulator&oldid=702545713
- Havelsan Simulator Orientation Document, 2007.
- McCormick, B. W., *Aerodynamics, Aeronautics and Flight Mechanics*, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc, 1995.
- ICAO. (2014). Safety Report. International Civil Aviation Organization. http://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_2014%20Safety%20Report_final_02042014_web.pdf
- Tichon, J.G., Wallis, G., Riek, S. & Mavin, T.. Physiological measurement of anxiety to evaluate performance in simulation training. Cogn Tech Work, 2014.



Classifying White Blood Cells Using Machine Learning Algorithms

Abdullah Elen ^{*1} , M. Kamil Turan ² 

¹Karabük University, Dept. of Comp. Tech., Vocational School of T.O.B.B. Tech. Sci., 78050 Karabük, TURKEY

²Department of Medical Biology, Faculty of Medicine, Karabük University, 78050 Karabük, TURKEY

Başvuru/Received: 17/10/2018

Kabul/Accepted: 21/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Abstract

Blood and its components have an important place in human life and are the best indicator tool in determining many pathological conditions. In particular, the classification of white blood cells is of great importance for the diagnosis of hematological diseases. In this study, 350 microscopic blood smear images were tested with 6 different machine learning algorithms for the classification of white blood cells and their performances were compared. 35 different geometric and statistical (texture) features have been extracted from blood images for training and test parameters of machine learning algorithms. According to the results, the Multinomial Logistic Regression (MLR) algorithm performed better than the other methods with an average 95% test success. The MLR can be used for automatic classification of white blood cells. It can be used especially as a source for diagnosis of diseases for hematologists and internal medicine specialists.

Key Words

“WBC classification, leukocytes, blood cells, machine learning.”

1. INTRODUCTION

Blood is a structure consisting of plasma and blood cells in the circulatory system of the heart and veins, which we call the cardiovascular system in the body. Microscopic analysis of peripheral blood smear results in hematology is a costly and time-consuming process (Krzyzak et al. 2011, Li et al. 2014, Maji et al. 2015). White blood cells (*leukocyte*, *WBC*) often lead to misidentification and classification because they are not inherently stable (Pandit, A., Kolhar, S. & Patil, P. 2015, Rawat et al. 2015). For this reason, it is highly probable that blood tests with traditional methods will encounter these problems. At the same time, due to the statistical bias and inconsistencies (Sonar, S. C. & Bhagat, K. S. 2015) of the analyst (hematologist), both the subjective evaluation of results and slow progress of the process (Xiong et al. 2010, Tomari et al. 2014, Venkatalakshmi, B. & Thilagavathi, K. 2013). For these reasons, the development and use of computer-based systems instead of traditional methods will greatly contribute to the acceleration of the analysis process and more accurate results (Maji, P., Mandal, A., Ganguly, M. & Saha, S. 2015, Pandit, A., Kolhar, S. & Patil, P. 2015).

Researchers are increasingly interested in the development of algorithms for automated analysis of medical images such as microscopic blood smear. Researchers working on image processing, computer vision, artificial neural networks, machine learning algorithms etc. techniques for blood cell analysis. Some of the studies in the literature are as follows; Sanei and Lee (Sanei, S. & Lee, T. K. M. 2003), in their study, aimed to improve the work of Turk and Pentland in the selection of eigenvector from monochrome images. Accordingly, instead of monochrome image, they used three components in color image. With the Bayesian classifier, they classified the Eigen cells, not the physical or geometric properties of the image. They used density and color information as parameters in the decision-making process. First, they rescanned the input images, then segmented and rotated, and finally identified 3 vectors representing the intensity and color information. Sarrafzadeh et al. (Sarrafzadeh, O., Rabbani, H., Talebi, A. & Yousefi-Banaem, H. 2014) used 149 leukocyte images of 10 patients. As the classifier, 6 geometric properties, 6 color properties, 6 statistical properties and 7 moment invariance (invariant) were used as parameters for SVM. The classifier reported that they achieved over 93% success. Leukocyte boundaries in images are manually determined to reduce the effects of segmentation errors. The nucleus and cytoplasm of leukocytes were automatically separated by the Fuzzy C-means clustering method. Then appropriate properties are extracted from the nucleus, the cytoplasm and the cell. These properties are classified by SVM. Ko et al. (Ko, B. C., Gim, J. W. & Nam, J. Y. 2011) used half of the 240 blood smear images for train and the other half for testing. They preferred the Random Forest method in the classification process and claimed that they achieved higher success than Multi-layer SVM. In their previous studies, GVF recommended leukocyte segmentation with the Snake algorithm. They used the shape, color and texture properties of the image as the classification parameter. After the feature extraction, they normalized each feature vector from 0 to 1 with Gaussian normalization. Ramoser et al. (Ramoser, H., Laurain, V., Bischof, H. & Ecker, R. 2005) used SVM for automatic leukocyte grading. In the evaluation made in 1166 imagery group consisting of 13 different classes, 95% correct segmentation and 75-99% accurate classification were made. Theera-Umpon and Dhompongsa (Theera-Umpon, N. & Dhompongsa, S. 2007) have investigated whether it is enough to classify leukocytes only with information from the leukocyte nucleus. In order to prevent segmentation errors in the experiments, they manually removed the cell nuclei. They used Bayes classifiers and artificial neural networks for classification. They reported that the information obtained from the cell nucleus was enough according to the 77% success of their classification. Adjouadi et al. (Adjouadi, M., Zong, N. & Ayala, M. 2005), in their study, proposed a method for the type identification of white blood cells in flow cytometry. They analyzed the behavior of parametric datasets in a multidimensional range using Support Vector Machines (SVM). Rodrigues et al. (Rodrigues, P., Ferreira, M. & Monteiro, J. 2008) used an artificial neural network consisting of two stages in the classification of white blood cells. In the first stage, they applied a pre-classification by applying back propagation algorithm (BPNN), and in the second step, they presented a hybrid model using the support vector machine (SVM) and Puls-Coupled neural network (PCNN) to reduce the detected problems. Thus, they aimed to minimize the negative aspects. Joshi et al. (Joshi, M. D., Karode, A. H. & Suralkar, S. R. 2013) proposed the Otsu's automatic thresholding algorithm for segmentation of blood cells and the image enhancement and arithmetic method for leukocyte segmentation. K-NN classifier was used to classify blast cells from normal lymphocyte cells. They obtained a 93% accuracy rate according to the test results. Tantikitti et al. (Tantikitti, S., Tumswadi, S. & Premchaiswadi, W. 2015), in their study, used image processing techniques such as color transformation, image fragmentation, edge detection feature extraction, and white blood cell classification. They classified the dengue virus infections of patients with decision tree method. According to the results obtained, they reported that 167 cell images were successful in leukocyte classification with 92.2% and 264 blood cell images with 72.3% accuracy in dengue classification. Saraswat and Arya (Saraswat, M. & Arya, K. V. 2014) used Random Forests to classify leukocyte cells as mono-nuclear and polymorph-nuclear cells from blood smear images obtained with 40X magnification.

In the classification of white blood cells, color, texture and geometric properties of the images were used as input parameters of artificial intelligence-based algorithms. Some of the studies in the literature are as follows; Hiremath et al. (Hiremath, P. S., Bannigidad, P. & Geeta, S. 2010) for lymphocytes, monocytes and neutrophil cells only; histogram equalization, edge extraction and threshold-based automatic segmentation. Geometric properties of the images were used for the classification process and 100 different blood smear images were used in the experiments. Habibzadeh et al. (Habibzadeh, M., Krzyzak, A. & Fevens, T. 2013) aimed to classify and count leukocytes according to 5 different categories by using the shape, density and texture properties of microscopic blood images. The wavelet properties obtained by the Dual-Tree Complex Wavelet Transform (DT-CWT) method for the classification process were used as parameters of the SVM classifier. Ramesh et al. (Ramesh, N., Dangott, B., Salama, M. E. & Tasdizen, T. 2012) proposed a simple classification method using color information and morphological features. As the first step in a two-stage classification process, they have broadly classified leukocyte cell nuclei and leukocyte boundaries. In the second

step, they used the properties obtained from leukocyte cytoplasm and nucleus by Linear Discriminant Analysis method. Ferri et al. (Ferri, M., Lombardini, S. & Pallotti, C. 1994) used dimensional functions using the morphological features of images for the automatic classification of leukocyte cells. Bikheth et al. (Bikheth, S. F., Darwish, A. M., Tolba, H. A. & Shaheen, S. I. 2000) tested the algorithm according to the selected properties and obtained an accurate classification rate of more than 90%. Selected features; cell area, nucleus area, cytoplasm area, the ratio of nucleus to cell area, average color of cytoplasm, the ratio of nucleus area to its environment, cell circularity, nucleus circularity and number of nucleus. Su et al. (Su, M., Cheng, C. & Wang, P. 2014), according to the study, five different types of leukocyte cells in the HSI color space to distinguish the distinctive properties of leukocytes. The elliptic areas in this region were leukocyte nuclei and cytoplasm, and then they aimed to segment by morphological processes. From these image segments, geometric features, color characteristics and LDP (*Local Directional Pattern*) based texture properties were removed and trained in three different neural networks. In the classification tests, they used 450 leukocyte images and found the highest accurate identification rate as 99.11%.

This study focuses on the classification of segmented leukocyte cells obtained from microscopic blood smear images. Its performance was compared by using machine learning algorithms for classification operations. The statistical and geometrical feature information obtained from the images were used as input parameters of the algorithms. The rest of the paper is organized as follows; In the second part, the morphological features of white blood cells, the geometric and RGB color space of the blood image based on the extraction of statistical features and 6 different machine learning algorithms used in the study is mentioned. In the third chapter, the test results of the 350 blood smear images as a dataset and the machine learning algorithms used in the experiment are mentioned comparatively. In the last section, the whole process is evaluated in general; According to the results obtained, the most suitable machine learning algorithm and some other suggestions for the classification of leukocyte cells are mentioned.

2. MATERIALS AND METHODS

In our previous study (Elen, A. & Turan, M. K. 2018), microscopic blood smear images were segmented, and the blood cells were divided into three main groups: erythrocytes, platelets and leukocytes. We used the leukocyte images to be divided into five different classes by machine learning algorithms. Statistical and geometric features of WBC images were obtained for the input parameters of machine learning algorithms.

2.1. White Blood Cells

White blood cells (WBC), also called leukocytes, are produced in the bone marrow. Leukocyte cells are composed of nuclei and cytoplasm. They are divided into five groups: basophil, eosinophil, lymphocyte, monocyte and neutrophil. Leukocytes, which protect the body against infectious diseases and foreign substances, constitute an important part of the immune system. 4×10^9 - 11×10^9 units in one liter of a healthy adult human. That is, a drop in the blood is about 7000 to 25000. Figure 1 shows the average number of white blood cells in a healthy adult. Neutrophils are the most common leukocytes in human blood. The kernels consist of 3-5 lobes. Polymorphonuclear constitute 99% of the cells while the polymorphonuclear cells account for about 70% of the total leukocyte count. Eosinophils grab onto lots of eosin dye (a type of acid red dye) when they're stained, making their large granules a red color. Their lifespan is 1-2 weeks and constitute 2-3% of all leukocytes. They have an average diameter of 10-12 μm and their nuclei are two lobes.

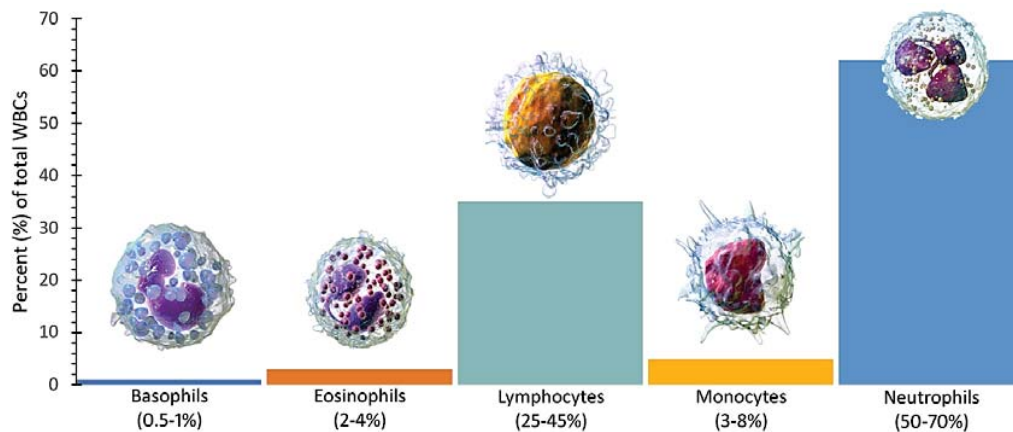


Fig. 1. Average values for a normal adult white blood cell count.

Another group of leukocytes called as basophil, its granules grab onto lots of basic dyes and have deep blue-purple color. Its nucleus is irregular and consists of two lobes that cannot be distinguished. It is also the least number of leukocytes. Monocytes are the largest cells of peripheral blood (15–22 μm). Folds can be seen in the nucleus, which can be of different shapes (*round, lobular, kidney, bean or horseshoe*). Lymphocytes are cells that can divide and give new lymphocytes. When they encounter immunogenic (*antigenic*) stimulation; morphological transformation, differentiation and multiplication. It is the most common type of leukocytes

in the blood after neutrophils. In this study, 350 different WBC images were used as the dataset. Figure 2 shows sample leukocyte cell images used in the classification process.

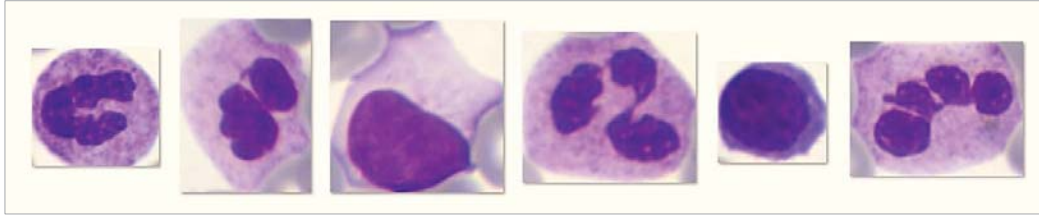


Fig. 2. Sample images of leukocyte cells used in the study.

2.2. Feature Extraction

Feature extraction in image processing is a method of converting large amounts of unnecessary data into a reduced data display. The process of converting input data into a property dataset is called feature extraction (Krishnan, A. & Sreekumar, K. 2014, Avuçlu, E., & Başçiftçi, F. 2018). Feature extraction methods analyze objects and images to extract the most distinctive features representing various object classes. Property vectors are used as input parameters to classifiers assigned to the class to which they are represented. The purpose of feature extraction is to reduce the original data by scaling certain properties or properties that distinguish an input set from another set. Feature extraction is an important process in the automatic classification of white blood cells (Rawat, J., Bhadauria, H. S., Singh, A. & Virmani, J. 2015) and the selected properties affect the performance of the classifiers. The accuracy of the classification depends on the number of features, and feature properties.

An important part of the studies on microscopic images for the classification of leukocyte cells has been based on geometric and tissue-based properties (Osowski, S., Siroic, R., Markiewicz, T. & Siwek, K. 2009). The geometric properties used to distinguish cells include shape and size of nucleus, shape and size of the white blood cell, number of nucleus lobes, cell circularity, and nucleus rectangularity (Rosin, P. L. 2003). Tissue is the specific granule and chromatin-induced properties in the nucleus. The texture feature (Tuceryan, M. & Jain, A. K. 1998) includes statistical information such as mean, standard deviation, skewness, kurtosis and entropy of brightness. In this study, 35 different statistical and geometric characteristics were used to classify leukocyte cells. In the previous study, we used the reference polygons of the WBC cells (cytoplasm and nucleus) we segmented. Figure 3 shows the segmentation steps of WBC cells.

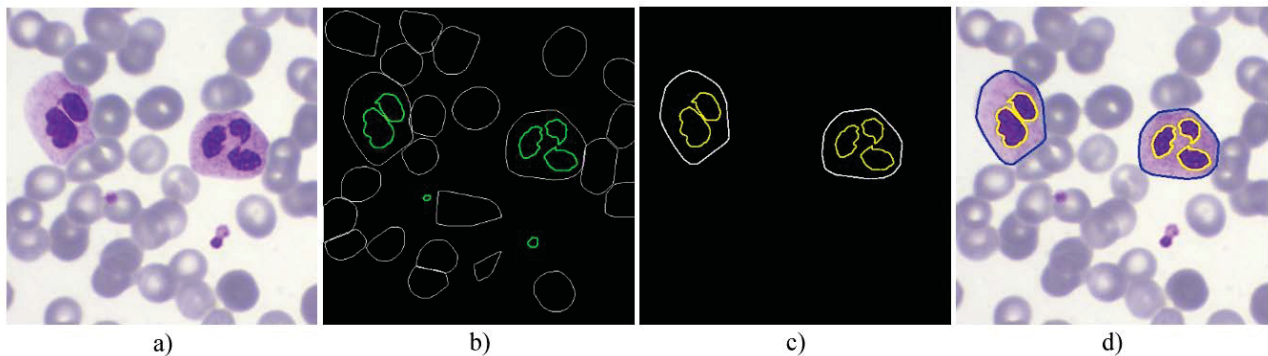


Fig. 3. Segmentation of WBCs; a) input image, b) segmentation of blood cells, c) extraction of WBCs, d) result image.

The geometric and statistical properties of the machine learning algorithms used as a parameter for the training and testing of leukocyte cells are given in Figure 4. In order to extract the statistical features, the white blood cell images were calculated using the histogram values for each color channel according to the RGB color space. Accordingly, for nucleus and leukocyte features; A feature vector ($F_S = \{p1, p2, \dots, p21\}$) was created by using the 21 parameters including kurtosis, mean and standard deviation values as well as energy value for the nucleus. In order to extract the geometric features, WBC images were first converted to grayscale and then, for both leukocyte and nucleus, radius, area, perimeter, ratio of leukocyte perimeter to nucleus perimeter (P_L/P_N) and ratio of leukocyte area to nucleus area (A_L/A_N) parameters were used. In addition, a feature vector ($F_G = \{p1, p2, \dots, p14\}$) was created using 14 parameters, including the number of lobes in the leukocyte nucleus, circularity for the nucleus, fullness, and compactness values. Thus, both geometric and statistical feature vectors were combined to form a feature vector ($FV = \{F_S, F_G\}$) consisting of a total of 35 parameters for the classification algorithms.

	Leukocyte	Nucleus
Radius	+	+
Area	+	+
Perimeter	+	+
Circularity	—	+
Fullness	—	+
Compactness	—	+
Number of lobes	+	—
Perimeter: P_L / P_N	<i>Ratio of leukocyte to nucleus</i>	
Area: A_L / A_N	<i>for perimeter and area.</i>	

		R	G	B
Leukocyte	Std. Deviation	+	+	+
	Mean	+	+	+
	Kurtosis	+	+	+
	Energy	—	—	—
Nucleus	Std. Deviation	+	+	+
	Mean	+	+	+
	Kurtosis	+	+	+
	Energy	+	+	+

Fig. 4. Features used in the classification of WBCs; a) geometric features, b) statistical features.

2.3. Machine Learning Algorithms

Machine Learning is the method paradigm that makes inferences from the available data using mathematical and statistical methods and makes predictions about the unknown with these inferences. Machine learning is one of the fastest growing areas of computer science with a wide range of applications. Some academic research in the past have shown that after a certain stage, the machines must be learned the data. As a result of this, researchers carried out their studies in order to approach various problems by using various symbolic methods (Sarle, W. S. 1994). A significant number of these approaches have ability to estimation, prediction and classification. In this section, the properties of machine learning algorithms that used in this study for classification of WBCs are mentioned.

2.3.1. Decision Tree Classifier

The Decision Tree is a consulted machine learning algorithm that can classify data by continually dividing the dataset according to a certain criterion. A decision tree structure consists of roots, nodes, branches and leaves. The bottom part of the tree structure and the upper part of the leaves are called roots. Each feature in the dataset represents nodes. The link between the nodes is called the branch. It is very important to decide which node to start partitioning in decision trees. If the appropriate node does not start, the number of nodes and leaves in the tree will be very high. Many decision tree learning algorithms are available in the literature. In this study, C4.5 algorithm was preferred. The entropy of the class attribute is calculated first for this operation, as shown in Equation 1.

$$H(S) = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2(p_i) \tag{1}$$

In the next step, as shown in Equation 2 and Equation 3, the class-dependent entropies of the feature vectors (X) to the class (S) are calculated.

$$H(X_k) = -\sum_{i=1}^n \frac{|S_i|}{|X_k|} \log \frac{|S_i|}{|X_k|} \tag{2}$$

$$H(X, S) = -\sum_{k=1}^n \frac{|X_k|}{|X|} H(X_k) \tag{3}$$

Finally, the entropy of all feature vectors is calculated by the entropy of the class attribute and the gain metric for each property is calculated. Knowledge gain, Gini index and Towing rule are commonly used methods. In this study, Knowledge Gain method was used as decision criteria (Equation 4).

$$IG(X, S) = H(S) - H(X, S) \tag{4}$$

2.3.2. Random Forest

The Random Forest algorithm was developed by Breiman in 2001 (Breiman, L. 2001). In this method, instead of producing a single decision tree, it combines the decisions of many multivariate trees, each trained in different sets of training. As a result, it is an algorithm that achieves high levels of success in solving classification problems. In the Random Forest algorithm, the determination of branching criteria and the selection of a suitable pruning method as in the other decision tree methods are an important issue. Gain ratio and Gini index are the most commonly used gain measurement techniques in determining the branching criteria. The operation of this algorithm is based on two different parameters: the number of trees to be developed and the number of samples

used for each node. In the classification process, primarily the user-defined tree is created. When a new sample is to be classified, it is treated by the decision tree and the class of the new sample is determined according to the highest rate obtained from these trees (Pal, M. 2005).

2.3.3. *k*-Nearest Neighbors (*k*-NN)

The *k*-NN algorithm was proposed by Cover and Hart in 1967 (Cover, T., & Hart, P. 1967). *k*-NN is one of the most basic pattern recognition and classification methods that classify objects according to the nearest training instances in the attribute space. The aim here is to decide that new sample belongs to which class, according to the *k* value of the nearest neighbor. To determine the class of a new vector, the closest *k* samples selected from the training data are selected. Accordingly, the new vector is assigned to it by looking at the classes in which the selected samples belong. A new example has different methods (*Euclid*, *Manhattan*, *Minkowski*, etc.) for calculating distances according to classified samples. The most common of these is the Euclidean distance calculation method (Equation 5). Where *i* and *j* are two input instances and *k* is the number of neighbors in Equation 5.

$$d(i, j) = \sqrt{\sum_{p=1}^k (X_{ip} - X_{jp})^2} \quad (5)$$

2.3.4. *Multinomial Logistic Regression (MLR)*

Regression analysis is a statistical method used to determine the relationship between two or more variables with cause-effect relationship and to make estimations or predictions on the subject by using this relationship. Logistic regression (LR) is a nonlinear regression model designed for two dependent variables. MLR is used to describe cause-and-effect relationships between dependent variable (*Y*) and independent variables (*X*) where the dependent variable contains at least three or more categories (Leech, N. L., Barrett, K. C. & Morgan, G. A. 2004) and the values are obtained by a classifying scale (Hosmer, D. W., Lemeshow, S. & Sturdivant, R. X. 2013, Washington, S. P., Karlaftis, M. G. & Mannering, F. 2003, Arı, E., & Yıldız, Z. 2013).

The purpose of this analysis is to estimate the value of categorically dependent variables, so this is an estimate of membership for two or more categories. Accordingly, one of the objectives of the method is to classify and the other to investigate the relationships between dependent and independent variables (Büyüköztürk, Ş., Çokluk Bökeoğlu, Ö. & Şekercioğlu, G. 2010). The LR model is a special form of general linear models obtained for the dependent variables with binomial distribution and is expressed as in Equation 6;

$$\pi(x) = \frac{\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p}{1 + e^{\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p}} \quad (6)$$

Here, $\pi(x)$ represents the probability of an event being examined, α dependent variable constant, $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ independent variables regression coefficients, x_1, x_2, \dots, x_p arguments, *p* independent variable number and *e* error term. The MLR model is the extended version of the LR model with two states, as shown in Equation 7.

$$\pi_j(x_i) = e^{\alpha_i + \beta_{1j} x_{1i} + \beta_{2j} x_{2i} + \dots + \beta_{pj} x_{pi}} \left/ \left(1 + \sum_{j=1}^{k-1} e^{\alpha_i + \beta_{1j} x_{1i} + \beta_{2j} x_{2i} + \dots + \beta_{pj} x_{pi}} \right) \right. \quad (7)$$

Here, j_1, j_2, \dots, j_k represents *k* category, $n(i_1, i_2, \dots, i_n)$ represents the level of possible independent levels.

2.3.5. *Naïve Bayes*

The Naïve Bayes Classifier is a simple probabilistic classification method based on Bayes' theorem (Thomas Bayes, 1702-1761). In the case of Bayes' theorem, in the case of two random events (*X* and *Y*) occurring consecutively, the probability of the occurrence of the second event in the event of one of these two events can be represented by $P(X \cap Y)$. As with Equation 8, the multiplication rule can be written with two different expressions;

$$P(X \cap Y) = P(X|Y)P(Y) = P(Y|X)P(X) \quad (8)$$

The Bayes' theorem describes the relationship between an arbitrary *X* event due to a random process and conditional probabilities and marginal probabilities for another random *Y* event (Equation 9).

$$P(Y|X) = \frac{P(X|Y)P(Y)}{P(X)} \quad (9)$$

The probabilities of the dependent situations likely to occur in any problem are calculated by the Bayes equation given above. In this equation, the $P(X)$ expression represents the probability of the problem input, the probability of the $P(Y)$ statement possible output state, and the $P(Y|X)$ expression represents the probability of Y output states versus the previous X input (Orhan, U. & Adem, K. 2012). In the Naïve Bayes classification technique, it analyzes the relationship between dependent and independent features to create a contingent probability from each relationship. To classify a new instance, an estimate is made by combining the effects of the independent variables on the dependent variable (Krishna, P. R. & De, S. K. 2005).

2.3.6. Support Vector Machine (SVM)

The Support Vector Machine is a machine learning algorithm based on the principle of structural risk minimization and based on convex optimization (Soman, K. P., Loganathan, R. & Ajay, V. 2009). It is mainly designed to solve binary classification problems. The aim here is to obtain a hyperplane that will optimally separate the classes from each other. In the classification, it is usually represented by class labels such as $\{-1, +1\}$. The data to be classified can be separated linearly (AND/OR problem) or cannot be separated by a single line (XOR problem). Therefore, SVM is divided into two groups as Linear SVM and Nonlinear SVM depending on the data. As is known, many classification problems in the real world consist of more than two classes. To solve such problems, a multi-class SVM classifier is needed. Multiple classification can be achieved by combining binary classifiers (Jiang, Z. G., Fu, H. G. & Li, L. J. 2005). If it is assumed that the training data consisting of n numbers of samples for training of SVM in a linearly separable class classification problem is $\{x_i, y_i\}, i = 1, 2, \dots, n, y_i \in \{-1, +1\}, x_i \in R^d$, then the decision function of the optimal separation plane will be as in Equation 10;

$$y_i = \begin{cases} w \cdot x_i + b \geq +1, & +1 \\ w \cdot x_i + b \leq -1, & -1 \end{cases} \quad (10)$$

Where R^d represents the D-dimensional space of the input patterns (x_i), y_i represents the labels where the inputs are classified as $\{-1, +1\}$. w represents the normal value of the multiple plane, b represents the tendency (*bias*) value. In order to determine the optimal separation plane, the boundaries that are parallel to this correction must be determined. That is, support vectors are required. This procedure is expressed as $w \cdot x_i + b = \pm 1$ (Kavzaoglu, T. & Çölkesen, İ. 2010). As in the classification of medical images, it is not possible to separate the data linearly in many other image processing problems. In this case, it is possible to solve the problem by defining a part of the training data on the other side of the optimal hyperplane by defining a positive artificial variable (ξ_i). The balance between maximizing the boundary value and minimizing the misclassification errors can be controlled by identifying an edit parameter indicated by C , which takes positive values (Cortes, C. & Vapnik, V. 1995). The optimization problem for data that cannot be discriminated linearly by using the regulation parameter and the artificial variable is as in Equation 11;

$$\min \left[\frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^r \xi_i \right] \quad (11)$$

Limitations related to this are expressed in $y_i((w, x_i) + b) - 1 \geq 1 - \xi_i$. In order to solve the optimization problem expressed in Equation 11, the data that cannot be separated linearly in the input space is displayed in a multidimensional space defined as property space (Kavzaoglu, T. & Çölkesen, İ. 2010). Thus, the linear separation of data can be made and the hyperplane between classes can be determined. Nonlinear transformations can be made with the help of a kernel function, which is expressed as $K(X, x_i) = \varphi(X) \cdot \varphi(x_i)$ mathematically. As a result, the decision rule for the solution of a two-class problem that cannot be separated linearly using the kernel function can be written as in Equation 12 (Osuna, E. E., Freund, R. & Girosi, F. 1997);

$$f(X) = \text{sign} \left(\sum_{i=1}^k \alpha_i y_i \varphi(X) \varphi(x_i) + b \right) \quad (12)$$

3. EXPERIMENTAL RESULTS

350 different WBC images were used in experimental studies. These images were randomly selected and transformed into 5 different ratios of training and test data as shown in Figure 5. In addition, each dataset was randomly selected 100 times to obtain more realistic results. Thus, a total of 500 data was prepared and analyzed in statistical results for each dataset group as shown in Figure 6.

Dataset No.	Percent of dataset (train, test)	Number of samples		
		Training	Testing	Total
DS1	ds(25%, 75%)	87	263	350
DS2	ds (33%, 67%)	116	234	350
DS3	ds(50%, 50%)	175	175	350
DS4	ds(67%, 33%)	234	116	350
DS5	ds(75%, 25%)	263	87	350

Fig. 5. Datasets used in the study.

When the 5 different datasets given in Figure 5 are examined; For DS1, 25% (87 of them) of 350 WBC images were used for training and 75% (263 of them) were used for testing. Similarly, other datasets were prepared according to the specified rates. In Figure 6, all datasets are trained and tested at different rates for each machine learning algorithm; worst, best, mean, standard deviation, median and mod values are calculated.

	Dataset	Worst	Best	Mean	Std.Dev.	Median	Mod
Decision Tree	DS1	55,13%	74,90%	66,61%	3,62%	66,54%	65,78%
	DS2	55,98%	74,79%	67,68%	3,41%	67,95%	69,66%
	DS3	60,57%	78,86%	69,94%	3,47%	70,29%	73,71%
	DS4	56,90%	79,31%	71,17%	4,13%	71,55%	71,55%
	DS5	57,47%	81,61%	72,03%	4,91%	72,41%	72,41%
k-NN	DS1	63,50%	74,90%	69,13%	2,57%	68,82%	68,06%
	DS2	64,10%	74,79%	69,93%	2,12%	70,09%	70,51%
	DS3	64,00%	76,57%	70,53%	2,42%	70,57%	69,71%
	DS4	63,79%	77,59%	70,72%	3,51%	70,69%	75,00%
	DS5	58,62%	81,61%	70,89%	4,64%	71,26%	73,56%
Naïve Bayes	DS1	60,08%	77,19%	68,61%	3,87%	68,82%	68,82%
	DS2	61,54%	78,63%	70,17%	4,00%	70,09%	69,23%
	DS3	62,29%	80,57%	72,29%	3,53%	72,57%	72,00%
	DS4	63,79%	81,90%	73,24%	4,07%	72,41%	71,55%
	DS5	64,37%	82,76%	73,55%	4,21%	73,56%	72,41%
Random Forest	DS1	68,82%	81,37%	75,53%	3,16%	75,48%	74,52%
	DS2	69,66%	84,62%	77,07%	3,01%	77,35%	80,34%
	DS3	69,71%	85,71%	78,23%	3,42%	78,29%	78,29%
	DS4	68,97%	91,38%	78,94%	3,99%	79,31%	78,45%
	DS5	67,82%	90,80%	79,74%	4,66%	80,46%	80,46%
SVM	DS1	60,84%	77,19%	71,41%	2,52%	71,86%	72,24%
	DS2	61,97%	76,92%	72,73%	2,43%	72,86%	73,50%
	DS3	66,86%	82,29%	74,39%	2,99%	74,29%	76,57%
	DS4	66,38%	84,48%	74,78%	3,62%	75,00%	75,00%
	DS5	64,37%	82,76%	74,69%	4,05%	74,71%	78,16%
MLR	DS1	72,62%	90,11%	80,86%	3,24%	80,80%	83,65%
	DS2	76,92%	89,32%	83,97%	2,79%	83,97%	85,90%
	DS3	83,43%	94,29%	88,85%	2,23%	89,14%	89,71%
	DS4	83,62%	96,55%	90,17%	2,43%	90,52%	91,38%
	DS5	82,76%	96,55%	91,26%	2,73%	91,95%	91,95%

Fig. 6. Statistical measurements of classification success.

Figure 7 shows the box graphs showing the test success of the machine learning algorithms according to each dataset. In general, the evaluation is made; When the train and test ratios are in DS3, DS4 and DS5, more stable results are observed. Naturally, the high rate of learning is the biggest factor affecting this. When the standard deviation rates of the test success for each machine learning algorithm are examined, it is seen that MLR gives more stable results than other algorithms. To evaluate each algorithm separately according to the success of classification; According to the Decision Tree algorithm, the best result was seen in DS5 with 75.6% training and 25% for testing purposes with 81.61% classification success. It has been seen that there are 1 or 2 low outliers for all datasets. When the algorithm is evaluated according to different training and test rates, it can be said that it provides success in about 75%. According to the k-NN algorithm, the best result was seen in the DS5 with 75.6% training and 25% for testing purposes with 81.61% classification success. When the algorithm is evaluated generally according to different training and test rates, it can be said that it provides success rate of about 75% as in DT algorithm. According to Naive Bayes algorithm, the

best result was seen in DS5 with 75% training and 25% for test purposes with 82,76% classification success. When the algorithm is evaluated according to different training and test rates, it can be said that it provides success in about 75%.

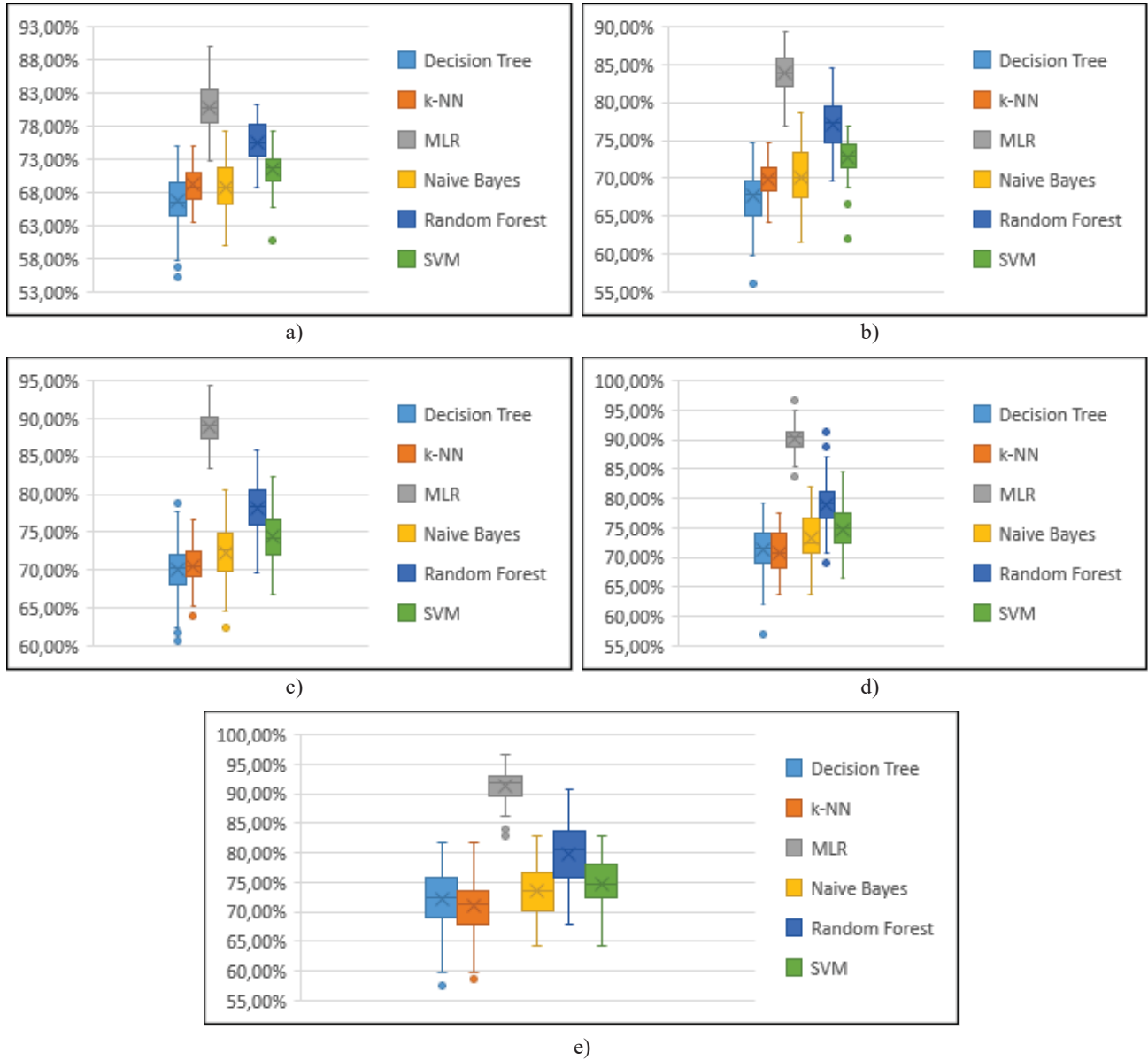


Fig. 7. Box charts of the machine learning algorithms for each dataset; a) DS1, b) DS2, c) DS3, d) DS4, e) DS5.

The best result obtained by Random Forest algorithm was seen in DS4 with 67.3% training and 33% test result with 91.38% classification success. When the algorithm is evaluated according to different train and test rates, it can be said that it provides more than 80% success. The best result obtained according to SVM algorithm was seen in DS4 with 67.4% training and 33% for testing purposes with 84.48% classification success. In cases where the training data is less than 50%, it is seen that there are 1 or 2 low outliers. When the algorithm is evaluated according to different training and test rates, it can be said that it provides success in about 80%. The best result obtained according to the MLR algorithm was observed in DS4 and DS5 datasets with 96.55% classification success. When the algorithm is evaluated according to different training and test rates, it can be said that it provides success in the range of 90% -95%. This is the greatest success rate ever achieved. Figure 8 shows the comparative result graph of all machine learning algorithms according to their best in test success. As can be seen here, the two best algorithms are MLR and Random Forest, respectively.

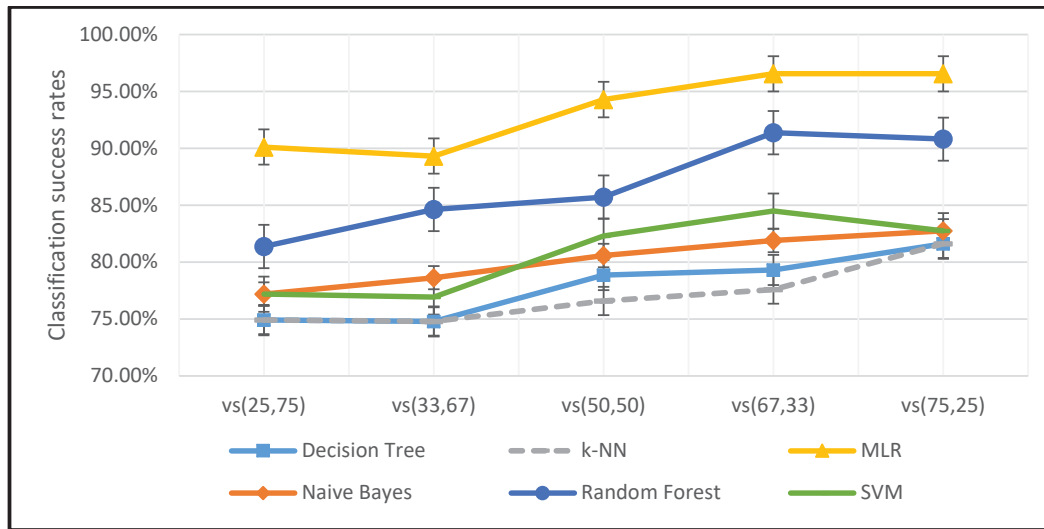


Fig. 8. The best classification performance of the machine learning algorithms.

4. CONCLUSIONS

In this study, statistical and geometrical features were extracted from microscopic blood images and a feature vector composed of 35 different parameters was formed. This feature vector is used as the input parameter for 6 different machine learning algorithms for the classification of white blood cells. In order to test the performance of the algorithms, 5 types of data were prepared in different training and test ratios, and 100 different combinations of each data-set were created and statistical results were analyzed. When the performance of classification of leukocyte cells is evaluated, it is seen that the highest success rate in all datasets and in all conditions belongs to MLR algorithm. The lowest success rate belongs to the k-NN algorithm and produced results close to the SVM and Naive Bayes algorithms. Apart from these, Random Forest algorithm is the most successful method after MLR. This method is more successful than the Decision Tree algorithm because it is a combination of more than one decision tree. As a result, the success rate of 95% obtained by the MLR algorithm is quite high and at the same time it is more stable than other methods. Therefore, the method can be applied easily for automatic classification systems. In order to further improve the classification success, the algorithm can be made more powerful by methods such as Bagging, Boosting or Bootstrapping. Thus, it is thought that global success rates can be brought to better values by reducing the factors affecting the success of blood smear images negatively.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by research fund of the Karabük University, Project Number: KBÜ-BAP15/2-DR-003.

REFERENCES

- Adjouadi, M., Zong, N. & Ayala, M. (2005). Multidimensional Pattern Recognition and Classification of White Blood Cells Using Support Vector Machines. *Particle & Particle Systems Characterization*, 22(2): pp. 107-118.
- Arı, E., & Yıldız, Z. (2013). Parallel Lines Assumption in Ordinal Logistic Regression and Analysis Approaches. *International Interdisciplinary Journal of Scientific Research*, 1(3): pp. 8-23.
- Avuçlu, E., & Başçıftçi, F. (2018). New approaches to determine age and gender in image processing techniques using multilayer perceptron neural network. *Applied Soft Computing*, 70, pp. 157–168. doi:10.1016/j.asoc.2018.05.033
- Bikhet, S. F., Darwish, A. M., Tolba, H. A. & Shaheen, S. I. (2000). Segmentation and classification of white blood cells. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, İstanbul, pp. 2259-2261.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1): pp. 5-32.
- Büyüköztürk, Ş., Çokluk Bökeoğlu, Ö. & Şekercioğlu, G. (2010). Sosyal Bilimler İçin Çok Değişkenli İstatistik SPSS ve LISREL Uygulamaları. Pegem Akademi Yayıncılık, Ankara, pp. 59-65.
- Cortes, C. & Vapnik, V. (1995). Support-Vector Network. *Machine Learning*, 20(3): pp. 273–297.
- Cover, T., & Hart, P. (1967). Nearest Neighbor Pattern Classification. *IEEE Transactions on Information Theory*, 13(1): 21-27.

- Elen, A. & Turan, M. K. (2018). A New Approach for Fully Automated Segmentation of Peripheral Blood Smears. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 5(1): pp. 81-93.
- Ferri, M., Lombardini, S. & Pallotti, C. (1994). Leukocyte Classification by Size Functions. *IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, Sarasota, pp. 223-229.
- Habibzadeh, M., Krzyzak, A. & Fevens, T. (2013). Comparative study of shape, intensity and texture features and support vector machine for white blood cell classification. *Journal of Theoretical and Applied Computer Science*, 7 (1): pp. 20-35.
- Hiremath, P. S., Bannigidad, P. & Geeta, S. (2010). Automated Identification and Classification of White Blood Cells (Leukocytes) in Digital Microscopic Images. *International Journal of Computer Applications*, 2 (8): pp. 59-63.
- Hosmer, D. W., Lemeshow, S. & Sturdivant, R. X. (2013). *Applied Logistic Regression 3rd Ed.* Wiley&Sons, Canada, pp. 8-35.
- Jiang, Z. G., Fu, H. G. & Li, L. J. (2005). Support Vector Machine for Mechanical Faults Classification. *Journal of Zhejiang University Science*, 6 (5): pp. 433-439.
- Joshi, M. D., Karode, A. H. & Suralkar, S. R. (2013). White Blood Cells Segmentation and Classification to Detect Acute Leukemia. *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS)*, 2(3): pp. 147-151.
- Kavzaoğlu, T. & Çölkesen, İ. (2010). Destek Vektör Makineleri ile Uydu Görüntülerinin Sınıflandırılmasında Kernel Fonksiyonlarının Etkilerinin İncelenmesi. *Harita Dergisi*, 2010(144): pp. 73-82.
- Ko, B. C., Gim, J. W. & Nam, J. Y. (2011). Cell image classification based on ensemble features and random forest. *Electronics Letters*, 47 (11): pp. 638-639.
- Krishna, P. R. & De, S. K. (2005). Naive-Bayes Classification using Fuzzy Approach. *Third International Conference on Intelligent Sensing and Information Processing*, Bangalore/India, pp. 61-64.
- Krishnan, A. & Sreekumar, K. (2014). A Survey on Image Segmentation and Feature Extraction Methods for Acute Myelogenous Leukemia Detection in Blood Microscopic Images. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5 (6): pp. 7877-7879.
- Krzyzak, A., Fevens, T., Habibzadeh, M. & Jelen, Ł. (2011). Application of Pattern Recognition Techniques for the Analysis of Histopathological Images. *Advances in Intelligent and Soft Computing*, Berlin/Germany, pp. 623-644.
- Leech, N. L., Barrett, K. C. & Morgan, G. A. (2004). *SPSS For Intermediate Statistics: Use and Interpretation 2nd Ed.* Lawrance Erlbaum Associates Publishers, New Jersey, pp. 109-110.
- Li, Q., Wang, Y., Liu, H., He, X., Xu, D., Wang, J. & Guo, F. (2014). Leukocyte cells identification and quantitative morphometry based on molecular hyperspectral imaging technology. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 38 (3): pp. 171-178.
- Maji, P., Mandal, A., Ganguly, M. & Saha, S. (2015). An Automated Method for Counting and Characterizing Red Blood Cells Using Mathematical Morphology. *IEEE International Conference on Advances in Pattern Recognition*, Kolkata, pp. 1-6.
- Orhan, U. & Adem, K. (2012). The Effects of Probability Factors in Naive Bayes Method. *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, pp. 722-724.
- Oowski, S., Siroic, R., Markiewicz, T. & Siwek, K. (2009). Application of support vector machine and genetic algorithm for improved blood cell recognition. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 58(7): pp. 2159-2168.
- Osuna, E. E., Freund, R. & Girosi, F. (1997). *Support Vector Machines: Training and Applications*. Massachusetts Institute of Technology and Artificial Intelligence Laboratory Report, pp. 8-10.
- Pal, M. (2005). Random Forest Classifier for Remote Sensing Classification. *Int. Journal of Remote Sensing*, 26(1): pp. 217-222.
- Pandit, A., Kolhar, S. & Patil, P. (2015). Survey on Automatic RBC Detection and Counting. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 4 (1): pp. 128-131.
- Ramesh, N., Dangott, B., Salama, M. E. & Tasdizen, T. (2012). Isolation and two-step classification of normal white blood cells in peripheral blood smears. *Journal of Pathology Informatics*, 3 (13): pp. 1-10.
- Ramoser, H., Laurain, V., Bischof, H. & Ecker, R. (2005). Leukocyte segmentation and classification in blood-smear images. *IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference*, Shanghai, pp. 3371-3374.
- Rawat, J., Bhadauria, H. S., Singh, A. & Virmani, J. (2015). Review of leukocyte classification techniques for microscopic blood images. *2nd International Conference on Computing for Sustainable Global Development*, New Delhi, pp. 1948-1954.

- Rodrigues, P., Ferreira, M. & Monteiro, J. (2008). Segmentation and Classification of Leukocytes Using Neural Networks: A Generalization Direction. *Studies in Computational Intelligence*, 83: pp. 373-396.
- Rosin, P. L. (2003). Measuring shape: ellipticity, rectangularity, and triangularity. *Machine Vision and App.*, 14(3): pp. 172-184.
- Sanei, S. & Lee, T. K. M. (2003). Cell Recognition Based on PCA and Bayesian Classification. 4th International Symposium on Independent Component Analysis and Blind Signal Separation (ICA2003), Nara, pp. 239-243.
- Saraswat, M. & Arya, K. V. (2014). Automated microscopic image analysis for leukocytes identification: A survey. *Micron*, 65 (2014): pp. 20-33.
- Saraswat, M. & Arya, K. V. (2014). Feature selection and classification of leukocytes using random forest. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 52(12): pp. 1041-1052.
- Sarle, W. S. (1994). Neural Networks and Statistical Models. *Proceedings of the Nineteenth Annual SAS Users Group International Conference*, Texas, pp. 1-13.
- Sarrafzadeh, O., Rabbani, H., Talebi, A. & Yousefi-Banaem, H. (2014). Selection of the best features for leukocytes classification in blood smear microscopic images. *Medical Imaging 2014: Digital Pathology*, California, pp. 1-8.
- Soman, K. P., Loganathan, R. & Ajay, V. (2009). Machine learning with SVM and other kernel methods. PHI Learning Pvt. Ltd., Delhi/India, pp. 1-10.
- Sonar, S. C. & Bhagat, K. S. (2015). An Efficient Technique for White Blood Cells Nuclei Automatic Segmentation. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6 (5): pp. 172-178.
- Su, M., Cheng, C. & Wang, P. (2014). A Neural-Network-Based Approach to White Blood Cell Classification. *The Scientific World Journal*, 2014: pp. 1-9.
- Tantikitti, S., Tumswadi, S. & Premchaiswadi, W. (2015). Image processing for detection of dengue virus based on WBC classification and decision tree. 13th International Conference on ICT and Knowledge Engineering, Bangkok, pp. 84-89.
- Theera-Umporn, N. & Dhompongsa, S. (2007). Morphological Granulometric Features of Nucleus in Automatic Bone Marrow White Blood Cell Classification. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 11(3): pp. 353-359.
- Tomari, R., Wan Zakaria, Jamil, M.M.A., Nor, F.M., Fahran, N. & Fuad, N. (2014). Computer Aided System for Red Blood Cell Classification in Blood Smear Image. *Procedia Computer Science*, 42: pp. 206-213.
- Tuceryan, M. & Jain, A. K. (1998). In the Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision 2nd Ed. Chen, C. H., Pau, L. F. and Wang, P. S. P., World Scientific Publishing Co., pp. 207-248.
- Venkatalakshmi, B. & Thilagavathi, K. (2013). Automatic Red Blood Cell Counting Using Hough Transform. *IEEE Conference on Information & Communication Technologies (ICT)*, Thuckalay, pp. 267-271.
- Washington, S. P., Karlaftis, M. G. & Mannering, F. (2003). *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis* 2nd Ed. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton/FL, pp. 263-265.
- Xiong, W., Ong, S., Lim, J., Foong, K. W., Liu, J., Racoceanu, D., Chong, A. G. & Tan, K. S. (2010). Automatic Area Classification in Peripheral Blood Smears. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 57 (8): pp. 1982-1990.



İmmobilize ve Serbest Lakkaz Enziminin Optimum Koşullarının Araştırılması ve Renk Giderme İşleminde Kullanımı

Investigation of the Optimum Conditions of Immobilized and Free Laccase Enzyme and its Use in Decolorization Process

Haydar Altınok*¹

¹Kırıkkale Üniversitesi, Kimya Bölümü, , 71450 Kırıkkale, TURKEY

Başvuru/Received: 17/06/2018

Kabul/Accepted: 17/01/2019

Son Versiyon / Final Version: 30/01/2019

Öz

Bu çalışmada *Trametes versicolor*' dan elde edilen Laccase enzimi (L), poli(N-izopropilakrilamid)-kalsiyum aljinat, (P(NIPA)-CaAlj) boncuklarına hapsedme yöntemi ile immobilize edildi. İmmobilize enzimin özellikleri ve enzimatik renk giderme işlemlerinde kullanımı araştırıldı ve serbest enzim ile karşılaştırıldı. Michaelis-Menten sabiti (Km) ve maksimum reaksiyon hızı (Vmax) değerleri sırasıyla serbest enzim için $1,70 \times 10^{-2}$ mM ve $2,08 \times 10^{-3}$ mM.dakika⁻¹ olarak bulundu. İmmobilize enzim için Km ve Vmax değerleri de sırasıyla $4,80 \times 10^{-2}$ mM ve $8,70 \times 10^{-3}$ mM.dakika⁻¹ olarak bulundu. Optimum pH değerleri serbest enzim için 5,0 ve immobilize enzim için 6,0 olarak belirlendi. Optimum sıcaklık sırasıyla serbest lakkaz ve immobilize lakkaz için 40°C ve 45°C olarak belirlendi. 4°C da tutulan serbest lakkazın 30 günlük depolama sonrasında orijinal aktivitesinin % 60'ını koruduğu bulunurken aynı koşullarda tutulan immobilize enzimin ise orijinal aktivitesinin% 83'ünü koruduğu bulundu. İmmobilize enzimin 10 kez tekrar kullanım sonrasında orijinal aktivitesinin % 77'sini koruduğu bulunmuştur. Metil oranjın renginin giderilmesinde, serbest lakkaz ve immobilize lakkaz için renk giderme yüzdeleri sırasıyla %73 ve %70 olarak bulundu.

Anahtar Kelimeler

"Lakkaz, immobilizasyon, hapsedme, kalsiyum-aljinat, N-izopropilakrilamid, renk giderme"

Abstract

In this study, Laccase enzyme (L) from *Trametesversicolor* was entrapped into poly(N-isopropylacryl amide)-calcium alginate (P(NIPA)-CaAlj) beads The properties of the immobilized enzyme and use of enzymatic decolorization processes were investigated and compared with those of the free enzyme. Michaelis-Menten constant (Km) and maximum reaction rate (Vmax) values were found to be 1.70×10^{-2} mM and 2.08×10^{-3} mM.min⁻¹ for free enzyme respectively. Km and Vmax values were found as 4.80×10^{-2} mM and 8.70×10^{-3} mM.min⁻¹ for entrapped enzymes respectively. Optimum pH was determined as 5.0 and 6.0 and optimum temperature determined as 40°C and 45°C for free laccase and entrapped laccase respectively. After 30 days of storage at 4 °C free laccase retained 60 % of its original activity. Also after 30 days of storage at 4 °C, entrapped enzymes were retained 83 % its original activity. Immobilized enzyme was used repeatedly 10 times, were retained 77 % of its original activities. Percent decolorization of methyl orange by free enzyme and entrapped enzymes were found to be 73% and 70%, respectively.

Key Words

"Laccase, immobilization, entrapment, calcium-alginate, N-isopropylacrylamide, decolorization"

1. GİRİŞ

İçinde yaşadığımız dünya, özellikle son yıllarda dünya nüfusunun önlenemez bir şekilde hızlı artması ve buna paralel olarak da endüstriyel ürün kullanımının artması nedeniyle çok hızlı bir şekilde kirlenmektedir. Son yıllarda çevre kirliliğini önlemek amacıyla yapılan çalışmalar çok büyük bir önem kazanmıştır. Çevre kirliliğine neden olan katı, sıvı ve gaz atıklar biyolojik, fiziksel ve kimyasal atıklar olarak sınıflandırılırlar. Bazı mikroorganizmalar çevre kirliliğine neden olan bu atıkları besin ve enerji kaynağı olarak kullanabilmektedirler. Son yıllarda biyoteknolojik yöntemler kullanılarak enzim üretimi ve enzimlerin biyolojik arıtma işlemlerinde kullanılması çalışmaları dikkat çeken çalışma alanlarından olmuştur. Fenol içeren polisiklik aromatik hidrokarbonlar pek çok endüstriyel atıklar içerisinde bulunmaktadır. Enzimler suda çözünen biyolojik katalizörler olduğu için, suda çözünen endüstriyel atıkların arıtılması için kullanılabilirler. Tekstil endüstrisinde boyar madde olarak kullanılan maddeler çevre ve su kirliliğine neden olmaktadır. Beyaz çürükçül mantarlardan elde edilen lakkaz enzimi oksidoredüktaz türü bir enzimdir (Gianfreda vd., 1999; Kaim ve Schwederski, 1991). Lakkaz, Sentetik boyalar, tekstil, kâğıt, kozmetik ve ilaç endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu boyaların atıklarının çoğu, doğada zor parçalandığı için çevre kirliliğine neden olmaktadır, bu da insan sağlığı için tehdit oluşturmaktadır. Boya atıklarının bozularak renksizleştirilmesi çeşitli fiziksel ve kimyasal metotlarla gerçekleştirilebilir. Bu metotlar arasında adsorpsiyon, koagülasyon-flokülasyon, iyon değiştirme, yükseltgenme sayılabilir. Bu metotların maliyetlerinin yüksek olması kullanımlarını sınırladığı için boya atıklarının biyobozunmasının enzimatik yoldan gerçekleştirilmesi bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle atık suların arıtılması ve renk giderme işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Davis ve Burns, 1990; Davis ve Burns, 1992). Lakkaz aromatik aminlerin renginin giderilmesi ve atık suların arıtılması için kullanılan bir enzimdir (Shuttleworth ve Bollag, 1986 ; Milstein vd., 1988). Lakkaz enzimi aynı zamanda fenol içeren atıkları arıtmak için kullanılan önemli bir enzimdir (Nicell vd., 1993; Bamforth vd., 2005). Enzimler bir destek materyali üzerine tutturularak tekrar kullanılabilir hale getirildiklerinde ekonomik olarak arıtma işlemlerinde kullanılabilirler. Lakkaz enzimi pek çok destek materyaline tutturularak kullanılmıştır. Örneğin hapsedme yöntemi ile polimerik jellere immobilize edilmiş (Curulli vd., 2006), içiçe geçmiş poliakrilamid polimer ağlara hapsedme yöntemi ile tutturulmuş (Gökğöz ve Altınok, 2012) karragenan bazlı yarı içiçe geçmiş polimer ağlara tutturularak kullanılmıştır (Makas vd., 2010).

Poli (N-İzopropil akrilamid) (P-NİPA) Molekül formülü $[H_2C-CH-CO-NH-CH(CH_3)_2]_n$, sıcaklığa duyarlı polimer P-NİPA ilk olarak 1950 yılında sentezlenmiştir. P(NİPA) sıcaklık ve pH hassasiyetinden dolayı biyolojik olarak aktif sistemlerde (protein konjugasyonunda) katyonu aktif çözülebilir polimer olarak su ve fizyolojisine uygun ortamlarda kullanılır. P-NİPA'nın kenar zincirlerindeki hidrofilik amid gurupları ve hidrofobik izopropil guruplarından dolayı çapraz bağlı şişmiş hidrojeller oluşturur. P-NİPA hidrojeli sulu çözültide, hızlı ve dönüşebilir hidrasyon-dehidrasyon değişimini Kritik Çözelti Sıcaklığına yakın küçük sıcaklık değişimlerinde gösterir. Kritik Çözelti Sıcaklığının altında hidrojeller şişerken, üzerindeki sıcaklıkta ise hidrojeller büzülür ve bozulmuş, suyu gitmiş hidrofobik bir hal oluşur. Bunun sebebi ise network yapıdaki hidrofilik-hidrofobik dengenin bozulmasından dolayıdır. Sıcaklığa hassas P-NİPA hidrojelleri immunoassay uygulamalarında, ilaç sistemlerinde, ayırma işlemlerinde ve enzimlerin immobilizasyonunda kullanışlı bir maddedir. Bu uygulamalarda şişme tarzı ve mekaniksel kuvvet önemlidir. Hidrojellerin şişme derecesi; hidrojelin doğasına, şiştiği ortama ve çapraz bağlanma yoğunluğuna bağlıdır (Chen ve Hoffman, 1995, Ringsdorf vd., 1991).

Bu çalışmada Lakkaz enzimi (L), (P(NİPA)-CaAlj) boncuklarına hapsedme yöntemi ile immobilize edildi. Immobilize enzimin özellikleri ve enzimatik renk giderme işlemlerinde kullanımı araştırıldı ve serbest enzim ile karşılaştırıldı.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler

Lakkaz : (EC 1.10.3.2. 27,5 U/mg, Fluka (Almanya) firmasından alındı, Kalsiyum Klorür: $CaCl_2$ MA:110,99 g/mol, Sitrik asit : ($C_6H_8O_7$, MA:192,13 g/mol), Sodyum hidroksit: (NaOH, MA:40,0 g/mol) ve N,N,N',N'-Tetrametiletilediamin (TEMED) : ($C_6H_{16}N_2$, MA:116,21 g/mol) Merck (Almanya) firmasından sağlandı, 4-Hidroksi-3,5-dimetoksibenzaldehit azin (Siringaldazin) : ($C_{18}H_{20}N_2O_6$, MA:360,3 g/mol) ve Sodyum aljinat Sigma (Almanya) firmasından alındı, N-izopropil akrilamid : ($C_6H_{11}NO$, MA:113,16 g/mol) Aldrich (Almanya) firmasından sağlandı, Amonyum persülfat : ($(NH_4)_2S_2O_8$, MA:228,19 g/mol) Analar (İngiltere) firmasından sağlandı, Etil alkol (Mutlak) : (C_2H_5OH , MA:46,06 g/mol) ve Fosforik asit (H_3PO_4 , MA:98,0 g/mol) Riedel-de Haen (Almanya) firmasından temin edildi.

2.2. Lakkazın İmmobilizasyonu

Sodyum aljinat (kütlece %1'lik, 0,5 g) 50 mL saf suda çözüldü ve oluşan çözültiden 10 mL alınarak üzerine 1 mL P(NİPA) çözeltisi eklenip iyice karıştırıldı. (Poli(N-İzopropil akrilamid) elde etmek için 0,7 g N-İzopropil akrilamid 10 mL saf suda çözülerek üzerine 10 mg amonyum persülfat ve 10 damla N,N,N',N'-tetraetilediamin (TEMED) ilave edilip iyice karışması sağlandıktan sonra 10 mL sıcak saf suya yavaşça dökülerek katı çökelek oluşturuldu. Oluşan çökelek alınarak 25 mL saf suda çözüldü). Daha sonra 0,3 M $CaCl_2$ çözeltisine damla damla ilave edildi. Na-aljinat, $CaCl_2$ ile temas ettiğinde sodyum-kalsiyum değişimi nedeniyle suda çözünmeyen Ca-aljinat polimerik küreleri elde edildi. Daha sonra küreler üzerine enzim çözeltisi ilave edilerek dört saat süreyle manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak enzim immobilizasyonu gerçekleştirildi. Yüzey üzerinde adsorbe olan enzimler deiyonize su ile yıkanarak ortamdaki uzaklaştırıldı. Daha sonra kullanılmak üzere $4^{\circ}C$ 'da saf su içinde bekletildi.

2.3. Serbest ve İmmobilize Lakkaz Enziminin Aktifliğinin Belirlenmesi

Serbest lakkazın aktiflik tayini literatürde verilen yöntemle yapıldı (Leonowicz ve Grzywnowicz, 1981). Aktiflik tayininde sitrat tamponu üzerine siringaldazin çözeltisi ve lakkaz çözeltisi veya (P(NİPA)-CaAlj) boncuklarına immobilize edilmiş lakkaz

eklenerek tepkime başlatıldı. Tepkime sonunda absorbans değerleri UV-görünür spektrofotometre kullanılarak ölçüldü. Tepkime hızı literatürde belirtildiği gibi hesaplandı (Yamak vd., 2009; Makas vd., 2010; Gökgöz ve Altınok, 2012).

2.4. Optimum pH ve Sıcaklığın Belirlenmesi

Serbest ve immobilize lakkaz enziminin aktivitesi üzerine pH'ın etkisi, 3,0-8,0. pH aralığında enzim aktivitesi ölçülerek incelendi. Tepkimelerde sıcaklık (25°C) ve siringaldazin konsantrasyonu (0,1 mM) sabit tutuldu. Optimum sıcaklığı belirlemek için ise serbest ve immobilize lakkaz Enzimi 25-70 °C sıcaklık aralığında enzim aktivitesi ölçülerek incelendi.

2.5. Depolama Süresinin Etkisi

Depolama süresinin etkisini incelemek için serbest ve immobilize lakkazlar 4°C da saklandı ve lakkaz aktiviteleri 30 gün boyunca periyodik olarak ölçüldü.

2.6 İmmobilize Enzim Aktifliğinin Kullanım Sayısı ile Değişimi

İmmobilize lakkazın kullanım sayısı ile aktifliğinde değişimi incelemek için aynı gün içerisinde 10 kez tekrar tekrar kullanıldı. P(NİPA)-CaAlj polimer boncuklarının üzerine immobilize edilmiş lakkazın aktiflik tayini yapıldı.

2.7. Kinetik Parametrelerin Bulunması

Enzim aktivitesine substrat derişiminin etkisini incelemek üzere 4 farklı derişimde substrat çözeltisi hazırlandı. Kinetik parametreler Km ve Vmax Lineweaver-Burk Eşitliğinden hesaplandı (Yamak vd., 2009).

2.8. Enzimatik Renk Giderme

Metil oranj çözeltisine ($3,0 \times 10^{-5}$ M) serbest lakkaz çözeltisi, (0,4 mg/mL) veya immobilize enzim eklenerek manyetik karıştırıcıda düşük hızda 30 °C' da inkübe edildi. 0., 15., 30., 45., 60. dakikalarda ve sonra birer saat aralıklarla 6 saat boyunca tepkime ortamından örnekler alınarak UV-görünür bölge spektrofotometresinde 466 nm de absorbans değeri ölçüldü. Lakkazın, metil oranj rengini giderme yüzdeleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplandı

$$\% \text{ Renk Giderme} = [(A_0 - A_t) / A_0] \times 100$$

A_0 : t= 0 anındaki absorbans değeri

A_t : t = t anındaki absorbans değeri.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Serbest ve İmmobilize Enzimin Aktifliğine pH Etkisi

Serbest lakkaz ve P(NİPA)-CaAlj boncuklarına immobilize edilmiş enzim için optimum pH sırasıyla 5,0 ve 6,0 olarak bulundu ve pH artışı ile maksimum aktifliğinin değişimi Şekil 1'de gösterilmiştir. Literatürde, Adsorpsiyon ve kovalent bağlanma yöntemi ile karbon fiber mikro elektrotlar üzerine immobilize edilen lakkazın optimum pH'sı 5,0 olarak verilmiştir (Freire vd., 2001), Gözenekli cam boncuklar üzerine adsorpsiyon yöntemi ile immobilize edilen lakkaz için optimum pH'sı 5,7 olduğu bulunmuştur (Luterek vd., 1998). Polimer matrislere immobilize edilen Trametes hirsuta'dan elde edilmiş Lakkaz için optimum pH 6 olarak bulunmuştur (Solna vd., 2005). Dopamin için hazırlanan McIlvaine tamponunda platin elektroda immobilize edilen lakkaz için optimum pH'nın 6,0 olduğu belirlenmiştir (Quan vd., 2004). Bu çalışmada bulunan sonuçlar ile literatürdeki sonuçlar uyumludur.

3.2. Serbest ve immobilize Enzimin Aktifliğine Sıcaklığın Etkisi

Serbest lakkaz ve P(NİPA)-CaAlj boncuklarına immobilize edilmiş enzim için optimum sıcaklık değerleri sırasıyla 40 °C ve 45°C olarak bulunmuş ve sıcaklık artışı ile maksimum aktiflikteki değişim Şekil 2'de gösterilmiştir. Literatürde, Hidrofilik silika filmlerinde immobilize edilen Cerrena unicolor' dan elde edilen lakkazın maksimum performans gösterdiği sıcaklığı aralığı ise 40 – 50°C (Zawisza vd., 2006), kaolinit üzerine kovalent bağlanma yöntemi ile immobilize edilen lakkazın optimum sıcaklığı 50°C olarak belirlenmiştir (Hu vd., 2007). Serbest lakkaz enzimi için 45°C ve poliakrilamid (AAM), poliakrilamid - κ -karragenan hidrojellerine hapsedme yöntemi ile immobilize edilen lakkaz için optimum sıcaklık 60°C olarak bulunduğu belirtilmiştir. (Gökgöz ve Altınok, 2012), Eupergite immobilize edilen lakkazın optimum sıcaklığı 50°C olarak bulunmuştur (Hublik ve Schinner, 2000). Bu çalışmada bulunan sonuçların literatürde verilen sonuçlar ile uyumlu olduğu görülmektedir.

3.3. Serbest ve İmmobilize Enzimin Aktifliğine Depolama Süresinin Etkisi

Serbest lakkaz ve P(NİPA)-CaAlj boncuklarına immobilize edilen lakkazın aktifliğine depolama süresinin enzim aktifliğindeki azalmaya etkisi 4°C'da saklanan serbest ve immobilize enzimin yaklaşık beşer gün aralıklarla 30 gün boyunca aktiflik ölçümleri yapılarak araştırıldı. Serbest lakkaz, 4 °C de depolamada 30. günde başlangıç aktifliğinin % 60 ını korurken, (P(NİPA)-CaAlj) boncuklarına immobilize edilen lakkaz enzimi, aynı koşullarda başlangıç aktifliğinin % 83'ünü korumuştur. Maksimum aktifliğin depolama süresi ile değişimi Şekil 3'de gösterildi. Literatürde, magnetik kitosan nano partiküller üzerine gluteraldehitte çapraz bağlanan lakkazın 30 gün sonunda aktivitesinin %85'ini koruduğu belirtilmiştir (Fang vd., 2009). Lakkaz DEAE-Granocel 500, CM-Granocel ve akrilik taşıyıcılara immobilize edildiğinde, 4°C'da 4 ay depolandığında immobilize lakkazın aktivitesinin % 90'ını koruduğu belirtilmiştir (Al-Adhami vd., 2002). Poliakrilamid (AAM), poliakrilamid - κ -karragenan hidrojellerine hapsedme yöntemi ile immobilize edilen lakkazlar 60 günde %44-68 aralığında aktifliklerini korudukları belirtilmiştir (Gökgöz ve Altınok, 2012). Bu çalışmada bulunan sonuçlar literatürdeki sonuçlarla uyum göstermektedir.

3.4. İmmobilize Enzimin Tekrar Kullanımında Aktiflik Değişiminin İncelenmesi

P(NİPA)-CaAlj boncuklarına immobilize edilen lakkaz aynı gün içerisinde 10 kez kullanılarak aktiflik ölçümü yapıldı. İmmobilize enzimin maksimum aktifliğinin kullanım sayısı ile değişimi şekil 4' de gösterilmiştir. İmmobilize edilmiş enzimin 10 defa kullanılmasıyla başlangıç aktifliğinin % 77'sini koruduğu gözlemlendi. Literatürde, Magnetik kitosan nano partiküller üzerine gluteraldehitte çarpaz bağlanan lakkazın 10 kullanımından sonra aktivitesinin yaklaşık %87'sini koruduğu tespit edilmiştir (Fang vd., 2009, Poliakrilamit (AAM), poliakrilamit - κ -karragenan hidrojellerine hapsedme yöntemi ile immobilize edilen lakkazlar 35 kez tekrar kullanımında %28-58 aralığında aktifliğini koruduğu belirtilmiştir (Gökgöz ve Altınok, 2012). Bu çalışmada 10 kez tekrar kullanım sonrasında bulunan % 77 aktiflik immobilizasyonun tekrar kullanım için uygun olduğunu göstermektedir.

3.5. Serbest ve İmmobilize Lakkazın Kinetik Parametrelerinin Belirlenmesi

Serbest ve P(NİPA)-CaAlj boncuklarına hapsedme yöntemiyle immobilize edilen lakkazın aktifliğine substrat derişiminin etkisini araştırmak için farklı konsantrasyonlarda substrat çözeltilerinin aktiflikleri bulundu. Serbest ve P(NİPA)-CaAlj boncuklarına immobilize edilen lakkaz enziminin kinetik parametrelerini bulmak için Lineweaver-Burk grafiği çizildi. Sonuçlar şekil 5 ve şekil 6 da gösterilmiştir. Serbest lakkaz için Km değeri $1,70 \times 10^{-2}$ mM, Vmax değeri $2,08 \times 10^{-3}$ mM.dakika⁻¹ olarak bulundu. P(NİPA)-CaAlj boncuklarına immobilize edilen lakkaz için, Km değeri $4,80 \times 10^{-2}$ mM ve Vmax değeri $8,70 \times 10^{-3}$ mM.dakika⁻¹ olarak bulundu. Deney sonuçlarına göre enzimin immobilize edilmesiyle Km değerinin arttığı, yani enzimin substrata olan ilgisinin düştüğü görülmektedir. Literatürde serbest ve Poliakrilamit (AAM), poliakrilamit - κ -karragenan hidrojellerine hapsedme yöntemi ile immobilize edilen lakkaz enzimleri için, Serbest lakkaz, AAM, AAM – K (0,05) ve AAM – K (0,1) için Km değerleri sırasıyla 88, 139, 133 ve 131 μ M iken, Vmax değerleri de sırasıyla $2,83 \times 10^{-6}$, $4,51 \times 10^{-6}$, $4,76 \times 10^{-6}$ ve $4,97 \times 10^{-6}$ M.dakika⁻¹ olarak bulunduğu belirtilmiştir (Gökgöz ve Altınok, 2012).

3.6. Metil Oranjin Renginin Giderilmesi

Serbest ve P(NİPA)-CaAlj boncuklarına immobilize edilen lakkaz kullanılarak metil oranjin renginin giderilmesi deneyleri yapıldı. Serbest lakkaz ve immobilize lakkaz için renk giderme yüzdeleri sırasıyla %73 ve %70 olarak bulundu. Literatürde, Coriolopsis rigida' dan elde edilen lakkaz ile mediyatör kullanmadan metil oranjin rengi bir gün sonunda % 80-% 90 oranında giderilmiştir (Gomez vd., 2005). Kaynağı Trametes hirsuta olan lakkaz ile metil oranjin renk giderime deneyinde 24 saat sonunda % 65 oranında renk giderme sağlanmıştır (Moldes vd., 2003) Bulunan sonuçlar literatür ile uyumludur.

3.7. P(NİPA)-CaAlj Boncuklarının Yapı Analizi

Sentezlenen P(NİPA)-CaAlj boncuklarının kimyasal yapısı FT-IR ile incelendi, P(NİPA)-CaAlj boncuklarının FT-IR spektrumu şekil 7 ve Fotoğraf Görüntüsü şekil 8 de gösterilmiştir.

4. SONUÇLAR

(P(NİPA)-CaAlj) boncuklarına hapsedme yöntemi ile immobilize edilen lakkazın yaklaşık % 92 oranında destek üzerine tutunduğu bulunmuştur. Serbest lakkaz için optimum pH değeri 5,0 iken (P(NİPA)-CaAlj) boncuklarına immobilize edilen lakkaz enzimi için optimum pH değeri 6,0 olduğu bulunmuştur. Serbest lakkaz enzimi için optimum sıcaklık 40°C iken (P(NİPA)-CaAlj) boncuklarına immobilize edilen lakkaz enzimi için optimum sıcaklık 45°C olduğu bulunmuştur. Serbest lakkaz için kinetik parametreler; Km değeri $1,70 \times 10^{-2}$ mM, Vmax değeri $2,08 \times 10^{-3}$ mM.dakika⁻¹ iken (P(NİPA)-CaAlj) boncuklarına immobilize edilen lakkaz enzimi için Km ve Vmax değeri değerleri sırasıyla $4,80 \times 10^{-2}$ mM, $8,70 \times 10^{-3}$ mM.dakika⁻¹ olarak bulunmuştur. Serbest lakkaz enzimi, 4 °C de depolamada 30. günde başlangıç aktifliğinin % 60 mı korurken (P(NİPA)-CaAlj) boncuklarına immobilize edilen lakkaz enzimi, 4 °C de depolamada 30. günde başlangıç aktifliğinin % 83 ünü korumuştur. (P(NİPA)-CaAlj) boncuklarına immobilize edilen lakkaz enziminin 10 kez tekrar kullanım sonunda başlangıç aktifliğinin % 77 sini koruduğu bulunmuştur. Metil oranjin renginin giderilmesinde, serbest lakkaz ve immobilize lakkaz için renk giderme yüzdeleri sırasıyla %73 ve %70 olarak bulundu.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP 2011-23 numaralı proje) tarafından desteklenmiştir.

REFERANSLAR

Al-Adhami, A.J.H., Bryjak, J., Markiewicz, B.G., & Chozch, W.P. (2002). Immobilization of wood-rotting fungi laccases on modified cellulose and acrylic carriers. *Process Biochem*, 37, 1387-1394.

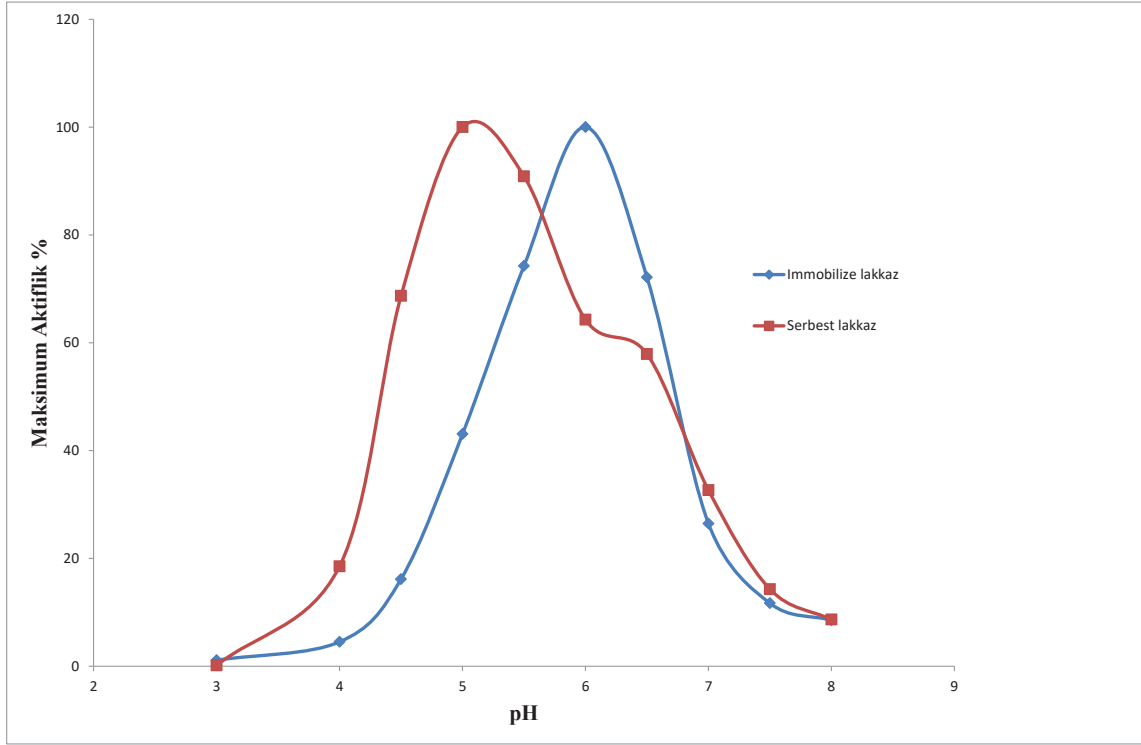
Bamforth, S.M., & Singleton, I. (2005). Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons: current knowledge and future directions. *J Chem Technol Biotechnol*, 80, 723–736.

Chen, G., & Hoffman, A. S. (1995). A new temperature- and pH responsive copolymer for possible use in protein conjugation. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 196, 1251–1259.

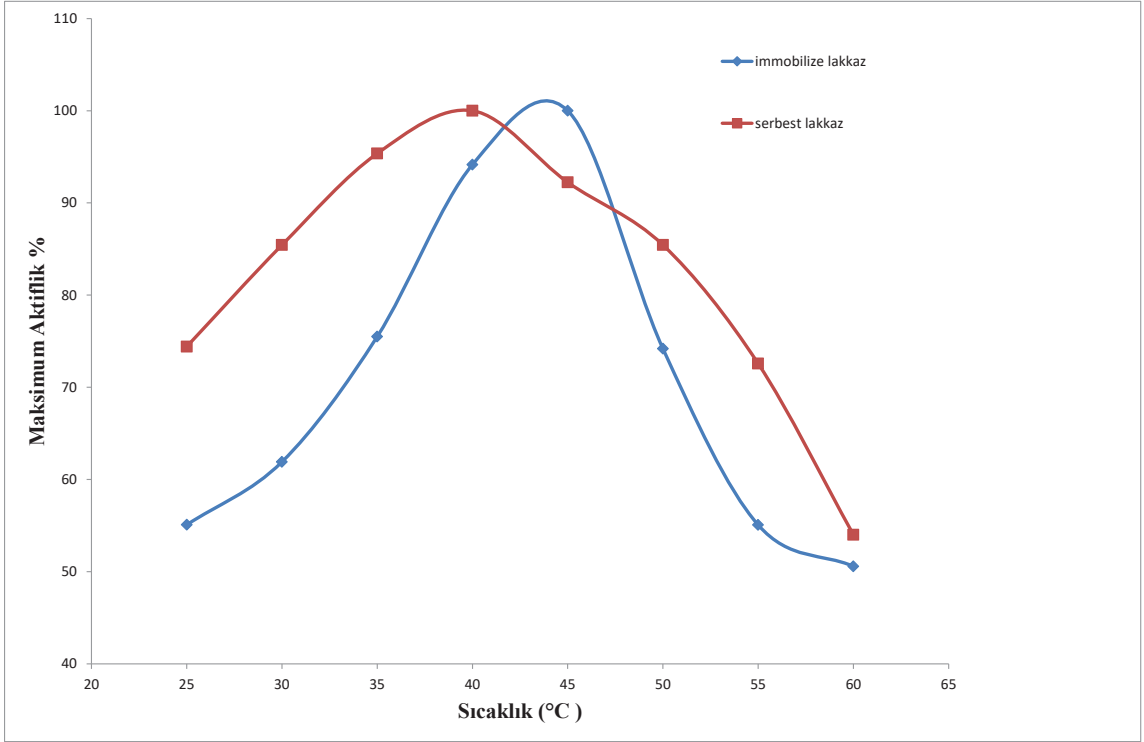
Curulli, A., Cusma, A., Kaciulis, S., Padeletti, G., Pandolfi, L., Valentini, F., & Vitocelli M. (2006). Immobilization of GOD and HRP enzyme on nanostructured substrates. *Surf. Interface Anal*, 38, 478–481.

- D'Annibale, A., Stazi, A., Vinciguerra, S.R., & Giovannozzi, V.G. (2000). Oxirane-immobilized *Lentinula edodes* laccase: stability and phenolics removal efficiency in olive mill wastewater. *Biotechnol*, 77, 265-273.
- Davis, S., & Burns, R. G. (1990). Decolorization of phenolic effluents by soluble and immobilized phenol oxidases. *Appl. Microbiol. Biotechnol*, 32, 721–726.
- Davis, S., & Burns, R. G. (1992). Covalent immobilization of laccase on activated carbon for phenolic effluent treatment. *Appl. Microbiol. Biotechnol*, 37, 474–479.
- Fang, H., Huang, J., Ding, L., Li, M., & Chen, Z. (2009). Preparation of magnetic Chitosan nanoparticles and immobilization of Laccase. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed*, 24 (1), 42-47.
- Freire, R.S., Durán, N., & Kubota, L.T. (2001). Effects of fungal laccase immobilization procedures for the development of a biosensor for phenol. *Talanta*, 54, 681-686.
- Gianfreda, L., Xu, F., & Bollag, J. M. (1999). Laccases: A Useful Group of Oxidoreductive Enzymes. *Bioremediat. J*, 3, 1–26.
- Gokgoz, M., & Altinok, H. (2012). Immobilization of laccase on polyacrylamide and polyacrylamide - κ - carragennan-based semi-interpenetrating polymer networks. *Artificial Cells, Blood Substitutes, and Biotechnology*, 40, 326–330.
- Gomez, J., Pazos, M., Couto, R., & Sanroman, M. (2005). Chestnut shell and barley bran as potential substrates for laccase production by *Coriopsis rigida* under solid-state conditions. *Journal of Food Engineering*, 68, 315-319.
- Hu, X., Zhou, X., & Hwang, H. (2007). Comparative study of immobilized *Trametes versicolor* laccase on nonparticles and kaolinite. *Chemosphere*, 66, 1618-1626.
- Hublik, G., & Schinner, F. (2000). Characterization and immobilization of the Laccase from *Pleurotus ostreatus* and its use for the continuous elimination of phenolic pollutants. *Enzyme Microb Tech*, 27, 330-336.
- Leonowicz, A., & Grzywnowicz, K. (1981). Quantitative estimation of laccase forms in some white-rot fungi using syringaldazine as a substrate. *Enzyme Microb Tech*, 3, 55-58.
- Luterek, J., Gianfreda, L., Wojtas-Wasilewska, M., Cho, N., Rogalski, J., Jaszek, M., Malarczyk, E., Staszczak, M., Fink Boots, M., & Leonowicz, A. (1998). Activity of free and immobilized extracellular *Cerrena unicolor* Laccase in water miscible organic solvents. *Cat. Inist*, 52, 589-595.
- Makas, Y.G., Kalkan, N.A., Aksoy, S., Altinok, H., & Hasirci, N. (2010). Immobilization of laccase in -carrageenan based semi-interpenetrating polymer Networks. *Journal of Biotechnology*, 148, 216–220.
- Milstein, O., Haars, A., Majerczyk, A., Trojanowski, J., Tautz, D., Zanker, H., & Huttermann, A. (1988). Removal of Chlorophenols and Chlorolignins from Bleaching Effluent by Combined Chemical and Biological Treatment. *Water Sci. Technol*, 20(1), 161–170.
- Moldes, D., Gallego, P., Couto, R. & Sanroman, A. (2003). Grape seeds: the best lignocellulosic waste to produce laccase by solid state cultures of *Trametes hirsute*. *Biotechnology Letters*, 25, 491-495.
- Nicell, J.A., Al-Kassim, L., Bewtra, J.K., & Taylor, K.E. (1993). Wastewater treatment by enzyme catalysed polymerization and precipitation. *Biodeterior Abstr*, 7, 1–8.
- Quan, D., & Shin, W. (2004). Amperometric detection of Catechol and Catecholamines by immobilized Laccase from *DeniLite*. *Electroanalysis*, 16 (19), 1576-1582.
- Ringsdorf, H., Venzmer, J., & Vinnik, F.M. (1991). Use of Nonradioactive energy-transfer to explore interpolymer and polymer solute interaction in aqueous solutions of poly (thermal- isopropyl-acrylamide). *Macromolecules*, 24, 1678–1686.
- Shuttleworth, K. L., & Bollag, J. M. (1986). Soluble and immobilized laccase as catalysts for the transformation of substituted phenols. *Enzym. Microb. Technol*, 8, 171–177.
- Solna, R., & Petr, S. (2005). Amperometric flow-Injection determination of phenolic compounds using a biosensor with immobilized Laccase, Peroxidase and Tyrosinase. *Electroanalysis*, 17 (23), 2137–2146.
- Yamak, O., Kalkan, N.A., Aksoy, S., Altinok, H., & Hasirci, N. (2009). Semi-interpenetrating polymer networks (semi-IPNs) for entrapment of laccase and their use in Acid Orange 52 decolorization. *Process Biochem*, 44, 440–445.

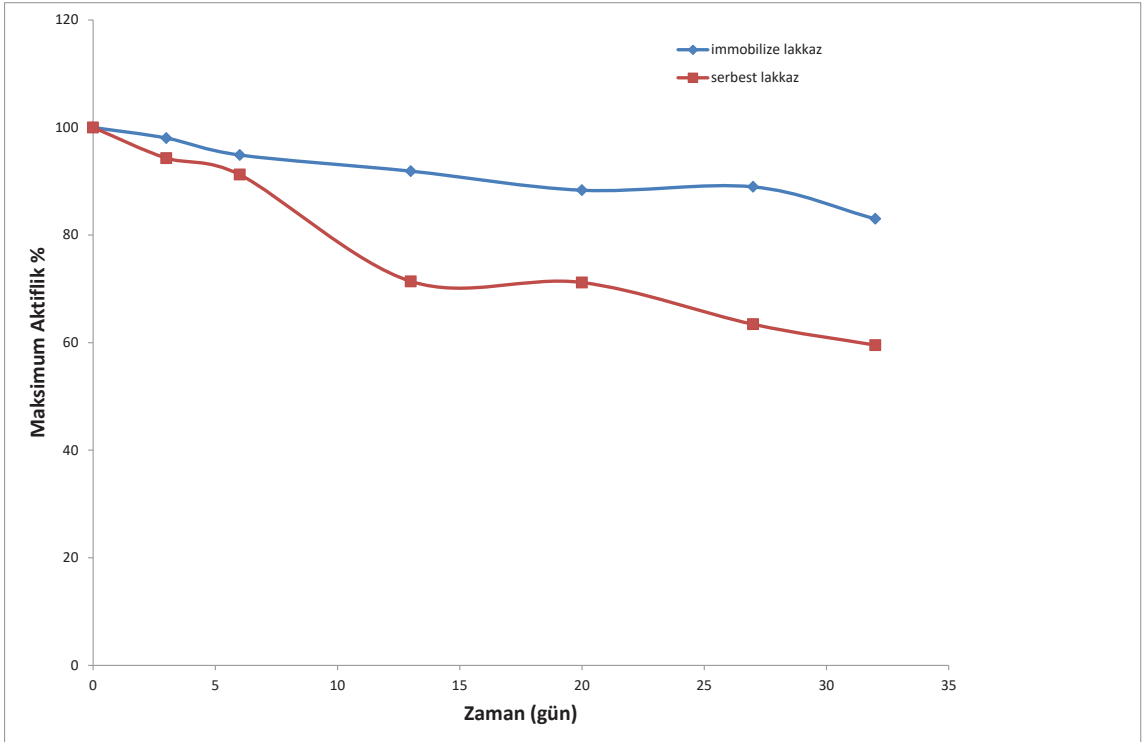
Zawisza, I., Rogalsky, J., & Opallo, M. (2006). Electrocatalytic reduction of dioxygen by redox mediator and laccase immobilized in silicate thin film. J. Electroanal Chem, 588, 244-252.



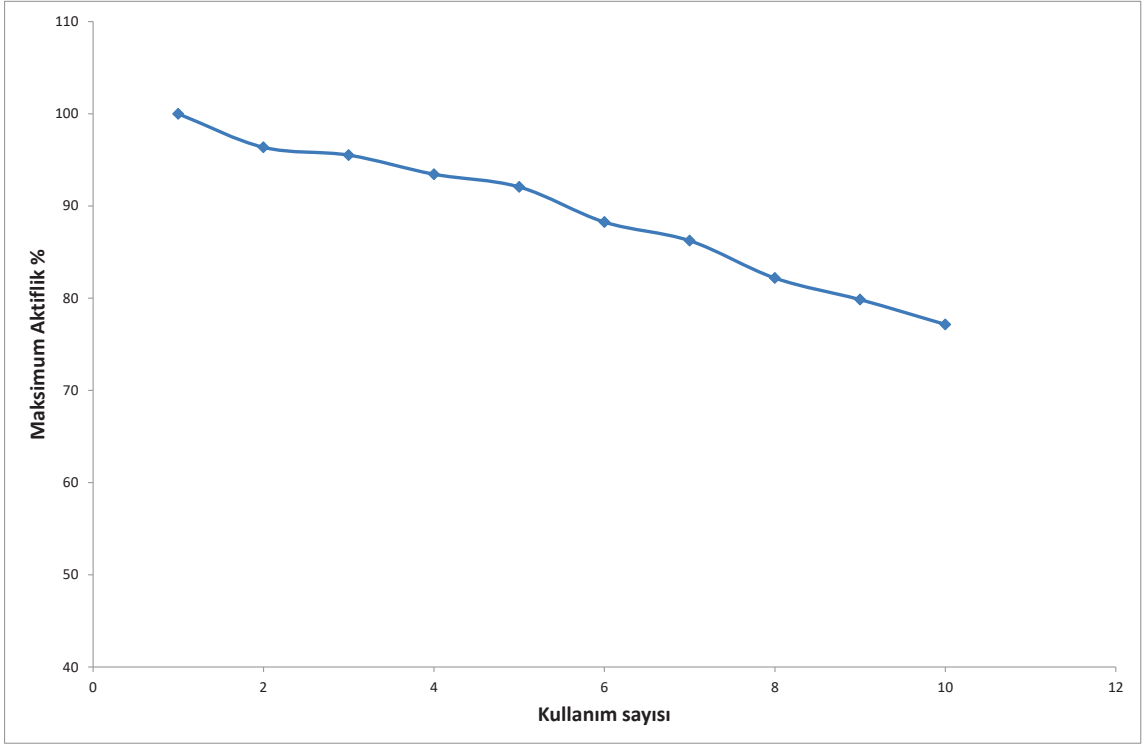
Şekil 1. Serbest ve immobilize enzimin maksimum aktifliğinin pH ile değişimi.



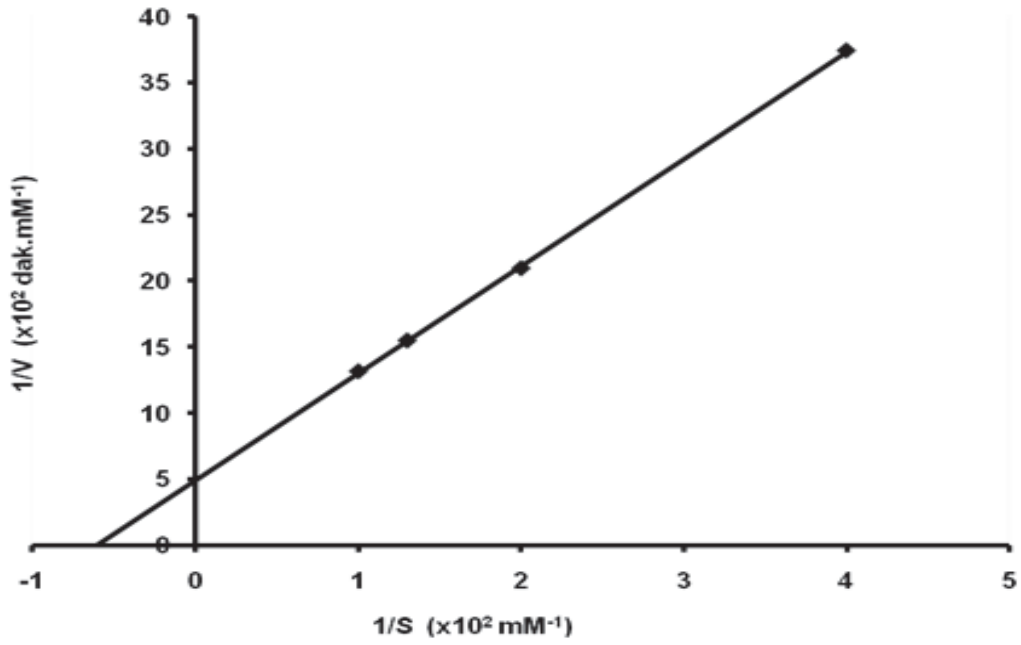
Şekil 2. Serbest ve immobilize enzimin maksimum aktifliğinin sıcaklık ile değişimi.



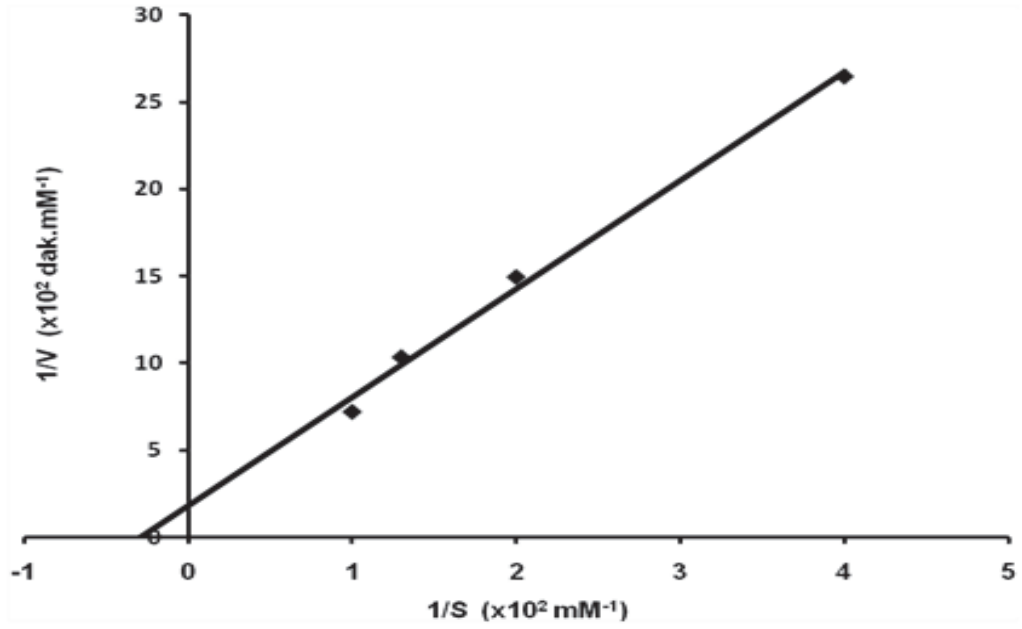
Şekil 3. Serbest ve İmmobilize Enzimin Aktifliğine Depolama Süresinin Etkisi.



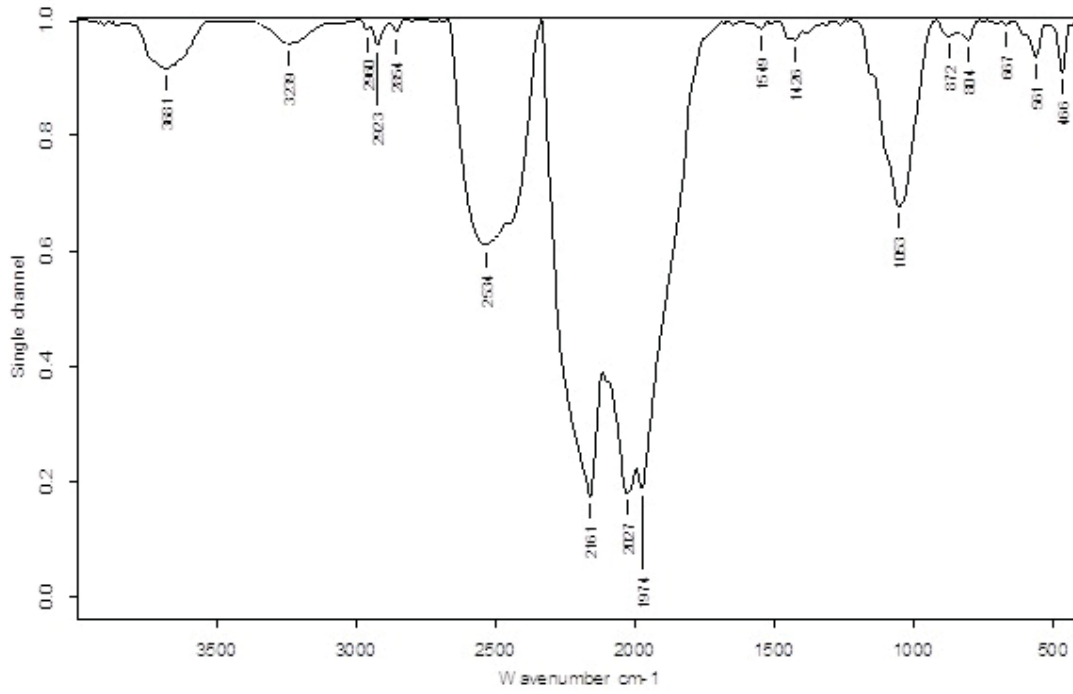
Şekil 4. İmmobilize Enzim Aktifliğinin Kullanım Sayısı ile Değişimi.



Şekil 5. Serbest enzim için Lineweaver-Burk grafiği.



Şekil 6. P(NİPA)-CaAlj hidrojel kürelerine immobilize edilen lakkazın Lineweaver-Burk grafiği.



Şekil 7. P(NİPA)-CaAlj boncuklarının FT-IR spektrumu



Şekil 8. P(NİPA)-CaAlj boncuklarının Fotoğraf Görüntüsü



Comparison of AHP-TOPSIS and AHP-VIKOR Methods in Product Selection in terms of Inventory Management

Melda Kokoç *¹ , Süleyman Ersöz ² 

¹Gazi University, Coordination Office of Education, Training and Foreign Relations, 06500, Ankara, TURKEY

²Kırıkkale University, Faculty of Engineering, Department, Industrial Engineering, 71450, Kırıkkale, TURKEY

Başyuru/Received: 07/02/2018

Kabul/Accepted: 12/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Abstract

Firms must develop and implement effective inventory policies that minimize costs and maximize profits in today's market conditions where extraordinary competition is experienced. Inventory has an important place in the total assets of manufacturing enterprises. Implementation of effective inventory management policies for this important item is crucial for the future of firms. Firms can meet customer needs more effectively by controlling fewer inventories that they classify according to their importance level. In this study, which is prepared by taking advantage of this point of view, application is presented that applies multi-criteria decision-making methods to determine the most important product in terms of inventory management. In the process of determining the product in the most important according to criteria determined, AHP method which is frequently used in the literature is applied for calculation weights of criteria. These weights are used in TOPSIS and VIKOR methods and results of these two methods are compared.

Key Words

"AHP, Inventory management, Multi-criteria decision making, TOPSIS, VIKOR"

1. INTRODUCTION

Inventory management has great significance as it helps businesses to keep production costs at a low level. In addition, working with minimum inventory provides relief for the financing function of the business. Shift of funding resources, which is generally limited, to other areas has increased competition force of firm. Costs generated by inventories also are increased when they fall below appropriate level, such as they are increased when inventories level goes to above appropriate level. This precise balance can be protected by efficient inventory management. A good inventory management foresees a balanced inventory to meet the needs of firm.

When literature is examined, it is seen that studies are often focused on classification and clustering. For this reason, it was benefited from studies related to classification or clustering which are multi-criteria for inventory management. Zhou and Fan (2007) applied the multi-criteria ABC inventory classification, including some balancing features. Bhattacharya et al. (2007) used the TOPSIS method for ABC analysis and evaluated the results obtained with ANOVA. Chen et al. (2008) performed multi-criteria ABC analysis by adding "criticality of product" to criteria. Cakir and Canbolat (2008) proposed AHP, which was integrated into fuzzy technique to solve multi-criteria inventory classification problem. Aydın Keskin and Özkan (2013) used the Fuzzy C-Means algorithm, a clustering method for multi-criteria ABC classification. Ertuğrul and Tanrıverdi (2013) applied ABC method and AHP analyzes to stock control of Yarn Company. Özdemir and Özveri (2013) shown differences between the results of classical ABC analysis and AHP in multi-criteria inventory classification. Kılıç et al. (2014), revealed differences between the results of classical ABC analysis and results of BAHP-TOPSIS methods used to classify stocks. Hatefi and Seyed (2015) addressed ABC inventory classification problem with multi-criteria inventory classification approach and proposed a linear optimization method that allows classification of stock items. It is indicated that proposed model significantly reduces processing time when controlling a large number of inventory items and does not require subjective knowledge to operate model. May et al. (2017), tested various inventory prioritization techniques and developed WNO (modified multi-criterion weighted non-linear optimization) method. In this study, it was stated that modified WNO method is consistent and performs more strongly than other possible ranking algorithms. In Kumar et al. (2017)'s study ABC, XYZ, HML and FSN analyzes were implemented to improve the efficiency of balloon manufacturing company's inventory management. For better inventory management, they emphasized that inventories must be periodically classified and updated.

In this study, alternatives chosen by experts from products produced by a company producing agricultural tools were evaluated with multi-criteria decision-making methods by considering certain criteria. AHP-TOPSIS and AHP-VIKOR methods were used to determine the most important product in terms of inventory management and methods results were compared. This study is structured as follows: Section 2 explains AHP, TOPSIS and VIKOR methods. In Section 3, for determining the most important inventory item, stages of approaches applied are explained. In Section 4, conclusions are explained, and results are discussed.

2. METHODS

In this section, AHP, TOPSIS and VIKOR, which are multi-criteria decision-making methods, are explained and steps of these methods are presented. In addition, steps of application performed for inventory management, are presented (Table 1).

Table 1. Application Steps

Steps	Explanation
1	Definition of problem
2	Examination of literature
3	Determination of criteria
4	Selection of alternatives
5	Creation of hierarchy for decision-making process
6	Obtaining of pairwise comparison matrix for criteria
7	Calculation of criteria weights by using AHP
8	Ensuring of consistency of criteria weights
	<i>If it is not consistency, regenerate pairwise comparison matrix, else go to Step 9</i>
9	Determination of alternatives' ranking with TOPSIS
10	Determination of alternatives' ranking with VIKOR
11	Comparison of methods' results

2.1. AHP Method

AHP (Analytic Hierarchy Process) was introduced by Saaty (1980). It is a powerful and easy-to-understand, multi-criteria decision-making method that enables you to combine objective and subjective factors in the decision-making process that are often used to solve complex problems. AHP requires that the decision-making problem be described in as much detail as possible, and the stages referred to as the hierarchy must be examined. A hierarchical model consisting of goals, criteria, sub-criteria and alternatives is used in the AHP technique (Aydın, 2009). This method is based on three basic principles: building hierarchies, determining weights, and ensuring consistency. Steps of the AHP method are described below:

Step 1: Definition of decision problem: In the first step, the decision-making problem must be clearly defined and determined. The necessary decision criteria and alternatives should be listed to realize the purpose.

Step 2: Creation of hierarchical structure: When hierarchical structure of AHP is considered, decision maker's goal is at the top level. Criteria and sub-criteria are included in hierarchical level as the levels are lowered. As hierarchy level decreases, sub-criteria are reached, and criteria are elaborated, in other words, becoming clearer.

Step 3: Creation of a pairwise comparison matrix: This matrix forms the basic data of AHP. Matrix is based on a comparison of all alternatives under criteria. Comparison matrix, which is obtained by expert opinions and related literature, is based on scaling from 1 to 9. Scales used are generally 1-9 scale developed by Saaty (Saaty, 1980). Experts make evaluations according to this scale and all evaluations are combined to obtain the comparison matrix (Görgülü, 2013). The importance ratings used in scale and their definitions and explanations are given in Table 2.

Table 2. Intensity of importance scale and its description

Intensity of importance	Definition
1	Equal importance
3	Moderate importance
5	Strong importance
7	Very strong importance
9	Extreme importance
2,4,6,8	Intermediate values

Let C_i and a_{ij} represent respectively criteria and evaluation of between criteria, pairwise comparison matrix (A) of size n*n is formed as shown in Table 3.

Table 3. Pairwise comparison matrix

		C_1	C_2	...	C_n
A=	C_1	1	a_{12}	...	a_{1n}
	C_2	$1/a_{12}$	1	...	a_{2n}

	C_n	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$...	1

Personal provisions of decision maker are used when making pairwise comparisons of alternatives. In decision-making process, not only numerical solutions are sought, but also personal ideas and considerations are taken into consideration. When pairwise comparisons are made, evaluations are simplified because only two elements are considered. On the other hand, verbal expressions can also be used if evaluations cannot be quantified. Decision maker can evaluate alternatives by taking both objective and subjective factors together.

Step 4: Calculation of the consistency ratio: For AHP results to be valid, matrix A must be a consistent matrix. In a consistent matrix A, w_j (weight vector) are calculated under a condition $\sum_{j=1}^n w_j = 1$. Consistency Index (CI) is calculated via Eq. (1). λ_{max} value in equation, is obtained by dividing the weight vector by the respective relative importance values.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{1}$$

Randomness indicator (RI) depends on size of comparison matrix. RI developed for matrices with a dimension between 1 and 15 are shown in Table 4 (Boulos, 2003). After CI and RI values are calculated, consistency ratio (CR) is calculated by Eq. (2). To obtain consistent comparison matrix, CR must less than equal to 0,10.

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{2}$$

Table 4. Randomness indicator values

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

2.2. TOPSIS Method

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) was developed by Hwang and Yoon (1981) as a multi-criteria decision-making technique. The basis of this method is based on choice of positive-ideal solution at the shortest distance and negative-ideal solution at the farthest distance (Opricovic and Tzeng, 2004). This is an appropriate method in terms of decision makers who escape from risks related decision making process. Steps of TOPSIS method are described below:

Step 1: Creating the decision matrix (A_{ij}): In this step, decision matrices that have alternatives in their rows and have evaluation criteria in their columns, are created. a_{ij} denotes the actual value of the alternative i in the decision matrix according to the criterion j .

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

Step 2: Generation of normalized decision matrix (N_{ij}): After generating decision matrix, normalized decision matrix is obtained by using Eq. (3).

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \tag{3}$$

Step 3: Generate weighted normalized decision matrix (V): After determining relative weight values ($w_{ij} : i:1,2,\dots,n$) for evaluation criteria, the elements in each column of N matrix are multiplied by w_{ij} value to form the V matrix. The weighted normalized decision matrix is obtained by Eq. (4).

$$V_{ij} = w_{ij} \times N_{ij} \tag{4}$$

Step 4: Creation of ideal (A^+) and negative ideal (A^-) solutions: While ideal solution consists of the best performance values of the weighted normal decision matrix, negative ideal solution consists of the worst performance values using Eq. (5) and Eq. (6).

$$A^+ = \left\{ \max_j v_{ij} \mid j = 1, 2, \dots, n \text{ ve } i = 1, 2, \dots, m \right\} \tag{5}$$

$$A^- = \left\{ \min_j v_{ij} \mid j = 1, 2, \dots, n \text{ ve } i = 1, 2, \dots, m \right\} \tag{6}$$

Step 5: Calculation of distance values with ideal solution and negative ideal solution: Distance from alternative i to positive ideal solution (S_i^+) and to negative ideal solution (S_i^-) are calculated using Eq. (7) and Eq. (8), respectively.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \tag{7}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \tag{8}$$

Step 6: Calculation of relative convergence: S_i^+ and S_i^- are used to calculate the relative convergence (C_i^*) of each decision point to ideal solution. Relative convergence to ideal solution is calculated using Eq (9) and this value is between 0 and 1. Higher values indicate higher success.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \tag{9}$$

2.3. VIKOR Method

VIKOR (Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) is a method developed by Opricovic (1998) for multi-criteria optimization of complex systems. This method is known as a method to choose between alternatives in the case of contradictory criteria and to focus on sorting these alternatives. Closeness of the ideal solution is the key part of the VIKOR method. Ideal alternatives are comparisons according to closeness measure (Opricovic,1998). Also, this method uses different summation functions and different normalization methods than TOPSIS method. Steps of VIKOR method are listed:

Step 1: Determination of the best (f_j^+) and worst (f_j^-) values for each criterion: Let various alternatives are shown as a_1, a_2, \dots, a_n . For the criterion i , the measurement of the alternative a_j is expressed as f_{ij} . Eq. (10) and Eq. (11) are used if criterion is a benefit, and Eq. (12) and Eq. (13) are used if the criterion represents a cost.

$$f_j^+ = \max(a_{ji}) \quad j = 1, 2, \dots, m \tag{10}$$

$$f_j^- = \min(a_{ji}) \quad j = 1, 2, \dots, m \tag{11}$$

$$f_j^+ = \min(a_{ji}) \quad j = 1, 2, \dots, m \tag{12}$$

$$f_j^- = \max(a_{ji}) \quad j = 1, 2, \dots, m \tag{13}$$

Step 2: Creation of the normalization matrix

$$r_{ij} = \frac{f_j^+ - a_{ij}}{f_j^+ - f_j^-} \tag{14}$$

Step 3: Calculation of the weighted normalization decision matrix (V_{ij}): This matrix is obtained by multiplying normality decision matrix elements by respective weights to show criterion weights (w_j).

$$V_{ij} = r_{ij} \times w_j \tag{15}$$

Step 4: Determination of S_i and R_i values: Maximum group benefit is obtained from $\min_i S_i$ and minimum personal regret is calculated with $\min_i R_i$. S_i indicates mean values for alternative i , R_i states the worst group scores for alternative i . w_j value in the formulation can be determined according to expert opinions or can be obtained by any of several criteria-based decision-making methods which allow calculation of criteria weights. In this study weights were determined with the help of AHP method.

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \frac{f_j^+ - a_{ij}}{f_j^+ - f_j^-} \tag{16}$$

$$R_i = \max \left[w_j \cdot \frac{f_j^+ - a_{ij}}{f_j^+ - f_j^-} \right] \tag{17}$$

Step 5: Calculation of Q_i values: For each alternative, the Q_i values determined according to the evaluation criteria with Eq. (22) indicate the maximum group utility. Value β in equation represents weight value for strategy of maximum group utility, while value $1 - \beta$ represents minimum regret of opposing decision makers. In Q_i values, if β value is chosen bigger than 0,5, it specifies the majority choice; if β value is equal to 0,5 this indicates compromise. Apart from these β states negative attitude.

$$S^+ = \min_i S_i \tag{18}$$

$$S^- = \max_i S_i \tag{19}$$

$$R^+ = \min_i R_i \tag{20}$$

$$R^- = \max_i R_i \tag{21}$$

$$Q_i = \beta \cdot \frac{(S_i - S_i^+)}{(S_i^- - S_i^+)} + (1 - \beta) \cdot \frac{(R_i - R_i^+)}{(R_i^- - R_i^+)} \tag{22}$$

Step 6: Ranking of alternatives for S_i , R_i and Q_i values: The rank of alternatives is determined by sorting obtained values from small to large.

Step 7: Determination of acceptable advantage (C_1) and acceptable stability (C_2) clusters: If the following two conditions are provided, A_j is recommended as the compromised solution. For any alternative to take place in the C_1 cluster, it is necessary to provide the condition shown in (24). Value of the DQ in equation is calculated by using Eq. (23). Where m is the number of alternatives.

$$DQ = \frac{1}{1 - m} \tag{23}$$

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq DQ \tag{24}$$

Set of acceptable stability (C_2) consists of alternatives in taking place in the same order of S_i or R_i with Q_i order. Alternatives in both C_1 and C_2 clusters indicate stable decision points.

3. RANKING with AHP-TOPSIS and AHP-VIKOR

3.1. Identification Criteria and Calculate the Weights

Criteria to be considered in the determination the most important inventory item are determined with expert. Literature studies (Ertugrul and Tanriverdi, 2013; Özdemir and Özveri, 2013; Partovi and Burton, 1993) and experiences of expert are benefited in this stage and 5 criteria to be used for the most inventory item determination are defined. Criteria and definitions of importance are shown in Table 5. It is possible to obtain quantitative information on price, demand and delivery time from 5 criteria, but criteria of criticality and substitution possibilities can be obtained qualitatively.

Table 5. Inventory evaluation criteria and its definition

Criterion	Definition of Importance
Price	Expression as currency of each inventory items.
Demand	Amount of demand made in the inventory item within a year
Delivery Time	Time interval between when an inventory order is placed and when the product is delivered to the firm
Substitution	Whether or not there is another inventory that can be used in place of any inventory item
Criticality	How important is inventory to keep the production cycle running?

After determining criteria, 15 alternative products, which are wanted to be compared by expert, were identified. Decision hierarchy structured with selected alternative items and criteria is given in Figure 1. There are three levels in the decision hierarchy structured for this problem. Goal of decision process identified as *Determination of the most important inventory item* is in the first level of hierarchy. Criteria are in the second level and alternative inventory items are in the third and bottom level of hierarchy.

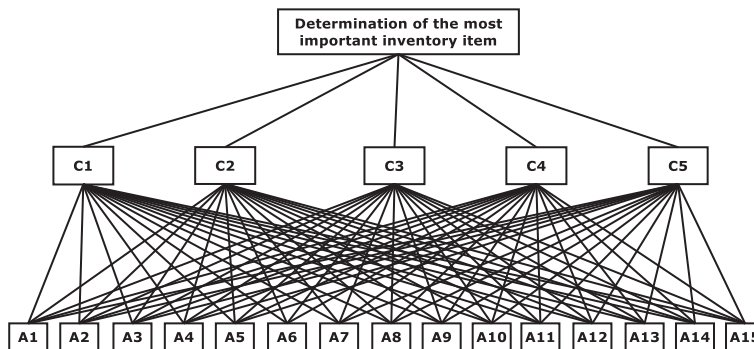


Figure 1. Hierarchy of multi criteria decision process

Table 6. Pairwise comparison matrix for criteria

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1.00	0.50	3.00	5.00	7.00
C2	2.00	1.00	3.00	7.00	5.00
C3	0.33	0.33	1.00	3.00	3.00
C4	0.20	0.14	0.33	1.00	0.50
C5	0.14	0.20	0.33	2.00	1.00

C2 is found as the most important criteria in the inventory item determination by AHP. Consistency index, Random index and consistency ratio of pairwise comparison matrix are calculated respectively as 0,039, 1,12 and 0,035. Consistency ratio is smaller than 0,10. Therefore weights of criteria are stated as consistent and they can be used in determination process. Because values are consistent, the relative importance values obtained can be used as weights.

Table 7. AHP Results

Criteria	Weight	λ_{max} , CI, RI, CR
C1	0,32	$\lambda_{max}=5,516$
C2	0,42	
C3	0,14	CI=0,039
C4	0,05	RI=1,12
C5	0,07	CR=0,035

3.2. Determine the ranking with AHP-TOPSIS

Decision matrix in which alternatives are evaluated for each criterion, are formed in this stage. This matrix is converted to normalize decision matrix using Eq. (3) and is presented (Table 8). The weighted normalized decision matrix is constructed by multiplying the criteria weight calculated by AHP of elements in each column of the normalized decision matrix.

Table 8. Normalize unweighted and weighted decision matrix

Normalize unweighted decision matrix						Normalize weighted decision matrix					
Alternatives	C1	C2	C3	C4	C5	Alternatives	C1	C2	C3	C4	C5
A1	0,026	0,05	0,089	0,032	0,104	A1	0,008	0,021	0,012	0,002	0,007
A2	0,025	0,048	0,086	0,032	0,1	A2	0,008	0,020	0,012	0,002	0,007
A3	0,032	0,042	0,095	0,032	0,084	A3	0,010	0,018	0,013	0,002	0,006
A4	0,028	0,11	0,068	0,026	0,094	A4	0,009	0,046	0,010	0,001	0,007
A5	0,03	0,095	0,056	0,022	0,075	A5	0,010	0,040	0,008	0,001	0,005
A6	0,038	0,064	0,053	0,019	0,06	A6	0,012	0,027	0,007	0,001	0,004
A7	0,037	0,078	0,044	0,016	0,047	A7	0,012	0,033	0,006	0,001	0,003
A8	0,028	0,034	0,041	0,013	0,055	A8	0,009	0,014	0,006	0,001	0,004
A9	0,03	0,034	0,038	0,011	0,045	A9	0,010	0,014	0,005	0,001	0,003
A10	0,012	0,2	0,162	0,08	0,076	A10	0,004	0,084	0,023	0,004	0,005
A11	0,012	0,15	0,145	0,076	0,053	A11	0,004	0,063	0,020	0,004	0,004
A12	0,018	0,027	0,079	0,07	0,057	A12	0,006	0,011	0,011	0,004	0,004
A13	0,207	0,024	0,018	0,229	0,071	A13	0,066	0,010	0,003	0,011	0,005
A14	0,207	0,019	0,01	0,173	0,053	A14	0,066	0,008	0,001	0,009	0,004
A15	0,207	0,026	0,011	0,154	0,057	A15	0,066	0,011	0,002	0,008	0,004

Determining positive ideal and negative ideal points of each criteria, distances of each alternative to positive ideal (S_i^+) and negative ideal (S_i^-) points are calculated. At last stage relative closeness (C_i) to positive ideal solution is calculated and alternatives are ranked according to these values (Table 9).

Table 9. TOPSIS results

Alternatives	S_1^+	S_1^-	C_i
A1	0,087	0,018	0,172
A2	0,088	0,017	0,164
A3	0,088	0,017	0,161
A4	0,071	0,040	0,359
A5	0,074	0,033	0,309
A6	0,081	0,022	0,210
A7	0,077	0,026	0,255
A8	0,093	0,009	0,091
A9	0,092	0,009	0,092
A10	0,063	0,079	0,557
A11	0,066	0,058	0,467
A12	0,096	0,011	0,102
A13	0,077	0,063	0,453
A14	0,079	0,063	0,443
A15	0,076	0,063	0,452

Based on C_i values, ranking of alternatives in descending order is A10, A11, A13, A15, A14, A4, A5, A7, A6, A1, A2, A3, A12, A9, A8. TOPSIS results demonstrate that A10 is the most important alternative with C_i value of 0,557. When case in which criteria weights are not considered ranking of alternatives in descending order is A13, A14, A10, A15, A11, A4, A1, A3, A2, A5, A12, A7, A6, A8, A9. A13 is the most important alternative with C_i value of 0,561.

This result indicates that the most important alternative has changed according to unweighted ranking results and criteria weights found significantly. So as to exemplification relative closeness calculation, is calculated as follows (Eq. (25), Eq. (26), Eq. (27)) using Eq. (7), Eq. (8) and Eq. (9):

$$S_1^+ = \sqrt{(0,008 - 0,066)^2 + (0,021 - 0,084)^2 + (0,012 - 0,023)^2 + (0,002 - 0,011)^2 + (0,007 - 0,007)^2} = 0,087 \quad (25)$$

$$S_1^- = \sqrt{(0,008 - 0,004)^2 + (0,021 - 0,008)^2 + (0,012 - 0,001)^2 + (0,002 - 0,001)^2 + (0,007 - 0,003)^2} = 0,018 \quad (26)$$

$$C_1 = \frac{S_1^-}{S_1^- + S_1^+} = \frac{0,018}{0,018 + 0,087} = 0,172 \tag{27}$$

3.3. Determine the ranking with AHP-VIKOR

For each criterion, the best (f_j^+) and worst (f_j^-) values are found with the aid of the decision matrix. Decision matrix is converted to a weighted normalized decision matrix using Eq. (14) and Eq. (15). For each decision point, S_i is calculated using Eq. (16), R_i values are calculated with Eq. (17), and Q_i values are calculated using Eq. (22). S_i , R_i and Q_i are presented in order from small to large (Table 10). Here, the β value is taken as 0,5.

Table 10. VIKOR Results

Rank	S_i	Rank	R_i	Rank	Q_i
A10	0,369	A7	0,283	A10	0,135
A11	0,527	A5	0,290	A4	0,279
A4	0,604	A4	0,294	A11	0,296
A13	0,630	A6	0,316	A5	0,332
A15	0,631	A10	0,320	A7	0,377
A14	0,658	A11	0,320	A6	0,504
A5	0,669	A1	0,348	A1	0,592
A1	0,717	A2	0,353	A2	0,623
A2	0,731	A3	0,367	A3	0,687
A7	0,740	A8	0,385	A15	0,708
A3	0,744	A9	0,385	A13	0,724
A6	0,747	A12	0,401	A14	0,794
A8	0,849	A15	0,404	A8	0,862
A12	0,857	A13	0,408	A9	0,873
A9	0,860	A14	0,420	A12	0,930

The following calculations show that C_1 (Acceptable advantage) condition is satisfied.

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq DQ$$

$$D(Q) = 1/14 = 0,0714$$

$$0,279 - 0,135 = 0,144$$

$$0,144 \geq 0,0714$$

C_2 condition is checked after C_1 condition. To ensure the second condition, in Q_i ranking, alternative in i th ranking must take place in i th ranking at least one of S_i or R_i . When Q_i values varying according to different B values were examined, since 75% of the sequences had the A10 alternative in the first rank (Table 11), β value was accepted as 0,5, assuming compromise. Due to the first alternative in S_i sequence was A10, the second condition also was provided.

Table 11. Rankings of Q_i according to different β values

$Rank_{\beta=0}$		$Rank_{\beta=0,25}$		$Rank_{\beta=0,50}$		$Rank_{\beta=0,75}$		$Rank_{\beta=1}$	
A7	-	A4	0,178	A10	0,135	A10	0,067	A10	-
A5	0,054	A7	0,189	A4	0,279	A11	0,309	A11	0,322
A4	0,078	A5	0,193	A11	0,296	A4	0,379	A4	0,480
A6	0,237	A10	0,202	A5	0,332	A5	0,471	A13	0,532
A10	0,270	A11	0,283	A7	0,377	A7	0,566	A15	0,535
A11	0,270	A6	0,371	A6	0,504	A15	0,621	A14	0,588
A1	0,475	A1	0,533	A1	0,592	A13	0,628	A5	0,610
A2	0,508	A2	0,566	A2	0,623	A6	0,637	A1	0,709
A3	0,610	A3	0,649	A3	0,687	A1	0,651	A2	0,737
A8	0,746	A15	0,795	A15	0,708	A2	0,680	A7	0,755
A9	0,746	A8	0,804	A13	0,724	A14	0,691	A3	0,764
A12	0,864	A9	0,809	A14	0,794	A3	0,726	A6	0,771
A15	0,881	A13	0,819	A8	0,862	A8	0,920	A8	0,978
A13	0,915	A14	0,897	A9	0,873	A9	0,936	A12	0,995
A14	1,000	A12	0,897	A12	0,930	A12	0,962	A9	1,000

4. CONCLUSION

In today's competitive world, businesses have begun to pay more attention to inventory management to be able to compete better in the business world and survive in this environment. Inventory management has critical importance for firms in terms of reducing inventory holding cost, keeping inventory levels at the required level and allocating generally limited funding sources to appropriate areas to provide a competitive advantage. When literature was examined, generally they were suggested inventory should be scaled down by classifying or clustering methods instead of managing the whole during inventory management. Thus, this management

style helps to reduce holding costs and increasing customer satisfaction. One of the most used methods in inventory management is the multi-criteria decision-making method.

In terms of inventory management, the most important advantages of the multi-criteria decision-making method compared to other methods are that criteria can be determined by taking opinions of experts in this field, multiple criteria can be taken into consideration and both qualitative and quantitative evaluations can be used in decision process. In order to determine the most important product in terms of inventory management, rather than making decisions according to only demand and price criteria, opinions of firm managers should be taken, and studies done in the literature should be analyzed. It may be more advantageous for firm to decide according to analysis made by considering criteria identified in this way.

In this study, multi-criteria decision-making methods were applied to determine the most important product in terms of inventory management for alternatives selected by experts from products produced by a company producing agricultural tools. In the process of determining criteria, it was benefited from expert opinions and studies in literature (Partovi and Burton, 1993; Ertugrul and Tanriverdi, 2013; Özdemir and Özveri, 2013). Criteria weights were determined by performing AHP analysis. Utilizing these weights, TOPSIS and VIKOR methods are applied and alternatives were listed. When comparing the results, it was seen that A10 was the most important alternative in both methods.

REFERENCES

- Aydın Keskin, G. and Ozkan, C. (2013). Multiple criteria ABC analysis with FCM clustering. *Journal of Industrial Engineering*, 2013.
- Aydın, Ö. (2009). Hospital Location for Ankara with Fuzzy AHP. *Dokuz Eylul University Faculty of Economics and Administrative Sciences Journal*, 24(2), 2009.
- Bhattacharya, A., Sarkar, B. and Mukherjee, S. K. (2007). Distance-based consensus method for ABC analysis. *International Journal of Production Research*, 45(15), 3405-3420.
- Boulos, M. N. K. (2003). Location-based health information services: a new paradigm in personalised information delivery. *International journal of health geographics*, 2(1), 2.
- Cakir, O. and Canbolat, M. S. (2008). A web-based decision support system for multi-criteria inventory classification using fuzzy AHP methodology. *Expert Systems with Applications*, 35(3), 1367-1378.
- Chen, Y., Li, K. W., Kilgour, D. M. and Hipel, K. W. (2008). A case-based distance model for multiple criteria ABC analysis. *Computers & Operations Research*, 35(3), 776-796.
- Ertugrul, I. and Tanriverdi, Y. (2013). ABC Method for Stock Controls and the Application of the AHP Analysis to Yarn Company. *International Journal of Alanya Faculty of Business*, 5(1), 2013.
- Görgülü, I., Korkmaz, M. and Eren, T. (2013). Analytic network process and TOPSIS methods with selection of optimal investment strategy. *Sigma*, 31, 203-213.
- Hatefi, S. M. and Torabi, S. A. (2015). A common weight linear optimization approach for multicriteria ABC inventory classification. *Advances in Decision Sciences*, 2015.
- Hwang, C. L. and Yoon, K. (1981). *Methods for multiple attribute decision making*. In *Multiple attribute decision making* (pp. 58-191). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Kılıç, A., Aygün, S., Aydın Keskin, G. and Baynal, K. A. (2014). Variant Perspective to Multi Criteria ABC Analysis Problem: Fuzzy Analytic Hierarchy Process-Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 20(5), 179-188.
- Kumar, G. A., Anzil, A., Ashik, K., James, A. T. and Ashok, J. K. (2017). Effective Inventory Management system through selective inventory control. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 3(6).
- May, B. I., Atkinson, M. P. and Ferrer, G. (2017). Applying inventory classification to a large inventory management system. *Journal of Operations and Supply Chain Management*, 10(1), 68-86.
- Opricovic, S. (1998). Multicriteria optimization of civil engineering systems. *Faculty of Civil Engineering, Belgrade*, 2(1), 5-21.
- Opricovic, S. and Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European journal of operational research*, 156(2), 445-455.

Özdemir, A., Özveri, O. (2013). Application of Analytic Hierarchy Process Analysis in Multi-Criteria Inventory Classification. Dokuz Eylül University Faculty of Economics and Administrative Sciences Journal, 19(2).

Partovi, F. Y. and Burton, J. (1993). Using the analytic hierarchy process for ABC analysis. International Journal of Operations & Production Management, 13(9), 29-44.

Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resources allocation. New York: McGraw, 281.

Zhou, P. and Fan, L. (2007). A note on multi-criteria ABC inventory classification using weighted linear optimization. European journal of operational research, 182(3), 1488-1491.



Design of a Distributed Control System with Fuzzy Logic Controller and PLC in Wireless Sensor Network Based Industrial Environments and Monitoring the System with RFID

Akif Durdu¹, Üzeyir İlbay Bozkurt¹, Mehmet Celalettin Ergene¹

¹Konya Technical University, Robotics Automation Control Laboratory (RAC-LAB), 42075, Konya

Başvuru/Received: 19/02/2018

Kabul/Accepted: 12/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Abstract

Nowadays industrial applications are built on automatic control systems. The main reason is to convert these control systems and industrial factories into smart ones. By converting them to smart factories, a high-efficiency rate can be acquired. Generally, automatic control systems are controlled by classical logic via PLC (Programmable Logic Controllers). In this method, many problems can be met with. The most important one of these is that it is complicated to create a numerical control unit. Trying to control the system with the traditional way without creating a model can lead us to complicated algorithms. At the same time, complicated algorithms can cause wrong orientations in the system. However, the fuzzy logic, which is one of the intelligent control methods, can help us to create the system just with linguistic expressions and some rules without requiring a mathematical model. In this way with smart control methods, efficiency can be obtained in factories. Besides control systems, factories can be made smart. RFID technology is the central element of this process. The factory-material communication is provided via RFID technology. Thus, factories can communicate with the material that is produced without any human intervention. The development of smart factories and the rapid improvements in automation systems caused demands in wireless technology to rise. As a result of these demands, wireless sensor networks became a critical subject, and its use is widespread. These systems provide us to send the data in a certain distance without any loss of the data, also removes all the cables in the workplace. In this study, a control system, distributed in a wireless sensor network based industrial places, is controlled by a traditional PLC method and fuzzy logic. At the same time, the system is monitored by RFID and a solution is proposed to a smart factory application.

Key Words

“Distributed Control Systems, Fuzzy Logic, PLC, RFID, Wireless Sensor Network”

1. INTRODUCTION

Logic is a subject of study of reasoning methods. A reasoning method means that to create a new proposition from the present proposition. In classical logic, if a proposition is p , it must be either true or false, so the truth-value of the proposition is 1 or 0. For more than a century two-valued classical logic dominated the world. However, this traditional two-valued logic brings many problems along and there were failures at its truth-values. Fuzzy logic part is designated as a transition to the absolute truth and proposes a value in the range of the binary system which classical logic tells. This generalization provides the reasoning performance by giving fuzzy propositions namely uncertain results (N. Siddique, 2013).

In classical logic, variables have to be one of the values such as; cold-hot, zero-one and young-old. At the beginning of the 1920s, Polish researcher Jan Łukasiewicz came up with the idea that is the opposite of this classical logic. In fact, by telling that classical logic can have the intermediate values, he laid the foundations of many-valued logic. Max Planck in 1937 by publishing an article on Philosophy of Science journal, he has drawn the first fuzzy set curves via applying object sets to this valued logic. The first idea of fuzzy logic is put forth by Lotfi Zadeh in 1965 with his Fuzzy Sets article. However, in the Western World of the time, these ideas were approached with suspicion and got huge responses. In the last 30 years, classical logic gave its place to the logic known as “fuzzy” and started to being used in technological devices. In here verbal expressions from daily speaking language are added to the process while modeling (J. Kavulmaz, 2002).

With microelectronics, the latest developments in the area of the sensor and wireless communication technology provided a new network structure; wireless sensor devices run on batteries. The self-configured structure called wireless sensor network consists of little devices equipped by individual sensors and a wireless receiver. The primary purpose of a wireless sensor network is to collect the data from the environment and send the observed data to an analyzable reporting site. Wireless sensor devices at the same time can also answer the queries sent by a control site. Finally, under certain conditions, wireless sensor devices can be equipped by actuators for mobility. These networks are sometimes specifically called wireless sensor and actuator networks (M.A. Labrador and P.M. Wightman, 2009).

Wireless sensor networks possess many useful aspects such as low power consumption, reliability, accuracy, ease of maintenance and lower cost. This structure can contain many maintenance-free nodes. When these nodes analyzed alone, their coverage may be low; however, when they together form a network structure, this coverage may be increased. For example, a network structure formed by many nodes can be seen in Figure 1. Additionally, sensor nodes can be used in the areas where life is in danger, e.g., to observe living creatures in wild areas. In this way, they can accomplish their sensing task by working four seasons (M. Yazar, 2015).

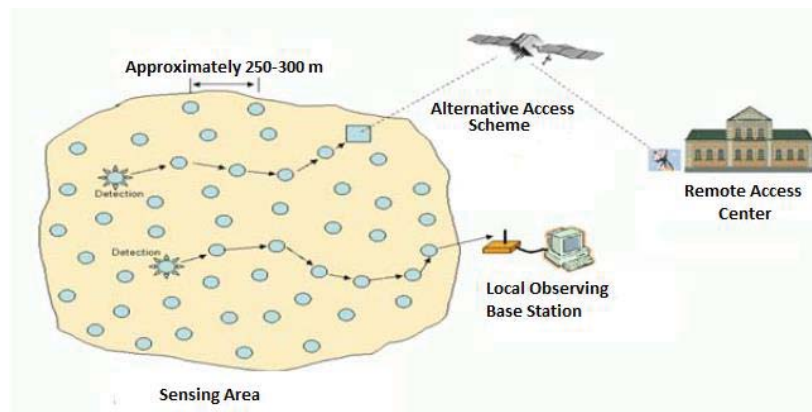


Fig. 1. Wireless sensor networks (G.H. Choi, G.S. Choi, and J.H. Jang, 2009)

Due to economic and technological reasons, nowadays power skills, memory and communication quality of wireless sensor devices are restricted. Because of that in the wireless sensor technology, efficient algorithms and protocol designing about energy and necessary calculations are focused. At the same time, because it is used at simple data focused on observing and reporting tasks, its application area is so restricted. On the other hand, wireless sensor networks, which can do more than this, are developed. More improved functions and multimedia data transfer feature is added. With new network architectures, in heterogenic devices and expected improvements in the technology, eliminates these restrictions. Thus, the application spectrum for wireless sensor networks is being developed significantly (M.A. Labrador and P.M. Wightman, 2009).

Distributed control system architectures consist of different units in the field. These units can be wireless sensor nodes, smart sensors, velocity control devices, network gateways, and computers. An example of a distributed control system architecture is shown below (Fig. 2.). The main thing about distributed control systems is that they have a network system. All of these units told about are connected to this network node and communicating each other. Control system foresees to control these units from one

node and provides the process automation to be done from this node. There is a real-time information exchange with the control unit. However, there can be a delay appeared due to the distributed control. To make this delay the most efficient is one of the essential things in system designing (M. Anand, S. Sarkar, and S. Rajendra, 2012).

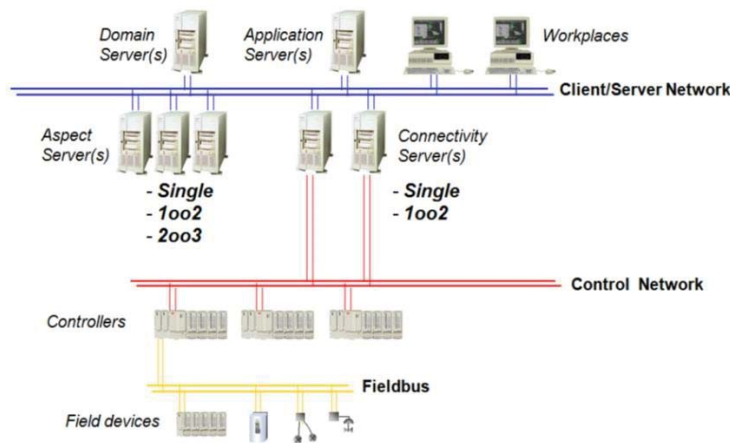


Fig. 2. Distributed control system architecture (M. Anand, S. Sarkar, and S. Rajendra, 2012)

The radiofrequency idea is introduced first time during the time of the Second World War. By transmitting and receiving back again radio waves from a certain point, radar systems are created (G. Ozbek, 2014). The development of radar systems laid the groundwork for the RFID technology. In aviation, it is used to recognize the allied and the hostile countries. The RFID technology reads and writes with radio frequency and does the identification process. Owing to the automatic identification process, the necessity of manual data input will be disappeared. Labor and at the same time the data accuracy also will be at the top level (A. Üstündağ, 2008).

It is seen that until programmable logic controllers (PLC) were developed, in automation and control systems relayed electrical control systems were being used. However, nowadays with the increase of the efficiency and the quality of the automation systems it is observed that it is improved continuously. In this improvement progress, PLC controlled systems are essential for automation systems to adapt themselves as quickly as possible. In automation systems, PLC is an automation unit with its specific numbered inputs and outputs, has a different communication typed connections, ensures the control applications are performed (S. Kurtulan, 2010).

The commercial use of PLCs started in 1969. Produced and developed by Modicon Company to use instead of relayed electrical control circuits. After the first PLCs used in industry and achieved success, big companies such as General Electric, Siemens and Schneider produced PLCs with higher quality and cost. As an alternative to these products companies such as Omron and Delta produced products (W. Bolton, 2006).

In (J. Lin and R.-J. Lian, 2010) a method to improve the performance of a plastic injection-forming machine is developed. Difficulties in producing non-linear and complicated plastic parts are mentioned. For such system, self-organized fuzzy controllers are designed. The designed system has online learning skills. It updates the automatic fuzzy rules and decides the reasonable control. For injection heavy holding pressure and injection screw velocity, PID and fuzzy logic control are applied. As a result of the fact that fuzzy logic gives better performance is shown.

In (P. Singhala, D. Shah, and B. Patel, 2014) by using fuzzy logic, low cost improved temperature control is done. The system consists of a heater, fan and a temperature sensor. A temperature value is taken from the user via a keyboard. The temperature is kept constant on the taken temperature value by using a few rules with fuzzy logic in the system. Operation processes of fuzzy logic inputs and outputs are determined, and fuzzification and defuzzification processes are done. As a result, it is specified that the application of this technology is not difficult. It is shown that the solution, which is cheaper and faster, is produced in this way.

Wireless sensor networks in health observing applications are used in (J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, 2008). Infant monitoring, blood pressure warning, and observing applications are done. Sleeping positions of infants are observed and provided them a safer sleep. For the infants are in wrong positions, their parents are warned.

With the help of wireless sensor networks, in (I. Morsi and L.M. El-Din, 2014), a habitat monitoring application is made. By placing more than one sensor nodes to the creatures' nests, big spots are monitored. The effect of the monitored values such as temperature and humidity to the creatures are researched.

In (P. Chanak and I. Banerjee, 2016), a fuzzy rule base is developed in order to detect the broken sensors and reusing them in a wireless sensor system. It is told that the detection of these sensors is significant for service quality. Some of the chosen nodes are classified with fuzzy inference. Experiments are done on it by creating variable network scenarios. The experiment result is compared with the current algorithms, and the most available algorithm is proposed. It is shown that the proposed method detects only faulty sensors and provides its reuse in order to increase the network performance. It does not affect energy consumption is told. It is observed that, with the help of the proposed data orientation algorithm, the errors of the sensors are corrected.

A SCADA/PLC system is used to control petrol and gas refineries with traditionally DCS in (I. Morsi and L.M. El-Din, 2014). In this way by presenting a real system for the application, a particular application method is applied. The design is made by dividing the factory into four main parts. Various sensors are used to measure the temperature and the velocity in the system. The system is very successful and stable to reduce human power and increase life safety. In SCADA systems huge data can be recorded and monitored in anywhere around the world while the monitoring is being done. With this system, the result is obtained faster than DCS.

In (C.K.H. Lee, K.L. Choy, K.M.Y. Law, and G.T.S. Ho, 2014), smart data management sourced RAS (source allocation system) system is developed for source allocation. This system consists of human, information, and control supporting functions for production efficiency. In the system for smart deciding, fuzzy logic to analyze the data and RFID (radio frequency identification) system for verification of the result is developed. They confirmed the system by applying it to a clothing facility. At the end, it is observed that the system is more efficient with fuzzy logic.

In (A.B. Kılıç, 2015), first of all, the theoretical information about RFID is laid stress. Afterward, studies are done about a special C# software program. A software program is developed for the roll call in a school, the entrance and the exit of the students are observed from the main desk. It is told that this technology is developing and in the future, it will take place in many applications.

A fuzzy system is proposed about a practical application of PLC system in a servo mechanic system in (I. Dumitru, N. Arghira, I. Fagarasan, and S. Iliescu, 2010). As a method fuzzy logic is used. In this servo mechanic system, velocity control application is laid stress. In the designed system, PLC and a fuzzy logic system are connected to each other.

In many factory fields, products completed on installation and production lines are carried via forklifts. These lines are generally consisting of more than one station. The main aim in here is to carry as many as products as soon as possible. If this conveyance system is observed, forklifts are carrying the products from the stations randomly. In a word, even if the factory is empty, the forklifts are still wandering around the factory, and they go to the station irrespective of any limitation when they see that the products are finished on the station. As a result of this energy and time waste occurs.

In this study, first of all, a factory environment is thought like as mentioned before. In this environment, stations in absolute numbers are designed and by creating a suitable network topology, a wireless network structure is simulated. Information in this simulation is considered as a distributed system, and a software program is developed in the CODESYS program. The algorithms created in this software put into practice. An operator panel is developed in simulation place, and how the factory will be observed and the intervention will be made is shown. RFID read-write tags are placed on the forklifts and the stations to control the production. This RFID control is observed from the operator panel, and necessary settings are made. As mentioned before, forklifts are deciding randomly which station to choose. For this process, a fuzzy model is developed on a suitable software program. With this model, appropriate input and output functions will be created in order to save energy and time. The comparison between algorithms based solution and a fuzzy model solution is made, and the performance analysis is made at the end of the study.

2. FUZZY LOGIC

If Figure 3 will be examined, the people between 0-30 years old are young, 30-50 years old are, and over 50 is considered old. According to these rules, when a person at the age of 29.5 is considered as young, a person at the age of 30.5 is considered as middle-aged. If it is thought for a controller, if the sets made of physical sizes are divided with such sharp lines, it is unavoidable that to see rapid changes at the control output. As opposed to the cited above fuzzy logic can make softer qualification than the sharp logic's binary concept and it by qualifying open/close, cold/hot as little open/little closed and a little cold/a little hot creates a more appropriate logic. If we handle the age topic again, as a person at the age of 33 can be considered as middle-aged, he/she can be considered as young as well. Sometimes the title of middle age sometimes young could be suitable. As it can be seen in Figure 4, fuzzy sets are convenient to create such flexible logic. The fact that sets are not divided with sharp lines provides the possibility for a 33 years old person to be considered young in some rate and middle-aged in some rate (A. Özek and M. Sinecen, 2004).

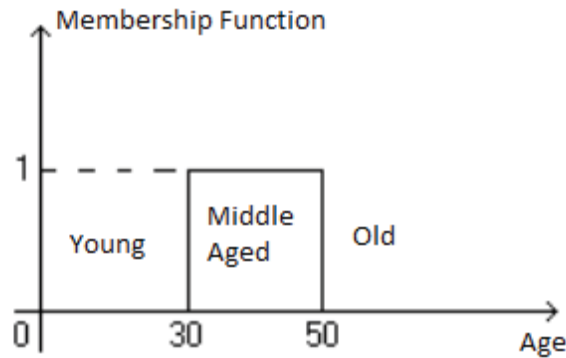


Fig. 3. Age distribution membership function belongs to the classical set (E.A. Tiryaki and R. Kazan, 2007)

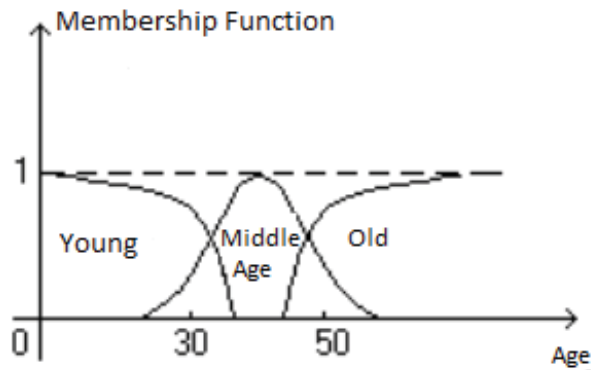


Fig. 4. Age distribution membership function belongs to the fuzzy set (E.A. Tiryaki and R. Kazan, 2007)

2.1. Fuzzy and Classical Sets

According to the classical set theory, there are only three members x_1, x_2, x_3 in the set B under the age of 40, because of this, the border is so wide between over 40 years old and under 40 years old faculty members. In Figure 5 this border can be seen clearly. However, for the fuzzy set theory, the set B does not only contain these three members x_1, x_2, x_3 but it also contains other members in changing degrees. Distribution of ten teaching staff's real age on the x-axis is shown in Figure 5. When this graph is examined, it can be seen that x_4 and x_5 are not the members of the set B, but respectively with their rates of 0.7 and 0.3 membership degrees, they can be considered as partial members (Y. Bai, H.Q. Zhuang, and Z.S. Roth, 2005).

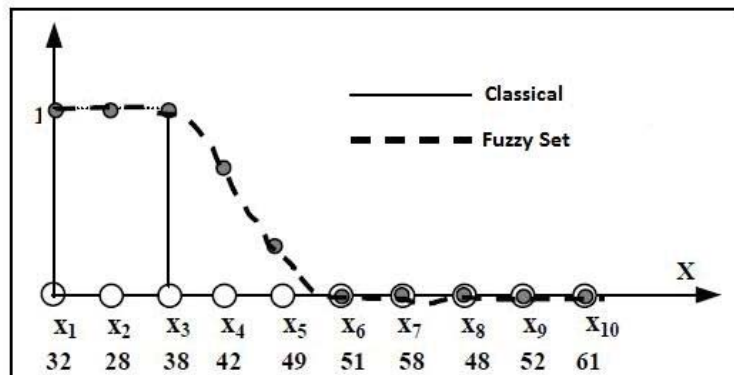


Fig. 5. The comparison between classical and fuzzy sets (Y. Bai, H.Q. Zhuang, and Z.S. Roth, 2005)

2.2. Fuzzy Logic Control Structure

Nowadays in automation systems, in order to obtain an excellent automatic control these systems must be known well. This is also very important to design fuzzy control. The main point of fuzzy control is creating a rule base with verbal expressions by using supervisors' knowledge and experiences. Control systems are made not by classical and fuzzy control algorithms but by the rules created by verbal expressions (R. Arınc, 2003).

A system, which will perform the fuzzy deciding process, can be designed by gathering this given information in one place with fuzzy logic control. In Figure 6 a fuzzy logic control structure is shown. This structure can be assembled under four main titles.

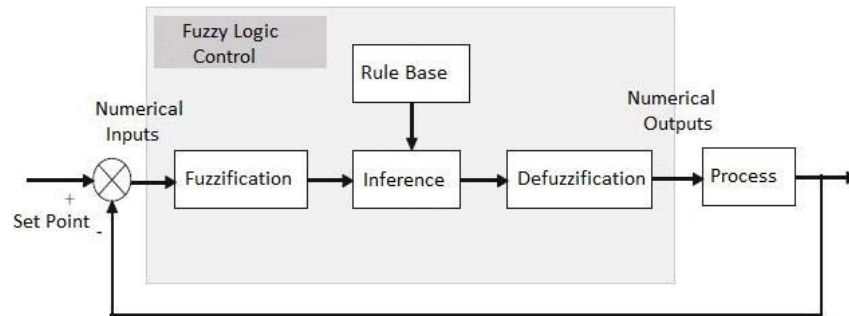


Fig. 6. Fuzzy logic control structure (N. Siddique, 2013)

1. The input data taken from the outer world and has the absolute numerical value is converted to verbal expressions via membership functions. This step is called fuzzification unit.
2. Rule base, which is the second step, creates propositions with verbal expressions and fetches the control rules.
3. Expressions obtained from the fuzzification are compared with the expressions created in the rule base, and as a result, verbal expressions are obtained again. This step is called inference.
4. If the fuzzy output of the inference step is sending information to an, e.g. system, these outputs must be converted to a language which the system can understand. This conversion process is performed in the defuzzification step (S. Yılmaz, 2007).

3. WIRELESS SENSOR NETWORKS AND CODESYS

The architecture of a wireless sensor device is so simple. In Figure 7 the general structure of the sample architecture is given. A wireless sensor device consists of a processor, memory, radio transmitter, antenna, power supply, and input/output interface. These devices are equipped with low powered microcontrollers. CPUs of advanced microcontrollers consume less energy; however, wireless sensor devices maintain batteries. Because energy is significant for these devices. Setting some parts of these devices to sleep mode is also critical. Generally, in these wireless devices, there are 16-32 bit RISC (reduced instruction set computing) working with little energy. Duties of some of the units create a sensing node is mentioned below (M.A. Labrador and P.M. Wightman, 2009).

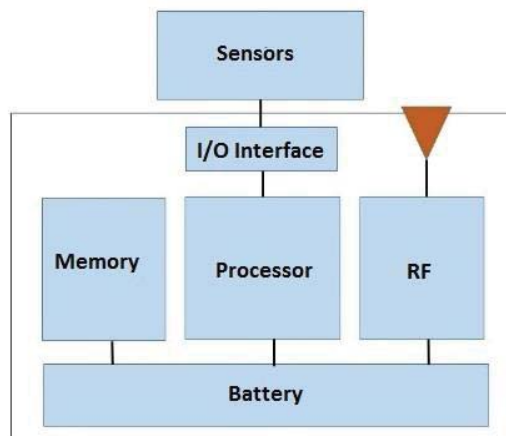


Fig. 7. A general structure of a wireless sensor device (M.A. Labrador and P.M. Wightman, 2009)

Wireless sensor network architectures were developed over time and are being improved. The most important reason for this is there are new and skilled devices. At the beginning, wireless sensor networks consisted of a plain topology that does the measurement with only one variable. These networks formed by many wireless sensor devices distributed in the area they are relevant. These devices with the network they form, they can observe even very remote regions and analyze it. New applications

require a significant number, hundreds maybe thousands of nodes. These applications call for new architectures for the efficient transmission of the wireless sensor data (M.A. Labrador and P.M. Wightman, 2009).

In basketball, first of all, players are selected after that to form team players should come together. For wireless sensor networks, the same logic applies. Devices can be connected in a few orders, or network structure should be given to the topology. Radios show logically how to connect these topologies. Their environmental regulations, of course, can be different. There are many different network communication methods in wireless networks. Sample network topologies are given in Figure 8 (R. Faludi, 2010).

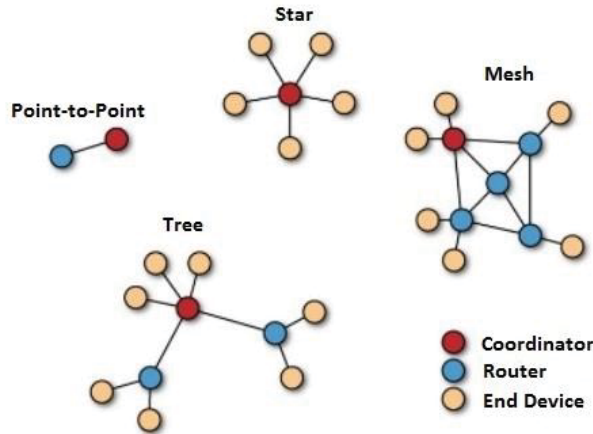


Fig. 8. Sample network topologies (R. Faludi, 2010)

3.1. Point-to-Point Network Topology

The topology forms the most straightforward network structure, consists of two devices, coordinator and router. At this point, the coordinator may be a gateway or a node. However, to create a network, one node should have a coordinator. In here the node can be a router or an end device. An example of a topology is shown in Figure 9.

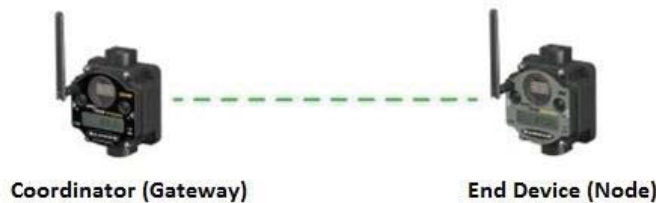


Fig. 9. Point-to-Point network topology [21].

3.2. Star Network Topology

It is a network, which works by transmitting and receiving data from one central station to many node control points. In this network connection method, node points can exchange data with only the central station. Every node cannot exchange data among themselves. If there will be any disconnection between the central station and any node, other nodes would not be affected by this situation. In Figure 10, an example of this network structure is shown. The most significant advantage of this topology is that the delay between the central station and the nodes is so low. For example, in an application, the delay between the central station and a note was monitored as 100 ms. Besides the power consumption of the nodes can be kept under control. As every central station has a particular power gain, they can sense only within a certain range. In this network architecture, every node has to be within the range (T. Soylyu, 2012).

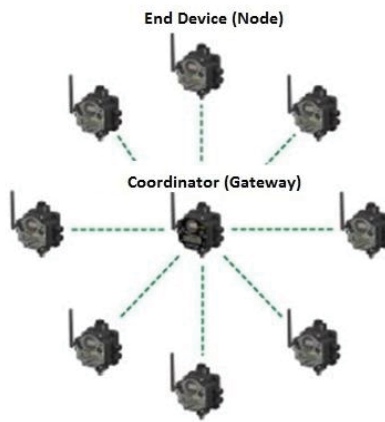


Fig. 10. Star network topology (M. Raffin, 2010)

3.3. Tree Network Topology

Tree network topology is a special kind of point-to-point structure. It is a way of communication between the devices in a hierarchical order. It is formed by more than one point-to-point topology. Physically in this topology, the total number of nodes in the network can be one less than the number of point-to-point connections in the network. If this network turns into less than three layers, then this network becomes a part of the star topology. This network topology consists of the coordinator, router and nodes. There is no necessity of nodes being within the range of the coordinator. Because routers, which are the members of this topology, can act as repeaters. Repeaters transmit the information taken from the nodes to the coordinator, which is a superstructure. In this way, the range is expanded. As shown in Figure 11, communication of the node number three with the coordinator is provided via a router. In the same time, the communication of the node number three with the node number five is provided via the coordinator. As the branching increases in this topology, the duties of the routers increase proportionally (F. Demirel, 2010).

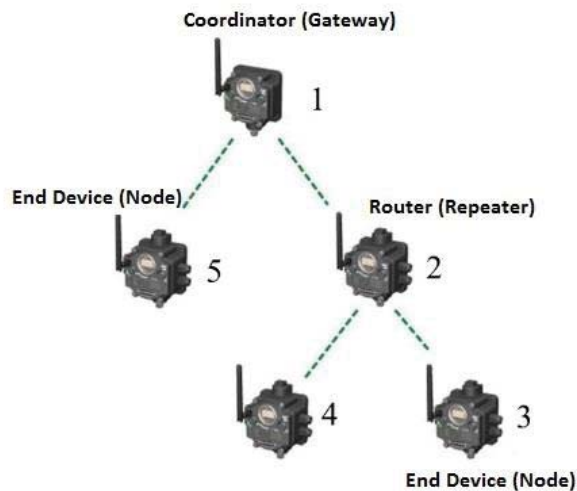


Fig. 11. Tree network topology (M. Raffin, 2010)

3.4. Codesys Software Program

To be able respond the rapid developments of industrial applications, it is necessary to be able to study with many different types of PLC structures and manage them. However, nowadays one of the biggest problem is being bonded to only one brand and having difficulties in different systems. Software programs in different frameworks leave the users in a difficult situation. Codesys eliminates this situation and proposes a software structure independent from the hardware. Codesys abbreviation stands for "Controller Development System". It confirms the IEC 61131-3 industrial standard. Codesys proposes a flexible programming facility to the user, and at the same time, it is open source and free. Therewithal engineers can create an application for their needs. A program written for a brand of PLC via Codesys can be adapted to another brand of PLC with just some small hardware changes. Regarding programming language it offers a widened structure. In this way, the program can be simplified by using languages peculiar to the application. It is possible to add different types of POU (Program Organization Unit). There are three varieties such as function, function block and standard program.

3.5. DCS and Master-Slave Structure

If we consider the infrastructure of distributed control systems, they consist of master and slave members. Slave units can be a gateway, wireless sensor, velocity control device or a proportional valve. Their duties are only to collect information and transmit to the superstructure master member. Slave units do not have any control task. Master units can be PLC, computer or visual control units. The objective of the master unit is to provide the control. With the help of slave stations, the system can be gathered at one point and from this point the whole system can be observed. In Figure 12 a master-slave structure is showed. In this master-slave structure, there is a necessity to use a protocol for the intercommunication. By this communication, all wires will be eliminated and control will be maintained with only a cable. With this communication also the information security will be increased.

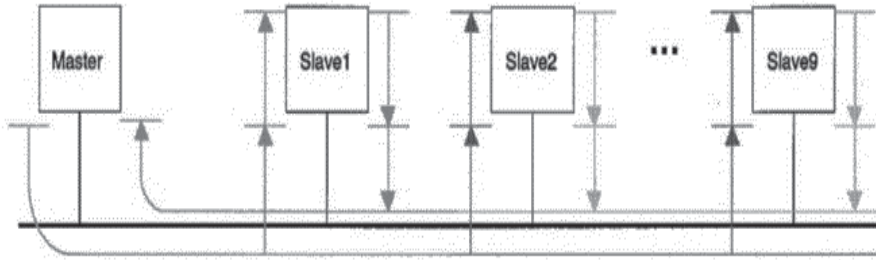


Fig. 12. Master-slave structure (F.L. Lian, J. Moyne, and D. Tilbury, 2002)

There is a hierarchical order in a distributed control system and this system's function units are placed distributed. In these infrastructures, there are powerful and autonomous automation systems. Domain points or control loops (1, 8, 16, 32) are restricted by the measuring point. The infrastructures, which are functionally autonomous and placed in this area, are called field stations. The first task of the field station is:

- To do the preliminary check by collecting analog and digital signals.
- Transmission of the tracking and the field messages.
- To do the open and closed-loop control processes.

Every server has two backed up a server in the condition of not exceeding one or two keys. At the same time, all control systems are connected to the link server. These keys help to the communication between the client and the controller. Distributed control systems can operate one or more than one workstations and can be configured by a personal computer at the workplace. Extra computers, which have the abilities of data collecting and reporting, can be added to a server and/or applications. In typical distributed control systems, there are regulatory control cycles that have the executive ability between 1-256 and distributed to a geographical area (M. Anand, S. Sarkar, and S. Rajendra, 2012).

4. IMPLEMENTED SYSTEM DESIGN

4.1. Factory System Design

The main structure of the designed system is shown in Figure 13. If we set forth from the picture, the places where people work, numbered 2 and 3, are called stations. At the beginning of these stations, there are conveyor belts carrying products. At the stations generally, the packaging process is done by operators and the products stands in front of them are put into their places. There is a forklift to carry the products to the logistics department in the factory. In our designed system there are three stations. At every station, there are laser distance sensors thought about to check products' fullness ratio. In the system, there is a wireless sensor network structure, and fullness ratio information is transmitted via wireless nodes. At the same time, to check the forklifts if they are coming to the right station, there are RFID read/write tags exist on forklifts. Automatic and manual working modes are aforethought together in the system. Manual mode is developed to intervene in case of a breakdown. In automatic mode, the system works by itself until the factory is entirely stopped. When the factory is opened, operators set the system to automatic mod and system stays active for the whole day.

4.2. Sample Code Algorithm

For the designed system first of all a control algorithm illustrated in Figure 14 is designed. This control algorithm will be explained part by part. The first control algorithm is created to decide according to the fullness ratio of the products at the stations. At every station, there are laser distance sensors to observe the fullness ratio. From the operator panel, according to daily working conditions, a limit fullness ratio will be entered. For example, on the 1st day, if a quick product shipment is wanted, the limit of fullness ratio should be entered lower. If there is no such priority, a normal limit value may be entered. It must be decided only according to working conditions. Another possibility is that at every station there are different products are produced. In such a case, some

products may be maybe desirable in more copious amounts depending on days. The limit value entered from the operator panel can solve this problem too. All algorithms are created for one station, and the control of all stations are same.



Fig.13. Sample factory environment (M. Raffin, 2016)

Forklifts perform the necessary tasks by steering to the station where the information comes. However in case of a mishap or when the operator perceives the following information wrong they can be misdirected. To prevent these, some other technologies can be applied. The most up-to-date method for such applications is RFID technology. This technology can read and write with radio frequency and has its unique tags. In these tags, there are specific memories. For example, if a name wanted to be written in it, its memory should be more significant. However, if only a number wanted, a regular size of memory can be chosen. There are reading/writing nobs to do the reading and writing processes. These are divided into two according to their detection distance such as HF (high frequency) and UHF (ultra high frequency). E.g., at the entrances of highways, there are UHF technology is being used. In order to adapt to our application, tags are attached to every station, and there are two reading/writing nobs on forklifts. At the installation phase, a code is given to every tag at stations, and they are stored. In the PLC program when a forklift goes to the wrong station, operators must be warned. This program will be explained more detailed at the PLC part. A sample RFID algorithm is shown in Figure 15.

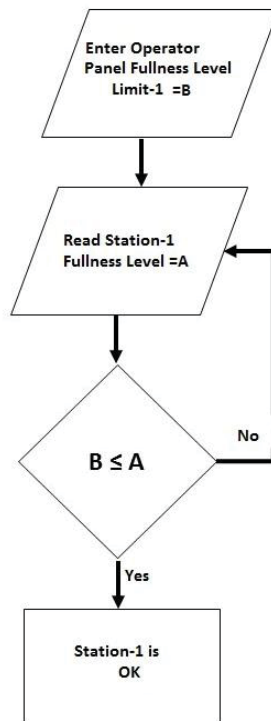


Fig. 14. Fullness control of station

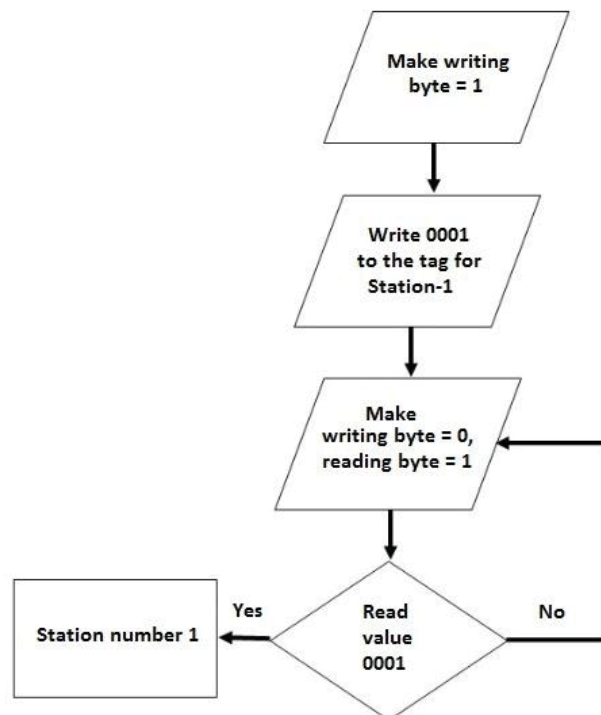


Fig. 15. Writing the PLC Program with Codesys

4.3. Writing the PLC Program with Codesys

Analog 4-20 mA signal corresponds to the numerical value 0-32767 in the PLC program. This value's type is the word in PLC. Firstly it should be converted into REAL type. Expressing the values in decimal value is critical. After that, by using simple mathematical operations, this value is converted. As can be seen in Figure 16, the value 'istaston_1_lazer_sensör' is coming 20000 from the field, and when this value put on the formula the real measuring value is found 610 mm. This value, which is in REAL data type, can be used in every POU. The use of RFID technology is mentioned in the algorithm part. Detailing the subject, in RFID tags there are memories to write some values. By activating specific letter can be written how much of these memories can be used. These bytes are called 'byte_count,' and there are 3 of them. If '1' is written in these 3 bytes, all of the memory becomes available. In RFID structure, choosing reading or writing processes is related to the bytes to be activated. There are two bytes for reading and writing. Firstly writing byte is activated and codes are written in the tags. After writing the codes, with the codes read in the program, and at the stations, true-false control is made. In Figure 17 at the section number one, the activation of writing byte is seen. When the reading byte is activated in the same way, the writing byte is deactivated automatically. In section 2, significant bytes to activate are shown to use the memory part.

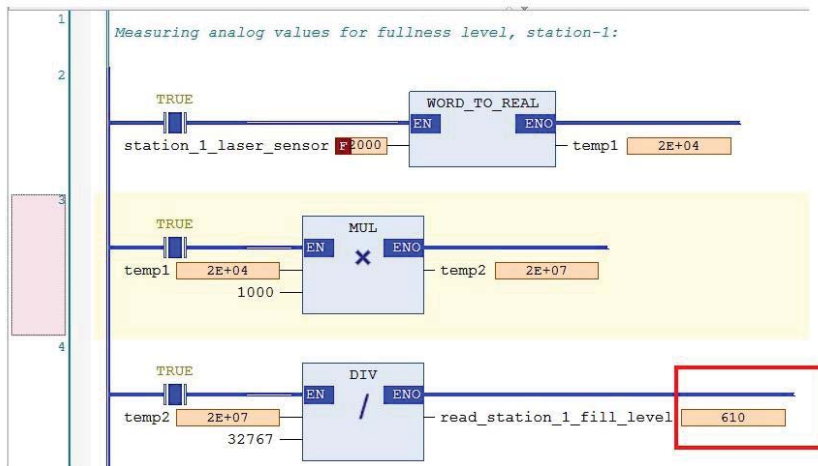


Fig. 16. Analog signal processing

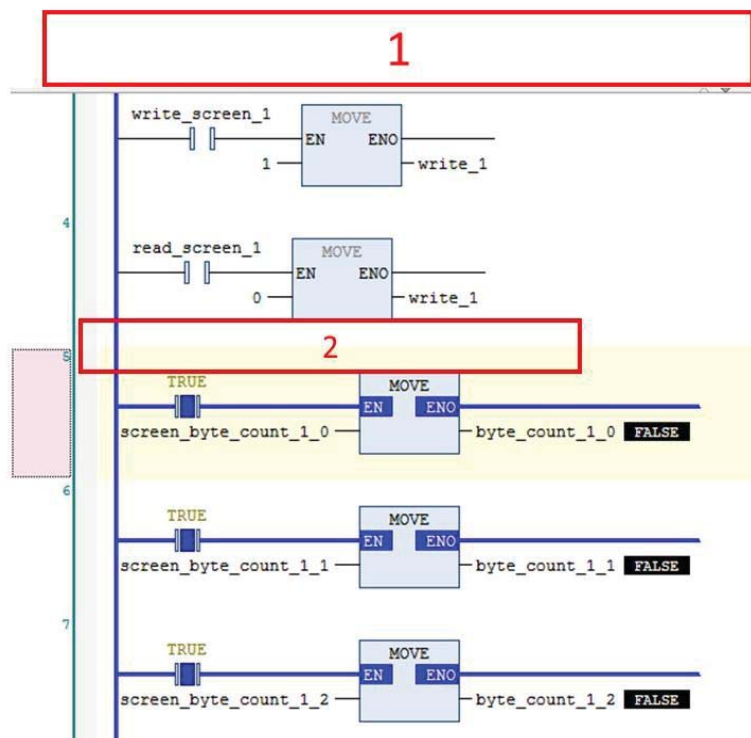


Fig.17. RFID project-1

At the third section in Figure 18, activation of the reading/writing nob with the help of the sensing unit exists in the forklift, is illustrated. At the fourth section, a value is written for the code to be given to the particular station. At the fifth section, it is shown how to read from the tags codes written in it. At the sixth section, a comparison made between the read and present values and a result about stations truth is obtained.

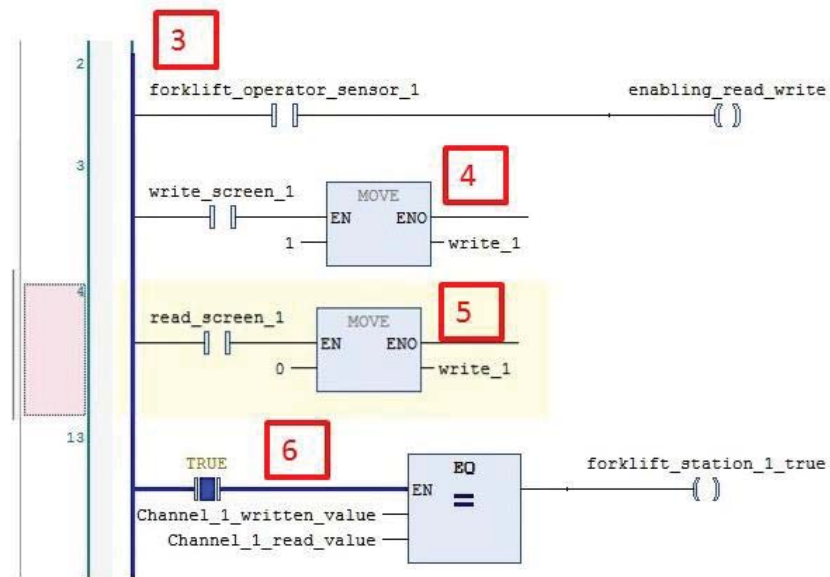


Fig.18. RFID project-2

4.4. Control of the System with Fuzzy Logic

In a factory system, forklifts carry the products with manual control logic. To make it clear, at two of the stations when the products are ready, forklift operators are going to the station the first one they see or without any priority. This manual control logic causes inefficiency and energy loss at systems. In order to prevent this situation, a fuzzy logic approach is tried for this manual control. A decision-making mechanism algorithm is developed for the forklifts to choose a station which one to go and take the product. When the movements of the forklifts are considered, taking the products from the stations without any delays is a critical expectation. To meet this expectation, parameters about the forklift movement, which creates the fuzzy logic model, become very important. In Figure 19, inputs and outputs of the fuzzy logic are illustrated.

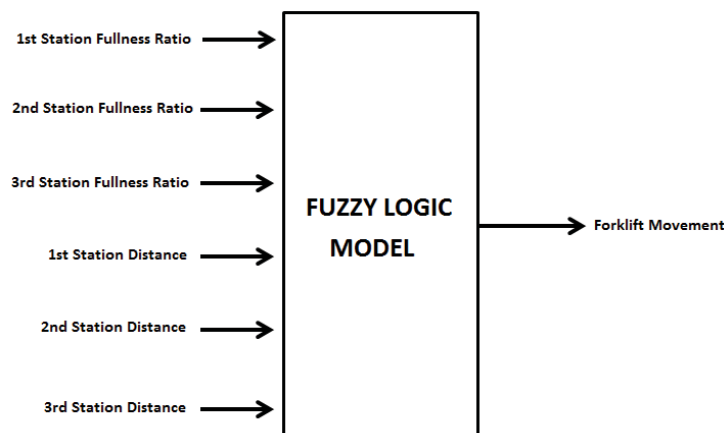


Fig. 19. Input and output parameters of the system

The most successful directing with fuzzy logic model belongs to the forklift movement, according to finishing ratio of the products and the distance between forklifts and the station, is aimed. A laser distance sensor is used in order to determine the parameters in the system. By using the output of the sensor, the parameters are obtained during the movement of the forklift. As an input to the system, determination of the fullness ratio at the stations is given. As another input, 6 inputs are determined by obtaining the distance between the forklifts and the stations. With this information, movement of the forklift is decided. Forklift's movement is assigned as one input in the system.

While designing the system and creating the fuzzy logic block diagram, a suitable software program is used. The fuzzy logic control, which its rules were created, is evaluated by two different methods. These methods are called Mamdani and Sugeno.

Mamdani method needs supervisor information, it is commonly used and can be used at every problem-solving. Sugeno is used in the applications with fewer variables. At the same time, fuzzification and defuzzification processes can be done in the software program. In Figure 20, a screenshot of the designed page is given. As it can be seen on the editor's page six inputs and one output is defined. Besides, Mamdani method is used and named as "Forklift application 1". The next step is creating membership functions in input and output functions. The software editor, which is used, lets us choose the type of the function. The most used type is a triangle type, and this type is used in this application.

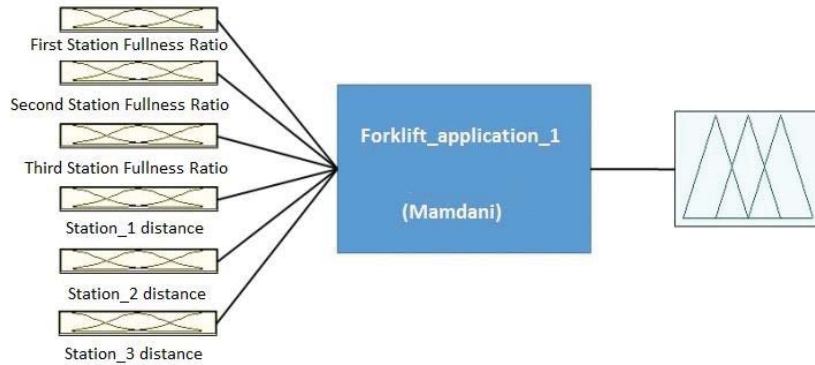


Fig.20. Fuzzy logic editor

For the fullness ratio of the stations defined as an input, three membership functions are assigned. Membership functions are divided into three parts such as low, medium, high. This input value is given in percentage. Membership functions of this input are given in Figure 21. These membership functions are the same for these three stations.

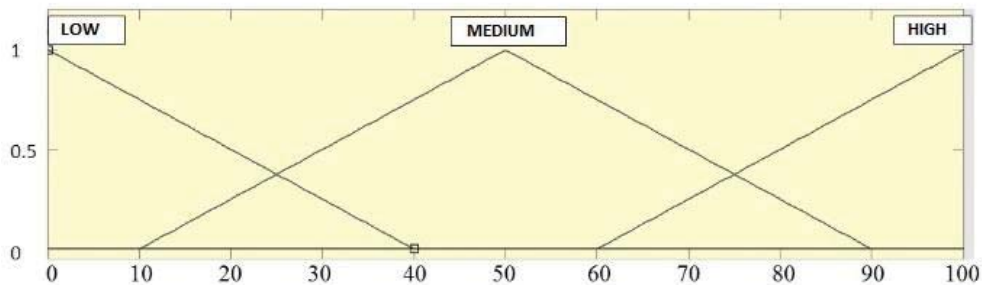


Fig.21. Membership functions belonging to station fullness ratio

Three membership functions are defined for the forklift's movement, defined as the output. Membership functions are divided into three parts as forklift's movement station1, station2, and station3. These output values are defined between 0 and 3. Membership functions of the output variable are given in Figure 22.

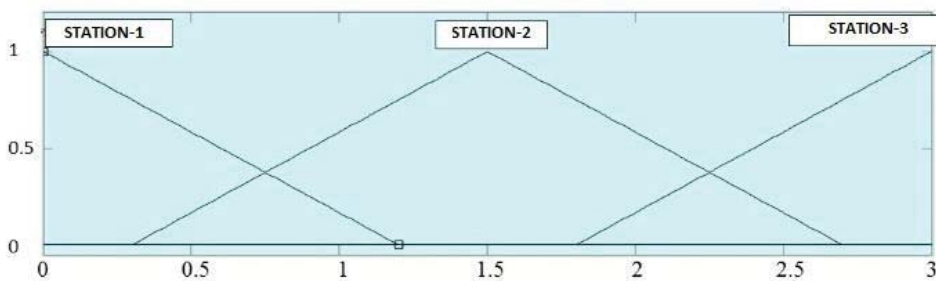


Fig.22. Membership functions belonging to forklift's movement

In order to create the model, after creating the membership function, 12 rules are created to determine the necessary interactions between parameters. These rules are created according to the supervisor's information, and the scenarios can happen in the field are considered. For example, these rules can be listed like;

- If the fullness ratio of the first station is high and the fullness ratio of the second station is low, and the fullness ratio of the third station is high, and the distance to the first station is short and the distance to the second station is far, and the distance to the third station is far, forklift go to the first station.
- If the fullness ratio of the first station is low and the fullness ratio of the second station is high, and the fullness ratio of the third station is low, and the distance to the first station is far and the distance to the second station is short and the distance to the third station is far; forklift go to the second station.
- If the fullness ratio of the first station is low and the fullness ratio of the second station is low, and the fullness ratio of the third station is high, and the distance to the first station is far and the distance to the second station is far and the distance to the third station is short; forklift go to the third station.
- If the fullness ratio of the first station is high and the fullness ratio of the second station is high, and the fullness ratio of the third station is medium, and the distance to the first station is medium and the distance to the second station is medium and the distance to the third station is medium; forklift go to the first station.
- If the fullness ratio of the first station is high and the fullness ratio of the second station is high, and the fullness ratio of the third station is low, and the distance to the first station is short and the distance to the second station is far and the distance to the third station is medium; forklift go to the first station.

As a result of these fuzzy rules, rule visualizer is shown in Figure 23. Rule visualizer includes the entire program until the rules are made. The part number one, so the yellow graphs in the first six columns of the figure show the membership functions belong to the rule entries. Blue graphs in the seventh column show the membership functions dependent on the result values of output. The blue graph right below the third part shows how every output became integrated and defuzzification. When pressed on the entries by making some changes on the entries, a change on integrated output value (the red line) is observed. In this way, rule visualizer gives the opportunity of explication about the changes and fuzzy systems. The information received from the rule visualizer is explicated according to the information below.

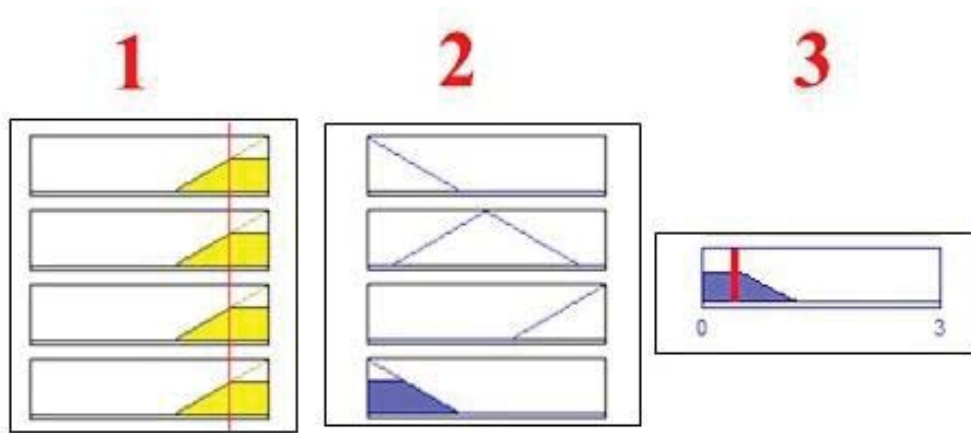


Fig.23. Fuzzy system rule visualization screen

Rule visualizer calculates the single result of the fuzzy inference system. If to see the surface, consists of the values of the output taken from the fuzzy inference system are required, surface visualizer is needed. The solution surface, in the fuzzy system solution of the problem considered in this part, is visualized. The surface at the graph helps to interpret the outputs, which of them are how related with which of the inputs and which of them are effective or ineffective within which values. If the surface visualizer in Figure 24 is examined, it can be observed that when the first and the second stations' fullness ratios are low, forklift goes to the third station.

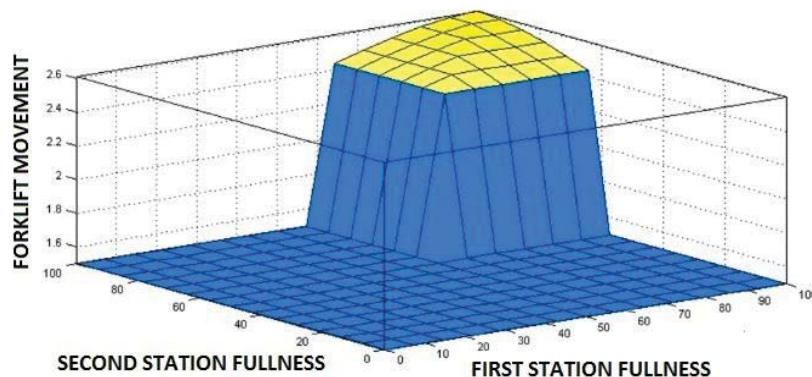


Fig.24. Surface visualiser-1

At the surface visualizer in Figure 25, shows that the fullness ratio of the first station is almost whole, distance to the second station is between short and medium. At this situation, the forklift is going towards to the first station.

In Table 1, output values, created by using the rules and the membership functions defined for the input and output parameters corresponding to the values given to the fuzzy logic model, is given. For example, at this table, if the 6th row is examined, although the fullness ratios are almost similar, the fuzzy model directed the forklift to the second station because the distance is closer. Again in the same way if the values at the 8th row are interpreted, the fullness ratio of the third station is four times bigger. When we look at the distances from the location of the forklift, it is close to the first and the second stations, and it is in the middle. If there was not fuzzy logic, the operator could have chosen the closer stations, but when we examine the products, the products at the third station is two times more than the sum of the products at the first and the second stations. From here it can be observed that how successful, and the fast result is given by the model.

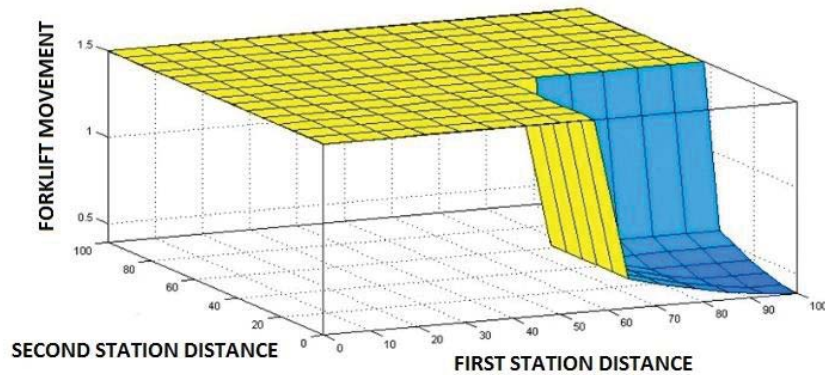


Fig.25. Surface visualizer-2

4.5. The Performed System Simulation

At the simulation, when the products at the stations are finished. This information is sent to the free forklift. The free forklift gets this information and the sensor attached to the forklift automatically deletes the information going to the forklift. In Figure 26, a software program created to make stations ready is seen in a simulation environment. For the fullness level, 610 value is being received from the laser distance sensor. From the screen, the limit is set to 600. As a result the output of the first station is activated.

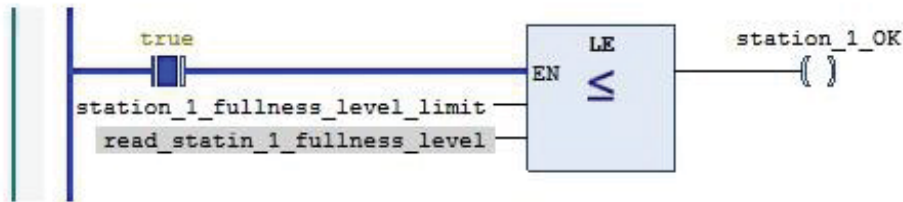


Fig. 26. Making stations ready

When the output of the first station is activated if the automatic conditions are met, the first step of automatic movement is activated. Simulation of the software is given in Figure 27.

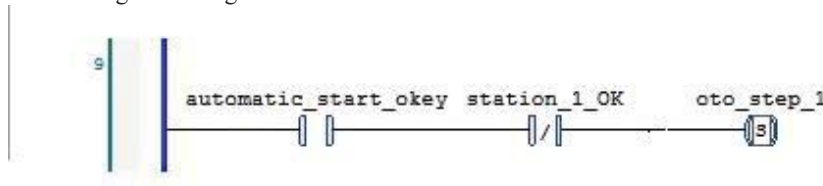


Fig.27. The first step of the automatic movement

Table 1. Results are given by the fuzzy logic model corresponding to the given input and output values

Inputs						Outputs	
Completion of the first station	Completion of the second station	Completion of the third station	Distance the first station	Distance the second station	Distance the third station	Forklift Movement	
78,90%	13,40%	15,90%	14,3	87,4	83,9	0,465	1.station
25,40%	72,80%	15,90%	83,2	15,1	83,9	1,5	2.station
35,80%	35,80%	85,80%	85,8	78	34,9	2,44	3.station
84,10%	83,20%	22%	18,5	86,6	76,3	0,923	1.station
22%	83,20%	85,80%	88,4	11,6	93,5	1,5	2.station
68,50%	73,70%	72,80%	38,4	34,2	39,2	1,63	2.station
94,40%	79,70%	61,60%	26,3	44,4	40,9	2,52	3.station
29,70%	21,10%	88,40%	26,3	22	63,4	2,07	3.station
18,50%	64,20%	66,80%	30,6	22	62,5	2	2.station
67,70%	39,20%	22%	32,3	22	62,5	0,537	1.station

Due to the second step has no wireless connection with the conveyor movement the step is skipped to the third step. The third step activates the information sending output to the free forklift. In Figure 28, activation of the information sending output is shown.

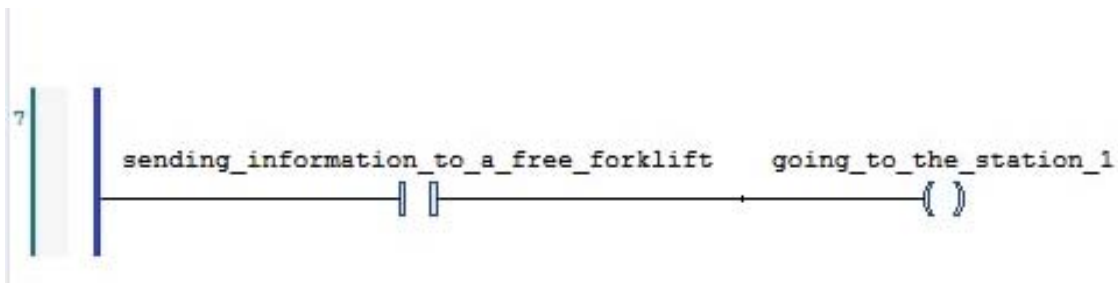


Fig. 28. Activation of the wireless sensor output

Finally, when the information sending output is activated, wireless sensor output sends the command of 'go to the station 1' to the free forklift (Fig. 28.). This simulation does both movements directing and wireless sensor network structure test. As a result, it is observed that the correct results are obtained at the simulation. By considering every possibility can occur in the system, the software was run and directing is done.

4.6. Obtained Results

System optimization is achieved by applying fuzzy logic control for the forklift's movement. At the end of this optimization, some deductions were made. Profit graphs are plotted with the obtained results. Comparison of fuzzy and classical logic is made, and the obtained results are shared (Fig. 29.). At the graph forklifts' daily directions to the stations are shown. The profits between classical logic and fuzzy logic are shown up as a percentage. For the forklift's movement, fuzzy logic has been a good solution.

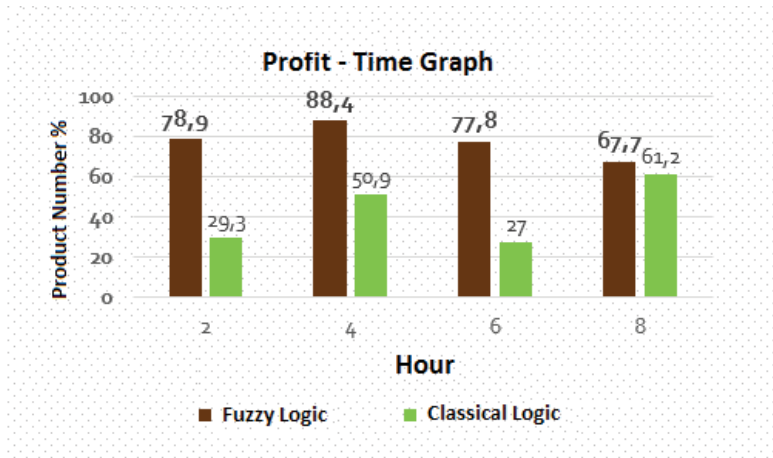


Fig. 29. The profit graph

In Figure 30 weekly profit graph is given. Weekly high levels of profits are obtained with fuzzy logic.

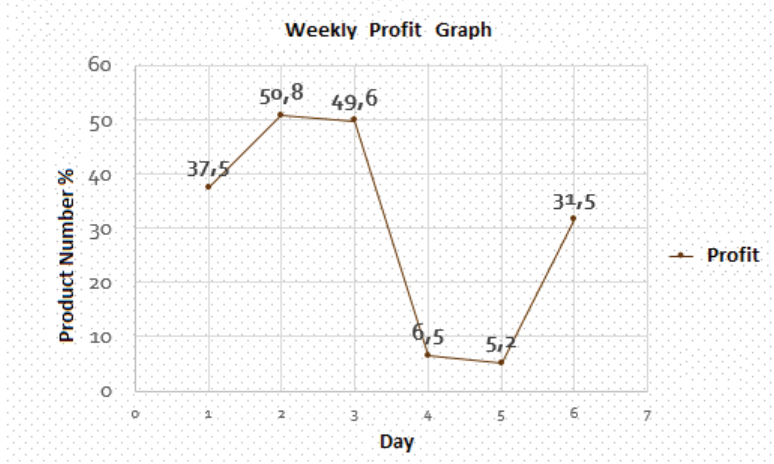


Fig.30. Weekly profit graph

In Figure 31 monthly profit graph is given. At this graph, there are immediate changes. The reason for these changes is there are profits in some situation, but it has a lower percentage. This caused ups and downs at the graph.

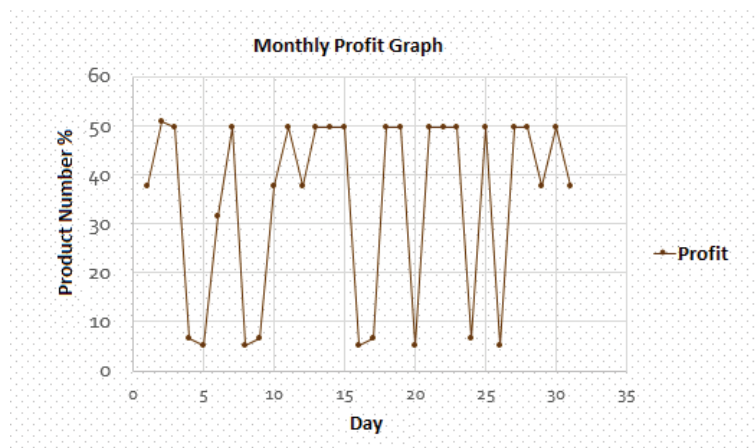


Fig. 31. Monthly profit graph

The graphs given until here give profits as materials. At the same time in some cases, forklift does twice expedition. Fuzzy logic decreases this number to 1. In Figure 32 profit graph regarding cost is given.

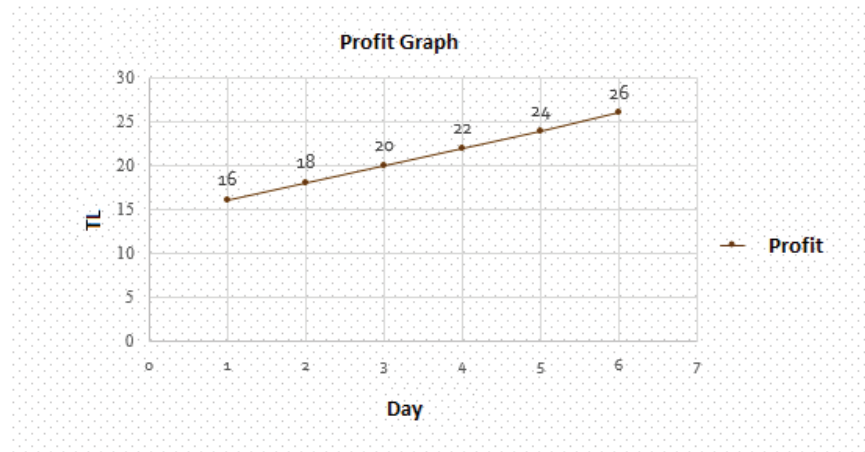


Fig. 32. Cost - profit graph

5. RESULTS AND SUGGESTIONS

In this study, a factory designed and by applying different control methods to this design, some results are obtained. First of all the algorithmic structure is determined and created. With this algorithmic structure, many different control systems can be created. The important fact is to choose the most suitable method according to the operation and increase the efficiency to the highest rates. The control done by PLC program gives successful results in many fields. At the algorithms, which a digital signal relation is set up, it gives very successful and secure results. With the help of this software, users have a wide range of uses and have an easiness to change the system. Besides, PLCs and operator panels have more possibilities to work together. The fact operator panels can quickly adapt to PLCs and their abilities to work together make a significant contribution to systems. The software can be written in the Codesys program gives the easiness to create the system. With this program, a program for automatic movement in a factory is written, and a successful result is obtained. However, a random a classical digital logic is created according to a random empty-full logic for the movement of the forklift. This causes some problems at increasing efficiency. A fuzzy model is designed in order to eliminate these problems. Via this model, according to the forklifts distances from the stations and the products fullness ratios at the stations, an economical forklift movement is aimed. When it is necessary, additions and subtractions can be done to the parameters such as distances of the forklifts determined as input and the product-finishing ratio of the stations, and the forklift movement determined as output. Energy and time saving is aimed by delivering the products faster without any delays with the control of the output parameter. By creating an optimum wireless sensor network and sending the sensor information to the forklift faster and in this way widening the forklift's movement area is aimed. Thus without any human intervention to the parameters, the forklift movement can be done by automatically setting with the machine.

As a result, it is observed that the control with fuzzy logic gives better results than controlling with PLC and classical logic control. Besides, in the factories (or the places where process automation is widely used), the fact that fuzzy logic control can be applied easily is seen. It has been a different and innovative approach to the forklift movement.

5.1. Suggestions

It is possible to increase the optimization for the fuzzy logic approach to forklift movement by adding more input parameter like finishing time of the products. Besides the supervisor information about the system can be widened and membership functions of the inputs can be increased so that it will increase the control precision. With the outputs obtained from the fuzzy inference, a specific function structure can be created and according to this function PLC software can be created, in this way control will be removed from the classical logic. By increasing the supervisor information, the rule base can be increased more, and on this even, the most exquisite detail will be organized according to this control. Forklift movement can be made autonomous, and the delays caused by operators can be minimized. According to the conditions of the application, the type of communication of wireless sensors can be chosen differently. A different suggestion, a function can be created by the outputs obtained via fuzzy logic and can be written in a PLC software, because with the help of the defuzzification stage, outputs can be obtained as numerical values.

REFERENCES

Anand M., Sarkar S., and Rajendra S., Application of Distributed Control System in automation of Process Industries, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 2 (2012), 377-383.

Arınç R., Bulanık mantık yöntemiyle asenkron motor hız kontrolü ve simülasyonu, Master Thesis, Marmara University, 2003.

Bai Y., Zhuang H.Q., and Roth Z.S., Fuzzy logic control to suppress noises and coupling effects in a laser tracking system, *Ieee Transactions on Control Systems Technology* 13 (2005), 113-121.

- Bolton W., Programmable logic controllers, in Programmable Logic Controllers (Fourth Edition), Newnes, Oxford, 2006, pp. 1-16.
- Chanak P. and Banerjee I., Fuzzy rule-based faulty node classification and management scheme for large-scale wireless sensor networks, *Expert Systems with Applications* **45** (2016), 307-321.
- Choi G.H., Choi G.S., and Jang J.H., A Framework for Wireless Sensor Network in Web-based Monitoring and Control of Indoor Air Quality (IAQ) in Subway Stations, 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology (ICCSIT) (2009), 378-382.
- Demirel F., Su İletim Hatları Basınç Bilgilerinin Deneysel Bir Ortamda Kablosuz Sensör Ağ ile Toplanması, Master Thesis, Ege University, 2010.
- Dumitru I., Arghira N., Fagarasan I., and Iliescu S., A fuzzy PLC control system for a servomechanism, *IFAC Proceedings Volumes* **43** (2010), 69-74.
- Faludi R., Building Wireless Sensor Networks, O'Reilly Media USA, 2010.
- Kılıç A.B., RFID Yoklama Otomasyonu, Master Thesis, Kırıkkale University, 2015.
- Kurtulan S., PLC ile Endüstriyel Otomasyon, İstanbul, Birsen Yayınevi, 2010.
- Kuvulmaz J., Endüstriyel Prosesler İçin PID Tipi Bulanık Kontrolör Tasarım, Yüksek Lisans, Marmara Üniversitesi, 2002.
- Labrador M.A. and Wightman P.M., Topology Control in Wireless Sensor Networks, Springer Netherlands, 2009.
- Lee C.K.H., Choy K.L., Law K.M.Y., and Ho G.T.S., Application of intelligent data management in resource allocation for effective operation of manufacturing systems, *Journal of Manufacturing Systems* **33** (2014), 412-422.
- Lian F.L., Moyne J., and Tilbury D., Network design consideration for distributed control systems, *Ieee Transactions on Control Systems Technology* **10** (2002), 297-307.
- Lin J. and Lian R.-J., Self-organizing fuzzy controller for injection molding machines, *Journal of Process Control* **20** (2010), 585-595.
- Mainwaring A., Polastre J., Szewczyk R., Culler D., and Anderson J., Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring, *WSNA'02* (2002).
- Morsi I. and El-Din L.M., SCADA system for oil refinery control, *Measurement* **47** (2014), 5-13.
- Ozbek G., Radio Frequency Identification (RFID) Systems Implementation on Defence Industry, Master Thesis, Selçuk University, 2014.
- Özek A. and Sinecen M., Klima Sistem Kontrolünün Bulanık Mantık ile Modellenmesi, *Mühendislik Bilimleri Dergisi* **10** (2004), 353-358.
- Raffin M., Wireless Webinar, in, 2010.
- Raffin M., Shopping Center Directs Visitors to Available Parking Using Banner Wireless, in, USA, 2016.
- Siddique N., Intelligent Control, Springer, Poland, 2013.
- Singhala P., Shah D., and Patel B., Temperature Control using Fuzzy Logic, *International Journal of Instrumentation and Control Systems* **4** (2014), 1-10.
- Soylu T., Kablosuz Algılayıcı Ağların Uygulama Alanları ve Bir Algılayıcı Düğüm Tasarımı, Master Thesis, Trakya University, 2012.
- Tiryaki E.A. and Kazan R., Bulaşık Makinesinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi, *Mühendislik ve Makine* **48** (2007), 3-8.
- Üstündağ A., Radyo Frekans Tanıma (RFID) Teknolojisinin Tedarik Zinciri Üzerindeki Etkileri, PhD Dissertation, İstanbul Technical University, 2008.
- Yazar M., Kablosuz Sensör Ağları ile Yangın Uyarı Sistemi, Master Thesis, Yıldız Technical Univesity, 2015.
- Yick J., Mukherjee B., and Ghosal D., Wireless sensor network survey, *Computer Networks* **52** (2008), 2292-2330.

Yılmaz S., Bulanık Mantık ve Mühendislik Uygulamaları, KOÜ Yayınları, 2007.



Ni-P-Acetylacetonate-TiO₂ Composite Plating with Electroless Plating: Plating Parameters and Corrosion Resistance

Burcu Didem Çorbacıoğlu¹

¹*Yıldız Technical University, Department of Chemical Engineering, 34220, Istanbul, TURKEY*

Başvuru/Received: 26/02/2018

Kabul/Accepted: 08/11/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2018

Abstract

In this study, the chemical plating parameters for Ni-P-acetylacetonate-TiO₂ composite particles and the corrosion resistances of the deposition layer obtained by electroless plating are investigated. The effects of the TiO₂ concentration, process time, temperature, and pH of the plating materials are examined, and optimal parameters are determined. The corrosion resistance of samples obtained by Ni-P-acetylacetonate-TiO₂ composite plating is assessed by comparison to a Ni plating layer, and it is found to be superior to that of both the Ni plating layer and the Ni-P plating layer Ni-P plating layers in a 3.5% NaCl salt spray, as well as in 15% H₂SO₄ and 20% HCl solutions. The origin of this corrosion resistance in composite plating layers is discussed.

Key Words

“Chemical plating, composite material, deposition rate, corrosion resistance, Ni plating, acetylacetonate”

1. INTRODUCTION

Electroless plating is a temperature-dependent plating process that creates a metallic layer by chemically reducing metal ions dissolved in a plating solution in the vicinity of a metal surface. Electroless plating does not depend on physical parameters like pressure (Farzaneh et al., 2017), and it has several advantages, including the ability to create uniformly thick layers and a cost that is lower than electroplating (Soares et al., 2017). Therefore, electroless plating is more suitable than electrolytic plating for metallic samples of complex shape, and it can be used to plate the inner surface of these samples. Furthermore, it can be used with materials containing polymeric formations. Layers plated with electroless plating are typically harder than those deposited using galvanic methods, and they exhibit perfect abrasion resistance and excellent corrosion resistance. For these reasons, electroless plating is used in several industrial processes (Soares et al., 2017; Ru et al., 2017).

The pH of the Ni-TiO₂ plating solution is the most important parameter affecting the Ni plating process. At low pH the plating speed decreases, and the plating layer quality is reduced. To prevent these effects, phosphates can be added to the Ni-TiO₂ plating solution, or, alternatively, the solution temperature can be increased. Temperature is in fact another important parameter in electroless plating, which promotes the formation of uniform layers (Promphet et al., 2017; Han et al., 2017).

In recent years, composite plating techniques have evolved substantially, to exploit the ability to plate large surfaces and to produce plating layers with high corrosion resistance. Composite materials are particularly important in the plating of carbon steel surfaces, because of the versatility achievable by the use of chemical additives, like phosphates and acetylacetonates (Gezerman et al., 2013). Undissolved particles in the electroless plating solution can however affect the thickness of the final plating layer, which compromises hardness, abrasion, corrosion properties, and oxidation resistance at high temperature (Kolev et al., 1999). Recent developments in Ni-TiO₂ plating techniques are based on the use of phosphate salts and Al₂O₃ (Yongfeng et al., 2017). The aim of this study is therefore to investigate the effects of the addition of sodium dimethylacetylacetonate salts to the plating solution during the Ni-TiO₂ plating process, and to examine how some physical properties of the layers obtained using this method, including corrosion and abrasion resistance, are affected by the presence of this additive.

2. MATERIALS AND METHODS

All materials used in this study for preparing the plating bath and the surface treatment bath were supplied by Merck Chemicals, Turkey.

2.1 Sample Preparation

The composition of the surface treatment bath is shown in Table 1. Stainless steel samples of size 50 mm × 30 mm × 2 mm were used in this study, which were immersed prior to plating in a prepassivation solution (20% HCl and 15% H₂SO₄) for 15 min and then washed with distilled water, to remove all surface impurities.

Table 1. Composition of the surface treatment bath for pre-plating at 90 °C.

Composition (g/L)	Chemical formula	CAS number	Concentration
Sodium hydroxide	NaOH	1310-73-2	35
Sodium carbonate	Na ₂ CO ₃	497-19-8	35
Trisodium phosphate dodecahydrate	Na ₃ PO ₄ ·12 H ₂ O	10101-89-0	15
Sodium metasilicate nonahydrate	Na ₂ SiO ₃	6834-92-0	15

The plating parameters and the composition of the Ni-P-acetylacetonate-TiO₂ plating bath used in this study are shown in Table 2. It is important to ensure that acetylacetonate-TiO₂ particles diffuse uniformly within the plating layers. To achieve uniform diffusion, physical and chemical dispersion methods were used. For the chemical dispersion, an anion surfactant (lauryl sodium sulfate) was added to the plating solution. Physical dispersion was achieved by ultrasonication and mechanical mixing. TiO₂ particles were then added to the plating solution, and the mixture was then treated at 20 W and 20 kHz for 10 min using a Q-100DE ultrasonicator. The plating solution was then stirred with a magnetic mixer.

Table 2. Composition of the plating solution.

Component	Chemical formula	CAS Number	Concentration
Nickel sulfate	NiSO ₄ ·7H ₂ O	10101-98-1	40 g/L
Nickel acetylacetonate	Ni(C ₅ H ₇ O ₂) ₂	3264-82-2	8 g/L
Sodium acetate	CH ₃ COONa	127-09-3	10 g/L
Citric acid	C ₆ H ₈ O ₇	5949-29-1	15 g/L
Lactic acid	CH ₃ CH(OH)CO ₂ H	50-21-5	6%(v/v)
Lauryl sodium sulfate	CH ₃ (CH ₂) ₁₁ OSO ₃ Na	151-21-3	30 mg/L
Sodium monophosphate	NaH ₂ PO ₄ ·H ₂ O	7558-80-7	20 g/L

After pre-treatment, the plating samples were immersed in the composite plating solution, washed with distilled water, and dried. The plating temperature was measured with an electronic thermometer, and the pH was monitored with a digital pH-meter. During the plating process, the solution temperature was controlled using a hot water bath. To obtain a uniform plating thickness, a rotating plating device was used. An air pump was used to shake and mix the plating solution.

2.2 The Orthogonal Test

To optimize the Ni-P-acetylacetonate-TiO₂ composite plating layer parameters in acidic conditions, the effects of the TiO₂ concentration, plating time, temperature, and pH on the plating process were examined. TiO₂ concentrations of 1, 2, 3, and 4 g/L were used, with plating times of 1, 1.5, and 2 h, temperatures of 70, 80, and 90 °C, and pH values of 3.8, 4.8, and 5.8. For each of these plating conditions, the plating layer deposition speed and the corrosion speed in standard corrosion solutions were determined.

2.3 Performance of the Composite Plating Layer

1. *Performance of the composite plating layer:* The morphology of the plating layer was studied with a Quanta 200 scanning electron microscope, and its elemental composition was determined using energy dispersive spectroscopy. Representative scanning electron microscopy and elemental analysis results obtained on a composite layer are shown in Figure 1 and Figure 2, respectively.

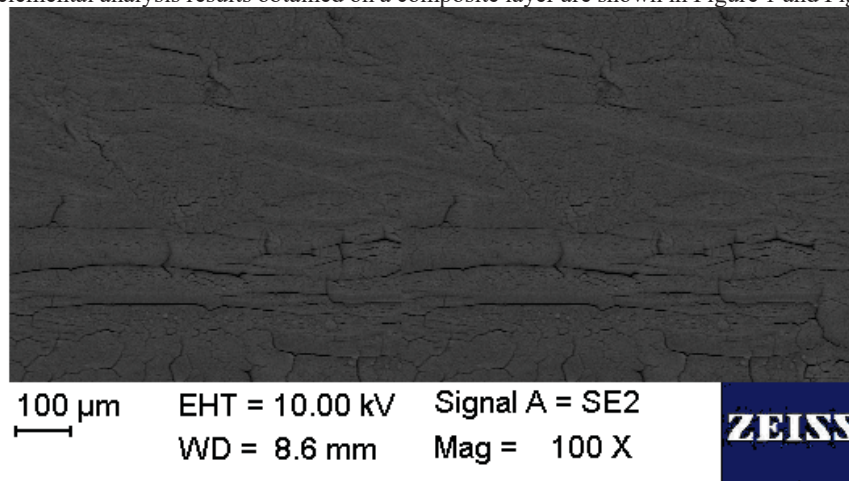


Fig. 1. Morphology of the Ni-P-acetylacetonate-TiO₂ composite plating layer.

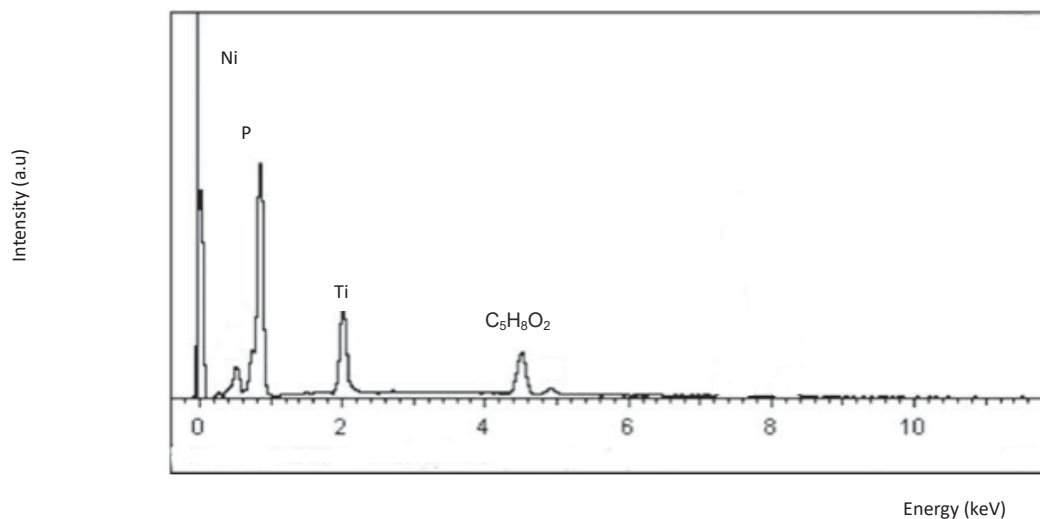


Fig. 2. Energy-dispersive X-ray spectrum of the Ni-P-acetylacetonate-TiO₂ composite plating layer.

2. *Abrasion potential and corrosion resistance:* To determine the abrasion potential of the plating layer, polarization curves were used. The polarization curves were obtained at room temperature in a 3.5% NaCl corrosive solution with a calomel reference electrode, a platinum auxiliary electrode, a scanning speed of 0.1 mV s⁻¹, a potential step of 0.5 mV, a starting potential of -0.6 V, and a final potential of -0.1 V. The same conditions were used for all plating layers.

The corrosion resistance was assessed by immersing the plating layers in 15% H₂SO₄ and 20% HCl solutions at room temperature for 9 h. The samples were then removed, cleaned, dried, and weighed. The corrosion resistance was determined from the change in weight after immersion in the acidic solutions.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Optimization of the Ni-P-acetylacetonate-TiO₂ Composite Plating Parameters

Previous corrosion resistance studies of Ni-P-TiO₂ composite plating were performed with a variety of methods and parameters (Yongfeng et al., 2017). In this study, the effects of four plating parameters (TiO₂ concentration, plating speed, solution temperature, and pH) on the deposition speed and corrosion speed were investigated.

3.2 Effects of TiO₂ Particle Addition on the Deposition Speed

Table 3 shows the dependence of the layer deposition speed on the concentration of TiO₂ in the plating solution. As the concentration of TiO₂ particles increases, the deposition speed initially also increases. The highest plating speed is reached when a TiO₂ concentration of 3 g/L is used. At higher TiO₂ concentrations the plating speed is reduced. The initial increase of the deposition speed with TiO₂ concentration can be explained by the fact that TiO₂ in the plating solution has an abrasive effect, which prepares the surface of the sample for the subsequent plating process and layer deposition.

Table 3. Plating parameters obtained from orthogonal tests for 8 plating solutions.

Plating solution no	TiO ₂ (g/L)	Plating duration (h)	Temperature (°C)	pH	Deposition (µm/h)	ratio	Corrosion concentration (g)
1	1	1	70	3.8	8.20		0.0551
2	2	1.5	80	4.8	12.01		0.0332
3	2	2	90	5.8	12.69		0.0412
4	3	1	70	4.8	10.00		0.0433
5	3	1.5	80	4.8	12.7		0.0225
6	3	2	90	5.8	10.66		0.0234
7	4	1	70	3.8	12.77		0.0241
8	4	1.5	80	5.8	15.12		0.0211

When all the other process parameters are kept fixed, the highest deposition rate is obtained for a TiO₂ concentration of 3 g/L TiO₂. Xu et al. (2015) have reported that a maximum TiO₂ concentration of 10 g/L can be used in Ni-TiO₂ plating. Other studies have addressed the relation between the TiO₂ concentration and the relative density and metal shape (Hoye et al., 2012; Sahu et al., 2013; Kumar et al., 2015). Takeda et al. (2000) investigated the use of TiO₂ and SiO₂ during Ni plating, which were found to promote the plating process.

3.3 Effects of Plating Time on the Deposition Speed

The variation of the deposition speed over time was determined from the analysis of the orthogonal test results, summarized in Table 3. The plating speed increased with the deposition time, with the highest deposition speed achieved during the 1.5 h plating test. This is because as the plating time increases, the plating solution degrades, and the metal ion concentration increases. The degradation of the plating solution therefore reduces the deposition speed at longer plating times. Zou et al. (2006) investigated the effects of the plating time with SiC particles on a Ni plating layer, and they reported that Al₂O₃ and SiC promote the formation of layers of uniform thickness in Ni plating. Suiyuan et al. (2012) investigated the effect of Al₂O₃ and polytetrafluoroethylene in Ni plating. Gawad et al. (2013) performed Ni-P-TiO₂ plating for 1 h and they showed that the resulting materials exhibit good corrosion resistance to a 3.5% NaCl solution.

3.4 Effects of Temperature on the Deposition Speed

Temperature is one of the most important parameters affecting the plating speed, the stability of the plating solution, and the plating layer quality. In general, the catalytic reactions involved in electroless Ni plating take place at temperatures higher than room temperature. When the temperature increases, the plating speed increases, but the stability of the plating solution decreases. The results from the orthogonal tests concerning the effects of the temperature change on the deposition rate of the composite plating layer are shown in Table 3. As the temperature increases to 80 °C from 75 °C, the deposition ratio decreases. This is caused by the fact that, as the temperature increases, the TiO₂ particles in the plating solution move faster, and the deposition increases with the concentration of the metal ions and TiO₂ particles.

3.5 Plating Layer Polarization Measurements

Polarization measurements in NaCl of a Ni plating layer, a Ni-P plating layer and a Ni-P-acetylacetonate-TiO₂ composite plating layer are shown in Figure 3. For the Ni-P plating layer, the following parameters were determined: corrosion potential $\varphi_c = -0.351$ V, corrosion current density $i_{\text{correc}} = 1.08 \times 10^{-5}$ A/cm², anodic and cathodic polarization $b_a = 0.0362$ V/decade and $b_c = 0.0224$ V/decade. The corresponding parameters for Ni-P/TiO₂ plating layers were $\varphi_c = -0.381$ V, $i_{\text{correc}} = 7.11 \times 10^{-6}$ A/cm², $b_a = 0.0305$ V/decade, and $b_c = 0.0208$ V/decade. From these results, it is clear that the Ni-P-TiO₂ composite plating layer shows lower corrosion current density than the Ni-P plating layer.

The addition of TiO₂ to the Ni-P-acetylacetonate plating layer increases its corrosion resistance by decreasing the corrosion current density, making it higher than that of a Ni-P plating layer. Chen et al. reported similar results (Chen et al., 2010). The results obtained here are also consistent with other studies, which have shown that the addition of TiO₂ to a Ni-P plating layer enhances its corrosion resistance (Ranganatha et al., 2010; Balaraju et al., 2003; Balaraju et al., 2001).

Measurements of the plating layer polarization have been performed for composite platings such as Ni-P-TiO₂. Different from the case of the main metal surface, this method is used for composite layer platings. Therefore, measurements have not been performed for Ni platings.

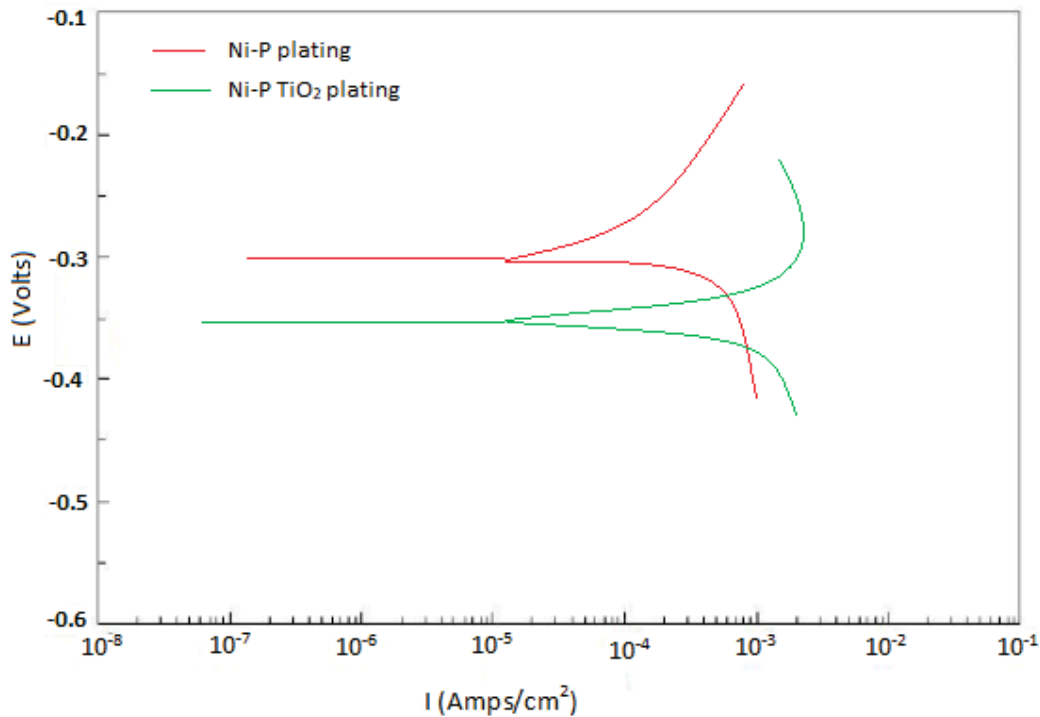


Fig. 3. Polarization curves of Ni-P, and Ni-P-acetylacetonate-TiO₂ plating layers in a 3.5% NaCl solution.

For the corrosion tests, plating layer samples were immersed in 15% H₂SO₄ and 20% HCl standard solutions. After 9 h at room temperature, average corrosion ratios were calculated from the sample weight before and after corrosion. Ni, Ni-P-acetylacetonate-TiO₂ composite, and Ni-P plating layers showed weight losses of 0.444; 0.035; 0.024 g/cm², respectively. The corrosion resistance of the Ni-P-acetylacetonate-TiO₂ composite plating layer is similar to that of the Ni-P plating layer, and much higher than that of the Ni-plating layer.

Figure 4 shows the surface morphology of test samples before and after corrosion. The surface of the Ni-P plating layer is less sensitive to corrosion than that of the Ni-P-acetylacetonate-TiO₂ layer, although the degrees of corrosion in the two samples are comparable. Balaraju et al. (2001) investigated the corrosion resistance of Ni-P-TiO₂ plating layers in 3.5% NaCl using electrochemical impedance spectroscopy. They reported that composite plating layers have superior corrosion resistance relative to Ni-P layers. The higher corrosion resistance of Ni-P-acetylacetonate-TiO₂ composite plating layers relative to Ni-P layers is related to their non-crystalline structure.

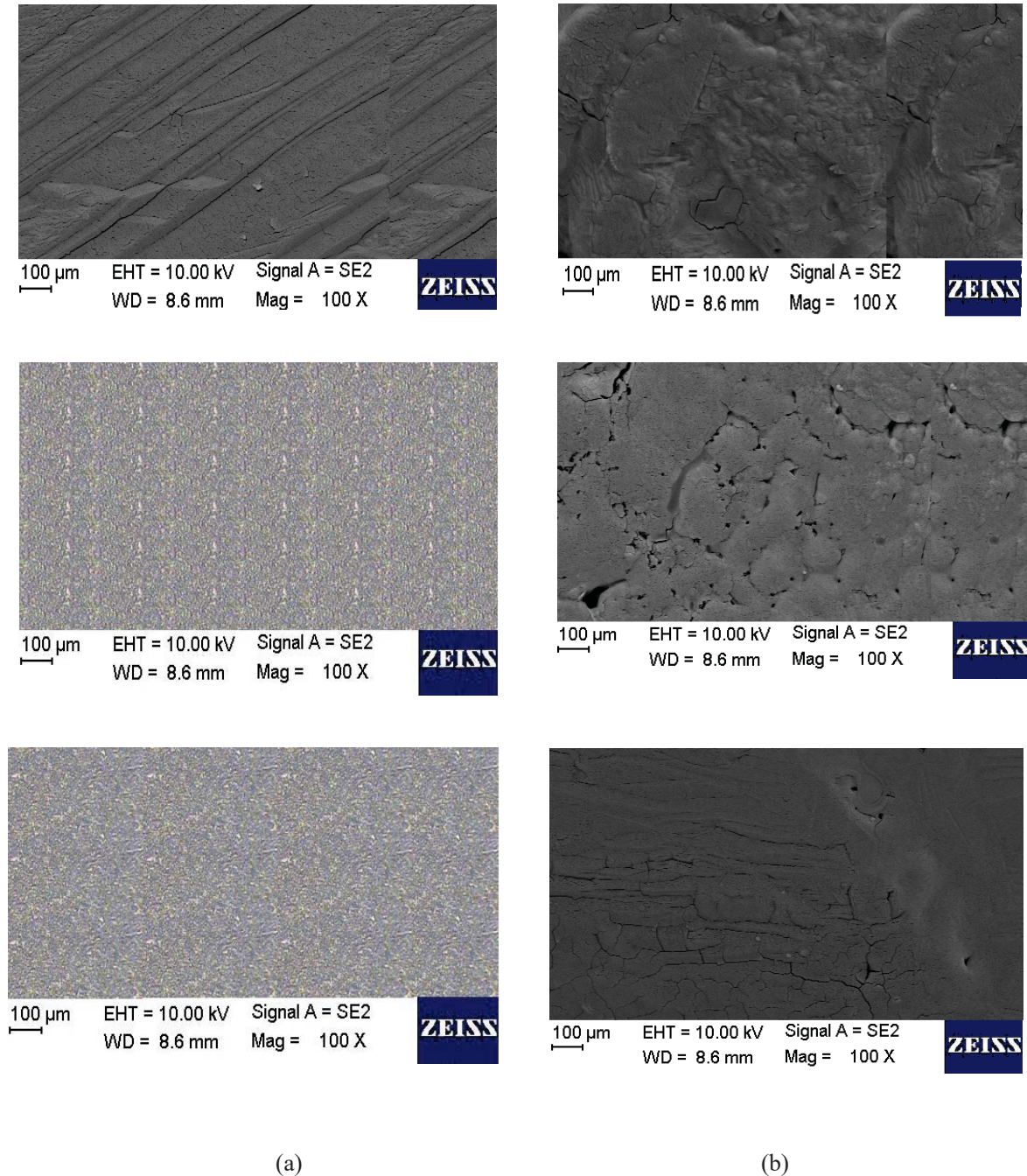


Fig. 4. Surface morphology of Ni (top), Ni-P and Ni-P-acetylacetonate-TiO₂ in 15% H₂SO₄ and 20% HCl standard corrosion solutions, before (a) and after (b) corrosion.

The addition of TiO₂ particles leads to the formation of smoother layers and to an increase in the layer surface porosity. The corrosion resistance of Ni-P-acetylacetonate-TiO₂ composite plating layers therefore increases and is higher than that of Ni-P plating layers.

In this study, the advantages of the Ni-P-TiO₂ plating over the Ni-P plating in terms of the corrosion resistance and plating deposition speed are discussed. In addition, the plating properties are analyzed by polarization measurements and compared with those of the Ni-P plating. Thus, the effects of TiO₂ on the plating layer are investigated. Acetylacetonate addition to the Ni plating bath is considered an important strategy to minimize wastewater generation from the bath in industrial applications.

4. CONCLUSIONS

During the Ni-P-acetylacetonate-TiO₂ composite plating process, the deposition ratio decreases as the plating time increases, and, according to the results of this study, the most suitable plating time is 1 h. The optimal temperature range is 70 to 80 °C. The plating layer deposition rate is highest when the TiO₂ particle concentration is 3 g/L. The pH of the plating solution was maintained at 3.8-5.8 (for 1-2 h) in this study. Polarization measurements and immersion tests were used to compare the corrosion resistance

of different plating layers. The corrosion resistance of Ni-P-acetylacetonate-TiO₂ layers in a 3.5% NaCl solution is higher than that of Ni-P plating layers in the absence of TiO₂ particles. The corrosion resistance of Ni-P is higher than that of Ni-P-TiO₂ composite layers for immersion in 15% H₂SO₄ and 20% HCl. In summary, the corrosion resistance of Ni-P and Ni-P-acetylacetonate-TiO₂ composite plating layers is higher than that of Ni plating layers, which makes the former more suitable for applications in the metal plating industry.

The advantages of the Ni-P-TiO₂ plating over those of the Ni-P plating, in terms of the corrosion resistance and plating deposition speed are discussed. The plating properties are measured and compared with those of the Ni-P plating to reveal the effects of TiO₂ on the plating layer. Addition of acetylacetonate to the bath is important for mitigating wastewater formation in industrial applications.

REFERENCES

Balaraju, J. N., Narayanan, T. S., & Seshadri, S. (2001): Evaluation of the corrosion resistance of electroless Ni-P and Ni-P composite coatings by electrochemical impedance spectroscopy. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 5, 334–338. doi:10.1007/s100080000159

Balaraju, J. N., Narayanan, T. S., & Seshadri, S. K. (2003): Electroless Ni-P composite coatings. *Journal of Applied Electrochemistry*, 33, 807–816. doi:10.1023/A:1025572410205

Chen, W., Gao, W., & He, Y. (2010): A novel electroless plating of Ni-P-TiO₂ nano-composite coatings. *Surface and Coatings Technology*, 204, 2493–2498. doi:10.1016/j.surfcoat.2010.01.032

Farzaneh, A., Ehteshamzadeh, M., & Cobley, A. J. (2017): Modelling of surfactants and chemistry for electroless Ni-P plating. *Surface Engineering*, in press. 1–8. doi:10.1080/02670844.2017.1287621

Gawad, S. A., Baraka, A. M., Morsi, M. S., & Eltoum, M. A. (2013): Development of electroless Ni-P-Al₂O₃ and Ni-P-TiO₂ composite coatings from alkaline hypophosphite gluconate baths and their properties. *International Journal of Electrochemical Science*, 8, 1722–1734.

Gezerman A. O. & Çorbacıoğlu, B. D. (2013): Iron (II) acetylacetonate containing brightener and sulphur containing carrier in nickel plating. *Surface Engineering*, 29, 516–521. doi:10.1179/1743294413Y.0000000154

Han, C., Shao, Q., Lei, J., Zhu, Y. & Ge, S. (2017): Preparation of NiO/TiO₂ pn heterojunction composites and its photocathodic protection properties for 304 stainless steel under simulated solar light. *Journal of Alloys and Compounds*, 703, 530–537. doi:10.1016/j.jallcom.2017.01.349

Hoye, R. & Gao, W. (2012): Oxidation behaviour of Ni-Cr-Y₂O₃ composite coatings synthesised by sol enhanced pulse electroplating. *Journal of Materials Science Research*, 1, 133-149. doi:10.5539/jmsr.v1n2p133

Kolev, K., Jadin, A., Benbakoura, S., & Laude, L. D. (1999): Excimer laser-induced modification in PMMA/Ni-acetylacetonate films for selective metallization. *Applied Surface Science*, 138, 434–438. doi:10.1016/S0169-4332(98)00437-1

Kumar, S., Pande, S., & Verma, P. (2015): Adhesion failure behavior of Ni-TiO₂-Al₂O₃ & Ni-Al₂O₃ composite layers coatings evaluated using microscratch testing. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 5, 704- 707, 2015.

Promphet, N., Rattanawaleedirojn, P., & Rodthongkum, N. (2017): Electroless NiP-TiO₂ sol-RGO: A smart coating for enhanced corrosion resistance and conductivity of steel. *Surface and Coatings Technology*, 325, 604–610. doi:10.1016/j.surfcoat.2017.07.018

Ranganatha, S., Venkatesha, T. V., & Vathsala, K. (2010): Development of electroless Ni-Zn-P/nano-TiO₂ composite coatings and their properties. *Applied Surface Science*, 256, 7377–7383. doi:10.1016/j.apsusc.2010.05.076

Ru, J., Jia, Y., Jiang, Y., Feng, J., Zhou, R., Hua, Y., & Wang, D. (2017): Modification of ZTA particles with Ni coating by electroless deposition. *Surface Engineering*, 33, 353–361. doi:10.1080/02670844.2016.1248119

Sahu, G. & Tarr, M. A. (2013): Improved performance of three-dimensional Ni-TiO₂ core-shell nanowire photoanodes in dye-sensitized solar cells. *MRS Communications*, 3, 199–205. doi:10.1557/mrc.2013.42

Soares, M. E., Soares, P., Souza, P. R., Souza, R. M., & Torres, R. D. (2017): The effect of nitriding on adhesion and mechanical properties of electroless Ni-P coating on AISI 4140 steel. *Surface Engineering*, 33, 116–121. doi:10.1080/02670844.2016.1148831

- Suiyuan, C., Ying, S., Hong, F., Jing, L., Changsheng, L., & Kai, S. (2012): Synthesis of Ni-P-PTFE-nano-Al₂O₃ composite plating coating on 45 steel by electroless plating. *Journal of Composite Materials*, 46, 1405–1416. doi:10.1177/0021998311420312
- Takeda, E., Todoroki, N., Kitamoto, Y., Abe, M., Inoue, M., Fujii, T., & Arai, K. I. (2000): Faraday effect enhancement in Co-ferrite layer incorporated into one-dimensional photonic crystal working as a Fabry-Pérot resonator. *Journal of Applied Physics*, 87, 6782–6784. doi:10.1063/1.372840
- Xu, Y., Zhou, M., Wen, L., Wang, C., Zhao, H., Mi, Y., & Lei, Y. (2015): Highly ordered three-dimensional Ni-TiO₂ nanoarrays as sodium ion battery anodes. *Chemistry of Materials*, 27, 4274–4280. doi:10.1021/acs.chemmater.5b00633
- Yongfeng, L., Limin, Z., Zhankui, W., Lijie, M., Jianxiu, S., Chang, L., & MingChao, J. (2017): Ni-P TiO₂ nanoparticle composite formed by chemical plating: Deposition rate and corrosion resistance. *International Journal of Electrochemical Science*, 12, 3385–3397. doi: 10.20964/2017.04.41
- Zou, G., Cao, M., Lin, H., Jin, H., Kang, Y., & Chen, Y. (2006): Nickel layer deposition on SiC nanoparticles by simple electroless plating and its dielectric behaviors. *Powder Technology*, 168, 84–88. doi:10.1016/j.powtec.2006.07.002



Cost Optimization of Colored Gypsum Composites

Sadık Alper Yıldız¹, Gökhan Kaplan²

¹Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 70100, Karaman, TURKEY

²Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 37100, Kastamonu, TURKEY

Başvuru/Received: 16/03/2018

Kabul/Accepted: 04/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Abstract

Lately, gypsum composites as decorative and construction elements have been widely used for many building types due to their certain architectonic styles. Decorative gypsum composites are not very durable and stable when compared to the other composites; therefore, they need to be rehabilitated in short periods. To meet the increasing demand in the sustainability of these types of the composite, many researches have been conducted for improving its properties with the minimum cost. The aim of this study was to obtain the optimum cost of the colored gypsum composites with the improved mechanical properties. Glass fiber reinforced, silica and expanded perlite reinforced gypsum composites were colored with the addition of brown, yellow, black and red pigments. The mechanical properties such as compressive strength and freeze thaw (F-T) resistance of the mixes were also examined. A cost optimization analyze were performed based on the experimental test results. Results revealed that the usage and the cost of the color pigment added gypsum composites could be primarily optimized.

Key Words

“Color pigments, gypsum, gypsum composites, cost optimization”

1. INTRODUCTION

Gypsum and gypsum composites have been widely used for many purposes in construction industry due their characteristic fire resistance, thermal and sound insulation properties (Gazineu, Santos, Hazin, Vasconcelos, & Dantas, 2011; Gencil et al., 2014; Gutiérrez-González, Gadea, Rodríguez, Blanco-Varela, & Calderón, 2012; Gutiérrez-González, Gadea, Rodríguez, Junco, & Calderón, 2012; Heim & Clarke, 2004; Li, Wu, & Chen, 2011; Serhat Başpınar & Kahraman, 2011; Vimmrová, Keppert, Svoboda, & Černý, 2011). Different materials can be added to gypsum-based composites to improve their mechanical properties (Murat & Attari, 1991). Also, fibers or aggregates in different sieve size can be added to enhance their mechanical behaviors (Cantwell & Morton, 1991; Eve et al., 2002; Yu & Brouwers, 2012). Fibers such as carbon fiber, glass fiber, polypropylene fiber have been widely preferred for the latest relevant studies to improve mechanical properties like flexural strength (Çolak, 2006; Mohandesi, Sanghaleh, Nazari, & Pourjavad, 2011; Yu Fei Wu, 2004).

Gypsum can be evaluated as the softest binder, since its structure may be severely damaged by hydration reactions. To prevent the solution of gypsum in water, gypsum can be reinforced with a water impermeable material (Camarini & De Miliato, 2011). The various studies focused on the addition of rice husk, silica fume, iron oxide, blast furnace slag and blast furnace dust to improve water resistant properties of gypsum composites (Khalil, Tawfik, Hegazy, & El-Shahat, 2014; Mazloom, Ramezaniyanpour, & Brooks, 2004; Yakovlev, Khozin, Polyanskikh, & Keriene, 2014; Yakovlev, Polyanskikh, Fedorova, Gordina, & Buryanov, 2015).

As mentioned above, gypsum is reinforced with various types of fiber to increase its mechanical properties like fracture energy and toughness, since it is a very brittle material (Ali & Grimer, 1969; Del Río Merino & Hernández Olivares, 2000; Eve et al., 2002; García Santos, 2009; Hernández-Olivares, Oteiza, & de Villanueva, 1992). These fibers can be classified into two group as natural and manufactured origin. One of the manufactured fibers used widely for producing gypsum composites are glass fibers (Flores Medina & Barbero-Barrera, 2017). Glass fiber reinforced gypsum composites are not very old and traditional, especially to produce precast gypsum panels. For this reason, conventional design criteria are not entirely applicable. Lately, many comprehensive researches have been conducted to gain better understanding of its structural behavior (Liu, Wu, & Jiang, 2008; Prasad, Menon, & Janardhana, 2008; Sreenivasa, Menon, & Prasad, 2008; Y F Wu & Dare, 2006; Yu Fei Wu, 2004; Zhang, Qiao, Wu, & Li, 2012). In-situ and non-destructive test was performed with the aim of developing design rules for the precast gypsum-based composites. One of the research topic in these research is the limitation of the shrinkage effect of the panels (Nassif, Yoshitake, & Allam, 2014; Terai & Minami, 2012).

Perlite is originated from the alumino-siliceous volcanic rock. When heated, it gets expanded and reached a form of cellular material with low density (Rózycka & Pichór, 2016). Expanded perlite has excellent heat and acoustic insulating properties depending on its porous microstructure (Sodeyama, Sakka, Kamino, & Seki, 1999). The perlite-based composite becomes lately, one of the most popular mineral filler due to its lightweight structure (Jedidi, Benjeddou, & Soussi, 2015; Lanzón & García-Ruiz, 2008; Sun & Wang, 2015). As of 2012, global perlite registered perlite production is 2.6 million tons per year. China leads the perlite production and is followed by Greece, the USA, and Turkey (Briga-Sá et al., 2013). In concrete production, expanded perlite is used as an aggregate replacement material at required ratios to obtain aimed mechanical properties. The research results show that some mechanical properties like compressive strength and modulus of elasticity decrease with the increase expanded perlite amount in mix designs. However, water absorption rate and the thermal conductivity decreased with higher expanded content (Sengul, Azizi, Karaosmanoglu, & Tasdemir, 2011).

Colored gypsum composite is an architectural design element which is produced as a response to the unaesthetic outlook of traditional concrete. Pigments are used to obtain a colored composite. Pigments provide an aesthetical look; however, they bring some physical disadvantages such as efflorescence and low processability for composite materials (Jang, Kang, & So, 2014). Pigments are widely preferred for composite applications for obtaining colored surface (Greenstein & Lewis, 1998). Hematite (red, orange, purple), goethite (yellow), lepidocrocite (brown), calcite and dolomite (white), celadonite and malachite (green), quartz (white and translucent) and many others have been used as pigments since the antique ages. On the other hand, litharge (red), massicot (yellow), red lead (orange), chrome oxide (green) have been used as synthetic pigments (Fernández Rodríguez & Fernández Fernández, 2005; Mármol et al., 2010).

Pigments are a powdered material with finer grains compared to cement. Pigments used with cement-based composites are sieved using sieve opening No 200. Thus, it is expected for the mixtures water/pigment ratio to be higher for a specific thickness. Nevertheless, the pigment's size and surface properties also have an impact on the water/pigment ratio. Pigment's water requirement and dosage are among the essential factors predicting its color durability. Pigments also have an impact on the shrinkage behavior of the composite (Lee, Lee, & Yu, 2003; Ravi Kumar, Kumar, Prashanth, & Reddy, 2012). Properties such as setting time, lightfastness, durability, mechanical properties, heat resistance and soluble salt content gain importance in colored concrete.

Numerous mathematical linear and nonlinear optimization methods have been selected to solve the optimization problem (Fereig, 1994; Pellegrino, 1990). In some applications, local optimum values are searched by following the path of the local gradient. Other methodologies include the application of the first and second order boundaries of the condition to find a local minimum base by

solving nonlinear equations. These methods can be inefficient due to heavy calculations (Kaveh, Maniat, & Arab Naeini, 2016). Lately, alternative methods have become popular among the researchers. Design of experiments is widely recognized as a procedure to plan and define the boundaries for performing experimental trials. Academics have been increasingly replaced the traditional time and money consuming physical studies with faster and cheaper computer algorithms (Garud, Karimi, & Kraft, 2017). This experimental study is significant due to the fact there are very limited researches on the cost optimization of colored gypsum composites. And there exists no proved relationship between the color pigments and the cost of the gypsum-based composites.

2. MATERIALS AND EXPERIMENTAL STUDIES

2.1. Gypsum

Gypsum mixes according to the EN 13279-1 (BS EN 13279-1:2008, 2009) was used within the scope of this research. The properties of the gypsum were presented in Table 1.

Table 1. Properties of the Gypsum

Chemical composition	CaSO ₄ .xH ₂ O (x=0, ½, 2)
Harmful substances (Gefahrstoffverordnung)	Concentration, Max value: 6 mg/m ³
Compressive strength (Mpa)	2.7
Flexural strength (Mpa)	1.2
Dry density (kg/m ³)	600-1000
Workability time (min)	70-100
Final setting time (min)	140

2.2. Silica Sand

Silica sand having the AFS 30 to 35 (according to the DIN factor calculations) was used, the properties of the sand listed in Table 2 and Fig. 1.

Table 2. Properties of the Silica Sand

Clay Content (%)	0.6- 0.8
Specific Weight	2.68
AFS value	34.6
% SiO ₂	98.60
% Fe ₂ O ₃	0.13
% MgO	0.03
% CaO	0.01
% K ₂ O	0.09
% Na ₂ O	0.02
% Al ₂ O ₃	1.12

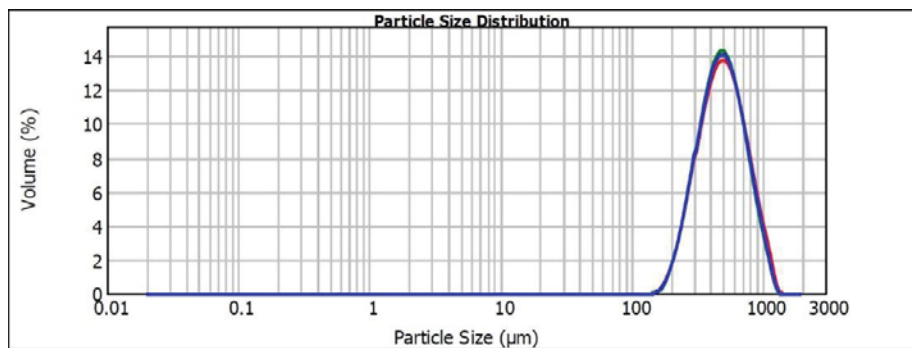


Figure 1. Particle size distribution of Silica Sand

2.3. Expanded Perlite

Commercial expanded perlite was used for this study. The particle size distribution and the properties of this material were given in Fig. 2 and Table 3, respectively.

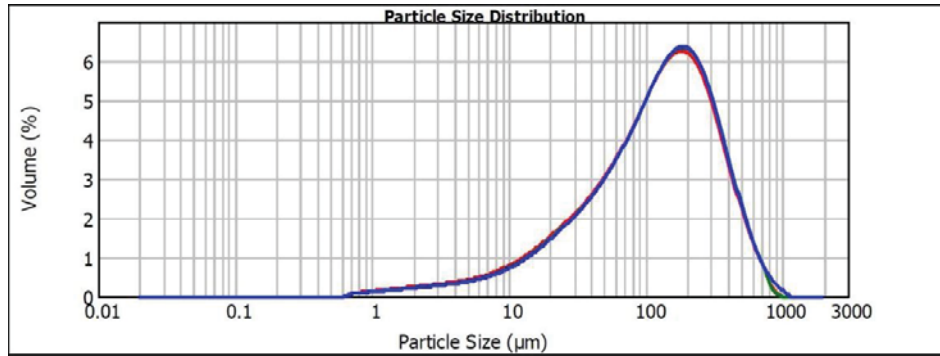


Figure 2. Particle size distribution of Expanded Perlite

Table 3. Properties of the Expanded Perlite

Chemical composition	
% SiO ₂	72
% Al ₂ O ₃	12
% K ₂ O	4.1
% Na ₂ O	3.4
% MgO	0.2
% Fe ₂ O ₃	2.5
% CaO	3

2.4. Alkali Resistant Glass Fiber

Alkali resistant glass fiber with 20 µm diameter and 12 mm length were used the properties of the glass fiber were given in Table 4. The fibers were sprayed with the ration of 1 wt. % and 1.5 wt. %.

Table 4. Properties of the Alkali Resistant Glass Fiber

Ultimate strength, bending (MOR, MPa)	20-28
Elastic limit, bending (LOP, MPa)	7-11
Ultimate strength, tensile (MOR, MPa)	8-11
Elastic limit, tensile (LOP, MPa)	5-7
Compressive Strength (Mpa)	50-80
Elastic Modulus (GPa)	10-20
Dry density (t/m ³)	1.9-2.1

2.5. Preparation of the Gypsum Composites

Mix proportions and experimental set of the composite are given in Table 5. The reference mix was composed of glass fiber and gypsum. The silica sand was replaced by expanded perlite by 5 %, 10 % and 15 % by weight of the silica sand. The gypsum mixtures containing silica sand and expanded perlite were mixed in a mixer for 5 minutes to obtain a homogenous dry mixture. Water and glass fibers in 12 mm length were added just before the spraying process and mixed for 5 minutes again. The glass fiber was used at the volumes of 1 % and 1.5 % in the mixture. Polycarboxylate based third generation water reducer was used as the chemical agent. The water used during the experimental works was potable water and at 21 C°. The static consistency of the glass fiber added mixes were measured as per the requirements of the EN 1170-1 (Fig. 3 and 4). This slump test was performed with a cylindrical funnel (height:60mm, inner radius:57mm, outer radius:65mm). Two different molds as 40 x 40 x 40 mm and 160 x 40 x 40 mm were prepared for the mechanical tests. All test specimens were kept at the molds for 24 hours at room temperature. The compressive and flexural strength of the specimens were measured complying the EN 13279-2 for 1 day, 7 days and 28 days (BS EN 13279-1:2008, 2009).

Table 5. Mixture Designs

Mixture Code	Silica Sand (kg)	Expanded Perlite	Fiber (%)	Gypsum (kg)	Pigment (g)	Mix/Water (g/ml)
R ₁	0	0	1	50	1.250	
R ₂	0	0	1.5	50	1.250	
A ₁	25	0	1	25	1.250	
A ₂	25	0	1.5	25	1.250	
B ₁	23.75	1.25	1	25	1.250	
B ₂	23.75	1.25	1.5	25	1.250	1.6
C ₁	22.5	2.5	1	25	1.250	
C ₂	22.5	2.5	1.5	25	1.250	
D ₁	21.25	3.75	1	25	1.250	
D ₂	21.25	3.75	1.5	25	1.250	
Static viscosity (TS EN 1170-1), circle number						4

2.6. Mechanical Properties

Experimental test results are given in Table 6. Density values decrease when the expanded perlite content increases.

Table 6. Mechanical Properties of the Gypsum Composite

Mixture Code	Density (g/cm ³)	Water absorption (%)	Bending Strength (Mpa)			Compressive Strength (Mpa)		
			1-day	7-day	28-day	1-day	7-day	28-day
R ₁	1.12	39.21	1.62	1.73	1.92	2.80	3.10	3.41
R ₂	1.19	40.13	1.69	1.84	2.01	2.88	3.19	3.52
A ₁	1.92	37.13	1.65	1.74	1.93	3.12	3.24	3.57
A ₂	2.01	37.41	1.75	1.86	2.07	3.26	3.32	3.61
B ₁	1.79	39.41	1.53	1.61	1.88	2.99	3.12	3.39
B ₂	1.82	40.10	1.57	1.69	1.94	3.00	3.15	3.46
C ₁	1.70	40.17	1.50	1.57	1.81	2.83	3.02	3.31
C ₂	1.72	40.62	1.52	1.61	1.89	2.91	3.09	3.37
D ₁	1.67	41.64	1.43	1.51	1.68	2.79	2.98	3.27
D ₂	1.69	42.03	1.50	1.56	1.74	2.86	3.01	3.30

2.7. Cost Analysis and the Optimization

Cost optimization of the pigments becomes a very important factor depending on its high costs compared the other ingredients of the mortar. The full factorial experimental design was chosen due to the few test quantities. This design method is a good choice when the resources are limited. This experiment also allows the user to examine the effect of each factor on the response data. This study does not comprise the cross-sectional optimization of the final products. Further development and implementation of this approach can be considered for further researchers. The unit cost of the ingredients of the composites is given in Table 7.

Table 7. Unit Cost of the materials

Material	Unit price (USD / kg)
Gypsum	1
Silica sand	0.21
Expanded perlite	2.5
Glass fiber	6
Brown pigment	3.06
Yellow pigment	5.13
Black pigment	2.71
Red pigment	3.05

The production cost of the glass fiber reinforced, and colored concrete can be varied according to the glass fiber and pigment content. The cost of the mixtures is presented in Table 8.

Table 8. Cost of Colored Gypsum Composites

Mixture Code	Pigment	Cost (USD / kg)
R ₁	Reference	53.00
	Brown	53.31
	Yellow	53.51
	Black	53.27
	Red	53.30
R ₂	Reference	54.50
	Brown	54.81
	Yellow	55.01
	Black	54.77
	Red	54.80
A ₁	Reference	31.75
	Brown	31.90
	Yellow	32.01
	Black	31.89
	Red	31.90
A ₂	Reference	32.50
	Brown	32.65
	Yellow	32.76
	Black	32.64
	Red	32.65
B ₁	Reference	34.61
	Brown	34.77
	Yellow	34.87
	Black	34.75
	Red	34.76
B ₂	Reference	35.36
	Brown	35.52
	Yellow	35.62
	Black	35.50
	Red	35.51
C ₁	Reference	37.48
	Brown	37.63
	Yellow	37.73
	Black	37.61
	Red	37.63
C ₂	Reference	38.23
	Brown	38.38
	Yellow	38.48
	Black	38.36
	Red	38.38
D ₁	Reference	40.34
	Brown	40.49
	Yellow	40.59
	Black	40.47
	Red	40.49
D ₂	Reference	41.09
	Brown	41.24
	Yellow	41.34
	Black	41.22
	Red	41.24

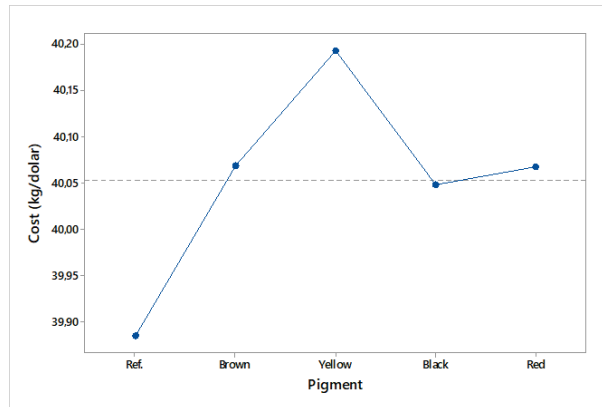
Four functions were used during the optimization studies. Models include the optimization of gypsum composites according to the cost, unit weight, compressive strength and bending strength values. The responses and objective functions are listed as in Table 9.

Table 9. Optimization Functions

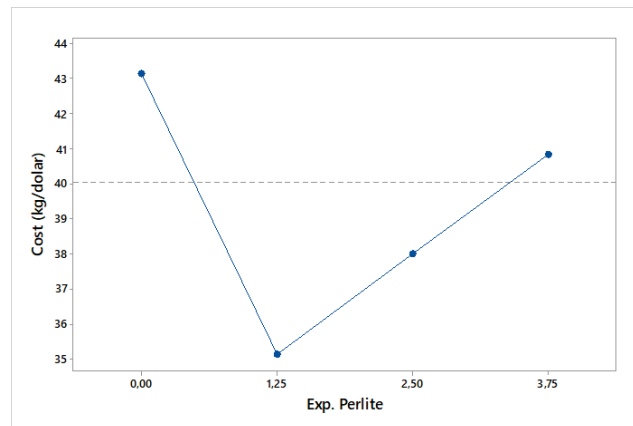
Response	Objective function
Cost	Minimum
Unit weight	Minimum
Compressive strength (28-day)	Maximum
Bending strength (28-day)	Maximum

3. RESULTS AND DISCUSSION

The pigment type and the composite cost relation is presented in Fig. 3. Generally, gypsum composite cost increases with the addition of color pigments. It can be seen from Fig. 3 that the maximum cost was obtained with the use of yellow pigment.

**Figure 3.** Color Pigment and Composite Cost Relation

The cost of the expanded perlite added mixtures decreased compared to the reference mixes. The cost effect of expanded perlite on the composite mixes are given in Fig. 4. However, cost increases existed when the expanded perlite used with other mix groups.

**Figure 4.** Expanded Perlite and Composite Cost Relation

Glass fiber addition into the mixes increased the composite costs, as well. But this rise was within the limit of 0.90 Usd per mixes. The fiber content and cost relation can be seen in Fig. 5.

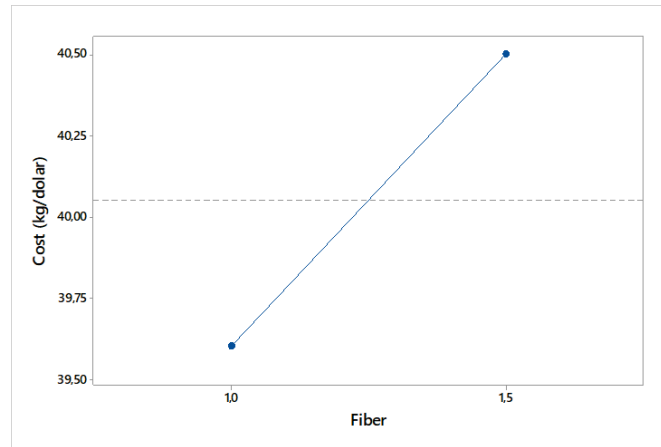


Figure 5. Glass Fiber and Composite Cost Relation

The most suitable mix according to the objective functions is given in Table 10. This mix includes 23.75 kg of silica sand, 1.25 kg of expanded perlite, 1.5 % glass fiber, 25 kg of gypsum and the red color pigment.

Table 10. Suitable Mix (SM) Design Content

Silica Sand(kg)	Expanded perlite(kg)	Glass fiber (%)	Gypsum(kg)	Pigment type
23.75	1.25	1.5	25	Red

Mechanical properties of the most suitable mix are given in Table 11. When the ingredients are added as seen in Table 10, the cost and mechanical properties of the composite can be as following Table 11.

Table 11. SM Cost

Cost (Usd)	Unit weight (t/m ³)	Compressive strength (28-day, Mpa)	Bending strength (28-day, Mpa)
35.51	1.82	3.46	1.94

4. CONCLUSIONS

Making accurate decisions at the very early stages of a project can assist researchers to obtain aimed design solutions. In this study, cost optimization of glass fiber reinforced, color pigment, silica sand and expanded perlite added gypsum composites is presented. The objective function consists of the material cost involved in the production of the composite, compressive strength, bending strength and the unit weight. A design of experiment study was conducted to analyze the effect of each ingredient on the optimum design.

A cost optimization model for colored gypsum composite has been improved in this paper. As the scope and the details of the ingredient material expand, the outcomes become more reliable for future studies. Moreover, human based aspects of the new architectural design still need further researches.

REFERENCES

- Ali, M. A., & Grimer, F. J. (1969). Mechanical properties of glass fibre-reinforced gypsum. *Journal of Materials Science*. <https://doi.org/10.1007/BF00549703>
- Briga-Sá, A., Nascimento, D., Teixeira, N., Pinto, J., Caldeira, F., Varum, H., & Paiva, A. (2013). Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.08.037>
- BS EN 13279-1:2008. (2009). Gypsum binders and gypsum plasters - Part 1: Definitions and requirements. British Standard.
- Camarini, G., & De Milito, J. A. (2011). Gypsum hemihydrate-cement blends to improve renderings durability. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.048>

- Çolak, A. (2006). Physical and mechanical properties of polymer-plaster composites. *Materials Letters*. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2005.12.062>.
- Del Río Merino, M., & Hernández Olivares, F. (2000). Reinforced plaster by means of the synergic action between concrete additives (superfluidifiers, fluidifiers and airing-plasticizers) and E glass fibres. *Materiales de Construcción*.
- Eve, S., Gomina, M., Gmouh, A., Samdi, A., Moussa, R., & Orange, G. (2002). Microstructural and mechanical behaviour of polyamide fibre-reinforced plaster composites. *Journal of the European Ceramic Society*. [https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(02\)00014-6](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(02)00014-6)
- Fereig, S. M. (1994). An application of linear programming to bridge design with standard prestressed girders. *Computers and Structures*. [https://doi.org/10.1016/0045-7949\(94\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0045-7949(94)90016-7)
- Fernández Rodríguez, J. M., & Fernández Fernández, J. A. (2005). Application of the second derivative of the Kubelka-Munk function to the semiquantitative analysis of Roman paintings. *Color Research and Application*. <https://doi.org/10.1002/col.20157>
- Flores Medina, N., & Barbero-Barrera, M. M. (2017). Mechanical and physical enhancement of gypsum composites through a synergic work of polypropylene fiber and recycled isostatic graphite filler. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.073>.
- García Santos, A. (2009). Escayola reforzada con fibras de polipropileno y aligerada con perlas de poliestireno expandido. *Materiales de Construcción*. <https://doi.org/10.3989/mc.2009.41107>
- Garud, S. S., Karimi, I. A., & Kraft, M. (2017). Design of computer experiments: A review. *Computers and Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.05.010>
- Gazineu, M. H. P., Santos, V. A. Dos, Hazin, C. A., Vasconcelos, W. E. De, & Dantas, C. C. (2011). Production of polymer-plaster composite by gamma irradiation. *In Progress in Nuclear Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2011.06.014>
- Gencil, O., Del Coz Diaz, J. J., Sutcu, M., Koksall, F., Alvarez Rabanal, F. P., Martinez-Barrera, G., & Brostow, W. (2014). Properties of gypsum composites containing vermiculite and polypropylene fibers: Numerical and experimental results. *Energy and Buildings*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.047>
- Greenstein, L. M., & Lewis, P. E. (1998). *Pigment Handbook*. Part.
- Gutiérrez-González, S., Gadea, J., Rodríguez, A., Blanco-Varela, M. T., & Calderón, V. (2012). Compatibility between gypsum and polyamide powder waste to produce lightweight plaster with enhanced thermal properties. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.061>
- Gutiérrez-González, S., Gadea, J., Rodríguez, A., Junco, C., & Calderón, V. (2012). Lightweight plaster materials with enhanced thermal properties made with polyurethane foam wastes. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.055>
- Heim, D., & Clarke, J. A. (2004). Numerical modelling and thermal simulation of PCM-gypsum composites with ESP-r. *In Energy and Buildings*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.01.004>
- Hernández-Olivares, F., Oteiza, I., & de Villanueva, L. (1992). Experimental analysis of toughness and modulus of rupture increase of sisal short fiber reinforced hemihydrated gypsum. *Composite Structures*. [https://doi.org/10.1016/0263-8223\(92\)90001-S](https://doi.org/10.1016/0263-8223(92)90001-S)
- Jang, H. seok, Kang, H. seon, & So, S. young. (2014). Color expression characteristics and physical properties of colored mortar using ground granulated blast furnace slag and White cement
- Jedidi, M., Benjeddou, O., & Soussi, C. (2015). Effect of expanded perlite aggregate dosage on properties of lightweight concrete. *Jordan Journal of Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.10.052>
- Kaveh, A., Maniat, M., & Arab Naeini, M. (2016). Cost optimum design of post-tensioned concrete bridges using a modified colliding bodies optimization algorithm. *Advances in Engineering Software*. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2016.03.003>
- Khalil, A. A., Tawfik, A., Hegazy, A. A., & El-Shahat, M. F. (2014). Effect of some waste additives on the physical and mechanical properties of gypsum plaster composites. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.081>

- Lanzón, M., & García-Ruiz, P. A. (2008). Lightweight cement mortars: Advantages and inconveniences of expanded perlite and its influence on fresh and hardened state and durability. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.05.006>
- Lee, H. S., Lee, J. Y., & Yu, M. Y. (2003). Influence of iron oxide pigments on the properties of concrete interlocking blocks. *Cement and Concrete Research*. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00209-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00209-6)
- Liu, K., Wu, Y. F., & Jiang, X. L. (2008). Shear strength of concrete filled glass fiber reinforced gypsum walls. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*. <https://doi.org/10.1617/s11527-007-9271-8>
- Li, M., Wu, Z., & Chen, M. (2011). Preparation and properties of gypsum-based heat storage and preservation material. *Energy and Buildings*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.05.016>
- Mármol, I., Ballester, P., Cerro, S., Monrós, G., Morales, J., & Sánchez, L. (2010). Use of granite sludge wastes for the production of coloured cement-based mortars. *Cement and Concrete Composites*. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.06.003>
- Mazloom, M., Ramezani-pour, A. A., & Brooks, J. J. (2004). Effect of silica fume on mechanical properties of high-strength concrete. *Cement and Concrete Composites*. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(03\)00017-9](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(03)00017-9).
- Murat, M., & Attari, A. (1991). Modification of some physical properties of gypsum plaster by addition of clay minerals. *Cement and Concrete Research*. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(91\)90019-E](https://doi.org/10.1016/0008-8846(91)90019-E).
- Mohandesi, J. A., Sangghaleh, A., Nazari, A., & Pourjavad, N. (2011). Analytical modeling of strength in randomly oriented PP and PPTA short fiber reinforced gypsum composites. *Computational Materials Science*. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2010.12.020>.
- Nassif, A. Y., Yoshitake, I., & Allam, A. (2014). Full-scale fire testing and numerical modelling of the transient thermo-mechanical behaviour of steel-stud gypsum board partition walls. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.027>
- Pellegrino, S. (1990). Analysis of prestressed mechanisms. *International Journal of Solids and Structures*. [https://doi.org/10.1016/0020-7683\(90\)90082-7](https://doi.org/10.1016/0020-7683(90)90082-7)
- Portland Cement. *KSCE Journal of Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s12205-014-0452-z>
- Prasad, A. M., Menon, D., & Janardhana, M. (2008). Glass Fibre Reinforced Gypsum wall panels with concrete infill - Research and Construction. *Proceedings of the 2nd International Conference on Advances in Concrete and Construction*.
- Ravi Kumar, C. M., Kumar, A., Prashanth, M. H., & Reddy, D. V. (2012). Experimental studies on Iron-ore tailing based interlocking paver blocks. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*.
- Rózycka, A., & Pichór, W. (2016). Effect of perlite waste addition on the properties of autoclaved aerated concrete. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.019>
- Sengul, O., Azizi, S., Karaosmanoglu, F., & Tasdemir, M. A. (2011). Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete. *Energy and Buildings*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.11.008>
- Serhat Başpınar, M., & Kahraman, E. (2011). Modifications in the properties of gypsum construction element via addition of expanded macroporous silica granules. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.022>
- Sodeyama, K., Sakka, Y., Kamino, Y., & Seki, H. (1999). Preparation of fine expanded perlite. *Journal of Materials Science*. <https://doi.org/10.1023/A:1004579120164>
- Sreenivasa, R. L., Menon, D., & Prasad, A. M. (2008). Prediction of axial compressive strength of Glass Fibre Reinforced Gypsum wall panels. *Proceedings of 7th International Conference on Civil and Architecture Engineering ICCAE-7*.
- Sun, D., & Wang, L. (2015). Utilization of paraffin/expanded perlite materials to improve mechanical and thermal properties of cement mortar. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.123>
- Terai, M., & Minami, K. (2012). Research and Development on Bamboo Reinforced Concrete Structure. In *World Conferences on Earthquake Engineering*. <https://doi.org/10.1007/s11046-013-9678-4>

- Vimmrová, A., Keppert, M., Svoboda, L., & Černý, R. (2011). Lightweight gypsum composites: Design strategies for multi-functionality. *Cement and Concrete Composites*. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.09.011>
- Wu, Y. F. (2004). The effect of longitudinal reinforcement on the cyclic shear behavior of glass fiber reinforced gypsum wall panels: Tests. *Engineering Structures*. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2004.06.009>
- Wu, Y. F., & Dare, M. P. (2006). Flexural and shear strength of composite lintels in glass-fiber-reinforced gypsum wall constructions. *Journal of Materials in Civil Engineering*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2006\)18:3\(415\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2006)18:3(415))
- Yakovlev, G., Khozin, V., Polyanskikh, I., & Keriene, J. (2014). Utilization of blast furnace flue dust while modifying gypsum binders with carbon nanostructures. In *The 9th International Conference "ENVIRONMENTAL ENGINEERING."* <https://doi.org/10.3846/enviro.2014.025>
- Yakovlev, G., Polyanskikh, I., Fedorova, G., Gordina, A., & Buryanov, A. (2015). Anhydrite and gypsum compositions modified with ultrafine man-made admixtures. In *Procedia Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.195>
- Zhang, Z., Qiao, F., Wu, D., & Li, Z. (2012). Uniaxial compression tests research on C35 glazed hollow bead insulation concrete. *Applied Mechanics and Materials*. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.105-107.1779>



Katı Atık Depolama Tesisi Yer Seçimi için Birleştirilmiş Hedef Programlama ve AHP Yaklaşımı

A Combined Goal Programming and AHP Approach for Solid Waste Landfill Site Selection

Ayyüce Aydemir-Karadağ 

Cankaya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Yolu 29. Km, 06790, Ankara, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 04/04/2018

Kabul/Accepted: 04/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Öz

Tüm dünyada, nüfus ve kentleşmenin artması ve gelişen teknoloji ile beraber üretilen atık miktarı da artmaktadır. Katı atıkların bertarafı, büyük oranda düzenli depolama yöntemiyle sağlanmaktadır. Bir düzenli depolama sahasının uygun şekilde projelendirilmesi ve işletilmesi için en önemli ön şart uygun kuruluş yeri seçiminin yapılmasıdır. Sağlıklı, verimli, uzun ömürlü, sürdürülebilir ve yasal düzenlere uygun düzenli depolama yer seçimi çok kriterli bir karar problemidir. Bu çalışmada; Ankara ili ve çevresinde kurulabilecek katı atık düzenli depolama tesisi kuruluş yeri alternatifleri, çevresel, ekonomik, sosyal ve zeminel kriterler açısından Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile değerlendirilmiştir. Ankara'nın yıllık depolanan atık talebini karşılayacak alternatiflerin arasından seçim yapılması, AHP ile hesaplanan kriter ağırlıklarını ve alternatif önceliklerini kullanan ve sistem gerçeklerini yansıtan hedef programlama (HP) modeli ile sağlanır.

Anahtar Kelimeler

"Analitik Hiyerarşi Prosesi, Hedef Programlama, Yer Seçimi, Düzenli Depolama, Katı Atık"

Abstract

All over the world, the amount of waste produced has increased with population, urbanization and developing technology. Disposal of solid wastes is mostly achieved by sanitary landfilling. The most important prerequisite for the proper design and operation of a landfill site is to select the appropriate site location. A sanitary, efficient, long-lasting, sustainable landfill selection in accordance with legal regulations is a multi-criteria decision-making problem. In this study; alternatives for solid waste sanitary landfills in and around the province of Ankara are evaluated by the Analytical Hierarchy Process (AHP) in terms of environmental, economic, social and geological criteria. The selection among alternatives to meet Ankara's annual stored waste demand is achieved by the goal programming (HP) model, which uses criteria weights and alternative priorities calculated with AHP, and reflects system realities.

Key Words

"Analytical Hierarchy Process, Goal Programming, Site Selection, Landfill, Solid Waste"

1. GİRİŞ

Tüm dünyada ve ülkemizde, teknoloji alanındaki gelişmeler, sanayileşmedeki ve nüfustaki artış, tüketim alışkanlıklarındaki değişimler yönetilmesi gereken atık miktarını arttırmakta, atık miktarı ve tehlikeli içeriği de insan sağlığını ve doğayı tehdit etmektedir. Atıkların uygun şekilde bertaraf edilmemesi sonucunda, direkt yada hayvanlar vasıtasıyla, tüberküloz, veba, sıtma, kolera ve dizanteri gibi birçok hastalık bulaşabilmektedir. Ayrıca, açık çöp alanlarına dökülen atıklardan sızan sular ve çevreye yayılan gazlar, çevre ve insan sağlığı için tehlike oluşturmaktadır (Palabıyık, 2001). Bu durum, tüm dünyada en öncelikli politika olarak etkin atık yönetim sistemlerinin kurulmasını gerekli kılmaktadır.

Katı atıklar, yaşamımızda en çok karşılaştığımız atıklardır. İnsanların ve hayvanların yaşam faaliyetleri sonucu, kullanıcı tarafından herhangi bir şekilde tekrar kullanılması söz konusu olmayan ve istenmemesi nedeni ile atılan katı maddeler olarak tanımlanmaktadır (Alpaslan, 2005). Katı atıklar kaynaklarına göre; evsel atıklar, endüstriyel, tıbbi, ticari ve kurumsal atıklar, inşaat, maden ve tarım işlerinden kaynaklanan atıklar olarak sınıflandırılabilir (Pradhan, 2008).

Atık yönetimi hiyerarşisi, kaynağında azaltma ve yeniden kullanım, geri dönüşüm, kompostlaştırma, enerji üretme ve düzenli depolama gibi geri kazanım yöntemleri ile atık miktarının azaltılmasını amaçlar. Katı atıkların düzenli depolanması, atıkların bertarafı sürecinde oluşabilecek depo gazlarının ve sızıntı sularının, hava, toprak, yeraltı suları ve yüzeysel suların üzerindeki olumsuz etkilerinin en aza indirilerek çevre kirliliğinin önlenmesini sağlayan bir yöntemdir (Resmi Gazete, 2010). Düzenli depolama tesisleri, toplanan katı atıkların günümüz teknik standartlara göre bertaraf edildiği sahalara verilen isimdir (T.C. ÇŞB, 2016). Seçilen atık işleme ve bertaraf yöntemi ne olursa olsun düzenli depolama tesislerinin, katı atık yönetim sisteminin temel bileşeni olduğu kabul edilmektedir. Çünkü, atıkların geri dönüşüm, geri kazanım süreçleri ile bertarafı sonucunda da belirli oranlarda bertaraf edilemeyen atık ortaya çıkmaktadır ki; bu atıkların yine düzenli depolama tesislerine gönderilerek bertaraf edilmesi gerekir. Tablo 1’de, yeterli ve uygun araziler bulunduğu müddetçe en ekonomik ve en kolay uygulanabilen yöntemin düzenli depolama yöntemi olduğu gösterilmektedir.

Tablo 1. Atık bertaraf sistemlerinin karşılaştırılması (T.C. ÇŞB, 2014)

	Düzenli Depolama	Termal Santraller	Biyolojik Sistemler
Maliyet	Düşük	Yüksek	Orta
Hacimsel Azalma	Düşük	Yüksek	Yüksek
Çevresel Riskler	Yüksek	Orta	Düşük
İşletme Hassasiyeti	Kolay	Zor	Zor

Düzenli depolama tesislerinin kuruluş yerinin belirlenmesi, şehirlerin altyapı tasarımının sürdürülebilir ve ekonomik olması açısından kuşkusuz büyük önem taşımaktadır. Seçilen yerin, çevresel ve sosyal açıdan, ayrıca sağlık yönünden gerekli şartlara sahip olması ve yerel kanunlara uygun olması gerekmektedir (Dipanjan vd., 1997). Atığın taşınma mesafesi, yasal uygulamalar, çevresel faktörler, alternatif arazinin büyüklüğü ve kullanılabilirliği, ulaşım imkanı, nüfus yoğunluğu, toprağın, topoğrafyanın ve zeminin yapı durumu, iklimsel şartlar, yüzey suyu hidroloji durumu, jeolojik ve hidrojeolojik unsurlar gibi birçok kriter dikkate alınmalıdır (Tchobanoglous&Kreith, 2002). Dolayısıyla, düzenli depolama yer seçimi problemi kritik ve teknik bir karar verme problemidir.

Bu çalışmada, düzenli depolama merkezi kuruluş yeri seçimi problemi ele alınmış ve çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşik Proses (AHP) metodu ve Hedef Programlama (HP) yöntemlerinin birleşimini içeren bir model önerilmiştir. AHP uygulamasında, çevresel, ekonomik, sosyal ve zeminel olmak üzere dört ana kriter; bu ana kriterlerle direkt bağlantılı yirmi bir adet alt kriter-1 ve alt kriterler-1 ile direkt bağlantılı yirmi üç adet alt kriter-2 belirlenmiştir. AHP yöntemi ile Ankara ilinde belirlenen 4 alternatif kuruluş yeri arasından kriterlere göre seçimler yapılabilmekte, istenilen kriter bazında tercih sıraları belirlenebilmektedir. Sistem gerçeklerini yansıtan problem özelindeki bir takım kısıtların karar sürecine katılması HP yöntemi ile sağlanmaktadır. HP modeli, belirlenen çalışma alanında üretilen yıllık atığın, düzenli depolanması gereken miktarının kurulacak tesisler tarafından karşılanmasını garanti eder ve düzenli depolama merkezi kuruluş ve işletim maliyetlerinin en küçüklenmesi, kurulacak bölgede yaşayan insanlar için patlama vb. nedenler ile ortaya çıkabilecek saha riskinin en küçüklenmesi ve alternatiflerin çevresel, ekonomik, sosyal ve zeminel puanlarından oluşan toplam ağırlığın en büyüklenmesi amaçlarını dikkate alır.

Çalışmanın 2. Bölümünde, atık yönetiminde tesis yer seçimi problemlerinin çözümü için ÇKKV yöntemlerini ve bu yöntemler ile birlikte HP metodunu kullanan araştırmalar ayrıntılı olarak incelemiştir, 3. Bölümde kullanılan metod ve yöntemler tanımlanmıştır. 4. Bölümde yapılan uygulama ve elde edilen bulgular gösterilmekte iken, 5. ve son bölümde sonuçlar ve gelecek çalışmalara ait bilgiler yer almaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Tesis kuruluş yerinin tespitinde, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Analitik Ağ Prosesi (ANP), TOPSIS, Bulanık AHP, ELECTRE vb. olmak üzere farklı ÇKKV yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, atık yönetiminde kuruluş yeri seçimi ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar, kullanılan ÇKKV yöntemlerine göre iki başlık altında incelenmiştir: (1)AHP kullanan çalışmalar, (2)AHP dışındaki diğer ÇKKV yöntemlerini kullanan çalışmalar.

Tablo 2, AHP yöntemi ve AHP ile birlikte diğer yöntemleri kullanan araştırmaları göstermektedir. Tabloda, yazar, yıl, uygulama yapılan ülke/şehir bilgilerinin yanısıra, son sütunda çalışmalarda dikkate alınan kriterler ayrıntılı olarak belirtilmiştir.

Tablo 2. AHP yöntemi kullanan çalışmalar

Yazar	Yıl	Ülke	Yöntem	Belirlenen Kriterler
Erkut ve Moran	1991	Kanada	AHP	ekonomiye etkenler, hidrolojik özellikler, topoğrafik özellikler, toprağın yapısı, arazinin kullanılabilirliği, yerleşim alanlarına uzaklık.
Banar vd.	2006	Türkiye /Eskişehir	AHP	taşıma mesafesi, yasal yaptırımlar, arazinin kullanılabilirliği, tesis ömrü ve kapasitesi, topoğrafik özellikler, hidrolojik özellikler, toprak yapısı, jeolojik özellikler, iklim şartları.
Ohman vd.	2007	Kanada	AHP	çevresel şartlar, ekonomik etkenler, güvenlik durumu, sağlığa etki, yağış seviyeleri, taşıma mesafesi, kamuoyu tepkisi.
Chang vd.	2008	ABD	Bulanık AHP, CBS	arazinin eğimi, hidrolojik özellikler, arkeolojik alanlar, toprağın yapısı, arazinin kullanılabilirliği, nüfus durumu ve demografik yapısı, karayoluna uzaklık, havaalanına uzaklık.
Wang vd.	2009	Çin	AHP, CBS	ekonomik şartlar, hidrolojik özellikler, topoğrafik özellikler, toprağın yapısı, iklim şartları, arazinin kullanılabilirliği, yerleşim alanlarına uzaklık.
De Feo ve De Gisi	2010	İtalya	AHP	ekonomik şartlar, hidrolojik özellikler, topoğrafik özellikler, toprağın yapısı, arazinin kullanılabilirliği, bitkisel-hayvansal yaşam durumu.
Şener vd.	2010	Türkiye Isparta Beyşehir	AHP, CBS	arazinin eğimi, yolların kalitesi, jeolojik özellikler, arazinin kullanılabilirliği, yerleşim alanlarına uzaklık, hidrolojik özellikler, sit alanına uzaklık.
Gorsevski vd.	2011	Makedonya	CBS yardımcı AHP	ekonomik etkenler, çevresel şartlar, rakım, arazinin eğimi, nehirlere uzaklık, göllere uzaklık, hidrolojik özellikler, arazinin kullanılabilirliği, fay hattı, yerleşim alanlarına uzaklık, taşıma mesafesi.
Pires vd.	2011	Portekiz	Bulanık TOPSIS AHP	ekonomik şartlar, çevresel özellikler, teknik özellikler, sosyal şartlar, küresel ısınma etkisi yani sera gazı etkisi, koku etkisi, altyapı durumu, arazinin kullanılabilirliği, verimlilik.
Şener vd.	2011	Türkiye Isparta Senirkent	CBS tabanlı ÇKKV, AHP	karayoluna ve havaalanına uzaklık, sit alanına uzaklık, rüzgar yönü, jeolojik özellikler, arazinin eğimi, hidrolojik özellikler, fay hattı, toprağın yapısı, arazinin kullanılabilirliği.
Tavares vd.	2011	Portekiz	AHP, CBS	ekonomik şartlar, topoğrafik özellikler, toprağın yapısı, arazinin kullanılabilirliği, iklim durumu, taşıma mesafesi, altyapı durumu.
Kirimi ve Waithaka	2014	Kenya	CBS tabanlı AHP	jeolojik özellikler, toprağın yapısı, arazinin kullanılabilirliği, arazinin eğimi, hidrolojik özellikler, taşıma mesafesi, sit alanlarına uzaklık.
Kumar vd.	2014	Hindistan	AHP, CBS	jeolojik özellikler, arazinin kullanılabilirliği, hidrolojik özellikler, toprağın yapısı, demiryolu hattına uzaklık, yerleşim alanlarına uzaklık, arazinin eğimi, arazinin kullanılabilirliği.
Raisi vd.	2014	Umman	AHP	hidrolojik özellikler ve jeolojik özellikler, taşıma mesafesi, havaalanına uzaklık, fay hattı, yerleşim alanlarına uzaklık, vadilere uzaklık, sahile uzaklık, zemin su geçirgenliği.

*CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi)

Tablo 3'te, atık yönetiminde, AHP dışındaki diğer ÇKKV yöntemlerini kullanan yer seçimi çalışmaları sunulmaktadır.

Tablo 3. ÇKKV yöntemlerini kullanan çalışmalar

Yazar	Yıl	Ülke	Yöntem	Belirlenen Kriterler
Massam, B.H.	1991	İsrail	TOPSIS ELECTRE	ekonomik etkenler, çevresel şartlar, arazinin kullanılabilirliği, taşıma mesafesi
Hokkanen ve Salminen	1997	Finlandiya	ELECTRE III	ekonomik etkenler, hidrolojik özellikler, arazinin kullanılabilirliği, iklim şartları ve taşıma mesafesi
Vaillancourt ve Waaub	2002	Kanada	PROMETHEE	ekonomik etkenler, topoğrafik özellikler, toprağın yapısı, hidrolojik özellikler, bitkisel-hayvansal yaşam durumu
Cheng vd.	2003	Kanada	TOPSIS ELECTRE	ekonomik etkenler, hidrolojik özellikler, topoğrafik özellikler, toprağın yapısı, arazinin kullanılabilirliği, yerleşim yerlerine uzaklık, seçilen yerin enerji geri kazanım avantajı.
Carroll vd.	2004	Avustralya	PROMETHEE GAIA	hidrolojik özellikler, topoğrafik özellikler, toprağın yapısı
Karagiannidis vd.	2004	Yunanistan	ELECTRE III	ekonomik etkenler, topoğrafik özellikler, arazinin kullanılabilirliği, sera gazı etkisi, yerleşim alanlarına uzaklık, bitkisel ve hayvansal yaşam durumu, seçilen yerin enerji geri kazanım avantajı.
Norese	2006	İtalya	ELECTRE III	ekonomik etkenler, hidrolojik özellikler, topoğrafik özellikler, toprağın yapısı, altyapı durumu, arazinin kullanılabilirliği, taşıma mesafesi.
Kapepula vd.	2007	Senegal	PROMETHEE	ekonomik etkenler, hidrolojik özellikler, topoğrafik özellikler, toprağın yapısı, iklim şartları, sera gazı etkisi, yerleşim alanlarına uzaklık.
Khan ve Faisal	2007	Hindistan	ANP	kamuoyu tepkisi, sosyal kabul, sağlığa etkisi.
Queiruga vd.	2008	İspanya	PROMETHEE	arazinin kullanılabilirliği, yerleşim alanlarına uzaklık, ekonomik etkenler, personel ihtiyaçları, geri dönüşüm tesislerine uzaklık.
Tuzkaya vd.	2008	Türkiye İstanbul	ANP	ekonomik şartlar, arsa maliyeti, sağlığa etkisi, teknik şartlar, çevresel şartlar, jeolojik şartlar, topoğrafik özellikler, sosyal ve politik şartlar, ses kirliliği, koku etkisi.
Vego vd.	2008	Hırvatistan	PROMETHEE GAIA	ekonomik şartlar, çevresel şartlar, sosyal kabul, arazinin kullanılabilirliği.
Beltran vd.	2010	İspanya	ANP	ekonomik şartlar, çevresel şartlar, sosyal kabul, yasal şartlar, teknik durum.
Ekmekçioğlu vd.	2010	Türkiye İstanbul	Bulanık TOPSIS	arazinin kullanılabilirliği, ekonomik şartlar, topoğrafik özellikler, toprağın yapısı, iklim şartları, hidrolojik özellikler, yerleşim alanlarına uzaklık, altyapı durumu ve bitkisel-hayvansal yaşam durumu.
Shariati vd.	2014	İran	ARAS GARAS	ekonomik şartlar, çevresel şartlar, teknik durum, taşıma mesafesi, hidrolojik özellikler, arazinin kullanılabilirliği, görsellik
Younes vd.	2015	Malezya	MRRS-ANP	topoğrafik özellikler, hidrolojik özellikler, taşıma mesafesi

*Geometrical Analysis For Interactive Aid (GAIA), Additive Ratio Assessment (ARAS), Group Decision Making Additive Ratio Assessment (GARAS), Median Ranked Sample Set (MRSS)

Tablo 2 ve Tablo 3'te ayrıntılı olarak açıklandığı üzere, bir çok çalışmada ortak olarak kullanılan jeolojik ve hidrolojik özelliklere ek olarak, küresel ısınma etkisi (sera gazı etkisi) ve bitkisel-hayvansal yaşam durumu gibi farklı kriterler de dikkate alınmaktadır. Ancak, bazı çalışmalarda çevresel kriterlere yer verilmediği görülmüştür. Ayrıca, ekonomik kriterler ile birlikte toprağın yapısı, tesis için belirlenen arazinin uygunluğu, tesise yerleşim yerlerinin uzaklığı, atıkların taşınma mesafeleri, kurulacak tesisin çevreye etkisi gibi kriterler öne çıkmaktadır. Yapılan literatür taraması, yasal mevzuatı destekleyecek şekilde düzenli depolama yer seçimi problemlerinde ele alınacak kriterlerin sınıflandırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ülkemizde, atık mevzuatına yönelik birçok kanun, yönetmelik ve düzenlemeler söz konusudur. Ayrıca, katı atık yönetimi ile ilgili ana ulusal mevzuatın AB mevzuatı ile uyumlaştırma çalışmaları da devam etmektedir. Atıkların Düzenli Depolanmasına dair yönetmelik 26.03.2010 tarihli ve 27533 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmelikte düzenli depolama yer seçimine ait hususlar da belirtilmektedir.

Çok amaçlı karar verme problemlerini çözmek için en çok kullanılan tekniklerden biri hedef programlama (HP) yöntemidir (Charnes & Cooper, 1961). Literatürde, HP yönteminin farklı karar verme problemlerinde başarıyla uygulandığı görülmektedir. Badri (1999), çalışmasında petrokimyasal tesislerinin yerlerini belirlemek ve açılan her bir üretim tesisi ile dağıtım merkezleri arasında taşınan miktarları belirlemek üzere AHP ve HP yöntemlerini birlikte kullanmışlardır. Bertolini ve Bevilacqua (2006), bir

petrol rafinerisinde kritik santrifüj pompalarının bakımı için en iyi stratejileri tanımlamada AHP ve öncelikli HP (Lexicographic) yaklaşımlarını birlikte kullanmaktadır. AHP ile her bir arıza tipi için olası bakım politikalarına ait (düzeltici ve önleyici) öncelik vektörü elde edilir ve HP modeli maliyet enküçüklemesi, AHP skorunun en büyüklenmesi, insan gücü kullanımının en aza indirilmesi ve her bir kriter için yerel puan maksimizasyonu amaçlarını en iyileyecek şekilde oluşturulur. Özcan vd. (2017), hidroelektrik santralleri bakım stratejisi seçim problemi için, benzer etkileri olan ve güç santrallerinde kullanılan en önemli 9 ekipmanı çok kriterleri karar verme yöntemlerinden biri olan TOPSIS ile belirlemiş, kriter ağırlıklarını AHP metodu ile elde etmiştir. Kriter ağırlıkları, alternatif öncelikleri ve santrale ait gerçekçi kısıtları dikkate alarak önerilen her ekipman için bakım stratejisi kombinasyonları HP ile elde edilir.

Bu çalışmada, problemin gerçek hayat problemlerinde uygulanabilirliğini sağlamak amacıyla kriterler sınıflandırılmış ve çok sayıda kriter ve alt kriterler dikkate alınarak gerçekçi bir model geliştirilmek amaçlanmıştır. Ele alınan kriterler, literatürdeki çalışmalar, yasal mevzuatlar, katı atık düzenli depolama tesisi işletme lisansı alabilmek için gerekli Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) raporlarında istenen şartlar ile paralellik göstermektedir. Ayrıca, literatürde AHP ve HP yöntemlerini kullanan çok sayıda çalışma olmasına rağmen, katı atık düzenli depolama yer seçimi probleminin çözümünde bu iki yöntemin birlikte kullanan herhangi bir çalışmaya rastlanamamıştır.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), problemleri hiyerarşik bir yapıda ele alan ve ikili karşılaştırma mantığına dayanan çok kriterli karar verme tekniğidir (Felek vd., 2007). Yöntem, bir karar alma mekanizması olup, tahminleme yaparak karar alma faktörlerinin yüzdeleri oranlarını açıklamaktadır (Saaty, 1994). AHP yönteminin uygulama adımları şu şekilde özetlenebilir.

Adım 1. Karar probleminin tanımlanması ve modelin kurulması:

AHP hiyerarşisi kurulurken, amaç üst seviyede, kriterler-1 ve kriterler-2 orta seviyede, alternatifler ise en alt seviyede olacak şekilde yerleştirme yapılır (Saaty, 2008).

Adım 2. İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması:

İkili karşılaştırma matrisleri, tüm alternatiflerin tüm kriterler ile karşılaştırılması ile elde edilir. $n*n$ boyutundaki A ikili karşılaştırma matrisi; C_i kriteri ile C_j kriteri arasında 1-9 önem ölçeğine göre yapılan değerlendirmeyi ifade eder. Ölçekte kullanılan önem dereceleri (Saaty, 1980) ve bunların tanım ve açıklamaları Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. AHP ölçeğinin dereceleri

Önem Ölçeği	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önemli	İki seçenek eşit derecede öneme sahiptir.
3	Orta derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı biraz üstün kılmaktadır.
5	Kuvvetli derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı oldukça üstün kılmaktadır.
7	Kuvvetli derecede önemli	Bir kriter diğerine göre üstün sayılmıştır.
9	Kesin önemli	Bir kriterin diğerinden üstün olduğunu gösteren kanıt çok büyük güvenilirliğe sahip
2, 4, 6, 8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerlerdir.

Ölçeklendirme sonrasında ($n*n$) şeklinde ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur.

Adım 3. Algoritma hesabı ve tutarlılık analizlerinin yapılması:

Aşama 1: İkili karşılaştırma matrislerinden normalize edilmiş matrisler elde edilir.

Aşama 2: AHP sonuçlarının geçerli olabilmesi için, her bir karşılaştırılmalı matrisin tutarlılık hesabının yapılması gerekmektedir. Tutarlı olan bir A matrisinde, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ olmak üzere, kriterlerin önem ağırlıklarını gösteren W sütun vektörü hesaplanır.

Aşama 3: CI =tutarlılık indeksi, λ_{max} = maksimum özdeğer, n = matrisin boyutunu göstermek üzere;

Tutarlılık indeksi $CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$ eşitliğinden hesaplanır. CR =Tutarlılık oranı, RI = Rasgelelik indeksini göstermek üzere; $CR = CI / RI$ eşitliği ile hesaplanır. RI , Tablo 5'de gösterilen değerlere göre seçilmektedir:

Tablo 5. 1-15 Ölçeğinde rasgelelik indeks değerleri

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Tutarlılık oranının 0.1'den küçük ($CR < 0.1$) olması istenir.

Adım 4: Karar Matrisinin Oluşturulması:

Matris cebiri kullanılarak alternatiflere ait ağırlıklı puanlar elde edilir. En büyük puana (öneme) sahip alternatif en uygun alternatiftir.

3.2 Hedef Programlama

HP, karar vericiye tatmin edici bir çözüm elde etmek için birden fazla hedefi aynı anda dikkate alma imkanı sunan kullanışlı bir metottür. HP ile her hedef için arzu edilen hedef düzeyleri belirlenir, her bir hedef için amaç fonksiyonu oluşturulur ve daha sonra bu amaç fonksiyonlarının ilgili hedeflerden sapma miktarlarını en küçükleyen çözümler aranır.

Hedef programlama modelinin genel gösterimi aşağıdaki şekildedir (Tamiz ve Jones, 1996);

Amaç fonksiyonu

$$\text{Min } Z = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I P_k (w_k^+ d_i^+ + w_k^- d_i^-) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - d_i^+ + d_i^- = b_i \quad \forall i \quad (2)$$

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

Burada, x_j karar değişkenleri iken, d_i^+ , d_i^- : i . hedefe ilişkin negatif ve pozitif sapma değişkenleri, b_i : i . hedef için istenilen değer, P_k : önceliğin önem seviyesi, w_k^+ , w_k^- : k . öncelik için belirlenen ağırlık katsayıları ve a_{ij} parametrelerdir. Aynı denkleme ait, pozitif ve negatif sapma değişkenleri aynı anda pozitif değer alamaz. Hedef programlama modeli kurulduktan sonra, belirlenen değişkenler arasından pozitif veya negatif yönde sapma değişkenleri en küçüklenmeye çalışılır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada uygulama alanı olarak seçilen Ankara'da, belediyeler tarafından toplanan kentsel atıklar, Mamak ve Sincan olmak üzere il merkezinde iki adet düzenli depolama tesisinde bertaraf edilmektedir. Mamak ve Sincan-Çadırtepe düzenli depolama alanları Ankara Katı Atık Yönetimi Projesi kapsamında 49 yıl süresince ihale edilen özel bir firma tarafından işletilmektedir (T.C. ÇŞB, 2014). Ankara'da bir günde ortalama 4525 ton kentsel atık üretildiği (T.C. ÇŞB, 2016) ve şehrin nüfus ve ekonomik açıdan da hızla büyüdüğü dikkate alınır, yakın zamanda üçüncü bir düzenli depolama tesisine ihtiyaç olacağı düşünülmektedir. Önerilen AHP ve HP metotları ile; Ankara ilinde gelecekte ihtiyaç olacağı düşünülen üçüncü düzenli depolama tesisinin yerinin seçilmesinde etkili kriterlerin belirlenmesi, kriter ağırlıklarının bulunması ve alternatiflerin uygunluk derecelerinin sıralanması ve gerçekçi kısıtlar dikkate alınarak en uygun yer seçiminin yapılması hedeflenmektedir.

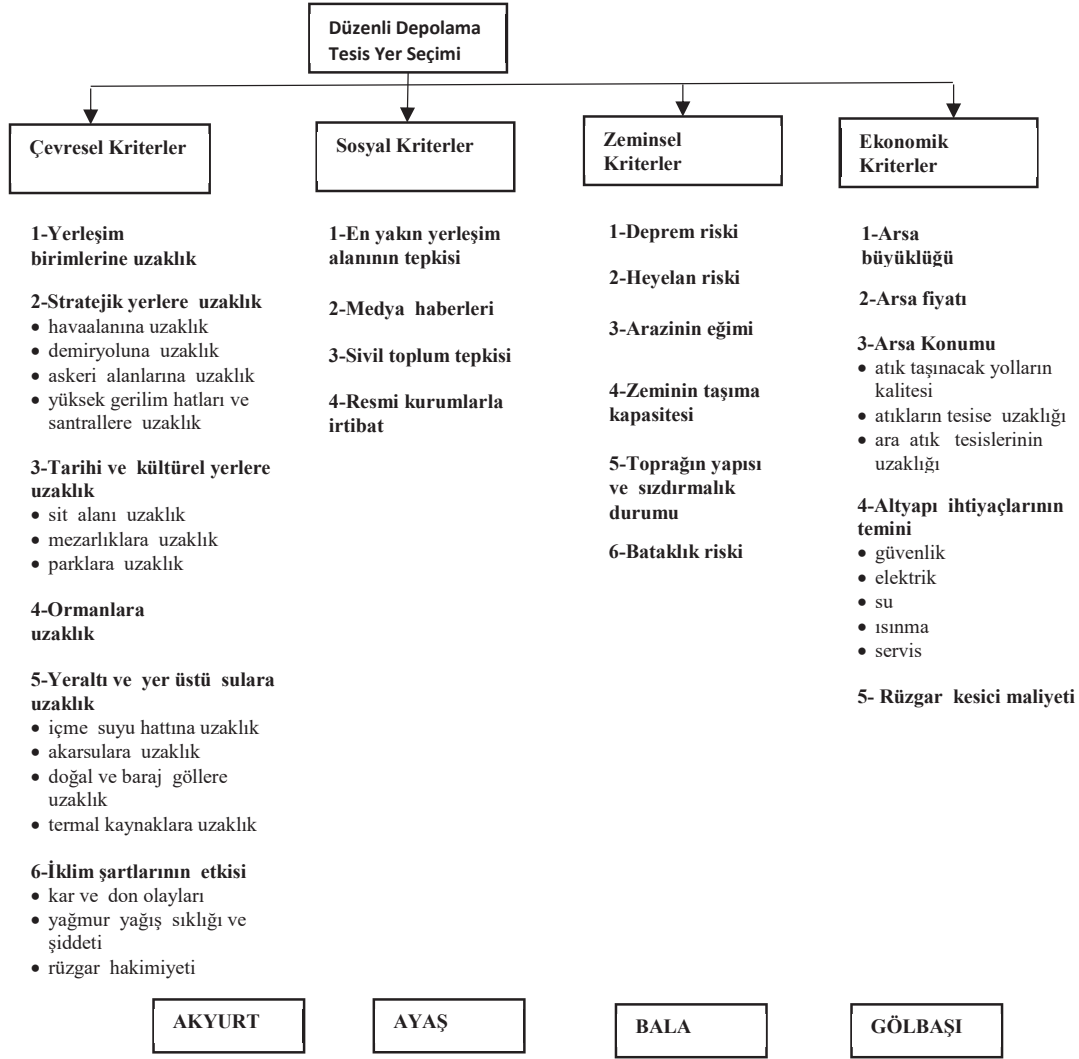
Çalışmada ana kriterler; 26/3/2010 tarihli ve 27533 sayılı Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, ÇED işleyiş sıralaması ve yapılan literatür taraması sonucu belirlenmiştir. Kriterler; çevresel, ekonomik, sosyal ve zeminel olmak üzere dört ana kriter altında toplanmıştır. Ana kriterler altında yirmi bir adet alt kriter-1 belirlenmiştir. Alt kriter-1'lerin altında ise yirmi üç adet alt kriter-2 seçilmiş olup model, toplam kırk sekiz adet kriter ile geniş bir hiyerarşik yapı oluşturulmuştur. Önerilen modele ait hiyerarşik yapı Şekil 1'de gösterilmektedir.

Ankara için üçüncü bir düzenli depolama tesisi kuruluş yeri seçimi için, ilgili uzmanların tavsiyesi ve mevcut depolama tesislerin konumu da dikkate alınarak, stratejik olduğu düşünülen dört alternatif yer belirlenmiştir. Bunlar; Akyurt, Ayaş, Bala ve Gölbaşı ilçeleridir. Belirlenen kriterlerin alternatif yerlere göre değerlendirmelerinde bazı kriterlerin değerleri birbirine eşit alınmıştır. Çünkü, alternatif yerler ilçe bazında belirlenmiş, tesislerin ilçelerde nerelere kurulacağı problemi çalışma kapsam dışında bırakılmıştır.

İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulmasında Saaty'nin 1-9 ölçeği kullanılmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü'nden yedi, Ankara'daki düzenli depolama alanlarını yöneten özel firmadan iki uzman ile görüşmeler gerçekleştirilmiş, toplam dokuz uzmandan görüş alınmıştır. Alternatiflerin, havaalanına, demiryoluna uzaklığı, hava olayları, deprem riski gibi bilgiler gerekli kaynaklardan temin edilmiştir. İkili karar matrisleri oluşturulurken, uzmanlarla yapılan görüşme sonuçlarının aritmetik ortalaması alınmıştır. Kriterler arasında 11 adet, alternatif tesis yer seçenekleri ile kriterler arasında 38 adet ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Yapılan tutarlılık hesaplamaları oluşturulan tüm ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı olduğu göstermiştir.

Ana kriterlere ait ikili karşılaştırma matrisi Tablo 6'da verilmektedir. Tablo 6'da, çevresel kriterlerin diğer üç kritere göre daha önemli olduğu; ekonomik kriterlerin sosyal kriterlere göre; zeminel kriterlerin ise ekonomik ve sosyal kriterlere göre daha önemli olduğu görülmektedir. Ayrıca, tutarlılık değerinin de 0.022 ile 0.1'den küçük olduğu, yani karşılaştırmaların tutarlı olduğu görülmektedir.

Çevresel faktörler açısından elde edilen sonuçlar Tablo 7'de ayrıntılı olarak görülmektedir. Daha önce belirtildiği üzere, ilçelerde kuruluş yerinin tam olarak konumu belirlenmediği için çevresel faktörlerden "yerleşim yerlerine uzaklık, yüksek gerilim hatları ve santrallere uzaklık, mezarlıklara uzaklık, parklara uzaklık, içme suyu hattına uzaklık ve rüzgar hakimiyeti" kriterleri eşit önem derecesine sahip olarak dikkate alınmıştır. Sonuç olarak, alt kriterler-1 içinde iklim şartlarının etkisi 0.297 ile en fazla etkili kriter ve yerleşim birimlerine uzaklık etkisinin ise 0.142 ile en az etkili kriter olduğu görülmektedir. Ayrıca, çevresel kriterlere göre en uygun kuruluş yeri sıralaması Gölbaşı (0.138), Ayaş (0.096), Bala (0.081) ve Akyurt (0.081) ilçeleridir.



Şekil 1. Hiyerarşik Yapı

Tablo 6. Ana kriterler arası karşılaştırma matrisi

CR= 0.022 < 0.1

Ana kriterler	Çevresel kriterler	Ekonomik kriterler	Zeminsel kriterler	Sosyal kriterler
Çevresel kriterler	1	2.3	1.5	3.2
Ekonomik kriterler	0.4347	1	0.4347	2.5
Zeminsel kriterler	0.6666	2.3	1	3.4
Sosyal kriterler	0.3126	0.4	0.2941	1

Tablo 7. Çevresel kriterlere göre AHP hesaplama sonuçları

Ana Kriter	Alt kriter-1	Alt kriter-2	Akyurt (0.081)	Ayaş (0.096)	Bala (0.081)	Gölbaşı (0.138)	
Çevresel Kriterler 0.395	İklim Şartlarının Etkisi 0.297	Kar, Çığ Ve Don Olayları 0.200	0.258	0.160	0.487	0.095	
		Yağmur Yağış Sıklığı Ve Sel Olayları 0.464	0.129	0.159	0.152	0.560	
		Rüzgar Hakimiyeti 0.336	0.250	0.250	0.250	0.250	
	Stratejik Yerlere uzaklık 0.048	Ormanlara Uzaklık 0.291	-	0.132	0.272	0.062	0.534
		Askeri Alanlarına Uzaklık 0.183	Demiryoluna Uzaklık	0.482	0.157	0.272	0.088
		Havaalanına Uzaklık 0.294	Demiryoluna Uzaklık	0.302	0.160	0.439	0.099
		Havaalanına Uzaklık	0.250	0.250	0.250	0.250	

Tablo 7 (devam). Çevresel kriterlere göre AHP hesaplama sonuçları

	Madenlere Uzaklık 0.171	0.079	0.448	0.264	0.209
	Yüksek Gerilim Hatları Ve Santrallere Uzaklık 0.103	0.250	0.250	0.250	0.250
Tarihi Ve Kültürel Yerlere Uzaklık 0.075	Mezarlıklara Uzaklık 0.170	0.250	0.250	0.250	0.250
	Parklara Uzaklık 0.145	0.250	0.250	0.250	0.250
	Sit Alanı Uzaklık 0.685	0.119	0.307	0.503	0.071
Yeraltı Ve Yer üstü Sulara Uzaklık 0.147	Akarsulara Uzaklık 0.167	0.300	0.300	0.100	0.300
	Doğal Ve Baraj Göllere Uzaklık 0.278	0.482	0.273	0.157	0.088
	İçme Suyu Hattına Uzaklık 0.487	0.250	0.250	0.250	0.250
	Termal Kaynaklara Uzaklık 0.068	0.300	0.100	0.300	0.300
Yerleşim Birimlerine Uzaklık 0.142	-	0.250	0.250	0.250	0.250

Tablo 8'de ekonomik kriterler ile tesis yeri alternatifleri arasındaki ağırlıklar verilmektedir. Tabloda görüleceği üzere; "arsa büyüklüğü, güvenlik, elektrik, su, ısınma, servis ve rüzgar kesici maliyeti" dört alternatif yer için de eşit kabul edilmiştir. Alt kriterler-1 içinde arsa büyüklüğü etkisinin 0.308 ile en fazla etkili kriter ve rüzgar kesici maliyeti etkisinin ise 0.076 ile en az etkili kriter olduğu görülmektedir. Ayrıca, ekonomik kriterlere göre en uygun kuruluş yeri Gölbaşı (0.059) ilçesidir. Gölbaşı'nı, Akyurt (0.042), Ayaş (0.042) ve Bala (0.039) takip etmektedir.

Tablo 8. Ekonomik kriterlere göre AHP hesaplama sonuçları

Ana Kriter	Alt kriter-1	Alt kriter-2	Akyurt (0.042)	Ayaş (0.042)	Bala (0.039)	Gölbaşı (0.059)	
Ekonomik Kriterler 0.182	Arsa Büyüklüğü 0.308	-	0.250	0.250	0.250	0.250	
	Arsa Fiyatı 0.126	-	0.112	0.154	0.170	0.564	
	Arsa Konumu 0.242	Atık Taşınacak Yolların Kalitesi 0.384		0.151	0.294	0.084	0.471
		Atıkların Tesise Uzaklığı 0.428		0.351	0.112	0.112	0.425
		Ara Atık Tesislerinin Uzaklığı 0.187		0.151	0.329	0.371	0.149
	Altyapı ihtiyaçlarının temini 0.248	Güvenlik 0.333		0.250	0.250	0.250	0.250
		Elektrik 0.309		0.250	0.250	0.250	0.250
		Su 0.198		0.250	0.250	0.250	0.250
		Isınma 0.089		0.250	0.250	0.250	0.250
		Servis 0.071		0.250	0.250	0.250	0.250
	Rüzgar Kesici Maliyeti 0.076	-	0.250	0.250	0.250	0.250	

Tablo 9'da sosyal kriterler ile tesis yeri alternatifleri için hesaplanan ağırlık değerleri görülmektedir. Sosyal ana kriterlerin hesaplanmasında "medya haberleri ve resmi kurumlarla irtibat" eşit ağırlıkta alınmıştır. Alt kriterler-1 içinde en yakın yerleşim alanının tepkisi 0.46 ile en etkili kriterdir. Medya haberleri kriteri 0.366, sivil toplum tepkisi 0.129 ve resmi kurumlarla irtibat ise 0.045 ağırlıktadır. Ayrıca, sosyal kriterlere göre en uygun kuruluş yeri yine Gölbaşı (0.039) olup daha sonra sırasıyla, Ayaş (0.027), Bala (0.017) ve Akyurt (0.013) gelmektedir.

Tablo 9. Sosyal kriterlere göre AHP hesaplama sonuçları

Ana Kriter	Alt kriter-1	Akyurt (0.013)	Ayaş (0.027)	Bala (0.017)	Gölbaşı (0.039)
Sosyal Kriterler 0.096	Resmi kurumlarla İrtibat 0.045	0.250	0.250	0.250	0.250
	En Yakın Yerleşim Alanının Tepkisi 0.460	0.046	0.298	0.116	0.540
	Medya Haberleri 0.366	0.250	0.250	0.250	0.250
	Sivil toplum tepkisi 0.129	0.088	0.309	0.142	0.461

Tablo 10'da zeminel kriterler ile tesis yeri alternatifleri arasındaki ağırlıklar görülmektedir. Zeminel ana kriterler hesaplanırken; “toprağın yapısı ve sızdırmazlığı, arazinin eğimi, bataklık riski ve zeminin taşıma kapasitesi” eşit değerde kabul edilmiştir. Alt kriterler-1 içinde toprağın yapısı ve sızdırmazlık durumu kriterinin 0.311 ile en fazla ağırlığa sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, zeminel kriterlere göre en uygun kuruluş yeri Ayaş (0.093) olup daha sonra sırasıyla Akyurt (0.083), Gölbaşı (0.081) ve Bala (0.069) gelmektedir.

Tablo 10. Zeminel kriterlere göre AHP hesaplama sonuçları

Ana Kriter	Alt kriter-1	Akyurt (0.083)	Ayaş (0.093)	Bala (0.069)	Gölbaşı (0.081)
Zeminel Kriterler 0.327	Arazinin Eğimi 0.132	0.250	0.250	0.250	0.250
	Bataklık Riski 0.043	0.250	0.250	0.250	0.250
	Deprem Riski 0.115	0.229	0.483	0.080	0.208
	Heyelan Riski 0.128	0.300	0.300	0.100	0.300
	Toprağın Yapısı Ve Sızdırmazlık Durumu 0.311	0.250	0.250	0.250	0.250
	Zeminin Taşıma Kapasitesi 0.271	0.250	0.250	0.250	0.250

Tablo 11'de, alt kriterler-2'ye göre alternatif kurulum yerlerinin karşılaştırılması yapılmaktadır. Düzenli depolama tesisi yer seçiminde, Gölbaşı İlçesi'nin alt kriter-2'ler içinde, yağmur yağış sıklığı ve sel olaylarında, atık taşınacak yolların kalitesinde, atıkların tesise uzaklığında en fazla tercih edilen ilçe olduğu görülmektedir. Bala İlçesi'nin alt kriter-2 içinde; kar, çığ ve don olaylarında, demir yollarına uzaklıkta, sit alanına uzaklıkta ve ara atık tesislerine uzaklıkta en fazla tercih edilen ilçe olduğu görülmektedir. Ayaş İlçesi'nin madenlere uzaklıkta; Akyurt İlçesi'nin ise askeri alanlara uzaklık ve göllere uzaklıkta en fazla tercih edilen ilçe olduğu görülmektedir.

Tablo 11. Alt kriter-2'e göre kuruluş yeri alternatiflerinin karşılaştırılması

Ana Kriter	Alt kriter-1	Alt kriter-2	Akyurt (%)	Ayaş (%)	Bala (%)	Gölbaşı (%)
İklim Şartlarının Etkisi		Kar, Çığ Ve Don Olayları	5.1	3.2	9.7	1.9
		Yağmur, Yağış Sıklığı Ve Sel Olayları	5.9	7.3	7.0	25.9
		Rüzgar Hakimiyeti	8.4	8.4	8.4	8.4
Çevresel Kriterler	Stratejik Yerlere uzaklık	Askeri Alanlarına Uzaklık	8.8	2.8	4.9	1.6
		Demiryoluna Uzaklık	7.5	3.9	10.9	2.4
		Havaalanına Uzaklık	7.3	7.3	7.3	7.3
		Madenlere Uzaklık	1.3	7.6	4.5	3.5
		Yüksek Gerilim Hatları Ve Santrallere Uzaklık	2.5	2.5	2.5	2.5

Tablo 11 (devam). Alt kriter-2'e göre kuruluş yeri alternatiflerinin karşılaştırılması

Çevresel Kriterler	Tarihi Ve Kültürel Yerlere Uzaklık	Mezarlıklara Uzaklık	2.5	2.5	2.5	2.5
		Parklara Uzaklık	3.6	3.6	3.6	3.6
		Sit Alanına Uzaklık	8.1	21.0	34.4	4.8
	Yeraltı Ve Yer üstü Sulara Uzaklık	Akarsulara Uzaklık	5.0	5.0	1.6	5.0
		Doğal Ve Baraj Göllere Uzaklık	13.3	7.5	4.3	2.4
Ekonomik Kriterler		İçme Suyu Hattına Uzaklık	12.1	12.1	12.1	12.1
		Termal Kaynaklara Uzaklık	2.0	0.6	2.0	2.0
		Taşınacak Yolların Kalitesi	5.7	11.2	3.2	18.0
	Arsa Konumu	Atıkların Tesise Uzaklığı	15.0	4.7	4.7	18.1
		Ara Atık Tesislerinin Uzaklığı	2.8	6.1	6.9	2.7
		Güvenlik	8.3	8.3	8.3	8.3
		Elektrik	7.7	7.7	7.7	7.7
	Altyapı ihtiyaçlarının temini	Su	4.9	4.9	4.9	4.9
		Isınma	2.2	2.2	2.2	2.2
		Servis	1.7	1.7	1.7	1.7

Tablo 12'de görüldüğü üzere, çevresel ana kriterler açısından en fazla tercih edilen yerler, iklim şartlarına ve ormanlara uzaklığa göre Gölbaşı İlçesi, stratejik yerlere uzaklığa ve tarihi ve kültürel yerlere uzaklığa göre Bala İlçesi, yeraltı ve yer üstü sulara uzaklığa göre Akyurt İlçesidir. Yerleşim yerlerine uzaklık kriterinin bütün alternatifler için eşit değerde olduğu varsayılmıştır. Ekonomik ana kriterlerin içinde en fazla tercih edilen alternatif, arsa fiyatlarına ve arsa konumuna göre Gölbaşı İlçesidir. Sosyal ana kriterler açısından en fazla tercih edilen alternatif, en yakın yerleşim yerinin ve sivil toplumun tepkisine göre yine Gölbaşı İlçesidir. Zeminel ana kriterler açısından ise deprem riskine göre en fazla tercih edilen yer Ayaş İlçesidir.

Tablo 12. Alt kriter-1'e göre kuruluş yeri alternatiflerinin karşılaştırılması

Ana Kriter	Alt kriter-1	Akyurt (%)	Ayaş (%)	Bala (%)	Gölbaşı (%)
Çevresel Kriterler	İklim Şartlarının Etkisi	5.8	5.6	7.5	10.8
	Ormanlara Uzaklık	3.8	7.9	1.8	15.5
	Stratejik Yerlere Uzaklık	1.3	1.2	1.5	0.8
	Tarihi Ve Kültürel Yerlere Uzaklık	1.2	2.2	3.2	1.0
	Yeraltı Ve Yer üstü Sulara Uzaklık	4.8	3.7	3.0	3.2
	Yerleşim Birimlerine Uzaklık	3.6	3.6	3.6	3.6
Ekonomik Kriterler	Arsa Büyüklüğü	7.7	7.7	7.7	7.7
	Arsa Fiyatı	1.4	1.9	2.1	7.1
	Arsa Konumu	5.7	5.4	3.6	9.5
	Altyapı İhtiyaçlarının Temini	6.2	6.2	6.2	6.2
	Rüzgar Kesici Maliyeti	1.9	1.9	1.9	1.9
Sosyal Kriterler	Resmi Kurumlarla İrtibat	1.1	1.1	1.1	1.1
	En Yakın Yerleşim Yerinin Tepkisi	2.1	13.7	5.3	24.8
	Medya Haberleri	9.2	9.2	9.2	9.2
Zeminel Kriterler	Sivil Toplumun Tepkisi	1.1	4.0	1.8	5.9
	Arazinin Eğimi	3.3	3.3	3.3	3.3
	Bataklık Riski	1.1	1.1	1.1	1.1
	Deprem Riski	2.6	5.6	0.9	2.4
	Heyelan Riski	3.8	3.8	1.3	3.8
	Toprağın Yapısı ve Sızdırmazlık Durumu	7.8	7.8	7.8	7.8
	Zeminin Taşıma Kapasitesi	6.8	6.8	6.8	6.8

Sonuç olarak, AHP yaklaşımı ile en uygun düzenli depolama kuruluş yeri Gölbaşı (0.317) ilçesi olarak belirlenmiştir (Tablo 13). Gölbaşı ilçesinden sonra sırasıyla Ayaş (0.258), Akyurt (0.219) ve Bala (0.206) ilçeleri gelmektedir. Ayrıca, çevresel faktörler ana kriterinin, 0.396 ağırlığı ile en önemli kriter olduğu tespit edilmiştir. Çevresel faktörlerden sonra, kuruluş yerinde etkili olan diğer kriterler sırasıyla zeminel kriterler (0.326), ekonomik kriterler (0.182) ve sosyal kriterler (0.096) şeklinde sıralanmaktadır.

Tablo 13. Ana kriterlere göre kuruluş yeri alternatiflerinin karşılaştırılması

Kriterler	Akyurt (0.219)	Ayaş (0.258)	Bala (0.206)	Gölbaşı (0.317)	Ağırlık
Çevresel Ana Kriterler	0.081	0.096	0.081	0.138	0.396
Ekonomik Ana Kriterler	0.042	0.042	0.039	0.059	0.182
Sosyal Ana Kriterler	0.013	0.027	0.017	0.039	0.096
Zeminsel Ana Kriter	0.083	0.093	0.069	0.081	0.326

Ancak, Ankara'da kurulu mevcut tesisler de dikkate alınarak, üretilen katı atık miktarını karşılayacak kapasiteye sahip yeni tesislerin açılması kararı verilmelidir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016 Çevre Durum Raporu'na göre Ankara'da yıllık ortalama 4525 ton katı atık üretilmektedir. TÜİK Belediye Atık istatistikleri (2016) verisine göre, ülke çapında düzenli depolama tesisine gönderilerek bertaraf edilen atık yüzdesi 61.2 olarak verilmektedir. Aynı oran Ankara ili için de geçerli sayılabilir. Bu durumda Ankara'da üretilen günlük toplam 2769,3 ton, yıllık 1.010.794,5 ton atık düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilmektedir. Ankara'da kurulu olan mevcut Sincan ve Mamak tesislerinde, bu atığın yılda 600,000 tonu gazlaştırma-yakma ve nihai depolama yolları ile bertaraf edilebildiği dikkate alındığında, bertaraf edilmesi gereken yıllık ortalama 400,000 ton daha katı atık kalmaktadır. Açılacak tesis/tesislerin bu talebi karşılayacak kapasitede olması gereklidir. Ancak tesisin büyüklüğü ile kurulum ve işletme faaliyetleri arasındaki ilişki de göz önüne alınmalıdır. HP modelinde ele alınan amaçlarından biri toplam maliyetin en küçüklenmesi olacaktır. Bu durumda, her bir ilçede açılacak küçük ve büyük ölçekli 2 farklı düzenli depolama tesisi alternatifi önerilmektedir. Tesislere ait sabit maliyet, işletme maliyeti ve kapasite bilgileri Tablo 14'te verilmektedir.

Literatürde, tesisler istenilen ve istenilmeyen tesisler olarak kategorize edilmektedir (Rodriguez vd., 2006). İstenilmeyen tesisler arasında çöp toplama sahaları, depolama sahaları, kimyasal tesisler, nükleer reaktörler ve katı atık tesisleri yer almaktadır (Colebrook ve Sicilia, 2007). Bu tesisler halk sağlığı ve güvenliği için potansiyel risk içerir. Dolayısıyla HP modelinde dikkate alınan ikinci amaç, katı atık düzenli depolama merkezleri etrafında yaşayan toplam nüfus için riski en aza indirmek olacaktır. Bu risk "saha riski" olarak isimlendirilir (Samanlioglu, 2013). Tablo 15, seçilen alternatif ilçelere ait 2017 yılı toplam nüfusu ve ilçe bazında nüfus yoğunluğunu göstermektedir (TÜİK, 2017). HP modelinde dikkate alınan 3. amaç ise alternatiflerin toplam sosyal, ekonomik, çevresel ve zeminsel puanından oluşan ağırlıklı bir toplam hedefi en büyükmektir.

Tablo 14. Yeni kurulacak tesislerin maliyet (Yetis & Lenkaitis, 2005) ve kapasite bilgileri

Bertaraf Merkezi	Sabit maliyet (€/ton)	İşletme Maliyetleri (€/ton*yıl)	Kapasitesi (ton/yıl)
Küçük	9	2.25	50bin
Büyük	22	5.5	200bin

Tablo 15. Alternatif ilçelere ait nüfus bilgileri

İlçe	Nüfus (kişi)	Nüfus Yüzdesi (%)
Akyurt	32.863	16,665
Ayaş	12.289	6,232
Bala	21.682	10,995
Gölbaşı	130.363	66,108
Toplam	197.197	

Tüm bu bilgiler ışığında kurulan HP modeli aşağıda verilmektedir.

$$\text{Min } Z = P_1(d_1^+) + P_2(d_2^+) + P_2(d_2^-) + P_3(d_3^+) \quad (4)$$

Kısıtlar:

$$1800000 \sum_{i=1}^4 x_{i1} + 8800000 \sum_{i=1}^4 x_{i2} + 450000 \sum_{i=1}^4 x_{i1} + 2200000 \sum_{i=1}^4 x_{i2} - d_1^+ + d_1^- = 4500000 \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^4 C_{1k} W_k (\sum_{j=1}^2 x_{1j}) + \sum_{k=1}^4 C_{2k} W_k (\sum_{j=1}^2 x_{2j}) + \sum_{k=1}^4 C_{3k} W_k (\sum_{j=1}^2 x_{3j}) + \sum_{k=1}^4 C_{4k} W_k (\sum_{j=1}^2 x_{4j}) - d_2^+ + d_2^- = 0.208199 \quad (6)$$

$$(0.043673 X_{11} + 0.043673 X_{12} + 0.051284 X_{21} + 0.051284 X_{22} + 0.043055 X_{31} + 0.043055 X_{32} + 0.070187 X_{41} + 0.070187 X_{42} - d_2^+ + d_2^- = 0.208199)$$

$$0.167 \sum_{j=1}^2 x_{1j} + 0.062 \sum_{j=1}^2 x_{2j} + 0.11 \sum_{j=1}^2 x_{3j} + 0.661 \sum_{j=1}^2 x_{4j} - d_3^+ + d_3^- = 0.23 \quad (7)$$

$$200000 \sum_{i=1}^4 x_{i1} + 400000 \sum_{i=1}^4 x_{i2} \geq 400000 \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^2 x_{ij} \leq 1 \quad \forall i \quad (9)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \text{ ve tamsayı} \quad \forall i, j \quad (10)$$

$$d_1^+, d_1^-, d_2^+, d_2^-, d_3^+, d_3^- \geq 0$$

Burada;

x_{ij} : i . ninci alternatifte açılabilir j . tip tesisi ($i=1,2,3,4$ ve $j=1,2$) gösteren karar değişkeni

C_{ik} : AHP ile elde edilen i . nin alternatifin k . kritere göre ağırlığı ($k=$ çevresel, ekonomik, sosyal, zeminsel)

W_k : AHP ile elde edilen k . kriterin ağırlığı ($k=$ çevresel, ekonomik, sosyal, zeminsel) parametreleridir.

Amaç fonksiyonu (4. Kısıt) belirlenen hedeflerden toplam sapmaları en küçüklemeyi amaçlar. 5. Kısıt kurulum ve işletme maliyetlerini içeren toplam maliyet kısıtıdır. Kurulacak tesislerin tam kapasite ile çalışmaları varsayımı altında belirlenen maliyet parametreleri ile edilen toplam tutarın hedef değeri en az miktarda aşması istenmektedir. 6. Kısıt alternatiflerin toplam sosyal, ekonomik, çevresel ve zeminsel puanından oluşan ağırlıklı bir toplam hedefi en üst düzeye çıkarmayı amaçlamaktadır. Kriterlerin ağırlıkları ve alternatiflerin kriterlere göre ağırlıkları AHP tarafından hesaplanmaktadır. 7. Kısıt nüfusa bağlı saha riskinin belirlenen hedef değeri en az miktarda aşmasını amaçlar. 8 numaralı kısıt açılacak tesislerin kapasitesinin toplam talebi karşılama sağlar. Kısıt 9, her ilçede yalnızca bir tesisin açılması garanti eder. 10 numaralı kısıtlar ise karar değişkenlerinin 0-1 tamsayı olması ve sapma değişkenlerinin negatif olmamasını garanti eden kısıtlardır.

Önerilen 0-1 tamsayı hedef programlama modeli için çözümler CPLEX (version 12.6) kullanılarak elde edilmiştir. HP modelinde açıklanan kısıtlara ait hedef değerler, modelin her bir amaç ile ayrı ayrı çözümü ile elde edilmiştir. HP modelinin çözümü için her bir hedefin (P_1, P_2, P_3) ağırlığının bilinmesi gerekir, bu nedenle önceliklerin en iyi değerlerinin kombinasyonunu bulmak için ağırlık duyarlılığı analizi yapılmıştır. Bu sonuçlar Tablo 16'da gösterilmektedir. Yapılan duyarlılık analizi sonuçlarına göre en az toplam sapma değerini veren çözüm Durum 1'de gösterilen ağırlık değerlerinin kullanılması ile elde edilmektedir. Bu değerler ile çözülen HP modeli ile, Akyurt ve Gölbaşı ilçelerinde küçük boyutlu iki tesis açılması gerektiği sonucu elde edilmektedir. Durum 1'de en yüksek öncelik değerinin maliyet kriterine atanması nedeni ile toplam kapasiteyi karşılayacak şekilde küçük boyutlu iki tesisin açılması önerilir. AHP'den gelen $C_{ik}W_k$ değerlerinde Gölbaşı (0.070187) ve Akyurt (0.051284) ilçelerinin en yüksek ağırlık değerlerine sahip olması ve nüfus yoğunluğu en yüksek ilçenin Gölbaşı alternatifi olmasına rağmen saha riskinin ağırlık değerinin "0" olması sebebiyle elde edilen bu sonucun anlamlı olduğu ve AHP ile elde edilen sonuçlarla da uyumlu olduğu söylenebilir.

Tablo 16. En iyi ağırlık değerinin bulunması için duyarlılık analizi

Durum	d_1^+	d_2^+	d_2^-	d_3^+	Toplam sapma	Durum	d_1^+	d_2^+	d_2^-	d_3^+	Toplam sapma
1	0.9	0.1	0.1	0	0.008673	29	0.4	0.4	0.4	0.2	0.067544
2	0.9	0	0	0.1	0.01100	30	0.33	0.33	0.33	0.33	0.0738738
3	0.9	0.05	0.05	0.05	0.01119	31	0.3	0.7	0.7	0	0.0607096
4	0.8	0.2	0.2	0	0.0173456	32	0.3	0	0	0.7	0.077
5	0.8	0	0	0.2	0.022	33	0.3	0.4	0.4	0.3	0.078544
6	0.8	0.1	0.1	0.1	0.022386	34	0.3	0.3	0.3	0.4	0.078158
7	0.7	0.3	0.3	0	0.0260184	35	0.3	0.6	0.6	0.1	0.079316
8	0.7	0	0	0.3	0.033	36	0.3	0.1	0.1	0.6	0.077386
9	0.7	0.2	0.2	0.1	0.033772	37	0.3	0.5	0.5	0.2	0.07893
10	0.7	0.1	0.1	0.2	0.033386	38	0.3	0.2	0.2	0.5	0.077772
11	0.6	0.2	0.2	0.2	0.044772	39	0.2	0.4	0.4	0.4	0.089544
12	0.6	0	0	0.4	0.044	40	0.2	0.6	0.6	0.2	0.090316
13	0.6	0.4	0.4	0	0.0346912	41	0.2	0.2	0.2	0.6	0.088772
14	0.6	0.3	0.3	0.1	0.045158	42	0.2	0.5	0.5	0.3	0.08993
15	0.6	0.1	0.1	0.3	0.044386	43	0.2	0.3	0.3	0.5	0.089158
16	0.5	0.5	0.5	0	0.043364	44	0.2	0.7	0.7	0.1	0.090702
17	0.5	0	0	0.5	0.043364	45	0.2	0.1	0.1	0.7	0.088386
18	0.5	0.25	0.25	0.25	0.055965	46	0.2	0.8	0.8	0	0.0693824
19	0.5	0.3	0.3	0.2	0.056158	47	0.2	0	0	0.8	0.088
20	0.5	0.2	0.2	0.3	0.055772	48	0.1	0.9	0.9	0	0.0780552
21	0.5	0.4	0.4	0.1	0.056544	49	0.1	0	0	0.9	0.099
22	0.5	0.1	0.1	0.4	0.055386	50	0.1	0.45	0.45	0.45	0.100737
23	0.4	0.6	0.6	0	0.0520368	51	0.1	0.6	0.6	0.3	0.101316
24	0.4	0	0	0.6	0.066	52	0.1	0.3	0.3	0.6	0.0100158
25	0.4	0.3	0.3	0.3	0.067158	53	0.1	0.7	0.7	0.2	0.101702
26	0.4	0.5	0.5	0.1	0.06793	54	0.1	0.2	0.2	0.7	0.099772
27	0.4	0.1	0.1	0.5	0.066386	55	0.1	0.8	0.8	0.1	0.102088
28	0.4	0.2	0.2	0.4	0.066772	56	0.1	0.1	0.1	0.8	0.099386

Ayrıca, modelde yalnızca maliyetin ekçüklenmesi amaçlanır ise Akyurt ve Ayaş ilçelerinde küçük kapasiteli tesislerin açılması; alternatiflerin kriterler bazında toplam ağırlıklarının en büyüklenmesi amaçlanır ise tüm 4 ilçede büyük kapasiteli 4 tesisin kurulması ve yalnızca saha riskinin en küçüklenmesi amaçlandığında ise Ayaş ilçesinde büyük kapasiteli bir tesisin kurulması kararı verilmektedir.

5. SONUÇ

Çalışmada, katı atık düzenli depolama tesisi yer seçimi probleminin çözümü için çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP yaklaşımı ve HP metodu birlikte kullanılmıştır. Uygulama, düzenli depolama tesisinde bertaraf edilecek atık miktarını karşılamak için gelecekte yeni bir düzenli depolama tesisine ihtiyaç duyulacağı düşünülen Ankara ili için yapılmıştır. Uzman görüşleri dikkate alınarak Ankara ilinde 4 alternatif yerleşim yeri ilçe bazında belirlenmiştir. Yer seçiminin gerçekçi bir şekilde yapılabilmesi için literatürde yer alan kriterler, yasalar, mevzuatlar sınıflandırılarak, çevresel, ekonomik, sosyal ve zeminsel olmak üzere dört ana kriter belirlenmiştir. Bu ana kriterlerle ilişkili 21 adet alt kriter-1 ve alt kriterler-1 ile direkt bağlantılı 23 adet alt kriter-2 olmak üzere toplamda 48 adet kriter ile geniş bir hiyerarşik yapı oluşturulmuştur.

AHP yöntemi ile kriterlerin, alt kriterlerin ve alternatiflerin ağırlıklarının hesaplanması sonucu en uygun düzenli depolama tesis kurulum yeri sırasıyla Gölbaşı (0.317), Ayaş (0.258), Akyurt (0.219) ve Bala (0.206) ilçeleri olarak belirlenmiştir. Ayrıca, en uygun düzenli depolama tesisi yeri, çevresel, ekonomik ve sosyal ana kriterler açısından Gölbaşı, zeminsel ana kriterler açısından ise Ayaş ilçesi olarak tespit edilmiştir. Sisteme ait gerçek durumu daha iyi yansıtabilmek adına HP modeli geliştirilmiş, modelde kapasite kısıtları altında toplam maliyet, AHP kısıtı ve saha riski kısıtları dikkate alınmıştır. Problemin sonucunu doğrudan etkileyen kriterlere ait önceliklerin en iyi değerlerinin belirlenmesi için de duyarlılık analizi çalışması yapılmıştır. Elde edilen sonuçların anlamlı ve AHP yöntemi sonuçları ile tutarlı olduğu gözlenmiştir.

Gelecek çalışmalarda, ilçelerdeki alternatif kuruluş yerlerinin belirlenmesi probleminde coğrafi bilgi sistemlerinin kullanılması ile daha detaylı bir çalışma yapılabileceği düşünülmektedir. CBS kullanılması ile kurulması planlanan merkezlerin yerlerinin tam olarak belirlenebileceği ve yerlerin farklı kriterler açısından değerlendirilmesinin kolaylıkla yapılabileceği düşünülmektedir.

REFERANSLAR

- Alpaslan, M.N. (2005). Katı Atık Yönetiminin Temel Prensipleri. Alpaslan, M.N. (Eds). Katı Atık Yönetimi içinde (ss. 1-10). İzmir: Emre Basımevi.
- Badri, M.A., (1999). Combining the analytic hierarchy process and goal programming for global facility location-allocation problem. *Int. J. Production Economics*, 62, 237-248.
- Banar, M., Acar, I.P., Özkan, A., & Köse, B.M. (2006). Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Kullanılarak Katı atık Düzenli Depolama Saha Yer Seçimi. *Katı Atık ve Çevre Dergisi*, 63, 17-27.
- Beltran, P.A., Fernando, J.P.P., Garcia, F.G., & Agullo A.P. (2010). An Analytic Network Process Approach for Siting a Municipal Solid Waste Plant in the Metropolitan Area of Valencia (Spain). *Journal of Environmental Management*. 91(5), 1071–1086.
- Bertolini, M., & Bevilacqua, M. (2006). A combined goal programming—AHP approach to maintenance selection problem. *Reliability Engineering and System Safety*, 91, 839–848.
- Carroll, S., Goonetilleke, A., & Dawes, L. (2004). Framework for Soil Suitability Evaluation for Sewage Effluent Renovation. *Environmental Geology*. 46(2), 195–208.
- Chang, N.B., Parvathinathan, G., & Breeden, J.B. (2008). Combining GIS with Fuzzy Multicriteria Decision-Making for Landfill Siting in A Fast Growing Urban Region. *Journal of Environmental Management*, 87, 139-153.
- Charnes, A., & Cooper, W. W. (1961). Management model and industrial application of linear programming . New York: Wiley.
- Cheng, S., Chan, C.W., & Huang, G.H. (2003). An Integrated Multi-Criteria Decision Analysis and Inexact Mixed Integer Linear Programming Approach for Solid Waste Management. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 16 (5–6), 543–554.
- Colebrook, M., & Sicilia, J., (2007). Undesirable facility location problems on multi criteria networks. *Computers & Operations Research*, 34, 1491–1514.
- De Feo, G., & De Gisi, S. (2010). Using an Innovative Criteria Weighting Tool for Stakeholders Involvement to Rank MSW Facility Sites with the AHP. *Waste Management*, 30 (11), 2370–2382.
- Dipanjan, S., Vinod, T., & Onkar, D. (1997). Ranking Potential Solid Wastes Disposal Sites Using Geographic Information System Techniques and AHP. *National Seminar on Applications of GIS for Solving Environmental Problems*, Chennai, 98-106.

- Ekmekçioğlu, M., Kaya, T., & Kahraman, C. (2010). Fuzzy Multicriteria Disposal Method and Site Selection for Municipal Solid Waste. *Waste Management*, 30, 1729-1736.
- Erkut, E., & Moran, S. (1991). Locating Obnoxious Facilities in The Public Sector: An Application of the Analytic Hierarchy Process to Municipal Landfill Siting Decisions. *Socio-Economic Planning Sciences*, 25 (2), 89–102.
- Felek, S., Yuluğkural, Y., & Aladağ, Z. (2007). Mobil İletişim Sektöründe Pazar Paylaşımının Tahmininde AHP ve ANP Yöntemlerinin Kıyaslanması. *Makine Mühendisleri Odası Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 18(1), 8.
- Gorsevski, P.A., Donevska, K.R., Mitrovski, C.D., Joseph, P., & Frizado, J.P. (2011). Integrating Multicriteria Evaluation Techniques with Geographic Information Systems for Landfill Site Selection: A case study using ordered weighted average, *Article in Waste Management*. *Waste Management*, 32,287–296.
- Hokkanen, J., & Salminen, P. (1997). Choosing a Solid Waste Management System Using Multicriteria Decision Analysis. *European Journal of Operational Research*, 98,19-36.
- Kapepula, K.M., Colson, G., & Sabri, K. (2007). A Multiple Criteria Analysis for Household Solid Waste Management in the Urban Community of Dakar. *Waste Management*, 27(11), 1690–1705.
- Karagiannidis, A., Perkoulidis, G., & Moussiopoulos, N. (2004). Facility Location for Solid Waste Management Through Compilation and Multicriterial Ranking of Optimal Decentralised Scenarios: A Case Study for the Region of Peloponnesse in Southern Greece, *Engineering Research*,1, 7–18.
- Khan, S., & Faisal, M.N. (2008). An Analytic Network Process Model for Municipal Solid Waste Disposal Options. *Waste Management*, 28, 1500-1508.
- Kirimi, F.K., & Waithaka, E.H. (2014). Determination of Suitable Landfill Site Using Geospatial Techniques and Multi-Criteria Decision Analysis: A Case Study of Nakuru Town. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 3 (11), 500-505.
- Kumar, V., Yadav, K., & Rajamani, V. (2014). Selection of Suitable Site for Solid Waste Management in Part of Lucknow City, Uttar Pradesh using Remote Sensing, GIS and AHP Method. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 3(3), 1461-1472.
- Massam, B.H. (1991). The Location of Waste Transfer Stations in Ashdod, Israel, Using a Multi-Criteria Decision Support System. *Geoforum*, 22(1), 27–37.
- Norese, M.F. (2006). ELECTRE III as a Support for Participatory Decision-Making on the Localisation of Waste-Treatment Plants. *Land Use Policy*, 23, 76–85.
- Ohman, K.V.H., Hettiaratchi, J.P., Ruwanpura, J., Balakrishnan, J., & Achari, G. (2007). Development of A Landfill Model to Prioritize Design and Operating Objective. *Environmental Monitoring and Assessment*, 135, 85-97.
- 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.
- Palabıyık, H. (2001). *Belediyelerde Kentsel Katı Atık Yönetimi: İzmir Büyükşehir Belediyesi Örneği*. Yayımlanmış Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Pires, A., Chang, N., & Martinho, G. (2011). An AHP-based Fuzzy Interval TOPSIS Assessment for Sustainable Expansion of the Solid Waste Management System in Setúbal Peninsula, Portugal. *Resources, Conservation and Recycling*, 56, 7-21.
- Pradhan, U.P. (2008). *Sustainable solid waste management in a mountain ecosystem: Darjeeling, West Bengal, India*. Master Thesis, University of Manitoba Faculty of Graduate Studies, Manitoba.
- Queiruga, D., Walther, G., Benito, J.G., & Spengler, T. (2008). Evaluation of Sites for The Location of WEEE Recycling Plants in Spain. *Waste Management*, 28(1), 181-190.
- Raisi, S.A., Sulaiman, H., Abdallah, O., & Suliman, F. (2014). Landfill Suitability Analysis Using AHP Method and State of Heavy Metals Pollution in Selected Landfills in Oman. *European Scientific Journal*,10(17), 309-326.
- Resmi Gazete, 26 Mart 2010, Sayı : 27533 Yönetmelik, Çevre ve Orman Bakanlığında: Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

- Rodriguez, J.J.S., Garcia, C.G., Perez, J.M., & Casermeiro, E.M. (2006). A general model for the undesirable single facility location problem. *Operations Research Letters*, 34, 427–436.
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, ABD.
- Saaty, T.L. (1994). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process Interfaces, 24(6), 19-43.
- Saaty, T.L. (2008). Decision Making with The Analytic Hierarchy Process, *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.
- Samanlioglu, F., (2013). A multi-objective mathematical model for the industrial hazardous waste location-routing problem. *European Journal of Operational Research*, 226, 332–340.
- Shariati, S., Yazdani, A., Salsani, A., & Tamosaitiene, J. (2014). Proposing a New Model for Waste Dump Site Selection: Case Study of Ayerma Phosphate Mine. *Engineering Economics*, 25(4), 410-419.
- Şener, Ş., Şener, E., Nas, B., & Karagüzel, R. (2010). Combining AHP with GIS for Landfill Site Selection: A Case Study in The Lake Beyşehir Catchment Area (Konya, Turkey). *Waste Management*, 30, 2037-2046.
- Şener, Ş., Şener, E., & Karagüzel, R. (2011). Solid Waste Disposal Site Selection with GIS and AHP Methodology: A Case Study in Senirkent–Uluborlu (Isparta). *Turkey Environ Monit Assess*, 173, 533–554.
- Tamiz, M. & Jones, D.F. (1996). *An Overview of Current Solution Methods and Modelling Practices N Goal Programming”, Multi Objective Programming and Goal Programming: Theories and Applications*, Springer-Verlag, Germany, 198-211.
- Tavares, G., Zsigraiova, Z., & Semiao, V. (2011). Multi-Criteria GIS-based Siting of an Incineration Plant for Municipal Solid Waste Management, 31(9), 1960-72.
- Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). *Handbook of Solid Waste Management*, McGraw-Hill, ISBN 0-07-135633-1, NewYork.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Düzenli Depolama Tesisleri Saha Yönetimi Ve İşletme Klavuzu, (2014).
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri ve Bilgi Yönetimi Dairesi Başkanlığı, (2016). Çevre Durum Raporu (Çevre Durum Raporu 2016 yılı Özeti-İller).
- Tuzkaya, G., Önüt, S., Tuzkaya, U.R., & Gülsün, B. (2008). An Analytic Network Process Approach for Locating Undesirable Facilities: An Example from Istanbul, Turkey. *Journal of Environmental Management*, 88, 970–984.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Belediye Atık İstatistikleri, (2016). Sayı: 24876, 29 Kasım 2017. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24876>.
- Türkiye İstatistik Krumu (TÜİK), Ankara İlçelere göre Nüfus İstatistikleri, (2017). <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>
- Vaillancourt, K., & Waub, J.P. (2002). Environmental Site Evaluation of Waste Management Facilities Embedded into EUGENE Model: A Multicriteria Approach. *European Journal of Operational Research*, 139(2), 436–448.
- Vego, G., Kucar, D.S. & Koprivanac, N. (2008). Application of Multi-Criteria Decision-Making on Strategic Municipal Solid Waste Management in Dalmatia, Croatia, *Waste Management*, 28, 2192-2201.
- Younes, M.K., Basri, N.E.A., Nopiah, Z.M., Basri, A., & Abushammala, M.F.M. (2015). Use of a Combination of MRSS-ANP for Making an Innovative Landfill Siting Decision Model. *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2015, Article ID 381926, 13 pages, doi:10.1155/2015/381926.
- Yetis, U., & Lenkaitis, R. (2005). Directive Specific Plan for the Council Directive on Hazardous Waste. MoEF. Ankara: Invest Planners.
- Wang, G., Qin, L., & Li, Q. (2009). Landfill Site Selection Using Spatial Information Technologies and AHP: A Case Study in Beijing, China. *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2414–2421.



MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ

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

UMAGD, (2019) 11(1), 226-238.



10.29137/umagd.415901

Cilt/Volume:11 Sayı/Issue:1 Ocak/January 2019

Araştırma Makalesi / Research Article

Hydrodynamic Analysis of Shark Body Hydrofoil Using CFD Methods

Abdullah Muratoğlu 

Batman University, Department of Civil Engineering, Kuyubasi Kampusu, 72100, Batman, TURKEY

Başyuru/Received: 17/04/2018

Kabul/Accepted: 06/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Abstract

The most efficient designs are found in the nature. Many natural events and processes have been successfully transferred to the science and technology in order to solve the problems or to increase the efficiency of the systems. The hydrodynamic principles were efficiently employed by swimming animals for many years. Excellent body shapes of fish species have enabled them to continue their generation until today. The aim of this study is to understand the 2D hydrodynamics of the tope shark (*Galeorhinus galeus*) and to analyze the fluid flow around its body hydrofoil. The hydrofoil of the tope shark (TSH) has been generated using a real-scale image and digitalized using NURB (Non-uniform B-spline) curves. ANSYS CFX software has been employed for CFD simulations after suitable meshing around the TSH. The pressure and velocity area around the shark hydrofoil was illustrated for different angles of attack and Re numbers. The hydrodynamic performance variables such as lift, drag and pressure coefficients for the hydrofoil were analyzed.

Key Words

‘‘Tope Shark, CFD, ANSYS CFX, hydrofoil, biomimicry’’

1. INTRODUCTION

It is an indisputable fact that the most efficient and optimum designs are found in nature. Many ideas were transferred from the biology to the science and technology through bio-inspiration (Vincent et al. 2006). Imitating the geometry of humpback whales provided more efficient turbines. More sustainable buildings were constructed by mimicking the termites. Kingfishers effected high speed transportation. Mosquitos were copied for production of more efficient needles. Dolphins were imitated for better communication and signalization. Autonomous underwater vehicles (Bozkurtas et al. 2008) were designed from the fish fins. It is possible to increase the number of examples of bio-inspired technological developments (Muratoglu et al. 2016).

Two dimensional foil sections are employed in many areas such as aerial devices, wind turbines, hydrokinetic turbines and other turbomachinery. The wing sections that are utilized in technology for the last few years have already been effectively used by animals such as birds and fishes in nature for many years. Available technical problems related to fluid dynamics of aerial and submerged devices can be solved and their efficiency can be increased by mimicking from flying and swimming animals and insects (Muratoglu and Muratoglu 2017).

There are various studies investigating the hydrodynamics of fish swim together with geometrical considerations. Shrivastava et al. (2017) studied the hydrodynamics of undulating NACA 0012 hydrofoils through CFD. Xue et al. (2016) reported the hydrodynamics of bionic oscillating hydrofoil mimicking from the tuna fish and analyzed in Fluent software. The energy gain from the hydrodynamic interactions within the school of fishes has been analyzed by Hemelrijk et al. (2015). Experimental research on mechanics, kinematics, fluid dynamics and fish locomotion of various studies were reviewed by Lauder and Madden (2006). Maneuvering hydrodynamics of fish and small underwater vehicles have been studied by Bandyopadhyay (2002). The hydrodynamics of nonscombroid fish has been analyzed in order to understand the fish swimming mechanism and to calculate the thrust and power required by Webb (1978). Finally, hydrodynamics of fish-like swimming has been studied by various other scientists (Lauder and Drucker 2004; Lauder and Madden 2006; Triantafyllou 2012; Tytell 2011; Weihs 1980).

To the author's knowledge, the number of studies which measures the hydrodynamic properties of main body hydrofoil of fish species is quite limited. The body shapes of swimming animals are important contributing to their efficiency and speed based on each specie's living standards. The main objective of this study is to provide hydrodynamic analyses of 2D body hydrofoil of Tope Shark (*Galeorhinus galeus*) based on the hydrofoil/airfoil methodology. *Galeorhinus galeus* which is also called as tope shark or school shark (Camhi et al. 2009) is relatively small specie of sharks (Francis and Mulligan 1998) whose body length reaches up to 2 m. It founds at temperate waters in New Zealand, Australia, America and North Atlantic (Hurst et al. 1999) living at midwater and near the seabed.

The main body hydrofoil of the tope shark which will be called as tope shark hydrofoil (TSH) was generated. The TSH has been extracted from a real-scale image by highly used B-spline curve method. Obtained hydrofoil has been digitalized, normalized and embedded in a suitable file format. Then, the geometry has been analyzed numerically with CFD simulation techniques for different angles of attack and Reynolds numbers (Re). The pressure and velocity areas around the tope shark hydrofoil (TSH) have been outlined. Hydrodynamic performance results (lift, drag and pressure coefficients) of 2D body section were calculated.

2. THEORY and METHOD

2.1. Hydrofoil theory

The objects inside velocity fields of fluids are exposed to some physical forces. The science of hydrodynamics deals with the motion of the fluid around objects and finding out the important loads that acts on bodies. The thin cross-section unit inside a velocity field is known as foil. The foil sections are called as airfoil or hydrofoil based on the surrounding fluid such as air or water (Muratoglu 2014).

Airfoil and hydrofoils have been designed for various purposes such as aerial vehicles, turbines, propellers, fans, etc. (Yuce and Muratoglu 2015). Mainly two different resultant forces which are perpendicular to each other are generated on the section. These are lift and drag forces (Figure 1). The amount of both forces depends on the viscous stresses on the section's walls and/or the other geometrical considerations.

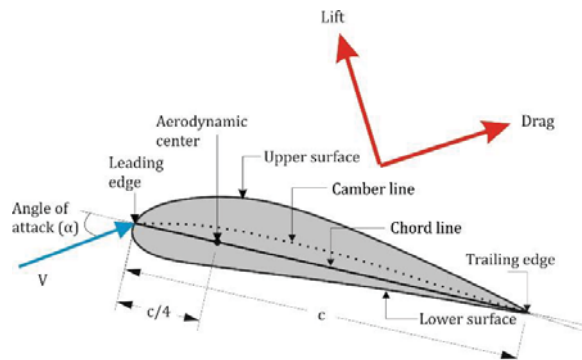


Fig. 1. Resultant loads and geometrical details of a typical hydrofoil

The lifting bodies such as hydrofoils, airfoils and vanes are designed to deliver high lift forces versus low amount of drag force (White 2010). The linear line between the leading and trailing edge is called as the chord line. If the section is not symmetrical relative to the chord line, it is called as cambered foil. The camber line is the line that passes from the vertical midpoints of the section. The angle between the free stream velocity vector and the chord line is known as the angle of attack, α (White 2010). Non-dimensionalized lift and drag forces reveals the lift and drag coefficients as below;

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho V^2 A_p} \tag{1}$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A_p} \tag{2}$$

where, C_L is the lift coefficient, C_D is the drag coefficient, L and D are the total lift and drag forces developed on the profile, ρ is the density of the surrounding fluid, V is the velocity of the flow, A_p is the projected area.

The pressure coefficient (C_p) is a non-dimensional parameter which is extensively used in aero-hydrodynamics, even more than the pressure itself. It is a measure showing the amount of deviation of local pressure from the free stream static pressure (Anderson Jr 2011). Increasing the absolute value of pressure coefficient results higher risk of cavitation and thus damages the section (Rubenstein et al. 2012). The pressure coefficient can be defined as follows;

$$C_p = \frac{P - P_\infty}{\frac{1}{2}\rho V^2} \tag{3}$$

where, C_p is the pressure coefficient, P is the local static pressure, P_∞ is the free stream static pressure.

2.2. Extraction of 2D hydrofoil

Various studies were reported (Dahl and Fuglsang 1998; Grasso 2012; Maucière 2009) that the airfoil or hydrofoil surfaces can be well described using non-uniform rational B-spline curves (NURBS). These curves are generated using a number of nodes and a single curve is produced based on the Cartesian coordinates of the nodes and the degree of the spline. Majority of 2D and 3D modeling software are capable of drawing NURBS. The complex details on object parts could be easily stated by B-spline curves (Wang et al. 2013). Increased number of nodes or control points (CP) provides more flexible geometries however more lively curves can be generated using smaller number of CP's (Dahl and Fuglsang 1998).

In this study, a real-scale image of a Tope Shark (*Galeorhinus galeus*) has been used. The leading and trailing edges were determined and the hydrofoil body is normalized to obtain a chord length of 1 m. The caudal, pectoral, anal dorsal and pelvic fins were excluded from the main body (Figure 2) of the 2D shark image. Then, a 3rd degree B-spline curve is fitted to the remaining part with 15 CP's via MATLAB software. B-spline operation was carefully conducted around the leading edge site for a more precise expression of the geometry. The number of CP's was increased around the curved zones such as leading edge and lower surface of the body (Figure 3). A sharp (blunt) trailing edge (TE) was preferred for effective meshing and simulation. For this purpose, the trailing edge triangle was cut at $2c/1000$ length from the right hand side (Figure 4). After normalization, the final XY coordinates of the B-Spline curve have been excluded as a suitable file format for the geometry processing software before meshing and hydrodynamic simulations.

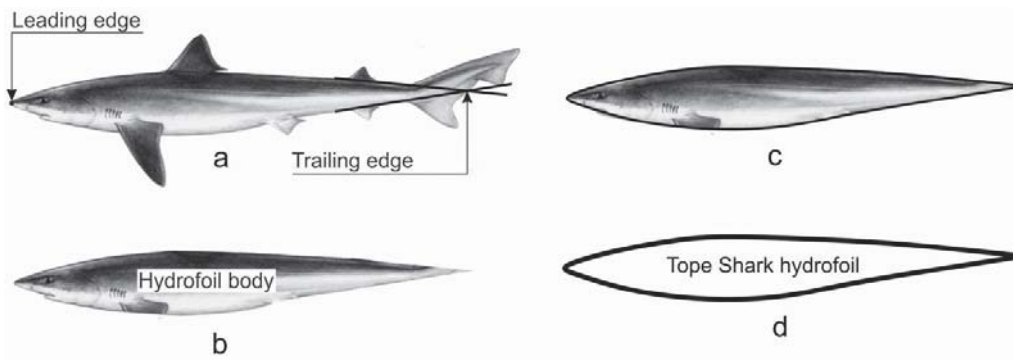


Fig. 2. Hydrofoil production from Tope Shark body geometry

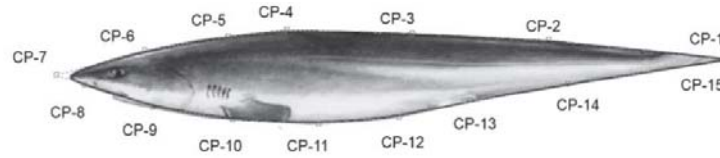


Fig. 3. Control points and resulting B-spline curve

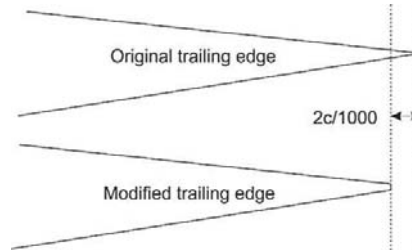


Fig. 4. Trailing edge modification

2.3. Numerical Setup

The extracted hydrofoil of *Galeorhinus galeus* were introduced to the ANSYS SpaceClaim software for generating the solution domain. The horizontal distance between leading edge (LE) and inlet has been specified to be 5 times of the chord length. The solution domain has been defined to be C type for being compatible with the LE. The distances at the hydrofoil wake and farfield were assigned to be 10 times of the chord (Figure 5).

The inlet boundary condition (BC) was chosen to be velocity type. The free stream velocity, thus the Re number around the hydrofoil can be defined at the inlet. The outlet was specified to be pressure type with a subsonic flow regime at 1.5 atm. Medium turbulence intensity with 5 % has been assigned for turbidity. The hydrofoil walls were specified with no-slip condition in order of ability of capturing the viscous effects near the profile. Both planar sides of the 2D domain were qualified as symmetry planes (Figure 5).

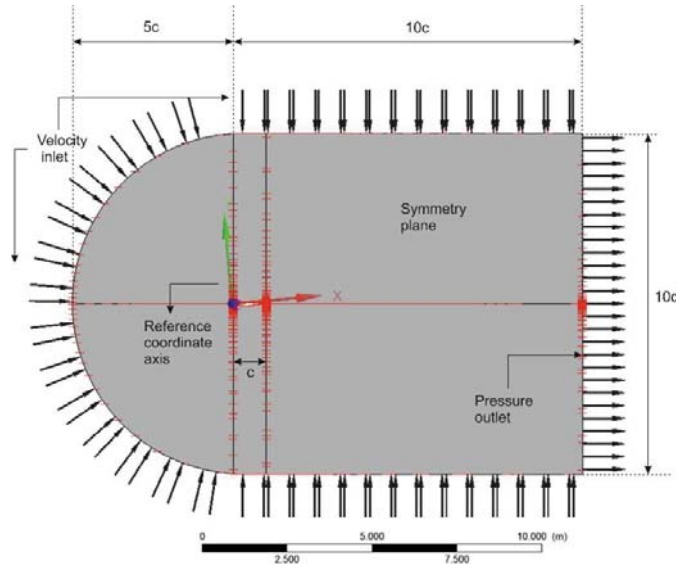


Fig. 5. Illustration of solution domain

The grid generation inside the fluid domain is provided using structured quadrilateral type of cells. Approximately 600,000 nodes and 300,000 elements were generated inside the domain. Produced mesh has been refined toward to the leading edge, trailing edge and hydrofoil walls. Mapped face meshing with edge sizing operation employing a suitable bias factor was employed for grid densification. The detailed images of improved mesh for the whole domain, around the hydrofoil, leading and trailing edges were illustrated in Figure 6, respectively.

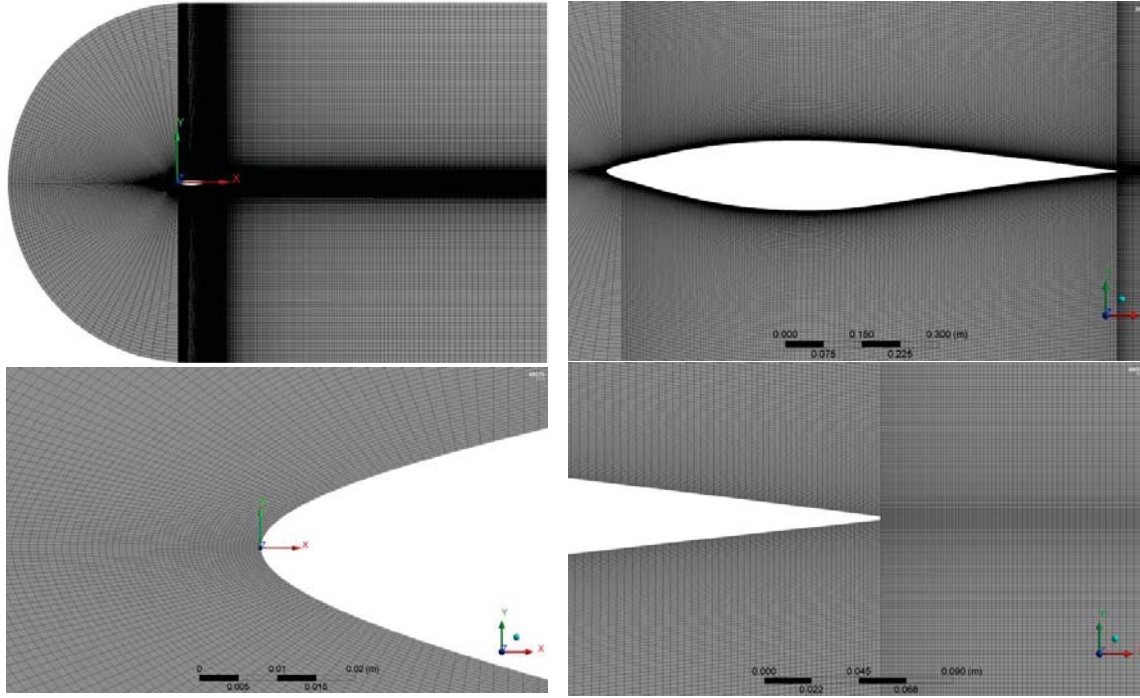


Fig. 6. Structured grid generation around computational domain

2.4. Turbulence model

In the present study, SST (Shear Stress Transport) turbulence model has been employed with automatic wall function. The model is one of the most widely used two-equation eddy viscosity approaches. Integrating k - ω and k - ϵ models, SST used advantages of both models. In SST model, the viscous near wall layers are modeled with the advantages of Wilcox's k - ω approach and the far-field region away from the viscous effects is modeled by the k - ϵ approach. Combining the advantages of both widely used turbulence models makes SST method to be one of the most successful models (Muratoglu and Muratoglu 2017). k and ω equations are given by (Versteeg and Malalasekera 2007) as below;

The k equation is;

$$\underbrace{\frac{\partial(\rho k)}{\partial t}}_{\text{rate of change of } k} + \underbrace{\text{div}(\rho k \mathbf{U})}_{\text{transport of } k \text{ by convection}} = \underbrace{\text{div} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \text{grad}(k) \right]}_{\text{transport of } k \text{ by turbulent diffusion}} + \underbrace{\left(2\mu S_{ij} \cdot S_{ij} - \frac{2}{3} \rho k \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \delta_{ij} \right)}_{\text{production rate of } k} - \underbrace{\beta_1 \rho k \omega}_{\text{dissipation rate of } k} \quad (4)$$

The omega equation is;

$$\underbrace{\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t}}_{\text{rate of change of } \omega} + \underbrace{\text{div}(\rho \omega \mathbf{U})}_{\text{transport of } \omega \text{ by convection}} = \underbrace{\text{div} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\omega,1}} \right) \text{grad}(\omega) \right]}_{\text{transport of } \omega \text{ by turbulent diffusion}} + \underbrace{\gamma_2 \left(2\rho S_{ij} \cdot S_{ij} - \frac{2}{3} \rho \omega \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \delta_{ij} \right)}_{\text{production rate of } \omega} - \underbrace{\beta_2 \rho \omega^2}_{\text{dissipation rate of } \omega} + \underbrace{2 \frac{\rho}{\sigma_{\omega,2}} \frac{\partial k}{\partial x_k} \frac{\partial \omega}{\partial x_k}}_{\text{cross diffusion term}} \quad (5)$$

where; k is the turbulent kinetic energy (m^2/s^2), ϵ (epsilon) is the turbulence eddy dissipation rate (m^2/s^3), ω (omega) is the turbulence frequency ($\omega = \epsilon/k$), \mathbf{U} is the average velocity vector, μ is the fluid's viscosity, μ_t is the turbulent or eddy viscosity ($\mu_t = \rho k/\omega$), δ_{ij} is the Kronecker delta, div is the mathematical divergence operator, grad is the mathematical gradient operator, S is the deformation rate of fluid for mean flow and the cross diffusion term arises from $\epsilon=k\omega$ transport in the epsilon equation. The model constants are; $\sigma_k=1$, $\sigma_{\omega,1}=2$, $\sigma_{\omega,2}=1.17$, $\gamma_2=0.44$, $\beta_1=0.09$ and $\beta_2=0.083$.

2.5. y^+ value

The y^+ value describes the size of mesh which is adjacent to the walls for no-slip condition. The height or location of the first cell is directly effects the behavior of the flow. The turbulent flow can be divided into 4 layers which are viscous sublayer, buffer layer, overlap layer and turbulent layer (from the wall toward to the far field). The height of the viscous sublayer is dimensionally insignificant. However, this tiny layer has a very important function determining the characteristics of the whole flow due to the high velocity gradients. The thickness of this layer is directly proportional to the kinematic viscosity and inversely proportional with the average stream velocity (Çengel and Cimbala 2006). The mathematical description of y^+ can be defined as below;

$$y = \frac{5\nu}{u_*} \tag{6}$$

$$y^+ = \frac{u}{u_*} = \frac{yu_*}{\nu} \tag{7}$$

$$u_* = \sqrt{\frac{\sigma_w}{\rho}} \tag{8}$$

where, y is the vertical distance from the wall, ν is the kinematic viscosity, u is the flow velocity, u_* is friction velocity, y^+ is the non-dimensionalized distance from the wall.

For an accurate CFD analysis, the first cell next to the wall should be inside the viscous sublayer. It is a common operation to minimize the y^+ value in CFD simulations. If the logarithmic wall function is specified, the centroid of the first grid should be placed between 30 and 300 non-dimensional distance. For resolved wall treatment the amount of y^+ value is suggested to be below 1 (ANSYS 2011). However, for good drag prediction and efficiently modeling of the turbulence, a y^+ value of 5 or less is sufficient. In this study, automatic wall function has been employed and Figure 7 illustrates the y^+ value around the hydrofoil wall. According to the figure, amount of y^+ varies at the different regions on the wall between 1 and 4. The leading edge site is the most sensitive region of the section. Employing automatic wall function and proximity to 1 makes the y^+ value to be acceptable in this study.

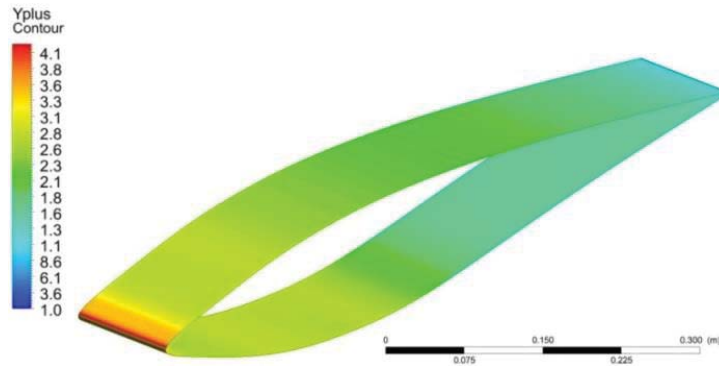


Fig. 7. y^+ value around the hydrofoil wall

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. CFD solution and convergence

A typical convergence diagram for the CFD analyses is given in Figure 8. In all simulations, the solution was converged with root mean square (RMS) of variables below 1×10^{-6} . The imbalances in the domain have generally been noted to be zero or very small such as $\pm 1/10000$. The convergence criteria have been reached approximately at 100 iterations using a computer having i7-6700HQ processor with 24 GB ram and 4 GB graphics card.

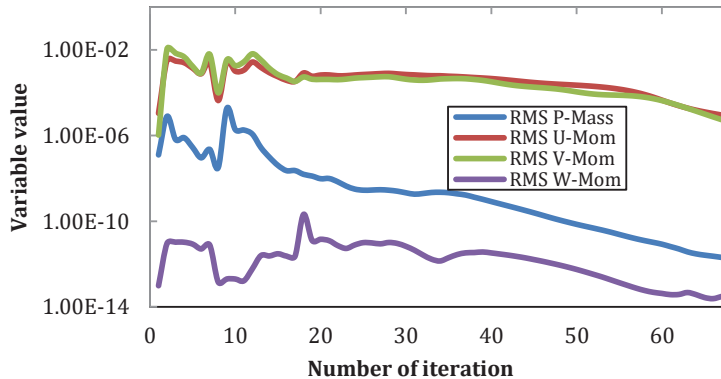


Fig. 8. A typical convergence diagram

CFD analyses have been provided for the various cases which are listed in Table 1. Totally results of eight CFD analyses have been reported in this study. The convergence of the post stall region especially after $\alpha=10^\circ$ hardly exceeded the termination criteria of the software which is either the maximum number of iterations or RMS values of residuals. Considering the necessity of the residuals to be lower than 1×10^{-6} , the solutions that is not converged (for lower Re numbers and higher values of α) below this amount has not been reported in this study.

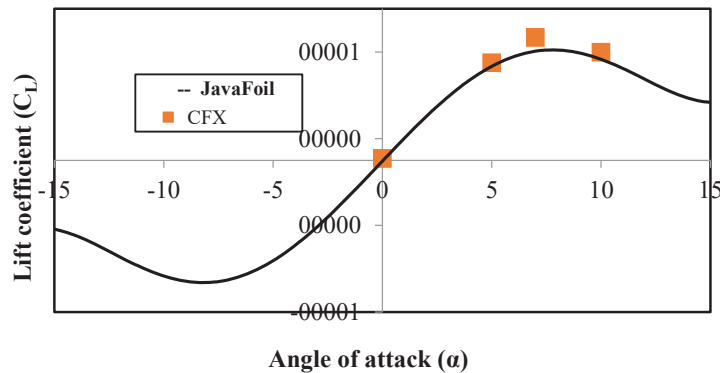
Table 1. CFD analyses reported in this study for various cases

Re/α	0°	3°	5°	7°
1.00E+05	+	+	+	+
1.00E+06	+	+	+	+

3.2. Accuracy and acceptability of the results

The CFD analysis results with available mesh and other solution specifications has been verified comparing the airfoil performance characteristics with the JavaFoil (Hepperle 2014) software. The lift performance of the TSH (tope shark hydrofoil) has been calculated using both ANSYS CFX and JavaFoil software.

Figure 9 illustrates the comparison of lift coefficients obtained from both JavaFoil and CFX software. CFD analyses are time consuming operations relative to the 2D panel codes such as JavaFoil or Xfoil. Therefore four CFD simulations (at $\alpha=0^\circ, 5^\circ, 7^\circ$ and 10°) has been operated and compared with wide range of JavaFoil (bold/black line) results ($-15^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$). The simulation outputs represent good consistency with the numerical results of the panel code for both pre and post-stall regions having around 10 % average error which is appropriate for most of the cases. The verification stage shows the acceptability of the simulation results and accuracy of the CFD analyses.

**Fig. 9.** Validation of the model (Comparison of JavaFoil and CFX results)

3.3. Visualization of the flow fields

The simulation results are important in order to understand the flow field around the TSH at different cases. Figures 10 and 11 illustrates the pressure and velocity fields around the TSH for $Re=1$ million. Lift and drag forces develop from the net pressure difference on both sides of the fish body foil. The geometrical considerations necessitates the flow velocity to be higher at the upper surface than the lower surface (Bone and Moore 2013). The pressure contour plot (Figure 10) shows that high pressure zone is developed at the leading edge site immediately below the surface. Also the total pressure of upper surface decreases with increasing angle of attack (the green region). These pressure disturbances show that a clockwise pitching moment would develop with a relatively lower lift. Also, the leading edge site seems to be the most sensitive region for cavitation risk.

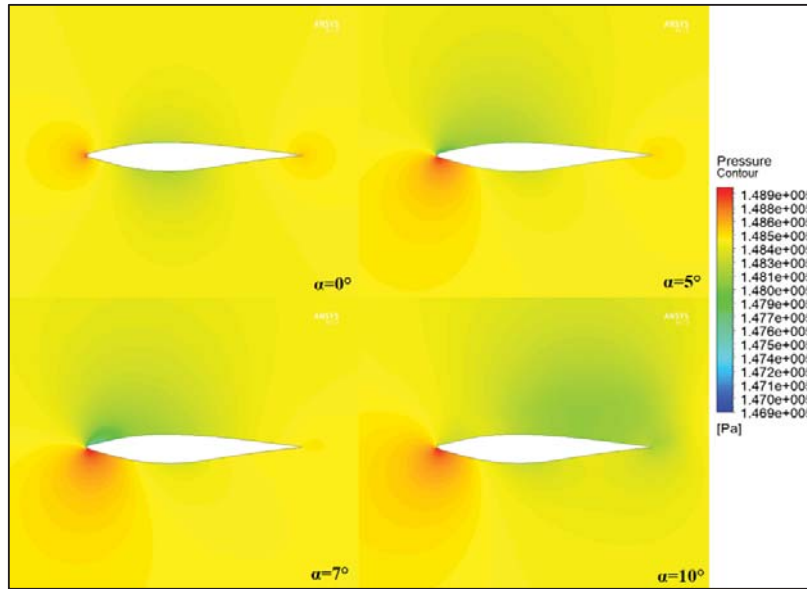


Fig. 10 . Pressure contours at various α for Re=1 million

The velocity contour plot (Figure 11) shows that for $\alpha = 0^\circ$ the water speeds around both upper and lower surfaces are close to each other and the lift force at the smaller angles of attack is relatively low due to nearly symmetrical geometry. The velocity at the boundary layer of the wall is observed to be approximating to zero (blue region) at each case due to the viscous effects around the wall. Increasing α expands the high speed zone (red color) above the boundary layer of upper surface, also extends the flow separation zone which is shown as blue. It is observed that, the TSH is at the condition of stall at $\alpha = 10^\circ$ due to the flow separation.

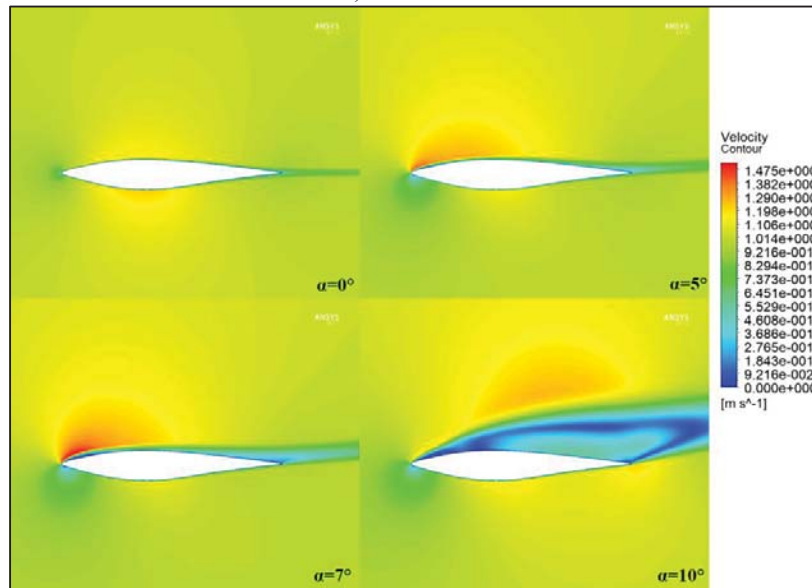


Fig. 11 . Velocity contours at various α for Re=1 million

3.4. Lift, drag and pressure coefficients

Lift and drag coefficients and L/D (lift/drag) ratios obtained from each simulation are shown in Figures 12 and 13 for Reynolds numbers of 0.1 million and 1 million, respectively. The blue squares represent the lift coefficient (C_L) or drag coefficient (C_D) of each simulation having different angles of attack. 2nd degree polynomial curves are fitted to the CFD results to see the lift and drag behavior of the TSH. The simulations at both Re numbers reveals a stall angle around 7-8 degrees which is also verified by JavaFoil results (Figure 9). Beyond the 8° stall angle, the lift performance is deteriorating and the drag coefficient increases exponentially. Cross comparison of both figures demonstrates those both C_L and C_D remain more or less unchanged with increasing Re number. This result shows that the variations in TSH swimming speed do not affect the performance behavior of Tope Shark; demonstrating the body shape of the tope shark is appropriate for a wide range of swimming velocities and is suitable for both cruising velocities and burst of speed.

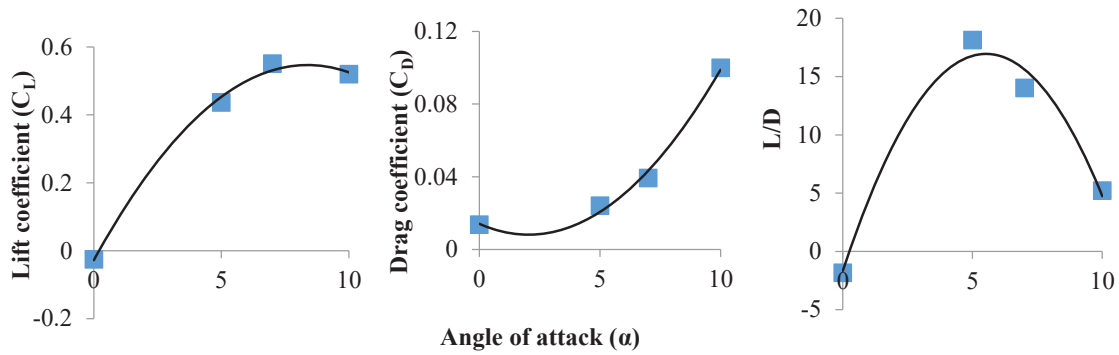


Fig. 12. Lift and drag coefficient distributions of TSH at various α for $Re=0.1$ million

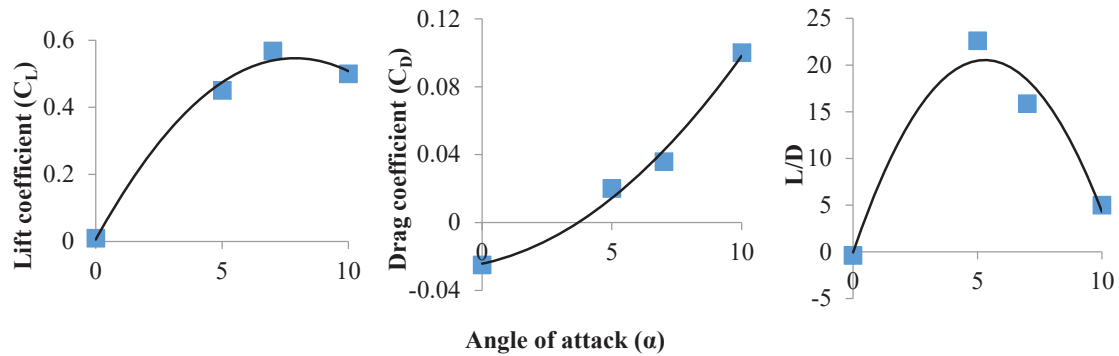


Fig. 13. Lift and drag coefficient distributions of TSH at various α for $Re=1$ million

The L/D ratio is one of the most important parameters showing the performance of man-designed blade sections. The industrial sections which are developed for aerial or turbomachinery purposes deliver higher lift together with some other special design criteria. However, providing high lift could not be the main specification of natural designs. Similarly, a high lift body shape may harm the fish by blocking its transportation and other living comfort by which the TSH's relatively lower L/D could be better explained.

The pressure coefficient (C_p) which shows the local pressure relative to the free stream static pressure around TSH is shown in Figure 14. Figure 10 can also be taken into account for better understanding of high and low pressure regions around the section. Both figures indicates that, the C_p of TSH at $Re=1$ million is relatively lower than the industrial blade sections. These results represents, the TSH has lower risk of cavitation which is an expected situation for a section that is naturally designed for large Re intervals. On the other hand, the maximum deviation of the C_p is observed to be close to the stall condition at $\alpha=7^\circ$. At post-stall region ($\alpha=10^\circ$) the pressure deviations becomes smaller.

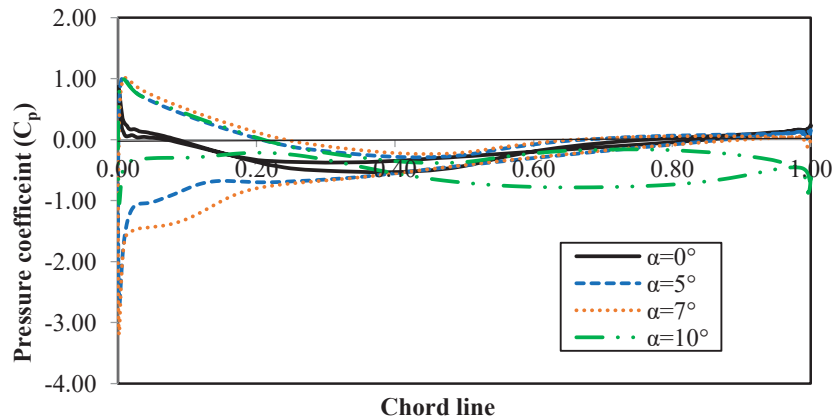


Fig. 14. Pressure coefficients around the chord line at $Re=1$ million

3.5. Comparison with the other airfoils

In this section, the outcomes of this study have been compared to the airfoils generated from some other swimming animals and with widely used aeronautical sections (NACA, NREL, RISØ). While there is quite high number of studies in the literature analyzing 2D or 3D performances of man-designed airfoils, hydrofoils or blade sections, the studies examining the naturally optimized sections are quite limited. Detailed hydrodynamic analyses of grass carp, sockeye salmon and blue marlin fish species have been provided by (Muratoglu et al. 2016) based on the airfoil methodology (Figure 15). Mentioned study considers several fish body shapes in order to adapt their excluded geometries to the aviation and marine industries. They conclude that, 2D carp airfoil has a stall angle around 13 degrees at a wide Re interval. Again, the lift coefficient is evaluated to be greater than 1.0 at Re=10,000. On the other hand, marlin fish airfoil has relatively lower lift coefficient owing to it extraordinary body shape. Stall angle of the marlin fish was found to be very low which is an expected situation for thin and elongated foils due to encountering lower pressure drag. Similarly, salmon and carp fish geometries are found to be of high lift coefficient while shark body shape delivered relatively lower performance.

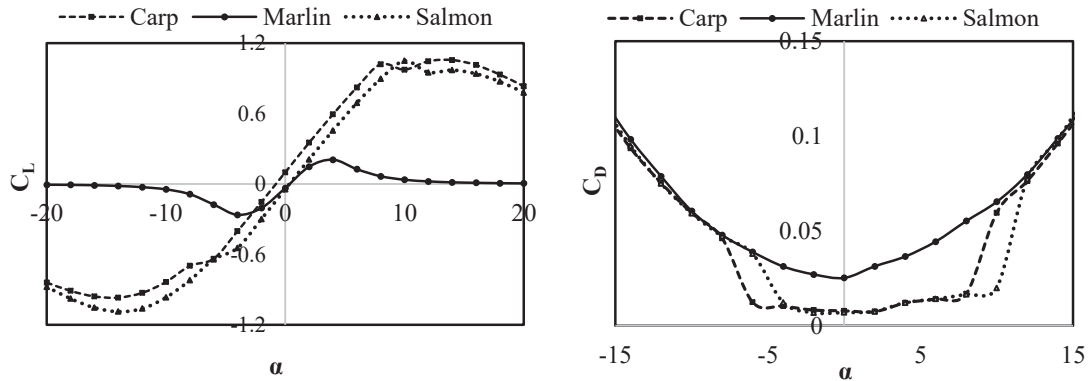


Fig. 15. Lift and drag coefficients of Carp, Marlin and Salmon fishes vs. angle of attack (Muratoglu et al. 2016)

Detailed analyses on hydrodynamic characteristics of tuna fish hydrofoil (Albacore tuna) has been provided by (Muratoglu and Muratoglu 2017). Albacore tuna has a well streamlined, nearly symmetrical body shape cruising around 6-8 m/s speed with relatively higher rate of Re number. A smooth stall behavior had been observed in which sudden fluctuations in lift and drag coefficients are not available. Also, maximum lift coefficient of tuna fish hydrofoil has been evaluated to be slightly lower than 1.0 at a stall angle around 13°. The drag characteristic of the mentioned section is found to be reasonable compared to the NACA sections. However, the pressure coefficients at different angles of attack were found to be relatively higher especially at the upper surface (exceeding -7 at $\alpha=15^\circ$ and Re=1 million) which would limit its applicability in marine vehicles. In the present study, TSH represented lower pressure coefficient at the suction side relative to the tuna fish hydrofoil. Velocity distributions of Albacore tuna fish hydrofoil has been illustrated in Figure 16. The flow separation of tuna fish geometry develops at the trailing edge site, while the TSH analyzed in this study delivers a separation point close to the leading edge (Figure 11). Flow separation behavior of both geometries directly affects the stall characteristics and maximum lift coefficients in which the hydrodynamic performance of the TSH is said to be lower than tuna fish hydrofoil based on net lift force developed on the section.

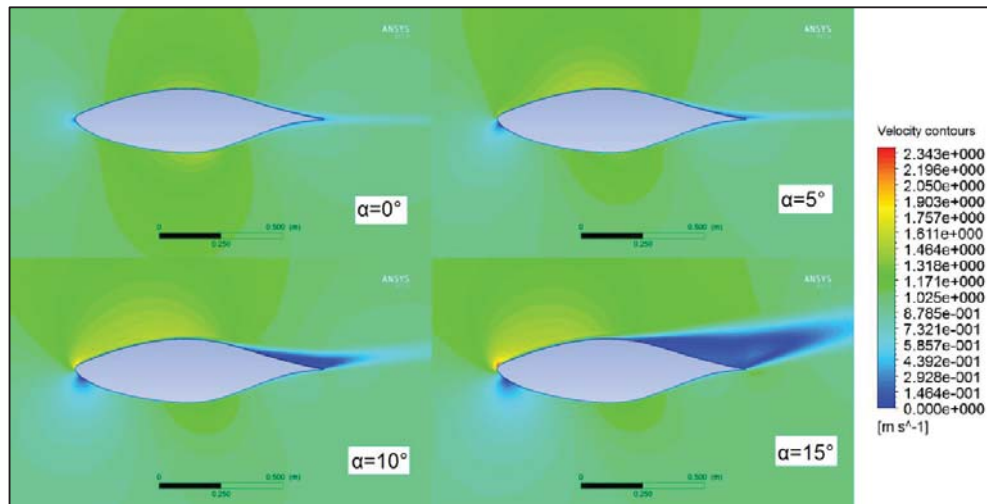


Fig. 16. Velocity distributions of tuna fish hydrofoil hydrofoil at Re=1 million (Muratoglu and Muratoglu 2017)

It would be more accurate and feasible to compare tope shark hydrofoil generated and analyzed in this study with existing man-designed hydrofoils which are generated or specially preferred to be used in water environment. Although majority of airfoils are generated for air environment, there are several profiles which are suitable to be employed in the water environment such as

NACA-63, NREL-S or RISØ-A family of airfoils. Distribution of pressure coefficients over around the NACA 36-818, NREL S833, RISØ-A-18 and TSH profiles at the same Re number and approximate angles of attack were provided in Figure 17 for better comparison. According to the figure, TSH which is originated through this study exhibits superior performance in terms of having lower pressure coefficient margins which is a very important criteria for cavitation inception.

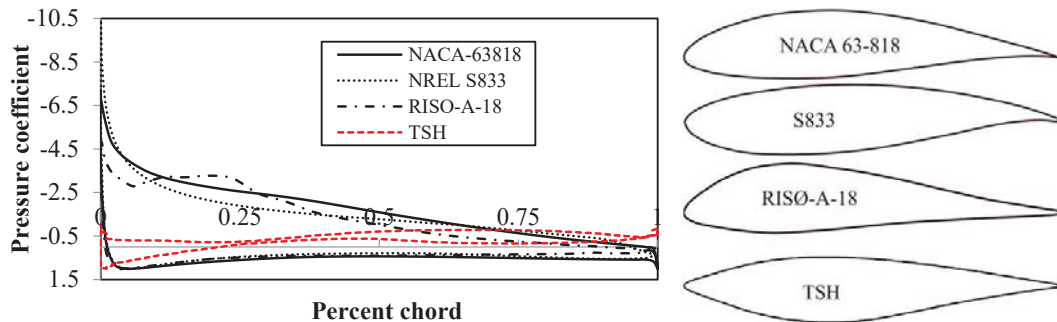


Fig. 17. Comparison of pressure coefficients for NACA 36-818, NREL S833, RISØ-A-18 ($Re=1$ million, $\alpha=12^\circ$) and TSH ($Re=1$ million, $\alpha=10^\circ$)

Finally comparison of lift and drag characteristics of abovementioned man-designed airfoils with the TSH is given in Figure 18. These airfoils are among the widely used sections of wind or hydrokinetic turbines. Tope shark hydrofoil (TSH) has relatively low drag and lift performance from the power generation or other aeronautical or hydrodynamic points of view. As it described in Section 3.4, delivering high lift force may block important living activities of the tope shark. It is obvious that, TSH body geometry is not naturally optimized for power production or maximization of the lift. Therefore, comparing TSH with the existing airfoils of higher lift performance would be rather inconvenient. However, special considerations could be intensified on the power coefficient distribution of its body shape. Superior performance of TSH against cavitation at a wide range of angle of attack could be a point of inspiration for marine technologies.

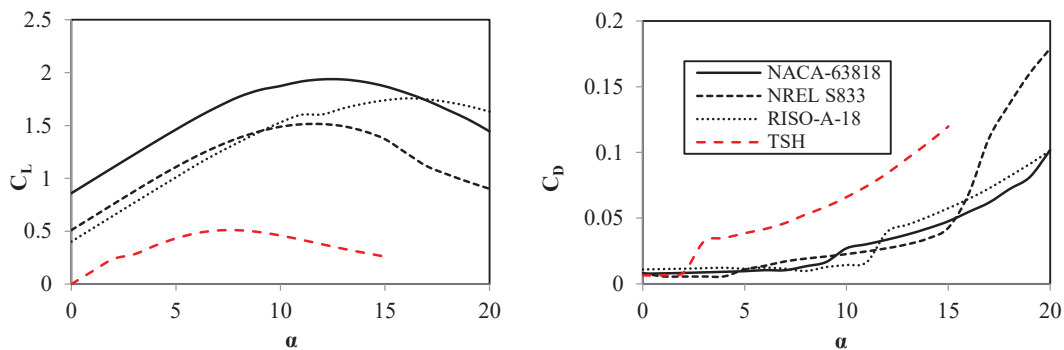


Fig. 18. Lift and drag characteristics of NACA 63-818, NREL S833, RISØ-A-18 and TSH profiles at $Re=1 \times 10^6$

4. CONCLUSION

The hydrodynamics of tope shark hydrofoil (TSH) has been underlined in the present study. The flow fields of pressure and velocity have been illustrated numerically for different dynamic and geometrical conditions. The TSH has been analyzed based on the airfoil/hydrofoil theory of man-designed sections. It should be noted that, TSH exhibits the behavior of classical airfoils and fits the methodology. Secondly, the geometry of the tope shark body (excluding the caudal, pectoral, anal dorsal and pelvic fins) contributes to the swimming performance with relatively lower pressure coefficient and considerable amount of lift to withstand gravity together with other buoyancy forces. The stall angle of TSH has been determined to be 7-8 degrees with a smooth C_L - α curve around the stall region. The CFD simulation results have been validated using JavaFoil (Hepperle 2014) software. Future studies will make possible to adapt natural body shapes of the swimming animals to energy and aviation technologies such as turbine blades (Muratoglu et al. 2017) or aircraft wing sections.

REFERENCES

- Anderson Jr, J. (2011). Fundamentals of Aerodynamics. Mc. Graw-Hill, New York.
- ANSYS. (2011). Introduction to ANSYS CFX, Lecture notes on Turbulence.
- Bandyopadhyay, P. R. (2002). "Maneuvering hydrodynamics of fish and small underwater vehicles." Integrative and comparative biology, 42(1), 102–117.
- Bone, Q., and Moore, R. H. (2013). Biology of Fishes. Journal of Chemical Information and Modeling.

- Bozkurttas, M., Tangorra, J., Lauder, G., and Mittal, R. (2008). "Understanding the Hydrodynamics of Swimming: From Fish Fins to Flexible Propulsors for Autonomous Underwater Vehicles." *Advances in Science and Technology*, 58, 193–202.
- Camhi, M. D., Lauck, E., Pikitch, E. K., and Babcock, E. A. (2009). "A Global Overview of Commercial Fisheries for Open Ocean Sharks." *Sharks of the Open Ocean: Biology, Fisheries and Conservation*, 166–192.
- Çengel, Y. A., and Cimbala, J. M. (2006). "Fluid mechanics: fundamentals and applications." *Fluid Mechanics: With Problems and Solutions, and an Aerodynamic Laboratory*, 956.
- Dahl, K. S., and Fuglsang, P. (1998). Design of the wind turbine airfoil family Risø-A-XX. Design of the Wind Turbine Airfoil Family RISØ-A-XX, Roskilde, Denmark.
- Francis, M. P., and Mulligan, K. P. (1998). "Age and growth of New Zealand school shark, *Galeorhinus galeus*." *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 32(3), 427–440.
- Grasso, F. (2012). "Design and Optimization of Tidal Turbine Airfoil." *Journal of Aircraft*, 49(2), 636–643.
- Hemelrijk, C. K., Reid, D. A. P., Hildenbrandt, H., and Padding, J. T. (2015). "The increased efficiency of fish swimming in a school." *Fish and Fisheries*, 16(3), 511–521.
- Hepperle, M. (2014). "JavaFoil."
- Hurst, R. J., Baglet, N. W., McGregor, G. A., and Francis, M. P. (1999). "Movements of the New Zealand school shark, *Galeorhinus galeus*, from tag returns." *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 33(1), 29–48.
- Lauder, G. V., and Drucker, E. G. (2004). "Morphology and experimental hydrodynamics of fish fin control surfaces." *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 29(3), 556–571.
- Lauder, G. V., and Madden, P. G. A. (2006). "Learning from fish: Kinematics and experimental hydrodynamics for roboticists." *International Journal of Automation and Computing*, 3(4), 325–335.
- Mauclère, X. (2009). "Automatic 2D Airfoil Generation, Evaluation and Optimisation using MATLAB and XFOIL." *Mycotoxin research*.
- Muratoglu, A. (2014). "Design and simulation of a riverine hydrokinetic turbine." University of Gaziantep.
- Muratoglu, A., and Muratoglu, A. (2017). "Understanding hydrodynamics of Tuna Fish hydrofoil using CFD simulations." 7th Ankara International Aerospace Conference (AIAC'2017), Ankara.
- Muratoglu, A., Ph, D., Yuce, M. I., and Ph, D. (2017). "Design of a River Hydrokinetic Turbine Using Optimization and CFD Simulations."
- Muratoglu, A., Yuce, M. I., and Esit, M. (2016). "Foil generation inspiring from nature." *International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16)*, Kilis.
- Rubenstein, D. A., Yin, W., and Frame, M. D. (2012). "Fundamentals of Fluid Mechanics." *Biofluid Mechanics*, 11–48.
- Shrivastava, M., Malushte, M., Agrawal, A., and Sharma, A. (2017). "CFD study on hydrodynamics of three fish-like undulating hydrofoils in side-by-side arrangement." *Lecture Notes in Mechanical Engineering, Part F8*, 1443–1451.
- Triantafyllou, M. S. (2012). "Survival hydrodynamics." *Journal of Fluid Mechanics*, 698, 1–4.
- Tytell, E. D. (2011). *Experimental hydrodynamics. Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment*.
- Versteeg, K. H., and Malalasekera, W. (2007). *Computational Fluid Dynamics*. McGraw-Hill, Inc.
- Vincent, J. F. V., Bogatyreva, O. A., Bogatyrev, N. R., Bowyer, A., and Pahl, A.-K. (2006). "Biomimetics: its practice and theory." *Journal of The Royal Society Interface*, 3(9), 471–482.
- Wang, Q., Chen, J., Pang, X., Li, S., and Guo, X. (2013). "A new direct design method for the medium thickness wind turbine airfoil." *Journal of Fluids and Structures*, 43, 287–301.
- Webb, P. W. (1978). "Hydrodynamics: Nonscombroid fish." *Fish Physiology*, 7(C), 189–237.
- Weih, D. (1980). "Hydrodynamics of suction feeding of fish in motion." *Journal of Fish Biology*, 16(4), 425–433.

White, F. (2010). "Fluid Mechanics." McGraw-Hill, New York, 862.

Xue, G., Liu, Y., Zhang, M., and Ding, H. (2016). "Numerical Analysis of Hydrodynamics for Bionic Oscillating Hydrofoil Based on Panel Method." *Applied Bionics and Biomechanics*, 2016.

Yuce, M. I., and Muratoglu, A. (2015). "Hydrokinetic energy conversion systems: A technology status review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 72–82.



Araç Rotalamada Karbon Ayak İzi Ve Endüstriyel Bir Uygulama

Carbon Footprint In Vehicle Routing And An Industrial Application

Bensu Kaplanseren ¹, Betül Mercan ¹, Büşra Özdemir ¹, Hatice Hazel Kadioğlu ¹, Çağrı Sel ^{*1}

¹ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, 78050 Karabük, TÜRKİYE

Başyuru/Received: 25/04/2018

Kabul/Accepted: 07/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Öz

Firmaların çoğunda bir lojistik ağı bulunmakta ve taşıma faaliyetleri neticesinde bir karbon ayak izi meydana gelmektedir. Taşıma araçlarının bu ağ çerçevesinde uygun bir şekilde rotalanması ve düşük bir karbon ayak izinin sağlanması sürdürülebilirlik açısından bir gerekliliktir. Bu çalışmada, bir firmanın personel servislerinin rotalama problemi ele alınmıştır. Toplam CO₂ salınımı ve toplam maliyetlerin azaltılması amaçlanmıştır. Problemin çözümü için, karbon ayak izi Tier-1 yaklaşımı ile hesaplanarak tasarruf algoritması uygulanmıştır. Uygulama sonucunda önerilen yeni rota ile firmada CO₂ salınımı %24,7 ve toplam maliyetler %24,5 oranında azalmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Araç Rotalama Problemi, Karbon Ayak İzi, Tasarruf Algoritması, Tier Yaklaşımı”

Abstract

Most of the companies have a logistics network and transportation activities cause a carbon footprint. A shortest route for vehicles and a low carbon footprint in the network is a requirement in terms of sustainability. In this study, a vehicle routing problem is considered on the personnel vehicles of a company. The aim is to minimize the total CO₂ emission and the total costs. To solve the problem, the savings algorithm is applied to the carbon footprint that is calculated by Tier-1 method. As a result, the CO₂ emission is reduced by 24.7% and the total costs are reduced by 24.5% with a new route in this company.

Key Words

“Vehicle Routing Problem, Carbon Footprint, Savings Algorithm, Tier Approach”

1. GİRİŞ

Canlılar yaşamlarını idame ettirebilmek için yeme, içme, ısınma, barınma gibi temel ihtiyaçlarını doğadan karşılar. Ancak, fosil yakıt kullanımı (kömür, petrol, doğalgaz vb.), elektrik kullanımı, bireysel araç kullanımı, hazır gıda tüketiminin ve nüfusun giderek artması, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi doğanın dengesini bozan olumsuzluklara neden olmaktadır. Karbon ayak izi, canlıların gerçekleştirdikleri aktiviteler sonucunda biriken toplam karbondioksit emisyonunun ölçümüdür. Doğal kaynaklara olan ihtiyaç gün geçtikçe artarak karbon ayak izinin büyümesine neden olmaktadır. Ancak artan bu ihtiyaçlar, dünyanın kaldırabileceğinden fazladır. Dünyanın bu talebi karşılayabilmesi için kendini yenileme kapasitesinin 1,5 katına ihtiyaç duyulmaktadır. Dünyanın yenileme kapasitesini aşmamak için gereksinim duyulan enerjiyi verimli bir şekilde kullanarak, ağaç dikerek, geri dönüşüme katkı sağlayarak, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak, araçlarının lastik basınçlarını kontrol ederek, mümkün oldukça kısa mesafeleri yürüyerek veya bisiklet ile ulaşım sağlayarak karbon emisyonu azaltılabilir.

Karbon ayak izinin büyümesinde rol oynayan endüstriyel etkenlerden birisi de firmaların gerçekleştirmiş oldukları lojistik faaliyetleridir. Firmalar, personel ulaşımı, hammadde tedarigi ve nihai ürün dağıtımında ulaşım araçlarını kullanmaktadır. Kullanılan araçların sayısı, kat etikleri mesafe, kullanılan yakıt türü ve miktarına bağlı olarak doğada oluşturdukları karbon ayak izi miktarında değişiklik görülmektedir. Bu değişiklikler firmalarda olumlu ya da olumsuz sonuçlar doğurabilir. Örneğin; kullanılan yakıt miktarındaki artış, karbon emisyonunun artmasının yanı sıra firmanın lojistik maliyetlerinin artmasına da neden olmaktadır. Karbon ayak izinin azaltılmasının hem firmaya hem de çevreye yararı bulunmaktadır.

Bu çalışmada, bir firmanın personel servislerinin rotalanması problemi ele alınmıştır ve toplam CO₂ salınımı azaltılmaya çalışılmıştır. Araç rotalama problemlerine (ARP) uygulanan yaygın çözüm yöntemlerinden biri olan tasarruf algoritmasının uygulanması esnasında karbon ayak izi Tier-1 yaklaşımı kullanılmıştır. Bu açıdan çalışmanın literatüre katkısı iki farklı açıdan değerlendirilebilir; Bunlardan ilki, tasarruf algoritması ve Tier-1 karbon ayak izi hesaplaması ile araç rotalama problemlerinin çevreye duyarlı çözümü için yeni bir yaklaşım ortaya koyulmasıdır. İkincisi ise, personel servislerinin rotalanması üzerine endüstriyel bir uygulamanın ele alınmasıdır.

Takip eden bölümlerde; literatürde yer alan araştırmalar incelenmiştir, çalışmada kullanılacak yöntemlerden bahsedilmiştir ve endüstriyel uygulama anlatılarak sonuçlar tartışılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatür taramasında öncelikle karbon ayak izi ile ilgili yapılan Türkçe çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalarda hangi konuların üstünde durulduğu, konuların ne şekilde ele alındığı ve yapılacak çalışmaya olan benzerlikleri ve farklılıkları analiz edilmiştir. Tablo 1’de karbon ayak izi ile ilgili çalışmalara ait literatür özeti verilmiştir.

Tablo 1. Karbon Ayak İzi için Literatür Taraması

Literatür	Çalışma Konusu
Atabey (2013)	Tier yaklaşımıyla Diyarbakır iline ait karbon salınımında en önemli payın tüketimden kaynaklanan karbon salınımı olduğunu gözlemlenmiştir.
Demir ve Taşkın (2013)	Yaşam döngüsü değerlendirmesi ile rüzgâr türbinlerinin fosil yakıt ile elektrik üreten teknolojilerden daha az CO ₂ emisyonuna sebep olduğunu gösterilmiştir
Karakoç (2012)	Karbon emisyon muhasebesi üzerine çalışılmıştır ve Türkiye’de uygulanabilirliği tartışılmıştır
Özlem (2013)	Kütle dengesi hesabı ile seçilen bir kâğıt fabrikasında karbon ayak izi belirlenmiştir
Pehlivan (2016)	Karbon ayak izi ve sera etkisi incelenmiştir, limanlar için örnek bir uygulama gerçekleştirilmiştir.
Turanlı (2015)	Orta Doğu Teknik Üniversitesi’nin karbon ayak izi hesaplanarak bir monte-carlo simülasyonu yapılmıştır
Vargün vd. (2015)	Sürdürülebilir bir çevre için karbon muhasebesi ve faaliyet tabanlı maliyetlendirme sistemi açıklanmıştır

Atabey (2013) Tier yaklaşımını kullanarak Diyarbakır iline ait karbon emisyonunu hesaplamıştır. Demir ve Taşkın (2013) rüzgâr türbini sistemleri ile elektrik üretim teknolojilerini CO₂ emisyonu açısından kıyaslamıştır. Karakoç (2012), Özlem (2013) ve Vargün vd. (2015) karbon emisyonunun hesaplanması üzerine araştırma gerçekleştirmiştir. Pehlivan (2016) karbon ayak izini ve sera etkisini incelemiştir. Turanlı (2015) Orta Doğu Teknik Üniversitesi’nde karbon ayak izini hesaplamış ve bir monte carlo simülasyonu hazırlamıştır.

Tablo 1’deki bu çalışmalar incelendiğinde karbon ayak izinin genel olarak sürdürülebilirlik ve küresel ısınma kavramları ile birlikte ele alındığı ya da karbon muhasebesi üzerinde durulduğu gözlenmiştir. Yapılan araştırmalarda servis araçlarının meydana getirdiği karbon ayak izinin hesaplanmasına dair bir çalışma ile karşılaşılmaştır. Araçlara ait karbon emisyon hesaplamalarının yapıldığı araştırmalarda ise Tier yaklaşımının kullanıldığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde araç rotalama problemi üzerine yapılan

çalışmalarda genel olarak hangi yöntemler ile ilgili çalışma yapıldığı ve ne gibi sonuçlar ortaya koyulduğu incelenmiştir. Tablo 2’de araç rotalama problemi ile ilgili bu çalışmalar kullanılan çözüm yöntemleri açısından incelenmiştir.

Tablo 2. Araç Rotalama Problemi için Literatür Taraması

Literatür	Çözüm Yöntemi
Ak ve Koç (2016)	Genetik Algoritma
Atmaca (2012)	Matematiksel Modelleme
Bozyer vd. (2014)	Gruplayarak rotalama sezgiseli
Çalışkan (2011)	Karınca Kolonisi Optimizasyonu
Çeyrekoğlu (2017)	Genetik Algoritma
Çiçekli vd. (2016)	Dağınık Arama, Genetik Algoritma ve GRASP
Ekizler (2011)	Karınca Kolonisi Optimizasyonu
Keçeci vd. (2015)	Matematiksel Model, Clarke-Wright ve Tasarruf Algoritması
Kemer (2010)	Genetik Algoritma
Kiremitçi vd. (2014)	Genetik Algoritma
Koç ve Karaoğlu (2014)	Matematiksel Modelleme
Kosif ve Ekmekçi (2012)	Tasarruf Algoritması
Şahin ve Eroğlu (2015)	Genetik Algoritma, Tasarruf Algoritması, En Yakın Komşu Algoritması, 2-opt Algoritması ve Or-opt Algoritması
Şen vd. (2015)	Kümeleme Algoritması ve Genetik Algoritma
Şimşir ve Altunkaynak (2016)	Tasarruf Algoritması
Uzumer ve Eren (2012)	Matematiksel Modelleme
Uzun ve Tezel (2016)	Değişken Komşuluk Arama

Tablo 2’deki çalışmalar incelendiğinde, Ak ve Koç (2016), Çeyrekoğlu (2017), Çiçekçi vd. (2016), Kemer (2010), Kiremitçi vd. (2014), Şahin ve Eroğlu (2015), Şen vd. (2015) yaptıkları çalışmalarda genetik algoritmaları kullanarak en uygun sonucu bulmaya çalışmıştır. Çalışkan (2011), Ekizler (2011) karınca kolonisi optimizasyonundan yararlanarak çözüm üretmiştir. Bozyer vd. (2014), Uzun ve Tezel (2016) diğer sezgisel yöntemlere başvurmuştur. Koç ve Karaoğlu (2014), Uzumer ve Eren (2012) ve Atmaca, (2012) ise çalışmalarında matematiksel modeller sunmuştur. Şimşir ve Altunkaynak (2016), Keçeci vd. (2015), Kosif ve Ekmekçi (2012) yaptıkları çalışmalarda tasarruf algoritmasını kullanmıştır.

Genel olarak belirlenen problemlerde genetik algoritma, matematiksel modelleme ve tasarruf algoritması yöntemleri çalışılarak veya birkaç çözüm yöntemi birlikte ele alınarak en iyi sonuç bulunmaya çalışılmıştır. Bunlara ek olarak literatürde önce grupla sonra rotala prensibine dayanan yaklaşımlar, karışık tamsayı doğrusal programlama modeller ve kümeleme algoritması gibi farklı yöntemler de söz konusudur. Yöntemler incelendiğinde uygulama kolaylığı ve esneklik açısından tasarruf algoritması öne çıkmaktadır.

Firmalar farklılık yaratmak için sadece maddi yönden sağlanan faydaları düşünmemeli, aynı zamanda çevre sorunlarını da göz önüne almalıdır. Her organizasyon doğaya az ya da çok karbon salmaktadır. Büyüyen lojistik organizasyonları neticesinde firmaların karbon ayak izi gün geçtikçe belirgin hale gelmektedir. Geleneksel araç rotalama problemlerinde mesafeyi ve maliyeti minimize etmek temel amaçtır. Ancak, bu çalışmanın dikkat çeken yönlerinden birisi de çevre sorunlarını da ele almasıdır. Bu çalışmada gerçekleştirilen karbon ayak izi hesaplaması ile araçların doğaya saldığı CO₂ oranı da minimize edilecektir. Çalışmanın amacı sadece klasik araç rotalarını elde etmek değil aynı zamanda karbon ayak izini azaltmaktır. Her firmanın lojistik faaliyetleri çerçevesinde maliyetlerini azaltmaları ve çevreye duyarlı olabilmek açısından karbon ayak izi hesabı yapmaları bir gerekliliktir.

3. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Bu bölümde problemin çözümü için literatürdeki yaygın çözüm yöntemlerinden olan tasarruf algoritması ve karbon ayak izi hesaplamalarından birisi olan “Tier-1” yaklaşımı anlatılmıştır.

3.1. Tasarruf Algoritması

Tasarruf algoritması, araç rotalama probleminin çözümü için geliştirilmiş sezgisel bir yöntemdir (Clarke ve Wright, 1964). Değişken araç sayılarının bulunduğu problemlerde kullanılmaktadır. Temel fikir her bir turun iyileştirilmek üzere aşamalı olarak değiştirilmesidir. Başlangıçta belirli bir rota üzerinden ilerleyen taşıtlar tasarrufların hesaplanmasıyla uygun rotada birleştirilir. Algoritma vasıtasıyla yeni rota oluşturmanın yanı sıra gerekli olan araç sayısı da tespit edilmektedir. Çözüm yönteminin amacı araçların toplam kat ettiği mesafeyi minimize etmek veya araç sayısını düşürmektir.

Algoritma, tüm varış noktalarına hizmet veren ve tekrar başlangıç noktasına geri dönen hayali bir araç ile başlar. Yapılan bu işlem neticesinde elde edilen, araç rotalamada hesaplanabilecek en uzun mesafedir. Daha sonra iki tane güzergâh noktası aynı rota üzerinde birleştirilir. Böylece bir araç elimine edilmiş ve başlangıç noktasından bir noktaya, diğer noktadan başlangıç noktasına

olan mesafe eksilmiştir. Ancak iki nokta arasına bir yol ilave edilmiştir. Bir rota üzerinde hangi noktaların birleştirileceğini belirlemek için mesafeler birleşme öncesi ve sonrası hesaplanır (Şeker, 2007).

Algoritmada, ilk olarak bir başlangıç noktası belirlenir. Bu başlangıç noktasından hareketle tüm noktalara ulaşıldığı varsayılır. Devamında, Denklem (1) ile tasarrufları hesaplanarak iki alt tur birleştirilir. Denklemde (1)'de belirtilen (i,j) problemde ele alınan bir çift duraktır. Hesaplanan tasarruflar büyükten küçüğe sıralanarak birleştirilmektedir. Birleştirilen bu noktalar büyük bir müşteri olarak kabul edilir. Yeni rotalar araç kapasitesi de dikkate alınarak peş peşe sıralı ya da her bir araç için kısmi rotalar oluşturularak paralel şekilde oluşturulur (Eryavuz ve Gencer, 2001).

$$S_{ij} = c_{0i} + c_{0j} - c_{ij} \quad (1)$$

Tasarruf algoritmasında izlenecek adımlar şu şekildedir (Eryavuz ve Gencer, 2001);

Adım 1 : Tüm i ve j çiftleri için tasarrufları hesapla.

Adım 2 : Tasarrufları büyükten küçüğe doğru sırala.

Adım 3 : Listenin başından başlayarak sürüm çeşidine göre aşağıdaki adımları uygula.

Adım 4 : Listenin başından alınan dal, problem kısıtlarına uyarak bir mümkün çözüm üretiyorsa, bu tura ilave et, aksi durumda çıkar.

Adım 5 : Listedeki sıradaki dalı al ve 4.adımı listede dal kalmayana kadar tekrarla.

Adım 6 : Mevcut rotanın iki ucundan birini geliştirecek mümkün dalı listeden bul.

Adım 7 : Rota daha fazla geliştirilemiyorsa, rotayı sonlandır. İlk mümkün dalı yeni bir rotaya başlamak üzere seç.

Adım 8 : Seçilecek dal kalmayınca 4. Adımı ve 5. Adımı tekrarla.

3.2.Tier Yöntemi

Tier-1 yaklaşımında yapılan hesaplarda yakıtın yanması temel alınmıştır. Yakıt kullanımı kadar emisyon ortaya çıkmaktadır. Yakılan yakıt türüne göre yakıt miktarı ve sadece varsayılan dönüşüm faktörleri ile hesaplamalar yapılmaktadır.

CO₂ emisyonu hesaplanmasında ilk aşama; enerji tüketim miktarını bulmaktır. Denklem (2)'de belirtilen yakıt tüketim değerleri (ton) yakıt tiplerine göre belirlenmelidir. Daha sonra TJ/kt birimindeki net kalori değerleri ile çarpılır ve yakıtın enerji değerleri TJ biriminde elde edilir (Pekin, 2006).

$$Enerji \ Tüketimi \ [TJ] = Yakıt \ Tüketimi \ [t] \ 10 \times Dönüşüm \ Faktörü \ [TJ/ \ kt] \quad (2)$$

Tüketilen yakıtın karbon içeriği Denklem (3)'de verilmiştir. Karbon emisyon faktörü (TJ enerji birimi başına ton karbon içeriği) ile bulunan enerji faktörü çarpımı sonucu elde edilen karbon içeriği 10⁻³ ile çarpılarak Denklem (4)'de verilen Gg (gigagram) birimine dönüştürülür.

$$Karbon \ İçeriği \ [t \ C] = Karbon \ Emisyon \ Faktörü \ [t \ C / TJ] \times Enerji \ Tüketimi \ [TJ] \quad (3)$$

$$Karbon \ İçeriği \ [Gg \ C] = Karbon \ İçeriği \ [t \ C] \times 10^{-3} \quad (4)$$

Karbonun ne kadarının oksidasyona uğradığı Denklem (5) ile hesaplanmaktadır. Karbon oksitlenme oranı ile karbon içeriği çarpılarak elde edilir.

$$Karbon \ Emisyonu \ [Gg \ C] = Karbon \ İçeriği \ [Gg \ C] \times Karbon \ Oksitlenme \ Oranı \quad (5)$$

CO₂ emisyonunu hesaplamak için Denklem (6)'dan yararlanılır. Karbondioksitin ve karbonun mol ağırlıkları sırasıyla; 44 ve 12'dir. Hesaplanan karbon emisyon değeri ile mol oranları (44/12) ile çarpılarak CO₂ emisyonu bulunur.

$$CO_2 \ Emisyonu \ [Gg \ CO] = Karbon \ Emisyonu \ [Gg \ C] \times (44/12) \quad (6)$$

4. ENDÜSTRİYEL UYGULAMA

Bu bölümde, İstanbul'da mobilya üretimi yapan bir firmasının personel dağıtım ağı ele alınmaktadır. Firmanın bünyesinde 5 servis aracı bulunmaktadır. Her aracın kapasitesi 18 kişiliktir ve herhangi bir kapasite aşımı yapılmamaktadır. Servis araçlarının belirli güzergâhları ve durakları bulunmaktadır. Firmadan 28 durağa personel dağıtımı ve toplama işlemi yapılmaktadır. Firmanın personel servis araçları tüm talepleri karşılayacak kapasitededir. İşletmede 5 adet servis aracı bulunmakta olup, her biri 18 kişilik kapasiteye sahiptir. Amaç, araç kapasiteleri aşılmadan, personel ihtiyacı karşılanırken maliyeti, süreyi, mesafeyi ve araçların doğa da oluşturdukları karbon ayak izi miktarının azaltılması için uygun rotanın belirlenmesidir.



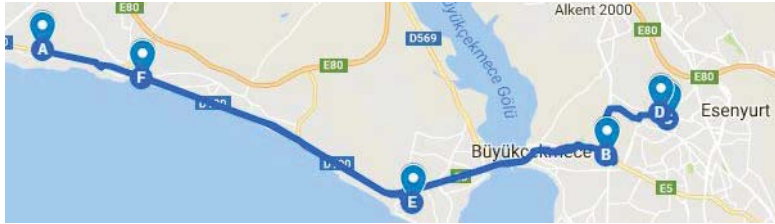
Şekil 1. Birinci Araca Ait Mevcut Güzergâh

Firmaya ait birinci servis Şekil 1’de gösterilen A (Firma) noktasından çıkarak ilk olarak B (Hürriyet Caddesi) - C (Cihangir Mahallesi) - D (Avcılar Lisesi) - E (Türksan) - F (Saadetdere Mahallesi) - G (Ekinoba) duraklarına uğrayarak personelleri toplayıp firmaya gelmektedir. Akşam mesai bitiminde ise aynı güzergâhı izleyerek personelleri duraklara bırakmaktadır.



Şekil 2. İkinci Araca Ait Mevcut Güzergâh

İkinci servis aracı ise Şekil 2’de gösterilen A (Firma) başlangıç noktasından çıkarak B (Salihpaşa) - C (Alperenler) - D (Tuna Lisesi) - E (Ferhatpaşa) - F (12.Sokak) - G (Yalçın Sitesi) duraklarına uğrayarak personelleri toplayıp firmaya getirip, akşam mesai bitiminde aynı güzergâhı izleyerek personelleri duraklara bırakmaktadır.



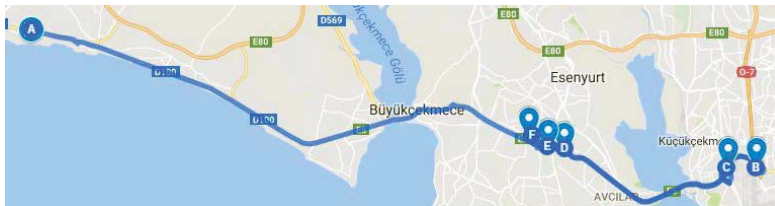
Şekil 3. Üçüncü Araca Ait Mevcut Güzergâh

Firmaya ait üçüncü servis aracı Şekil 3’de gösterilen A (Firma) başlangıç noktasından çıkarak B (Tüyap) - C (Dereboyu Sokak) - D (Mehtap Sokak) - E (Güzelkent) - F (Plaj Yolu) duraklarını izleyerek personellerin firmaya ulaşımını sağlamaktadır.



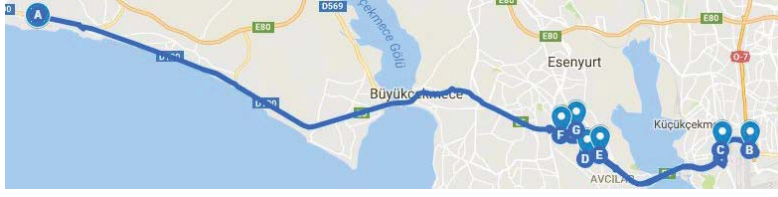
Şekil 4. Dördüncü Araca Ait Mevcut Güzergâh

Firmaya ait dördüncü servis aracı Şekil 4’de gösterilen A (Firma) başlangıç noktasından çıkarak B (Fatih Mahallesi) - C (Kazım Karabekir Caddesi) - D (Karabayır) - E (GOP Meydan) - F (GOP) - G (GOP Belediye) güzergâhını izlemektedir.



Şekil 4. Beşinci Araca Ait Mevcut Güzergâh

Beşinci servis aracı ise Şekil 5’de gösterilen A (Firma) başlangıç noktasından çıkarak B (Fidanlık) - C (Beşyol) - D (Haramidere Sanayi Sitesi) - E (Haramidere) - F (Güzelyurt) güzergâhını izlemektedirler.



Şekil 5. Birinci Araca Ait Önerilen Güzergâh

Tasarruf algoritmasının çalıştırılmasının sonucunda servis araçlarının güzergahlarında uygun bir rotaya ulaşılmıştır. Ulaşılan rotaya göre firmaya ait birinci servis aracı Şekil 6’da gösterilen A (Firma) noktasından çıkarak sırası ile B (Fidanlık) - C (Beşyol) - D (Cihangir Mahallesi) - E (Avcılar) - F (Türksan) - G (Saadetdere Mahallesi) duraklarını izleyip personel toplama ve bırakma işlemini gerçekleştirmektedir.



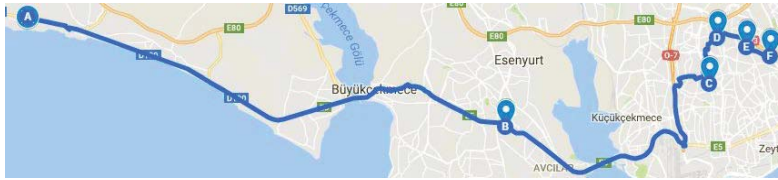
Şekil 6. İkinci Araca Ait Önerilen Güzergâh

Yapılan iyileştirme sonucunda firmaya ait ikinci servis aracının güzergâhı Şekil 7’de gösterilen A (Firma) noktasından çıkarak sırası ile B (Tuna Lisesi) - C (Alperenler) - D (Salihpaşa) - E (GOP Meydan) - F (GOP) - G (GOP Belediye) duraklarını izlemektedir.



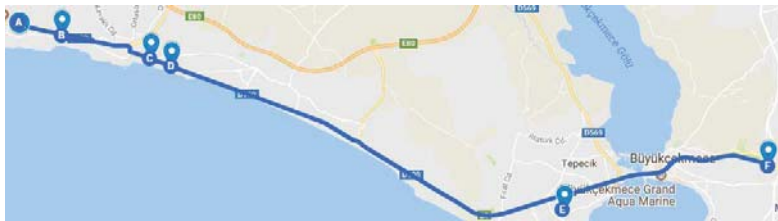
Şekil 7. Üçüncü Araca Ait Önerilen Güzergâh

İyileştirme sonucunda üçüncü servis aracının güzergâhı Şekil 8’de gösterilen A (Firma) noktasından çıkarak sırası ile B (Hürriyet Caddesi) - C (Haramidere) - D (Güzelyurt) - E (Dereboyu) - F (Mehtap Sokak) duraklarını izlemektedir.



Şekil 8. Dördüncü Araca Ait Önerilen Güzergâh

Firmaya ait dördüncü servis aracının güzergâhı iyileştirme sonucunda Şekil 9’da gösterilen A (Firma) noktasından çıkarak sırası ile B (Haramidere Sanayi Sitesi) - C (12. Sokak) - D (Fatih Mahallesi) - E (Karabayır) - F (Ferhatpaşa) duraklarını izlemektedir.



Şekil 9. Beşinci Araca Ait Önerilen Güzergâh

Yapılan çalışma sonucunda beşinci personel servis aracı için önerilen güzergâh Şekil 10’da gösterilen A (Firma) noktasından çıkarak sırası ile B (Yalçın Sitesi) - C (Plaj Yolu) - D (Güzelkent) - E (Ekinoba) - F (Tüyap) duraklarını izlemektedir.

Tablo 3. Mevcut Durumdak Güzergâh Bilgileri

Durak Kodu	Durak Adı	Servis talebi (adet)	Durak Kodu	Durak Adı	Servis talebi (adet)
0	Araptepe	0	15	Mehtap Sokak	3
1	Hürriyet Caddesi	3	16	Güzelkent	4
2	Cihangir Mah.	3	17	Plaj Yolu	5
3	Avcılar Lisesi	2	18	Fatih Mahallesi	2
4	Türksan	4	19	Kazım Karabekir	3
5	Saadetdere	3	20	Karabayır	5
6	Ekinoba	3	21	Gaziosmanpaşa Meydan	3
7	Salihpaşa	4	22	Gaziosmanpaşa	3
8	Alperenler	2	23	Gaziosmanpaşa Bel.	2
9	Tuna Lisesi	4	24	Fidanlık	3
10	Ferhat Paşa	3	25	Beşyol	3
11	12.Sokak	3	26	Haramidere Sanayi S.	2
12	Yalçın Sitesi	2	27	Haramidere	6
13	Tüyap	4	28	Güzelyurt	4
14	Dereboyu	2			

Mevcut güzergâh bilgileri göz önüne alınarak araçların uğradıkları her bir durağa durağı temsil eden kodlar atanmıştır. Google haritalar kullanılarak, duraklar arasında oluşan mesafeler bulunmuştur ve uzaklık matrisi oluşturulmuştur. Mesafeler km cinsindedir. Uzaklık matrisi Ek 1' de verilmiştir.

Tasarruf matrisi oluşturulurken $1 \leq i \leq j \leq 28$ aralığındaki tüm (i, j) çiftlerinin tasarrufları hesaplanır; Örneğin; $s_{38} = c_{03} + c_{08} - c_{38} = 35,90 + 62,40 - 26,60 = 71,70$

Tüm tasarruflar değerlerinin hesaplanmasıyla bir tasarruf matrisi elde edilmiştir. Tasarruf matrisi Ek 2' de verilmiştir. Daha sonra bu değerler büyükten küçüğe doğru sıralanarak her bir değer için konum 1 (sütunda yer alan durak kodu) ve konum 2 (satırda yer alan durak kodu) değerleri alınır. Bulunan konum 1 ve konum 2 değerlerinin talep miktarları Tablo 3'den yararlanarak toplam talep miktarı elde edilmektedir. Örneğin tasarruf matrisindeki en büyük değer olan 125,80'nin tablodaki konumuna bakıldığında kod numarası 21 ve 22 olan durakları kapsamaktadır. 21 ve 22 kod numaralı durakların talep miktarları 3'er kişi olup toplam talep miktarı 6 kişidir. Araç kapasitesi 18 kişi olup toplam talep miktarı araç kapasitesini aşmadığı ve daha önceden kullanılan konumlar (aynı güzergâh) olmadığı sürece tüm rakamlar değerlendirilerek rotalar oluşturulur. Tasarruf miktarlarının ve rotalar ile ilgili bilgilerin yer aldığı Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Tasarruf Miktarları ve Rota Bilgileri

Tasarruf Miktarı (km)	Konum 1	Konum 2	Talep (adet)	Rota
125,80	21	22	6	21-22
125,60	22	23	8	21-22-23
124,80	7	22	12	7-21-22-23
124,80	8	22	14	7-8-21-22-23
122,20	9	22	18	7-8-9-21-22-23
117,00	10	11	6	10-11
111,30	11	18	8	10-11-18
111,00	11	20	13	10-11-18-20
110,00	11	19	16	10-11-18-19-20
85,60	24	25	6	24-25
83,10	10	26	18	10-11-18-19-20-26
72,90	2	24	9	2-24-25
72,80	2	4	13	2-4-24-25
72,50	4	5	16	2-4-5-24-25
71,80	3	4	18	2-3-4-5-24-25
66,40	14	15	5	14-15
62,8	14	28	9	14-15-28
62,4	1	28	12	1-14-15-28
62,4	1	27	18	1-14-15-27-28
39,5	6	13	7	6-13
11,3	6	16	11	6-13-16
9,9	16	17	16	6-13-16-17
5,3	12	13	18	6-12-13-16-17

Tablo 5. Mevcut Duruma Ait Araç Bilgileri

Araç Modeli	Mevcut Güzergâh	Toplam Mesafe (km)	Toplam Yakıt Miktarı (lt)	Yakıt Türü	Toplam Maliyet (₺)
Renault Master 2015	Tüyap - Dereboyu Sokak - Mehtap Sokak - Güzelkent - Plaj Yolu	102,8 km	7,2 lt	Dizel	38,02 TL
Renault Master 2014	Salihpaşa - Alperenler - Tuna Lisesi - Ferhatpaşa - 12.Sokak - Yalçın Sitesi	262,1 km	18,2 lt	Dizel	96,01 TL
Renault Master 2011	Fidanlık - Beşyol - Haramidere Sanayi Sitesi - Haramidere - Güzelyurt	170,6 km	12 lt	Dizel	63,36 TL
Renault Master 2011	Hürriyet Caddesi- Cihangir Mahallesi- Avcılar Lisesi- Türksan- Saadetdere- Ekinoba	120,6 km	8,5 lt	Dizel	44,88 TL
Renault Master 2011	Fatih Mahallesi - Kazım Karabekir Caddesi - Karabayır- GOP Meydan - GOP - GOP Belediye	142,8 km	10 lt	Dizel	52,80 TL

Tablo 5’de firmada yapılan analiz ve gözlemler sonucu her araç için elde edilen güzergâhlar, toplam mesafe, toplam yakıt miktarı, yakıt türü ve toplam maliyetler yer almaktadır.

Tablo 6. Önerilen Duruma Ait Araç Bilgileri

Araç Modeli	İyileştirilmiş Güzergâh	Toplam Mesafe (km)	Toplam Yakıt Miktarı (lt)	Yakıt Türü	Toplam Maliyet (TL)
Renault Master 2015	Yalçın Sitesi - Plaj Yolu - Güzelkent - Ekinoba - Tüyap	61,8 km	4,5 lt	Dizel	23,76 TL
Renault Master 2014	Tuna Lisesi - Alperenler - Salihpaşa - GOP Meydan - GOP - GOP Belediye	139,7 km	10 lt	Dizel	52,80 TL
Renault Master 2011	Haramidere Sanayi Sitesi- 12.Sokak - Fatih Mahallesi - Karabayır - Ferhatpaşa	165,9 km	11,5 lt	Dizel	60,72 TL
Renault Master 2011	Hürriyet Caddesi - Haramidere - Güzelyurt - Dereboyu - Mehtap Sokak	101 km	7 lt	Dizel	36,96 TL
Renault Master 2011	Fidanlık - Beşyol - Cihangir Mahallesi - Avcılar - Türksan - Saadetdere Mahallesi	132,6 km	9,2 lt	Dizel	48,58 TL

Tablo 6’de tasarruf algoritması yöntemi kullanılarak her araç için elde edilen güzergâhlar, toplam mesafe, toplam yakıt miktarı, yakıt türü ve toplam maliyetler yer almaktadır.

Tablo 7. Mevcut Duruma Ait Karbondioksit Emisyon Miktarı

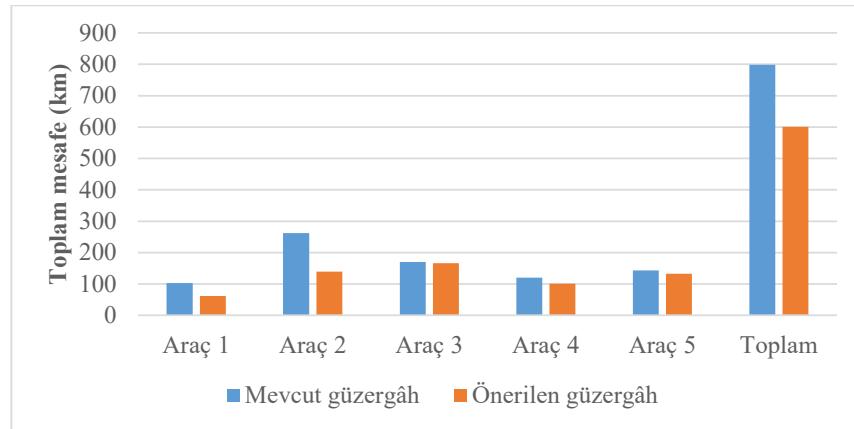
Yakıt Miktarı (lt)	Ton Miktarı	Yağ Katsayısı (1,035)	Joule (41,868)	EF1 (TC/TJ) (20,2)	EF2 (%Verimlilik) (0,99)	EF3 (CO2 M.) (3,6667)	Gigagram (0,001)
7,2 lt	0,0072	0,0074	0,3120	6,3024	6,2394	22,8779	0,0229
18,2 lt	0,0182	0,0188	0,7887	15,9311	15,7718	57,8304	0,0578
12 lt	0,0120	0,0124	0,5200	10,5040	10,3990	38,1299	0,0381
8,5 lt	0,0085	0,0088	0,3683	7,4403	7,3659	27,0087	0,0270
10 lt	0,0100	0,0103	0,4333	8,7533	8,6658	31,7749	0,0318
TOPLAM						177,6218	0,1776

Tablo 7 'da Tier-1 yaklaşımı kullanılarak mevcut duruma ait karbondioksit emisyon miktarı bulunmuştur.

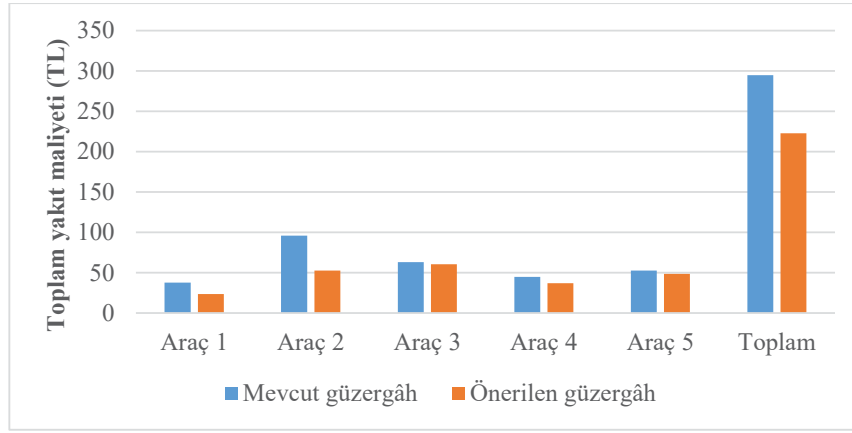
Tablo 8. Önerilen Duruma Ait Karbondioksit Emisyon Miktarı

Yakıt Miktarı (lt)	Ton Miktarı	Yağ Katsayısı (1,035)	Joule (41,868)	EF1 (TC/TJ) (20,2)	EF2 (%Verimlilik) (0,99)	EF3 (CO2 M.) (3,6667)	Gigagram (0,001)
4,5 lt	0,0045	0,0047	0,1950	3,9390	3,8996	14,2987	0,0143
10 lt	0,0100	0,0103	0,4333	8,7533	8,6658	31,7749	0,0318
11,5 lt	0,0115	0,0119	0,4983	10,066	9,9657	36,5412	0,0365
7 lt	0,0070	0,0072	0,3033	6,1273	6,0661	22,2424	0,0222
9,2 lt	0,0092	0,0095	0,3987	8,0531	7,9725	29,2329	0,0292
TOPLAM						134,0901	0,1340

Tablo 8 'de Tier-1 yaklaşımı kullanılarak önerilen duruma ait karbondioksit emisyon miktarı bulunmuştur.

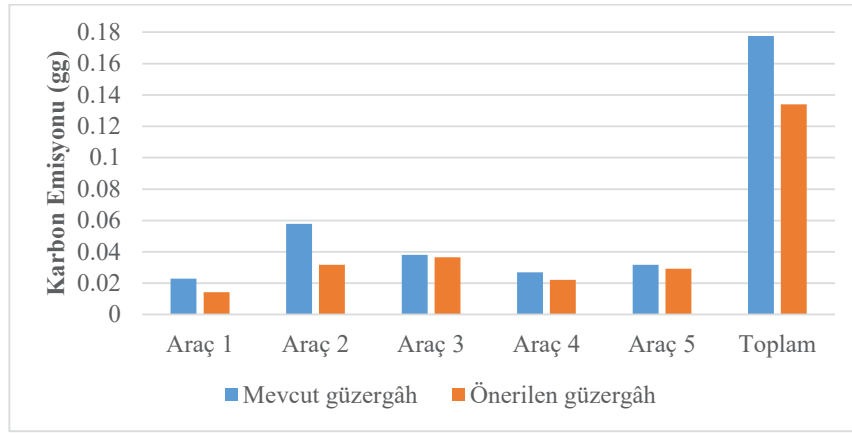
**Şekil 11.** Araç Başına Toplam Km

Mevcut güzergâhlar ve tasarruf algoritması yöntemi ile güncellenmiştir, önerilen güzergâhlara ait toplam km miktarları Şekil 11'de grafik ile gösterilmiştir. Araç başına toplam km miktarlarına bakıldığında mevcut durumdaki birinci aracın kat ettiği mesafe 102,8 km iken önerilen durumda 61,8 km'dir. Aynı şekilde ikinci araç 262,1 km'den 139,7 km'ye, üçüncü araç 170,6 km'den 165,9 km'ye, dördüncü araç 120,6 km'den 101 km'ye, beşinci araç ise 142,8 km'den 132,6 km'ye düşmüştür. Toplam km bakıldığında ise mevcut durumdaki mesafenin 798,9 km'den 601 km'ye indiği görülmektedir.



Şekil 12. Araç Başına Toplam Yakıt Maliyeti

1 litre dizel yakıtın fiyatı 5,28 TL olarak ele alınarak yapılan hesaplar sonucunda toplam yakıt maliyetleri Şekil 12’de grafik olarak gösterilmiş. Araç başına toplam yakıt maliyeti kıyaslandığında mevcut durumdaki birinci aracın yakıt maliyeti 38,02 TL iken önerilen durumda 23,76 TL’dir. Aynı şekilde ikinci araç için 96,01 TL’den 52,8 TL’ye, üçüncü araç için 63,36 TL’den 60,72 TL’ye, dördüncü araç için 44,88 TL’den 36,96 TL’ye, beşinci araç için ise 52,8 TL’den 48,58 TL’ye düşmüştür. Toplam yakıt maliyetine bakıldığında mevcut durumun 295,07 TL, önerilen durumun ise 222,82 TL olduğu görülmektedir.



Şekil 13. Araç Başına Toplam Karbon Emisyon Miktarı (gg)

Toplam yakıt miktarı göz önüne alınarak Tier-1 yaklaşımı ile hesaplamalar yapılmış ve Şekil 13’de toplam karbon emisyon miktarları grafikte gösterilmiştir. Araç başına toplam karbon emisyon miktarındaki değişimler incelendiğinde mevcut durumdaki birinci aracın karbon emisyon miktarı 0,023 gg iken önerilen durumda 0,014 gg’dir. Aynı şekilde ikinci araç 0,058 gg’den 0,032 gg’ye, üçüncü araç 0,038 gg’den 0,036 gg’ye, dördüncü araç 0,027 gg’den 0,022 gg’ye, beşinci araç ise 0,032 gg’den 0,029 gg’ye düşmüştür. Toplam karbon emisyon miktarına bakıldığında mevcut durumun 0,178 gg önerilen durumun ise 0,134 gg olduğu görülmektedir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada personel taşımacılığı için firma servis araçlarının bulunduğu bir vaka ele alınmıştır. Bu servis araçları personelleri işletmeye getirip, götürmek için belli güzergâhlar kullanmaktadır. Yapılan gözlemler ve incelemeler sonucunda mevcut duruma ait güzergâhlar, toplam mesafe, toplam yakıt miktarı ve toplam yakıt maliyeti ile ilgili bilgiler toplanmıştır. Kullanılan güzergâhların iyileştirilmesi, toplam mesafenin, toplam maliyetin ve toplam karbon emisyonunun azaltılması için işletmede çalışmalar yapılmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda araç rotalama problemleri yöntemlerinden tasarruf algoritması kullanılarak yeni rotalar belirlenmiştir. Önerilen rotalara göre toplam mesafe, toplam yakıt miktarı ve toplam yakıt maliyeti bulunmuştur. Mevcut ve önerilen durumlara ait bilgiler elde edildikten sonra tier-1 yaklaşımı uygulanarak araç başına toplam karbondioksit emisyon miktarı hesaplanmıştır. Mevcut durum ile önerilen durum karşılaştırıldığında toplam mesafeden, yakıt miktarından ve yakıt maliyetinden tasarruf edilmiş ve kayda değer iyileştirme gerçekleştiği görülmüştür.

Servis araçlarının güzergâhları iyileştirilerek, firmanın ve çalışanlarının zamandan ve maliyetten tasarruf etmesi sağlanmıştır. Uygulamada tasarruf algoritması ve tier-1 yaklaşımı bir arada kullanılarak yeni bir bakış açısı geliştirilmiştir. Yöntem okul servisleri ve toplu taşıma gibi diğer lojistik hizmetlerinde, bu hizmetleri sağlayan yüklenici firmalarda da uygulanabilecek esnekliğe sahiptir. Bu bakış açısıyla, firmaların ekonomik kaygılarının yanında karbon ayak izinin azaltılması ile toplumun çevresel kaygıları dikkate alması gerektiğinin altı çizilmektedir.

Gelecek çalışmalarda, daha geniş kapsamlı bir lojistik ağına sahip küresel ölçekte bir uygulama ele alınabilir. Tier-1 yöntemi haricinde diğer varsayımlar kullanılarak (örneğin Tier-2, Tier-3) karbon emisyonuna yönelik hesaplar çeşitlendirilebilir. Karbon ayak izinin yanı sıra açığa çıkan metan ve azot dioksit gibi diğer zararlı gazların azaltılması için mevcut çalışma genişletilebilir.

REFERANSLAR

Ak, B., & Koç, E. (2016). Seçilmiş Bir Endüstriyel Tesiste Üretim Çizelgeleme Problemi Ve Genetik Algoritma İle Optimizasyon. Uluslararası Katılımlı 16. Üretim Araştırma Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi İşletme Fakültesi, Türkiye, 21-26.

Atabey, T. (2013). Karbon Ayak İzinin Hesaplanması: Diyarbakır Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.

Atmaca, E. (2012). Bir Kargo Şirketinde Araç Rotalama Problemi ve Uygulaması. TUBAV Bilim Dergisi, 5(2), 12-27.

Barış Keçeci, F. A. (2015). Heterojen Eş Zamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi: Matematiksel Modeller Ve Sezgisel Bir Algoritma. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 185-195.

Bozyer, Z., Alkan, A., & Fıçlalı, A. (2014). Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminin Çözümü İçin Önce Grupla Sonra Rotala Merkezli Sezgisel Algoritma Önerisi. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 7(2), 29-37s.

Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. Operations research, 12(4), 568-581.

Çalışkan, K. (2011). Karınca Kolonisi Optimizasyonu İle Araç Rotalama Probleminin Maliyetlerinin Kümeleme Tekniği İle İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Tobb Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Çeyrekoğlu, S. (2017). Araç Rotalama Problemine Genetik Algoritma Yaklaşımı Ve Örnek Bir Uygulama, Yüksek Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Çiçekli, U. G., Keskin, F. D., & Kocamaz, M. (2016). Bir İmalat Hücreindeki Çizelgeleme Problemi İçin Meta Sezgisel Yöntemlerin Karşılaştırılması: Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama. Uluslararası Katılımlı 16. Üretim Araştırma Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi İşletme Fakültesi, Türkiye, 336-341.

Demir, N., & Taşkın, A. (2013). Life cycle assessment of wind turbines in Pınarbaşı-Kayseri. Journal of cleaner production, 54, 253-263.

Ekizler, H. (2011). Araç Rotalama Probleminin Çözümünde Karınca Kolonisi Optimizasyonu Algoritmasının Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Eryavuz, M., & Gencer, C. (2001). Araç rotalama problemine ait bir uygulama. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 6(1), 139-155.

Karakoç, M. (2012). Karbon Emisyon Muhasebesi Ve Türkiye'de Uygulanabilirliği, Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Afyon, Türkiye.

Keçeci, B., Altıparmak, F., & Kara, İ. (2015). Heterojen Eş-Zamanlı Topla-Dağıt Araç Rotalama Problemi: Matematiksel Modeller Ve Sezgisel Bir Algoritma. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(2), 185-195.

Kemer, B. (2010). Araç Rotalama Problemlerine Genetik Algoritma Yaklaşımı: Bir Gıda Dağıtım Firması Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.

Kiremitçi, B., Kiremitçi, S., & Kesintürk, T. (2014). Zaman pencereci çok araçlı dağıtım toplamalı rotalama problemi için gerçek değerli genetik algoritma yaklaşımı. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi Istanbul University Journal of the School of Business, 43(2), 391-403.

- Koç, Ç., & Karaoğlan, İ. (2016). The Green Vehicle Routing Problem: A Heuristic Based Exact Solution Approach. *Applied Soft Computing*, 39, 154-164.
- Kosif, B., & Ekmekçi, İ. (2012). Araç Rotalama Sistemleri ve Tasarruf Algoritması. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(21), 41-51.
- Özlem, B. (2013). Seçilen Bir Kağıt Fabrikasında Karbon Ayak İzi Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Pehlivan, Y. (2016). Waste Management And Evaluation Of Carbon Footprint in Harbours, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
- Şahin, Y., & Eroğlu, A. (2015). Sipariş Toplama ve Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Problemlerinin Hiyerarşik Çözümü. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(1), 15-28.
- Şeker, Ş. (2007). Araç rotalama problemleri ve zaman pencereli stokastik araç rotalama problemine genetik algoritma yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Şen, T., Cömert, S. E., & Yazgan, H. R. (2015). Kapasite Kısıtlı Araç Rotalama Probleminin Çözümü İçin Yeni Bir Algoritma Geliştirilmesi: Bir Süpermarket Zincirinde Uygulanması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 19(1), 83-88.
- Şimşir, F., & Altunkaynak, H. (2016). Havayolu Şirketi İkram Hizmeti Tedarik Sürecinde Araç Rotalama Problemi. *Uluslararası Katılımlı 16. Üretim Araştırma Sempozyumu*, İstanbul Teknik Üniversitesi İşletme Fakültesi, Türkiye, 1057-1062.
- Uzun, Y.i & Tezel, G. (2016). Engelli Servis Aracı Rotalama Probleminde Değişken Komşuluk Arama Yönteminin Kullanımı. *Uluslararası Engelsiz Bilişim Kongresi*, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye.
- Turanlı, A. M. (2015). Karbon Ayak İzi Kestirimi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi İçin Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Ulutaş, A., Bayrakçıl, A. O., & Kutlu, M. B. (2017). Araç Rotalama Probleminin Tasarruf Algoritması İle Çözümü: Sivas'ta Bir Ekmek Fırını İçin Uygulama. *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 18(1) 185-197.
- Uzumer, E., & Eren, T. (2012). Okul Servisi Rotalama Problemi: Bir Uygulama. *Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 4(2), 26-29.
- Vargün H., Gürkan, S., & Akbulut H. (2015). Sürdürülebilir Bir Çevre İçin Karbon Muhasebesi ve Faaliyet Tabanlı Maliyetleme Sisteminin Entegrasyonu. *Mali Çözüm Dergisi*, 25(132), 11-31.

EKLER

Ek 1. Uzaklık Matrisi

Ek 2. Tasarruf Matrisi

Ek 1. Uzaklık Matrisi (km)

Durak No	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
0	-																													
1	33,9	-																												
2	36,7	6,4	-																											
3	35,9	5,9	0,9	-																										
4	39,4	9,4	3,3	3,5	-																									
5	34,2	4,4	4,4	4,6	1,1	-																								
6	19,7	14,3	18,9	19,2	15,7	14,5	-																							
7	61,9	31,7	25,7	26,0	30,1	27,6	42,6	-																						
8	62,4	32,5	26,4	26,6	30,3	28,3	43,3	0,4	-																					
9	60,2	30,1	24,0	24,3	28,4	25,9	40,8	1,2	0,8	-																				
10	64,1	34,1	27,9	28,2	32,3	29,9	39,6	8,6	8,5	7,7	-																			
11	61,6	24,5	18,4	18,3	25,2	19,1	37,9	11,9	13,2	16,1	8,7	-																		
12	3,8	33,1	37,7	37,9	34,4	33,3	18,7	60,8	60,5	60,0	45,3	51,6	-																	
13	27,5	10,5	14,9	15,1	11,6	10,5	7,7	39,2	38,6	37,2	22,5	28,8	26,0	-																
14	34,4	6,5	10,5	10,8	7,3	6,6	14,6	27,5	28,2	28,4	18,2	24,1	32,9	6,7	-															
15	33,0	9,0	13,5	13,8	10,3	9,1	13,7	27,0	28,1	28,4	21,2	24,1	31,9	5,8	1,0	-														
16	6,2	29,2	7,7	33,8	30,3	29,1	14,6	60,0	55,5	46,0	28,4	47,5	4,7	24,1	27,2	14,9	-													
17	5,0	29,5	33,8	34,1	30,6	29,4	14,9	59,3	55,8	56,1	41,5	47,8	3,5	24,4	27,5	27,0	1,3	-												
18	55,2	31,1	25,0	25,2	29,3	26,9	37,7	7,6	8,9	8,4	14,1	5,5	58,6	33,5	21,0	21,0	57,4	56,1	-											
19	55,5	31,4	25,3	25,5	29,7	27,2	36,9	7,6	7,2	6,6	20,5	7,1	55,1	33,8	21,3	21,3	57,7	56,4	1,0	-										
20	55,8	30,7	24,5	24,8	28,9	26,4	37,3	7,1	8,4	7,8	13,7	6,4	58,2	33,1	20,6	20,6	57,0	55,7	0,7	1,5	-									
21	62,1	32,0	25,9	26,2	30,3	27,8	42,6	2,1	1,7	1,9	7,4	12,3	60,6	34,5	27,2	27,2	58,4	57,1	8,0	6,7	7,3	-								
22	66,2	36,5	30,0	30,3	34,8	32,3	42,0	3,3	3,8	4,2	11,8	14,0	65,0	38,9	29,5	29,5	58,2	56,9	12,4	11,1	11,7	2,5	-							
23	63,3	33,2	26,3	26,5	32,3	29,0	43,7	2,4	2,0	2,3	7,8	12,3	61,7	35,6	27,6	27,6	59,5	58,3	8,3	7,1	7,7	1,8	3,9	-						
24	46,6	16,6	10,4	10,7	14,8	13,1	26,9	21,3	20,9	21,5	4,3	12,6	45,1	19,0	19,1	23,8	42,9	41,6	23,9	22,7	23,3	21,7	26,9	26,1	-					
25	44,7	14,6	8,5	8,8	12,9	11,1	24,9	18,6	18,2	18,5	3,9	10,2	43,2	17,1	17,2	21,8	41,0	39,6	21,2	20,0	20,6	19,0	24,2	23,4	5,7	-				
26	33,3	3,5	7,6	7,8	4,3	3,2	13,6	31,6	29,5	31,6	14,3	21,5	31,8	5,7	7,7	10,5	29,6	28,3	30,8	30,2	30,2	30,3	31,4	34,6	17,1	14,0	-			
27	32,3	3,8	9,5	9,7	9,0	5,1	14,5	32,9	31,5	31,8	16,2	23,4	30,8	4,6	7,0	9,0	28,5	27,3	32,8	32,2	32,1	32,3	32,5	36,6	20,5	15,9	10,7	-		
28	31,9	3,4	7,7	8,0	4,5	3,4	12,2	30,8	29,7	30,1	14,5	21,7	30,4	6,1	3,5	4,2	28,2	2,7	31,0	31,5	30,4	30,5	31,9	34,8	18,6	14,2	7,4	8,3	-	

Ek 2. Tasarruf Matrisi (km)

Durak No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
1	-																												
2	64,2	-																											
3	63,9	71,7	-																										
4	63,9	72,8	71,8	-																									
5	63,7	66,5	65,5	72,5	-																								
6	39,3	37,5	36,4	43,4	39,4	-																							
7	64,1	72,9	71,8	71,2	68,5	39,0	-																						
8	63,8	72,7	71,7	71,5	68,3	38,8	123,9	-																					
9	64,0	72,9	71,8	71,2	68,5	39,1	120,9	121,9	-																				
10	63,9	72,9	71,8	71,2	68,4	44,2	117,4	118,0	116,6	-																			
11	71,0	79,9	79,2	75,8	76,7	43,4	111,6	110,8	105,7	117,0	-																		
12	4,6	2,8	1,8	8,8	4,7	4,8	4,9	5,7	4,0	22,6	13,8	-																	
13	50,9	49,3	48,3	55,3	51,2	39,5	50,2	51,3	50,5	69,1	60,3	5,3	-																
14	61,8	60,6	59,5	66,5	62,0	39,5	68,8	68,6	66,2	80,3	71,9	5,3	55,2	-															
15	57,9	56,2	55,1	62,1	58,1	39,0	67,9	67,3	64,8	75,9	70,5	4,9	54,7	66,4	-														
16	10,9	35,2	8,3	15,3	11,3	11,3	8,1	13,1	20,4	41,9	20,3	5,3	9,6	13,4	24,3	-													
17	9,4	7,9	6,8	13,8	9,8	9,8	7,6	11,6	9,1	27,6	18,8	5,3	8,1	11,9	11,0	9,9	-												
18	58,0	66,9	65,9	65,3	62,5	37,2	109,5	108,7	107,0	105,2	111,3	0,4	49,2	68,6	67,2	4,0	4,1	-											
19	58,0	66,9	65,9	65,2	62,5	38,3	109,8	110,7	109,1	99,1	110,0	4,2	49,2	68,6	67,2	4,0	4,1	109,7	-										
20	59,0	68,0	66,9	66,3	63,6	38,2	110,6	109,8	108,2	106,2	111,0	1,4	50,2	69,6	68,2	5,0	5,1	110,4	109,8	-									
21	64,0	72,9	71,8	71,2	68,5	39,2	121,9	122,8	120,4	118,8	111,4	5,3	55,1	69,3	67,9	9,9	10,0	109,3	110,9	110,6	-								
22	63,6	72,9	71,8	70,8	68,1	43,9	124,8	124,8	122,2	118,5	113,8	5,0	54,8	71,1	69,7	14,2	14,3	109,0	110,6	110,3	125,8	-							
23	64,0	73,7	72,7	70,4	68,5	39,3	122,8	123,7	121,2	119,6	112,6	5,4	55,2	70,1	68,7	10,0	10,0	110,2	111,7	111,4	123,6	125,6	-						
24	63,9	72,9	71,8	71,2	67,7	39,4	87,2	88,1	85,3	106,4	95,6	5,3	55,1	61,9	55,8	9,9	10,0	77,9	79,4	79,1	87,0	85,9	83,8	-					
25	64,0	72,9	71,8	71,2	67,8	39,5	88,0	88,9	86,4	104,9	96,1	5,3	55,1	61,9	55,9	9,9	10,1	78,7	80,2	79,9	87,8	86,7	84,6	85,6	-				
26	63,7	62,4	61,4	68,4	64,3	39,4	63,6	66,2	61,9	83,1	73,4	5,3	55,1	60,0	55,8	9,9	10,0	57,7	58,6	58,9	65,1	68,1	62,0	62,8	64,0	-			
27	62,4	59,5	58,5	62,7	61,4	37,5	61,3	63,2	60,7	80,2	70,5	5,3	55,2	59,7	56,3	10,0	10,0	54,7	55,6	56,0	62,1	66,0	59,0	58,4	61,1	54,9	-		
28	62,4	60,9	59,8	66,8	62,7	39,4	63,0	64,6	62,0	81,5	71,8	5,3	53,3	62,8	60,7	9,9	34,2	56,1	55,9	57,3	63,5	66,2	60,4	59,9	62,4	57,8	55,9	-	



Predicting the Turkish Stock Market BIST 30 Index using Deep Learning

Halil Raşo ¹ , Mehmet Demirci ^{*1} 

¹Gazi University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Ankara, Turkey

Başvuru/Received: 21/05/2018

Kabul/Accepted: 12/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Abstract

The non-linearity and high change rates of stock market index prices make prediction a challenging problem for traders and data scientists. Data modeling and machine learning have been extensively utilized for proposing solutions to this difficult problem. In recent years, deep learning has proved itself in solving such complex problems. In this paper, we tackle the problem of forecasting the Turkish Stock Market BIST 30 index movements and prices. We propose a deep learning model fed with technical indicators and oscillators calculated from historical index price data. Experiments conducted by applying our model on a dataset gathered for a period of 27 months on www.investing.com demonstrate that our solution outperforms other similar proposals and attains good accuracy, achieving 0.0332, 0.109, 0.09, 0.1069 and 0.2581 as mean squared error in predicting BIST 30 index prices for the next five trading days. Based on these results, we argue that using deep neural networks is advisable for stock market index prediction.

Key Words

“Stock market index prediction; Deep learning; Deep Neural Network; Stock index; BIST”

1. INTRODUCTION

Stock market prediction is a difficult task due to the huge amount of data to be processed, frequent and nonlinear stock price changes, and the diversity of influencing factors, such as national/global economic conditions and news, investors moods etc. In addition, the efficient market hypothesis states that stock movements are in accordance with the random walk model, thus making it highly improbable to predict their movement directions and prices.

Some investors use technical indicators and oscillators to build charts and patterns to help them discover price trends, and devise strategies for high-return investments. This method is called technical analysis and its proponents believe that the market discounts everything, prices move in trends and historical trends repeat themselves. Technical analysis or charting indicators focus on historical values and movements of index prices as the entry point of the financial market analysis, and build charts illustrating hidden points that investors can use in their investment strategies.

Another camp of investors rely on fundamental indicators rather than technical ones and they are called fundamental analysts. They analyze the volume of shares, financial and political news, investors' moods and other factors that influence the market. The main difference between these two schools of financial market analysis is the period of time that investment strategies consider. Technical analysis focuses on the next short time period whereas fundamental analysis considers longer time periods, i.e. at least one quarter or more.

Many traditional machine learning proposals like support vector machines, variant decision trees, k-nearest neighbors and artificial neural networks have been suggested for stock market prediction. These algorithms are powerful in many problems but in such highly volatile and non-linear problems they suffer from stability issues. Deep learning has proved itself a promising solution for such environments and showed good performance (Akita et al., 2016).

In this work, we propose a deep learning model trained on the most important technical oscillators of the BIST 30 Index of the Turkish stock market. These indicators are noted by famous technical analysts and www.investing.com, a popular website among traders and investors. To the best of our knowledge, this paper is the first in the literature using a deep learning model to predict Turkish stock market index prices. We have conducted our experiments on historical index data obtained from www.investing.com for a 27-month period from 01.01.2016 to 11.04.2018. Our model was able to produce good predictions with low error rates, as discussed in the evaluation section.

The rest of the paper is organized as follows. A brief review of related works is given in Section 2. Technical indicators and oscillators used in our proposal have been described and fundamental indicators are briefly mentioned in Section 3. Our proposal and the walkthrough of our method have been explained in detail in Section 4. Section 5 describes our experiments and presents the evaluation results. Finally, conclusions and future work areas are highlighted in Section 6.

2. RELATED WORK

Technical analysis and fundamental analysis are the two main schools of thought when it comes to analyzing the financial markets. While technical analysis focuses on historical data of stock prices and volumes, fundamental analysis gives significant weight to investors' sentiments, economic and political conditions and news. Nassirtoussi et al. (2015) proposed an approach to predict intraday forex currency-pair directions by analyzing breaking financial news headlines. Another work done by Shynkevich et al. (2015) analyzed the effects of market-related articles on stock trends and prices. The authors have developed a model to predict these values from industry-specific articles. Oliveir et al. (2017) analyzed the impact of microblogging data related to stock market news on the investors' sentiments. The authors forecast the returns, volatility and trading volume of diverse indices and portfolios from tweet messages. Ni et al. (2015) investigated the effects of investors' sentiments on stock market index prices and directions. According to their findings, the impact of investor sentiment is considerable for up to 2 years. Its effect is asymmetric, that is, it is positive and large for stocks with high returns in the short term, while negative and small in the long term. Leigh et al. (2002) studied the effectiveness of technical analysis approaches using multiple technical indicators and how they are used to achieve high return rates using decision making systems. They emphasized the importance of the "bull flag" price and volume pattern heuristic in getting abnormal results. Later, the indicators noted by these schools are used as inputs or features to prediction systems. Machine learning algorithms are the primary techniques used for predicting stock prices and directions. Gui et al. (2014) proposed an interesting approach through which the prediction is not a specific number but a limit instead. The authors transformed financial time series into fuzzy particle sequences and then used support vector machine to build a regression model on the lower and upper bounds to decrease the estimation error. Dechow et al. (2001) showed how short-sellers benefit from those factors in refining their investment strategies and maximizing their returns. Another work (Lewellen et al., 2010) emphasized the importance of key factors of fundamental analysis and suggested some improvements in empirical tests. Dechow et al. (2010) reviewed the various measures of "earning quality" and how it is related to the company fundamental performance. Qian et al. (2007) used the Hurst exponent to select highly predictable period, and later training patterns or indicators are generated by auto-mutual information and false nearest neighbor methods. Trained by an ensemble of inductive machine learning approaches such as artificial neural networks, decision trees and k-nearest neighbors, the model achieved 60- 65% of accuracy.

Sands et al. (2015) compared different classification proposals: Support vector machine using least squares implementation, artificial neural networks, naïve Bayes classifier and SVM optimized by particle swarm optimization in building an investment portfolio with maximum gain and minimum risk. According to their experiments, SVM optimized by particle swarm optimization is capable of predicting the stock values with high accuracy. Another work (Ince et al., 2017) proposed a hybrid model for forecasting stock market movements. This model is composed of ICA for selecting important features between some technical indicators and then using kernel methods such as SVM, TWSVM, MPM, KFDA and random walk to build a model for predicting stock movements. According to their experiments on Dow-Jones, Nasdaq and S&P500 indices, the models like ICA-SVM, ICA-TWSVM, ICA-MPM and ICA-KFDA have achieved high accuracy.

Bastı et al. (2015) addressed the underpricing of Turkish companies in initial public offers traded in Istanbul Stock Exchange. They employed decision tree and support vector machine to investigate the key factors affecting the short-term performance of initial IPOs. Another approach (Chen et al., 2017) proposed a hybrid model composed of feature weighted of both support vector machine and k-nearest neighbors. The authors applied the model on two well-known Chinese stock market indices, Shanghai and Shenzhen stock exchange indices. Teixeira et al. (2010) combined technical analysis and k-nearest neighbors. Qian et al. (2007), Zhang et al. (2009), Moghaddam et al. (2016), and Boyacioglu et al. (2010) have investigated the use of artificial neural networks in stock market prediction. A recent work (Akita et al., 2016) using deep learning for stock market prediction was applied on Tokyo stock exchange market. The authors used paragraph vector to convert newspaper articles into distributed representations and used them with historical prices to predict values close to the actual stock prices.

We have noticed that most of the proposals based on technical analysis use their indicators heuristically without any features engineering or what recently technical analysts prefer to use between such indicators. For this reason, we did feature engineering and chose the most important ones noted by highly reputed global investment website. The closest study to our proposal was the one by Akita et al. (2016) due to its use of deep learning techniques but what differentiates our work is applying deep learning for Turkish stock exchange and using technical analysis in feature selection.

3. BACKGROUND: TECHNICAL ANALYSIS AND INDICATORS

In this section, we formalize the problem to be addressed. Prediction of stock index prices is a time series problem where each sample or observation contains the price values that an index can take during a trading day such as open, low, high, volume, trading date and closing price. The goal is to predict the price value for the following trading days with low errors. In this paper, we use samples and observations on a daily basis. This could be adapted by using other trading periods like minutes, weeks, months or even years. We express this in mathematical terms as follows:

$$closing = f(open, high, low, volume, t) \quad (1)$$

We build a deep learning model using certain technical analysis indicators as features. The following subsection describes technical analysis and the indicators we have used.

3.1. Technical Analysis

Technical analysts believe that historical prices of stock indices contain very important hidden information and they are highly related to the current prices. According to them, this could be explored by what they call indicators, oscillators and charts. So, the prices and directions of stock indices could be predicted by using such indicators. In that case we can rewrite the formula as given in Eq. 2.

$$closing = f(tech_{time-period}) \quad (2)$$

Technical analysis relies on analyzing certain indicators to extract information such as buy/sell signals from historical data and construct high-return investment strategies. There are approximately 150 technical indicators, but we only provide a brief description of the most important ones which are accepted by the popular investment portal www.investing.com.

3.1.1. Relative Strength Index – RSI

RSI is the most important momentum indicator developed by noted analyst J. Welles Wilder Jr and is explained in (Welles, 1978). It is used to identify overbought and oversold regions of the analyzed index. These regions are highly significant to the technical analyst or the trader to give buy or sell orders. What RSI does is observing the magnitude of recent gains and losses over a specified time period (14 trading days by default) to measure speed and change of price movements of an index. RSI is calculated by the following formula:

$$RSI = 100 - \frac{100}{HH - LL} \quad (3)$$

There are two important RSI levels: (70, 30). When the value of RSI exceeds 70, this interpreted as a sell signal as the price becomes overvalued. On the other hand, when the RSI value falls under 30, a buy signal is generated. Some investors use extreme version of the RSI indicator where these two levels are (80, 20). It is important to mention that the time unit considered by the technical indicators in our calculations is one day but could be other trading units like minutes, hours, months or years.

3.1.2. Bollinger Bands – BB:

BB is a momentum indicator or chart developed in the 1980s by noted trader John Bollinger (2001) through which the price of the index is bracketed by an upper and lower band along with a 21-day simple moving average (the default time period is 21 trading units). The upper and the lower band is double standard deviation of the middle band. According to Bollinger, when the price exceeds the upper band, it becomes overvalued and there will be a correction, so a sell opportunity is generated. Conversely, when it goes below the lower band, then the price is undervalued and it should be corrected, so a buy signal is generated.

3.1.3. Stochastic Oscillator – STOCH:

STOCH is a momentum indicator or oscillator frequently used by market traders and it compares the price of an index to the range of its prices over a certain period of time (The default time period is 14 trading units). The stochastic oscillator is calculated using the following formula:

$$\%K = 100 * \frac{(C-L_{14})}{(H_{14}-L_{14})} \quad (4)$$

Where:

C is the most recent closing price,

L_{14} is the low of the 14 previous trading sessions,

H_{14} is the highest price traded during the same 14-day period,

$\%K$ is the current market rate for the currency pair,

$\%D$ is 3-period moving average of $\%K$.

3.1.4. Williams %R:

Williams %R is a momentum indicator developed by famous technical analyst Larry Williams (1973), and it is the inverse of the Fast-Stochastic Oscillator. Williams %R reflects the level of the closing price relative to the highest high for the look-back period. In contrast, the Stochastic Oscillator reflects the level of the closing price relative to the lowest low. Williams %R is calculated by the following formula:

$$\%R = \frac{HH-C}{HH-LL} * -100 \quad (5)$$

Where:

HH is the highest high,

C is the closing price,

LL is the lowest low.

The time period considered by the formula is 14 trading units.

3.1.5. Price Rate of Change – ROC:

The price rate of change (ROC) is a technical indicator of momentum that measures the percentage change in price between the current price and the price n periods in the past. It is calculated by using the following formula:

$$ROC = \frac{C-C_n}{C_n} * 100 \quad (6)$$

Where

C is the most recent closing price,

C_n is the closing price n periods ago.

3.1.6. Simple Moving Average – SMA:

SMA is the simplest momentum indicator used by many traders and calculated by adding the closing price of the index for a number of time periods (The usual time period like other momentum indicators is 14 trading units) then dividing this total by the number of considered time periods as in the following formula:

$$SMA = \frac{\sum_{i=0}^n C}{n} \quad (7)$$

3.1.7. Exponential Moving Average – EMA:

An exponential moving average (EMA) is the exponential variation of the standard simple moving average except that in the former we give more importance to the latest closing prices of the index. This type of moving average reacts faster to recent price changes than a simple moving average and is calculated by using the following formula:

$$EMA_t = (C * K) + (EMA_y * (1 - K)) \quad (8)$$

$$K = \frac{2}{(N+1)} \quad (9)$$

Where:

EMA_t is the current EMA value,

EMA_y is the previous EMA value,

N is the length of the EMA.

3.1.8. Commodity Channel Index – CCI:

Another momentum indicator called Commodity Channel Index or CCI was developed by Donald Lambert and it measures the current price level relative to an average price level over a given period of time (14 trading units). CCI is relatively high when prices are far above their average, and CCI is relatively low when prices are far below their average. In this manner, CCI can be used to identify overbought and oversold levels which are important levels considered by traders to make buy and sell orders. It is calculated by using the following formula:

$$CCI = \frac{(C - SMA_{20})}{0.15 * \text{Mean deviation}} \quad (10)$$

3.1.9. On-Balance Volume - OBV:

On-balance volume or OBV is a momentum indicator developed by Joseph E. Granville (1976) that considers index volume flow to predict changes in its price. According to him, the price of the index will eventually jump upward when volume increases sharply without a significant change in it and vice versa. It is computed by using the following formula:

$$OBV_C = \sum V_{PN} \quad (11)$$

Where:

OBV_C in the current on-balance volume,

V_{PN} is the positive-negative volume (volume is positive if current volume is bigger than previous volume)

3.1.10. Moving average convergence divergence - MACD:

Moving average convergence divergence or MACD is a trend-following momentum indicator that shows the relationship between two moving averages of prices. The MACD is calculated by subtracting the 26-day exponential moving average (EMA) from the 12-day EMA. A nine-day EMA of the MACD, called the "signal line", is then plotted on top of the MACD, functioning as a trigger for buy and sell signals. MACD is calculated by the following formula:

$$MACD = (EMA_{26} - EMA_{12}) \quad (12)$$

3.1.11. STOCHRSI:

Some momentum indicators give a good performance when they are accompanied by other technical or momentum indicators. STOCHRSI is one such indicator used in technical analysis that ranges between zero and one. It is created by applying the Stochastic Oscillator formula to a set of Relative Strength Index (RSI) values rather than standard price data. Using RSI values within the stochastic formula gives traders an idea of whether the current RSI value is overbought or oversold - a measure that becomes specifically useful when the RSI value is confined between its signal levels of 20 and 80.

3.2. Fundamental Analysis:

Fundamental analysts believe in fundamental factors rather than technical ones. They care about the intrinsic values of stocks and take into account everything related to the stocks such as earnings, market shares, financial conditions, news and investors' sentiments. Contrary to technical analysts, fundamental analysts perform their analysis and calculations for a sufficiently long time period and try to minimize their transactions. Eq. 13 gives the estimation from fundamental analysts' point of view.

$$closing = f(\text{fund}_{\text{time-period}}) \quad (13)$$

4. Proposed Model

Historical data of the stock index are quite simple and contain only few values that it can take during a trading unit (hour, day, month or year) such as open, high, low, volume and closing price. Our goal is to predict the closing price from these values, which is a challenging task due to the volatility of these prices. We need to calculate technical indicators from such values as these indicators hold valuable hidden information about prices. There are approximately 150 indicators, below we list the most important ones as noted by technical analysts and by a popular investment portal. Selecting and calculating these oscillators is the first step of our model which consists of two parts:

4.1. Calculation of Technical Indicators:

This step calculates technical indicators or oscillators from historical data of BIST 30 index price and volume. While some of these indicators depend only on the closing price of the index, others depend on the low and high as well as the closing price. For instance, one of the oscillators called On-Balance Volume (OBV) depends on the volume value of the index. The calculation of these oscillators is based on the default time period of each one. The output of this calculation will be the input of our deep NN. In other words, they will be accepted like its features.

4.2. Deep Neural Network (Deep Learning):

Artificial Neural Network or ANN is one of the most important research areas in artificial intelligence and machine learning. The main idea behind ANN is inspired by the natural neural network of the human nervous system. Neurons are imitated with computing units connected with each other in the form of a network through axons and dendrites. Each neuron or node receives

inputs from other nodes through its dendrites, performs an operation on them and sends the result of that operation to other neurons. The inputs to the ANN (also known as features) are technical indicators in our case.

A perceptron is a binary classifier that uses a linear prediction function. Most ANNs are networks of perceptrons, also known as feed forward neural networks, organized into fully connected layers. While a perceptron is suitable when trying to build a linear decision boundary, simple ANN becomes unfeasible in the case of building a regression model with many features, hence deep neural networks are needed. Deep NNs are simply ANNs with more hidden layers and neurons in each of them as illustrated in Fig. 1. In the following subsection, we explain the steps taken in our work to build a regression model to predict the future prices of the BIST 30 index.

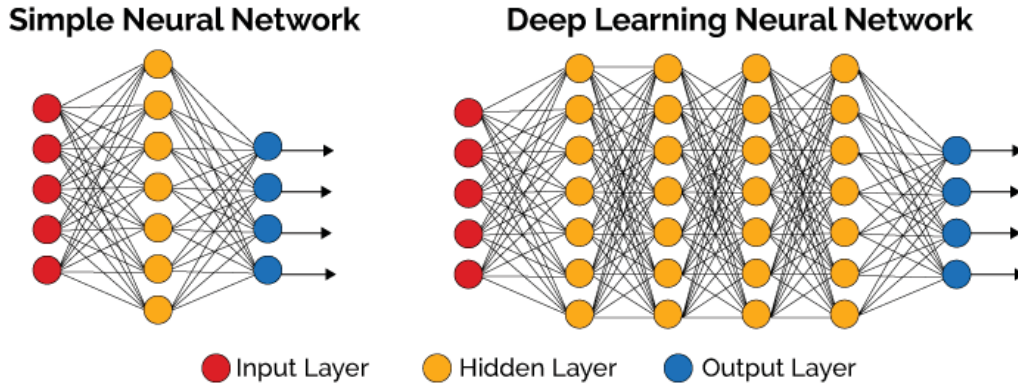


Fig. 1. General Structure of an artificial neural network. Deep neural networks consist of more hidden layers and more neurons in each hidden layer (Vázquez, F. 2017)

4.3. Walkthrough

Here, we provide a step-by-step explanation of the phases of our method.

4.3.1. Gathering data:

As our problem is analyzing the Turkish stock exchange market in order to predict future price movements of BIST 30, we needed to gather significant amount of financial data. One of the most reliable websites followed by many traders is

www.investing.com. We obtained our dataset from that website for a period of more than two years. The prices of stock indices are generally given in csv format containing the values of closing, opening, low, high, and volume of the index. Table 1. shows a sample portion of the dataset.

Table 1. Sample of historical data of BIST 30

Date	Price	Open	High	Low	Volume
04.01.16	85,981.14	87,428.49	87,428.49	85,023.80	339.09
05.01.16	86,147.25	85,981.14	86,940.28	84,502.58	488.09
06.01.16	86,862.50	86,147.25	86,970.83	84,904.24	596.21
07.01.16	87,417.44	86,862.50	87,577.47	84,994.29	705.17
08.01.16	86,234.62	87,417.44	88,226.75	85,932.68	565.21
11.01.16	86,825.17	85,933.88	87,568.90	85,517.25	500.37
12.01.16	87,724.37	86,783.72	88,216.83	86,094.12	634.06

4.3.2. Data preparation:

Cleaning and processing data is necessary in most cases before applying machine learning algorithms. The datasets related to financial markets suffer from several specific problems:

- Some companies may not exist any longer.
- The market is closed during national holidays and on the weekends.
- For technical problems prices contain negative errors.
-

These issues should be addressed when constructing a machine learning model. Two important preprocessing issues are normalization and finding correlated features. It is strongly advised to make the features data range [0, 1]. Fig. 2 and Fig. 3 show the histograms of the features before and after normalization. We see that all of the features are normalized, and their values are in the range [0, 1] except the price since it is not a feature, but the target value we are going to predict.

Another issue is finding out if, and which, features are correlated with each other. Such features should be eliminated as correlated features cause an ANN to overfit and have a bad impact on its performance. According to technical indicator formulas, we expect high correlation between SMA and EMA as they both represent moving averages. If so, we should eliminate one as it serves nothing. Fig. 4 confirms our intuition that these two features are highly correlated. It is important to notice that some indicators

have more than one output and these outputs are correlated with each other we keep them as they are. Fig. 5 shows the pairwise features correlation. We see that OBV indicator is highly correlated with Bollinger bands (BB) indicator, so we drop it from our calculations. As a result, we have dropped two indicators (SMA and OBV), and used the remaining nine indicators from Section 3.1 in our model.

4.3.3. Choosing a model:

Selecting a suitable model is critical for the performance of machine learning. In this work, we try to predict stock index values, so we focus on regression. For reasons outlined in the introduction, we pick a deep neural network trained over technical oscillators obtained from technical indicators calculator.

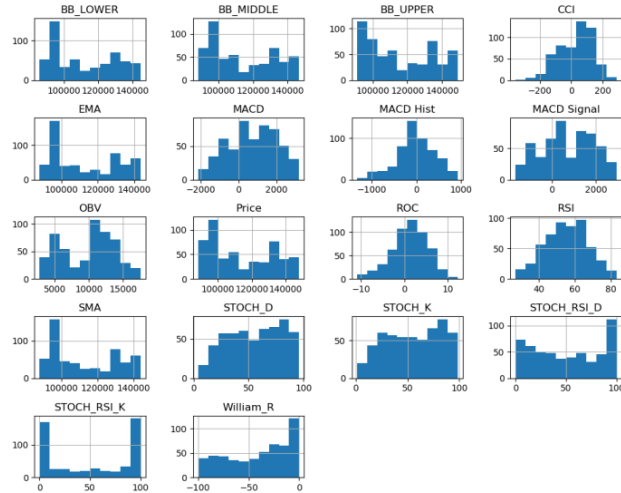


Fig. 2. Histogram of features before normalization

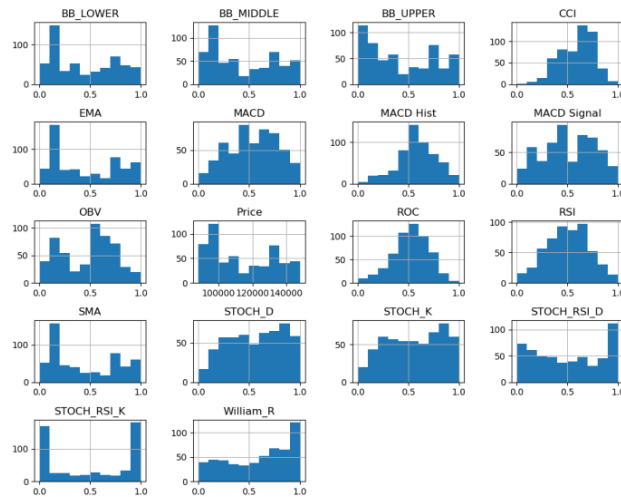


Fig. 3. Histogram of features after normalization

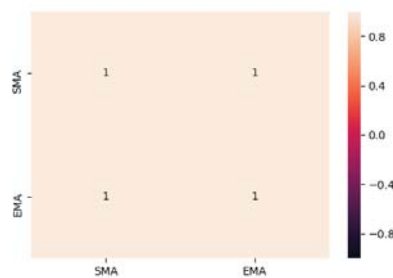


Fig. 4. High correlation between SMA and EMA

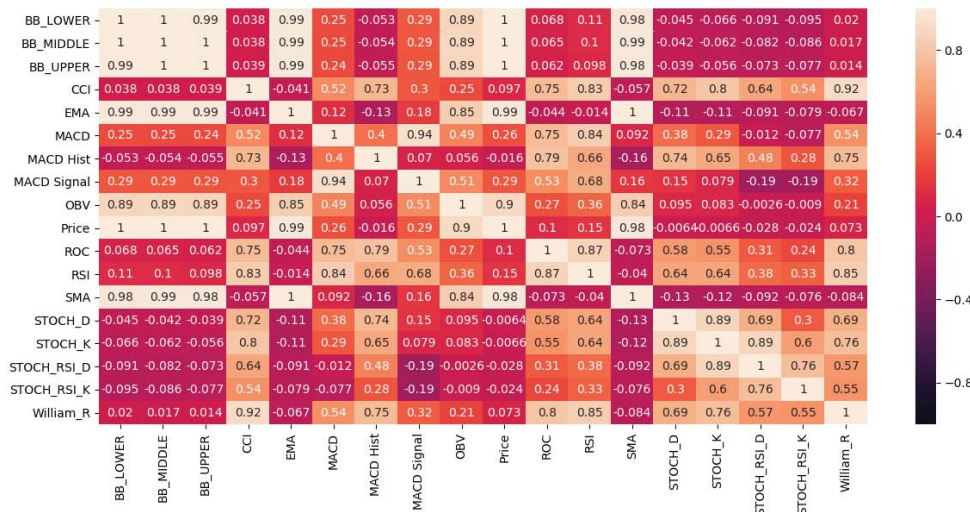


Fig. 5. Pairwise features correlations. OBV indicator is highly correlated with BB indicators.

4.3.4. Training:

Training a machine learning model means adjusting the model parameters to reduce the loss and achieve the desired prediction. Parameters in our case are neuron weights and bias. We train our deep NN using Keras API over the TensorFlow framework developed by Google. We have used Keras sequential model API with ReLU (Rectified Linear Unit) Activation Function for hidden layers. As our target model is a regression model, there is no need for an activation function in the output layer. The last point that we should mention is the optimizer algorithm which is responsible for adjusting weights and bias. We have used Adam adaptive moment estimation optimizer.

4.3.5. Evaluation:

A common split ratio between the training set and the test set is 80-20, and we use this ratio. We could not use cross validation when splitting the test set from the training set because our problem is time-series prediction and in such a situation the algorithm learns on the first portion of the dataset (training set) and is then evaluated on the test set (the last portion of the data). In other words, the algorithm could not be trained on recent data and tested on older data. So, our model is trained on the first 80% of our dataset (BIST 30’s historical data for 27 months of trading) and it is tested over the last 20% after shifting the y values according to the target trading day.

4.3.6. Hyperparameter tuning:

Typically, it is hard to generate a robust and highly accurate model on the first run of an algorithm. Thus, some parameters of the model should be readjusted to decrease the loss of the regression model. Possible changes include increasing or decreasing the number of hidden layers, number of the neurons in such layers, activation function and optimizer algorithm used for training the network. We have achieved the desired performance with 7 hidden layers and 2 dropout layers, Relu as an activation function and Adam as an optimizer. Fig. 6. shows our network where the input layer has 15 neurons (technical indicators after dropping SMA and OBV) and the output layer has only one neuron as we try to predict the index value (one value). Additionally, there are 7 hidden layers with 512, 256, 128, 64, 32, 16, and 8 neurons. There are two dropout layers after the first and the second hidden layer with 30% and 25% as dropout rates respectively.

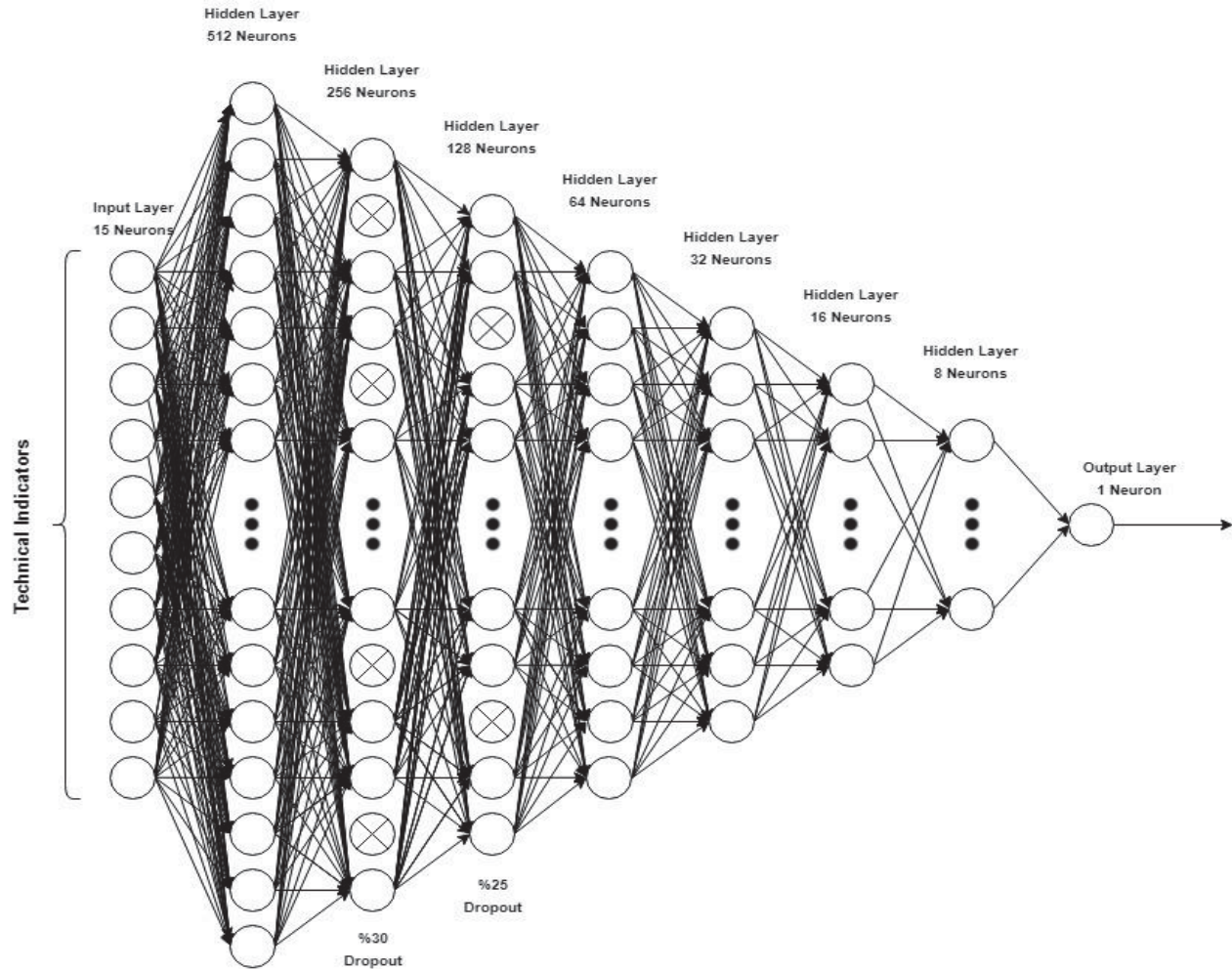


Fig. 6. Deep neural network used in our work

4.3.7. Prediction:

After adjusting the parameters which helped to obtain an acceptable model, this model applied over the test set data to make predictions and evaluate the performance using various metrics.

5. EXPERIMENTAL RESULTS

We have conducted our experiments on a dataset gathered from 01.01.2016 to 11.04.2018 on www.investing.com. Each observation or row contains the trading date, closing, opening, low and high price values as well as the volume and change percentage with respect to the previous trading day. After preprocessing our data and clearing out negative and null values, we calculate the technical indicators or oscillators to be used as features in our model. We split the dataset into training set X and test set y and train the deep neural network. We use 80/20 as the training/test split ratio where the first 80% of data (BIST's historical data for 27 months of trading) is used as training set and the last 20% of data is used as test set. The y values in each training and test portion are shifted according to the trading day. For example, if we want to predict the index value for the next trading day we shift the y values with one and for second trading day with two and so on.

One important point we should mention here is that as our problem is a time-series problem, in order to predict the price value after one or two trading days we should shift the target column as much as needed. For example, to predict the index closing price for the next day, we should shift y by one row, and by two rows in the case of predicting the price for the next two days. This mechanism is known as window mechanism.

As our problem is a regression problem, we use mean squared error (MSE), R2 score, mean absolute error (MAE) and mean absolute percentage error (MAPE) metrics to evaluate the performance of our model and compare it with other methods in the literature (Patel et al., 2015), (Sakarya et al., 2015). We have used multiple performance metrics as each metric yields some valuable information not supplied by the others. For example, sometimes the MSE is very low but the R2 score is negative, which means that the model is arbitrary and did not train well. Generally, the metrics except R2 are considered better when close to zero, whereas the best value for R2 is 1.

Fig. 7. shows the loss achieved by our model. As the loss trends towards and stays close to 0, this means that our model is trained well. Table 4 gives the performance metrics achieved by our deep learning model for the first five trading days and compare them with two other techniques: SVR (support vector regression) and regular ANN (artificial neural network). Our deep learning model clearly outperforms ANN for the first five trading days and SVR for the first four trading days, whereas SVR gives better results for the fifth trading day. Also, our deep model outperforms the proposals presented by Patel et al. (2015) and by Sakarya et al. (2015) as illustrated in Table 2 and Table 3 using the metrics reported in those works. Fig. 8. plots predicted closing prices vs. real closing prices for the five next trading days. We observe that the predicted prices closely follow the actual trends.

Table 2. Comparison between our proposal and work by Patel et al. (2015) using MSE as metric.

Trading day	Our Proposal	Other proposal
1st trading day	0.0332	0.4427
2nd trading day	0.1090	0.8748
3rd trading day	0.0900	1.3556
4th trading day	0.1069	1.8445
5th trading day	0.2581	2.3455

Table 3. Comparison between our proposal and work by Sakarya et al. (2015) using MAPE as metric.

	Our Proposal	Other proposal
next trading day	1.0676	2.015

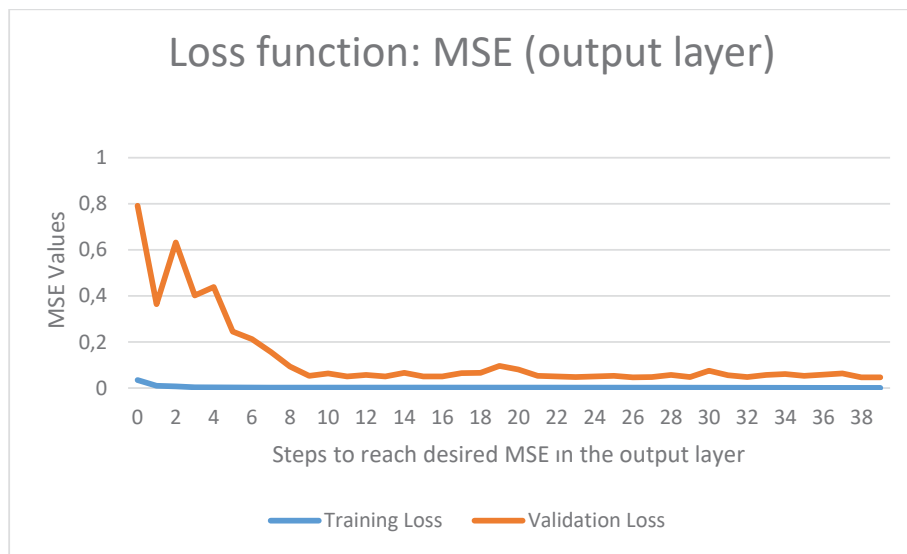


Fig. 7. Loss achieved by our model for the next trading day

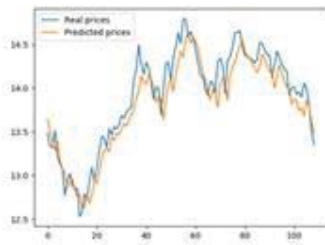


Fig. 8.a Real vs predicted prices for 1st trading day.

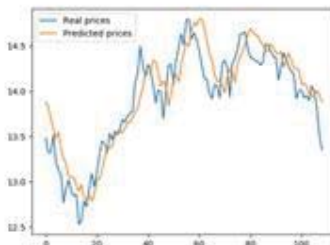


Fig. 8.b Real vs predicted prices for 2nd trading day.



Fig. 8.c Real vs predicted prices for 3rd trading day.

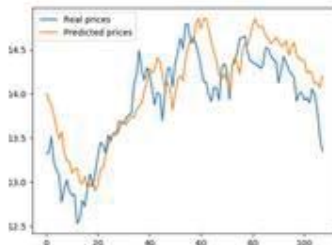


Fig. 8.d Real vs predicted prices for 4th trading day.

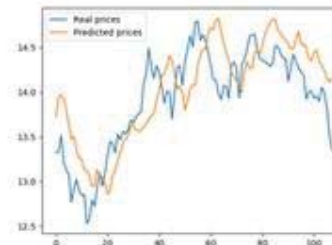


Fig. 8.e Real vs predicted prices for 5th trading day.

Fig. 8. Actual vs. predicted prices for the next five trading days.

Table 4. Performance comparison for the next five trading days.

		MSE	R2 Score	MAE	MAPE
1 st Trading Day	Deep Model	0.0332	0.8937	0.1487	1.0676
	SVR	0.1846	0.410	0.3823	2.7185
	ANN	0.8866	-1.8311	0.7703	5.537
2nd Trading Day	Deep Model	0.1090	0.6518	0.2714	1.6726
	SVR	0.1448	0.5374	0.3188	2.2634
	ANN	0.6971	-1.2260	0.6747	4.8565
3rd Trading Day	Deep Model	0.0900	0.7135	0.2532	1.6052
	SVR	0.1009	0.6789	0.2580	1.8394
	ANN	0.4554	-0.4488	0.5635	4.0630
4th Trading Day	Deep Model	0.1069	0.6598	0.2669	1.6103
	SVR	0.0996	0.6831	0.2609	1.8694
	ANN	5.9874	-18.045	2.2313	15.8569
5th Trading Day	Deep Model	0.2581	0.1787	0.4115	3.1046
	SVR	0.1496	0.5240	0.3160	2.2551
	ANN	2.9615	-8.4205	1.6230	11.5143

6. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

The non-linearity and high volatility of stock market index prices make it challenging to forecast these prices. Successful prediction of stock market index values would immensely help investors devise a high-return investment strategy. Generally, stock market prediction can be categorized into two camps in terms of the features used to build prediction models: Technical analysis-based

proposals, fundamental analysis-based proposals. We addressed the BIST 30 index prediction problem using deep learning where features are selected from common important technical indicators. Using data from 01.01.2016 to 11.04.2018, we trained and tested our model to show that our model outperforms other techniques like ANN and SVR as well as comparable proposals in the literature (Patel et al., 2015, Sakarya et al., 2015). Therefore, we conclude that deep learning in this context has proved itself as a promising solution for such a complex task.

Stock market index prediction can be divided into two main broad categories in terms the output of predictions: Stock index price prediction (regression model, which is what we have focused on) and stock index direction prediction (classification model) which can be either up or down. The latter is important for building investment strategies containing more than one index. In future work, we plan to predict the index direction using deep learning with the same indicators. Another future work area is combining fundamental and technical indicators and using them together as features of the deep neural network. Also, another potential work could be adding breaking news to features sets to make features more complete and improve learning performance. Finally, all proposals are currently applied on offline datasets, and it would be useful to extend the model to handle live data as well.

REFERENCES

- Akita, R., Yoshihara, A., Matsubara, T. & Uehara, K. (2016). Deep learning for stock prediction using numerical and textual information. *IEEE, Computer and Information Science (ICIS)*.
- Basti, E., Kuzey, C. & Delen, D. (2015). Analyzing initial public offerings' short-term performance using decision trees and SVMs, *73*, 15-27.
- Bollinger, J. (2001). *Bollinger on Bollinger Bands*, McGraw-Hill Education.
- Boyacioglu, M. A. & Avci, D. (2010). An Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System (ANFIS) for the prediction of stock market return: The case of the Istanbul Stock Exchange. *Elsevier, Expert Systems with Applications*, *37*(12), 7908-7912.
- Chen, Y. & Hao, Y. (2017). A feature weighted support vector machine and K-nearest neighbor algorithm for stock market indices prediction. *Elsevier, Expert Systems with Applications*, *80*, 340-355.
- Dechow, P., Ge, W. & Schrand, C. (2010). Understanding earnings quality: A review of the proxies, their determinants and their consequences. *Elsevier, Journal of Accounting and Economics*, *50*(2-3), 344-40.
- Dechow, P. M., Hutton, A. P., Meulbroek, L. & Sloan, R. G. (2001). Short-sellers, fundamental analysis, and stock returns. *Elsevier, Journal of Financial Economics*, *61*(1), 77-106.
- Gui, B., Wei, X., Shen, Q. Qi, J. & Guo, L. (2014). Financial Time Series Forecasting Using Support Vector Machine. *IEEE, CIS*, 15-16.
- Ince, H. & Trafalis, T. B. (2017). A Hybrid forecasting model for stock market prediction. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, *51*(3).
- Leigh, W., Purvis, R. & Ragusa, J. M. (2002). Forecasting the NYSE Composite Index with Technical Analysis, Pattern Recognizer, Neural Network, and Genetic Algorithm: A Case Study in Romantic Decision Support. *Elsevier, Decision Support Systems*, *32*, 361-377.
- Lewellen, J. (2010). Accounting anomalies and fundamental analysis: An alternative view. *Elsevier, Journal of Accounting and Economics*, *50*(2-3), 455-466.
- Moghaddam, A. H., Moghaddam, M. H. & Esfandyari, M. (2016). Stock market index prediction using artificial neural network. *Elsevier, Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, *21*(41), 89-93.
- Nassirtoussi, A. K., Aghabozorgi, S., Wah, T. Y. & Ngo, D. C. L. (2015). Text mining of news-headlines for FOREX market prediction: A Multi-layer Dimension Reduction Algorithm with semantics and sentiment. *Elsevier, Expert Systems with Applications*, *42*(1), 306-324.
- Ni, Z., Wang, D. & Xue, W. (2015). Investor sentiment and its nonlinear effect on stock returns—New evidence from the Chinese stock market based on panel quantile regression model. *Elsevier, Economic Modelling*, *50*, 266-274.
- Oliveir, N., Cortez, P. & Areal, N. (2017). The impact of microblogging data for stock market prediction: Using Twitter to predict returns, volatility, trading volume and survey sentiment indices. *Elsevier, Expert Systems with Applications*, *73*, 125-144.
- Patel, J., Shah, S., Thakkar, P. & Kotecha, K. (2015). Predicting stock market index using fusion of machine learning techniques. *Elsevier, Expert Systems with Applications*, *42*, 2162–2172.

- Qian, B. & Rasheed, K. (2007). Stock market prediction with multiple classifiers. Springer, *Applied Intelligence*, 26(1), 25–33.
- Sakarya, Ş., Yavuz, M., Karaoğlan, A. D. & Özdemir, N. (2015). Stock market index prediction with neural network during financial crises: A review on Bist-100. 1, 2, 53-67.
- Sands, T. M., Tayal, D., Morris, M. E. & Monteiro, S. T. (2015). Robust stock value prediction using support vector machines with particle swarm optimization. IEEE, *Evolutionary Computation (CEC)*.
- Shynkevich, Y., McGinnity, T.M., Coleman, S. & Belatreche, A. (2015). Stock price prediction based on stock-specific and sub-industry-specific news articles. IEEE, *Neural Networks (IJCNN)*, 12-17.
- Teixeira, L. A. & De Oliveira, A. L. I. (2010). A method for automatic stock trading combining technical analysis and nearest neighbor classification. Elsevier, *Expert Systems with Applications*, 37(10), 6885-6890.
- Vázquez, F. (2017). Deep Learning made easy with Deep Cognition. <https://becominghuman.ai/deep-learning-made-easy-with-deep-cognition-403fbe445351>.
- Welles Jr, J. (1978). *New Concepts in Technical Trading Systems*, Hunter Publishing Company, Greensboro, NC.
- Williams, L. (1973). *How I Made One Million Dollars Last Year Trading Commodities*, Conceptual Management, Monterey, CA.
- Joseph E. Granville (1976). *Granville's New Strategy of Daily Stock Market Timing for Maximum Profit*, Prentice-Hall, Inc., ISBN 0-13-363432-9.
- Zhang, Y. & Wu, L. (2009). Stock market prediction of S&P 500 via combination of improved BCO approach and BP neural network. Elsevier, *Expert Systems with Applications*, 36(5), 8849-8854.



Modern Optimizasyon Yöntemleri ile Bir Hidroelektrik Santralde Frekans Kontrolü

Frequency Control in a Hydroelectric Power Plant with Modern Optimization Methods

Hasan Tiryaki ^{*1} , Alper Gün ¹ 

¹İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, 34320 İSTANBUL

Başvuru/Received: 25/05/2018

Kabul/Accepted: 17/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2018

Öz

Güç sistemlerinde, tüketicinin beklentisi olan sabit frekans, sabit gerilim ve istenen değerdeki güç üretilen elektrik enerjisinin kalitesini belirler. Bu sebeple güç sistemlerinde frekans kontrolü oldukça önemlidir. Bu çalışmada, bir hidroelektrik santralının yük-frekans kontrolü, güç sistemine uygulanan klasik PI kontrolör ile parametreleri Parçacık Sürüsü Optimizasyonu yöntemi ve Yapay Arı Kolonisi yöntemi kullanılarak optimize edilen PI Kontrolör simülasyon ortamında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler

"Güç Sistemleri, Frekans Kontrolü, Hidroelektrik Santral, PI Kontrolör, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu, Yapay Arı Kolonisi"

Abstract

In power systems, fixed frequency, constant voltage and power at desired value determine the quality of the generated electric energy. For this reason, frequency control is very important in power systems. In this study, load-frequency control of a hydroelectric power plant is compared in simulation with a PI controller optimized with Particle Swarm Optimization method, a PI controller optimized with the Artificial Bee Colony method and the classical PI controller.

Key Words

"Power Systems, Frequency Control, Hydroelectric Power Plant, PI Controller, Particle Swarm Optimization, Artificial Bee Colony"

1. GİRİŞ

Tüketici talebindeki ani değişimler, şebekelerdeki ve üretimdeki arızalar gibi nedenlerden dolayı, sistem frekansında bazı değişimler ve hatta bozulmalar olmaktadır. Ancak sistem frekansında oluşan dalgalanmalar belirli sınırlar içinde tutulmalıdır. Aksi halde, aşırı salınımlar nedeniyle şebekeden yük atılması ve dolayısıyla tüketicinin büyük zararlara uğraması söz konusudur. Bütün bunların yanında, elektriğin üretim maliyeti artmakta ve ayrıca çıkış sinyalinin genliğinde oluşan dalgalanmalar nedeniyle de santral içindeki teçhizatın ekonomik ömrü azalmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, santrallerde yük-frekans kontrolörleri sistem çıkışında oluşan hataları hızlı bir şekilde belirleyerek mümkün olduğunca yok etmeli ya da etkisiz olacağı sifıra yakın bir değere getirmelidir (Kocaarslan, Çam, 2002).

Hidroelektrik enerji, suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile sağlanan temiz ve yenilenebilir bir enerji türüdür. Suyun üst seviyelerden altta bulunan türbinlere düşürülmesi sırasında potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi sağlanarak, elde edilen mekanik enerjinin türbinlere bağlı jeneratörleri döndürmesi ile de elektrik enerjisi üretilmektedir.

Dünya geneline bakıldığında elektrik enerjisinin büyük çoğunluğunun, termik elektrik santralleri, doğalgaz çevrim santralleri, nükleer enerji santralleri, tıbbi atık santralleri vs. gibi fosil yakıt ile çalışan elektrik santrallerinde üretildiği görülmektedir. Bu santral tiplerinin doğal çevrenin korunmasına verdiği zararlar ve riskler bilinmektedir. Bu durum göz önüne alındığında enerji üretiminde fosil yakıtlı santrallerin yerine hidroelektrik santraller gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten santrallerin kullanılması zorunludur. Yenilenebilir enerji santrallerinin yakıt kullanmadan enerji üretebilmesi hem çevrenin korunmasına katkı sağlamak hem de üretilen enerjinin devamlılığını ve verimliliğini arttırmaktadır.

Ülkemizin enerji talebinin yeteri kadar yedekli bir arz ile karşılanabilmesi için, öncelikle ulusal kaynaklara dayandırılması gerekmektedir. Yenilenebilir kaynak oluşu, en az düzeyde çevre etkisi oluşturması, çevre kirliliğine neden olmaması, işletme ve bakım masraflarının az olması ve en önemlisi ulusal niteliği ile güvenilir enerji arzı sağlayan bir kaynak oluşu, hidroelektrik enerjinin önemini büyük ölçüde arttırmaktadır (Eke, 2004).

Bu çalışmada, ülkemizde bol bulunan ve temiz enerjiler içerisinde gösterilen hidroelektrik santral modeli üzerinde bir yük-frekans kontrol uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, geleneksel kontrol yöntemlerinden olan oransal-integral (PI) kontrolör ile yeni kontrol sistemlerinden olan kazancı Parçacık Sürüsü Optimizasyonu ile ayarlanmış PI kontrolör (PSO-PI) ve Yapay Arı Kolonisi ile ayarlanmış PI kontrolör (YAK-PI) santral modeline uygulanarak sonuçlar incelenmiştir.

2. HİDROELEKTRİK SANTRALİN MODELLENMESİ

Elektrik enerjisi tüketicisine kaliteli (sabit frekans, istenen gerilim ve güç) hizmet vermek için, güç sistemi çok geniş alandaki bozuculara karşı sabit ve güvenilir kalmalıdır. Elektrik güç sistemleri gerçekte karmaşık ve doğrusal olmayan dinamik sistemlerdir. Güç sistemi içinde hidroelektrik santrallerde normal işletimi boyunca sadece küçük yük değişimlerine açık olduğu için doğrusallaştırılmış model kullanılabilir. Hidroelektrik santralin modellenmesi, jeneratör mekanik modeli ve türbin modeli olmak üzere iki kısımda incelenir.

2.1. Jeneratör Mekanik Modeli

Güç sistemi içinde jeneratörlerin dinamik davranışları önemlidir. Jeneratör, uygun bir gerilim ve frekansta mekanik gücü, elektrik gücüne çevirir. Sistem frekansı ile aktif güç dengesi birbirine bağlı olduğu için, güç sistemlerinde genelde yük-frekans kontrolü kullanılmaktadır. Jeneratör modeli de frekans değişim cevabına dayanır. Bu modeli kurabilmek için hareket ve salınım denklemlerinden faydalanılır.

Hareket Denklemleri

Mekanik denklemleri bilinen jeneratörün elektriksel modeli, dönme ataletinin salınım denklemleri yardımıyla bulunabilir. Böylece elektrik üretme kısmı küçük bozuculara hızlı cevap verebilecek lineer diferansiyel denklemlerle modellenmiş olur.

Salınım Denklemi

Salınım denklemi makinenin rotor tork açısını hızlandırma torkuyla ilişkilendirir, bu da shaft torku ile elektromanyetik tork arasındaki farktır. Mekanik tork ile elektrikselsel tork arasında bir denge sağlandığında jeneratörün hızı da sabitlenmiş olur. Torklar arasındaki herhangi bir dengesizlik, makinede hızlanma veya yavaşlamaya neden olur. Dönen bir cisimdeki hareket denklemi;

$$T_a = J \frac{d^2 \delta_m}{dt^2} = T_m - T_e \quad (1)$$

şeklinde verilmektedir. Burada;

T_a	İvmelendirme Torku
J	Jeneratör ve Türbin Toplam Atalet Momenti
δ_m	Rotor mekanik tork açısı
t	Zaman
T_m	Mekanik Tork
T_e	Elektromanyetik Tork

olarak tanımlanmıştır. Elektriksel rotor açısal hızını kullanarak hareket denklemi birim değer şeklinde,

$$2H \frac{d\bar{\omega}}{dt} = \bar{T}_m - \bar{T}_e \quad (2)$$

elde edilir. Burada (2) eşitliği tork yerine mekanik ve elektriksel güç cinsinden düzenlenmelidir. Torka bağlı elektriksel güç denklemi olarak ifade edilir. Burada, çalışma noktası etrafındaki küçük salınımlar ve ikinci mertebeden terimlerin ihmal edilmesiyle,

$$\Delta \bar{P} = \bar{\omega}_0 \Delta \bar{T} + \bar{T}_0 \Delta \bar{\omega} \quad (3)$$

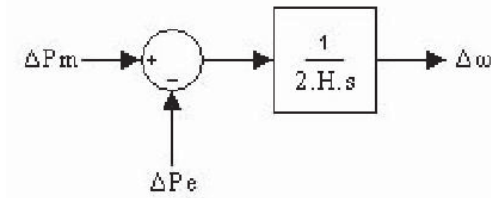
elde edilir. Mekanik ve elektriksel güç ile tork ifadeleri Eşitlik (3)'te yerine yazılırsa;

$$\Delta \bar{P}_m - \Delta \bar{P}_e = \bar{\omega}_0 (\Delta \bar{T}_m - \Delta \bar{T}_e) + (\bar{T}_{m0} - \bar{T}_{e0}) \Delta \bar{\omega} \quad (4)$$

elde edilir. Kararlı halde, mekanik tork elektriksel torka eşittir ($T_{m0} = T_{e0}$). Buna göre (2) ve (3) Eşitlikleri birleştirilerek, mekanik güç, elektriksel güç ve hız değişimi arasındaki ilişki,

$$\Delta \bar{P}_m - \Delta \bar{P}_e = 2Hs \Delta \bar{\omega} \quad (5)$$

olarak elde edilir. Denklem (5)'in blok diyagramı Şekil 1' de gösterilmiştir;



Şekil 1. Hız ve güç arasındaki transfer fonksiyonu.

Jeneratörün Yüklenmesi

Bazı durumlarda, izole edilmiş yük kaynağını besleyen jeneratör ve yerel yükün güç karakteristiklerini hesaba katmak amacıyla daha ayrıntılı jeneratör modeli gerekmektedir. En yaygın kullanılan statik model, sabit akım olarak aktif gücü ve sabit empedans olarak reaktif gücü temsil eder. Yükler çok çeşitli elektriksel elemanlardan meydana gelmiş olup, sistemin kısa zaman kararlılığı ile ilgilenildiğinden, statik yük modeli denklemlerini kullanmak yeterli olacaktır. Sistem geriliminin sabit kaldığını varsayarak ve sabit akım modelini kullanarak aktif gücü;

$$P_L = P_0 + P_0 D_{pf} \Delta_f \quad (6)$$

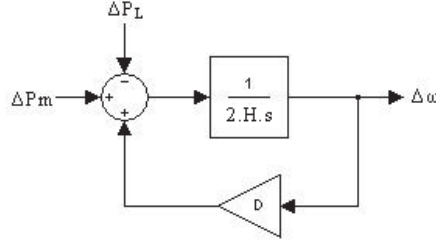
şeklinde tanımlayabiliriz. Bu eşitliğin ilk terimi (P_0) frekansa duyarlı ve ikinci kısmı ise frekansa duyarlı yük değişimini göstermektedir. Eşitlik (6)'da ikinci mertebeden terimler ihmal edilerek, küçük sinyal analizi için Eşitlik (7) elde edilir.

$$\Delta P_L = \Delta P_0 + D \Delta_f \quad (7)$$

Sönümleyici terim ($D=P_0.D_{pf}$), bağlanan yük ve yük frekans duyarlılık parametresiyle orantılıdır. Eğer ünite az yüklenmişse sönümleyici sifıra yaklaşabilir. Burada Eşitlik (5)'le Eşitlik (7) birleştirilerek, D sönümlü tek bir yüke bağlanmış makinenin hareketini tanımlayan transfer fonksiyonu,

$$\Delta \bar{P}_m - \Delta \bar{P}_e = (\bar{T}_m s + \bar{D}) \Delta \bar{\omega} \quad (8)$$

elde edilir (Kundur, 1994). Şekil 2, Eşitlik (8)'in blok diyagramını göstermektedir.



Şekil 2. Dönen kütle ve yükün blok diyagramı.

2.2 Türbin Modeli

Bu model küçük sinyal analizinde ve kontrol dizaynı çalışmalarında kullanılır. Cebri boru-türbin temel denklemlerinin doğrusallaştırılması ile elastik olmayan su yükü transfer fonksiyonu elde edilebilir. Ayrıca mekanik güçteki küçük değişimler dağıtıcı açıklığındaki değişimlere bağlıdır (Janssens, De Jaeger, et al. 1994). Bu sonuçlar Eşitlik (9)'daki birinci derece transfer fonksiyon denkleminde gösterilir;

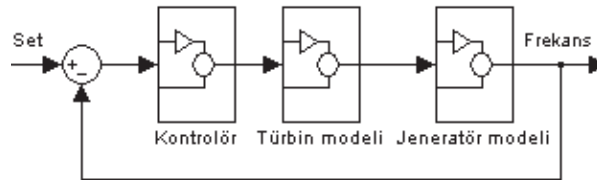
$$\frac{\Delta P_m(s)}{\Delta G(s)} = \frac{1 - T_w s}{1 + 0.5 T_w s} \quad (9)$$

Burada;

T_w Su zaman sabiti
 P_m Türbin mekanik gücü
 G Dağıtıcı pozisyonu
olarak tanımlanmıştır.

3. YÖNTEM

Sistemin kontrolünü sağlamak için kullanılan blok diyagram Matlab R2015a Simulink (MATLAB R2015a, Reference Manual, 2015) programında geliştirilmiştir (Şekil 3). Blok diyagramda görülen kontrolörün yerine ilk olarak geleneksel oransal-integral (PI) kontrolör, sonra parçacık sürüsü optimizasyonu ile ayarlanmış (PSO-PI) kontrolör, daha sonra da yapay arı kolonisi optimizasyonu ile ayarlanmış (YAK-PI) kontrolör kullanılmıştır.



Şekil 3. Hidroelektrik sistemin kontrol blok diyagramı.

Sistemde kullanılan geleneksel PI kontrolörün kazanç parametreleri, sistem cevap eğrisi yöntemine göre belirlenmiş ve optimize edilmiştir. Buna göre PI kontrolörün parametreleri; $K_p = 1,5000$, $K_i = 0,2000$ olarak bulunmuştur. Klasik kontrolörlerde hesaplanan parametrelerin sistemin işletim süresi boyunca sabit kalmasından dolayı bu kontrolörler sistemdeki değişimlere adapta olmakta zorluk çekmektedirler. Bunun yerine bu parametrelerin başka bir kontrolör tarafından sistemdeki değişimlere göre sürekli olarak değiştirilerek uygulanması bu kontrolörlerin sistemi daha iyi bir şekilde kontrol etmesini mümkün kılmaktadır (Hızal, 1999).

3.1. PI Parametrelerinin Optimizasyonu

3.1.1. Parçacık sürüsü optimizasyonu yöntemi ile optimize edilen PI kontrolör (PSO-PI)

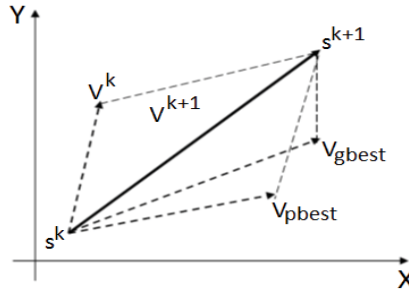
PSO kullanarak sayısal problemlerin optimizasyonu, kuş sürülerinin sosyal davranışlarını esas alarak oluşturulmuştur. PSO'da, sürünün her bir bireyi (parçacık veya zeki birey denilebilir) çözüm uzayında dolaşmaktadır. Her bir parçacık optimizasyon probleminin birer aday çözümünü göstermektedir. Herhangi bir parçacığın pozisyonu, kendisinin daha önce ziyaret ettiği en iyi çözüm (kendi deneyimi) ve bütün sürüde ziyaret edilen en iyi konumdan etkilenmektedir. Burada bahsedilen en iyi pozisyon, bundan sonra isim olarak *global en iyi* olarak adlandırılacaktır. Her bir parçacığın performansı (global en iyi değere ne kadar yakın olduğu) uyumluluk (fitness) fonksiyonu kullanılarak hesaplanmaktadır.

İki boyutlu çözüm uzayında her parçacık XY koordinat düzleminde çözüm aramaktadır. Parçacığın hızı v_x ve v_y (X ve Y eksenleri boyunca hareket) ile tanımlanmaktadır. Her birey kendi en iyi değerini " p_{best} " değişkeni ile tanımlamaktadır. Bu parametre her bir bireyin kendi geçmişinin analogisidir. Her parçacık grubun en iyi değeri olan g_{best} bilgisini ve p_{best} bilgisini hafızasında tutmaktadır. Herbir bireyin pozisyon ve hızları aşağıda verilen denklem (10) ve denklem (11) kullanılarak hesaplanmaktadır (Kennedy, Eberhart, 1995).

$$\vartheta_i^{k+1} = \vartheta_i^k + c_1 \text{rand}_1 \cdot (p_{best_i} - s_i^k) + c_2 \text{rand}_2 \cdot (g_{best} - s_i^k) \quad (10)$$

$$s_i^{k+1} = s_i^k + \vartheta_i^{k+1} \quad (11)$$

Şekil 8, parçacık sürüsü optimizasyonu süresince arama noktasının hareketini göstermektedir [7]. Şekil 4'de s^k ve s^{k+1} sırasıyla geçerli ve yeni parçacık konumlarını göstermektedir. Aynı şekilde ϑ^k ve ϑ^{k+1} sırasıyla geçerli ve yeni hızlarını göstermektedir. ϑ_{pbest} ve ϑ_{gbest} , p_{best} ve g_{best} konumlarına göre hızları göstermektedir. Bu vektörlerin parçacığın konumunu değiştirmeleri aşağıda gösterilmiştir;



Şekil 4. Arama Noktasının Hareket Prensipleri [7].

Hızı belli bir oranda sönmölemek ve kontrol edilemeyen osilasyonların belli bir limit dâhilinde tutulmasını sağlayabilmek için aşağıdaki denklemler kullanılır;

$$v^{maks.} = (x^{maks.} - x^{min.}) (\%10 \sim \%20) \quad (12)$$

$$v^{min.} = -v^{maks.} \quad (13)$$

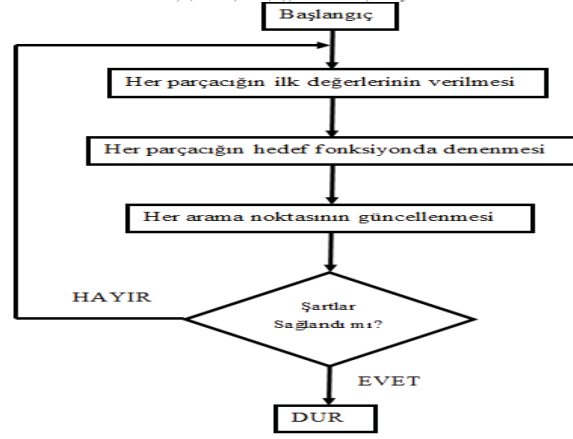
Aşağıdaki denklemde Clerc'in (Clerck, 1999) yayınladığı metot ile parçacıklar *kısıtlama katsayıları* kullanılarak belli değerler arasında tutulmaktadır.

$$\vartheta_i^{k+1} = X \cdot [\vartheta_i^k + c_1 \text{rand}_1 \cdot (p_{best_i} - s_i^k) + c_2 \text{rand}_2 \cdot (g_{best} - s_i^k)] \quad (14)$$

X, kısıtlama katsayısıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$X = \frac{2}{|2 - \varphi - \sqrt{\varphi^2 - 4\varphi}|}, \quad \varphi = c_1 + c_2, \quad \varphi > 4 \quad (15)$$

Kısıtlama katsayısı sayesinde optimizasyonun ilerleyen zamanlarında parçacıklar tek bir noktaya yakınlaşmaya başlayacaktır. Şekil 5'de PSO adımlarının akış şeması verilmektedir;



Şekil 5. PSO Adımlarının Akış Şeması [7].

Parçacık sürüsü optimizasyonu yöntemini kullanmak amacıyla Matlab R2015a programında (MATLAB R2015a, Reference Manual, 2015) bir yazılım geliştirilmiş ve tek bölgeci güç sistem modeli üzerinde optimizasyon yapılmıştır. Simulink modeli üzerinden e hata değerleri, her iterasyonda “hata.mat” dosyasına kaydedilerek optimizasyon yazılımına girdi yapılmıştır. Yazılımın asıl amacı; uyumluluk fonksiyonu olarak seçilen hatanın mutlak değerleri toplamını (Integral of Absolute Error-IAE) sıfıra yaklaştırmaktır.

Benzetim aşamasında parçacıkların hız aralıkları, denklem (12) ve denklem (13)’deki gibi belirlenmiştir (Kennedy, Eberhart, 1995). Lokal ve global arama performanslarının dengelenmesi için Clerc’in denklem (14) ve denklem (15)’de belirtilen X katsayısı kullanılmıştır. Buna göre c_1 ve c_2 katsayıları 2.05 alınmıştır. Benzetim için parçacık sayısı 5, iterasyon sayısı ise 10 olarak belirlenmiştir. Hedef fonksiyon olarak ise “hatanın mutlak değerleri toplamı” fonksiyonu kullanılmıştır (Gözde, Taplamacıoğlu, et al 2008).

Yazılımın çalıştırılması sonucunda her bir çıkış için kullanılacak parametreler, optimize edilmiş olarak Tablo 1’de görüldüğü gibi belirlenmiştir;

Tablo 1. PSO-PI parametreleri.

K_P	K_I
1,1483	0,1590

3.1.2. Yapay Arı Kolonisi (YAK) Yöntemi ile Optimize Edilen PI Kontrolör (YAK-PI)

Tipik bir bal arısı sürüsünün zeki davranışları, yiyecek arama stratejileri incelenmiş ve YAK algoritması çok boyutlu optimizasyon problemlerinin çözümüne uyarlanmıştır. YAK algoritmasında gözcü ve işçi arılar besin kaynaklarının kullanılması işlemini, kâşif arılar ise yeni besin kaynaklarının bulunması işleminde görev almaktadırlar (Akay, 2009).

Algoritmanın ana adımları Tablo 2’de verilmiştir;

Tablo 2. YAK algoritmasının temel adımları (Akay, 2009).

1: Başlangıç yiyecek kaynağı bölgelerinin üretilmesi
2: Repeat
3: İşçi arıların yiyecek kaynağı bölgelerine gönderilmesi
4: Olasılıksal seleksiyonda kullanılacak olasılık değerlerinin görevli arılardan gelen bilgiye göre hesaplanması
5: Gözcü arıların olasılık değerlerine göre yiyecek kaynağı bölgesi seçmesi
6: Kaynağı bırakma kriteri: limit ve kaşif arı üretimi
7: Üntil çevrim sayısı = Maksimum çevrim sayısı

Başlangıç Yiyecek Kaynağı Bölgelerinin Üretilmesi

Rastgele yer üretme süreci her bir parametrenin alt ve üst sınırları arasında rastgele değer üretmek denklem (16)’daki gibi gerçekleşir;

$$x_{i,j} = x_j^{min} + rand[0,1](x_j^{max} - x_j^{min}) \quad (16)$$

Burada $i=1 \dots SN$, $j=1 \dots D$ ve SN yiyecek kaynağı ve D ise optimize edilecek parametre sayısıdır. Aynı zamanda başlangıç aşamasında her kaynağın geliştirilmeme sayısını ifade eden $failure_i$ değeri de sıfırlanmaktadır (Akay, 2009).

İşçi Arıların Yiyecek Kaynağı Bölgelerine Gönderilmesi

Yeni kaynağın mevcut kaynak komşuluğunda belirlenmesinin benzetimi denklem (17) ifadesiyle tanımlanmaktadır.

$$v_{i,j} = x_{i,j} + \varphi_{i,j}(x_{i,j} - x_{k,j}) \quad (17)$$

x_i ile gösterilen her bir kaynak için bu kaynağın yani çözümün tek bir parametresi (rastgele seçilen parametresi, j) değiştirilerek x_i komşuluğunda v_i kaynağı bulunur. $\varphi_{i,j}$ $[-1,1]$ aralığında rastgele seçilen ağırlık faktörüdür.

Bu işlem sonucunda üretilen $v_{i,j}$ 'nin daha önceden belli olan parametre sınırlarını aşması durumunda j . parametreye ait olan alt veya üst sınır değerlerine ötelenmektedir.

$$v_{i,j} = \begin{cases} x_j^{\min} & , \quad v_{i,j} < x_j^{\min} \\ v_{i,j} & , \quad x_j^{\min} \leq v_{i,j} \leq x_j^{\max} \\ x_j^{\max} & , \quad v_{i,j} > x_j^{\max} \end{cases} \quad (18)$$

Sınırlar dahilinde üretilen v_i parametre vektörü yeni bir kaynağı temsil etmektedir.

$$\text{fitness}_i = \begin{cases} \frac{1}{1+f_i} & f_i \geq 0 \\ 1 + \text{abs}(f_i) & f_i < 0 \end{cases} \quad (19)$$

Burada f_i, v_i kaynağının yani çözümün maliyet değeridir. x_i ile v_i arasında uygunluk değerlerine göre bir aç gözlü seçme işlemi uygulanır. Yeni bulunan v_i kaynağının yerini hafızaya alınır. x_i değeri geliştirilemezse $failure_i$ bir artırılır (Akay, 2009).

Gözcü Arıların Seleksiyonda Kullanacakları Olasılık Değerlerinin Hesaplanması (Dans Benzetimi)

$$p_i = \frac{\text{fitness}_i}{\sum_{i=1}^{SN} \text{fitness}_i} \quad (20)$$

Burada fitness_i , i . kaynağın kalitesini, SN görevli arı sayısını göstermektedir (Akay, 2009).

Gözcü Arıların Yiyecek Kaynağı Bölgesi Seçmeleri

Her bir kaynak için $[0,1]$ aralığında rastgele sayı üretilir ve p_i değeri bu üretilen sayıdan büyükse görevli arılar gibi gözcü arı da (17) denklemi kullanarak bu kaynak bölgesinde yeni bir çözüm üretir. Sonra, yeni çözümle eski çözümün uygunluklarının karşılaştırılır. Yeni çözüm daha iyi ise bu çözüm alınır ve $failure_i$ sıfırlanır. Eski çözümün uygunluğu daha iyi ise bu çözüm muhafaza edilir ve $failure_i$ bir artırılır. Bu süreç tüm gözcü arılar için gerçekleştirilir (Akay, 2009).

Kaynağı Bırakma Kriteri: Limit ve Kâşif Arı Üretimi

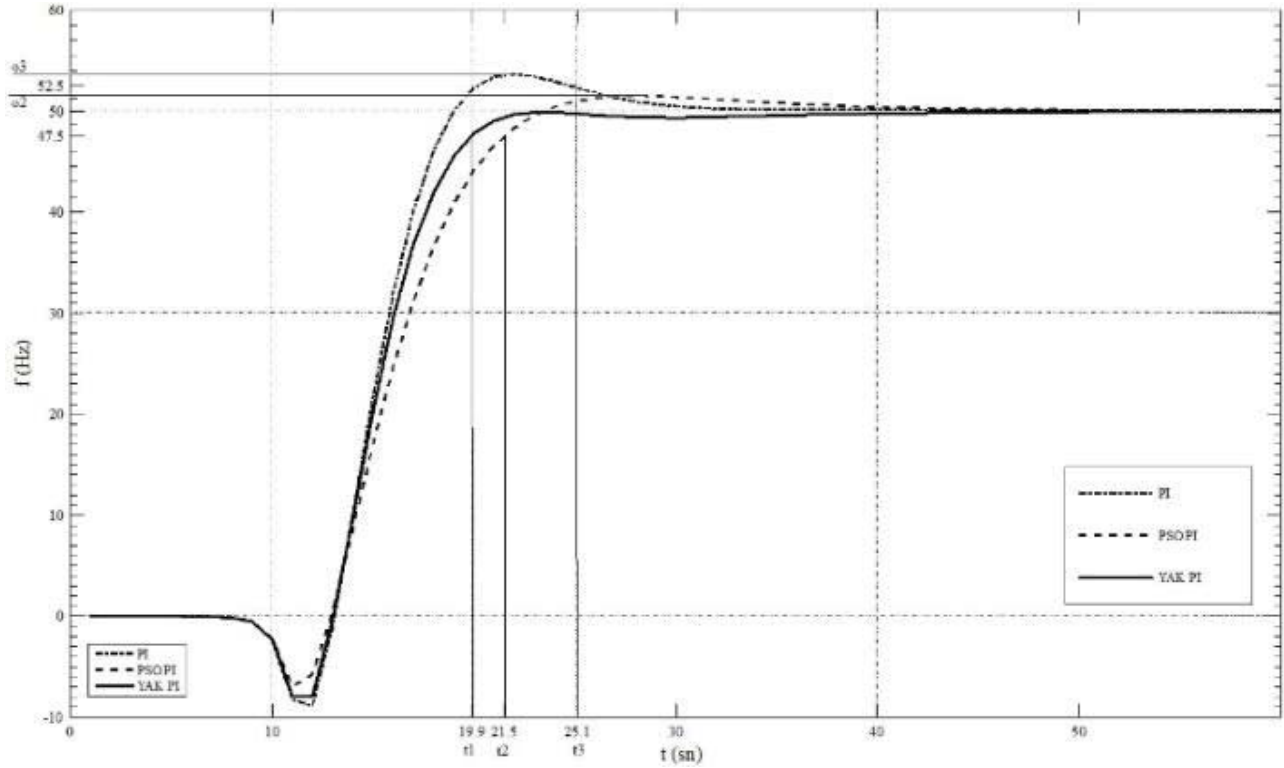
Bir çevrim sonunda $failure_i$ kontrol edilir. $Failure_i$ belli bir eşik değerinin üzerindeyse, artık bu kaynağın görevli arısının tükenmiş olan o çözümü bırakıp kendisi için başka bir çözüm araması gerekmektedir. Bu arı bir kâşif arıdır ve rastgele çözüm arama süreci başlar (denklem (16)). Temel YAK algoritmasında her çevrimde sadece bir kâşif arının çıkmasına izin verilir (Gümüş, 2012), (Tiryaki, 2013).

Yazılımın çalıştırılması sonucunda her bir çıkış için kullanılacak parametreler, optimize edilmiş olarak Tablo 3'de görüldüğü gibi belirlenmiştir;

Tablo 3. YAK-PI parametreleri	
K _P	K _I
1,4210	0,1640

4. SİMÜLASYON SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, temel alınan hidroelektrik santrale ait simülasyon sonuçları, daha nesnel bir değerlendirme yapabilmek amacıyla, aynı şekil üzerinde gösterilmiştir. Sürekli çizgi ile gösterilen sinyal YAK-PI kontrolör kullanılarak, kesikli çizgi ile gösterilen sinyal PSO-PI kontrolör kullanılarak ve noktali çizgi ile gösterilen sinyal ise PI kontrolör kullanılarak elde edilmiştir. Benzetim sonuçları, Şekil 6 ve Tablo 4'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Benzetim Sonuçları.

Tablo 4. Karşılaştırma değerleri.

	YAK-PI	PSO-PI	PI
Aşma Değeri (%)	-	$o_2 \approx 3$	$o_3 \approx 10$
Oturma Zamanı (sn)	$t_1 = 19,9$	$t_2 = 21,5$	$t_3 = 25,1$

Şekil 6'da görüldüğü gibi sistemin çıkışı için istenen frekans değeri 50 Hz'dir. Karşılaştırma yapabilmek için %2,5'lik bir band kullanılmıştır. Bu band şebekede frekansın değişim aralığı olan 47.5-52.5 Hz'lik bir aralığa tekabül etmektedir. Şekilde görülen t_1 , t_2 ve t_3 , sırasıyla, YAK-PI, PSO-PI ve PI kontrolörlerin oturma zamanları; o_2 ve o_3 ise sırasıyla PSO-PI ve PI kontrolörün aşma değeridir. YAK-PI kontrolöre ait eğrinin istenen değeri aşmaması nedeniyle aşma değeri bulunmamaktadır.

Sonuçlar oturma zamanları açısından karşılaştırıldığında; YAK-PI kontrolörün diğer kontrolörlere nazaran en hızlı cevabı verdiği görülmektedir. YAK-PI kontrolörün aşma değeri yoktur, ancak PSO-PI kontrolörün istenen değere göre yaklaşık %3 oranında ve PI kontrolörün istenen değere göre yaklaşık %10 oranında bir aşma değerine sahip olduğu görülmektedir. Sonuçlardan görüldüğü gibi PSO-PI kontrolör kullanılarak sistemde büyük iyileştirmeler sağlanmıştır. Bu iyileştirmelerin tek bir hidroelektrik santral için yapıldığı ve ülkemizin %25 enerji ihtiyacının bu tip santrallerle karşılandığı düşünüldüğünde yapılan iyileştirmenin önemi daha da iyi anlaşılacaktır.

5. SONUÇ

Hidroelektrik santrallerin üretimi, yağış koşullarına bağımlı olduğundan her yıl toplam üretim içindeki payı değişim göstermekle birlikte, Türkiye’de elektrik enerjisinin yaklaşık %25’i sudan üretilmektedir. Üretilen enerjinin büyüklüğü bu santrallerin kontrolünün önemini arttırmaktadır.

Simülasyon sonuçlarından da anlaşıldığı gibi, YAK-PI kontrolör kullanıldığında sistem hem oturma zamanı hem de aşma değeri açısından diğer kontrolörlere göre daha olumlu sonuçlar vermektedir. Buna göre bu tür hidroelektrik santrallerin yük-frekans kontrolünde klasik kontrolörler yerine YAK-PI kontrolör gibi modern kontrol tekniklerin kullanılmasının uygun olduğu görülmektedir. Modern kontrol ve optimizasyon yöntemlerinin kullanımı sayesinde santral ekipmanlarının verimliliği artacak, bu ekipmanların yıpranma payı azalacaktır. Ayrıca elektrik üretim fiyatlarındaki azalma ile de tüketiciye bir avantaj sağlanmış olacaktır. En önemlisi ise, giderek tükenmekte olan, çevreyi kirleterek tehlike saçan fosil yakıtlarından enerji üretilmesi bu sayede azaltılmış olacaktır.

REFERANSLAR

Akay B., *Nümerik Optimizasyon Problemlerinde Yapay Arı Koloisi (Artificial Bee Colony) Algoritmasının Performans Analizi*, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. (2009).

Clerck M., The swarm and the queen: towards a deterministic and adaptive particle swarm optimization, *Proceedings of the Conference on Evolutionary Computation, 1951-1957*. (1999).

Eke İ., *Hidroelektrik Santrallerin Modellenmesi ve Simülasyonu*, Kırıkkale Üniversitesi F.B.E., Yüksek Lisans Tezi (2004).

Gözde H., Taplamacıoğlu M.C., Kocaarslan İ., Çam E., Particle swarm optimization based load frequency control in a single area power system, *University of Pitesti, Electronics and Computers Science, Scientific Bulletin, 2(8), 106-110*. (2008).

Gümüş K., *Güç Santrallerinde Primer Frekans, Yük Kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. (2012).

Hızal N. A., Gain Scheduling Adaptive Model Control, *Turk. J. Engin. Environ. Sci.*, 23, 209-218 (1999).

Janssens N., De Jaeger E., Malfliet B., Van de Meulbroeke F., *IEEE Transactions on Power Systems*, 9, 1709 (1994).
MATLAB R2015a, Reference Manual, (2015).

Kennedy J., Eberhart R., Particle swarm optimization. 9. *Neural Networks, 1995. Proceeding IEEE Conference on Nov/Dec, 1942-1948*. (1995).

Kocaarslan İ., Çam E., *İki Bölgeli Enterkonnekte Güç Santrallerinin Yük-Frekans Kontrolü*, TOK 2002 (2002).

Kundur P., *Power System Stability and Control*, Mc Graw-Hill Inc., New York (1994).

MATLAB R2015a, Reference Manual, (2015).

Tiryaki H., *Modern Kontrol Yöntemlerinin Yük Dağıtım Sistemlerinde Uygulanması*, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi. (2013).



Afyon Kilinin Porselen Karo Bünyelerinde Kullanımının Araştırılması

Investigation Of The Usage Of Afyon Clay In Porcelain Tile Bodies

Müge Tarhan¹ , Baran Tarhan¹ 

Uşak Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, Ankara İzmir Yolu 8. km Bir Eylül Kampüsü, 64200 Uşak, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 10/07/2018

Kabul/Accepted: 05/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2018

Öz

Seramik karo üretiminde kullanılan ana hammaddeler kil, kaolen, feldspat ve kuvarstır. Ülkemizde İstanbul, Şile ve Bilecik bölgelerinde kil yatakları bulunmasına rağmen porselen karolar gibi yüksek kalitede ürün üreten firmalar bu killerin yüksek oranda demir içermesinden dolayı Ukrayna'dan kil ithal etmektedirler. Ukrayna kili beyaz pişen ve plastikiği yüksek bir kil olduğu için tercih edilmektedir. Çalışmada, standart bir porselen karo reçetesinde bulunan Ukrayna kilinin azaltılarak yerine Afyon kili ilavesinin porselen karo teknik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla standart porselen karo bünye kompozisyonunda Ukrayna kili oranı kademeli olarak azaltılarak % 7-10 oranlarında Afyon kili bünyeye ilave edilerek reçeteler oluşturulmuş ve geleneksel seramik karo üretim süreçleri ile hazırlanmıştır. Bünyeler endüstriyel rulolu fırınlarda 1200°C'de 55 dakikada pişirilmişlerdir. Geliştirilen bünyelerin fiziksel özellikleri test edilmiş, sinterleme davranışları optik dilatometre, ısı genleşme katsayısı dilatometre cihazı ile incelenmiştir. Bünyelerin mikroyapıları taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiş, faz analizleri XRD ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, porselen karo bünyelerinde Ukrayna kil oranının azalması ve Afyon kili ilavesiyle bünye su emme ve pişme küçülmelerinin arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte Afyon kili kullanımıyla birlikte bünyenin ısı genleşme katsayısı artmaktadır. Sonuç olarak, porselen karo bünyelerinde diğer hammadde oranlarında da bazı değişikliklerin yapılmasıyla Afyon kili kullanımının % 7 oranına kadar uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

"Porselen karo, Afyon kili, Ukrayna kili"

Abstract

The main raw materials used in the production of ceramic tiles are clay, kaolin, feldspar and quartz. Despite the presence of clay deposits in the regions of Istanbul, Sile and Bilecik in our country, companies producing high quality products such as porcelain tiles are importing clay from Ukraine. The Ukraine clay is preferred because of its whiteness and high plasticity. In this study, the effects of reducing the amount of Ukraine clay in a standard porcelain tile composition and replacing it with Afyon clay were investigated. For this purpose, the Ukraine clay content was gradually reduced and 7 to 10 % of the Afyon clay were added to the standard porcelain tile body composition and prepared with traditional ceramic tile production processes. The representative bodies are fired in industrial roller kilns at 1200°C - 55 min. Physical properties of the bodies were tested, sintering behaviors were investigated by optical dilatometer and thermal expansion coefficient values were determined by dilatometer. The microstructure and the phase evolution of the bodies were investigated by scanning electron microscopy and X-ray diffraction (XRD). According to the results, it was found that decrease of Ukraine clay and the addition of Afyon clay increases the water absorption and firing shrinkage values of bodies. In addition to that, the thermal expansion coefficients of the bodies are also increasing with using of Afyon clay. As a result, it has been determined that it's possible to use Afyon clay up 7% ratio in porcelain tile body compositions with also some changes in other raw material proportions.

Key Words

"Porcelain tile, Afyon clay, Ukrainian Clay"

1. GİRİŞ

Porselen karolar, düşük su emmeye sahip (<%0,5), sırlı veya sırsız olarak yüzey dekorlaması sağlanarak üretilebildiği gibi beyaz veya başlangıç kompozisyonlarına renk pigmentleri ilavesi ile renkli olarak da üretilebilen seramik karolar olarak tanımlanabilir. Porselen karolar mükemmel mekanik, kimyasal ve dona dayanım özellikleri olan düşük poroziteli kaplama malzemeleridir (Biffi 1999, Sanchez ve ark. 2001). Porselen karo bünyeleri temel olarak %30-40 kil karışımı, %40-50 alkali feldispatlar ve %10-15 oranında kuvarstan oluşmaktadır. Yer karosundan farklı olarak, sırsız olarak da üretilebilen porselen karo bünyelerinde estetik gereksinimlerden dolayı pişme renginin mümkün olduğunca beyaz olması istenir. Ayrıca renk pigment ilaveleri ile renklendirilerek de üretilen porselen karolarda renk etkilerini iyi ayarlayabilmek veya kullanılan boya maliyetlerini düşürmek için beyaz pişen bünyeler istendiğinden hammadde saflığı büyük önem taşımaktadır. Porselen karo bünyeleri renk olarak temelde standart ve süper beyaz olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Standart beyazlıkta olanların L değerleri 70-80 arasında değişirken süper beyaz olanların L değerleri 80-90 arasında değişmektedir. Süper beyaz porselen karolarda zirkon, alümina gibi kırınım indisi yüksek ilavelerle beyazlık artmaktadır. Ancak beyazlıkla beraber üretim maliyetleri de oldukça artmaktadır (Biffi 1999). Porselen karo bünyelerinde istenilen beyazlık genellikle hammaddelerde bulunan Fe_2O_3 ve TiO_2 oranına bağlıdır. Kullanılan hammaddelerden özellikle killerden gelen Fe_2O_3 ve TiO_2 miktarlarının fazla olması ürünün pişme renginin koyu olmasına neden olmaktadır (Worrall 1982, Vari 2000, Sanchez ve ark. 2001). Ülkemizdeki kil kaynaklarının yüksek oranda demir içermesinden dolayı porselen karoda kullanılan killer Ukrayna'dan ithal edilmektedir.

Ülkemizde kil yatakları genellikle İstanbul, Şile ve Bilecik bölgesinde bulunmaktadır. Bu bölgelerin dışında Afyon bölgesinde de jeolojik özellikleri nedeniyle seramik sektörüne yönelik çok sayıda endüstriyel hammadde yatağı bulunmaktadır. Uşak, Kütahya, Bilecik, Eskişehir ve İzmir gibi Türkiye seramik sektörünün en önemli bölgelerine yakın olması ve seramik üretim teknolojisindeki son gelişmeler nedeniyle Afyonkarahisar ilindeki bu hammadde yataklarının bir bölümü işletilirken, önemli bir bölümüyle ilgili olarak da üretim planlamaları yapılmaktadır (Yıldız ve ark. 2014).

Bu çalışmada Afyon kilinin porselen karo bünye kompozisyonlarında kullanılabilirliği ve bünye teknik özellikleri üzerine olan etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra porselen karo bünyesinde Afyon kili kullanımı ile birlikte Ukrayna kili kullanım oranlarının azaltılabileceği araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda standart porselen karo bünye kompozisyonunda Ukrayna kili oranı kademeli olarak azaltılmış ve Afyon kili % 7, 8, 10 oranlarında ilave edilerek geliştirilen bünyelerin teknik özellikler üzerine olan etkileri tespit edilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Kullanılan Hammaddeler

Standart porselen karo bünyesinde kullanılmakta olan hammaddeler ve Afyon bölgesinden temin edilen Afyon kiline ait oksit bileşimleri Çizelge 1'de, kil ve kaolenlerin pişme küçülme (%), su emme (%) ve renk değerleri Çizelge 2'deki fiziksel özellikler tablosunda verilmektedir.

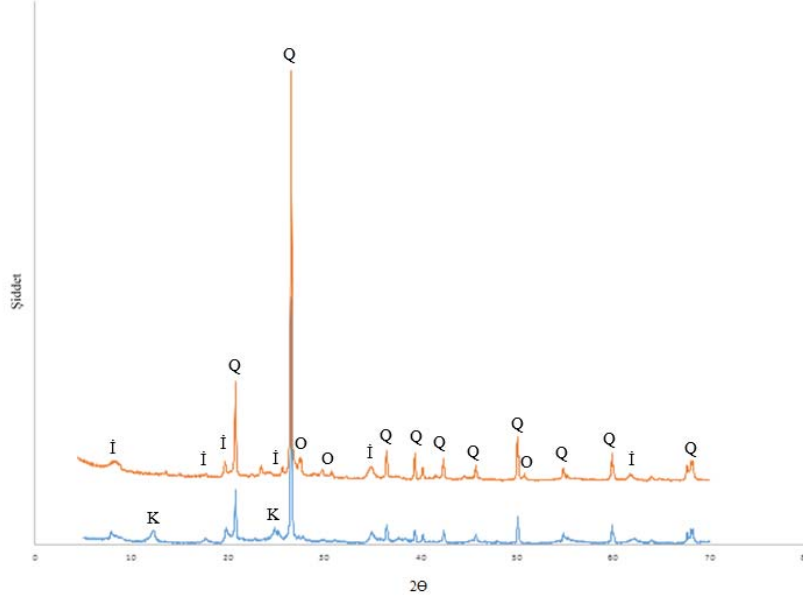
Çizelge 1. Standart bünye reçetesinde kullanılan hammaddelerin ve Afyon Kilinin XRF ile tayin edilmiş kimyasal bileşimleri (% ağı.)

Hammaddeler	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	A.Z.
Ukrayna Kili	60,77	26,03	0,95	1,5	0,33	0,53	0,46	2,05	7,24
Ukrayna Kaoleni	66,60	23,22	0,19	0,41	0,35	0,40	0,11	0,34	7,91
Bahkesir Kaoleni	66,04	23,48	0,35	0,69	0,19	0,03	0,03	0,20	8,54
Eskişehir Kili	8,78	1,83	0,41	0,24	1,26	40,89	0,22	0,13	46,03
Sodyum Feldispat	67,91	19,58	0,11	0,05	0,85	0,10	10,53	0,25	0,23
Afyon Kili	75,66	16,00	0,78	0,01	0,08	0,11	0,35	5,05	2,12

Çizelge 2. Kil ve kaolenlerin fiziksel özellikleri (% ağı.)

	Ukrayna Kili	Ukrayna Kaoleni	Bahkesir Kaoleni	Afyon Kili
Kuru Mukavemet (kg/cm ²)	45	-	-	37
Pişme Küçülmesi (%)	9,15	1,57	0,94	5,83
Su Emme (%)	0,13	20,07	19,24	5,58
L*	78,43	93,89	91,21	73,08
a*	0,74	1,29	2,16	6,07
b*	13,07	3,52	3,9	17,49
Isıl Genleşme Katsayısı (10 ⁻⁷ °C ⁻¹) (20-400°C)	62,92	60,72	66,91	78,12

Ukrayna kili ve Afyon kiline ait XRD analizleri Şekil 1’de verilmiştir. Her iki kilde de kuvars ve illit fazları tespit edilmiştir. Kil mineralleri içinde doğada en yaygın olanı illittir. Kil minerallerinden illitler, potasyum iyonlarının birim tabakaları arasında köprü vazifesi görmesi ve bunları bağlamalarından dolayı genişlemezler. Killerin içerisinde illit fazının varlığı kil mukavemetini arttırmaktadır (Anonim (2000a)). Çizelge 2’de verilen killerin kuru mukavemet değerleri incelendiğinde; faz analizini doğrular şekilde Afyon kilinin Ukrayna kiline yakın bir kuru mukavemet değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu fazların dışında Ukrayna kilinde kaolin fazı, Afyon kilinde ise Ortoklas fazı tespit edilmiştir.



Şekil 1. Ukrayna kili ve Afyon kiline ait XRD analizleri (Q: Quartz, İ: İllite, O: Orthoclase, K: kaolin)

2.2. Bünye Geliştirme Çalışmaları

Standart porselen karo bünyesi Ukrayna kili ve kaoleni ile Balıkesir kaoleni, Eskişehir kili ve sodyum feldispattan oluşmaktadır. Yapılan çalışmada Afyon bölgesinden temin edilen Afyon kili, Ukrayna kil oranı kademeli azaltılırken bünyeye % 7,8,10 oranlarında ilave edilmiştir. Standart bünye ile birlikte geliştirilen bünye reçeteleri Çizelge 3’te verilmiştir. Porselen karo bünyesinden beklenen renk, su emme ve pişme küçülmesi gibi fiziksel özelliklerin ayarlanabilmesi için aynı zamanda reçete kompozisyonlarında kaolen oranlarında da değişiklikler yapılmıştır. Porselen karo bünyelerinde killer pişme küçülmesini azaltırken, bünyenin kuru mukavemet değerini arttırmaktadır. AK1 kodlu bünye reçetesinde kaolen oranı standart reçete ile aynı oranda tutulurken, geliştirilen diğer reçetelerde kuru mukavemet ve pişme küçülme değerlerini kontrol altında tutabilmek adına kaolen oranı düşürülerek toplam kil oranı artırılmıştır.

Çizelge 3. Porselen karo bünye reçete kompozisyonları (% ağı.)

	Std	AK1	AK2	AK3	AK4	AK5
Ukrayna Kili	22	12	15	15	17	18
Ukrayna Kaoleni	10	13,5	10	12	10	12
Balıkesir Kaoleni	17	13,5	14	12	14	12
Eskişehir Kili	1	1	1	1	1	1
Sodyum Feldispat	50	50	50	50	50	50
Afyon Kili	-	10	10	10	8	7

Reçete oranlarına göre hammaddeler rutubet değerleri de hesaplanarak tartılmış, su ve elektrolit ilavesi ile bilyalı değirmenlerde yaklaşık 1700 g/lit yoğunlukta, 45 µm elek üstü bakiyesi % 2-2,5 gelene kadar öğütülmüştür. Bünye kompozisyonlarında elektrolit olarak % 0,45 Na₂SiO₃ ve % 0,16 NaTPP kullanılmıştır. Hazırlanan bünye çamurlarının yoğunluk (g/lit), viskozite (akma sn) ve elek bakiye (+45 µm) değerleri ölçülmüştür. Elde edilen bünye çamurları laboratuvar tipi etüvde 110°C sıcaklıkta kurutulmuş ve granül eldesi için havanda öğütülmüştür. 500 µm’lik eleklerden elendikten sonra %5-6 rutubete sahip olacak şekilde nemlendirilmiş ve rutubetin homojen şekilde dağılması için bir gün süre ile bekletilmiştir. Hazırlanan granüller laboratuvar tipi pres ile 400 kg/cm² basınçla 50x100 mm boyutlarında şekillendirilerek numuneler hazırlanmış, etüvde 1 saat bekletilerek kurumaları sağlanmıştır. Hazırlanan numunelerin pişirimleri Kaleseramik Çanakkale Kalebodur Seramik Fabrikası’nda porselen karo pişirim koşullarına göre 1200°C’de 55 dak. lık pişirim süresinde gerçekleştirilmiştir.

2.3. Karakterizasyon

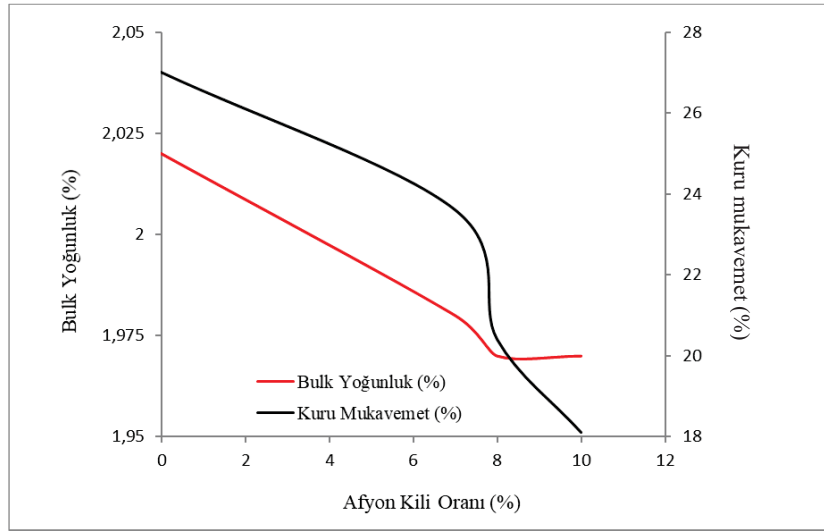
Hazırlanan numunelerin fiziksel özellikleri (% su emme, kuru mukavemet, % pişme küçülmesi) TS EN 14411 (Grup BIa, E< %0,5) standart test serisine göre değerlendirilmeye alınmıştır. Hazırlanan numunelerin test sonuçları için ortalama değer alabilmek amacıyla her bir test için üçer adet numune hazırlanmıştır. Numunelerin renk ölçümü (L*, a*, b* renk değerleri) Minolta Konica model renk ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Fiziksel test sonuçları değerlendirilerek standarda uygun olduğu belirlenen

bünyelerin sinterleme davranışları Misura ODHT HSM 1600/80 (Expert System Solutions, İtalya) marka ve modeldeki optik dilatometre ile incelenmiştir. Bünyelerin ısı genleşme katsayıları Netzch 402 EP model ve marka dilatometre cihazı ile belirlenmiştir. Geliştirilen bünyelerin pişirimleri sonrasında bünyelerde oluşan kristal fazların analizinde X-ışınları kırınımı (XRD) yöntemi kullanılmıştır. XRD ölçümleri X' Pert Pro MPD 30 mA, 40 kV 0,02 Step Size ile 10-70° 2θ arası taranarak tespit edilmiştir. Mikroyapı analizleri Zeiss Supra 50 VP marka taramalı elektron mikroskopunda(SEM) gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı analizlerinde karolar kesit yüzeylerinden parlatılarak geri yansıyan elektron görüntüleri alınmıştır. Ayrıca numunelerin kırık yüzeyleri dağlanarak yine taramalı elektron mikroskopu ile ikincil elektron görüntüleri alınmıştır. Bütün numuneler yüzey iletkenliği sağlamak amacıyla Sputter Coater marka kaplama cihazında altın-paladyum kaplama işlemine tabi tutulmuştur. İlave olarak numunelerin EDX ile kalitatif kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Fiziksel ve Optik Özellikler

Porselen karo bünyesinde Ukrayna kilinin azaltılması ve yapılan Afyon kili ilavesine bağlı olarak değişen bulk yoğunluk ve kuru mukavemet değerleri Şekil 2'de verilmiştir. Geliştirilen bünyelerin bulk yoğunluk ve kuru mukavemet değerleri Ukrayna kilinin azalması ve Afyon kili miktarına bağlı olarak azalmaktadır. Ukrayna killeri yüksek plastiklik özelliği ile preslemeyi kolaylaştırır ve daha sıkı bir paketlenme sağlayarak bünyenin bulk yoğunluk değerini arttırmaktadır. Presleme aşamasında sağlanan iyi paketlenme ile birlikte kilin yüksek plastisite değeri bünyelerin kuru mukavemet değerini de arttırmaktadır (Worrall (1982), Vari (2000)). Bu nedenle geliştirilen reçetelerde Ukrayna kil oranının azaltılması ve yerine daha düşük plastiklikte kullanılan Afyon kil oranının artması ile birlikte bulk yoğunluk ve kuru mukavemet değerleri benzer şekilde azalmıştır. Özellikle 60x60, 60x90 ve 60x120 gibi büyük ve dikdörtgen ebatta yapılan porselen karo üretimlerinde bünye kuru mukavemet değeri ürünlerin pişirim öncesinde uygulanan aplikasyonlara (sırlama, dijital baskı vb.) kırılma ya da çatlama dayanımı açısından son derece önemlidir. Bundan dolayı porselen karo üretiminde bünye kuru mukavemet değerinin min. 20 kg/cm² olması istenir (Anonim (2002b)). Geliştirilen reçetelerde Afyon kilinin artması ile birlikte kuru mukavemet değerinin düştüğü görülmektedir. Ancak reçetelerde yaklaşık % 8 e kadar Afyon kili kullanımı üretimler için istenilen kuru mukavemet değerini sağlamaktadır.



Şekil 2. Afyon Kili ilavesine bağlı olarak % bulk yoğunluk ve % kuru mukavemet küçülmesi değerlerinin değişimi

Bünyelere ait fiziksel ve ısı özellikler Çizelge 4'te verilmiştir. Afyon kilinin Ukrayna kiline göre su emme değeri daha yüksektir (Çizelge 2). Benzer şekilde reçetelerde Ukrayna kilinin azalması ve Afyon kilindeki artışla birlikte bünyelerin su emme değerlerinde de artış tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra reçetelerde Afyon kili kullanımı ile presleme karakteristiklerinin zayıflaması ve bunun sonucu olarak bulk yoğunluğun da düşmesi ile birlikte bünyelerin pişme küçülme değerlerinin de arttığı belirlenmiştir. Özellikle aynı kaolen oranına sahip Std ve AK1 reçetelerinin fiziksel özellikleri değerlendirildiğinde, reçetede daha plastik olan Ukrayna kilindeki azalma ve Afyon kilindeki artışla birlikte su emme ve pişme küçülme değerinin belirgin şekilde arttığı görülmektedir. AK2-AK5 reçetelerinde kaolen oranındaki azalma ve kil oranındaki artışla birlikte ise su emme ve pişme küçülme değerleri azalmıştır. Porselen karo bünyelerinde killer pişme küçülmesini kontrol eder, bünye kompozisyonlarında kullanılan killerin plastikliğinin artması ve kil oranındaki artışla birlikte bünyelerin pişme küçülme değerleri azalmakta ve su emme değerleri düşmektedir (Worrall (1982), Vari (2000), Anonim (2002a)).

Geliştirilen bünyelerin renk değerleri incelendiğinde, reçetelerde Ukrayna kilinin azalması ve yerine Afyon kili kullanımı ile bünyelerin beyazlık değerlerinde bir miktar düşüş gözlenmekle birlikte, standart bünyeye uygun olarak kabul edilebilir beyazlık değerlerinin elde edildiği tespit edilmiştir.

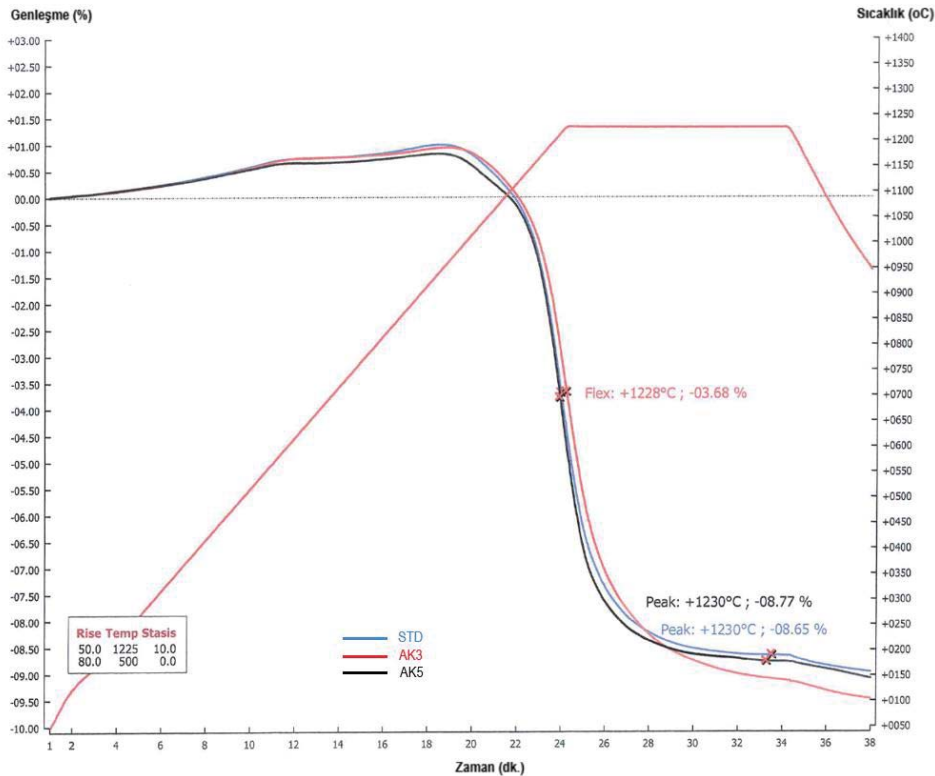
Çizelge 4. Çalışılan bünyelerin fiziksel ve ısıl özellikleri

	Std	AK1	AK2	AK3	AK4	AK5
Pişme Küçülmesi (%)	8,18	8,44	8,34	8,34	8,28	8,22
Su Emme (%)	0,00	0,46	0,21	0,19	0,09	0,05
L*	76,68	77,02	76,11	76,52	76,43	76,48
a*	2,0	1,9	1,7	1,66	1,85	1,98
b*	11,05	10,81	10,92	10,73	10,74	10,87
Isıl Genleşme Katsayısı ($10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) (20-400°C)	76,4	79,2	78,5	78,2	77,8	77,3

Isıl genleşme katsayısı sonuçlarında Afyon kili miktarına bağlı olarak bünyelerin ısıl genleşme katsayılarının belirgin şekilde arttığı görülmektedir. Afyon kili diğer kil ve kaolenlere göre daha yüksek oranda SiO_2 içermektedir ve daha fazla miktarda kuvars fazına sahiptir (Çizelge 1 ve Şekil 1). Bundan dolayı Çizelge 2’de verilen kil ve kaolenlerin ısıl genleşme katsayıları incelendiğinde en yüksek ısıl genleşmeye sahip hammaddenin Afyon kili olduğu görülmektedir. Geliştirilen bünyelerde; toplam kil oranının standart bünye ile aynı olduğu ve Afyon kilinin en yüksek oranda kullanıldığı AK1 reçetesinde ısıl genleşme değeri en yüksektir. Reçetelerde kil oranının artması ve Afyon kil oranındaki düşüşle birlikte bünye ısıl genleşme katsayısı değeri düşmektedir.

3.2. Pişirim Davranışı

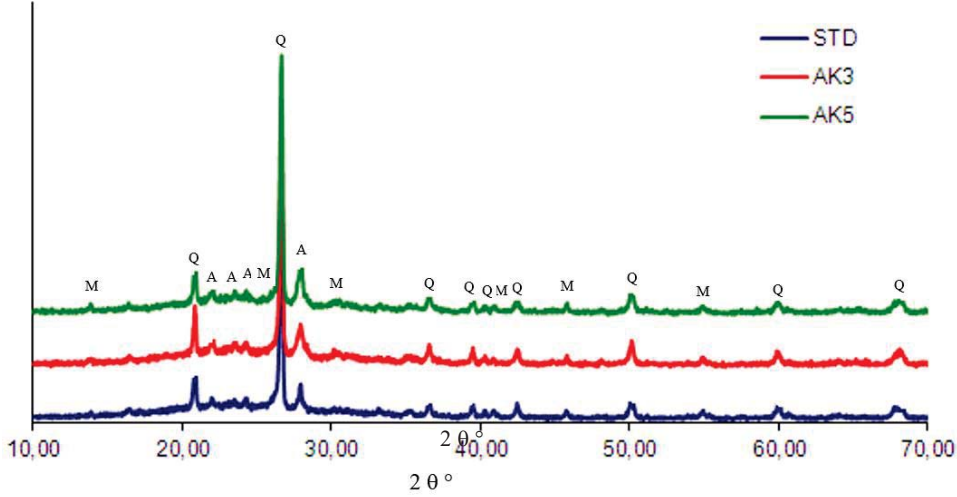
Afyon kil ilavesinin bünye sinterlenme davranışı üzerine olan etkisini belirlemek için standart, % 10 Afyon kili içeren AK3 ve % 7 Afyon kili içeren AK5 kodlu bünyelerin sinterlenme davranışları incelenmiştir. Bünyelerin sinterlenme davranışlarının incelenmesinde öncelikle bünyeler için sinterlemenin en hızlı olduğu sıcaklık değerleri tespit edilmiştir. Her üç bünye için de sinterlenme davranışının en hızlı olduğu sıcaklık değeri 1228°C olarak belirlenmiştir. Şekil 3’te ise belirlenen bu sıcaklık değerinde 10 dk bekletilmek suretiyle bünyelerin sinterlenme davranışı incelenmiştir. Eğriler, zamana karşılık artan sıcaklık ve bünyenin küçülme davranışı ile sinterleme oranını göstermektedir. Standart ve AK5 kodlu bünye 1230°C ’de defromasyona uğramadan küçülme göstermiş ve uygulanan bekleme süresinde lineer küçülmesi durmuştur. Bu nedenle standart ve AK5 kodlu bünyeler için optimum sinterlenme sıcaklığı 1230°C olarak belirlenmiştir. AK3 kodlu bünye ise 1230°C ’de uygulanan bekleme süresince halen çekme göstermeye devam etmektedir. Bünyenin uygulanan bu sıcaklık ve bekleme süresinde lineer küçülmeye devam etmesi bünyenin daha yüksek bir sinterlenme sıcaklığına ihtiyacı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle AK3 kodlu bünye için uygun sinterleme sıcaklığının standart ve AK5 kodlu bünyeye göre daha yüksek olduğu söylenilebilir. Bu açıdan değerlendirildiğinde porselen karo bünye kompozisyonunda Ukrayna kili yerine yapılan Afyon kili ilavesinin bünyenin sinterlenme sıcaklığını artırdığını ancak uygun reçete optimizasyonu ile standart bünye ile benzer sinterlenme sıcaklıklarının elde edilebileceği tespit edilmiştir. Ayrıca optk dilatometre analiz sonuçlarına göre Afyon kil ilavesi ile birlikte küçülme değeri bir miktar artmakta olup, bu da pişme küçülmesi test sonuçlarını doğrular niteliktedir.



Şekil 3. Standart, AK3 ve AK5 kodlu porselen karo bünyelerine ait dilatometre eğrileri.

3.3. Faz Analizi

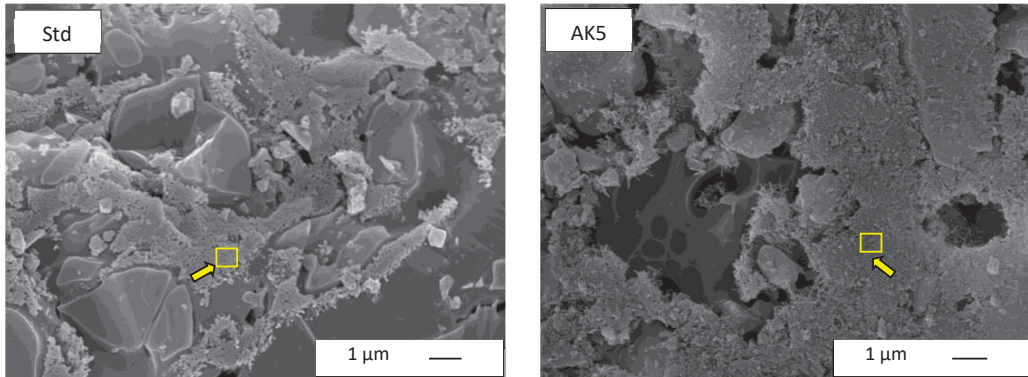
Porselen karo bünyelerinde genellikle kil, kaolen, feldispat ve kuvars gibi hammaddeler kullanılır. Standart bünye ile geliştirilen bünyelerde ait XRD grafiği Şekil 4'te verilmiştir. Yapılan XRD analizi sonuçlarına göre tüm bünyelerde bulunan fazlar kuvars, müllit ve albit olarak belirlenmiştir. Artık bir faz olan kuvars ana faz olarak yapıda bulunurken müllit fazı sinterleme sırasında başlangıç kompozisyonunda bulunan kil minerallerinden gelişir. Porselen karo bünyelerinin hızlı pişirim döngülerinde pişirilmelerinden dolayı albit fazının bir kısmı da pişirim sonrasında ergimemiş olarak yapıda kalır. Yüksek oranda (% 10) Afyon kili kullanılarak geliştirilen özellikle AK3 bünyesinde farklı olarak sinterleme sonrasında ergimeden kalan kuvars fazına ait pik şiddetinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Reçetelerde kullanılan hammaddelerin kimyasal ve XRD analizlerine (Çizelge 1 – Şekil 1) göre Afyon kili Ukrayna kiline göre daha yüksek oranda serbest kuvars ihtiva etmektedir ve bu nedenle sinterleme sonrasında bünyede bulunan kuvars fazının standart bünyeye göre daha fazla olduğu söylenilebilir.



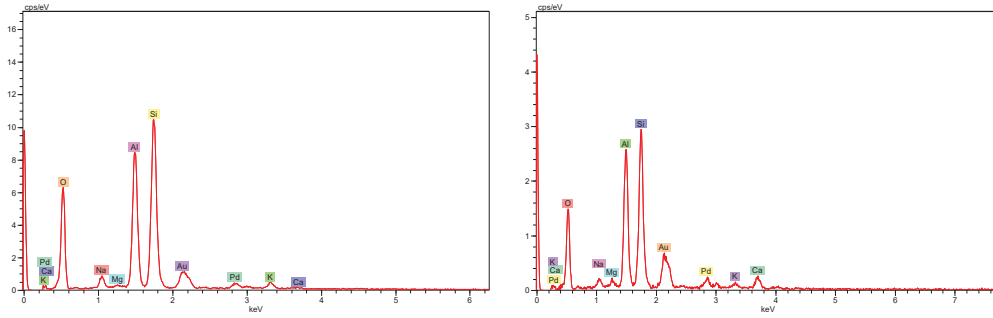
Şekil 4. Standart, AK3 ve AK5 bünyelerine ait XRD analizleri (A: Albit, Q: Kuvars, M: Müllit)

3.4. Mikroyapı Analizi

Standart bünye ile teknik özellikleri standart bünyeye en yakın Afyon kili ilaveli AK5 kodlu bünyenin dağlanmış kırık yüzeylerinden elde edilen ikincil elektron görüntüleri ve eş eksenli kristallere yapılan EDX analizleri Şekil 5'te verilmiştir. Her iki bünyenin de mikroyapısı birbirine benzer şekilde, genel bir porselen karo bünyesinde bulunan camsı faz, düzensiz şekilli kuvars taneleri, eş eksenli müllit kristalleri ve porları içermektedir. Bünyelerin mikroyapısında bulunan eş eksenli kristallerin yapılan EDX analizi sonucunda Al_2O_3 ve SiO_2 bakımından zengin müllit kristalleri olduğu belirlenmiştir. Müllitin kimyasal formülü ($3Al_2O_3 \cdot SiO_2$) göz önünde bulundurulduğunda eş eksenli kristallerin EDX verilerindeki Al_2O_3 yüzdesinin daha yüksek olması beklenmektedir. Ancak yapılan EDX analizinde; analizin yapılacağı bölge olarak kristal faz bölgesi seçilmesine rağmen gönderilen karakteristik X ışınları daha geniş bir alandan ve daha derinlerden de veri almaktadır. Literatürde yapılan çeşitli çalışmalarda benzer şekildeki eş eksenli kristallerin müllit ($3Al_2O_3 \cdot SiO_2$) kompozisyonuna yakın olduğu ifade edilmiştir (Manfredini ve ark. (1995), Carty ve Senapati (1998), Iqbal ve ark. (2000), Carbajal ve ark. (2007)) İşaret edilen noktalara yapılan EDX analiz sonuçlarına göre söz konusu bölgede oluşan kristaller alüminyum, oksijen ve silika içermekte olup; mevcut literatürle paralellik arz etmektedir.



Şekil 5. Std ve AK5 bünyelerine ait temsili SEM görüntüleri ve eş eksenli kristallerden alınan EDX analizleri.



Şekil 5 (devam). Std ve AK5 bünyelerine ait temsili SEM görüntüleri ve eş eksenli kristallerden alınan EDX analizleri.

4. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada porselen karo bünyelerinde ithal olarak kullanılan Ukrayna kili yerine Afyon kilinin kullanılabilirliği ve bünye teknik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Porselen karo bünyelerinde Ukrayna kil oranı düşürülerek yapılan Afyon kili ilavesi genel olarak bünye presleme özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek, bulk yoğunluk ve kuru mukavemet değerlerini düşürmektedir. Bununla paralel olarak pişme küçülme ve su emme değerlerinde de artışa neden olmaktadır. Bunun yanı sıra bünyeye yapılan Afyon kil ilavesi bünye ısıl genleşme değerini artırmaktadır. Porselen karo bünyelerinin ısıl genleşme değeri sırlı olarak da pişirilen bu ürünlerin fırın çıkışı deformasyon davranışını belirlediğinden kontrol altında tutulması gereken en önemli parametrelerden biridir. Geliştirilen reçetelerde kullanılan Afyon kil oranının azaltılmasıyla ve yapılan reçete optimizasyonları ile bünye ısıl genleşme değerinin düşürülebildiği tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada, genel olarak bünye reçetesinde yapılacak optimizasyonlarla, kaolen oranının düşürülerek kil oranının artırılması ile, standart bünye özelliklerine uygun teknik özelliklerde, üretilebilir porselen karo reçetelerinin geliştirilmesinin mümkün olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu fiziksel ve mikroyapısal özellikler göz önünde bulundurulduğunda porselen karo bünye kompozisyonlarında Ukrayna kil oranının azaltılarak Afyon kilinin kontrollü olarak % 7 oranına kadar kullanımının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada desteklerinden dolayı Kaleseramik Çanakkale Kalebodur Seramik San. A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Anonim (2002a), Applied ceramic technology, Volume I, SACMI IMOLA s.c. a r.l., Italy.
- Anonim (2002b), Applied ceramic technology, Volume II, SACMI IMOLA s.c. a r.l., Italy.
- Biffi, G. (1999), Porcelain stoneware - production manual and methods of use, Gruppo Editoriale Faenza Editrice S.p.A., Faenza.
- Biffi, G. (1999), Porcelain stoneware - production manual and methods of use, Gruppo Editoriale Faenza Editrice S.p.A., Faenza.
- Carbajal, L., Rubio-Marcos, F., Bengochea, M.A., Fernandez, J.F. (2007), Properties related phase evolution in porcelain ceramics, Journal of the European Ceramic Society, Volume 27, Issues 13-15, 4065-4069.
- Carty, W.M. ve Senapati, U. (1998), Porcelain-raw materials, processing, phase evolution, and mechanical behaviour, J. Am. Ceram. Soc., 81(1), 3-20.
- Iqbal, Y., Messer, P.F., Lee, W.E. (2000), Microstructural evolution in triaxial porcelain, J. Am. Ceram. Soc. 83 (12), 3121-3127.
- TS EN 14411/Grup BIa (2006), Su Emmesi $E < \%0,5$ olan Kuru Preslenmiş Seramik Karolar.
- Manfredini, T., Pellacani, G.C., Romagnoli, M. (1995), Porcelainized stoneware tile, Am. Ceram. Soc. Bull., 74,76-79
- Sanchez, E., Orts, M.J., Garcia-Ten, K., Cantavella, V. (2001), Porcelain tile composition effect on phase formation and end product, Am. Ceram. Soc. Bull. 80 (6), 43-49.
- Vari, A. (2000), Raw material preparation and forming of ceramic tiles, S.A.L.A., Modena, Italy.
- Worrall, W. E. (1982), Ceramic raw materials.
- Yıldız, A., Bağcı, M., Dumlupınar, İ., Başaran, C. (2014), Afyonkarahisar İlinin Seramik Sektörü Hammadde Potansiyeli, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi (14), 553-564.



Farklı Çaplara Sahip Dairesel Borularda Grafen Oksit (GO)-Saf Su Nanoakışkanı Kullanımının Isı Transferi Artışı Üzerindeki Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Experimental Investigation of the Effect of Graphene Oxide (GO)-Distilled Water Nanofluid Usage on Heat Transfer Increment In Circular Tubes Having Different Diameters

Koray Karabulut^{1*}, Ertan Buyruk², Ferhat Kılınc²

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, 58140 Sivas, TÜRKİYE

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 12/04/2018

Kabul/Accepted: 21/11/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Öz

Bu çalışmada, %0,01 hacimsel konsantrasyonlu grafen oksit (GO)-saf su nanoakışkanının taşınım ısı transferi ve basınç düşüşü artışı iç çapları 12 mm ve 16 mm olan, 1830 mm uzunluğa sahip sabit duvar ısı akılı dairesel bakır düz borularda deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca, çalışmada sayısal hesaplamalar tek fazlı akışkan kabulüyle Navier-Stokes ve enerji denkleminin sonlu hacimler yöntemi olan ANSYS-FLUENT programı kullanılarak çözülmesiyle üç boyutlu ve zamandan bağımsız olarak yapılmıştır. Hacimsel debinin, ısı akısının ve boru çapının GO-saf su nanoakışkanının taşınım ısı transfer katsayısı ve basınç düşüşü üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmış ve saf su için elde edilen ısı taşınım katsayısı değerleri ilgili bağıntılardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, farklı çaplı borular için farklı debi ve ısı akısı değerlerinde ısı taşınım katsayısı ve Nusselt sayısı değerlerinin değişimleri olarak sunulmuş ve ayrıca boruların duvar yüzey sıcaklık ve ısı taşınım katsayısı değerlerinin değişimleri sayısal ve deneysel karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, nanoakışkanın h ve Nu sayısı değerlerinin hacimsel debi ve ısı akısındaki artışla arttığını ve en yüksek artış değerlerine 16 mm iç çaplı boruda ulaşıldığını göstermektedir. 16 mm iç çaplı boru için GO-saf su nanoakışkanının ortalama ısı taşınım katsayısı artış değeri 1,5 L/dak.'lık debi (Re=1981) ve 3043,94 W/m² (350 W) ısı akısı değerinde %34,88 olmaktadır.

Anahtar Kelimeler

"Nanoakışkan, grafen oksit, taşınım ısı transfer katsayısı, basınç düşüşü"

Abstract

In this study, increment of convective heat transfer and pressure drop of graphene oxide (GO)-distilled water nanofluid with volumetric concentration of 0,01% in circular copper straight tubes having inner diameters of 12 mm and 16 mm, length of 1830 mm and with constant wall heat flux was experimentally investigated. In addition, numerical calculations were performed as three-dimensional and steady by solving Navier-Stokes and energy equation using ANSYS-FLUENT program which is the finite volumes method with the assuming of single phase fluid. The effects of volumetric flow rate, heat flux and diameter of the tube were experimentally researched on the convective heat transfer coefficient and the pressure drop of the GO-distilled water nanofluid and the obtained values of convective heat transfer coefficient for the distilled water were compared with determined results from corresponding correlations. Results were presented as the variation of convective heat transfer coefficient and Nu number values at the values of different flow rates and heat fluxes for different tube diameters. And also, the variations of wall surface temperature and convective heat transfer coefficient values of the tubes were examined as numerical and experimental comparison. The obtained results showed that h and Nusselt number values of nanofluid increased with increasing of volumetric flow rate and heat flux and the highest increment values were reached at the pipe with 16 mm inner diameter. The increment value of average convective heat transfer coefficient of the GO-distilled water nanofluid was 34,88% at the flow rate of 1,5 L/min. (Re=1981) and the heat flux of 3043,94 W/m² (350 W) for the tube with 16 mm inner diameter.

Key Words

"Nanofluid, graphen oxide, convective heat transfer coefficient, pressure drop"

1. GİRİŞ

Enerji dönüşümü uygulamalarında kullanılan ısı değiştiriciler, güneş ısıtıcıları, nükleer reaktörler, soğutucular ve hidrojen depolama üniteleri gibi sistemlerin ısı performansları temel olarak su, etilen glikol ve yağ gibi geleneksel ısı transferi akışkanlarının termodinamik özelliklerine bağlıdır. Bununla birlikte, su, yağlar ve glikoller sahip oldukları düşük ısı iletkenlikleri nedeniyle zayıf ısı transferi performansı sergilemektedirler. Günümüzde de bu doğrultuda akışkanların ısı transferi özelliklerini iyileştirmek amacıyla araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bunun yanı sıra, katı malzemeler, sıvılardan daha yüksek ısı iletkenlik değerlerine sahip olduklarından sıvıya eklenen katı parçacıklar kullanılan (taban) akışkanının ısı iletkenliğini ve ısı transferi performansını artırmaktadırlar (Trisaksri ve Wongwises, 2007). İlk başlarda, mikrometre hatta milimetre boyutlu katı parçacıklar süspansiyon oluşturmak için taban akışkanlarına karıştırılmıştır. Buna ek olarak, nanoparçacıklara kıyasla büyük boyutlu olan bu katı parçacıklar, boru hatlarını aşındırıcı etkide bulunması, mikro kanallarda tıkanmalara yol açması ve basınç düşüşünü artırması gibi uygulamada kısıtlayıcı birtakım istenmeyen sonuçlara sebep olmaktadır. Bunun yanında, parçacıkların büyük boyuta sahip olması ve üretim aşamasında küçük boyutlu parçacıklarda yaşanan zorluklar uygulamayı kısıtlayıcı diğer faktörler olmuştur. Bununla birlikte, başlangıçta yalnızca teorik bir ilgi alanı olan sıvı süspansiyon şeklindeki karışımlar araştırmacıların yaptıkları deneysel çalışmalar neticesinde gelecek vaat edici etkiler gösterdiği belirlenmiştir. Bu sebeple, 1881 yılında Maxwell' in öncülüğünde başlatılan ve ısı iletkenlik değerini artırmak amacıyla geleneksel ısı transferi akışkanlarına katı parçacıkların eklenmesi düşüncesi yeni bir fikirdir (Maxwell, 1904), (Gupte vd., 1995). Bu akışkanların özelliklerindeki iyileşmeler son derece kritik bir öneme sahip olduğu için nanoakışkan olarak adlandırılan yenilikçi çalışma akışkanları üzerindeki araştırmalar da son zamanlarda ilgi odağı haline gelmiştir (Kim vd., 2007), (Kwark vd., 2010).

Nanoakışkan, 100 nm ve daha küçük boyuttaki metal, metal oksit, tek ve çok katmanlı karbon nanotüp, grafit, grafen, grafen oksit, grafen nano ribbon gibi parçacıkların genelde deformasyon hızının kayma gerilmesi ile doğru orantılı olarak değiştiği Newton kuralına uyan akışkanlar içerisine düşük konsantrasyonlarda eklenmesiyle oluşturulan süspansiyon şeklindeki akışkanlara denilmektedir. Nanoakışkanlar, ısı yayılım ve ısı iletkenlik gibi termodinamik özellikleri iyileştirirken, mükemmel bir kararlılık ve taşınım ısı transferi katsayısı değerleri sağlamaktadırlar ve ayrıca basınç düşüşü ve pompalama gücünde taban akışkanına göre çok az bir artış meydana getirmektedirler (Hong vd., 2006), (Hwan vd., 2008). Araştırmacıların birçoğu, karbon nanotüpler (Sadri vd., 2014), grafit (Wang vd., 1999) ve grafen nanoparçacıklar (Yu vd., 2011), (Zheng vd., 2011) gibi karbon tabanlı ve metal (Cu, Fe) ((Hong vd., 2006), (Eastman vd., 2001)) ve metal oksit (Al_2O_3) (Hwan vd., 2008), (Turgut vd., 2016) gibi çeşitli nanoparçacıkların kullanılmasıyla elde edilen nanoakışkanların termodinamik özelliklerini incelemiştirler. Geleneksel olarak kullanılan akışkanlara nanoparçacıkların eklenerek yeni akışkan elde edilmesi düşüncesinin ısı iletkenlikte iyileşme sağlanarak akışkanın ısı transferi performansını artırmak amacıyla olduğu düşünüldüğünde nanoakışkanlar üzerinde yoğun olarak araştırma yapılması olağan kabul edilmektedir. Metal ve metal oksitlerle karşılaştırıldığında karbon kökenli malzemeler yüksek ısı iletkenliğe ve düşük yoğunluğa sahip oldukları için daha çok ilgi görmektedirler (Xie vd., 2003).

Nanoteknolojinin çeşitli alanlarında geniş çapta kullanılan en yeni parçacıklarından biri olan grafen, karbon kökenli bir malzemedir. İki boyutlu düzlemsel yapıların çok ender örneklerinden biri olarak kabul edilen grafen, karbon elementinin bal peteği örgülü yapısıdır. Grafen, bilim dünyası için heyecan verici bir etkiye sahip olmakla birlikte aslında çok nadir bulunan bir malzeme özelliğine sahip değildir. Günlük hayatta da kullandığımız kurşun kalemlerin içinde bulunan grafit, grafen tabakalarının üst üste binmesinden meydana gelmektedir. Grafen, karbon atomlarının tek düzlemde farklı şekilde dizilmesiyle oluşmuş iki boyutlu, bir atom kalınlığında altıgen bir yapısıdır (Singh vd., 2011). Grafen bu yapısı sayesinde olağanüstü mekanik, ısı ve elektriksel özellikler göstermektedir ve bu sebeple çoğu araştırmacı için ilgi odağı haline gelmiştir (Novoselov vd., 2005). Grafen, ısı iletkenliği çok iyi olan bir malzemedir. Tek tabakalı grafen nanoparçacığının oda sıcaklığındaki ısı iletkenliği, 5000 W/mK ve yüzey alanı 2630 m²/g' dir (Balandin vd., 2008).

Grafenin yüksek ısı iletkenliği, diğer nano parçacıklarla ve hatta karbon nanotüplerle karşılaştırıldığında çok daha iyi bir performans sergilemektedir. Bu nedenle, grafen nanoparçacıkları içeren nanoakışkanların ısı transferi çalışması diğer nanoakışkan türlerine göre çok daha fazla ilgi görmektedir. Grafen suyu sevmez özelliğe sahiptir. Grafit oksitlenerek grafen oksite dönüştüğünde ısı iletkenliği grafitten daha düşük olmaktadır. Fakat grafen oksit suyu sever özellikte olduğundan kullanıldığı nanoakışkanda stabilite (kararlılık) artmakta ve çökme olmamaktadır (Yu vd., 2011). Bu üstün özelliklerinden ötürü ve ayrıca grafen oksit-saf su nanoakışkanı hakkında literatürdeki çalışma sayısının oldukça az olması nedeniyle bu çalışmada deneysel olarak grafitten sentezlenen grafen oksit nanoparçacığı kullanılmıştır.

Efektif ısı iletkenlikteki artış, yoğunluk, özgül ısı ve viskozitedeki değişimler nanoakışkanın iyileştirilmiş ısı transfer davranışının önemli belirtileridir (Celeta vd., 2013). Bununla birlikte, ısı transfer akışkanı olarak nanoakışkanın net katkısı basınç düşüşü ve ısı taşınım katsayısı artışıyla belirlenir. Artan ısı taşınım katsayısının bir sonucu olarak nanoakışkanlar, ısı transfer ekipmanlarının boyutunda ve dolayısıyla ağırlığında azalmaya olanak tanır. Buna bağlı olarak, enerji ve yakıt verimliliğinde artışa ve emisyonlarda ise azalmaya yol açarlar. Diğer taraftan, nanoparçacıkların eklenmesiyle taban akışkanının yoğunluk ve viskozitesindeki artış, basınç düşüşüne katkıda bulunmaktadır. Bunun sonucunda, yüksek bir pompalama gücü gereksinimi doğmaktadır (Keblinski vd., 2008), (Moghari vd., 2015). Bu sebeple, nanoakışkanın kullanımı esnasındaki basınç düşüşü bir nanoakışkanın kullanılması ve ekonomik olarak değerlendirilmesi açısından ayrıca büyük bir öneme sahiptir.

Farklı boyutlardaki borularda kullanılan nanoakışkanların ısı taşınım katsayılarının deneysel olarak araştırılması çeşitli çalışmalarda yer bulmuş (Yarmand vd., 2014) ve bu çalışmalarda oksitleri, nitritleri, metalleri, elmas ve karbon tabanlı olmak üzere çeşitli nanoparçacıkların kullanılmasıyla elde edilen nanoakışkanlar kullanılmıştır (Shanbedi vd., 2012). Bu çalışmalardan başka, Ding vd., (2006) yatay bir boru boyunca CNT (karbon nanotüp)-su tabanlı nanoakışkanların taşınım ısı transferini incelemişlerdir. Laminer akışta ve sabit duvar ısı akısı sınır şartında ve $Re=800$ ' de en yüksek h artışı 970 mm uzunluk ve 4,5 mm iç çaplı boruda kütlece %0,5 konsantrasyonda %350' nin üzerinde olduğunu bulmuşlardır. Wang vd., (2013) ise 0,952 mm iç çaplı ve 949,5 mm uzunluklu boruda $Re=120$ ' de hacimsel olarak %0,24' lük çok katmanlı karbon nanotüp nanoparçacık kullanarak hazırladıkları nanoakışkan ile yaptıkları deneyde ısı taşınım katsayısında %190' lük artış elde etmişlerdir. Karabulut vd., (2015) çalışmalarında 8 mm iç çaplı ve 1830 mm uzunluklu bakır bir boruda %0,01 hacimsel konsantrasyonlu çok katmanlı karbon nanotüp (MWCNT)-saf su nanoakışkanının taşınım ısı transferi artışında ısı akısı ve hacimsel debinin etkilerini araştırmışlardır. $Re=2753$ ' de boruya uygulanan 500 W' lık ısı yükü değerinde taban akışkanına göre ısı taşınım katsayısı değerinde %20' lik artış elde etmişlerdir. Bununla birlikte, 1,8 L/dak. debide 500 W ısı yükünde taban akışkanına göre basınç kaybında %5,6' lük artış olduğunu bulmuşlardır. Karabulut vd., (2018), yaptıkları bir diğer çalışmada 20 mm iç çaplı boruda hacimsel olarak %0,01 ve %0,02' lik GO konsantrasyonunda saf su ile hazırladıkları nanoakışkanları kullanarak ısı taşınım katsayısı ve basınç düşüşü artışında ısı akısının, nanoparçacık hacimsel konsantrasyonunun ve hacimsel debinin etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Hacimsel %0,02-GO-saf su nanoakışkan konsantrasyonunda 1,5 L/dak. debi ve 350 W ısı yükünde saf suya göre ısı taşınım katsayısında ve basınç kaybında sırasıyla %13,9 ve %8,37' lik artış sağlandığını bulmuşlardır. Chen vd., (2008), nanoparçacık olarak titanat nanotüp ile kütlece %0,5, %1 ve %2,5 konsantrasyonlarda su ile hazırladıkları nanoakışkanların ısı iletkenliğini, reolojik davranışını ve zorlanmış ısı transferini deneysel olarak incelemişlerdir. Kütlece %2,5' luk nanoakışkan konsantrasyonu için 25 °C ve 40 °C' de sırasıyla %3 ve %5' lik ısı iletkenlik artış değerlerine ulaşmışlardır. ısı iletkenlik artış değerleri ile kıyaslandığında kayma gerilmesi arttığında viskozitesinde azalma gösteren titanat nanotüp nanoakışkanı ile daha yüksek ısı taşınım katsayısı değerleri elde etmişlerdir. 3,9 mm çaplı ve 2 m uzunluklu bir boruda yaptıkları deneylerinde sırasıyla kütlece %0,5, %1 ve %2,5' luk konsantrasyonlarda $x/D=50,4$ ' lük uzaklıkta ısı taşınım katsayısında %11,8, %23,5 ve %24,9' luk artış değerleri sağlamışlardır. Baby ve Ramaprabhu (2011), grafen-su nanoakışkanının taşınım ısı transferi artışı hakkında deneysel bir araştırma yapmışlardır. %0,05 hacimsel konsantrasyon için 25 °C ve 50 °C' lik sıcaklıklarda ısı iletkenlik katsayısı değerinde sırasıyla %16 ve %75' lik artışlar elde etmişlerdir. Ayrıca, ısı iletkenlik katsayısı değeri ile karşılaştırıldığında Nu sayısı değerinde daha fazla artış olduğunu görmüşlerdir. Üniform olarak ısıtılmış dairesel bir boruda farklı hacimsel konsantrasyonlarda grafen-su nanoakışkanının türbülanslı taşınım ısı transferi Akhavan-Zanjani vd., (2014) tarafından araştırılmıştır. Nu sayısı değerinin genellikle nanoparçacıkların eklenmesiyle azaldığını ve h değerindeki %6,04' lük en yüksek artışın $Re=10850$ ' de %0,02' lik hacimsel konsantrasyonda olduğunu saptamışlardır. Ayrıca, yine aynı konsantrasyon değerinde (%0,02) $Re=9310$ ' da suya göre %0,8 ile en yüksek basınç düşüşü artışını elde edilmiştir. Bununla birlikte, Re sayısının artışıyla basınç düşüşünün arttığı ve sürtünme faktörünün ise azaldığı görülmüştür. Akhavan-Zanjani vd., (2016), yaptıkları bir diğer çalışmada, laminer akışlı üniform ısı akılı 4,2 mm iç çaplı dairesel bir boru boyunca grafen-su nanoakışkanının taşınım ısı transfer katsayısını deneysel olarak incelemişlerdir. %0,02' lik hacimsel konsantrasyonda k için %10,3 ve h için de $Re=1850$ ' de %14,2 ile en yüksek artış değerlerini elde etmişlerdir. Ghosatloo vd., (2014) bir gövde borulu ısı değiştiricisinde laminer akış için grafen nanoakışkanının h değeri üzerinde sıcaklık ve konsantrasyonun etkisini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, 38 °C sıcaklıkta %0,1' lik kütle konsantrasyonda saf suyla karşılaştırıldığında %35,6' lük h artışı belirlemişlerdir. Anvari vd., (2019), çalışmalarında çapraz akışlı mikro kanallı ısı değiştiricisinde sıcak akışkan olarak kayma gerilmesi ile kayma hızının doğrusal olarak değişmediği non-newtonian bir akışkan olan karboksimetil selüloz (CMC) ve kütlece %0,05-0,15' lik tek tabakalı karbon nanotüp (SWCNT) ile hazırlanmış oldukları nanoakışkanın ısı transferini ve basınç düşüşünü deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışma parametreleri olarak Reynolds sayısının, kütle konsantrasyonunun, sıcak ve soğuk akışkan giriş sıcaklıklarının etkilerini incelemişlerdir. Debi ve konsantrasyonun artışıyla ısı transferi ve basınç düşüşünün arttığını belirlerken, kullanılan sistemin fizibilitesini değerlendirmek için önerilerde bulunmuşlardır. Sadeghinezhad vd., (2015), sabit ısı akılı paslanmaz çelikten imal edilmiş 10 mm iç çaplı düz bir boruda akan grafen mikrolevha (GNP)-su nanoakışkanının ısı transfer özellikleri ve basınç düşüşünü deneysel olarak incelemişlerdir. GNP-su nanoakışkanının %0,025-0,1' lik hacimsel konsantrasyonları arasında h değerinde saf suya göre %13-160 arasında artış elde ederlerken, Nu sayısı değerinde %3-83 arası artış saptamışlardır. Ayrıca, basınç düşüşü değerinde %0,4-14,6 arası artış bulmuşlardır.

Literatürde var olan çalışmalar incelendiğinde, oldukça üstün mekanik, elektriksel ve ısı özelliklere sahip olan karbon tabanlı grafenden elde edilen grafen oksit nanoparçacığının kullanılmasıyla elde edilen nanoakışkanın taşınım ısı transferi ve düz bir borudaki basınç kaybı özellikleri üzerine yapılan çalışmaların çok sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, literatürdeki çalışmalarda nanoakışkanların yalnızca bir boru çapı içerisindeki ısı davranışları incelenmiş olup, farklı boru çapları için yapılan bir kıyaslamaya henüz rastlanmamıştır. Üstün özelliklere sahip olan grafen oksit-su nanoakışkanından uygulamada özellikle ısıtma ve soğutma işlemlerinde etkin bir şekilde faydalanabilmesi için farklı boru çaplarındaki ısı davranışlarının dikkatli bir şekilde araştırılması gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada %0,01' lik hacimsel konsantrasyonlu GO ve taban akışkanı olarak saf su kullanılarak elde edilen GO-saf su nanoakışkanının ısı transferi artışı ve basınç düşüşü etkileri sırasıyla iç çapları 12 mm ve 16 mm, cidar kalınlıkları ise 2 mm (dış çapları ise 16 mm ve 20 mm) olan 1830 mm uzunluğa sahip sabit duvar ısı akılı bakır düz borularda deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca, çalışmada konsantrasyonun çok düşük olması nedeniyle sayısal çözümler tek fazlı akışkan kabulüyle Navier-Stokes ve enerji denklemlerinin sonlu hacimler yöntemi temelli ANSYS-FLUENT programı kullanılarak üç boyutlu ve zamandan bağımsız olarak çözülmesiyle elde edilmiştir. Deneysel çalışmada 0,9 L/dak., 1,2

L/dak. ve 1,5 L/dak. olmak üzere üç farklı hacimsel debi ile çalışılmış olup, boru duvarı dış yüzeyine uygulanan sabit ısı yükleri ise 250 W ve 350 W' dır. Deneylerde kullanılan akışkanlar, borulara 30 °C giriş sıcaklığında girmektedir. Bununla birlikte, %0.01 hacimsel konsantrasyonlu GO-su nanoakışkanının taşınım ısı transferi ve basınç düşüşü üzerinde boru çapının, hacimsel debinin ve ısı akısının etkileri deneysel olarak incelenmiş ve geleneksel akışkan olan saf su ile karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, incelenen farklı çaplardaki iki boru için farklı hacimsel debi ve ısı akısı değerlerinde h ve Nu sayısının değişimleri olarak sunulmuş ve ayrıca boru duvar yüzey sıcaklığının debi ile değişimleri de deneysel ve sayısal karşılaştırılmalı olarak da değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra, GO-su nanoakışkanına ait basınç düşüşü ve sürtünme faktörü değişimi de taban akışkanı olarak kullanılan saf suyla da karşılaştırılarak incelenmiştir.

2. DENEYSEL İNCELEME

2.1. Nanoparçacık Sentezi ve Nanoakışkanın Elde Edilmesi

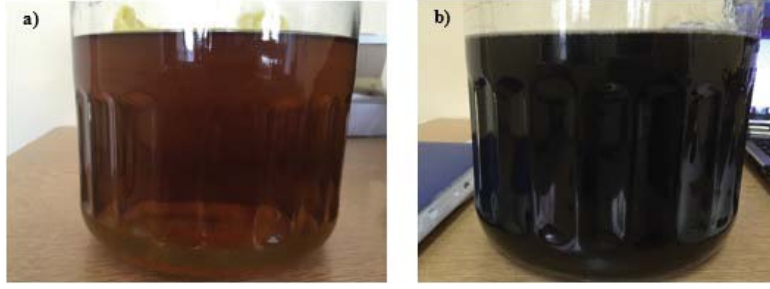
Çalışmada kullanılan GO, grafitten sentezlenerek elde edilmiştir. GO sentezlenirken grafit, nitrit ve sülfirik asit ve ayrıca sodyum nitrat, hidrojen peroksit ve potasyum permanganat gibi çeşitli kimyasallarla işleme tabi tutulmuştur. Bu işlemde sonra grafit, saf sudan geçirilerek asitten ve kimyasallardan arındırılmış ve sonrasında kurutma fırınında kurutulularak GO nanoparçacığı hazır hale getirilmiştir (Hajjar vd., 2014), (William vd., 1958). Sentezlenen GO' den iki aşamalı nanoakışkan hazırlama yöntemi kullanılarak GO-saf su nanoakışkanı elde edilmiştir. Geniş ölçüde nanoakışkan hazırlama yöntemi olarak kullanılan iki aşamalı yöntem, doğrudan nanoparçacıklarla taban akışkanının karıştırılması ve ultrasonik ses dalgalarının elde edildiği ultrasonifikatör cihazı kullanılarak nanoparçacık kümeleşmesinin önlenmesinden ibarettir. Bu amaçla çalışmada istenen hacimsel konsantrasyona göre GO nanoparçacığı 0,1 mg hassasiyete sahip hassas terazide tartılmıştır. Nanoparçacık tartım işleminden sonra kütle oranlar Eş. 1 ile hacimsel orana çevrilmiştir. Yapılan deneylerde kullanılmak üzere hacimsel %0,01' lik konsantrasyonda nanoakışkan hazırlamak amacıyla 4 L saf suya 0,4 g GO nanoparçacığı katılmıştır. Tartım işlemi yapılan GO nanoparçacığının taban akışkanı olan saf su ile karıştırılarak elde edilen nanoakışkanın kararlılığının sağlanabilmesi için nanoakışkan 5 saat boyunca 50 Hz' lik frekansa ve 230 W' lik maksimum güce sahip ultrasonifikatör cihazında bekletilerek ses dalgalarına maruz bırakılmıştır. Elde edilen nanoakışkan, deneylerden sonra iki ay gibi uzun bir süre herhangi bir çökme olmadan kararlılığını koruyabilmektedir. Bununla birlikte, nanoakışkanın kararlılık sürecine Zeta potansiyel değeri ölçümleri ve gözlemsel olarak takibi sonucunda karar verilmiştir (Karabulut, 2015). Nanoakışkanın kararlılığının belirlenmesinde gözleme yöntemi dışında sık kullanılan yöntemlerden biri olan Zeta potansiyel ölçümü, parçacıkla temasta olan durgun akışkan tabakası ve taban akışkanı ortamı arasındaki elektriksel yük farkıdır. Zeta potansiyel, dağılımda aynı yüklü parçacıklar arasındaki itmenin derecesini göstermektedir. Yüksek zeta potansiyeline sahip olan (negatif veya pozitif) süspansiyonlar elektriksel olarak dengedeysen, düşük zeta potansiyelli süspansiyonlar pıhtılaşma veya topaklanma eğilimindedirler. Zeta potansiyeli 40-60 mV arası olan nanoakışkanların mükemmel bir kararlılığa sahip olduğuna inanılmaktadır (Ghozatloo vd., 2014). Deneylerde kullanılan GO-saf su nanoakışkanının Zeta potansiyel değeri ise 45-65 mV aralığında olmakta olup, kararlılık kriteri değeri olan 25 mV' un oldukça üzerinde olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra, burada değinilen GO' in sentezlenmesi ve nanoakışkanın hazırlanması işlemleri Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma Merkezinde gerçekleştirilmiş olup, deneylerde kullanılan nanoakışkan buradan temin edilmiştir.

$$\frac{v_p}{v_{nf}} = \frac{v_p}{v_{bf} + v_p} = \frac{\frac{m_p}{\rho_p}}{\frac{m_p}{\rho_p} + \frac{m_{bf}}{\rho_{bf}}} = \frac{m_p \rho_{bf}}{m_p \rho_{bf} + m_{bf} \rho_p} \quad (1)$$

Eş. 1' deki, m_p nanoparçacığın kütlesi, m_{bf} taban akışkanın kütlesi, ρ_{bf} ve ρ_p ise sırasıyla taban akışkanının ve nanoparçacığın yoğunluklarıdır.

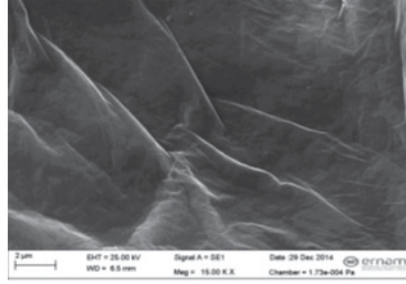
2.2. GO-Saf Su Nanoakışkanının Kararlılığı

Deney öncesi ve deney sonrası %0,01 hacimsel konsantrasyondaki GO-saf su nanoakışkanına ait fotoğraflar, sırasıyla Şekil 1.a ve Şekil 1.b' de gösterilmektedir. Şekil 1.a ve 1.b' de de görüldüğü gibi deney sırasında havadaki oksijenle temas eden nanoakışkanın rengi kararak daha koyu bir renk almaktadır. Hidroksil moleküllü gruplarının (OH⁻), oksidasyon reaksiyonu sırasında GO nanoparçacıklarının yüzeylerinin kenarlarına bağlanması nedeniyle GO iyi bir su sever özelliğe ve suyla iyi uyumluluğa sahip olmaktadır (Ghozatloo vd., 2014). Bu nedenle, GO-saf su nanoakışkanı uzun süreli bir kararlılık göstermektedir. Şekil 2'de deneylerde kullanılan GO nanoparçacığına ait taramalı elektron mikroskopundan (SEM) elde edilen görüntü gösterilmektedir (Eravcu, 2016).



Şekil 1. %0,01 hacimsel konsantrasyonlu grafen oksit (GO)-saf su nanoakışkanına ait fotoğraflar

a) deney öncesi b) deney sonrası



Şekil 2. GO' in mikroskop (SEM) ile elde edilen görüntüsü [35]

2.3. GO-Saf Su Nanoakışkanın Termofiziksel Özellikleri

Kütle olarak hazırlanan nanoakışkanın viskozite ölçümleri Pro koni ve plaka gerilim kontrollü reometre ile gerçekleştirilmiştir. Nanoakışkanın, ısı iletkenlik ölçümü ise KD2 tip Pro ısı iletkenlik ölçer cihazı kullanılarak yapılmıştır. Nanoakışkanın yoğunluk ölçümü için ise DMA 4200 tip yoğunlukölçer cihazı kullanılmıştır.

Özgül ısı, Pak ve Cho (1998) tarafından önerilen analitik modellerle belirlenmiştir.

$$c_{pnf} = (1 - \phi)c_{pbf} + \phi c_{pp} \quad (2)$$

Eş. 2' de nf, p ve bf sırasıyla nanoakışkan, parçacık ve taban akışkanını belirtmektedir. Konsantrasyonun çok düşük olması nedeniyle (%0,01) hesaplama sonucu nanoakışkan için elde edilen özgül ısı değeri ile suyun sahip olduğu değer birbirine çok yakın bulunduğundan, eşit olarak alınmıştır.

Nanoakışkan ve saf suyun deneysel olarak elde edilen termofiziksel özellikleri Tablo 1' de gösterilmektedir.

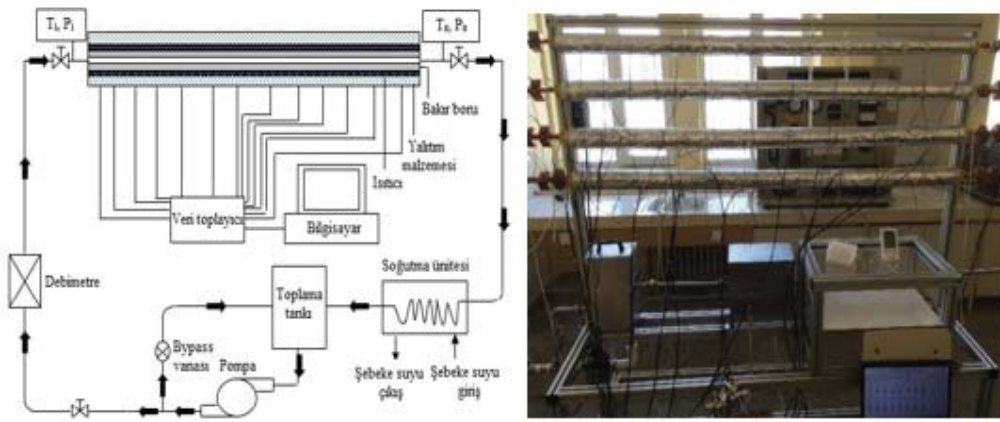
Tablo 1. 30 °C' de akışkanların deneysel termofiziksel özellikleri

Akışkan	k (W/mK)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kgK)	μ (Ns/m ²)
Saf su	0,6172	995,8	4178,4	803,4x10 ⁻⁶
GO-saf su (%0,01)	0,6696	996,1	4178,4	1000x10 ⁻⁶

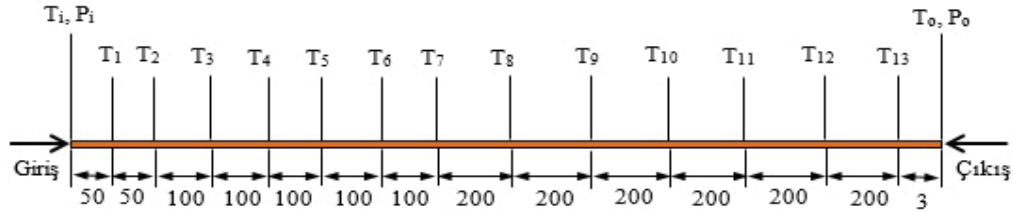
2.4. Deneysel Sistem ve Kalibrasyon Testi

GO-saf su nanoakışkanının taşınım ısı transfer katsayısı ve basınç düşüşü değerini ölçmek amacıyla oluşturulan ve temel olarak pompa, test bölümü, veri kaydetme bölümü, toplama tankı ve soğutma bölümünden oluşan deneysel sistem Şekil 3' de gösterilmektedir. Test bölümünde bulunan bakır malzemeden üretilen 1830 mm uzunluğundaki yatay boruların iç çapları 12 mm

ve 16 mm olup, boruların cidar kalınlıkları ise 2 mm' dir. Bununla birlikte, test kısmında boru yüzey sıcaklıklarını ölçmek amacıyla kalibre edilmiş 13 adet J tipi yüzey termokupulu Şekil 4' de gösterildiği gibi giriş kısmından itibaren mm cinsinden belirlenen uzaklıklarda yerleştirilmiştir. Ayrıca bakır borunun giriş ve çıkış kısımlarında akışkan sıcaklıklarını ölçmek amacıyla yine kalibre edilmiş J tipi daldırma tip termokupl kullanılmıştır. Yine, test bölümünün giriş ve çıkışında basınç farkını ölçmek için en yüksek 400 mbar' a kadar ölçüm yapabilen basınç sensörleri kullanılmıştır. Bakır boru, sabit ısı akısı sınır şartını sağlamak amacıyla ısı yükü 50 W/m olan nikel krom telden üretilmiş rezistans ısıtıcı ile sarılmıştır. Direnç telinin üzeri çevreye olan ısı kaybını azaltmak için ise ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılan 15 mm kalınlıklı cam yünü ile sarılarak yalıtılmıştır. Şebekeden alınan voltaj değeri, direnç kontrollü ayarlanabilir güç ünitesi ile kontrol edilerek, elde edilen watt değeri priz wattmetre ile ölçülmüştür. Sisteme sağlanan debi değeri, by-pass vanası ile ayarlanarak dijital debimetreden takip edilmiştir. Sistemdeki debi değeri, yüzey ve akışkan giriş-çıkış sıcaklıkları, giriş ve çıkıştaki basınç değerleri veri toplama sistemi ile her 5 sn' de bir okunup bilgisayara gönderilerek veriler kayıt altına alınmıştır. Test akışkanının (nanoakışkan ve saf su) sistemdeki dolaşımı sirkülasyon pompası ile sağlanmıştır. Sirkülasyon pompası kademeli olup, sıcaklığa karşı dayanıklıdır. Toplama tankı, paslanmaz çelikten üretilmiş ve 10 L' lik hacme sahiptir. 15 L kapasiteye sahip olan soğutma bölümü içerisinde yüzey alanını artırmak amacıyla spiral şekline getirilmiş 5,5 m boyunda ve 6 mm iç çaplı bakır boru bulunmaktadır. Nanoakışkan bu spiral şeklindeki bakır borudan geçerken, şebeke hattından gelen ve nanoakışkanı soğutmada kullanılan şebeke suyu soğutma bölümündeki giriş ve çıkış kısımlarından geçerek sistemi terk etmektedir. Böylece, deney düzeneğinin soğutma kısmından sonra sisteme giriş yapan nanoakışkanın istenilen sabit sıcaklıkta olması sağlanmaktadır.



Şekil 3. Deney sistemi



Şekil 4. Test bölümü ve termokupulların yerleşimi

Deney sisteminin kalibrasyon işlemi için seçilen çalışma akışkanı saf sudur. Tüm deneysel sistemin güvenilirlik seviyesini artırmak için sisteme üç tip kalibrasyon testi uygulanmıştır.

1) Isıtma devresi kapalıyken sistemdeki termokupullar tarafından ölçülen sıcaklık değerleri arasındaki farklara bakılmış ve her bir termokuplun ölçtüğü sıcaklık değerinin birbirinden olan sapmasının %3' den daha az olduğu bulunmuştur. 2) Sistemin enerji dengesi açısından kararlılığına bakmak amacıyla borunun dış yüzeyinin adyabatik (yalıtılmış yani dış ortama (çevreye) ısı transferi olmadığı) olduğu varsayılarak sistem çalışılan ısı yüklerinde (250 W, 350 W) test edilmiştir. Bu test sonucunda, sisteme sağlanan ısı enerjisi ile sistemden alınan ısı enerjisi arasında ortalama olarak en fazla %8' lik bir sapma belirlenmiştir. 3) Deneysel sistem, Abreu vd., (2014)' nin de çalışmalarıyla kullandıkları gibi $Re \leq 3000$ ve sabit ısı akısı sınır şartı altında daimi akış için Shah denklemini (Shah, 1975) ve $Re > 3000$ için Gnielinski denklemini (Gnielinski, 1976) göz önüne alarak kalibre edilmiştir. Bu kalibrasyonlar, termokupl ve borunun dış duvarı arasındaki temas direnci ve boru duvarı boyunca iletim direnci göz önüne alınarak bu etkiyi yok etmek amacıyla yapılmıştır. Boru boyunca her bir sıcaklık ölçüm yeri için elde edilen kalibrasyon sabitleri, nanoakışkanla deney yapılırken ilgili sıcaklık yerindeki ölçüm noktalarına uygulanmıştır. Shah ve Gnielinski denklemleri gözetilerek yapılan kalibrasyonlarda bu denklemlerden olan deneysel sapmanın yaklaşık %6 civarında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, deneylerde kararlı (sürekli rejim) yani zamanla sıcaklık değişiminin olmadığı koşullara ulaşılması için 25-35 dakikalık bir

zaman aralığı kadar beklenilmesi gerekmiştir. Bununla birlikte, deneyler sırasında zamanla sıcaklık değerlerinin değişimlerine bakıldığında değişimin %0,2' nin altında olduğu görülmüştür.

Zorlanmış taşınım ısı transferi için Shah denklemi

$$Nu(x) = 1,953 \left(Re Pr \frac{D_d}{x} \right) \left(Re Pr \frac{D_d}{x} \right) \geq 33,3 \quad (3)$$

$$Nu(x) = 4,364 + \left(Re Pr \frac{D_d}{x} \right) \left(Re Pr \frac{D_d}{x} \right) < 33,3$$

Kalibrasyon işlemlerinde $Re \leq 3000$ için Eş. 3' deki Shah denklemi (Shah, 1975) kullanılırken, $Re > 3000$ için ise Eş. 4' deki Gnielinski denklemi (Gnielinski, 1976) dikkate alınmıştır.

12 mm iç çaplı boruda yalnızca 1,5 L/dak. debi değerinde ($Re=3352$) kalibrasyon işlemine kullanılan akışkan (saf su) için $Re > 3000$ iken, 16 mm iç çaplı boruda çalışılan her üç debi (0,9 L/dak., ($Re=1541$) 1,2 L/dak. ($Re=2174$) ve 1,5 L/dak. ($Re=2520$)) değeri için de $Re < 3000$ ' dir. Ayrıca, akışkan tipleri, boru iç çapları ve debi değerlerine göre Reynolds sayısı değerleri Tablo 2' de gösterilmektedir.

Tablo 2. Farklı debi, akışkan tipi ve boru çaplarına göre Re sayısı değerleri

Reynolds Sayısı (Re)						
Boru iç çapı (mm)	12			16		
	Debi (L/dak.)			Debi (L/dak.)		
Akışkan tipi	0,9	1,2	1,5	0,9	1,2	1,5
Saf su	2043	2692	3352	1541	2174	2520
%0,01 GO-saf su nanoakışkanı	1580	2111	2641	1185	1583	1981

Zorlanmış taşınım ısı transferi için Gnielinski denklemi

$$Nu(x) = \frac{f/8(Re-1000)Pr}{1+12,7\sqrt{f/8}(Pr^{2/3}-1)} \left[1 + \left(\frac{D_d}{x} \right)^{2/3} \right] \quad (4)$$

Eş. 4' deki f, Filonenko denklemiyle Eş. 5' de hesaplanan sürtünme faktörüdür.

$$f = \frac{1}{(1,82 \log Re - 1,64)^2} \quad (5)$$

2.5. Taşınım Isı Transferinin Hesaplanması

Test borusuna sağlanan ısı enerjisi

$$Q = VI \quad (6)$$

Eş. 6' daki V gerilim değerini, I ise akım değerini belirtmektedir.

Test borusuna sağlanan sabit ısı akısı ise aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$q'' = \frac{Q}{A_s} = \frac{Q}{\pi D_d L} \quad (7)$$

Eş. 7' de, A_s ısı transfer yüzey alanını, D_d ve L ise sırasıyla borunun dış çapı ve uzunluğudur.

Akışkana olan ısı transferi

$$Q = \dot{m}c_p(T_c - T_g) \quad (8)$$

Akışkanın kütleli debisi

$$\dot{m} = \rho u_m A_c \quad (9)$$

Eş. 8 ve 9' daki, ρ akışkanın yoğunluğu, u_m akışkanın ortalama hızı, c_p ise akışkanın özgül ısısı, A_c ise boru kesit alanı, T_g ve T_c ise sırasıyla akışkanın boruya giriş ve borudan çıkış sıcaklıklarıdır.

Deneysel sırasında, boru duvar sıcaklıkları, akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları, akışkanın hacimsel debisi, giriş ve çıkış basıncı ve sağlanan ısı yük ölçülmüştür.

Akışkanın ısı taşınım katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir

$$h(x) = \frac{q''}{T_s(x) - T_m(x)} \quad (10)$$

Eş. 10' da x test bölümünün giriş kısmından itibaren olan uzaklığı, q'' ısı akısını, $T_s(x)$ ölçülen noktasal duvar yüzey sıcaklığını simgelerken, $T_m(x)$ ise kesit boyunca akışkanın ortalama noktasal yığın sıcaklığı olup aşağıda belirtilen Eş. 11' den elde edilmektedir.

$$T_m(x) = T_{m,g} + \frac{q''P}{\dot{m}c_p}x \quad (11)$$

Bu eşitlikte, $T_{m,g}$ akışkanın ortalama giriş sıcaklığını, P borunun çevre uzunluğunu, \dot{m} akışkanın kütleli debisini, c_p ise akışkanın özgül ısısını belirtmektedir.

Eş. 10' dan elde edilen ısı taşınım katsayısı, Eş. 12'de akışkanın Nusselt sayısını bulmak için kullanılmaktadır.

$$Nu(x) = \frac{h(x)D_d}{k} \quad (12)$$

Burada D_i borunun iç çapı iken k akışkanın ısı iletkenliğini belirtmektedir.

Akışkana ait Re ve Pr sayıları için bağıntılar aşağıdaki eşitliklerde (Eş. 13 ve 14) gösterilmektedir.

$$Re = \frac{\rho u_m D_i}{\mu} \quad (13)$$

$$Pr = \frac{\mu c_p}{k} \quad (14)$$

Eş. 13 ve 14' deki, μ akışkanın viskozitesidir.

Deneysel basınçölçer tarafından kaydedilen değerler, sürtünme faktörünün belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Deneysel sürtünme faktörü

$$f = \frac{\Delta P}{\left(\frac{L}{D_i}\right)\left(\frac{\rho u_m^2}{2}\right)} \quad (15)$$

Burada ΔP boru giriş ve çıkışı arasındaki basınç farkıdır.

Yük kaybı

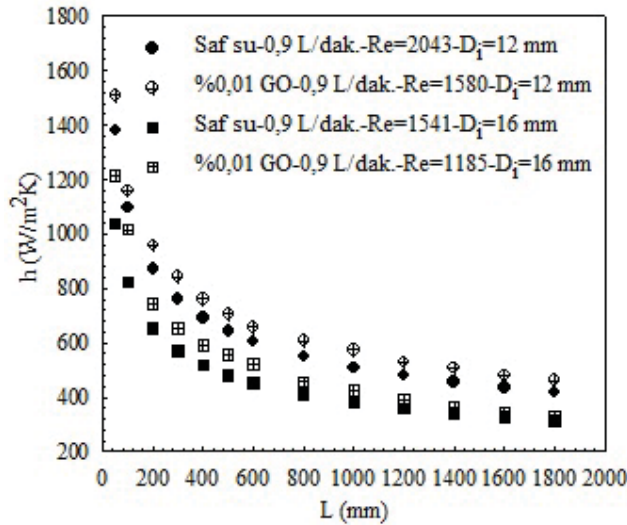
$$h_k = \frac{\Delta P}{\rho g} = f \frac{L u_m^2}{D_i 2g} \quad (16)$$

Eş. 16' daki g yerçekimi ivmesi olup değeri $9,81 \text{ m/s}^2$ dir.

2.6. Deneysel Sonuçlar

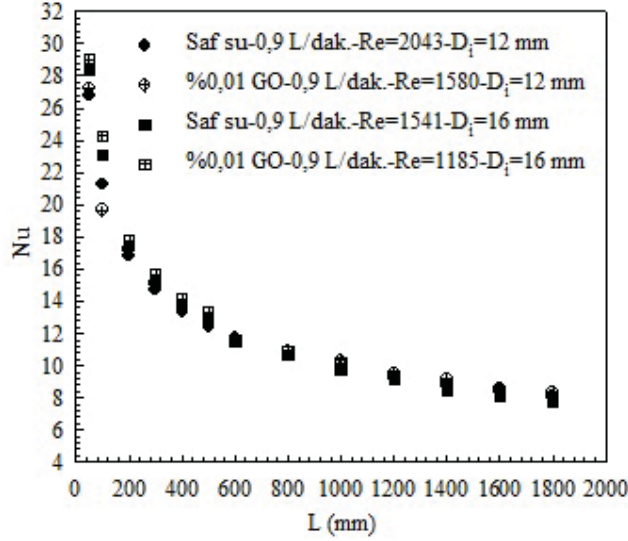
Şekil 5' de 250 W ısı yükü, 0,9 L/dak. debide taban akışkanı olan saf su ve %0,01 hacimsel konsantrasyona sahip GO-su nanoakışkanı için 12 mm ve 16 mm iç çaplı borular boyunca ısı taşınım katsayısının değişimi gösterilmektedir. Borulara uygulanan aynı ısı yükü değerinde (250 W), çapı daha büyük olan boruya etkiyen ısı akısı değeri daha düşük olmaktadır. Bu nedenle, 12 mm çaplı boru için boru boyunca noktasal ısı taşınım katsayısı değerleri daha yüksektir. Fakat, bununla birlikte Şekil 5' deki grafik incelendiğinde 12 mm iç çaplı boruda %0,01' lik konsantrasyondaki nanoakışkan için saf suya göre boru boyunca ortalama ısı taşınım katsayısı değerinde %10,14' lük artış elde edilirken, bu artış değeri 16 mm iç çaplı boruda %14,33 değerine ulaşmaktadır. Bu duruma, boru çapının artmasına bağlı olarak ısı akısının azalması nedeniyle nanoakışkanın cidardan boru merkezine doğru sıcaklık değişiminin azalması sebep olmaktadır. Bunun sonucunda, nanoparçacıkların boru cidarı çevresinden borunun merkezine doğru hareketi azalmaktadır (Hedayati ve Domairry, 2016). Bunun yanı sıra, boru cidarı yakınında nanoparçacıkların hem kendi aralarında hem de boru cidarı ve taban akışkanı olan saf suyla yoğun etkileşimleri neticesinde (Ranjbarzadeh vd., 2017) 16 mm iç çaplı boruda aynı ısı yükünde daha fazla ısı taşınım katsayısı artışı elde edildiği düşünülmektedir. Ayrıca, literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde çalışmalardan birinde (Akhavan-Zanjani vd., 2016), grafen-su nanoakışkanı için %0,02' lik konsantrasyonda 4,2 mm iç çaplı boru için $Re=1850$ ' de ısı taşınım katsayısı değerinde %14,2'lik bir artış sağlanmıştır. Bu nedenle elde edilen sonuçların literatür ile uyumlu oldukları ifade edilebilmektedir. Aynı zamanda, yapılan literatür araştırmasında, bu çalışmada kullanılmış olan %0,01 GO-su nanoakışkanı gibi oldukça düşük konsantrasyon değerlerine rastlanamamış ve birebir aynı boru çapı değerine de ulaşamadığından çalışmadaki konsantrasyon ve boru çapı değerlerine en yakın literatürde bulunan nanoakışkan sonuçları ile kıyaslama yapılabilmektedir.

12 mm ve 16 mm iç çaplı borularda 250 W ısı yükünde 0,9 L/dak. debide %0,01 hacimsel GO konsantrasyonlu nanoakışkan için boru boyunca Nusselt sayısı değerinin değişimi Şekil 6' da gösterilmektedir. Nusselt sayısının değişimi, tanımı gereği ($Nu=hD/k$) ısı taşınım katsayısı harici ısı iletkenlik katsayısı (k) ve boru çapına (D) da bağlıdır. Fakat, Nusselt sayısının artışında etkin değişken olan ısı iletkenlik katsayısının artışı Şekil 6' da da görülebildiği gibi değişim üzerinde oldukça fazla etkiye sahiptir. Bu nedenle, ısı taşınım katsayısı için elde edilen artış değerlerine Nusselt sayısı değerlerinde ulaşamamaktadır. 12 mm iç çaplı boruda boru boyunca elde edilen ortalama artış değeri %1,22 iken, 16 mm iç çaplı boru için bu artış değerinin ancak %2,81' e çıkabildiği belirlenmiştir. Literatürde de benzer sonuçlara ulaşılmakta olup, Sadeghinezhad vd., (2015) tarafından yapılan çalışmada GNP ile hazırladıkları %0,025' lik hacimsel konsantrasyonlu nanoakışkanında Nusselt sayısı değerinde %3 lük artış elde edilirken, %0,02' lik hacimsel konsantrasyonda grafen-su nanoakışkanı ile Akhavan-Zanjani vd., (2015)' nin yaptıkları deneyde boru boyunca elde ettikleri artış değerini yaklaşık %2,1 civarında bulmuşlardır. Ayrıca, Mikkola vd., (2018) farklı konsantrasyonlarda SiO_2 ve Al_2O_3 ile Reynolds' ın 2000-6000 arasında değişen değerlerinde yaptıkları deneylerde de suya göre benzer artış değerleri elde etmişlerdir.



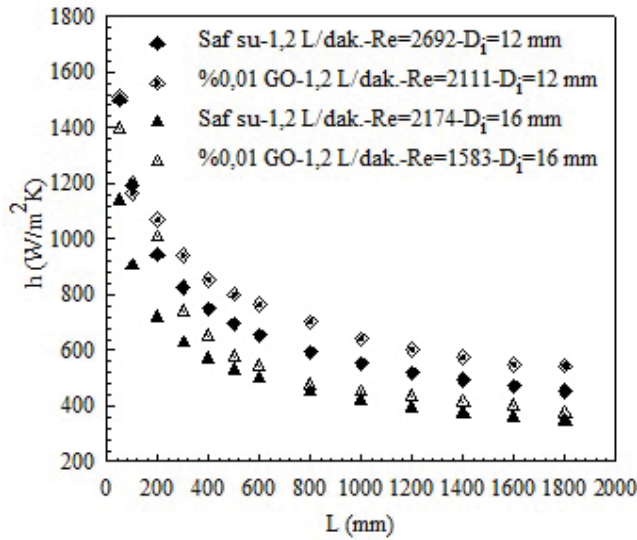
Şekil 5. Farklı iç çaplı borular için 250 W ısı yükü ve 0,9 L/dak. debide boru boyunca ısı taşınım katsayısının değişimi

Şekil 7' de 1,2 L/dak. debi ve 250 W (2717,8 W/m², 2174,24 W/m² sırasıyla 12 mm ve 16 mm' lik borular için ısı akıları) ısı yükünde 12 mm ve 16 mm iç çapa sahip borular boyunca ısı taşınım katsayısı değerinin değişimi %0,01'lik hacimsel konsantrasyonda GO-su nanoakışkanı ve taban akışkanı için ayrı ayrı gösterilmektedir. Debinin artışı, Reynolds sayısını artırdığından nanoparçacıkların karışma etkisini de artırmaktadır. Bunun sonucunda, boru cidarı ve nanoakışkandaki nanoparçacıklar arası artan etkileşimler ile ısı transferi de artmaktadır. 12 mm iç çaplı boru için boru boyunca ısı taşınım katsayısının ortalama artış miktarı %10,74 iken bu değer 16 mm iç çaplı boru için %18,16' ya ulaşmaktadır. Mojarrad vd., (2014), 12,4 mm iç çapa sahip bir boruda Re=2300' de taban akışkanı su olan hacimsel %0,25' lik Al-su nanoakışkanı için ısı taşınım katsayısı değerinde %13' lük bir artış elde etmişlerdir. Nanoakışkanda kullanılan Al nanoparçacık konsantrasyonu göz önüne alındığında bu çalışmada kullanılan %0,01'lik hacimsel GO konsantrasyonu ile incelenen çalışmadaki çap ölçüsü olarak da birbirine yakın olan boru ile karşılaştırıldığında daha iyi bir ısı taşınım katsayısı artışı elde edildiği görülmektedir.

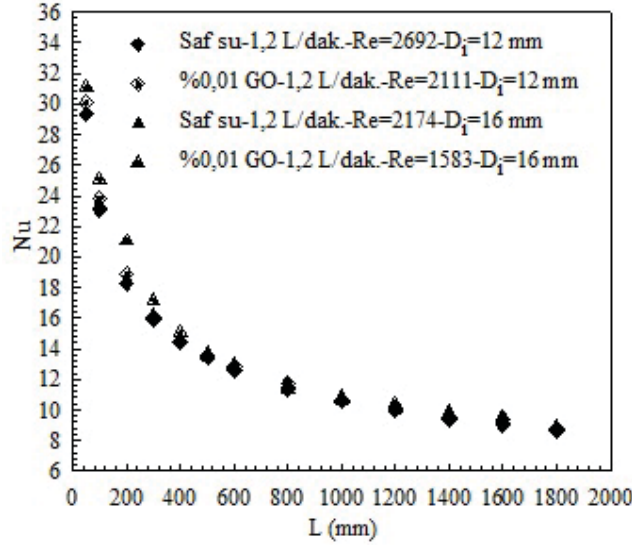


Şekil 6. Farklı iç çaplardaki borular için 250 W ısı yükü ve 0,9 L/dak. debide boru boyunca Nusselt sayısı değerinin değişimi

1,2 L/dak. debi ve sabit 250 W ısı yükünde farklı çaplardaki borular boyunca akan nanoakışkan ve taban akışkanı için elde edilen Nu sayısı değişimi Şekil 8' de verilmektedir. Nusselt sayısı, genel itibariyle artma eğiliminde olup ısı iletkenlik katsayısında elde edilen artış miktarı bu artışı sınırlamaktadır. 12 mm' lik boru için Nu sayısı değerinin ortalama artışı %1,94 iken bu artış değeri 16 mm' lik boruda %3,84' e ulaşmaktadır. Literatürde Sadeghinezhad vd., (2015), %0,025 konsantrasyonlu GNP-su ile hazırladıkları nanoakışkanda Nusselt sayısı değerinde ancak %3 lük bir artış elde edebilmişlerdir. Benzer sonuçlara diğer araştırmacılar (Akhavan-Zanjani vd., 2016, Mikkola vd., 2018) tarafından da ulaşılmaktadır. Isı iletkenlik katsayısının, Nusselt sayısı değerinin artışı üzerindeki bu sınırlayıcı etkisinden ancak daha yüksek debi (Reynolds sayısı) değerlerine çıkılıncaya uzaklaşmakta ve böylece daha belirgin Nu sayısı artış değerleri elde edilebilmektedir.

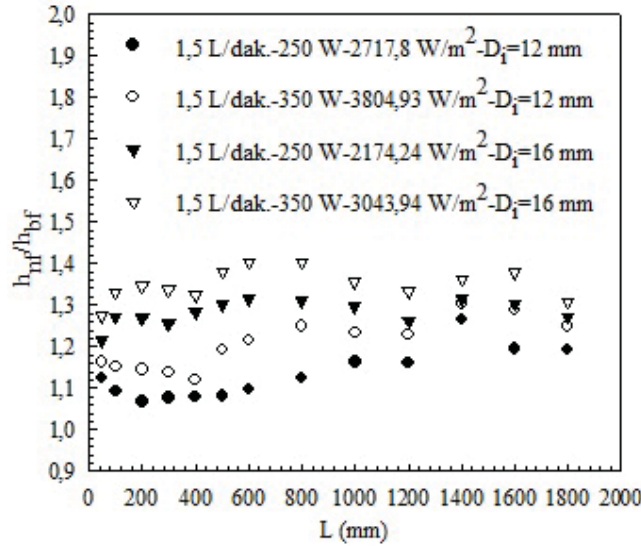


Şekil 7. Farklı iç çaplardaki borular için 250 W ısı yükü ve 1,2 L/dak. debide boru boyunca ısı taşınım katsayısı değerinin değişimi



Şekil 8. Farklı iç çaplardaki borular için 250 W ısı yükü ve 1,2 L/dak. debide boru boyunca Nusselt sayısı değerinin değişimi

Şekil 9' da 1,5 L/dak. debi için 250 W ve 350 W ($3804,93 \text{ W/m}^2$ - $3043,94 \text{ W/m}^2$ sırasıyla 12 mm ve 16 mm' lik borular için ısı akıları)' lık ısı yüklerinde farklı çaplardaki borular için h_{nf}/h_{bf} ısı taşınım katsayısının artışı gösterilmektedir. Yüksek debi değerlerinde nanoparçacıkların boru içerisindeki dağılım etkileri ve düzensiz hareketleri yoğunlaşmakta ve böylece nanoparçacıkların hem kendi aralarında hem de boru cidarıyla olan çarpışmaları artmaktadır. Bunun sonucu olarak yüksek ısı transfer oranları elde edilmektedir. Bu nedenle, 1,5 L/dak.' lık debide akışkan hızına bağlı olarak Reynolds sayısının artmasıyla 0,9 L/dak. ve 1,2 L/dak.' lık debilere göre daha fazla ısı taşınım katsayısı artış oranı elde edilmektedir. 250 W ısı yükünde 12 mm iç çaplı boru boyunca ısı taşınım katsayısının ortalama artış oranı %13,17 iken bu değer 16 mm iç çaplı boru için %20,5'e çıkmaktadır. 350 W ısı yükünde ise artış oranı daha da artarak 12 mm ve 16 mm' lik çaplar için sırasıyla %28,2 ve %34,88' e ulaşmaktadır. 16 mm iç çapa sahip boru için elde edilen bu daha fazla artış miktarı, çapın artışıyla ısı akısının azalmasına bağlı olarak boru cidarında sıcaklık değişimi kaynaklı nanoparçacıkların boru merkezine doğru olan hareketlerinin azalması sebebiyledir. Literatürde farklı nanoparçacıklar ile bu çalışmada ulaşılan artış oranlarına yakın değerlere ulaşılmakla birlikte bunun için daha yüksek konsantrasyonlarda nanoakışkanlar kullanılmıştır. Bu çalışmalardan birinde Sundar vd., (2012), 14 mm iç çaplı boruda hacimsel %0,6 konsantrasyonda Fe_3O_4 -su nanoakışkanı kullanarak ısı taşınım katsayısında %30,96 artış elde etmişlerdir. Diğer bir çalışmada ise Mojarrad vd., (2014), 12,4 mm iç çaplı boruda hacimsel %1' lik konsantrasyonda Al-su nanoakışkanında %24' lük ısı taşınım katsayısı artış değerine ulaşmışlardır.

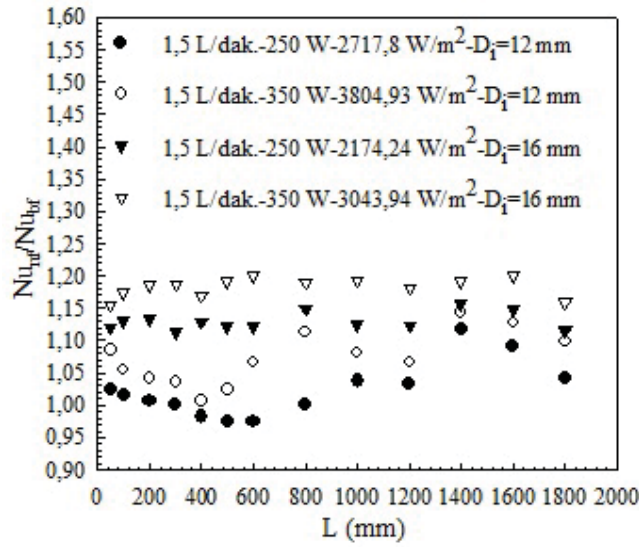


Şekil 9. Farklı iç çaplardaki borular için 250 W ve 350 W ısı yüklerinde ve 1,5 L/dak. debide boru boyunca h_{nf}/h_{bf} değişimi

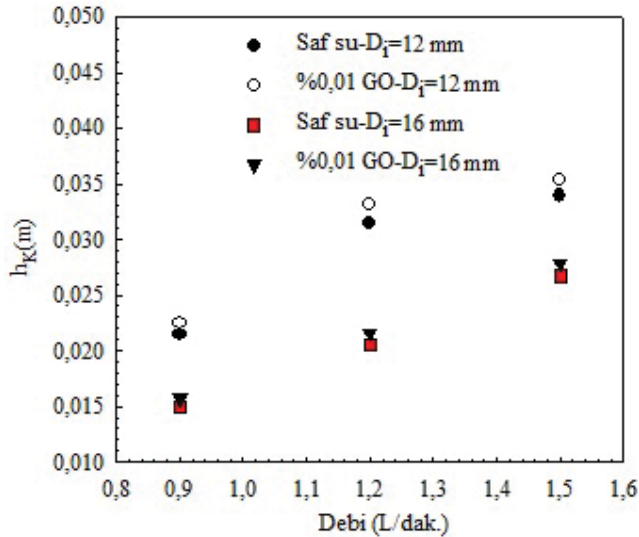
12 mm ve 16 mm iç çaplı borular için 1,5 L/dak.' lık debide iki farklı ısı yükünde boru boyunca Nusselt sayısının artışı (Nu_{nf}/Nu_{bf}) Şekil 10' da gösterilmektedir. Her iki çaptaki boru için Nusselt sayısı değeri genel itibariyle artmakla birlikte, 16 mm iç çaplı boruda daha fazla artış miktarı elde edilmektedir. 250 W ısı yükü için 12 mm çaplı boruda boru boyunca ortalama olarak %2,31' lik artış miktarı elde edilirken, 16 mm için %12,98' e ulaşmaktadır. Bununla birlikte, 350 W ısı yükünde 12 mm ve 16 mm çaplı

borular için sırasıyla taban akışkanına göre ortalama %7,24 ve %18,32' lik Nusselt sayısı değeri artış oranları elde edilmektedir. Benzer olarak, 10 mm iç çaplı boruda hacimsel %0,1' lik konsantrasyonda Al_2O_3 -Cu-su hibrit nanoakışkan ile Nu sayısı değerinde %13,56' lık bir artış elde edilebilmiştir (Suresh vd., 2012). Başka bir çalışmada ise 16 mm iç çaplı boruda %1' lik TiO_2 -su nanoakışkan ile Nu sayısı değerinde %26' lık artış elde edilirken (Azmi vd., 2014), 10 mm iç çaplı boruda hacimsel %0,025' lik GNP-su nanoakışkan kullanılarak Nusselt sayısı değerinde %3'lük artış sağlanmıştır (Sadeghinezhad vd., 2015).

12 mm ve 16 mm iç çaplı borularda hacimsel %0,01 GO-saf su konsantrasyonlu nanoakışkan ve saf su için deneysel olarak elde edilen basınç düşüşü değerleri, borulama sistemlerinin analizlerinde sıklıkla kullanılan ve borudaki sürtünmeden kaynaklanan kayıpları yenmek için akışkanın pompa tarafından çıkarılması gereken ilave yüksekliği temsil eden yük kaybı cinsinden (h_K) ifade edilmiş olup debi ile değişimi Şekil 11' de gösterilmektedir. Saf suya eklenen nanoparçacıklar nanoakışkanın ısı iletkenliğinde ve buna bağlı olarak ısı taşınım katsayısında artış elde edilmesini sağlarken, akışkanın boru içindeki akışına engel oluşturdukları için basınç kaybını da artırmaktadırlar. 1,5 L/dak. debide % 0,01 GO hacimsel konsantrasyonundaki nanoakışkan için saf suya göre yük kaybındaki artış 12 mm iç çaplı boruda %4,42 iken, 16 mm çaplı boru için %4,1 olmaktadır. Isı taşınım katsayısı için elde edilen artış oranları göz önüne alındığında, nanoakışkanın yük kaybı değeri için ulaşılan bu değerlerin önemsenmeyecek kadar küçük oldukları düşünülmektedir. Bununla birlikte, Azari vd., (2013), 7,8 mm iç çaplı bir boruda hacimsel %0,05' lik TiO_2 -su konsantrasyonundaki nanoakışkanın basınç kaybı değerinde %15' lik artış elde ederlerken, Sadeghinezhad vd., (2015) ise 10 mm iç çaplı boru için hacimsel %0,1' lik GNR-su nanoakışkan için basınç kaybındaki artış miktarını %14,6 olarak belirlemişlerdir. Görüldüğü gibi konsantrasyonun artışı, yoğunluk ve viskozitenin artmasına sebep olarak basınç kaybı değerini de artırmaktadır.

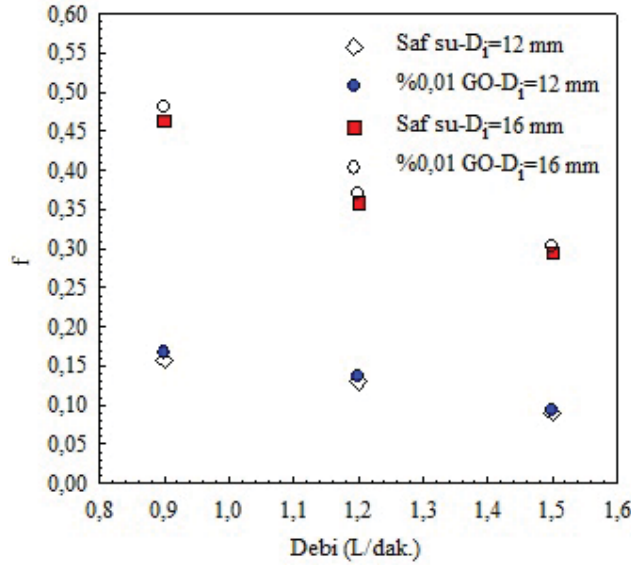


Şekil 10. Farklı iç çaplardaki borular için 250 W ve 350 W ısı yüklerinde ve 1,5 L/dak. debide boru boyunca Nu_{nf}/Nu_{bf} değişimi



Şekil 11. Farklı iç çaplardaki borular için basınç yük kaybının debi ile değişimi (250 W)

Şekil 12’ de 12 mm ve 16 mm çaplara sahip borular için saf su ve hacimsel %0,01 konsantrasyonlu GO-saf su nanoakışkanına ait deneysel sürtünme faktörünün (f) debi ile değişimi gösterilmektedir. Viskoz etkiler sonucu oluşan ve sürtünme kuvvetlerini belirten boyutsuz bir sayı olan f , 16 mm çaplı boruda 12 mm çaplı boruya göre daha yüksek değerlerde olmakla birlikte debinin artışıyla azalmaktadır. Bununla birlikte, nanoakışkan için f değerlerinin saf sudan daha yüksek olduğu Şekil 12’ den görülebilmektedir. 1,5 L/dak. debide 16 mm çaplı boruda f in saf suya göre artış oranı %2,71 iken 12 mm çaplı boru için ise %3,91 olmaktadır.



Şekil 12. Farklı iç çaplardaki borular için sürtünme faktörünün debi ile değişimi (250 W)

2.7. Sayısal Modelleme ve Sonuçları

Bu çalışmadaki yaklaşımda nanoakışkan, homojen katı-sıvı karışımı kararlı bir akışkan olarak düşünülebilir. Katı ve sıvı arasındaki yoğunluk farkı büyük olmasına rağmen bu boyuttaki küçük parçacıklar için yerçekimi nedeniyle kayma hızları katı ve sıvı için sırasıyla 10^{-8} ve 10^{-6} mertebesindedir ve katı nanoparçacık ve sıvı arasında 100 ns olan sabit ısı transfer süresi nedeniyle taban akışkanıyla denge halinde olduğu düşünülebilir (Buongiorno, 2006). Bu çalışmada kullanılan ortalama akışkan hızınının 0.2-0.59 m/s arasında olduğu dikkate alındığında ve nanoparçacık ve taban akışkan hızlarının aynı olduğu kabul edildiğinde uygulanabilen bir yöntem olan homojen akış modelinde iki fazlı sistemler tek fazlı olarak değerlendirilebilmekte ve ikinci faz karışımın fiziksel özelliklerini kullanarak hesaba katıldığından mantıklı bir uygulama olmaktadır (Awad ve Muzychka, 2008).

Daha önce yapılan birçok çalışmada, homojen akış modeli iki fazlı modelle kıyaslandığında nanoakışkanlara ait ısı taşınım katsayısı değerleri daha düşük hesaplanmasına karşın (Bianco vd., 2009, Ebrahimmia-Bajestan vd., 2011) bu sayısal çalışmaların sonuçları deneysel çalışmalarinkilerle karşılaştırıldığında nanoakışkanların ısı taşınım katsayılarını $\pm 10\%$ luk bir sapma değeriyle termofiziksel özelliklerini temel alarak elde edilebileceğini kanıtlayan önemli bulgular bulunmuştur (Rea vd., 2009, Escher vd., 2011). Bu çalışmada da 12 mm ve 16 mm olmak üzere farklı çaplı borular için sayısal sonuçların deneysel sonuçlardan sapma miktarları sırasıyla %2,2 ve %4 olmaktadır. Homojen tek fazlı akış modeli için sayısal çalışmalarda nanoakışkanların yoğunluk, viskozite, ısıl iletkenlik gibi termofiziksel özellik değerleri nanoakışkanın su gibi tek fazlı akışkan davranışı gösterdiği kabul edilerek veri girişi yapılmaktadır. Oysaki, nanoakışkanın durgun halinde de akışkan içindeki nanoparçacıkların literatürde de sık kullanılan ve Brownian hareketi olarak adlandırılan kendi içlerinde rastgele hareketleri mevcut olup, bu hareketler de akışkan içinde mikro taşınım hareketlerine sebep olmaktadır. Ayrıca, sayısal hesaplamalarda girişi yapılan termofiziksel özellik değerleri sabit sıcaklıktaki değerler olup, akışkanın ısıtıldığı sistemlerde bu değerler de sıcaklıkla değişmektedir. Bunlara bağlı olarak sayısal hesaplamalarla deneysel hesaplamalar arasında sapmalar bulunmaktadır. Ancak, bu çalışmadaki %0,01 gibi oldukça düşük konsantrasyonlarda çalışıldığında deneysel sonuçlardan olan sapma miktarı azaldığından nanoakışkanın homojen tek fazlı akışkan olarak kabul edilmesinin uygun olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada homojen akış modeli kullanılmıştır.

Çözümler, üç boyutlu hesaplama alanı için yapılmıştır. Çalışmanın sayısal kısmında kullanılan sonlu hacimler yöntemi, öncelikle çözülecek geometriyi kısımlara ayırarak bu kısımların her biri için çözüm yapma ve daha sonra elde edilen bu çözümleri birleştirerek problemin genel çözümünü bulma temellidir. Sonlu hacimler yönteminde korunum denklemlerinin sayısal olarak çözümlenebilecek cebirsel denklem sistemlerine dönüştürülmesinde kontrol hacmi temelli bir yöntem kullanılır. Bu yöntem, her bir kontrol hacmi için korunum denklemlerinin integrasyonunun alınması sonucunda değişkenler için kontrol hacmini sağlayan ayrı eşitliklerin elde edilmesini içerir. Ayrık eşitliklerin doğrusallaştırılması ile elde edilen doğrusal denklem sistemlerinin iterasyona bağlı çözümü ile hız, basınç ve sıcaklık gibi değişkenler verilen yakınsaklık ölçüsünü sağlayıncaya kadar güncellenir. Hesaplanan geometrinin kesiti ve mesh yapısı 12 mm iç çaplı boru için sırasıyla Şekil 13a’ ve 13b’ de gösterilmektedir. Şekil 14’ de farklı çaplı borular için boru yüzey sıcaklığının debi ile değişimine göre mesh sayısının bağımsızlık testinin sonuçları verilmektedir. 12 mm çaplı boruda 689103, 700500 ve 710202 adet mesh sayısı uygulanmışken, 16 mm çaplı boruda uygulanan

mesh sayıları ise 730052, 740000 ve 750000' dir. Şekil 14' deki grafikten de görülebildiği gibi 12 mm ve 16 mm iç çaplı borular için sırasıyla 700500 ve 740000 adet meshten sonra mesh sayısının 710202 ve 750000 değerlerine artırılmasının sıcaklık değişimi üzerindeki etkisi oldukça azalmakta ve bu etki her iki boru çapı için %0,1' den daha az olmaktadır. Bu nedenle, 12 mm ve 16 mm iç çap ve 1830 mm uzunluktaki hesaplama alanları için sırasıyla 700500 ve 740000 adet mesh sayısının yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

Sınır şartları, giriş, çıkış ve boru dış yüzeyinde sırasıyla giriş hızı ve sıcaklığı, çıkış ve sabit ısı akısıdır. Geometri boyunca akış ve ısı transferinin çözümlenmesi, zamandan bağımsız olarak süreklilik, momentum ve enerjinin korunumu kanunlarından elde edilen kısmi türevli denklemlerin CFD (hesaplamalı akışkanlar dinamiği) paket programı (ANSYS-FLUENT) ile çözümlenmesi esasına dayanır ve şu şekilde yazılabilir (Izadi vd., 2009, Fluent, 2003).

Süreklilik denklemi

$$\nabla(u_m) = 0 \quad (17)$$

Momentum denklemi

$$\nabla \rho(u_m u_m) = -\nabla P + \nabla \mu(\nabla u_m) \quad (18)$$

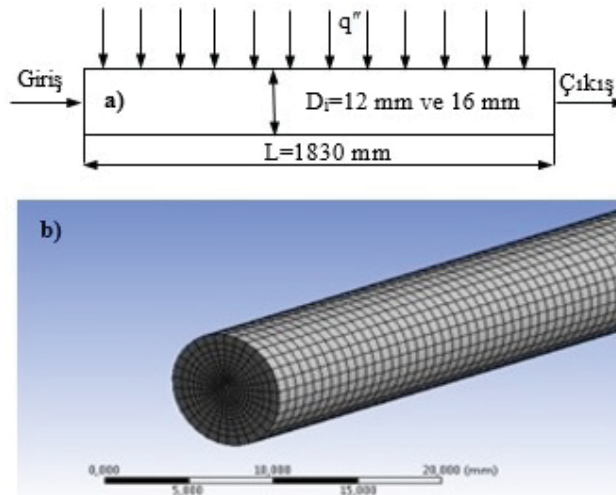
Enerji denklemi

$$\nabla \rho c_p (u_m T) = \nabla k(\nabla T) \quad (19)$$

Bu çalışmada tek fazlı yaklaşım uygulandığından sayısal çözümlemede bu denklemler nanoakışkan için de kullanılabilir.

Çalışma şu kabuller altında yapılmıştır:

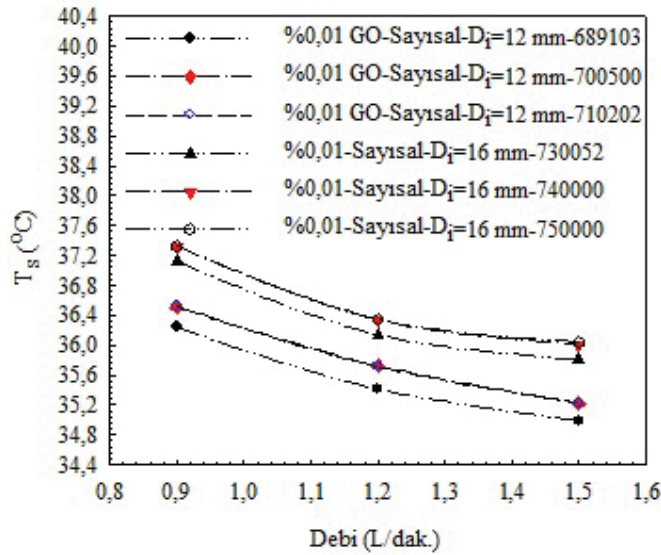
- Borunun girişinde bütün fiziksel özellikler (hız, sıcaklık ve nanoparçacık konsantrasyonu) sabit ve üniformdur.
- Kullanılan akışkan sıkıştırılmazdır.
- Boru duvarında kaymama koşulu geçerlidir.
- Boru boyunca sabit ve üniform bir ısı akısı vardır.
- Boru çıkışında önemli fiziksel özelliklerin (hız, sıcaklık ve konsantrasyon) aksenal değişimleri sıfıra eşittir.



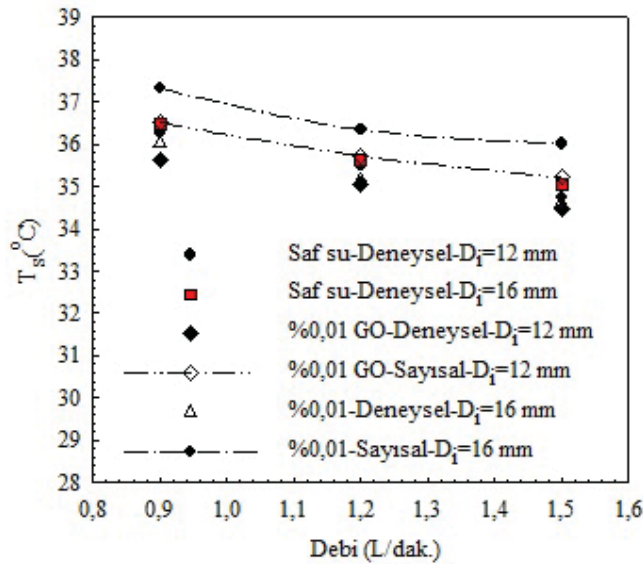
Şekil 13. a) Hesaplama alanı b) Mesh yapısı

Şekil 15’ de farklı çaplardaki boruların yüzey sıcaklıklarının deneysel ve sayısal olarak debi ile değişimi gösterilmektedir. 12 mm çap için 1,5 L/dak. debide %0,01’ lik GO konsantrasyonunda deneysel ve sayısal sonuçlar arasında yaklaşık %2,2’ lik bir fark olduğu gözlenirken, 16 mm çaplı boru için aynı koşullarda bu fark %4’ e ulaşmaktadır. 16 mm çaplı boruda elde edilen bu farkın deneyler sırasındaki ısı kayıplarından olduğu düşünülmektedir. Debi değeri arttıkça akışkana olan ısı transferi arttığından boru boyunca ortalama sıcaklık değerleri azalırken, nanoakışkan için saf suya göre daha düşük yüzey sıcaklık değerleri elde edilmektedir. Ayrıca, nanoakışkanın çalışılan konsantrasyonu için (%0,01 GO) sayısal çalışmada homojen karışimli tek fazlı akışkan olarak modellemek sonuçlarda nispeten fazla bir farka yol açmadığından kabul edilebilir olduğu düşünülmektedir.

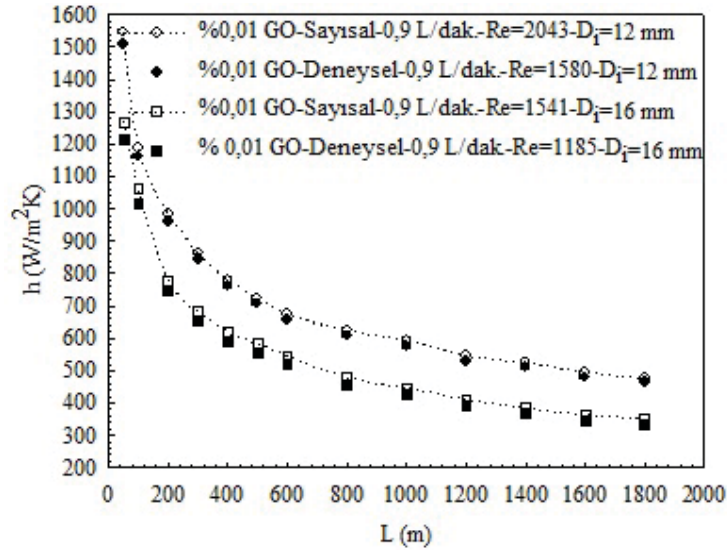
12 mm ve 16 mm iç çaplı borular için 0,9 L/dak. debi ve 250 W ısı yükünde %0,01 GO hacimsel konsantrasyonundaki nanoakışkan için boru boyunca sayısal ve deneysel olarak ısı taşınım katsayısının değişimi Şekil 16’ da sunulmaktadır. Boru yüzeyi ve nanoakışkan arasındaki sıcaklık farkının azalmasına bağlı olarak boru boyunca ısı taşınım katsayısı değeri azalırken, 12 mm iç çaplı boruda deneysel ve sayısal sonuçlar arasındaki sapma miktarının ortalama olarak yaklaşık %2,4 olduğu bulunurken, 16 mm iç çaplı boru için bu değer yaklaşık olarak %4,45 olmaktadır. Sayısal ve deneysel sonuçlar arasında elde edilen bu sapma değerlerinin deneyler sırasında meydana gelen ısı kayıpları ve nanoakışkan içindeki nanoparçacıkların hareketlerine bağlı olarak boru boyunca elde edilen sıcaklık değişimlerinden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 14. Mesh sayısına göre boru yüzey sıcaklıklarının debi ile değişimi (250 W)



Şekil 15. Deneysel ve sayısal boru yüzey sıcaklıklarının debi ile değişimi (250 W)



Şekil 16. Deneysel ve sayısal olarak ısı taşınım katsayısının boru boyunca değişimi (250 W)

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, %0,01 hacimsel konsantrasyonlu GO-saf su nanoakışkanının taşınım ısı transferi ve basınç düşüşü (yük kaybı) sabit duvar ısı akımlı 12 mm ve 16 mm iç çaplı dairesel bakır borular boyunca deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada, ayrıca sayısal olarak da inceleme yapılmış olup hesaplama sonuçları konsantrasyonun çok düşük olması nedeniyle tek fazlı akışkan kabulü yapılarak momentum ve enerji denkleminin sonlu hacim yöntemi olan ANSYS-FLUENT programı kullanılarak çözülmesiyle üç boyutlu zamandan bağımsız olarak elde edilmiştir.

Farklı çaplardaki borular boyunca taban akışkanı olan saf suyun ve nanoakışkanın ısı taşınım katsayısı ve basınç düşüşü deneysel olarak ölçülmüştür. Borulara uygulanan sabit ısı yükleri, çapın artışına bağlı olarak farklı ısı akısı değerleri almakta ve böylece hem boru içindeki akışkanın sıcaklık değişimine hem de nanoparçacıkların hareketlerine etki etmektedir. 16 mm iç çaplı boruda çalışılan tüm debilerde (0,9 L/dak., 1,2 L/dak. ve 1,5 L/dak.) ve ısı yüklerinde (250 W ve 350 W), 12 mm iç çaplı boruya göre nanoparçacıkların boru merkezine olan hareketlerinin azalması ve boru cidarına yakın nanoparçacıkların birbirleriyle, boru cidarı ve taban akışkanı molekülleriyle olan hareketlerinin yoğunlaşması nedeniyle ısı taşınım katsayısı ve Nusselt sayısı değerlerinde daha yüksek artışlar elde edilmesini sağladığı sonucuna varılmaktadır. 0,9 L/dak. debide, 250 W ısı yükünde 12 mm iç çaplı boru boyunca taban akışkanı olan saf suya göre ısı taşınım katsayısının ortalama artışı %10,14 iken 16 mm çaplı boruda bu artış değeri %14,33'e çıkmaktadır. Nusselt sayısı değerinde ise nanoakışkanın ısı iletkenliğindeki artış nedeniyle daha az artış oranları elde edildiği görülmektedir. Bu artışlar, 12 mm ve 16 mm iç çaplı borular için sırasıyla %1,22 ve %2,81 olmaktadır. Debinin (Reynolds sayısı) artışıyla nanoparçacıkların karmaşık hareketleri artmakta ve daha fazla h ve Nu sayısı artış değerleri elde edilmektedir. Bu artış miktarı, 1,5 L/dak. debi ve 350 W ısı yükünde 16 mm çaplı boru için ısı taşınım katsayısı değerinde %34,88 ve Nu sayısı değerinde ise %18,32' ye ulaşmaktadır.

Nanoakışkanların ısı transferi uygulamalarında etkin bir şekilde kullanılabilmesi için ısı taşınım katsayısı artışı yanında yük kaybı artışı değerleri de göz önünde bulundurularak birlikte değerlendirilmelidir. Saf suya eklenen nanoparçacıklar, nanoakışkanın yük kaybını artırırken, elde edilen ısı iletkenlik artışı (taban akışkanına göre %8,49' luk artış) ve buna bağlı olarak ulaşılan ısı taşınım katsayısı artış değeri yük kaybının artışına göre daha fazla olduğu için (12 mm ve 16 mm iç çaplı borular için 1,5 L/dak. debide yük kaybı artışı sırasıyla taban akışkanına göre %4,42 ve %4,1) çalışmada değerlendirilen nanoakışkandan ısı transferi uygulamalarında yararlanılabileceği söylenebilir.

Ayrıca, sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlar ile deneysel çalışmanın sonuçları karşılaştırıldığında %0,01'lik hacimsel GO konsantrasyonunda 16 mm iç çaplı boru ve 1,5 L/dak.' lik debide boru yüzey sıcaklığında ulaşılan %4' lük en yüksek sapma ve yine aynı çaplı boruda 0,9 L/dak. debide boru boyunca ısı taşınım katsayısında elde edilen %4,45' lik sapma değeri ile nanoakışkanın homojen karışımli tek fazlı akışkan olarak kabul edilebileceği düşünülmektedir.

Yukarıda da açıklandığı gibi çalışılan en düşük debi olan 0,9 L/dak.' da ve 250 W ısı yükünde dahi 12 mm iç çaplı boru boyunca saf suya göre ısı taşınım katsayısının ortalama artışı %10,14 iken 16 mm çaplı boruda bu artış değeri %14,33' e çıkmaktadır. Bu değerler yanında, aynı zamanda 12 mm ve 16 mm çaplı borular için 0,9 L/dak. debi ve 250 W ısı yükünde %0,01' lik hacimsel GO konsantrasyonlu nanoakışkanlarda ısı taşınım katsayısı değeri için deneysel ve sayısal sonuçlar arasında sırasıyla yaklaşık %2,4 ve %4,45' lik farklar bulunması %0,01 gibi çok düşük hacimsel konsantrasyonda (4 L saf suya 0,4 g GO nanoparçacığı) GO-su nanoakışkanın geleneksel ısı transferi akışkanlarına iyi bir alternatif olarak kullanılabileceğini gösterirken; ısı transferi uygulamalarında kullanılan ısı akısının, debinin ve özellikle de boru çapının nanoparçacıkların boru kesitindeki hareketlerini doğrudan etkilediğinin ve bu konuya özel önem verilmesi gerektiğinin bir kanıtı olarak görülebilir.

Bunun yanı sıra, gelecek çalışmalarda nanoakışkanların yalnızca araştırma alanı olarak kalmayıp, ısı transferi akışkanı olarak da uygulamada (elektronik soğutma sistemleri, ısı değiştirici akışkanları, güneş kolektörleri ve nükleer reaktörler vb.) kullanımının yaygınlaşması için öncelikle uzun süreli kararlılığının artırılması gerekmektedir. Bu nedenle de nanoparçacıkların sentezi ve nanoakışkanın hazırlanması aşamasında kullanılan kimyasal maddelerin kararlılığı artırırken termofiziksel özelliklerine de olabildiğince zarar vermemesine ayrıca dikkat edilmelidir.

SİMGELER

A	Alan (m^2)
c_p	Özgül ısı ($J/kg K$)
D	Boru çapı (m)
f	Sürtünme faktörü
g	Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
h	Isı taşınım katsayısı (W/m^2K)
h_K	Yük kaybı (m)
I	Akım (Amper)
k	Isıl iletkenlik katsayısı (W/mK)
L	Boru uzunluğu (m)
\dot{m}	Kütleli debi (kg/s)
Nu	Nusselt sayısı
P	Borunun çevre uzunluğu (m)
Pr	Prandtl sayısı
q	Isı akısı (W/m^2)
Q	Isı yükü (W)
Re	Reynolds sayısı
T	Sıcaklık ($^{\circ}C$)
V	Gerilim (Volt)
u	Hız (m/s)
x	Borunun girişinden olan noktasal uzaklık (m)
ΔP	Basınç farkı (Pa)
ϕ	Konsantrasyon (%)
μ	Viskozite (kg/m^2s)

Alt indis

bf	Taban akışkanı
c	Kesit
ç	Çıkış
d	Dış
g	Giriş
i	İç
nf	Nanoakışkan
p	Parçacık
m	Ortalama
m,g	Ortalama giriş
s	Yüzey

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) birimi tarafından M-505 proje numarası ile desteklenmiştir.

REFERANSLAR

Abreu, B., Lamas, B., Fonseca, A., Martins, N., Oliveira, M. S. A. (2014). Experimental characterization of convective heat transfer with MWCNT based nanofluids under laminar flow conditions, *Heat and Mass Transfer*, 50(1), 65-74.

Akhavan-Zanjani, H., Saffar-Avval, M., Mansourkiaei, M., Ahadi, M., Sharif, F. (2014). Turbulent convective heat transfer and pressure drop of graphene-water nanofluid flowing inside a horizontal circular tube, *Journal of Dispersion Science and Technology*, 35(9), 1230-1240.

Akhavan-Zanjani, H., Saffar-Avval, M., Mansourkiaei, M., Sharif, F., Ahadi, M. (2016). Experimental investigation of laminar forced convective heat transfer of graphene water nanofluid inside a circular tube, *International Journal of Thermal Science*, 100, 316-323.

- Anvari, A.R., Javaherdeh, K., Emami-Meibodi, M. (2019). Investigation of heat transfer and pressure drop of non-newtonian nanofluid performance through micro channels heat exchanger (MCHE) in cross-flow configuration. *Journal of Nanofluids*, 8(3), 631-639.
- Azari, A., Kalbasi, M., Derakhshandeh, M., Rahimi, M. (2013). An experimental study on nanofluids convective heat transfer through a straight tube under constant heat flux, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 21, 1082-1088.
- Azmi, V. H., Sharma, K. V., Sarma, P. K., Mamat, R., Anuar, S. (2014). Comparison of convective heat transfer coefficient and friction factor of TiO₂ nanofluid flow in a tube with twisted tape inserts, *International Journal of Thermal Science*, 81, 84-93.
- Azmi, V. H., Sharma, K. V., Sarma, P. K., Mamat, R., Najafi, G. (2014). Heat transfer and friction factor of water based TiO₂ and SiO₂ nanofluids under turbulent flow in a tube, *International Communications Heat and Mass Transfer*, 59, 30-38.
- Awad, M. M., Muzychka, Y. S. (2008). Effective property models for homogeneous two phase flows, *Experimental Thermal Fluid Science*, 33(1), 106-113.
- Baby, T. T., Ramapraphu, S. (2011). Enhanced convective heat transfer using graphene dispersed nanofluids, *Nanoscale Research Letters*, 6(289), 1-9.
- Balandin, A., Ghosh, S., Bao, W., Calizo, I., Teweldebrhan, D., Miao, F., Lau, C. N. (2008). Superior thermal conductivity of single-layer graphene, *Nano Letters*, 8(3), 902-907.
- Bianco, V., Chiacchio, F., Manca, O., Nardini, S. (2009). Numerical investigation of nanofluids forced convection in circular tubes, *Applied Thermal Engineering*, 29(17-18), 3632-3642.
- Buongiorno, J. (2006). Convective transport in nanofluid, *Journal of Heat Transfer*, 128(3), 240-250.
- Celeta, G. P., D'Annibale, F., Mariani, A., Saraceno, L., D'Amato, R., Bubbico, R. (2013). Heat transfer in water based SiC and TiO₂ nanofluids, *Heat Transfer Engineering*, 34(13), 1060-1072.
- Chen, H., Yang, W., He, Y., Ding, Y., Zhang, L., Tan, C., Lapkin, A.A., Bavykin, D.V. (2008). Heat transfer and flow behaviour of aqueous suspensions of titanate nanotubes (nanofluids). *Powder Technology*, 183(1), 63-72.
- Ding, Y., Alias, H., Wen, D., Williams, R. A. (2006). Heat transfer of aqueous suspensions of carbon nanotubes, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49, 240-250.
- Eastman, J. A., Choi, S. U. S., Li, S., Yu, W., Thompson, L. J. (2001). Anomalous increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles, *Applied Physics Letters*, 78 (6), 718-720.
- Ebrahimnia-Bajestan, E., Niazmand, H., Duangthongsuk, W., Wongwises, S. (2011). Numerical investigation of effective parameters in convective heat transfer of nanofluids flowing under a laminar flow regime, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54(19-20), 4376-4388.
- Eravcu, F. (2016). Karbon Tabanlı Nanomalzemelerin Sentezi, Karakterizasyonu, Reolojisi, Isıl İletkenliği ve Kararlılığı, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 2016.
- Escher, W., Brunswiler, T., Shalkevich, N., Shalkevich, A., Burgi, T., Michel, B., Oulikakos, D. (2011). On the cooling of electronics with nanofluids, *Journal of Heat Transfer*, 133(5), 1-11.
- FLUENT User's Guide, (2003). Fluent Inc, Lebanon, NH.
- Gupte, S. K., Advani, S. G., Huq, P. (1995). Role of micro-convection due to non-affine motion of particles in a mono-disperse suspension. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 38 (16), 2945-2958.
- Ghozatloo, A., Rashidi, A., Niassar, M. S. (2014). Convective heat transfer enhancement of graphene nanofluids in shell and tube heat exchanger, *Experimental Thermal Fluid Science*, 53, 136-141.

- Ghozatloo, A., Rashidi, A., Shariaty-Niassar, M. (2014). Convective heat transfer enhancement of graphene nanofluids in shell and tube heat exchanger, *Experimental Thermal Fluid Science*, 53, 136-141.
- Gnielinski, V. (1976). New equations for heat transfer in turbulent pipe and channel flow, *International Chemical Engineering*, 16(2), 359-368.
- Hajjar, Z., Rashidi, A., Ghozatloo, A. (2014). Enhanced thermal conductivities of graphene oxide nanofluids, *International Communication Heat and Mass Transfer*, 57, 128-131.
- Hedayati, F., Domairry, G. (2016). Nanoparticle migration effects on fully developed forced convection of TiO₂-water nanofluid in a parallel plate microchannel, *Particuology*, 24, 96-107.
- Hong, K. S., Hong, T. K., Yang, H. S. (2006). Thermal conductivity of Fe nanofluids depending on the cluster size of nanoparticles, *Applied Physics Letters*, 88, 1-3.
- Hwan, L., Hwang, K., Janga, S., Lee, B., Kim, J., Choi, S. U. S., Choi, C. (2008). Effective viscosities and thermal conductivities of aqueous nanofluids containing low volume concentrations of Al₂O₃ nanoparticles, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51, 2651-2656.
- Izadi, M., Behzadmehr, A., Jalali-Vahid, D. (2009). Numerical study of developing laminar forced convection of a nanofluid in an annulus, *International Journal of Thermal Science*, 48, 2119-2129.
- Karabulut, K., Yapıcı, K., Buyruk, E., Kılınc, F. (2015). Karbon nanotüp içeren nanoakışkanın ısı transferi artışı ve basınç düşüşü performansının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi. 20. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 96-105, 02-5 Eylül, Balıkesir.
- Karabulut, K. (2015). Isı Değiştiricilerde Isı Aktarımının Nanoakışkanlar Kullanılarak Arttırılması, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- Karabulut, K., Buyruk, E., Kılınc, F. (2018). Grafen oksit nanoparçacıkları içeren nanoakışkanın taşınım ısı transferi ve basınç düşüşü artışı üzerindeki etkisinin düz bir boruda deneysel olarak araştırılması. *Mühendis ve Makina*, 59(690), 45-67.
- Kebllinski, P., Prasher, R., Eapen, J. (2008). Thermal conductance of nanofluid: is the controversy over?, *Journal of Nanoparticle Research*, 10(7), 1089-1097.
- Kim, S. J., Bang, I. J., Buongiorno, J., Hu, L.W. (2007). Surface wettability change during pool boiling of nanofluids and its effect on critical heat flux, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50 (133), 4105- 4116.
- Kwark, S. M., Kumar, R., Moreno, G., Yoo, J., You, S. M. (2010). Pool boiling characteristics of low concentration nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53 (5-6), 972-981.
- Maxwell, J.C. (1904). *A treatise on electricity and magnetism* (2nd ed.). Oxford Clarendon Press, Cambridge, England.
- Mikkola, V., Puupponen, S., Granbohm, H., Saari, K., Ala-Nissira, T., Seppela, A. (2018). Influence of particle properties on convective heat transfer of nanofluids, *International Journal of Thermal Science*, 124, 187-195.
- Moghari, R. M., Talebi, F., Rafee, R., Shariat, M. (2015). Numerical study of pressure drop and thermal characteristics of Al₂O₃-water nanofluid flow in horizontal annulus, *Heat Transfer Engineering*, 36(2), 166-177.
- Mojarrad, M. S., Keshavarz, A., Ziabasharhagh, M., Raznahan, M. M. (2014). Experimental investigation on heat transfer enhancement of alumina/water and alumina/water-ethylene glycol nanofluids in thermally developing laminar flow, *Experimental Thermal Fluid Science*, 53, 111-118.
- Novoselov, K., Geim, A. K., Morozov, S., Jiang, D., Grigorieva, M. K. I., Dubonos, S., Firsov, A. (2005). Two-dimensional gas of massless dirac fermions in graphene, *Nature*, 438, 197-200.
- Pak, B. C., Cho, Y. I. (1998). Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles, *Experimental Heat Transfer*, 11(2), 151-170.

- Ranjbarzadeh, R., Karimipour, A., Afrand, M., Homayoon, A., Isfahani, M., Shirneshan, A. (2017). Empirical analysis of heat and friction factor of water/graphene oxide nanofluid flow in turbulent regime through an isothermal pipe, *Applied Thermal Engineering*, 126, 538-547.
- Rea, U., McKrell, T., Hu, L.W., Buongiorno, J. (2009). Laminar convective heat transfer and viscous pressure loss of alumina-water and zirconia-water nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(7-8), 2042-2048.
- Shanbedi, M., Heris, S. Z., Baniadam, M., Amiri, A., Maghrebi, M. (2012). Investigation of heat transfer characterization of eda-mwcnt/di-water nanofluid in a two phase closed thermosyphon, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51(3), 1423-1428.
- Shah, R. K. (1975). Thermal entry length solutions for the circular tube and parallel plates, 3rd National Heat Mass Transfer Conference, 11-13 December, Bombay-India.
- Singh, V., Joung, D., Zhai, L., Das, S., Khondaker, S., Seal, S. (2011). Graphene based materials: past, present and future, *Progress In Materials Science*, 56, 1178-1271.
- Sundar, L. S., Kumar, N. T. R., Naik, M. T. (2012). Effect of full length twisted tape inserts on heat transfer and friction factor enhancement with Fe₃O₄ magnetic nanofluid inside a plain tube, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55, 2761-2768.
- Suresh, S., Venkataraj, K. P., Selvakumar, P., Chandrasekar, M. (2012). Effect of Al₂O₃-Cu/water hybrid nanofluid in heat transfer, *Experimental Thermal Fluid Science*, 38, 54-60.
- Sadeghinezhad, E., Togun, H., Mehrali, M., Nejad, P. S., Latibari, S. T., Abdulrazzaq, T., Kazi, S. N., Metselaar, H. S. C. (2015). An experimental and numerical investigation of heat transfer enhancement for graphene nanoplatelets nanofluids in turbulent flow conditions, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 81, 41-51.
- Sadri, R., Ahmadi, G., Togun, H., Dahari, M., Kazi, S. N., Sadeghinezhad, E., Zubir, N. (2014). An experimental study on thermal conductivity and viscosity of nanofluids containing carbon nanotubes, *Nanoscale Research Letters*, 9(1), 151.
- Trisaksri, V., & Wongwises, S. (2007). Critical review of heat transfer characteristics of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(3), 512-523.
- Turgut, A., Saglanmak, S., Doganay, S. (2016). Experimental investigation on thermal conductivity and viscosity of nanofluids: particle size effect, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (1), 95-103.
- Wang, J., Zhu, J., Zhang, X., Chen, Y. (2013). Heat transfer and pressure drop of nanofluids containing carbon nanotubes in laminar flows, *Experimental Thermal Fluid Science*, 44, 716-721.
- Wang, X., Xu, X., Choi, S. U. S. (1999). Thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture, *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 13, 474-480.
- William, S., Hummers, J. R., Richard, E. O. (1958). Preparation of graphitic oxide, *Journal of the American Chemical Society*, 80(6), 1339.
- Xie, H., Lee, H., Youn, W., Choi, M. (2003). Nanofluids containing multiwalled carbon nanotubes and their enhanced thermal conductivities, *Journal of Applied Physics*, 94(8), 4967-4971.
- Yu, W., Xie, H., Wang, X. (2011). Significant thermal conductivity enhancement for nanofluids containing graphene nanosheets, *Physics Letters A*, 375, 1323-1328.
- Yarmand, H., Gharehkhani, S., Kazi, S. N., Sadeghinezhad, E., Safaei, M. R. (2014). Numerical investigation of heat transfer enhancement in a rectangular heated pipe for turbulent nanofluid, *Scientific World Journal*, 1-9, Article ID 3695939.
- Zheng, R., Gao, J., Wang, J., Feng, S. P., Ohtani, H., Wang, J., Chen, G. (2011). Thermal percolation in stable graphite suspensions, *Nano Letters*, 9(1), 188-192.



Yapısal Eşitlik Modeli (YEM) İle Aile İşletmelerinde Performans Analizi

Performance Analysis in Family Businesses with Structural Equation Modelling

H. Handan Demir ¹ , Cemal Zehir ² 

¹Gebze Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı 41400 Gebze, Kocaeli, TÜRKİYE

²Yıldız Teknik Üniversitesi, İşletme Bölümü, Davutpaşa Kampusu, 34210, Esenler, İstanbul, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 05/08/2018

Kabul/Accepted: 15/11/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Öz

Bu çalışmada, yapısal eşitlik modeli kullanılarak aile işletmelerinde performans analizi yapılmıştır. Aile işletmelerinde aile etkisi, pazarlama yönelimi, yönetim kararları içinde stratejik süreç, yönetim kurulu, insan kaynakları ve devir (vekalet) unsurlarının işletme ve aile performansına etkileri yapısal eşitlik modeli (YEM) kullanılarak incelenmiştir. Bu kapsamda 244 aile şirketine ait anketler değerlendirilerek, analizler sonucunda ana hipotezler ile aile etkisi, pazarlama yönelimi ve yönetim kararlarının hem aile performansını hem de finansal (mali) performansı artırıcı etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Mali performans üzerinde en büyük etkinin aile etkisi olduğu, yönetim kararları boyutunun alt boyutları olan devir ve stratejik sürecin de önemli etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Aile performansı için bakıldığında, yine en yüksek etki aile etkisi boyutudur. İkinci olarak yönetim kararları, sonrasında pazarlama yönelimi etkilidir. Yönetim kararlarının alt boyutları içinde en yüksek etki devir, insan kaynakları, stratejik süreç ve yönetim kurulu olarak elde edilmiştir. Bununla birlikte alt hipotezler ile aile etkisinin pazarlama yönelimi ve yönetim kararlarına etkisi, ayrıca yönetim kararları ile pazarlama yöneliminin çift yönlü ilişki analizi çözümlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Aile işletmesi, Aile etkisi, Pazarlama yönelimi, İşletme performansı, Aile performansı, Yönetim kararları”

Abstract

In this study, performance analysis in family businesses is conducted by using structural equation modelling. The effect of family influence, marketing orientation, and managerial decisions including strategic process, board of directors, human resources and succession on the business and family performances, is analyzed by using structural equation modelling (SEM). In this context, by analyzing the results of the survey with 244 family businesses, it is concluded by the main hypotheses that family influence, marketing orientation, and managerial decisions have positive effect on both business and family performances. According to the results of the study, family influence has the biggest effect on business performance. The sub dimensions of managerial decisions (strategic process and succession) have important effect on business performance. Family influence has the biggest effect on family performance, as well. After family influence, managerial decisions and marketing orientation effect family performance, respectively. Among the sub dimensions of managerial decisions, succession, human resources, strategic process, and board of directors have the biggest effect on family performance, respectively. In addition, in this study the effect of family influence on marketing orientation and on managerial decisions, and the relationship between the managerial decisions and marketing orientation are analyzed by using the sub hypotheses.

Key Words

“Family business, Family influence, Marketing orientation, Business performance, Family performance, Managerial decisions”

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında küreselleşmenin de etkisiyle hızla değişen dünya piyasası koşullarında, işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri ve rekabet ortamında kendilerine yer edinebilmeleri büyük bir önem arz etmektedir. Türkiye ve dünyadaki işletmelerin büyük bölümünü oluşturan aile işletmeleri de hem bu rekabet ortamında varlığını sürdürebilmek hem de yapısından kaynaklanan sorunları aşabilmek için birçok yola başvurmaktadır.

Örgütlerin değişen çevre koşullarına uyum sağlayabilme ve sektör içerisinde sağlam bir yer edinebilmeleri için çeşitli stratejik atılımlarda bulunmaları gerekmektedir. Buradaki amaç, işletmenin finansal performansının yükseliş trendine sahip olması beklentisidir. Finansal performans kavramını etkileyen birçok unsur bulunmaktadır. Ülkemizde işletmelerin büyük kısmını oluşturan aile işletmelerinde ise, finansal performans kavramını etkileyen unsurlar kendi iç yapılarından ve benimsenen yönetim biçiminden kaynaklı olarak etkilenmektedir.

Stratejik yönelimler, aile şirketleri açısından karlılık, büyüme, değişen çevre koşullarına adapte olma, firma performansına etki, değişen teknolojik koşullara ayak uydurabilme ve bunun sonucu ortaya çıkan rekabet ortamına uyum sağlayabilme avantajı sağlamaktadır. Bu bağlamda aile işletmeleri, rekabet mücadelesi içerisinde buldukları sektörde dinamik koşullar altında güçlü bir yer edinmek için stratejik yönelimleri kendi firmalarında uygulamayı tercih etmelidir.

Bu çalışmada, işletme performansına etki eden stratejik yönelimlerden, pazarlama yönelimi boyutu değişken olarak alınmıştır, çünkü pazar boyutu son dönemlerde gelişmekte olan ve ciddi etki sağlayabilen bir yönelim olarak görülmektedir.

İşletmelerin finansal performansını etkileyen bir başka konu ise, örgütlerin karar alma boyutlarıdır. Aile işletmeleri yapısı itibariyle geleneksel bir köken taşıdığı için karar alma merkezi en büyük aile bireyi olarak görülmektedir. Büyüyen rakip sayısı ve güçlü rekabet ortamında gelişmek isteyen bir işletme sadece aile üyelerinin kararlarıyla hareket etmemelidir. Aile şirketlerinin profesyonel yönetim merkezine ihtiyacı vardır. Aile işletmelerinde profesyonelleşme, kurumsal kimlik taşımalarıyla mümkün olmaktadır. Gelenekçi yapıdan profesyonel yapıya geçiş büyüme ve gelişmekle olmakta ve bu süreçte şirket içerisinde yeni kuşaklar ortaya çıkmaktadır. Gelişen kuşak, yeni oluşan kültüre adapte olmalı ve böylece eski ile yeniyi entegre etmelidir.

Aile işletmelerinin performansını etkileyen bir diğer konu ise, ailenin örgüte olan etkisi ile ele alınmaktadır. Aile üyelerinin karar ve davranışları, örgütü ilgilendiren muhtemel sonuç yaratabilme etkisine sahip olmakla beraber, ailenin yönetim boyutunda birbirleri arasında olan ilişkinin derecesi ve aile bireylerinin şirkete bağlılığı sonucu oluşan birbirleri arasında güven düzeyleri de işletme üzerindeki aile etkisini açıklamaktadır. Aile etkisinin incelenmesi ne kadar niteliksel bir yapı olarak görülse de son zamanlarda geliştirilen ölçeklerle bu durumunun analizi yapılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, aile işletmelerinin varlıklarını sürdürmesine katkı sağladığı düşünülen aile etkisi, pazarlama yönelimi, yönetim kararları içinde stratejik süreç, yönetim kurulu, insan kaynakları ve devir değişkenlerinin işletme ve aile performansına etkilerinin 244 aile işletmesi için yapısal eşitlik modeli (YEM) yardımıyla ele alınarak incelenmesidir.

1.1. Aile İşletmeleri

Aile işletmesi genel olarak bir veya birden fazla aile üyesinin önemli seviyede söz sahibi olduğu ve bu sahip olma durumunun işletmenin faaliyetleri üzerinde ciddi derecede etkili olabilen kurumlar algılanmaktadır (Yazıcıoğlu&Koç, 2009).

Aile işletmeleri ülke ekonomisi adına gelişim ve büyüme olarak atfedilmekte olup, yeni ürün, hizmet ve çıktı temin etmek amacıyla ekonomiye katma değer sağlamaktadır (Ağca&Kandemir, 2008). Aile işletmelerini diğer şirket türlerinden ayıran belirleyici unsurları bulunmaktadır. Bu özellikler ortak şirket kapsamında da olsa aile işletmeleri "ortaklık" adı altında kurulan diğer işletmelerden çok daha farklı temel özelliklere sahiptir.

Aile işletmeleri diğer bütün şirketlerde olduğu gibi kurulduğu andan itibaren büyümeyi ve sürekliliği hedefler. Yeni kurulan bir aile şirketi gelişime açıktır ve olgunlaşmayı bekler. Aile işletmeleri kuşaktan kuşağa bir değişim içinde bulundukça aile, mülkiyet ve işletme dinamikleri de değişim gösterecektir. Aile şirketlerinin gelişimi ve büyümesi bazen birkaç kuşak bile sürebilir.

İşletmenin içinde bulunduğu aşamaları, şirketin büyüklüğü, şirketin yaşı, şirketin yapısı ve şirketin finansal durumu belirlemektedir. Gelişmemiş bir işletmenin aile üyelerinden ve hissedarlardan beklentileri ile gelişmiş ve profesyonel bir yapı kazanmış işletmenin beklentileri arasında oldukça önemli farklar bulunmaktadır. Aile işletmelerinin evriminde bahsedilebilecek iki önemli değişken, büyüklük ve karmaşık örgüt yapısı olarak belirlenmektedir (Gersick vd., 1997). Aile işletmesi evriminin gelişim aşamaları, büyüklük ve karmaşık örgüt yapısının seviyesine göre işe başlangıç, genişleme, olgunluk şeklinde sıralanmaktadır.

Aile işletmeleri içerisinde gelişim aşamaları farklılık gösterebilmektedir. İşletmeler bazı durumlarda keskin olaylar karşısında bir aşamadan başka bir aşamaya geçiş yapmak zorunda kalabilirler. Bu aşamalar bazen ileriye yönelik ataklarla bazen ise geriye dönüşlerle mümkün olabilmektedir. Aile işletmelerinin yaşam dönemleriyle ilgili yapılan birçok araştırma, aile işletmelerindeki gelişimi dört alt başlıkta toplamaktadır. Girişimcilik Aşaması (Birinci Nesil Aile İşletmesi), Büyüme ve Gelişme Aşaması, İkinci Nesil Devretme Aşaması, Yönetimde Profesyonelleşme ve Halka Arz (Ateş, 2003).

2. AİLE ŞİRKETLERİNDE PAZARLAMA YÖNELİMİ, AİLE ETKİSİ VE YÖNETİMDE KARAR ALMA BOYUTLARININ İŞLETME PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİ

Günümüzde hızla küreselleşen dünyada, işletmeler rekabet avantajı elde etmek için farklı teknikler kullanır. Stratejik rekabet sağlanması çalkantılı ve karmaşık piyasalarda zordur. Firmalar performanslarını nelerin etkilediğini net olarak anlamadıkları zaman bu zorluklar daha da büyümektedir. Stratejik yönetim sürecinin kalbi işletmelerin her zaman rekabetçi olmalarını sağlayan performans sonuçlarının ana noktası olmaktadır (Altındağ vd., 2011).

Stratejik yönetim, bir organizasyonun uzun vadeli hedefleri elde etmesi için çapraz fonksiyonları değerlendiren, uygulayan bir davranıştır. Stratejik yönelimler gibi bazı özel araçları ihtiva eden taktik ve hedef oluşturma altında yönetsel faaliyetin bir seviyesidir. Bu yönelimler hem içerik olarak adlandırılan strateji oluşturma ve hem de süreç olarak adlandırılan strateji uygulamayı kapsayan yönelimlerdir (Zehir vd., 2011).

Risk alabilmek, müşteri odaklılığı elden bırakmamak, geçmiş tecrübelerin yardımıyla örgüt vizyonunu birleştirip geleceğe daha güçlü bir şekilde bakabilmek, çalışılan sektörde öncü olup pazarın liderliğine soyunabilmek ve dış çevreyle yapıcı ilişkiler kurabilmek stratejik yönelimlerin önemli bir parçasıdır. Bu stratejik yönelimler içerisinde pazarlama yönelimi, bütün örgüt çalışanlarının müşteri talepleri ve gereklilikleri adına devamlılık sağlayan üstün değerler oluşturma amacını ve müşteriyi tatmin etmeye yönelik hedef belirleme çalışmalarını tanımlamaktadır (Narver vd., 1998).

Pazarlama yönelimi, müşterilerin ihtiyaç ve beklentilerini anlamaya, bu ihtiyaç ve beklentileri karşılama çabasına girmeye ve müşterilere gösterilen değeri sürekli sağlamaya yönelik örgütsel faaliyetlerin bütünüdür (Slater ve Narver, 1993). Başka bir ifadeyle, pazarlama yönelimleri, müşteri talep ve ihtiyaçlarına en çabuk şekilde cevap üretecek geçerli stratejilerin hayata geçirilmesi ve işletmenin bütün seviyesindeki üyelerince kanıksanması ile ilgili olmaktadır (Kohli&Jaworski, 1990). Ancak hızla değişen rekabetçi çevrede, sadece pazar yönelimine odaklanmak yerine, onu güçlendirecek ve performansa katkı sağlayacak uygun rekabet stratejilerine de ihtiyaç vardır (Keskin vd., 2016).

Son zamanlarda aile etkisi incelendiğinde niceliksel olarak bir bakış açısı yaratma çalışmaları başlamaktadır. Çünkü ailenin şirkete etkisini somut kavramlarla açıklama anlayışının ortaya atıldığı tespit edilmektedir. Bu anlayış incelenecek olursa, literatürde bu amaca yönelik iki yaklaşım bulunmaktadır. Bu yaklaşımlardan bir tanesi “endeks” niteliğine sahipken diğer yaklaşım ise uluslararası alanda geçerliliği ve güvenilirliği kanıtlanmış bir ölçek olmaktadır. Yapılan çalışmalarla ve ortaya atılan bu ölçeklerle aile etkisi kavramının önemi, unsurları ve sonuçları standart değişkenler ile ölçülebilecektir (Ayrancı, 2009). Aile etkisini ölçen yaklaşımlar Ailesel Endeks (Familial Index) ve Aile Güç, Deneyim, Kültür Ölçeği (Family Power, Experience, Culture Scale – F-PEC) olarak adlandırılmıştır. Ailesel endeksin tanımı yapıldığında ise, ailenin yönetime katılma seviyesi ve ailenin sahiplik seviyesi olmak üzere iki temel kavram ile karşılaşılmaktadır. Ailenin yönetime katılma seviyesi ile eğer varsa yönetim kurulu, yoksa tepe yönetimi grubunda yer alan kişilerin yüzde kaçlık kısmının aile fertleri oldukları önemlidir (Minimum %0 – maksimum %100). Ailenin sahiplik derecesi ile şirketin sermayesinin yüzde kaçlık miktarının aile fertlerine ait olduğu ele alınmaktadır (Minimum %0 – maksimum %100). Görüldüğü üzere, her iki unsurunda değerleri sıfır ile yüz arasında olan bir yüzdelik dilimi içerisinde hesaplanmakta ve sözü edilen değerlerin toplamı ile endeks değeri hesaplanmaktadır. (Ayrancı, 2009).

Aile güç, deneyim, kültür ölçeği (A – GDK) aile etkisinin niteliksel bir kavramdan çıkıp daha niceliksel bir oluşum haline dönüşmesi için Astrachan vd., (2002) tarafından geliştirilen boyutsal olarak incelenebilecek güncel bir yaklaşımdır.

Bu ölçekte incelenecek ilk ana boyut, güç kavramıdır. Bu kavram aile işletmelerinde aile üyelerinin şirket üzerinde yönetim, sahiplik ve yönetim konularındaki ağırlığını göstermektedir (Astrachan vd., 2002). Güç boyutu, ailenin mevcut şartlarda alması gereken herhangi bir karar üzerinde üyelerin niteliğini ve söz sahibi olma yetisini göstermektedir.

Deneyim boyutu, aile işletmesi içerisinde yönetim ve sahiplik olgusunun hangi kuşağın elinde bulunduğu ve bu ortamda ne kadar aile ferdinin şirket bünyesinde yer aldığını göstermektedir. Deneyim boyutu, güç ile kültür boyutu arasında köprü oluşturmaktadır. Kültür boyutu içerisindeki değer yargılarının benzerliği ile güç boyutu içerisindeki yönetim anlayışı ve ailenin işletmesine bağlılığı, deneyim boyutu sayesinde kuşaktan kuşağa güncellenerek işletme bünyesinde varlığını sürdürebilmektedir (Ayrancı&Semerciöz, 2010).

Aile işletmelerinde yönetime gelen her kuşak bir önceki kuşağın oluşturduğu sistemi öğrenerek gelmekte ve şirket için değişen çevre koşullarına uyum sağlamaya çalışarak daha iyi sonuçlar elde etmeyi amaçlamaktadır (Chua vd., 1999). Bu düşünce ışığında, her kuşakla beraber aile işletmesinin hata yapma payı azalmakta ve şirket yönetimine gelmiş nesil sayısı arttıkça başarı da artmaktadır.

Kültür boyutu, aile - şirket değer yargıları ilişkisini ve uyum, bağlılık, gurur gibi manevi özellikteki kavramları konu almaktadır (Astrachan vd., 2002; Ayrancı, 2009). Aile arasında karşılıklı etkileşimle beraber bir değer yargı oluşabilmekte ve bunun sonucu olarak bu kültür ve değer yargısı şirkete taşınabilmektedir. İşte bu süreç aile şirketlerindeki kültür oluşumunun bir başlangıcıdır.

Karar alma, örgütlerin devamlılığı adına yapılan işleyişleri konu alan bütün faaliyetlerde, karşılaşılan seçenekler içerisinde doğru ve hızlı biçimde eleme yapılması anlamına gelmektedir. Eğer bir örgütte kurumsallaşma veya kurumsallaşma süreci görülüyorsa o organizasyondaki yönetim anlayışı plansız ve otokratik bir biçimde gerçekleştirilmektedir. Ayrıca aile bireylerinin içinde olduğu bir

aile işletmesinde karar alma, ailenin etki alanında gerçekleşmektedir. Karar alma mekanizması genel işletme koşulları içerisinde profesyonellerin oluşturduğu yönetim etrafında alınmakta ve bu durum kurumsal kimliği yansıtmaktadır. Bundan dolayı aile işletmelerinde karar alma sistemi, kurumsallaşma açısından önem arz etmektedir (Yazıcıoğlu&Koç, 2009). Basco ve Rodriguez 2009 yılındaki çalışmalarını, bir tipolojinin aile felsefelerinin (ilkelerinin) her aile şirketinde aynı derecede entegrasyonun ve aynı şekilde uygulanmadığını yansıtmaması gerektiği varsayımı üzerine dayandırılmışlardır. Aile işletmeleri ile ilgili araştırmalar dört kategoriye odaklanmıştır: strateji, yönetim kurulu, insan kaynakları ve devir. Basco ve Rodriguez, aile işletmelerinin iş ve aile felsefelerini hangi derecede vurguladıklarının bu dört kategori incelendiğinde ortaya çıkacağını düşünüyorlar (Basco&Rodríguez, 2009).

Aile bireylerinin içinde bulunduğu yapı itibarıyla aktif bir yönetim mevcut ise aile işletmesinin kurumsal bir kimlik taşıması önem arz etmektedir, çünkü aile işletmesi kurumsallaşmadığı sürece alınan kararlar, tepe yönetiminin inisiyatifinde olacak ve bu tek bir kişi sorumluluğu ile ortaya çıkacaktır. Aile örgütünü oluşturan aile üyelerinin de katılımı söz konusu olabilecek fakat yönetim otokrasi içerisinde hareket edecektir. Bu durum sadece karar alma mekanizmasını etkilemekle kalmayacak, karar aşamasına giden her aşamada plansız bir işleyiş modeli oluşmasına neden olacaktır. Aile şirketlerinde pasif yönetim koşulu sağlandığında genel olarak kurumsallaşmanın adımı atılmış demektir. Yönetimin profesyonellerce ele alınması, yaşanan süreçleri daha planlı hale getirebilecektir (Basco&Rodríguez, 2009). Temel unsurlar şöyledir: Strateji, Yönetim kurulu, İnsan kaynakları, Devir.

Performans; bireyler, gruplar veya girişimler sonucu yapılan işlerin, amaçlanan hedefler doğrultusunda hangi konumda olduğunun nitel ve nicel olarak anlatımıdır (Tınaz, 1999). Aile şirketlerinde önemli bir faktör olan performans kavramı, hem finansal performans hem de aile performansı olarak etkisini gösterebilmektedir.

Finansal performans kavramı, bir işletmenin uyguladığı politikalar, yaptığı faaliyetler, sahip olduğu mevcut kaynaklar sonucu elde ettiği nakit girdisi miktarı, yönettiği firmanın büyüyebilme kapasitesi ve karlılık durumunu göstermektedir. Günümüzde bu sistemler, geleneksel ve geleneksel olmayan performans ölçüm sistemleri olarak tanımlanmaya başlamıştır. Şirketlerde sürdürülebilir gelişimin önüne geçilmesi, şirket hedeflerinden sapmalar ve kısa vadeli sonuçlar üzerine odaklanma eğilimi, sadece niceliksel görülen performans ölçütlerine (makine, iş gücü, vb.) verilen önemle görülmektedir (Toni&Tonchia, 2001). Firma performansı değerlendirilirken yeni performans ölçüm temelleri geliştirilmeye başlanmıştır, çünkü geleneksel performans ölçüm sistemlerinde görülen bir takım kısıtlamalar işletmeleri başka yöntemlere doğru hareket etmeye zorlamıştır.

Aile performansı, temelde aile olmanın iş ortamına getirdiği yardımlaşma, aile üyelerinin birbirlerine duydukları saygı, güven ve ortak bir payda ve amaç etrafında toplanma gibi üstünlükleri profesyonel yönetim anlayışıyla birleştirme yeteneğine bağlıdır. Büyümeyle birlikte aile işletmeleri profesyonel yönetim, sınırları açık olarak tanımlanmış görev alanları ve işbölümü, doğru büyüme stratejilerinin seçilmesi ve büyüme için gerekli kaynaklara ve kaliteli iş gücüne sahip olma, seçilen stratejiye uygun bir örgütlenmeye gidilmesi vb. yönetim teknikleri ve uygulamalarına sahip olmalıdır. Bununla birlikte aile işletmelerinde aile ve işletme amaçlarının birbirinden ayrılması, örgütün yeniden yapılandırılması, işletmenin devamlılığını planlama, biçimsel aile toplantıları ve aile konseyinin oluşturulması yollarıyla da büyümeyle birlikte ortaya çıkan sorunların çözümü sağlanabilir. Ancak bu çözüm yollarının uygulanabilmesi için aile bireylerinin ve tüm çalışanların katılımının sağlanması ve bu çözüm yollarının yararına inanmaları gerekmektedir (Leach&Bogod, 1999).

3. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER VE BULGULAR

3.1. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın ana amacı, aile işletmelerinde hem işletme performansını (mali) hem de aile performansını etkileyen unsurların ortaya konulması ve ilişkilerin belirlenmesidir. Her iki performansı arttırdığı düşünülen aile etkisinin, pazarlama yöneliminin ve yönetim kararlarının aile işletmelerinde nasıl bir etkiye sahip olduğu ve etkileme-önem sıralamasının ortaya konulması temel hedeflerdir. İkinci önemli hedef, aile etkisi ile pazarlama yönelimi, yönetim kararları ilişkisi, ayrıca yönetim kararlarının pazarlama yönelimi ile ilişkisinin analizi olarak belirlenmiştir.

3.2. Araştırmanın Örnekleme, Varsayımlar ve Kısıtlar

Çalışmada, farklı ölçeklerdeki aile işletmeleri ana kütle olarak belirlenmiştir. İşletmelerin listesi ve ulaşma konusunda sıkıntı yaşanmaması için İstanbul Sanayi Odası (İSO) İlk 500 ve İkinci 500 işletme listesi temel alınmıştır. Söz konusu 1000 işletmeye 12.03.2014 tarihinde anket e-posta ekinde gönderilmiştir, 123 adet geri dönüş olmuştur. İkinci kez e-posta ile gönderilerek hatırlatma yapılmış bu kez 42 adet daha geri dönüş sağlanmıştır. Telefonla randevu alınarak 89 firma ile yüz yüze görüşme ile anketler doldurulmuş ve toplamda 254 ankete tamamlanmıştır. Veri girişi aşamasında 10 tanesinin soruların çoğunu boş bırakması nedeniyle analiz dışında bırakılarak toplam 244 anket uygulama için kullanılmıştır.

Araştırmaya cevap veren bireylerin ölçme araçlarındaki soruları cevaplandırırken gerçek duygu ve düşüncelerini yansıttıkları kabul edilmiştir. Araştırmaya katılan bireylerin ankete istekle cevap verdiği ve anketi doğru ve eksiksiz biçimde cevapladıkları kabul edilmiştir. Katılımcıların soruları cevaplarırken kelimelerin gerçek manasıyla anladıkları kabul edilmiştir. Oluşabilecek kavram yanlışları göz ardı edilmiştir.

Anketin örnekleme sayısının arttırılmasında zorluklar yaşanmış, birçok işletme katılım göstermeyeceğini beyan etmiştir. Ayrıca, ankete katılması beklenen kişilerin; orta, üst kademe yöneticiler veya işletme sahipleri olması gerektiğinden, ankete katılıma olumlu bakılmaları önemli bir kısıt olarak söylenebilir.

3.3. Veri Toplama Aracı

Çalışma deneysel olmayan nitel araştırma tasarımına sahiptir ve yapılaş yöntemine göre tarama modelidir. Araştırmada, örneklemeden verilerin toplanması bakımından survey modeli (saha taraması) kullanılmıştır. Örneklemeden veri toplamada ise, deneklerin görüşlerinin yazılı olarak alındığı bir veri toplama tekniği olan anket tekniği kullanılmıştır. Nicel araştırmalarda sayısal temsiliyet söz konusu olduğu için, araştırma evrenini temsil edecek örneklemin hatasız tespit edilmesi ve bu örnekleme doğru soruların sorulması önemlidir. İlgili anket geniş bir literatür taraması sonucunda geçerlilikleri ve güvenilirlikleri daha önceki çalışmalarda onaylanmış ölçekler kullanılarak hazırlanmıştır.

Ölçeklerin içsel geçerliliğinin sağlanması açısından uzman görüşleri alınmış ve İngilizceye çevrilen anket formları için tercüme-yeniden tercüme yöntemleri kullanılmıştır. Türkçeye çeviri yapıldıktan sonra tekrar İngilizceye çevrilmiş 3 mütercim tercüman tarafından incelenerek görüşleri alınmıştır. Düzeltmeler sonrasında tekrar Türkçeye çevrilerek anket formu, yapılan pilot çalışma ile 20 aile işletmesine uygulanmıştır. Öneriler doğrultusunda bazı ifadelerin değiştirilmesi veya daha anlaşılır olması amacı ile değişiklikler yapılmıştır. Anket daha sonra Türkçe okutmanı 2 kişi tarafından incelenmiş uyarılara göre son şeklini almıştır. Ankette ilk bölüm işletmeler ve anketi dolduran katılımcılar hakkında genel bilgileri ölçme niteliğindedir. İkinci bölüm ölçeklerden oluşmakta ve tüm sorular 5'li likert formatındadır.

Anketin ilk boyutu aile etkisidir ve Astrachan vd., (2002) çalışmasından alınmıştır. Bu ölçekte toplam 12 soru yer almaktadır. Pazarlama yönelimi boyutu Narver ve Slater (1990) çalışmasından alınmıştır ve 17 soru içermektedir. Yönetim kararları Basco ve Rodriguez (2009) çalışmasından alınmış ve boyutu 4 alt boyuttan oluşmaktadır. Stratejik süreç boyutu 14 sorudan, yönetim kurulu boyutu 12 sorudan, insan kaynakları boyutu 7 sorudan ve devir boyutu 15 sorudan oluşmaktadır. İşletme performansı mali ve büyüme açıdan ele alınmıştır. Mali ve büyüme boyutu 12 sorudan oluşmakta ve Altındağ (2011) Doktora Tez çalışmasından uyarlanmıştır. Aile performansı boyutu Sorenson (1999) ve Sorenson (2000) yayınlarından oluşturulmuş ve 13 soru içermektedir.

3.4. Araştırmanın Yöntemi

Geliştirilen ölçekten elde edilen veri matrisi IBM SPSS 20.0 ve AMOS 19.0 paket programında analiz edilmiştir. İlk aşamada demografik bilgiler başlıklı aile şirketlerinde genel bilgilere yönelik sıklık (frekans) dağılım tabloları sunulmuştur. İkinci aşamada, çalışılan ölçeğin dağılımı incelenmiş, sonrasında güvenilirliği geçerliliği değerlendirilmiştir. Hipotezlerin testi için hem açıklayıcı (AFA) hem de doğrulayıcı faktör analizinden (DFA) yararlanılmıştır. Faktör analizi, birbiriyle ilişkili p tane değişkeni bir araya getirerek az sayıda ilişkisiz ve kavramsal olarak anlamlı yeni değişkenler (faktörler, boyutlar) bulmayı, keşfetmeyi amaçlayan çok değişkenli bir istatistiktir (Büyüköztürk, 2012). Açıklayıcı (açımlayıcı, keşfedici, exploratory, AFA-EFA) ve doğrulayıcı (confirmatory, DFA-CFA) olmak üzere iki tür faktör analizi yaklaşımı vardır. Açıklayıcı faktör analizinde, değişkenler arasındaki ilişkilerden hareketle faktör bulmaya yönelik bir işlem; doğrulayıcı faktör analizinde ise değişkenler arasındaki ilişkiye dair daha önce saptanan bir hipotezin ya da kuramın test edilmesi söz konusudur. DFA, AFA ile önceden belirlenen yapıların test edilerek geçerliliğinin incelenmesini ya da daha önce yapılmış ölçek belirleme sonuçlarını yeni veri yapıları ile denetleme/doğrulama işlevini yerine getirmektedir.

Faktörler için ilişkilerin belirlenmesine yönelik olarak çalışılan teorik modelin değerlendirilmesine imkan sağlayan yapısal eşitlik modeli (YEM), pek çok alanda yapılan araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapısal eşitlik modeli teorik modelde yer alan ilişkileri eş zamanlı değerlendirebilmenin yanı sıra, ölçümde oluşan hataları dikkate alması ve gizil değişkenler içermesi, yapısal eşitlik modellemesini üstün kılan diğer özelliklerdir. Yapısal modelin amacı, ölçme modelinde yer alan ve "iyi uyum" gösteren veriler aracılığıyla kurulan hipotezlerin test edilebilmesini sağlamaktır. Diğer bir deyişle, bu model aracılığıyla ölçme modelinde yer alan gözlemlenebilir (observed) değişkenlerin gizli (latent) değişkenleri ne oranda ölçtüğü değerlendirilebilmektedir.

3.5. Araştırmanın Hipotezleri

Çalışmada, hipotezler ana hipotezler ve alt hipotezler olmak üzere iki hedef üzerinde oluşturulmuştur. Ana hipotezler Tablo 4.1.'de verilmiştir (Demir, 2016; Zehir&Demir, 2016).

Tablo 1. Araştırmanın Ana Hipotezleri

H	Yol	Hipotez
H1	AE→MP	Aile etkisinin (AE) mali performans (MP) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H2	PY→MP	Pazarlama yöneliminin (PY) mali performans (MP) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H3	YK→MP	Yönetim kararlarının (YK) mali performans (MP) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H4	SS→MP	Stratejik sürecin(SS) mali performans (MP) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H5	YONK→MP	Yönetim kurulunun (YONK) mali performans (MP) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H6	İK→MP	İnsan kaynaklarının (İK) mali performans (MP) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H7	DEVİR→MP	Vekaletin (DEVİR) mali performans (MP) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H8	AE→AP	Aile etkisinin (AE) aile performansı (AP) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.

Tablo 1(devam). Araştırmanın Ana Hipotezleri

H	Yol	Hipotez
H9	PY→AP	Pazarlama yöneliminin (PY) aile performansı (AP) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H10	YK→AP	Yönetim kararlarının (YK) aile performansı (AP) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H11	SS→AP	Stratejik sürecin (SS) aile performansı (AP) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H11	YONK→AP	Yönetim kurulunun (YONK) aile performansı (AP) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H13	İK→AP	İnsan kaynaklarının (İK) aile performansı (AP) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H14	DEVİR→AP	Vekaletin (DEVİR) aile performansı (AP) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.

Tablo 2 de görülen alt hipotezler aile etkisinin pazarlama yönelimi ve yönetim kararlarına etkisi, ayrıca yönetim kararları ile pazarlama yöneliminin çift yönlü ilişki analizi olarak çözümlenmiştir (Demir, 2016).

Tablo 2. Araştırmanın Alt Hipotezleri

H	Yol	Hipotez
H15	AE→PY	Aile etkisinin (AE) Pazarlama yönelimi (PY) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H16	AE→YK	Aile etkisinin (AE) Yönetim kararları (YK) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H17	AE→SS	Aile etkisinin (AE) Stratejik süreç (SS) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H18	AE→YONK	Aile etkisinin (AE) Yönetim kurulu (YONK) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H19	AE→İK	Aile etkisinin (AE) İnsan kaynakları (İK) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H20	AE→DEVİR	Aile etkisinin (AE) vekalet (DEVİR) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H21	YK→PY	Yönetim kararlarının (YK) Pazarlama yönelimi (PY) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H22	SS→PY	Stratejik sürecin (SS) Pazarlama yönelimi (PY) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H23	YONK→PY	Yönetim kurulunun (YONK) Pazarlama yönelimi (PY) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H24	İNKAY→PY	İnsan kaynaklarının (İK) Pazarlama yönelimi (PY) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H25	DEVİR→PY	Vekaletin (DEVİR) Pazarlama yönelimi (PY) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H26	PY→SS	Pazarlama yöneliminin (PY) Stratejik süreç (SS) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H27	PY→YONK	Pazarlama yöneliminin (PY) Yönetim kurulu (YONK) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H28	PY→İK	Pazarlama yöneliminin (PY) İnsan kaynakları (İK) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H29	PY→DEVİR	Pazarlama yöneliminin (PY) vekalet (DEVİR) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.
H30	PY→YK	Pazarlama yöneliminin (PY) Yönetim kararları (YK) üzerinde olumlu yönde etkisi vardır.

3.6. Bulgular ve Yorumlar

Çalışmada kullanılan anketin birinci bölümünde yer alan işletmeye yönelik genel bilgiler analiz edilerek elde edilen bulgular demografik bilgiler başlıklı sıklık (frekans) dağılım tabloları şeklinde sunulmuştur (Demir, 2016).

3.6.1. Açıklayıcı Faktör Analizi

Ölçeklere yönelik açıklayıcı faktör analizi sürecinde öncelikle verilerin faktör analizine uygunluğu test edilmiştir. Buna göre veri setinin Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) örneklem yeterliği iyi düzey olan 0.70 değerinin üzerinde 0.925 bulunmuştur. Analize tabi tutulan maddelerin/değişkenlerin tutarlılığını ölçen Bartlett küresellik testi istatistiksel olarak anlamlı ($\chi^2= 4633.976$ ve $p= ,000$) bulunurken, anti-imağ korelasyon matrisi sonuçlarına göre ise ifadelerin çapraz ilişki katsayıları kritik seviye olan 0.5'in çok üzerinde 0.70 ile 0.93 aralığında bulunmuştur. Testler sonucunda açıklayıcı faktör analizi için kullanılacak örneklemin yeterli olduğu ve ölçekte yer alan ifadelerin iç tutarlılığının sağlandığı görülmüştür.

Veri setinin uygunluğunun yapılan testlerle onaylanmasının ardından faktör yapısının ortaya konulması amacıyla faktör tutma yöntemi olarak varimax döndürme metodu ile temel bileşenler analizi yöntemi uygulanmıştır. Faktör yapısında, 4 faktör ve yönetim kurulu kararları alt boyutları ile 4 faktör eklendiğinde toplamda 8 faktör öz değerlerinin 1'den yüksek olacak şekilde elde edilmiştir. Böylece, toplam varyansın %75.278'ini açıklayan 8 faktörlük bir yapı belirlenmiştir. Faktör analizi sonucunda Extraction (çıkarma) sütununda değeri 0.30'un altında kalan sorular Costello ve Osborne (2005) çalışmasında belirttiği üzere, varyans değişime etkileri az olduğu için analiz dışında bırakılmıştır. Böyle değişkenlerin model içinde yer alması coronbah alpha değerini düşürmektedir. Aile etkisi boyutu için AE10, AE11 ifadeleri, pazarlama yönelimi boyutu için PY3, PY5, PY14, PY16, PY17 ifadeleri, stratejik süreç boyutu için SS6, SS12 ifadeleri, yönetim kurulu boyutu için YK7 ifadesi, devir boyutu için DEV2, DEV7, DEV10, DEV11, DEV14 ifadeleri, işletme mali performans boyutu için MP10, MP12 ifadeleri, aile performansı boyutu için AP7, AP10 ifadeleri çıkarılmıştır. İnsan kaynakları boyutu için tüm sorular 0.30 üzerindedir ve analizde yer almıştır.

İfadelerin faktör yükleri en düşük 0,55 en yüksek ise 0,75 aralığında yer almaktadır. Bu bağlamda elde edilen faktör yükleri değerlerinin uygun olduğu kanaati oluşmuştur. Sosyal bilimlerde yapılan çalışmalarda çok faktörlü desenlerde açıklanan varyansın %40 ile %60 arasında olması yeterli olarak kabul edilmektedir (Çokluk vd., 2012). 8 boyut toplamda varyanstaki değişimin %75.27'sini açıkladığı için faktörlerin açıklama oranı yeterli bulunmuştur.

Açıklayıcı faktör analizi sonuçlarına göre ölçekte yer alan maddeler ölçekten çıkarıldığında elde edilen alfa değerlerinin tamamı, standart alfa değerinden düşüktür. Ölçeğin güvenilirliği açısından, ölçekte yer alan maddelerin ölçekte kalmasında fayda görülmektedir. Açıklayıcı faktör analizyle elde edilen faktörler, bir diğer deyişle gizil (gözlenemeyen) değişkenler belirlenmiştir. Ancak bu faktörlerin kendi içlerindeki uyumları ve birbirleri ile ilişkileri neticesinde geneli açıklama düzeylerini açıklamada açıklayıcı faktör analizi yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, elde edilen 8 faktörlü yapının geçerliği, yapıda yer alan boyutların geçerlikleri ile güvenilirliklerinin analizi için AMOS yazılımı kullanılarak doğrulayıcı faktör analizi uygulanmıştır.

3.6.2. Doğrulayıcı Faktör Analizi ve Yapısal Eşitlik Modeli

Doğrulayıcı faktör analizi (DFA) genellikle teorik yapının oluşturulmasından sonra teyit ve doğrulama amaçlı kullanılmaktadır (Byrne, 2001). Doğrulayıcı faktör analizi kapsamında öncelikle, modelin tanımlanması amacıyla açıklayıcı faktör analizi neticesinde elde edilen 8 faktör, gizil değişkenler, faktörleri oluşturan ifadeler ise gösterge değişkenler olarak tanımlanarak AMOS ortamında bir ölçüm modeli oluşturulmuştur. Bu ölçüm modeli önerilen model için birinci dereceden DFA modelidir. Gözlenen değişkenlerin birbirinden bağımsız 8 faktör altında toplandığı 1. Dereceden DFA modeli; uyum indeksleri, gözlenen değişkenlere ait regresyon katsayıları ve geçerlik ve güvenilirlik testleri de dikkate alındığında tatmin edici sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir.

AMOS 19.0 programı ile yapılan analiz sonrasında modelin, değerlendirilen veriler ile birlikte iyi uyum indekslerine sahip olması, güvenilirlik ve geçerlilik testlerinden de kabul edilebilir seviyede sonuçlar alması beklenmektedir. Model geliştirme stratejisi kullanılarak programın üretmiş olduğu çıktılara göre hata terimleri arası kovaryans ekleyerek düzeltmelere gidilmiş ve gizil değişkenleri en iyi şekilde açıklayan model elde edilmiştir.

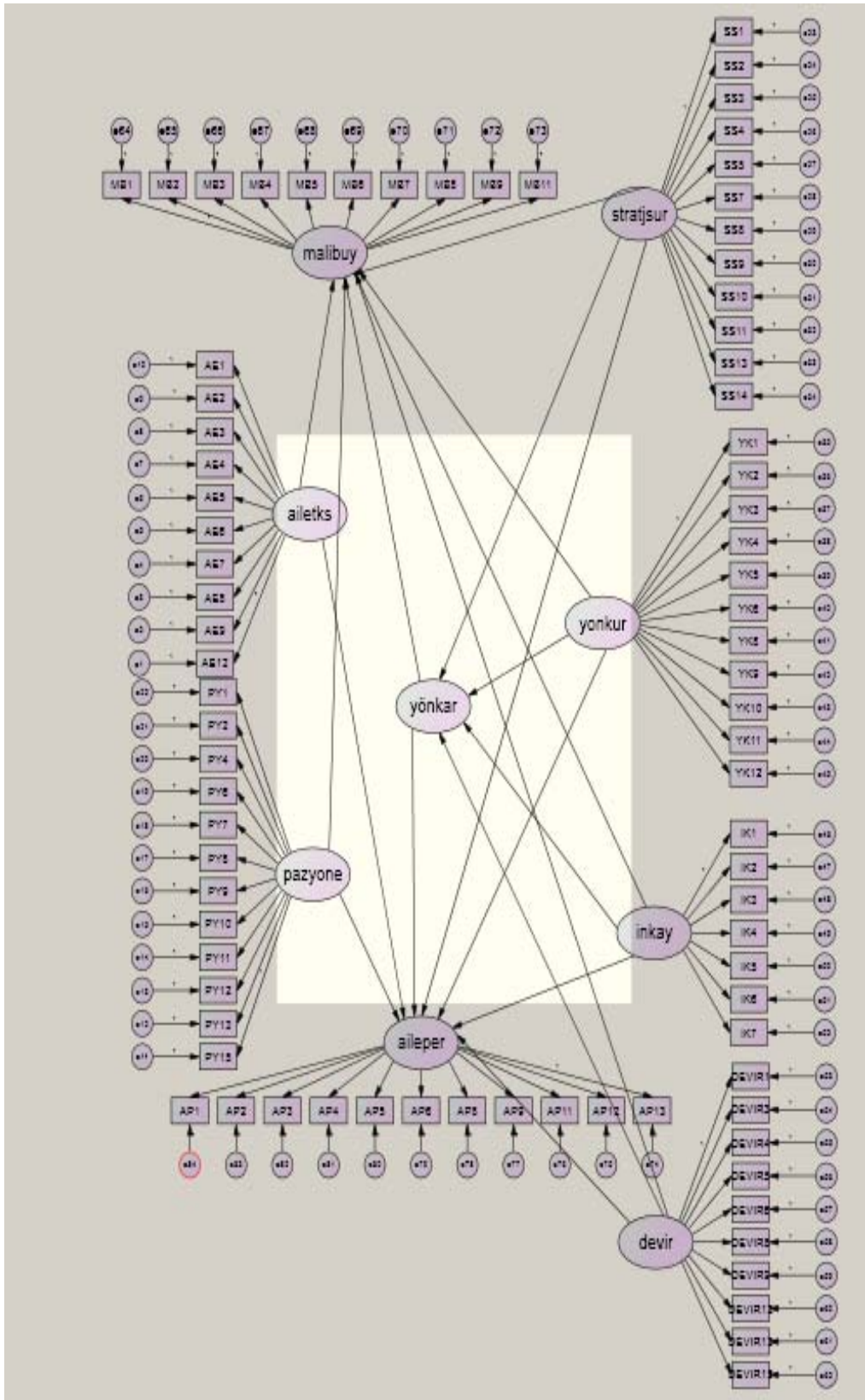
Tablo 3. Ana Hipotez Test Modeli Uyum İndeksleri

Ölçüm (Uyum İstatistiği)	İyi Uyum	Kabul Edilebilir Uyum	Araştırma Modeli Değeri	Uyum Durumu
Genel Model Uyumu				
X^2 /sd	≤ 3	$\leq 4-5$	3.05	Kabul edilebilir
Karşılaştırmalı Uyum İstatistikleri				
NFI	≥ 0.95	0.94-0.90	0.965	İyi uyum
TLI (NNFI)	≥ 0.95	0.94-0.90	0.958	İyi uyum
IFI	≥ 0.95	0.94-0.90	0.942	Kabul edilebilir
CFI	≥ 0.97	≥ 0.95	0.962	Kabul edilebilir
RMSEA	≤ 0.05	0.06-0.08	0.037	İyi uyum
Mutlak Uyum İndeksleri				
GFI	≥ 0.90	0.89-0.85	0.912	İyi uyum
AGFI	≥ 0.90	0.89-0.85	0.926	İyi uyum
Artık Temelli Uyum İndeksi				
RMR	≤ 0.05	0.06-0.08	0.028	İyi uyum

Modelin herhangi bir iyileştirme gereksinimi olup olmadığına bakmak adına modifikasyon indeksi incelenmiş herhangi bir modifikasyon gereksinimine gerek duyulmadığı görülmüştür. Büyüköztürk (2012) çalışmasında vurguladığı üzere, açıklayıcı

faktör analizi yapılırken extraction (çıkarm) sütununda 0.30 değerinin altında kalan soruların analiz dışında bırakılması işlemi ile etkisizler elendiğinden yapısal eşitlik modeli için modifikasyon açısından araştırmacılar için kolaylık sağlamakta ve nadiren sistem modifikasyona ihtiyaç belirtmektedir.

Yol analizi için önerilen modelin eldeki veri seti ile uyumunun ortaya konulmasının ardından modelde yer alan değişkenler arasındaki ilişkiler (araştırma hipotezleri) test edilmiştir. Şekil 1'de önerilen modele ait yol analizi sunulmuştur.



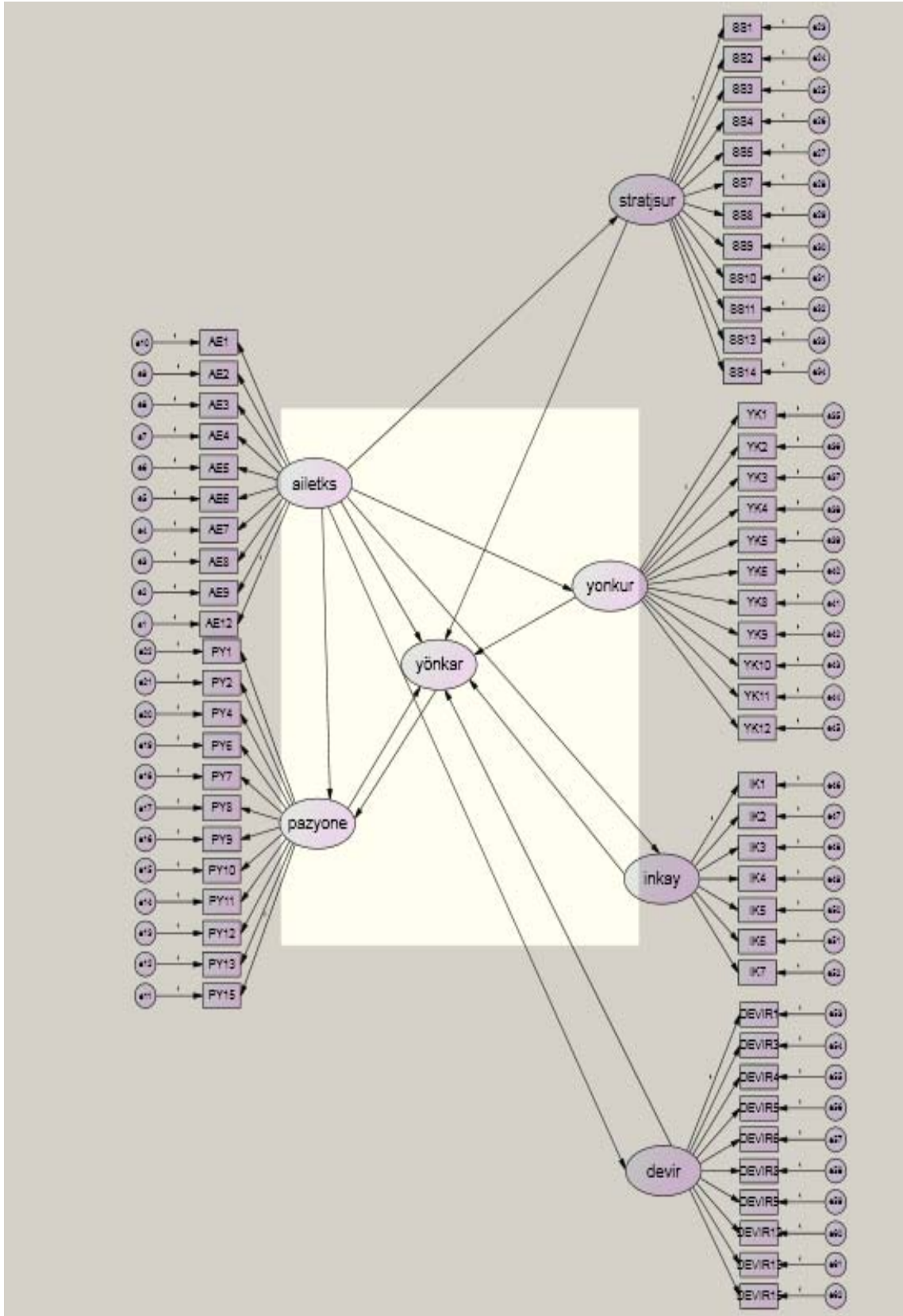
Şekil 1. Ana Hipotezler Araştırma Modeli İçin Yol Analizi (Demir, 2016; Zehir&Demir, 2016)

Tablo 4. Ana Hipotezler Test Modeli İçin YEM Analizi Tahminleri

Hipotez	Yapısal ilişki	Yön	St. Olmayan tahmin	St. Hata	t değeri	St. Tahmin	p	Sonuç
H1	AE→MP	+	0.761	0.021	36.24	0.793	****	Anlamlı
H2	PY→MP	+	0.544	0.032	17.00	0.652	0.001	Anlamlı
H3	YK→MP	+	0.678	0.045	15.07	0.714	0.003	Anlamlı
H4	SS→MP	+	0.642	0.028	22.93	0.681	****	Anlamlı
H5	YONK→MP	+	0.583	0.006	97.17	0.638	****	Anlamlı
H6	İNKAY→MP	+	0.612	0.018	34.00	0.652	0.016	Anlamlı
H7	DEVİR→MP	+	0.665	0.072	9.24	0.689	0.025	Anlamlı
H8	AE→AP	+	0.819	0.031	26.42	0.836	****	Anlamlı
H9	PY→AP	+	0.624	0.063	9.90	0.651	0.009	Anlamlı
H10	YK→AP	+	0.752	0.006	20.89	0.718	0.027	Anlamlı
H11	SS→AP	+	0.681	0.028	24.32	0.619	****	Anlamlı
H11	YONK→AP	+	0.716	0.042	17.05	0.602	****	Anlamlı
H13	İNKAY→AP	+	0.744	0.008	93.00	0.713	****	Anlamlı
H14	DEVİR→AP	+	0.627	0.035	17.91	0.794	0.024	Anlamlı

Tablodan görüleceği üzere, çalışmada öngörülen bütün hipotezler kabul edilmiştir. Yorumlar standart tahmin katsayıları sütununa göre yapılacaktır. Mali performans üzerinde en büyük etki aile etkisi boyutudur. Daha sonra yönetim kararları boyutu gelmektedir. Bu boyutun alt boyutları olan devir ve stratejik süreç önemli etkiye sahiptir. Üçüncü önemli etki insan kaynakları boyutu olarak belirlenmiştir. En düşük etki yönetim kurulu boyutudur.

Aile performansı için bakıldığında yine en yüksek etki aile etkisi boyutudur. İkinci olarak yönetim kararları sonrasında pazarlama yönelimi etkilidir. Yönetim kararlarının alt boyutları içinde en yüksek etki devir, insan kaynakları, stratejik süreç ve yönetim kurulu olarak elde edilmiştir.



Şekil 2. Alt Hipotezler Araştırma Modeli İçin Yol Analizi (Demir, 2016)

Tablo 5. Alt Hipotezler Test Modeli Uyum İndeksleri

Ölçüm (Uyum İstatistiği)	İyi Uyum	Kabul Edilebilir Uyum	Araştırma Modeli Değeri	Uyum Durumu
Genel Model Uyumu				
X ² /sd	≤ 3	≤ 4-5	3.01	Kabul edilebilir
Karşılaştırmalı Uyum İstatistikleri				
NFI	≥ 0.95	0.94-0.90	0.948	Kabul edilebilir
TLI (NNFI)	≥ 0.95	0.94-0.90	0.967	İyi uyum
IFI	≥ 0.95	0.94-0.90	0.982	İyi uyum
CFI	≥ 0.97	≥ 0.95	0.958	Kabul edilebilir
RMSEA	≤ 0.05	0.06-0.08	0.041	İyi uyum
Mutlak Uyum İndeksleri				
GFI	≥ 0.90	0.89-0.85	0.924	İyi uyum
AGFI	≥ 0.90	0.89-0.85	0.915	İyi uyum
Artık Temelli Uyum İndeksi				
RMR	≤ 0.05	0.06-0.08	0.039	İyi uyum

Modelin herhangi bir iyileştirme gereksinimi olup olmadığına bakmak adına modifikasyon indeksi incelenmiş herhangi bir modifikasyon gereksinimine gerek duyulmadığı görülmüştür.

Tablo 6. Alt Hipotezler Test Modeli İçin YEM Analizi Tahminleri

Hipotez	Yapısal ilişki	Yön	St. Olmayan tahmin	St. Hata	t değeri	St. Tahmin	p	Sonuç
H15	AE→PY	+	0.514	0.133	3.850	0.572	0.009	Anlamlı
H16	AE→YK	+	0.439	0.114	3.847	0.458	0.016	Anlamlı
H17	AE→SS	+	0.707	0.117	6.045	0.692	0.027	Anlamlı
H18	AE→YONK	+	0.491	0.081	6.043	0.537	****	Anlamlı
H19	AE→İK	+	0.365	0.072	5.080	0.379	0.003	Anlamlı
H20	AE→DEVİR	+	0.497	0.087	5.700	0.518	0.016	Anlamlı
H21	YK→PY	+	0.618	0.103	5.996	0.626	0.234	Anlamsız
H22	SS→PY	+	0.560	0.083	5.568	0.583	0.165	Anlamsız
H23	YONK→PY	+	0.339	0.260	1.303	0.357	0.196	Anlamsız
H24	İK→PY	+	0.556	0.293	1.917	0.561	0.128	Anlamsız
H25	DEVİR→PY	+	0.199	0.245	0.829	0.219	0.142	Anlamsız
H26	PY→SS	+	0.238	0.367	0.648	0.228	0.173	Anlamsız
H27	PY→YONK	+	0.164	0.283	0.579	0.169	0.117	Anlamsız
H28	PY→İK	+	0.172	0.259	0.664	0.182	0.183	Anlamsız
H29	PY→DEVİR	+	0.093	0.301	0.308	0.125	0.091	Anlamsız
H30	PY→YK	+	0.181	0.227	0.797	0.106	0.123	Anlamsız

YEM çıktısı standartlaştırılmış tahmin katsayılarından görüleceği üzere, alt hipotezlerin hepsi doğrulanmamıştır. Aile etkisi pazarlama yönelimi üzerinde istatistik anlamlı ve etkilidir. Aile etkisi yönetim kararları üzerinde istatistik anlamlı ve önemlidir. Yönetim kararlarının alt boyutları olan stratejik süreç, yönetim kurulu, insan kaynakları ve devir üzerinde de anlamlı etkisi

belirlenmiştir. Aile etkisinin bu alt boyutlardan en çok stratejik süreç üzerinde, en az etkisinin ise insan kaynakları üzerinde olduğu belirlenmiştir. Yönetim kararları ve alt boyutları pazarlama yönelimi üzerinde istatistik anlamlı ve etkili değildir. Aynı şekilde pazarlama yönelimi de yönetim kararları üzerinde anlamlı ve önemli bulunmamıştır.

4. SONUÇLAR

Detaylı bir şekilde anlatıldığı gibi aile şirketleri, kar payını yükseltmek, süreklilik sağlamak, kuşaklar arası geçiş oluşturmak, büyüme ve devamlılık için planlamalar yapmak ve bu planlar doğrultusunda hedeflerine ulaşmak istemektedirler. Bu amaçla yapısal eşitlik modeli (yem) ile aile işletmelerinde performans analizi yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çalışmada, 244 aile işletmesine yönelik uygulanan anket aile işletmelerinde hem işletme performansını (mali) hem de aile performansını etkileyen unsurların ortaya konulması ve ilişkilerin belirlenmesi amacıyla düzenlenmiştir. Her iki performansı artırdığı düşünülen aile etkisinin, pazarlama yöneliminin ve yönetim kararlarının aile işletmelerinde nasıl bir etkiye sahip olduğu ve etkileme-önem sıralamasının ortaya konulması ana amaçtır. İkinci hedef, aile etkisinin pazarlama yönelimi ve yönetim kararlarına etkisi, ayrıca yönetim kararları ile pazarlama yönelimi ilişkisi analizleri olarak belirlenmiştir (Demir, 2016).

Bu doğrultuda, yanıtlayıcı bireylerin ve aile işletmelerinin tanımlayıcı bazı bilgilerine yönelik yüzde dağılımları ortaya konulduktan sonra, çalışmanın amacına uygun düşecek gruplar için grup farklılığı analizleri yapılarak ölçek boyutlarına bakış açıları için farklılık olup olmadığı belirlenmeye çalışılmıştır. Açıklayıcı faktör analizi ile belirlenen 8 faktör ayrıca doğrulayıcı faktör analize tabi tutularak faktörlerin dağılımının tutarlılık ve geçerliliği onaylanmıştır. Ana ve alt hipotezlerin test edilmesi amaçlı YEM çözümlenmiştir. Uyum iyilikleri açısından güvenilir bir model oluşturulmuştur. Çalışmada öngörülen bütün ana hipotezler kabul edilmiştir. Mali performans üzerinde en büyük etki aile etkisi boyutudur. Aile etkisine yönelik çalışmalar ülkemizde son yıllarda artış göstermiştir. Literatürde fazla araştırma olmadığı için aile etkisine yer vermenin önemli bir katkı olacağı düşünülmüştür. Daha sonra yönetim kararları boyutu gelmektedir. Bu boyutun alt boyutları olan devir ve stratejik süreç mali performans üzerinde önemli etkiye sahiptir. Üçüncü önemli etki insan kaynakları boyutu olarak belirlenmiştir. En düşük etki yönetim kurulu boyutudur. Aile performansı için bakıldığında, yine en yüksek etki aile etkisi boyutudur. İkinci olarak, yönetim kararları sonrasında pazarlama yönelimi etkilidir. Yönetim kararlarının alt boyutları içinde en yüksek etki devir, insan kaynakları, stratejik süreç ve yönetim kurulu olarak elde edilmiştir. Yönetim kararlarından sonra başka bir etkili sonuç pazarlama yönelimi ile elde edilmiştir (Demir, 2016). Pazarlama yöneliminin etkili bir sonuç göstermesi, aile işletmelerinin değişen çevre koşullarına uyum sağlamaya çalıştığını ve alıcıların taleplerini önemsediklerini göstermektedir. Araştırmanın çoğunluğunu birinci nesil aile işletmeleri oluşturmaktadır. Bu durumda daha piyasada yeni olan aile işletmelerinin teknoloji yoğun çalışmadıklarını fakat çevreye uyum sağladığını göstermektedir. Çünkü teknoloji yoğun strateji benimseyen işletmelerde pazarlama yöneliminin etkisi düşük görülmektedir.

Yönetim kararlarının aile işletmesi açısından önemli bir etki yaratması ve bu etkilerin alt boyutlarında tutarlılık göstermesi Basco ve Rodrigez (2009)'in ortaya attığı düşünceleri doğrular niteliktedir. Çünkü yönetim kararları boyutu olan devir etkisinin yüksek derecede etkili olması aile işletmesi içerisinde sürekli ve devamlı bir işletme anlayışı benimsediğini işaret etmekte ve bunun sonucu olarak hem bir sonraki nesilin bilinçli bir şekilde çalıştığını göstermekte hem de lider aile bireyinin devretme bilincinde olduğunu belirtmektedir. Diğer bir alt boyut olan insan kaynaklarının etkili çıkması ise, aile işletmelerinin global ekonomiye ayak uydurmaya çalıştığını belirtmekte ve geleneksel yönetim biçiminden uzaklaştığını göstermektedir. Stratejik sürecin etkili görülmesi aile işletmelerinin yönetsel ve ailesel olarak işletme çıkarlarını koruyan bir ayırımın farkında olduğunu göstermektedir. Son olarak, yönetim kararlarının alt boyutu olan yönetim kurulunun etkili bir sonuç oluşturması, aile işletmeleri içerisinde sadece aile bireylerinin olmadığını, uzman ve profesyonel kadroların da işleyişin içerisinde bir dinamizme sahip olduğunu belirtmektedir.

Özete aile etkisi, pazarlama yönelimi, yönetim kararları hem aile performansını hem de firma mali performansı olumlu yönde etkilemektedir. Literatürde Slater ve Narver (1994); Jaworski ve Kohli (1993) gibi temel makale sonuçlarıyla paralellik göstermiştir.

Daha sonra alt hipotezlerin testi için YEM çözümlenmiştir. Alt hipotezlerde aile etkisi ile pazarlama yönelimi, aile etkisi ile yönetim kararları ilişkisi ayrıca, yönetim kararlarının pazarlama yönelimine çift yönlü etkisinin varlığı analiz edilmiştir. Elde edilen bulgularda, aile etkisi pazarlama yönelimi üzerinde istatistik anlamlı ve etkilidir. Aile etkisi yönetim kararları üzerinde istatistik anlamlı ve önemlidir. Yönetim kararlarının alt boyutları olan stratejik süreç, yönetim kurulu, insan kaynakları ve devir üzerinde de anlamlı etkisi belirlenmiştir. Aile etkisinin bu alt boyutlardan en çok stratejik yönelim üzerinde en az etkisinin ise insan kaynakları üzerinde olduğu belirlenmiştir. Yönetim kararları ve alt boyutları pazarlama yönelimi üzerinde istatistik anlamlı ve etkili değildir. Aynı şekilde pazarlama yönelimi de yönetim kararları üzerinde anlamlı ve önemli bulunmamıştır. Bu iki boyut çift yönlü bir ilişki içinde değildir. Yönetim kararları ve bunun alt boyutları olan stratejik süreç, yönetim kurulu, insan kaynakları ve devir ile pazarlama yönelimi arasında çift yönlü bir ilişki bulunmamıştır. Bu durumun sebepleri çeşitli faktörlerden kaynaklı olabilmektedir. Yönetim kararları ve pazarlama yönelimi, işletme performansını etkileyen değişkenlerdir. Fakat kendi içlerinde bir korelasyon olmaması olası durumlar içinde yer almaktadır.

Sonuç olarak; bu makale kapsamında yapısal eşitlik modeli kullanılarak aile işletmelerinde performans analizi yapılmış ve işletme performansına etki eden aile etkisi, pazarlama yönelimi ve yönetim kararları değişkenleri incelenerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

REFERANSLAR

- Ağca V., & Kandemir T. (2008). Aile İşletmelerinde İç Girişimcilik Finansal Performans İlişkisi: Afyonkarahisar’da Bir Araştırma. *Sosyal Bilimler Dergisi*, 10 (3), 209-230.
- Altındağ, E. (2011). Aile Şirketlerinde Stratejik Yönelim Düzeylerinin Tespiti ve Firma Performansı Üzerindeki Etkisi, Basılmamış Doktora Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Altındağ, E., Zehir, C., & Acar Z., (2011). Strategic Orientations and Their Effects on Firm Performance in Turkish Family Owned Firms. *Eurasian Business Review*, 1(1), 18-36.
- Astrachan J. H., Klein S. B., & Smyrnios, K.X. . (2002). The F-PEC Scale of Family Influence: A Proposal for Solving the Family Business Definition Problem. *Family Business Review*, 15 (1), 45–58.
- Ateş, Ö. (2003). Aile Şirketlerinde Değişim ve Süreklilik Anlayışı, Basılmamış Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Ayrancı, E. (2009). Aile İşletmelerinde Aile Etkisi ve Finansal Performans Tatmini ile İlişkisi Üzerine Bir Araştırma, Basılmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Ayrancı, E., & Semerciöz, F. (2010). Aile-güç, deneyim, kültür ölçeği ve aile işletmelerinde aile etkisi ile tepe yöneticilerin aile üyesi olan yöneticilere yönelik bakışı arasındaki ilişki üzerine bir araştırma. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 39 (2), 335-358.
- Basco, R., & Rodríguez, M. J. P., (2009). Studying the Family Enterprise Holistically: Evidence for Integrated. *Family and Business Systems*, *Family Business Review*, 22(1), 82-95.
- Büyüköztürk, Ş. (2012). *Sosyal Bilimler İçin Veri Analizi El Kitabı*. Ankara, Pegem Akademi Yayınları.
- Byrne, B. M. (2001). *Structural Equation Modeling with AMOS: Basic Concepts, Applications, and Programming*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Chua, J. H., Chrisman, J. J., & Sharma, P. (1999). Defining the Family Business by Behavior. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 23(1), 27–28.
- Costello, A. B., & Osborne, J. W. (2005). Best Practices in Exploratory Factor Analysis: Four Recommendations For Getting The Most From Your Analysis. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 10(7), 1-9.
- Çokluk, Ö., Şekercioglu, G., & Büyüköztürk, Ş. (2012). *Sosyal Bilimler İçin Çok Değişkenli İstatistik: SPSS ve Lisrel Uygulamaları*. Pegem Akademi Yayıncılık, Ankara
- Demir, H. H. (2016). Aile İşletmelerinde Aile Etkisi, Pazarlama Yönelimi ve Yönetim Kararları ile İşletme ve Aile Performansı İlişkisi, Doktora Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli.
- Gersick, K. E., Davis, J. A., McCollom, H., & Lansberg, I. (1997). *Generation to Generation: Life Cycles of Family Business*. Harvard Business School Press, Boston, Mass.
- Jaworski, B. J., & Kohli, A. K. (1993). Market Orientation: Antecedents and Consequences. *Journal of Marketing*, 57(1), 53-70.
- Keskin, H., Zehir, S., & Ayar, H. (2016). Pazar Yönelimi ve Firma Performansı İlişkisi: Farklılaştırma Stratejisinin Aracı Rolü. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 17(1), 111-127.
- Kohli, A. K., & Jaworski, B. J. (1990). Market Orientation: The Construct, Research Propositions and Managerial Implications. *Journal of Marketing*, 54 (2), 1-18
- Leach, P., & Bogod, T. (1999). *Guide to the Family Business*. 3rd Edition, Kogan Pbc., London.
- Narver, J. D., Slater S.F, (1990), “The Affect of Market Orientation on Business Profitability”, *Journal of Marketing*, 5(1), 20-35.
- Narver J. C., Slater, S.F., & Tietje, B. (1998). Creating a Market Orientation. *Journal of Market-Focused Management*, 2(3), 241-256
- Slater, S. F., & Narver, J. C. (1994). Does Competitive Environment Moderate the Market Orientation Performance Relationship? *Journal of Marketing*, 58(1), 46-55.

- Sorenson, J. (1999). Conflict Management Strategies Used by Successful Family Businesses. *Family Business Review*, 12(4), 324-339.
- Sorenson, J. (2000). The Contribution of Leadership Style and Practices to Family and Business Success. *Family Business Review*, 13(3), 182-200.
- TINAZ, P. (1999). Performans Degerleme Sistemlerinin Önemi ve Türkiye'deki Uygulamalarına İlişkin Bir İnceleme. *Celal Bayar Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Sayı:5, 389-406.
- Toni, A.D., & Tonchia, S. (2001). Performance Measurement Systems: Models, Characteristics and Measures. *International Journal of Operations & Production Management*, 21 (1) , 46-70.
- Yazıcıoğlu, İ., & Koç, H. (2009). Aile İşletmelerinin Kurumsallaşma Düzeylerinin Belirlenmesine Yönelik Karşılaştırmalı Bir Araştırma. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21, 497-507.
- Zehir, C., Altındağ, E., & Acar, Z. (2011). The Effects of Relationship Orientation through Innovation Orientation on Firm Performance: An Empirical Study on Turkish Family-Owned Firms. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 24(1), 896–908.
- Zehir, C., & Demir, H. H. (2016). Aile İşletmelerinde Aile Etkisi, Pazarlama Yönelimi, Yönetim Kararları ile İşletme ve Aile Performansı İlişkisinin Yapısal Eşitlik Modeli Yardımıyla Belirlenmesi. *Eurasian Academy of Sciences Eurasian Business & Economics Journal*, Vol. 6, p.74-100.



Fotovoltaik Sistemin Çıkış Gücünün Sıcaklık ve Işımaya Bağlı Matematiksel Modellemesi ve Simülasyonu

Mathematical Modeling and Simulation of the Photovoltaic System's Output Power depends on Temperature and Irradiance

Süleyman Adak^{*1} , Hasan Cangı² , Ahmet Serdar Yılmaz² 

¹Mardin Artuklu Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, İstasyon, 47060 Mardin, TÜRKİYE

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü, 46100 Kahramanmaraş, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 28/01/2018 Kabul/Accepted: 15/11/2018 Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Öz

Fotovoltaik (FV) sistemlerin çıkış gücü güneş ışınımı ve sıcaklık değerlerine bağlıdır. Bu makalede, FV sisteminin çıkış gücünün sıcaklık ve güneş ışınımına bağlı değişimi incelenmiştir. Ayrıca, bu çalışmada FV panellerinin yanında FV dizininin çalışma prensibi özetlemiştir. Şebekeden bağımsız FV sistem Matlab/simülasyon programı kullanılarak modellenmiş ve bu çalışmada detaylı çalışması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, farklı sıcaklık ve ışınım değerleri için FV sisteminin çıkış gücü analiz edilmiştir. FV panellerde kısmi gölgeleme durumları için sistemin simulink eşdeğeri oluşturuldu. Kısmi gölgeli durumlara ait I-V ve P-V eğrileri bulundu. Sonuç olarak, FV sisteminin çıkış gücünün analitik ifadesi, Sosyal Bilimler İçin İstatistik Programı (SPSS) kullanılarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler

"FV panel, SPSS istatistik programı, ışıma & sıcaklık irradiance&temperature, aktif güç, şebekeden bağımsız FV sistem"

Abstract

The output power of photovoltaic (PV) systems depends on solar radiation and temperature. In this article, the change of output power of PV system is examined depends on temperature and solar irradiance. Furthermore, this study out lines the working principle of PV panel as well as PV array. Off- grid PV system is modeled by using a Matlab/simulation program and detail study has been carried out in thiswork. Besides, Output power of PV system was analyzed for different temperature and irradiance values. Simulink equivalent of the PV system was created for partial shading on PV panels. I-V and P-V curves were found for partial shaded conditions. As a result, analytical expression of output power of PV system was found by a statistical package for the social sciences (SPSS) program.

KeyWords

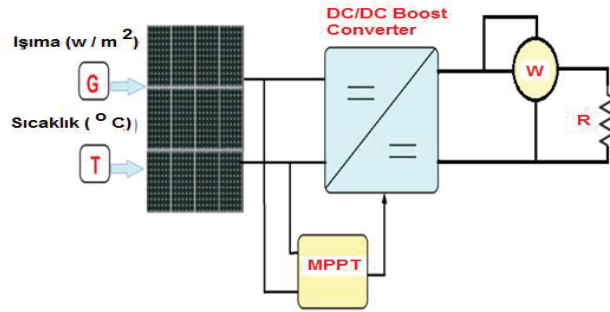
"PV panel, SPSS statistical program, irradiance&temperature, activepower, off-grid PV system"

1. GİRİŞ

Güneş enerjisi güvenilir ve çevre dostu enerji kaynaklarından birisidir. Ülkemiz güneşlenme süresi bakımından diğer ülkelere göre daha iyi bir konumdadır. Güneş enerjisi taşıdığı özellikler ile fosil yakıtlara alternatif olmaktadır. Fosil yakıtlar olarak adlandırılan kömür, petrol ve doğalgaz gibi kaynaklar yenilenebilir değildir. Bu kaynakların rezervleri azaldıkça fiyatları artmaktadır. Fosil kaynakların çevreye büyük zararları vardır. Özellikle havadaki oksijen miktarını düşürdüklerinden havanın kirlenmesine neden olurlar. Kömür ile çalışan termik santrallerin soğutma suyuna ihtiyaçları vardır. Soğutmaya sağlayan bu su ısınır. Isınan bu su daha sonra derelere deşarj edilir. Bunu sonucunda su kirliliği oluşur bitkiler kurur, suyun sıcaklığının yükselmesi sonucu balık ve canlı ölümleri başlar. Yenilenebilir enerji kaynaklarına hızlı bir yönelmenin olduğu günümüzde güneş enerjisine erişimin kolay olması ülkemizde güneşlenme gün sayısının fazla olması yenilenebilir enerji kaynakları içinde güneş enerjisini ön planlara çıkarmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları fosil kaynaklara nazaran çevre dostudurlar. Sürekli olarak kendilerini yenilerler. Yenilenebilir enerji kaynağının en önemlilerinden olan güneş enerjisi modüler yapıda olması sayesinde çok kısa sürede devreye alınabilir. Aynı zamanda güneş enerjisinin yakıt sorununun olmaması, işletme kolaylığı, hareketli parçaların olmaması nedeni ile kolay, kolay arızalanmaması gibi avantajları bulunmaktadır. Sağladığı avantajlardan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı sürekli artmaktadır. FV sistemlerin enerji üretiminde hareketli parçalar olmadığından kolay, kolay arızalanmazlar.

Güneş enerjisi FV paneller sayesinde elektrik enerjisine dönüştürülür. Panellerde üretilen enerji ile ilgili birçok yayın bulunmaktadır. Bu makalede farklı olarak FV sistemde üretilen gücün sıcaklık ve ışımaya bağlı değişiminin analitik ifadesi bulunmuştur. Güç sisteminin eşdeğer simulink devresi Matlab/Simulink paket programı yardımı ile gerçekleştirilmiştir (Atlas & Mengi, 2008; Bayrak & Cebeci, 2012; Cotfas, Cotfas & Kaplanış, 2013; Şahin & Okumuş, 2013). Şekil 1’de şebekeden bağımsız bir FV sisteme ait prensip şeması verilmiştir.



Şekil 1. Şebekeden bağımsız FV sistemin prensip şeması

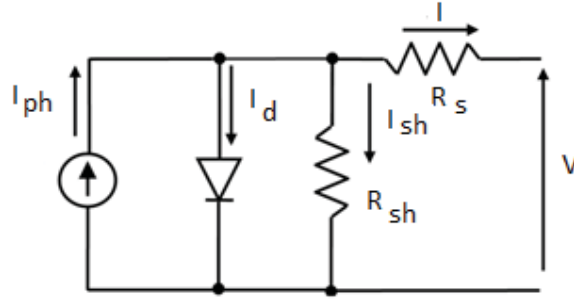
FV güç sistemi, FV dizine bağlı olarak, DC/DC yükseltici konverter, solar inverter, akü şarj regülâtörü ve denetim aygıtlarından oluşmaktadır. FV güç sistemlerde verim panelin imal edildiği malzemeye bağlı olarak (%5- %20) arasında değişmektedir. FV sistemler standart test koşullarında nominal değerlerde güç üretirler. Standart test koşulları (STK), panele dikey gelecek şekilde 1.000 (W/ m²) ışınım değeri, 25 (°C) FV hücre sıcaklığı ve AM 1,5 hava kütlesi ortamında FV panel test edilirler. FV panelde kirlenme, ışınlarının geliş açılarının eğik olması, gölgelenmeler ile ortam sıcaklığının aşırı sıcak veya aşırı soğuk olması FV sistemin verimine etki ederler (Perez & Gorji, 2016; Sekkeli, Açıkgoz & Kececioğlu, 2015; El Khateb, AbdRahim, Selvara & Williams, 2015; Chatterjee, Keyhani & Kapoor, 2011; Cangi & Adak, 2015; Özdemir, Erdem, 2017). Güneşsiz bulutlu günlerde FV sistemin enerji ihtiyacı akülerde depo edilen enerjiden karşılanır.

2. FV GÜÇ SİSTEMLERİNİN ANALİZİ

FV hücre ve panelin simulink modeli oluşturulduktan sonra bu sistemin analizi yapmak oldukça kolaylaşır. FV hücre sıcaklığı ortam sıcaklığı ve güneşten gelen ışımanın değişmesi ile orantılı bir şekilde değişir. FV hücrelerin ısınması sonucunda akım değeri artar. Buna karşılık gerilim değeri azalır. Gerilim değerindeki azalma fazla olduğundan FV hücrenin çıkış gücünde da azalmalar oluşur. Herhangi bir FV hücredeki gölgelenme başka bir FV hücrenin performans parametrelerini de etkiler. FV hücre yüzeyindeki gölgelenme sistemin veriminin düşmesine neden olur. (Badawy, Yılmaz, Sozer & Husein, 2014; LoBranco, Orioli, Ciulla & Di Gangi, 2010; Yazdani & Dash, 2009; Nema, Nema & Agnihotri, 2010; Fangrui, Shanxu, Fei, Bangyin & Yong, 2008).

Yarı-iletken maddelerin n ya da p tipi katkılıandıktan sonra FV hücre yapımında kullanılırlar. Kalkılama süreci saf yarı iletken eriyiğe katkı maddeleri kontrollü olarak eklenir. Yeni yarı-iletkenin n veya p tipi olması katkı maddesine bağlıdır. P ve n tipi katkılılandırılmış maddeler bir araya getirildiğinde yarı-iletken jonksiyon bölgesi oluşturulur. N tipi yarı-iletkende elektronlar, p tipi yarı-iletkende ise holler çoğunluk taşıyıcısıdır. P-N jonksiyonu oluştuğunda, N tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, P tipine doğru akım oluştururlar. Bu durum her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder. Yarı-iletken jonksiyonunun FV hücre olarak çalışması için P-N jonksiyon bölgesinde FV dönüşümün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm jonksiyon bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri oluşturularak sağlanır.

FV panelli sisteminden enerji üretimi hesabında bölgenin güneşlenme süresi ile panelin verimi de önemlidir (Çam et al., 2017). FV hücrenin eşdeğer devresi, akım kaynağı buna paralel bağlı diyot ile seri ve paralel dirençlerden oluşmaktadır. Çok miktarda FV hücre birbirine paralel ya da seri bağlanarak sistemin çıkış gücü artırılır. Şekil 2’de FV hücrenin elektriksel eşdeğeri verilmiştir.



Şekil 2. Fotovoltaik hücrenin eşdeğer devresi

Şekil 2’de, I_{ph} , fotonların ürettiği akımı, R_s , seri direnci, R_{sh} , paralel direnci, n , ideallik faktörü, I , FV hücre çıkış akımını, V , FV hücrenin çıkış gerilimini göstermektedir. FV hücrede foton akımı güneşli tam açık havada en fazladır, buna karşılık bulutlu veya kapalı havalarda güneşten gelen ışımaya miktarına bağlı olarak foton akımında azalmalar gözlenir. Bunlara ek olarak bulutlu havalarda kısa devre akımında (I_{SC}) azalmalar gözlenir. Şekil 2’nin analizinden fotovoltaik hücrenin çıkış akımı,

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT_c}} - 1 \right) - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

formülü ile bulunur. Burada k , Boltzmann sabitini ($1,380622 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$), q , elektron yükünü ($1.6021917 \times 10^{-19} \text{ C}$) ve I_0 diyotun ters doyma akımını göstermektedir. R_{sh} direnci FV hücredeki sızıntı akımlarını, R_s direnci ise çıkıştaki gerilim düşümünü ifade etmek için kullanılmıştır. Eşdeğer devredeki, R_{sh} , paralel direncinin değeri, R_s , seri direncinden oldukça büyüktür. FV hücre sıcaklığı yalnız ortam sıcaklığına değil güneşten gelen ışımaya bağlı olarak değişir. FV hücreye gelen ışımının enerjiye dönüşmeyen kısmı ısı olarak hücreden dışarı çıkar. T_{nom} , hücre sıcaklığı $20 \text{ }^\circ\text{C}$, ortam sıcaklığında, $800 \text{ (w/m}^2\text{)}$ ışımaya değeri ve 1 (m/sn) rüzgar hızında tanımlanır. T_c hücre sıcaklığını,

$$T_c = T_{ortam} + \frac{T_{nom}-20}{0,8} * G \quad (2)$$

formülü ile bulunur. Burada T_c , FV hücre sıcaklığını ($^\circ\text{C}$), T_{ortam} , ortam sıcaklığını ($^\circ\text{C}$), G , güneşten gelen ışımaya (w/m^2) göstermektedir. FV hücrelerin yüksek sıcaklıkta verimlerinin yüksek olduğu düşüncesi yanlıştır. FV hücreler düşük sıcaklıkta ve yüksek ışımada verimleri yükselir. Hücrenin eşdeğer devresinde $R_{sh} = \infty$ açık devre alındığında, FV hücre akımı,

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT_c}} - 1 \right) \quad (3)$$

olarak bulunur. FV sistemde akımı artırmak için FV hücreler paralel bağlanır. FV hücreler fotovoltaik prensiplere dayalı olarak çalışırlar. Yüzeylerine ışık düştüğünde uç terminallerinde gerilim indüklenir ve bu gerilim değeri $0,5 \text{ V}$ çamarındadır. FV hücrelerin verdiği enerji, yüzeylerine güneşten gelen ışımaya enerjisidir. FV hücrenin gerilimi,

$$V = \frac{nkT_c}{q} \ln \left(\frac{I_{ph} + I_0 - I}{I_0} \right) - IR_s \quad (4)$$

şeklinde bulunur. FV hücrede indüklenen gerilim, hücre yüzeyine gelen ışık şiddeti ile orantılıdır. FV hücre çıkış uçlarına yük bağlanırsa yük üzerinden bir akım akar. N_s , FV panelde kullanılan seri hücre sayısını ve N_p , panelde kullanılan paralel hücre sayısını gösterir. Seri hücre sayısı ile gerilimi değeri artırırken paralel hücre sayısı ile panel çıkış akımı değeri artırır. N_s ve N_p değerleri dikkate alındığında FV panel akım değeri,

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_0 \left(e^{\frac{q \left(\frac{V}{N_s} + \frac{IR_s}{N_p} \right)}{nkT_c}} - 1 \right) - \frac{1}{N_p} \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (5)$$

formülü ile bulunur. Paralel bağlı R_{sh} , direncinin değeri, seri bağlı R_s , direnci değerinden oldukça büyüktür. Bundan dolayı $R_{sh} = \infty$ açık devre alındığında, FV panel akımı,

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_0 \left(e^{\frac{q \left(\frac{V}{N_s} + \frac{IR_s}{N_p} \right)}{nkT_c}} - 1 \right) \quad (6)$$

formülü ile bulunur. FV panelin çıkış geriliminin değeri,

$$V = \frac{nkT_c}{q} \ln \left(\frac{I_{ph} + I_0 - I + N_p}{I_0} \right) - R_S I \quad (7)$$

formülü ile hesaplanır. FV panel etiketteki değerleri normal koşullar altında tespit edilen değerlerdir. FV panelin test sonuçları, standart test koşullarına göre daha az veya daha fazla olduğu durumlarda FV panelin çıkış güç değeri de o oranda eksik veya fazla olabilir. FV panelin çıkış gücünün değeri,

$$P = V * I \quad (8)$$

formülü ile bulunur. (6) ile (7) denklemlerinden hareketle FV panelin çıkış gücü,

$$P = \left[\frac{nkT_c}{q} \ln \left(\frac{I_{ph} + I_0 - I + N_p}{I_0} \right) - R_S I \right] * [N_p I_{ph} - N_p I_0] * \left[e^{\frac{q \left(\frac{V}{N_s} + \frac{I R_S}{N_p} \right)}{nkT_c}} - 1 \right] \quad (9)$$

olarak bulunur. (9) denkleminde lineer olmayan karakteristiğe sahip parametre değerleri Newton - Raphson veya benzeri lineer olmayan çözüm yöntemleri ile bulunur. FV panelin ürettiği güç değeri, güneşten gelen ışımının eğimli veya dik oluşuna, panel yüzeylerinin kirlilik oranını ile havanın bulutlu veya açık olmasına bağlı olarak değişir. FV panellerin kirlenmesi verimi oldukça azaltır. Ayrıca FV sistem yıldırımların zararlı etkilerine karşı korunmalıdır.

2. FV PANELLERİN BAĞLANTI TÜRLERİ

PV panellerde güç çıkışını artırmak için kendi aralarında üç türlü bağlanırlar. FV güç sisteminin durumuna bağlı olarak bazen akımın artırılması gerektirirken, bazen de gerilimin artması gerekmektedir. FV panellerin birbirleri ile bağlanması sonucunda dizinler elde edilir. Bunların gücü birkaç watt'an megavatlara kadar çıkar.

2.1. FV Panellerin Seri Bağlanması

FV panellerin seri bağlanmasında çıkış gerilimim ifadesi,

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n \quad (10)$$

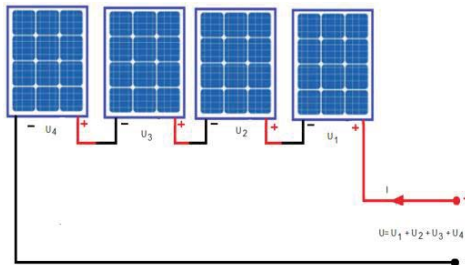
formülü ile bulunur. r, FV hücrelerin iç direncini göstermek üzere toplam iç direnç,

$$r_T = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n \quad (11)$$

şeklinde hesaplanır. FV güç sistemin R yükünü beslemesi durumunda akım değeri,

$$I = \frac{U}{R + r_T} \quad (12)$$

formülü ile hesaplanır. Şekil 3'te FV panellerin seri bağlantısına ilişkin prensip şeması verilmiştir.



Şekil 3. Güneş panellerinin seri bağlanması

FV panellerin seri bağlanması sonucunda çıkış gerilimin değeri artmaktadır. Daha üst değerlerde gerilim ihtiyacı durumunda seri bağlanacak FV panellerin adedini artırmalıyız. Seri bağlamada panellerin tümünden aynı akım değeri geçer. Bağlantılar paneller üzerindeki konektörler ile yapılır. FV paneller seri bağlanmasında panelin artı ucı ardışık gelen panelin eksi ucuyla birleştirilir.

2.2. FV Panellerin Paralel Bağlanması

FV panellerde çıkış akımının artırılması için FV paneller kendi aralarında paralel bağlanırlar. Bu bağlantı türünde çıkış gerilimi sabittir ve genellikle 12, 24, 48 V tur. FV panellerin paralel bağlanmasında çıkış gerilim,

$$U=U_1=U_2=U_3=.....U_n \quad (13)$$

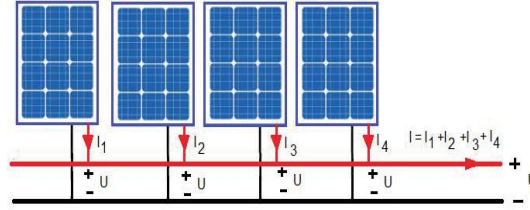
Burada, U, FV dizinin çıkış gerilimi, U_1 , birinci FV panelin gerilimini, U_n n'ninci FV panel gerilimini, FV panel iç direnci r_1 ise, birinci FV panelin iç direnci,

$$r_T = \frac{r_1}{n} \quad (14)$$

formülü ile hesaplanır. Burada, r_T , paralel bağlı FV dizinin toplam iç dirençlerini, r_1 , birinci PV panelin iç direncini n, FV dizinde bulunan toplam panel sayısıdır. FV güç sistemi R direnç değerindeki bir yüke bağlı ise yük akımı,

$$I = \frac{U}{R + \frac{r_1}{n}} \quad (15)$$

formülü ile bulunur. Burada I, FV dizinine bağlı yükün çektiği akımı, R, FV sisteme bağlı yük direncini, r_1 , FV sisteme bağlı birinci panelin iç direncini, n, FV sistemde bulunan panel sayısını göstermektedir. Şekil 4'te FV sisteme paralel bağlı panellerin ilişkin şema verilmiştir.

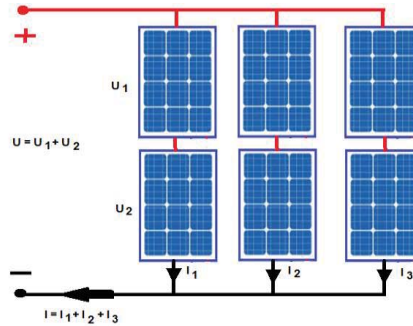


Şekil 4. Güneş panellerinin paralel bağlanması

FV sistemde paralel bağlamada bir bağlanacak panelin artı ucu diğer panelin artı ucuyla birleştirilir. FV güç sisteminde kullanılan, panellerin oluşturduğu yapıya dizin denir.

2.3. FV Panellerin Seri – Paralel Bağlanması

Bir FV sisteminde hem seri hem de paralel bağlı paneller varsa bu bağlama türüne karmaşık bağlama da denir. Gerilim ve akım çıkışını artırmak için çok sayıda FV panel birbiriyle seri paralel bağlanan istenen güç seviyesine çıkarılır. Ancak FV panellerle oluşturulan FV dizini standart test koşulları sağlandığında nominal güç değerlerini verebilirler. Şekil 5'te seri - paralel bağlanmış FV panellere ilişkin prensip şeması verilmiştir.



Şekil 5. Güneş panellerinin seri-paralel bağlanması

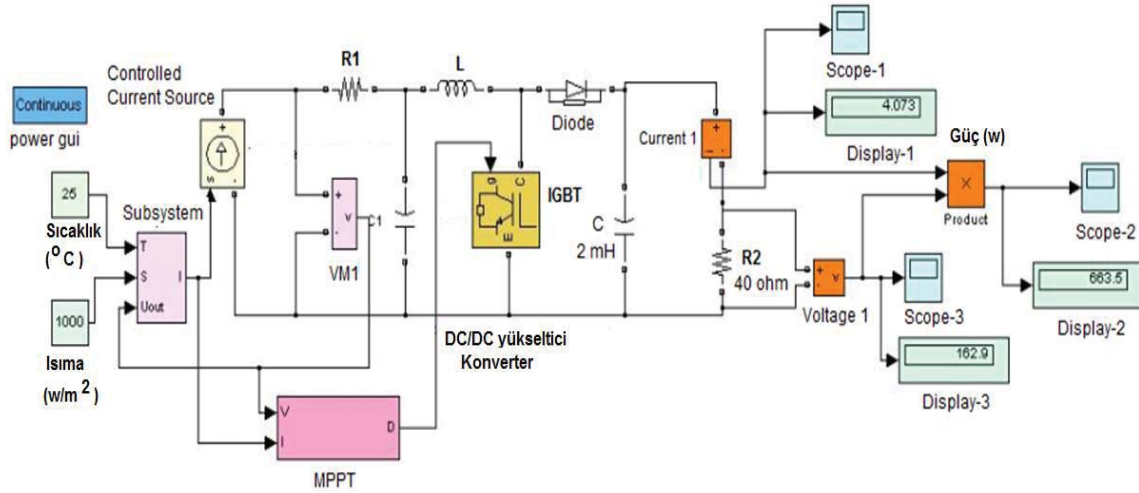
FV panellerin seri- paralel şeklinde bağlanması sonucunda yüksek değerlerde akım ve gerilimler elde edilir. FV panellerin camlarının kırılması, güneşten gelen ışınların sabah ve akşam saatlerinde eğik gelmemesi, FV panel sıcaklığının oldukça sıcak veya soğuk olması FV dizininin veriminin azalmasına neden olur.

3. FV PANELLERİN ÇIKIŞ GÜCÜNÜN ANALİTİK İFADESİNİN BULUNMASI

FV panellere güneşten gelen ışının belirli bir miktarı paneller tarafından absorbe edilir. Absorbe edilen bu miktar elektrik enerjisine dönüştürülür, diğer kısmı FV hücre tarafından ortama ısı olarak verilir. FV Panel yüzeye iletilen ışının absorbe edilen miktarının artırılması için mono kristal malzemenin yapılmış FVpaneller kullanılmalıdır. Mono kristalden yapılmış paneller polikristalden yapılmış panellere nazaran daha verimli çalışırlar.

FV panelden yansımayı azaltmak için panel yüzeylerinin kapladığı malzemenin gelen ışınımı az miktarda yansıtması gerekir. FV panellerin verimliliğini etkileyen başka bir faktör panel yüzeyinin kirlenmesidir. Kirlenme güneşten gelen ışınımın emilimini etkiler. Panel yüzeyindeki kirlilik yağışlar ile çevresel faktörlerden kaynaklanır. FV panellerin konumlandırılma şekli verimliliği oldukça etkiler. FV paneller maksimum verimi güney cephesine yönlendirildiklerinde vermektedirler. FV panellerin sıcak havalarda aşırı ısınması sonucunda gerilim düşümleri ve kayıplar oluşur. Mono kristal malzemenin yapılmış FV paneller sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde polikristalden yapılan güneş panellerine göre daha fazla enerji üretirler. Küçük alanlarda daha fazla enerji üretirler (Xiao, Edwin, Spagnuolo & Gatsvevich, 2013; Hirose, Osaki, Kuroki & Numa, 2010; İzgi, İnan & Ay, 2008; Nou, Chauvin, Thil & Grieu, 2013; Rustemli & Dincer, 2011; Uno & Kukita, 2017)

Matlab/Simulink yazılım programı ile FV sistemin eşdeğeri oluşturulmuştur. Ayrıca değişik sıcaklık ve güneş ışınımı değerleri için PV sistemin çıkış gücü ölçülmüştür. SPSS istatistik paket programı kullanılarak çıkış gücünün sıcaklık ve güneşten gelen ışınmaya bağlı analitik ifadesi bulunmuştur. Şebekeden bağımsız bir FV güç sistemin prensip şeması Şekil 6'da verilmiştir.

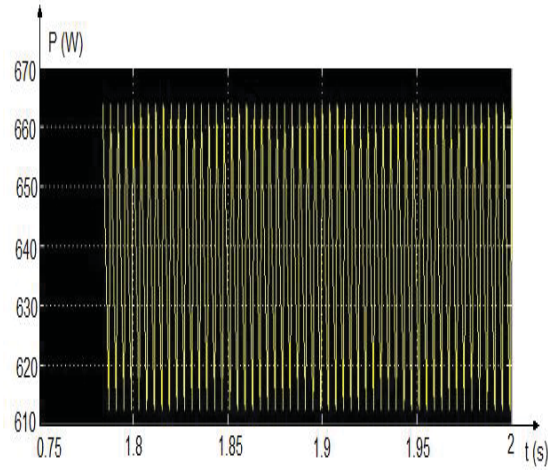


Şekil 6. Şebekeden bağımsız FV sistemin simulink eşdeğeri.

Şekil 6'daki Matlab/simulink devresinde değişik sıcaklık ve ışınma değerlerinde çıkış güçleri ölçülmüştür. Görsel bir yapıya sahip olan Matlab/simulink FV sistemlerin analiz ve sentezi kolaylıklar sağlanabilir. Simulink programında değişik sıcaklık ve ışınma değerlerinde çıkış gerilim ve güç değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Ortamın sıcaklığı yükseldiğinde hücre sıcaklığı da buna paralel yükselir. Bunun sonucunda FV dizinde kayıplar ortaya çıkar. Bu kayıpları en aza indirmek için FV panellerin soğutulur. Tesisin kurulacağı bölgede FV panelleri konumlandırmadan önce bölgedeki yıllık sıcaklık değerleri ile güneşlenme süreleri araştırılıp ve buna göre konumlandırma yapılmalıdır. FV panellerin çıkış gücü ile panel sıcaklığı ters orantılıdır. Panel sıcaklığı arttıkça FV panel gücü azalır. Sıcaklık sonucu oluşan kayıplar FV hücre sıcaklığı ile orantılıdır. Ortamın sıcaklığı yükseldiğinde FV hücre sıcaklığında artar (Schuss, Leppanen, Saarela, Fabritius, Eichberger & Rahkonen, 2016; Ramlim, Prasetyono, Wicaksana, Windarko, Sedraoui & Al-Turki, 2016) Sıcaklığın artması çıkış gücünün azalmasına sebep olur. Şebekeden bağımsız FV sistemleri aşağıdaki yerlerde kullanılmaktadır:

- Elektrik şebekesinin erişemediği yerlerdeki yerleşim birimlerinin enerji ihtiyacını karşılamada,
- Uzak yerlerde bulunan GSM vericilerinin güç ihtiyacını temin etmede,
- Tarla sulama işlemlerinde şebekeden bağımsız (off-grid) FV sistemler kullanılmaktadır,
- Hesap makinelerinde,
- Karayollarındaki trafik işaret lambalarında,
- Güneş enerjisi ile çalışan arabalarında,
- Dünya çevresinde bulunan yapay uydularda kullanılmaktadır.

Şekil 7'de FV panellerden üretilen gücün değişim grafiği verilmiştir.



Şekil7. FV panellerin çıkış gücü (25°C) sıcaklık ve 1000 (w/m²) Işıma değeri için)

FV panellerde atmosferik ve çevresel etkiler verimlilik üzerindeki negatif etkileri vardır. Bu etkinin oranı azaltma faktörü ile tanımlanır. Bu faktörde, yıl boyunca havanın bulutlu olduğu süre, FV panel yüzeyindeki toz miktarı, sıcaklık değerleri, hava kirleten nesnelere, yıl içi yağın kar miktarı, gölgeleme süresi ve benzeri parametreler etkindir. Bulunan parametrelerin değerleri verimlilik bulmada kullanılır. Tablo 1’de ortam sıcaklığı ve güneşten gelen ışımaya bağlı olarak FV sistemde çıkış gerilim, akım ve güç değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Sıcaklık ve Işımaya bağlı FV panelin akım, gerilim, doluluk oranı ve çıkış gücü

	Saat	Sıcaklık (° C)	Solar Işıma (w/m ²)	Foton Akımı (A)	Çıkış gerilimi (V)	Yük Akımı (A)	Doluluk Oranı (D)	Çıkış Gücü (W)
Hava	7:00	8.10	120	2.87	98.5	2.401	0.0941	230.7
	8:00	11.5	170	4.03	113.3	2.832	0.2380	320.9
	8:30	12.6	303	6.85	143.4	3.586	0.4129	514.3
	8:45	15.0	560	13.63	161.0	4.026	0.5918	648.2
	9:00	16.3	624	14.87	165.4	4.134	0.5973	683.6
	9:15	16.7	677	17.00	165.7	4.144	0.6710	686.8
	9:30	17.2	729	18.44	166.3	4.158	0.7517	691.7
	9:45	17.7	781	11.25	157.7	3.944	0.5664	622.2
	10:00	19.1	829	16.83	165.7	4.143	0.6238	686.7
	10:15	19.5	870	20.71	169.4	4.234	0.6792	717.1
	10:30	20.2	889	20.95	168.3	4.207	0.6791	708
	10:45	20.7	932	20.98	167.8	4.195	0.6783	703.9
	11:00	20.9	945	20.95	167.3	4.182	0.6781	699.7
	11:15	21.3	957	20.89	166.7	4.166	0.6779	694.4
	11:30	21.5	979	20.76	165.3	4.134	0.6774	683.5
	11:45	22.7	987	20.66	164.5	4.112	0.6774	676.5
	12:00	24.0	990	20.60	163.9	4.098	0.6772	671.9
	12:15	23.1	988	20.64	164.3	4.108	0.6773	675.0
	12:30	23.0	980	20.70	164.9	4.122	0.6775	679.7
	12:45	22.4	978	20.74	165.2	4.129	0.6776	682.1
	13:00	22.0	960	20.85	166.3	4.158	0.6777	691.7
	13:15	21.5	959	20.87	166.5	4.163	0.6778	693.1
	13:30	21.0	940	20.96	167.5	4.187	0.6783	701.1
	13:45	20.0	910	21.01	168.4	4.209	0.6788	708.7
14:00	19.1	865	17.37	168.9	4.223	0.6418	713.5	
14:15	19.0	855	21.05	169.2	4.231	0.6954	716.1	
14:30	18.3	845	19.55	167.6	4.191	0.6567	702.5	
14:45	18.0	825	16.07	164.9	4.123	0.6170	679.9	
15:00	17.3	785	11.34	157.9	3.948	0.5680	623.6	
15:15	15.2	720	17.91	164.5	4.114	0.6600	675.9	
15:30	14.7	695	12.29	160.6	4.014	0.5565	644.6	
15:45	13.2	648	15.95	165.7	4.143	0.6265	686.5	
16:00	11.7	565	13.52	164.8	4.121	0.5791	679.3	
16:15	11.1	429	10.74	162.1	4.053	0.5906	657.0	
16:30	10.5	299	7.18	121.5	3.611	0.4399	521.5	
16:45	10.0	153	3.44	106.2	2.655	0.1555	282.1	
17:00	8.70	99	2.38	88.81	2.22	0.0257	197.2	

sıcaklığının yüksek olduğu bölgelerde çok enerji üretilir düşüncesi doğru değildir. FV panellerin gölgede kalması verimliliğini etkilediğinden gölgeye neden olan dağlar, ağaçlar, yüksek binaların bulunduğu ortamlardan mümkün mertebe kaçınılmalı, FV tesisleri buralara kurmamalıyız. Bu kayıplara ek olarak, solar kablolarda oluşan kayıplar, DC/DC konverter ile DC/AC inverterde oluşan kayıplar da verim hesaplamalarında dikkate alınmalıdır. Güneşten gelen ışıma değerleri (w/m^2) aşağıda verildiği gibidir.

$G=[120\ 170\ 303\ 560\ 624\ 677\ 729\ 781\ 829\ 870\ 889\ 932\ 945\ 957\ 979\ 987\ 990\ 988\ 980\ 978\ 960\ 959\ 940\ 910\ 865\ 855\ 845\ 825\ 785\ 720\ 695\ 648\ 565\ 429\ 299\ 153\ 99];$

Ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$) olarak,

$T=[8.10\ 11.5\ 12.6\ 15\ 16.3\ 16.7\ 17.2\ 17.7\ 19.1\ 19.5\ 20.2\ 20.7\ 20.9\ 21.3\ 21.5\ 22.7\ 24\ 23.1\ 23\ 22.4\ 22\ 21.5\ 21\ 20\ 19.1\ 19\ 18.3\ 18\ 17.3\ 15.2\ 14.7\ 13.2\ 11.7\ 11.1\ 10.5\ 10\ 8.7];$

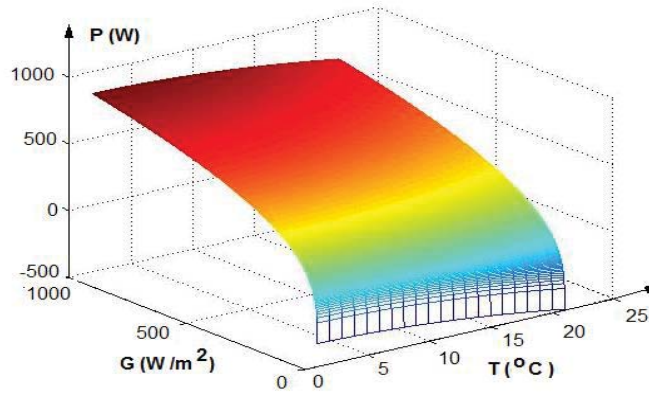
Şeklindedir. FV sistemin çıkış güç değerleri (W),

$P=[230.7\ 320.9\ 514.3\ 648.2\ 683.6\ 686.8\ 691.7\ 622.2\ 686.7\ 717.1\ 708\ 703.9\ 699.7\ 694.4\ 683.5\ 676.5\ 671.9\ 675\ 679.7\ 682.1\ 691.7\ 693.1\ 701.1\ 708.7\ 713.5\ 716.1\ 702.5\ 679.9\ 623.6\ 675.9\ 644.6\ 686.5\ 679.3\ 657\ 521.5\ 282.1\ 197.2];$

olarak ölçülür. Artan güneş ışınımı ile panelden elde edilen güç artar, buna karşılık sıcaklığın artması ise çıkış gücünü olumsuz etkiler. Tablo 1 deki değerler SPSS istatistik programı yardımı ile FV dizinin çıkış gücünün sıcaklık ve ışımaya bağlı çıkış ifadesi bulunur.

$$P = -0.771 * T^{1.789} + 154,431 * G^{0,301} - 329,064 \quad (16)$$

(16) denkleminde istatistiksel anlamlılık veya hata miktarı %5 ten küçüktür. Bu denkleminde V, FV dizinin çıkış gerilimini, G, panel yüzeyine güneşten gelen ışımayı ve T panellerin bulunduğu yerdeki ortam sıcaklığını göstermektedir. FV sistemde çıkış gücünün ışıma ve sıcaklığa bağlı grafiği Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8.FV panellerde çıkış gücünün ışıma ve sıcaklığa bağlı değişimi

FV güç sistemlerinde üretilen enerji miktarını etkileyen faktörler:

- FV panelin yüzeyine güneşten gelen ışınımının yoğunluğu,
- FV sistemin tesis edildiği bölgedeki yıl içi güneşlenme süresi,
- Güneşten gelen ışınların FV paneline geliş açıları,
- FV panelin yüzey sıcaklığı, gene bu bağlamda FV panellerin yapıldığı malzemenin türüne bağlıdır. Mono kristal malzemeden yapılmış paneller yüksek sıcaklıkta verimleri polikristalden yapılmış panellere göre daha azdır. Bu yüzden polikristal panellerin soğutulmaları gerekmektedir. Bu malzemeden yapılan FV panellerin sıcak iklimli bölgelerde kullanılmalarından sakınılmalıdır.

Tablo 1'den hareketle foton akımının sıcaklık ve ışımaya bağlı ifadesi,

$$I_f = 0.037 * T^{1.745} + 41.769 * G^{0.084} - 61.657 \quad (17)$$

olarak bulunur. Benzer şekilde doluluk oranı faktörünün sıcaklık ve ışımaya bağlı ifadesi,

$$D = 0.004 * T^{-0.265} + 20.001 * G^{0.012} - 21.080 \quad (18)$$

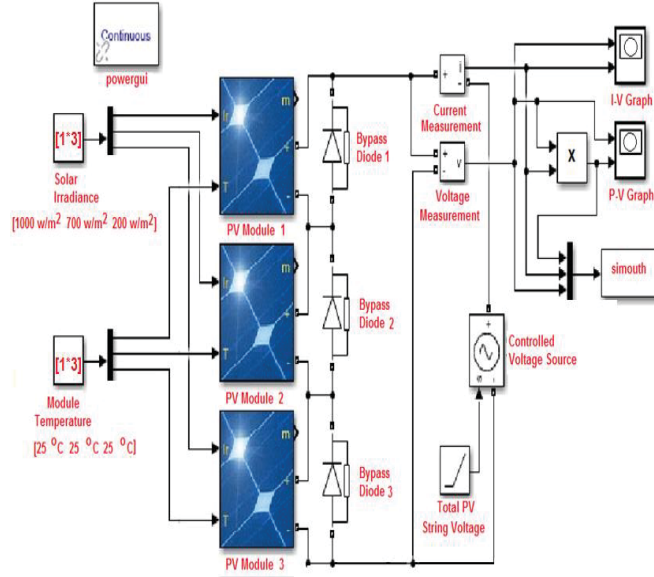
şeklinde bulunur. DC/DC yükseltici dönüştürücünün çıkış geriliminin sıcaklık ve ışımaya bağlı analitik ifadesi,

$$V = 150.000 * T^{-20} + 2265.075 * G^{0.665} + 191.05 \quad (19)$$

şeklinde hesaplanır.

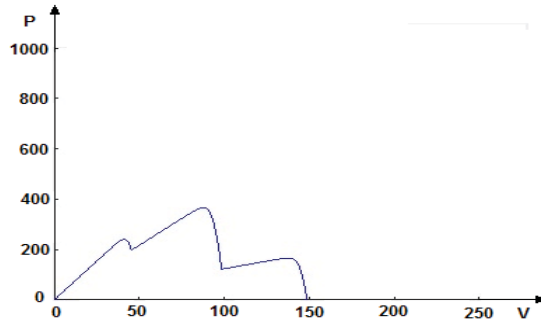
3.1. Gölgelemenin FV Paneller Üzerindeki Etkileri

FV panellerin yüzeylerinin az da olsa tozlanması gölgelemesi çıkış güç miktarını oldukça azaltır. Bu yüzden, panel yüzeyine düşebilen kuş pislikleri ve yaprak gibi nesnelerin temizlenmesi gerekir. Bu nesneler sadece güneş enerjisini üreten üniteleri gölgelemekle kalmaz, diğer ünitelere zarar verir. FV panellerin üzerinde oluşacak gölgelemelerin önlenmesi için bölgenin iklimsel verileri ve coğrafi özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir. Şekil 9'da kısmi gölgeli FV panellere ait simulink eşdeğer verilmiştir.



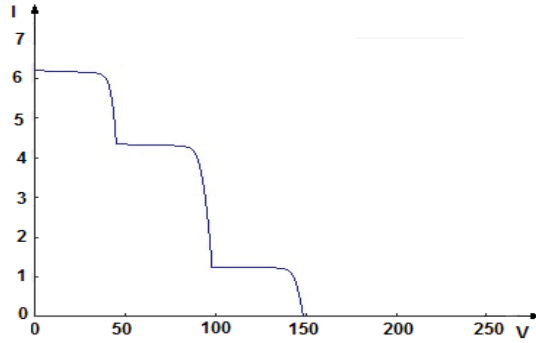
Şekil 9. Kısmi gölgeli seri bağlı FV paneller

By-pass diyotları normal iletim durumunda açık devre gibi davranır. Panel üzerinde gölge oluşması durumunda aktif duruma dönüşür. By-pass diyotları akımının gölgeli veya bozulmuş panelin etrafından dolaşarak akmasını devresini tamamlamasını sağlar. By-pass diyotları FV sistemin performansını arttırmaktadır. Şekil 10'da gölgeleme durumunda FV panellere ait P-V eğrisi verilmiştir.



Şekil 10. Gölgeleme durumunda gücün gerilime bağlı değişimi

FV panellerde kısmi gölgeleme durumunda P-V eğrisi önemli ölçüde değişir. Örneğin Şekil-10'da görüldüğü gibi ışınım değerlerinin (1000 W/m^2 , 700 W/m^2 ve 200 W/m^2) için üç adet maksimum güç noktası oluşur. Geleneksel maksimum güç takip izleyiciler en yüksek gerilimdeki tepeyi izleyeceğinden ve aynı gerilimde çalışmaya devam edeceğinden FV panellerin gücü önemli oranda düşer. Şekil 11'de gölgeleme durumunda FV panellere ait I-V değişimi verilmiştir.



Şekil 11. Gölge durumunda FV panellerde akımın gerilime bağlı değişimi

FV panellerde parçalı gölgelenme durumunda sistemin toplam çıkış gerilimi, gölge hücreden dolayı azalacaktır. n tane hücreden oluşan panelde bütün hücreler güneşe maruz kaldığında sistemin çıkış gerilimi V ise, 1 tane hücrede gölge olduğunda geri kalan hücrelerin üreteceği gerilim $V(n-1)$ olacaktır. Panelin çıkış gerilimi V_g aşağıdaki formül ile bulunur.

$$V_g = V_{n-1} - (R_{sh} + R_s) * I \quad (20)$$

Burada, R_s FV hücrenin iç direncini, R_{sh} paralel kaçak akım direncini göstermektedir. FV panellerin gölgede durması durumunda panelin güç üretimini etkilemektedir. FV panellerde gölgelenme dağlar, ağaçlar ve yüksek binalardan tarafından oluşturulmaktadır. FV hücre üzerinde küçük bir gölgelenme güç üretimini oldukça düşürür ve diğer paneldeki hücrelerin performansını da etkiler.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

FV panel yüzeylerine güneşten ışınım enerjisinin az bir kısmı emilir ve FV hücrelerce elektrik enerjisine dönüştürülür. Işınımın diğer kısmı FV hücreler tarafından geri yansıtılır. Yansıyan bu kısmı en aza düşürmek için panel yüzeyini kaplayan malzemenin cinsi önemlidir. Güneşten gelen ışınımın emilimini artırmak için değişik FV hücreler kullanılır. Sıcaklığın çok arttığı ortamlarda mono-kristalden yapılan FV hücreler Poli-kristalden yapılanlara göre verimleri daha yüksektir.

Bu çalışmada FV sisteme ilişkin eşdeğer simulink devresi Matlab/Simulink yardımı ile gerçekleştirildi. FV sisteme ilişkin çıkış gücü, foton akımı, doluluk oranı ve gerilim ifadesinin analitik formülü SPSS istatistik programı kullanılarak elde edildi. Bu analitik ifadeler sayesinde FV güç sisteminin analizi kolaylıkla yapılabilir.

Genellikle solar hücreler gün boyu homojen olmayan güneş ışınımına maruz kalırlar. Solar panelde küçük bir gölgelenme etkisine maruz kalsa bile FV panelin çıkış gücü oldukça azalır. FV panellerde gölgelenme durumunda (P-V) eğrisinde gösterildiği gibi birçok maksimum güç noktası oluşur. Bu güç noktalarından sadece 1 tanesi genel diğerleri yerel noktalar. Maksimum güç noktası için yapılacak yazılım programında panelde gölgelenme durumunda oluşan yerel maksimum güç noktalarına takılmadan genel olan maksimum güç noktasına ulaşması sağlanmalıdır.

Güneşten gelen ışınım şiddeti ile panellerin eğim açıları FV sistemin çıkış gücünü doğrudan etkilemektedir. Güneşten gelen ışınım şiddetinin düşmesi veya eğik gelmesi FV panelin çıkış gücünde düşürmektedir. Sanılanın aksine FV sistemin verimi sıcaklık arttıkça artmamaktadır. FV güneş hücrelerinin ısınması sonucu akım değeri artarken, gerilim değeri düşer. Gerilimde ki düşüş akıma nazaran fazla olduğundan çıkış gücünde de düşüş gerçekleşir çünkü güç değeri akım ile gerilimin çarpımıdır. Sonuç olarak ortam sıcaklığının yüksek değerlerinde FV sistemde üretilen enerji miktarı düşmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, MAÜ. BAP.18.MYO.001 numaralı Mardin Artuklu Üniversitesi- Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir. Yazarlar destek için teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Atlas, I.H., Mengi, O. Ö. (2008). AA ve DA Yüklerini Besleyen FV/Akü Grubunun Matlab/Simulink Ortamında Modellenmesi ve Simulasyonu. Elektrik- Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO). 135-139.

Bayrak, G.,Cebeci, M.(2012). 3,6 kW Gücündeki Fotovoltaik Generatörün Matlab/Simulink İle Modellenmesi”, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü dergisi, 28(3), 198-204.

Badawy, M.O.,Yilmaz, A.S., Sozer, Y., and Huseini. (2014). Parallel Power Processing Topology for Solar PV Applications, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 50, No.2, pp. 1245-1255.

- Cam, E., Gorel, G., Mamur, H. (2017). Use of the Genetic Algorithm-Based Fuzzy Logic Controller for Load-Frequency Control in a Two Area Interconnected Power System, *Appl. Sci.*, 7(3), 308; doi:10.3390/app7030308.
- Cangi H., Adak S., (2015). Analysis of solar inverter THD according to PWM's carrier frequency, 4 th International Conference on Renewable Energy Research and Applications, Palermo, Italy, 22-25 Nov.
- Chatterjee, A., Keyhani, A., and Kapoor, D. (2011). Identification of photovoltaic source models", *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 26, no. 3, pp. 883–889, Sep.
- Cotfas, D., T., Cotfas, P. A., and Kaplanis, S. (2013). Methods to determine the dc parameters of solar cells: A critical review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 28, pp. 588–596.
- El Khateb, A., Abd Rahim H. N., Selvara J., and Williams, B. W. (2015). DC-to-DC Converter with Low Input Current Ripple for Maximum Photovoltaic Power Extraction, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, APRIL.
- Fangrui, L., Shanxu, D., Fei L., Bangyin L., and Yong K. (2008). A Variable Step Size INC MPPT Method for PV Systems *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(7).
- Hirose, T., Osaki, Y., Kuroki, N., and Numa, M. (2010). A nano-ampere current reference circuit and its temperature dependence control by using temperature characteristics of carrier mobilities, in *Proc. Eur. Solid State Circuits Conf*, Sep., pp. 114-117.
- İzgi, E., İnan A., Ay S. (2008). The Analysis and simulation of voltage distribution over string insulators using Matlab/Simulink, *Electric power components and systems*, vol.36, pp.109-123.
- LoBranco, V., Orioli A., Ciulla G., and DiGangi, A., (2010). An improved five parameter model for photovoltaic modules", *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 94, no. 8, pp. 1358–1370.
- Nema, S., Nema R.K., Agnihotri, G. (2010). MATLAB/Simulink based study of photovoltaic cells/modules/array and their experimental verification, *International journal of Energy and Environment* , vol.1, No.3, pp.487-500.
- Nou, J., Chauvin R., Thil S., and Grieu S. (2013). A new approach to of the clear-sky direct normal irradiance, *Appl. Math. Modelling*, vol. 40, no. 1516, pp. 7245–7264.
- Özdemir, A. Erdem, Z., (2017). Double-loop PI controller design of the DC-DC boost converter with a proposed approach for calculation of the controller parameters - *Journal of Systems and Control Engineering* - Vol. - pp. - ISSN : - DOI : DOI: 10.1177/0959651817740006.
- Perez, M.D., and Gorji N.E., (2016). Modeling of temperature profile, thermal run a way and hot spot in thin film solar cells, *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 41, pp. 529–534.
- Rustemli, S., Dincer F. (2011). Modeling of Photovoltaic Panel and Examining Effects of Temperature in Matlab/Simulink, *Electronics and Electrical Engineering*, ISSN 1392-1215, no. 3(109), pp. 35-40.
- Ramlim, A., Prasetyono, E. Wicaksana, R. W. Windarko, Sedraoui, N. A. K., and Al-Turki Y. A. (2016). On the investigation of photovoltaic output power reduction due to dust accumulation and weather conditions, *Renew. Energy*, vol. 99, pp. 836–844.
- Schuss, C., Leppanen K., Saarela J., Fabritius T., Eichberger B., and Rahkonen T. (2016). Detecting Defects in Photovoltaic Cells and Panels and Evaluating the Impact on Output Performances, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 65, issue: 5, pp. 1-12.
- Sekkeli, M., Acikgoz, H. Gani A., Kececioglu, O.F. (2015). Simulation Study and Speed Control of Permanent Magnet Synchronous Motor By Using Self Tuning Fuzzy PID Controller, *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, vol. 18, no. 1, pp. 17–22, Aug.
- Şahin, M. E., Okumuş, H. İ. (2013). Güneş Pili Modülünün Matlab/Simulink ile Modellenmesi ve Simülasyonu *Cilt 3, Sayı 5, EMO Bilimsel Dergi*, Cilt 3, Sayı 5, Syf 17-25, Haziran.
- Uno, M., Kukita, A. (2017). Current sensorless equalization strategy for a single-switch voltage equalizer using multi stacked buck-boost converters for photovoltaic modules under partial shading, *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 53, no. 1, pp. 420–429, Jan./Feb.
- Xiao, W., Edwin, F. F., Spagnuolo, G. Jatsvevich, J. (2013). Efficient approach for modelling and simulating photovoltaic power system, *IEEE Journal of photovoltaics*, vol. 3, no. 1, pp. 500-508, Jan.

Yazdani A.,Dash P.P. (2009). A Control Methodology and Characterization of Dynamics for a Photovoltaic (PV) System Interfaced With a Distribution Network, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 24, No. 3, July.



Formula SAE Aracında Ağırlık Azaltılmasına Yönelik Fren Pedalının Topoloji Optimizasyonu Yöntemiyle Optimum Tasarımı

Optimum Design Of Brake Pedal Using Topology Optimization Method Intended For Weight Reduction On The Formula SAE Car

Emre İsa Albak

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü 16059 Bursa, TURKEY

Başvuru/Received: 03/10/2018

Kabul/Accepted: 19/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Öz

Bu çalışmada Formula SAE (Society of Automotive Engineers) aracı için parça ağırlıklarının azaltılması amacıyla, karşılanabilir maliyetler dahilinde fren pedalı yapısal optimizasyonu yapılmıştır. Fren pedalları Formula SAE yarışması komitesinin belirlediği kurallara uygun olarak tasarlanmaktadır. Fren pedalı tasarımında ilk olarak hafifliği, mekanik özellikleri ve maliyet avantajı nedeniyle malzeme olarak alüminyum 7075-T6 seçilmiştir. Fren pedalında en iyi tasarımı ortaya koyabilmek için topoloji optimizasyonu yapılmıştır. Topoloji optimizasyonunda malzeme dağılımı metodu seçilmiştir. Topoloji optimizasyonu ilk adımı olarak ilk tasarım üzerinden tasarım hacmi oluşturulmuş ve tanımlamalar yapılmıştır. Topoloji optimizasyonu için tasarım değişkeni olarak boşalma istenilen bölgeler, kısıt olarak gerilme ve optimizasyon amacı olarak ise ağırlık belirlenmiştir. Yapılan topoloji optimizasyonu ve üretim kısıtları dahilinde yeni fren pedalı tasarımı oluşturulmuştur. Oluşturulan fren pedalı tasarımı ilk tasarıma göre % 11 daha hafiftir. Amacı araç ağırlığının azaltılması olan bu çalışmada, öncelikli hedef hafifletme olduğu için maliyet artış yüzdesi ihmal edilebilir olarak kabul edilmiştir. Mukavemet açısından istenilen değerler içinde kalmıştır, gerilme değerinde %6 oranında artış olsa da bu değer kısıt değerlerinin çok altında kalmaktadır. Aynı zamanda yer değiştirme değeri de %5 oranında azalmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Formula SAE, Araçta ağırlık azaltılması, Topoloji optimizasyonu, Alüminyum alaşım 7075-T6”

Abstract

In this study, structural optimization of a brake pedal is carried out to reduce the component weights for the Formula SAE (Society of Automotive Engineers) vehicle, with neglectable costs. Brake pedals are designed to comply with the rules set by the Formula SAE competition committee. In the brake pedal design, aluminium 7075-T6 material is chosen because of its lightweight, mechanical properties and cost advantage. Topology optimization has been done to provide the best design of the brake pedal. The material distribution method is chosen in topology optimization. As the first step of topology optimization, the design volume is created and optimization conditions are defined. For the topology optimization, the design area is the design variable, stress is constraint, and weight is the objective of optimization is defined. New brake pedal design has been created within topology optimization and production constraints. The new design is 11% lighter than the first design. For the purpose of reducing the vehicle weight, the cost increase rate is regarded as compensable because the weight reduction is the priority criterion. Although the stress value is increased by 6%, this value is much lower than the constraint value and strength is in the desired values. At the same time, the displacement value decreased by 5%.

Key Words

“Formula SAE, Weight reduction on the vehicle, Topology optimization, Aluminium alloy 7075-T6”

1.GİRİŞ

Araç tasarımında hafiflik; performans ve verimliliği artırmak için en önemli unsurlardan biridir. Tasarımcılar daha hafif araç parçaları tasarlayabilmek için düşük yoğunluklu ve yüksek dayanıma sahip malzeme seçimi yapmakta, parçanın üzerinde tasarımsal değişikliklere gitmekte ve optimizasyon çalışmalarına yönelmektedirler. Malzeme seçimi konusunda her geçen gün yeni teknolojiye sahip malzemeler ortaya çıkmasına rağmen maliyet, fonksiyonellik, kolay erişim, işlenebilirlik gibi bazı etmenler yeterli gelmemekte ya da regülasyonlar bu malzemelerin kullanımına izin vermemektedir. Bu nedenle tasarımcılar maliyetin tolere edilebileceği ve regülasyonların izin verdiği en uygun malzemeyi seçmeye çalışmaktadırlar. Tasarımsal değişiklikler parçayı iyileştirmek için tasarımcıların ilk tercih ettiği çalışmadır. Bunun dışında tasarım çalışmalarında son yıllarda topoloji optimizasyonu da yaygın olarak kullanılmaktadır.

Otomotiv sanayisinde birçok malzeme kullanılmasına rağmen en yaygın olarak kullanılanları çelik ve alüminyumdur. Alüminyum ağırlıkça hafif olup, alaşımları yapı çeliklerinden daha fazla mukavemete sahiptir (Sekmen et al. 2015). Alüminyum alaşımları hafifliğinin yanı sıra üstün mekanik özellikleri sayesinde birçok sanayinin gelişmesinde önemli rol oynamaktadır (Pul, 2017). Ayrıca alüminyum alaşımları maliyet, işlenebilirlik, korozyon direnci ve geri dönüşüm yönünden avantajları, hızla gelişmekte olan otomotiv endüstrisinde kullanımının sürekli olarak daha da artmasını sağlamıştır (Başer, 2013).

Topoloji optimizasyonu, parça hafifletme çalışmalarında tasarımcıların faydalandığı önemli tekniklerden birisidir. Topoloji optimizasyonunun amacı parça için en iyi malzeme kullanımının bulunmasıdır (Yıldız et al. 2004). Topoloji optimizasyonu ağırlığı azaltırken dayanımı ya da doğal frekansı maksimum olan parça için malzeme dağılımını ayarlamaktadır. Topoloji optimizasyonunun tasarımcılar tarafından tercih edilmesinin en önemli nedeni, optimum yapının henüz tasarım aşamasındayken ortaya koyulmasıdır.

Topoloji optimizasyonu, otomotiv sanayisinde çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. (Chiandussi et al. 2004), bir arka süspansiyon alt çerçevesinin yapısal performansını iyileştirmek için topoloji optimizasyonunu kullanmıştır. (Yıldız et al. 2004) motor takoz braketini üzerine yaptıkları topoloji optimizasyonu çalışmasında braket ağırlığını azaltırken doğal frekans değerini arttırmışlardır. (Cavazzuti et al.2011), çalışmalarında araç şasisi üzerinde topoloji optimizasyonu, topometri optimizasyonu ve boyut optimizasyonunu uygulanmıştır. (Lee 2013) çalışmalarında, enerji sönmemesini en üst düzeye çıkarmak için topoloji optimizasyonunu kullanarak araç çarpma kutusunun kesitini belirlemek için eşdeğer statik yükler yöntemini kullanmıştır. (Öztürk, Şendeniz 2014) otobüs yolcu koltuk ayağı üzerine yaptıkları çalışmada %20,5'lik bir ağırlık azaltması sağlarken gerekli dayanım şartlarını korumuşlardır. (Chao, 2015) topoloji optimizasyonunu tüm dayanım şartlarını sağlarken ağırlığı en aza indirmek için motor kızıağı tasarımı üzerine uygulamıştır.

Formula SAE yarışmaları 13 farklı ülkede ve 500 den fazla üniversite takımının katıldığı Dünya'nın en önemli mühendislik yarışmalarından biridir (Albak et. Al, 2018). Bu yarışmalarda öğrenciler tek kişilik bir yarış aracı tasarlayarak üretirler. Yarışma kapsamında öğrenciler statik ve dinamik etkinlikler olmak üzere 2 farklı kategoride değerlendirilirler. Statik etkinlikler, tasarım, fiyat analizi ve iş sunumundan; dinamik etkinlikler ise ivmelenme, dayanıklılık, skid pad ve autocross testlerinden oluşmaktadır.

Bu çalışmada araç ağırlığının azaltılması amacıyla, yarışma kurallarına uygun olarak alüminyum malzeme kullanılarak bir Formula SAE aracı fren pedalının tasarım süreci anlatılmıştır. Çalışmada kuralları sağlayan en hafif fren pedalı tasarımını oluşturmak için topoloji optimizasyonu uygulanmıştır.

2. TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU

Tasarımcılar, tasarım yaparken tecrübelerini ve daha önce yapılan benzer tasarımları baz almaktadırlar. Bu şekilde elde edilen tasarımlar çoğunlukla en verimli tasarım olmamakta ve tasarımın geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle tasarımcılar oluşturdukları temel tasarımın ardından optimizasyon çalışmalarına ihtiyaç duymaktadır.

Optimizasyon bir problemin belirlenen tasarım değişkenlerini değiştirerek tasarım kısıtları ve amaç fonksiyonu dahilinde eniyileme çalışmasıdır. Yapısal olarak en çok kullanılan optimizasyon tekniklerinden birisi topoloji optimizasyonudur. Gelişen bilgisayar teknolojisi ve işlemci güçleri topoloji optimizasyonunun gelişmesine ve daha fazla kullanılmasına katkıda bulunmuştur.

Topoloji optimizasyonu, tasarım hacmi içerisinde bulunan elemanların dağılımını belirlenen kısıtlar çerçevesinde düzenleyerek ağırlığı azaltırken dayanımı veya doğal frekansı arttırmaktadır. Topoloji optimizasyonunda homojenleştirme metodu ve yoğunluk metodu olmak üzere iki farklı metot elemanların dağılımını belirlemek için kullanılmaktadır (Yıldız, 2017). Yoğunluk metodu 1993 yılında Yang ve Chuang tarafından ortaya koyulmuştur (Yang, Chuang, 2013). Diğer metot olan homojenleştirme metodu ise Bendsoe ve Kikuchi tarafından 1998 yılında ortaya koyulmuştur (Bendsoe, Kikuchi, 2018). Bu çalışmada kullanılan sonlu elemanlar çözücüsü olan Optistruct, optimizasyon problemlerini malzeme dağılımı olarak bilinen yoğunluk metodunu kullanarak çözmektedir.

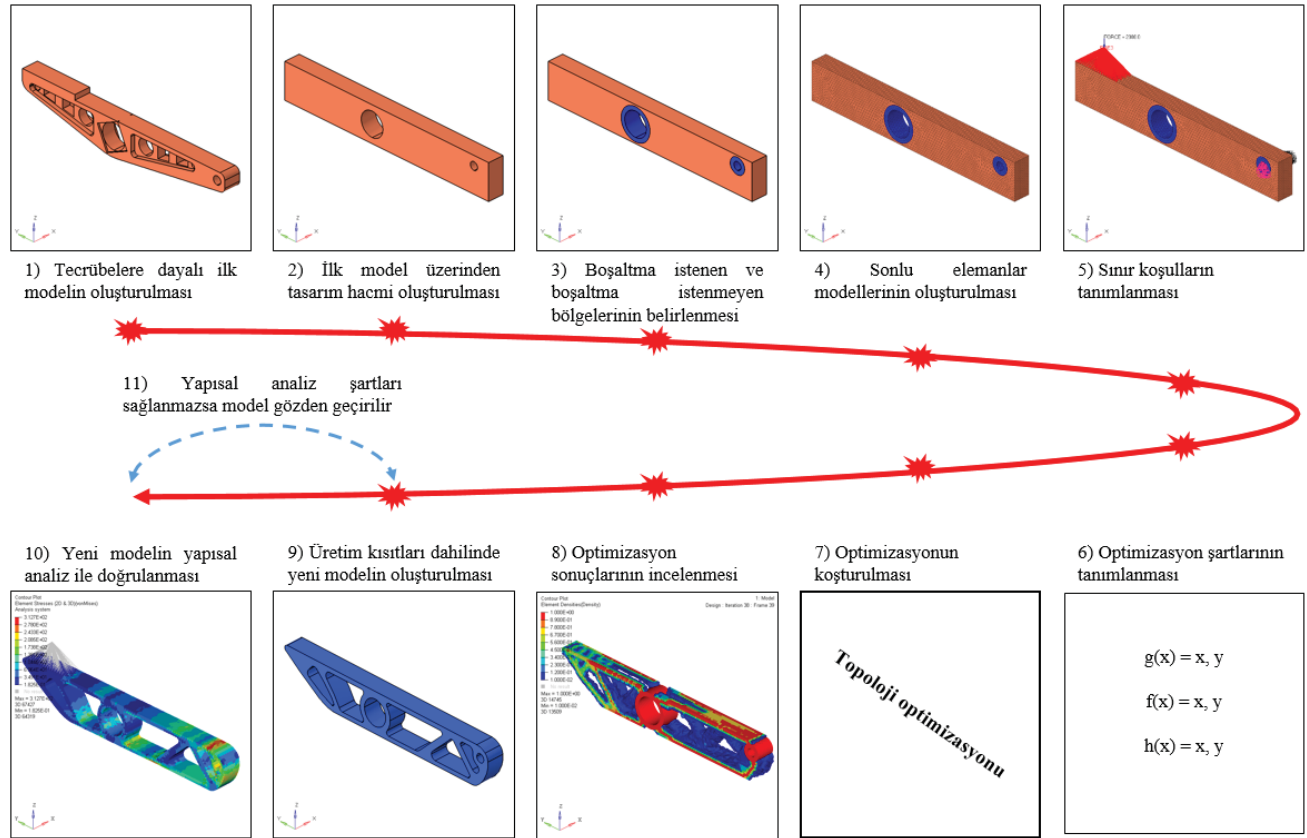
Malzeme dağılım yönteminde, bir geçici malzeme yoğunluğu tasarım değişkenidir ve bu nedenle genellikle yoğunluk yöntemi olarak da adlandırılır. Malzeme yoğunluğu 0 ile 1 arasında değişmekte olup, 0, boşaltılacak durum ve 1 boşaltma olmayacak

durumu temsil etmektedir. Yöntem rijitlik-yoğunluk arasındaki yoğunluğun 0-1 arasındaki değişimi tanımlamak için aşağıdaki ifadeyi kullanmaktadır (Optistruct, 2017):

$$\tilde{K}(\rho) = \rho^p K \quad (1)$$

Burada \tilde{K} elemanın cezalandırılmış rijitlik matrisi, 'K' elemanın gerçek rijitlik matrisi, 'p' yoğunluk ve 'p' ise penaltı katsayısıdır (her zaman $K > 1$).

Topoloji optimizasyonu ilk tasarımın oluşturulmasından optimum tasarıma kadar bir dizi işlemden oluşmaktadır. Tasarımcılar ilk olarak kendi bilgi birikimi ve tecrübeleri dahilinde parçanın çalışma koşullarını, bağlantı noktalarını ve dayanım şartlarını göz önünde bulundurarak ilk tasarımı oluştururlar. Topoloji optimizasyonunda ilk adım tasarımcıların kendi tecrübeleriyle oluşturdukları tasarım üzerinden tasarım hacminin oluşturulmasıdır. Tasarım hacmi üzerinde topoloji optimizasyonunun uygulanacağı boşaltma istenen ve topoloji optimizasyonunun uygulanmayacağı boşaltma istenmeyen bölgeler belirlenir. Boşaltma istenen ve boşaltma istenmeyen bölgelere ayrılmış olan tasarımın sonlu elemanlar modeli oluşturulur. Sonlu elemanlar modeline parçanın çalışma koşullarındaki sınır şartları uygulanır. Tasarımdan beklenen dayanım şartları ve amaç, topoloji optimizasyonu için amaç fonksiyonu ve tasarım kısıtları olarak belirlenir ve topoloji optimizasyonu çalıştırılır. Optimizasyon sonucunda, optimizasyon kısıtları ve amaç fonksiyonuna bağlı olarak eleman yoğunlukları görüntülenir. Optimum şekil, üretim kısıtları gözetilerek eleman yoğunlukları üzerinden yeniden tasarlanır. Oluşturulan tasarım üzerine tasarım için belirlenen şartlar tekrar uygulanarak optimum şeklin şartları sağlayıp sağlamadığı incelenir. Eğer şartlar sağlanıyorsa nihai tasarım elde edilmiştir aksi takdirde tasarım gözden geçirilerek yeniden oluşturulur. Yukarıda anlatılan fren pedalı optimizasyon süreci Şekil 1'de özetlenmiştir.



Şekil 1. Topoloji optimizasyonu süreci

3. FREN PEDALI MALZEME SEÇİMİ

Formula SAE aracı fren pedalı, çelik, alüminyum, işlenmiş çelik ya da titanyum malzeme ile yapılmalıdır (SAE, 2017). Kurallar nedeniyle fren pedalı malzeme seçimi için alüminyum ve çelik malzemeler üzerinde durulmuştur. Fren pedalı için kullanılacak malzemeden beklenen özellikler hafiflik, yüksek mukavemet ve işlenebilirliktir. Bu özellikler göz önüne alındığında alüminyum alaşımlar hafifliği nedeniyle çelik malzemelerden daha avantajlı olmaktadır.

Alüminyumlar ısıtılarak işlenebilir ve uygulanamayan olmak üzere iki gruba ayrılırlar, ısıtılarak işlenenler 2XXX, 6XXX ve 7XXX serisi alüminyum alaşımlarıdır (Başer, 2013). 7XXX serisi alüminyum alaşımları, ısıtılarak işlenenler arasında en

yüksek mukavemet sahip olanlardır. Bu özellikleri nedeniyle Formula SAE aracı fren pedalı tasarımında 7XXX serisi alüminyum alaşımı kullanılmıştır.

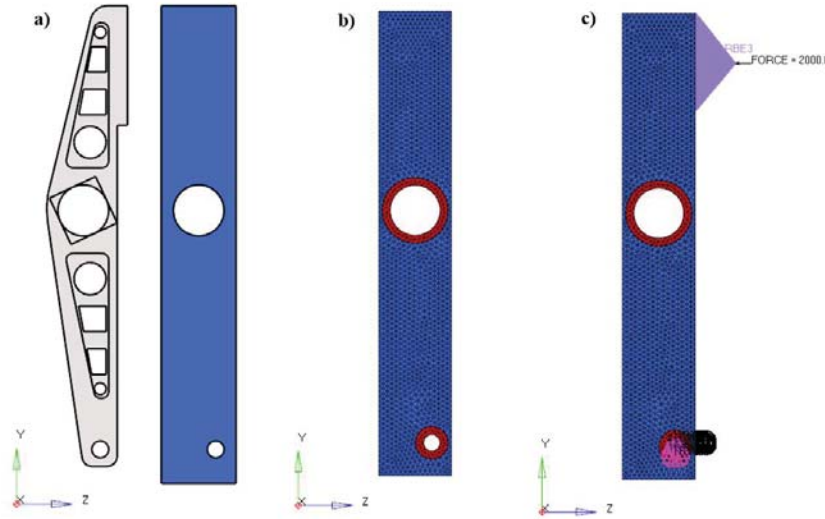
Bu çalışmada 7075 serisi, çözeltiyi alınmış ve suni yaşlandırma yapılmış olan T6 tipi ısıl işlem uygulanmış 7075-T6 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. T6 ısıl işlemi alüminyum alaşımlarda sertliği arttırmak için uygulanır.

4. FREN PEDALI TOPOLOJİ TASARIM OPTİMİZASYONU

Formula SAE aracında kullanılacak fren pedalı mümkün olduğunca hafif olmalı ve kurallarda belirtilen dayanım şartlarını sağlamalıdır. Fren pedalı, fren sistemi veya pedal kutusu arızası olmaksızın 2000 N'luk bir kuvvete dayanacak şekilde tasarlanmalıdır (SAE, 2017). Bu kural çerçevesinde çalışmada gerekli dayanım şartlarını sağlayan en hafif fren pedalının tasarımı için topoloji optimizasyonu çalışılmıştır. Topoloji optimizasyonunda sonlu elemanlar modellemeleri için HyperMesh, topoloji optimizasyonunda Optistruct ve sonuçları incelemek için ise HyperView programları kullanılmıştır (S-t, 2018).

Topoloji optimizasyonunda ilk olarak tasarımcılar tarafından tasarlanan ilk tasarım üzerinden tasarım hacmi oluşturulmuştur [Şekil 2a]. Tasarım hacminde boşaltma istenen bölgeler (mavi) ve boşaltma istenmeyen bölgeler (kırmızı) belirlenmiştir [Şekil 2b]. Ortalama eleman boyu 3 mm olan üç boyutlu, 4 düğüm noktalı tetra eleman tipi ile modellenen fren pedalı 38789 adet eleman 8963 adet düğüm noktasından oluşmaktadır. Fren pedalı malzemesi için 'MAT1' isimli malzeme kartı tanımlanmıştır. MAT1 malzeme kartı izotropik malzemeler için kullanılmaktadır (Optistruct, 2017). 'MAT1' malzeme kartına girilmesi gereken Poisson oranı, Elastisite modülü ve yoğunluk değerlerinin yanı sıra topoloji optimizasyonunda kısıt olarak kullanılacak akma gerilmesi değeri Tablo 1'de verilmiştir.

Kurallarda belirtilen 2000 N'luk kuvvet pedala '-Z' yönünde RBE3 tipi elemanın bağımsız düğüm noktasından uygulanmıştır. RBE3 tipi elemanlar bağımsız düğüm noktasına uygulanan kuvveti kollarının uzunluğuna bağlı olarak bağımlı düğüm noktalarına oranlayarak aktarmaktadır. Fren pedalı alt delikten araç tabanına bağlandığı için delik çevresindeki ve delik boyunca bütün düğüm noktalarını sabitlemiştir.



Şekil 2. Topoloji optimizasyonu sınır şartları belirleme, a) İlk tasarım (gri parça) ve tasarım hacmi, b) Boşaltma istenen ve boşaltma istenmeyen bölgeler, c) Fren pedalı yapısal analizi sınır şartları

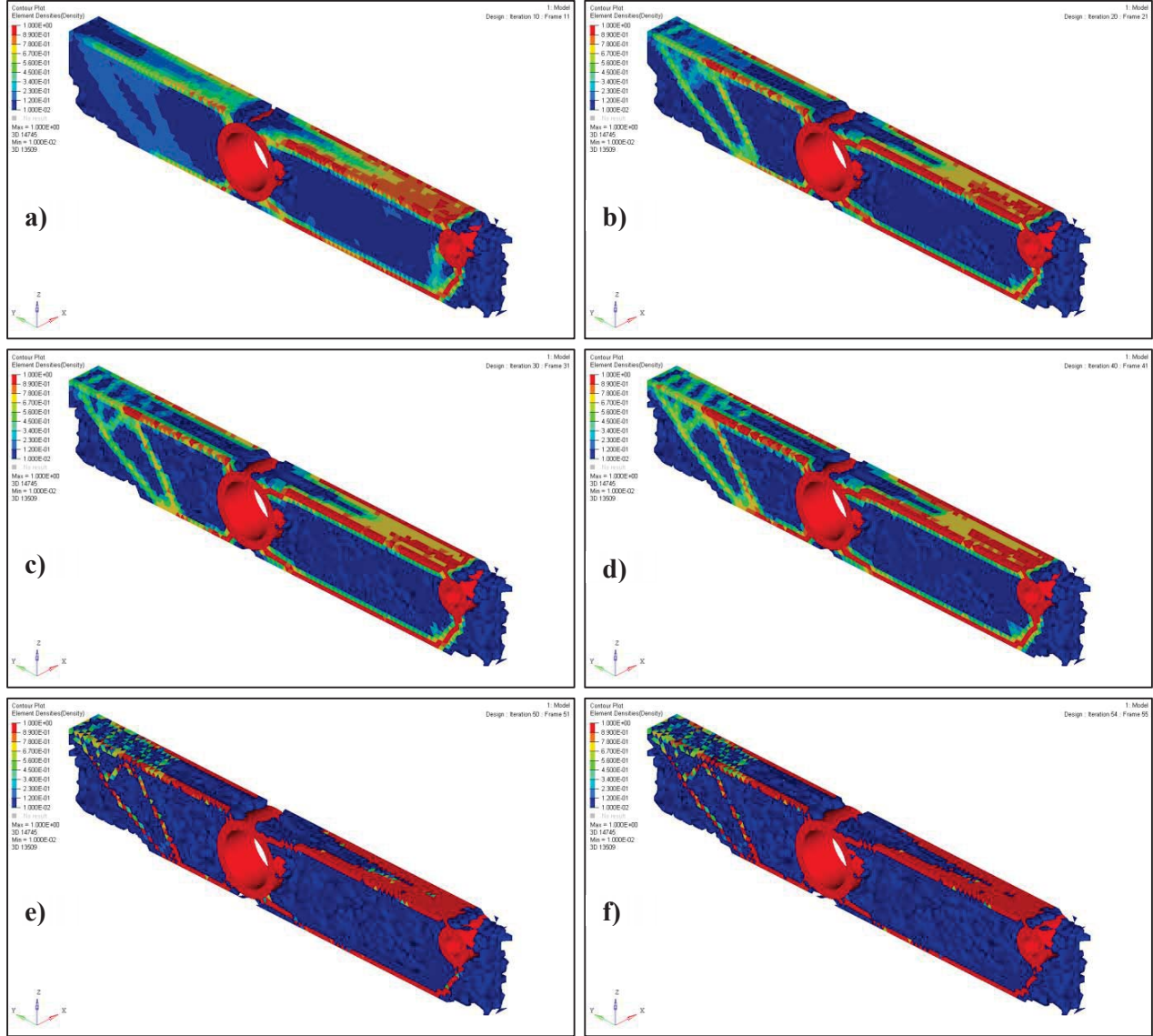
Topoloji optimizasyonunun doğru bir sonuç verebilmesi için tasarım değişkeninin, kısıtların ve optimizasyonun amacının doğru olarak tanımlanması gerekir. Fren pedalı topoloji optimizasyonu çalışmasında tasarım değişkeni olarak boşaltma istenen bölgeler, kısıt olarak 7075-T6 serisi alüminyum alaşımın akma gerilmesinde emniyetli olarak daha az olacak şekilde belirlenen 400,00 MPa gerilme değeri ve optimizasyon amacı olarak ise ağırlık azaltma olarak belirlenmiştir.

Tablo 1. 7075-T6 serisi alüminyum alaşım mekanik özellikleri

Elastisite Modülü (GPa)	Poisson oranı	Yoğunluk (g/cm ³)	Akma gerilmesi (MPa)
70.00	0.33	2.80	460.00

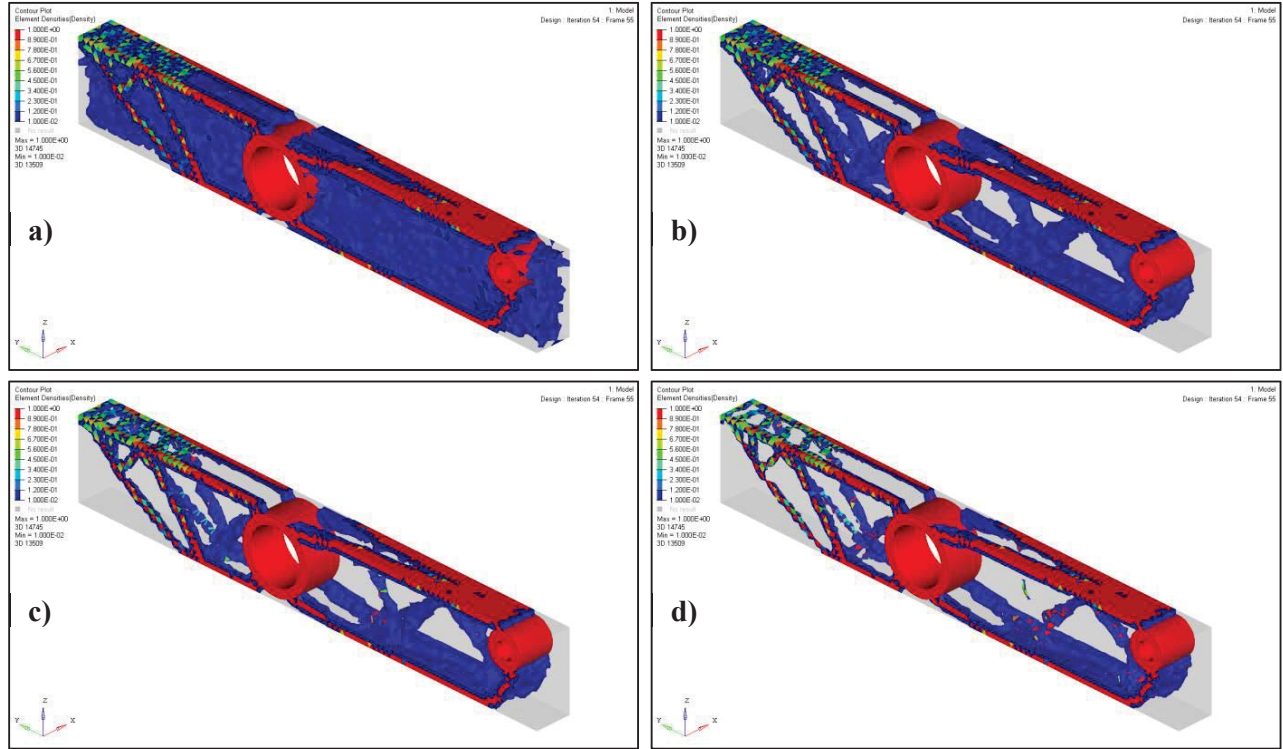
5. FREN PEDALI TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU SONUÇLARI

Formula SAE aracı fren pedalı için kurallar çerçevesinde ağırlık azaltmak amacıyla topoloji optimizasyonu yapılmıştır. Topoloji optimizasyonu 54 iterasyon ile tamamlanmıştır. Topoloji optimizasyonunda en uygun tasarımı elde etmek için sonuçların iyi incelenmesi gerekmektedir. Şekil 3'de topoloji optimizasyonunun iterasyonlar sırasında verdiği eleman yoğunluğu dağılımı gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 10 numaralı iterasyondan itibaren optimum şeklin genel hatlarının oluştuğu ve iterasyon numarası ilerledikçe kesin hatların daha da netleştiği görülmektedir.



Şekil 3. Topoloji optimizasyonu sonucun eleman yoğunluğu dağılımları a) İterasyon no:10, b) İterasyon no:20, c) İterasyon no:30, d) İterasyon no:40, e) İterasyon no:50, f) İterasyon no:54

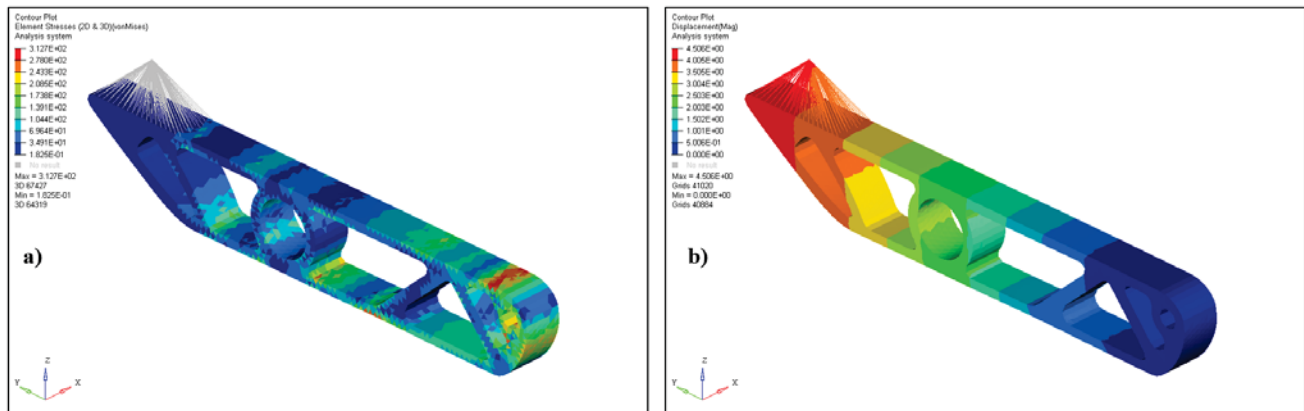
Topoloji optimizasyonu sonucunda en iyi sonuca 54 numaralı iterasyon ile ulaşılmıştır. Bu iterasyon sonucu oluşan eleman yoğunluğu dağılımı üzerinden optimum şekil ortaya çıkarılacaktır. Bu nedenle 54 numaralı iterasyon sonucunda oluşan eleman yoğunluklarının dağılımının daha detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir. 54 numaralı iterasyon için belirlenen eşik değerlerindeki eleman yoğunluk dağılımları Şekil 4'de verilmiştir. Ayrıca şekilde şeffaf gri renkli olarak tasarım hacmi de verilmiştir. Bu sayede topoloji optimizasyonunun etkinliği ve boşaltılan hacmin büyüklüğü görülebilmektedir. Şekil 4'de sırasıyla gizlenecek eleman yoğunluğu 0.01, 0.05, 0.10 ve 0.15 tir. Eşik değer sonuçları incelendiğinde eşik değer arttıkça oluşturulacak yeni tasarım daha net olarak ortaya çıkmaktadır. Eleman yoğunluğu eşik değeri 0.15 'de en uygun eleman dağılımı elde edildiği görülmüştür ve bu dağılım üzerinden topoloji optimizasyonu sonucundan yeni tasarım modeli oluşturulmuştur.



Şekil 4. Topoloji optimizasyonu 54 numaralı iterasyon sonucu eleman yoğunluğu dağılımının belirlenen eşik değerlerindeki gösterimleri a)Eleman yoğunluğu eşik değeri:0.01, b)Eleman yoğunluğu eşik değeri:0.05, c)Eleman yoğunluğu eşik değeri:0.10, d)Eleman yoğunluğu eşik değeri:0.15

Topoloji optimizasyonu sonucu elde edilen malzeme dağılımı yorumlanarak üretilebilir yeni bir tasarım oluşturulmuştur. Bu süreçte gerilme yığılması olabilecek muhtemel bölgeler doğrulama amaçlı sonlu elemanlar analizleri ile belirlenebilmektedir. Bu çalışmada ele alınan parçanın son tasarımında gerilme yığılması olan bölgeye rastlanmamıştır. Topoloji sonrası önerilen optimum malzeme dağılımı incelenmiş, özellikle ani kesit geçişleri olan bölgelerdeki geçiş geometrisi yumuşatılarak ani geçişlerden kaçınılmıştır, bu sayede gerilme yığılması muhtemel bölgelerde gerilme dağıtılarak hem statik emniyet şartı hem de tekrarlı yüklemelerde yorulma açısından ortaya çıkabilecek problemlerin önüne geçilmiştir.

Üretim kısıtları ve gerilme yığılma durumu gözetilerek yeni tasarım modeli oluşturulmuş ve fren pedalı yapısal analizi yapılmıştır. Yapısal analiz sonuçları Şekil 5'de verilmiştir. Fren pedalının en yüksek gerilme değeri (Şekil 5.a) 312.70 MPa ve en büyük yer değiştirme değeri (Şekil 5.b) ise 4.51 mm dir.



Şekil 5. Yeni model yapısal analizi gerilme ve yer değiştirme sonuçları a) Gerilme sonucu, b) Yer değiştirme sonucu

Yeni model ile ilk tasarım modeli yapısal analiz sonuçları ve karşılaştırmalar Tablo 2'de verilmiştir. Optimizasyon sonucunda oluşan şekil üzerinden üretim kısıtları gözetilerek tekrar tasarlanan yeni tasarım, ilk tasarıma göre %11 oranında hafifletilmiş ve 273 gr ağırlığa sahiptir. Elde edilen yeni tasarım yapısal analiz sonucunda gerilme değeri %6 oranında bir artış olsa da bu değer kuralları sağlamaktadır. Ayrıca yeni model ilk tasarıma göre yaklaşık %5 lik oradan daha az yer değiştirme meydana gelmektedir.

Tablo 2. Yeni model ve ilk modelin yapısal analiz sonuçları

	İlk model	Yeni model	Değişim
Ağırlık (gr)	309	273	- % 11.65
Gerilme (MPa)	293	312	+ % 6.48
Yer değiştirme (mm)	4.73	4.51	- % 4.65

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada yarışma kurallarında belirtilen sınırlar dahilinde araç ağırlığının azaltılmasına yönelik, yeni malzeme seçimi ve topoloji optimizasyonu yöntemi kullanılarak Formula SAE aracı fren pedalı tasarımı yapılmıştır. Araç ağırlığının azaltılması amacıyla yapılan bu çalışmada, hafifletme öncelikli kriter olduğu için maliyet artış yüzdesi ihmal edilebilir olarak kabul edilmiştir. Yeni malzeme seçiminde maliyet, fonksiyonellik, kolay erişim, işlenebilirlik gibi kriterler göz önüne alınmıştır. Topoloji optimizasyonunda malzeme dağılımı metodu seçilmiştir. Topoloji optimizasyonunda tasarım değişkeni olarak boşalma istenilen bölgeler, kısıt olarak gerilme ve optimizasyon amacı olarak ise ağırlık tanımlanmıştır.

Topoloji optimizasyonu sonucunda eleman yoğunlukları yeni tasarımın genel hatlarını vermiştir. Üretim kısıtları da gözetilerek yeni bir fren pedalı tasarlanmıştır. Yeni oluşturulan fren pedalı tasarımı ilk tasarıma göre %11,65 oranında hafifletilmiştir.

Bu çalışma ile yeni malzeme seçimi ve yapısal değişiklik için topoloji optimizasyonu yaklaşımı kullanılarak alüminyum alaşım ile tasarlanmış fren pedalı modeli ortaya koyulmuştur. Çalışma sonucunda topoloji optimizasyonunun çalışma şartlarını koruyarak ya da bazı durumlarda iyileştirerek daha hafif yeni tasarımlar oluşturmaya yardımcı olduğu ortaya koyulmuştur.

REFERANSLAR

- Albak, E. İ. Solmaz, E. Kaya, N. Öztürk, F. (2018). Lightweight foam impact attenuator design for formula SAE car. Turkish Journal of Engineering, 2(1), 17-21. doi:10.31127/tuje.330658.
- Başer, T. A. (2013). Alüminyum alaşımları ve otomotiv endüstrisinde kullanımı. Mühendis ve Makine. 53(635), 51-58.
- Bendsoe, M.P. and Kikuchi, N. (1988). Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method. Computational Methods Application Mechanics Engineering, 71(2), 197-224. https://doi.org/10.1016/0045-7825(88)90086-2
- Cavazzuti, M. Baldini, A. Bertocchi E, Costi, D. Torricelli, E. Moruzzi, P. (2011). High performance automotive chassis design: a topology optimization based approach. Struct Multidisc Optim 44(1), 45–56. doi: 10.1007/s00158-010-0578-7
- Chianussi, G. Gaviglio, I. Ibba, A. (2004). Topology optimization of an automotive component without final volume constraint specification. Adv Eng Softw 35(10-11), 609–617. doi:10.1016/j.advengsoft.2003.07.002
- Lee, S.J. Lee, H.A. Yi, S.I. Kim, D.S. Yang, H.W. Park, G.J. (2013). Design flow for the crash box in a vehicle to maximize energy absorption proceedings of the institution of mechanical engineers. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. 227(2), 179–200. doi:10.1177/0954407012451545
- Optistruct. (2017). Optistruct reference guide. Hyperworks, Altair.
- Öztürk, F. Şendeniz, G. (2014). Yolcu koltuklarında topoloji tasarım yaklaşımları ile optimizasyon, 7. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Mayıs 2017, Bursa.
- Pul, M. (2017). Comparison of surface roughness and tool wear in turning of 7075, 6061 and 2024 aluminum alloys. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 9(2), 65-75. doi:10.29137/umagd.351746
- Yang, R.J. & Chuang, C.H. (1993). Optimal topology design using linear programming. Structural Optimization. 68, 265-290.
- S-t, http://www.s-t.com.tr/altair_optistruct_topoloji_optimizasyonu.html, 31.07.2018
- SAE, <https://www.fsaonline.com/content/2017-18-FSAE-Rules-091317.pdf>, 31.07.2018
- Sekmen, M. Günay, M. Şeker, U. (2015). Alüminyum alaşımlarının işlenmesinde kesme hızı ve talaş açısının yüzey pürüzlülüğü, yığıntı talaş ve yığıntı katmanı oluşumu üzerine etkisi. Politeknik Dergisi. 18(3), 141-148. Doi: 10.2339/2015.18.3 141-148
- Yıldız, A.R. (2017). Taşıt elemanlarının yapısal optimizasyon teknikleri ile optimum tasarımı. Politeknik Dergisi. 20(2), 319-323. Doi: 10.2339/2017.20.2 319-323
- Yıldız, A.R. Kaya, N. Öztürk, F. Alankuş, O. (2004). Optimal design of vehicle components using topology design and optimisation, International Journal of Vehicle Design 34 (4), 387-398. doi:10.1504/IJVD.2004.004064



Faster R-CNN Kullanarak Elmalarda Çürük Tespiti

Bruise Detection in Apples using Faster R-CNN

Onur Cömert ^{*1} , Mahmut Hekim ² , Kemal Adem ³ 

¹Mekatronik Müh., Mühendislik ve Doğa Bil. Fakültesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, 60150 Tokat, TÜRKİYE

² Elektrik-Elektronik Müh., Müh. ve Doğa Bil. Fakültesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, 60150 Tokat, TÜRKİYE

³ Enformatik Bölümü, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, 60150 Tokat, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 12/10/2018

Kabul/Accepted: 05/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Öz

Bu çalışmada, elmalardan alınan görüntüler üzerinde evrimsel sinir ağı yöntemlerinden olan Faster R-CNN kullanılarak elmaların çürük ve sağlam olarak sınıflandırılması amaçlanmaktadır. Önerilen modelde işlem adımları sırasıyla görüntü alma-önişleme, çürük bölgelerin tespit edilmesi ve elmaların sınıflandırması şeklindedir. Görüntü alma-önişleme aşamasında, tasarlanan bir görüntü alma platformu içerisinde bulunan NIR kamera kullanılmıştır. Çalışmada 100'ü çürük ve 100'ü sağlam olan toplam 200 adet elmanın her birinin 6 farklı açısından toplam 1200 adet görüntü elde edilmiştir. Önişleme aşamasında, bu görüntülere sırasıyla uyarlamalı histogram eşitleme, kenar bulma, morfolojik işlemler uygulanmıştır. Önişlem uygulanarak görünürlüğü iyileştirilen yeni görüntüler kullanılarak eğitilen Faster R-CNN modeli ile çürük bölgeler tespit edilmiştir. Sınıflandırma aşamasında, çürük ve sağlam elmaların tespit edilmesinde %84,95 doğru sınıflandırma oranına ulaşılmıştır. Sonuç olarak, önerilen modelin meyve suyu gıda sanayisinde çürük ve sağlam elmaların otomatik olarak tespit edilmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler

“Çürük, elma, görüntü işleme, Faster R-CNN”

Abstract

In this study, it is aimed to classify of the apples as bruised and robust by using Faster R-CNN which is one of the convolutional neural network methods on images taken from apple fruit. In the proposed model, the process steps are the image acquisition-preprocessing, the determination of the caries regions, and the classification of the apples. During the image acquisition-preprocessing phase, a NIR camera is used, which is located within a designed image acquisition platform. In the study, a total of 1200 images were obtained from 6 different angles of each of a total of 200 apples, 100 of which were bruised and 100 of which were robust. In the pre-processing phase, adaptive histogram equalization, edge detection, morphological operations are applied to these images, respectively. Caries were identified with the Faster R-CNN model trained using new images with improved visibility by applying preprocessing. In classification phase, 84.95% correct classification rate has been reached in the detection of bruised and robust apples. As a result, it is thought that the proposed model can be used for automatic detection of bruised and robust apples in juice food industry.

Key Words

“Bruised, apple, image processing, Faster R-CNN”

1. GİRİŞ

Meyve suyu, sağlıklı, olgun, taze ve temiz meyvelerden mekanik yolla elde edilen, o meyvenin, tat, koku ve renk gibi anatomik özelliklerine sahip ve fiziksel yolla bozulmaya karşı dayanıklı duruma getirilen içecektir. Meyve suları, berrak meyve suları, bulanık meyve suları ve nektarlar olarak üç gruba ayrılabilir. Berrak meyve suları vişne, üzüm, elma ve nardan yapılır. Berrak meyve suyu yapımında meyvelerin işlenmeye hazırlanması aşamasında meyve suyuna dönüştürülecek olan ürünün toz, toprak, yaprak ve kırıntılarının uzaklaştırılması için havuzlarda yıkama işlemi yapılır. Daha sonra yürüyen bantlarda kalite kontrol işçileri tarafından çürük, sağlam, ezik veya ham şeklinde ayıklama yapılır (Barrett, 2014; Artık, 2017). Fakat ayıklama işleminde insan faktöründen dolayı tam bir standart yakalayabilmek zordur. Bu nedenle bu işlemin görüntü işleme teknolojisi kullanılarak makineler tarafından otomatik olarak yapılması hem işlemin hızlanması hem de maliyetinin azalması bakımından önemlidir (Pandey ve diğ., 2013). Görüntü işleme teknolojisinin kullanılabilmesi için de görüntü alma cihazları ve yazılımlar gerekmektedir.

Gıda sanayi sektöründe meyve suyuna dönüştürülecek olan elmaların sağlam ve çürük olarak ayrıştırılması işlemi geleneksel olarak el ile yapılmaktadır. Ancak birim zamanda ayrıştırılacak olan meyve sayısının çok fazla olması ve insan faktörleri nedeniyle yanlış sınıflandırmalar söz konusu olabilmektedir. Bu işlemin makineler tarafından otomatik olarak yapılması işlemin hızlandırmak, maliyeti düşürmek ve hataları en aza indirmek bakımından önemlidir.

Elmalarda çürük tespitini zorlaştıran en önemli unsurlardan birisi çürük kısımlar ile elmanın kendi anatomik bölgelerinden olan sap çanak kısımlarının karıştırılmasıdır. Bu yüzden, literatürde yapılmış çalışmalarda ya görüntüler elmaların sap-çanak bölgesi gözükmeceği şekilde alınmış ya da alınan görüntülerde öncelikle elmanın sap ve çanak kısımlarının tespit edilip görüntüden çıkarılmasına odaklanılmıştır. Xing ve Baerdemaecker (2005) yaptıkları çalışmada Jonagold elmalarında çürük tanıma için 400-1000 nm dalga boyu aralığında hiperspektral görüntüleme sistemi oluşturmuşlardır. Çalışma toplam 160 tane elma üzerinde yapılmıştır. İlk olarak görüntülerde arka plan basit eşikleme işlemi ile kaldırılmıştır. Daha sonra 5 ve 10 piksellik ortalama filtre ile yumuşatma uygulanmıştır. Yüzeyin yumuşaklığı, çürükler, sap ucu ve çanak kısmından sağlam bölgeyi ayırmak için bir özellik olarak düşünülmüştür. Elma kenarlarının pürüzsüzlüğü, sağlam ve çürüğü ayırmak için kullanılmıştır. Sağlam elmalar için doğru sınıflandırma %86,4 iken çürükler 1 günlük olduğunda %77,5 olmuştur. Sağlamların hiç biri sap ve çanak olarak yanlış sınıflandırılmamıştır ama çürüklerin %2,5 i sap ve çanak olarak yanlış sınıflandırılmıştır. Görüntülerde sap ve çanak %98,3 oranında doğru sınıflandırılmıştır. Mohana ve Prabhakar (2015), 600 farklı renkli görüntü üzerinde şekilsel tanımlayıcıları kullanarak elmaların sap ve çanak bölgelerinin tanınması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Segmentasyon aşamasında çoklu eşikleme kullanmışlar, bu aşamada elde edilen nesnelere Multifractal, Fourier ve Radon tanımlayıcıları kullanarak şekilsel özellikler çıkarmışlardır. Bu özellikleri de Destek Vektör Makinesi (SVM), ANN, k-En Yakın Komşuluk (k-NN), Doğrusal Ayırıcı Sınıflandırıcı (LDC) ve AdaBoost sınıflayıcılara vererek test etmişler ve SVM sınıflayıcı ile sap-çanak bölgesini elmanın çürük ve yaralarından %94 doğruluk ile ayırt etmişlerdir. Dubey ve Jalal (2016), elma hastalıklarının renk, doku ve şekil tabanlı özellikleri ile tanınması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Elma yüzeyindeki kusurların bölütlenmesinde $L^*a^*b^*$ renk uzayı kullanmışlar, veri seti olarak farklı hastalıkların bulunduğu 4 sınıf etiketine sahip 320 adet elma görüntüsü almışlardır. Hastalıklı meyve kısımları K-means kümeleme yardımıyla tespit etmişler, bölütlenmiş görüntü üzerinde renk, doku ve şekil tabanlı özellikler çıkartmışlar ve Destek Vektör Makinesi ile elmalar hastalıklı ve sağlıklı olarak ortalama %95,95 doğruluk ile elmaları sınıflandırmışlardır. Sa ve diğ. (2016), Faster R-CNN modelini kullanarak meyve algılama üzerine bir çalışma yapmışlardır. Hem NIR hem de RGB görüntüleri birlikte kullanarak yedi farklı meyve üzerinde sistemin performansını test etmişlerdir. NVIDIA GPU ile her bir meyve için eğitim zamanı 4 saat sürmüştür ve sonuç olarak görüntülerde meyveleri %83 oranında doğru olarak tespit edebilmişlerdir. Fuentes ve diğ. (2017), Faster R-CNN kullanarak domates görüntüleri üzerinde hastalık ve zararlıların yerinin ve türünün tespiti üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada farklı çözünürlükte ve farklı büyüklükteki domateslerden yaklaşık 5000 adet görüntü elde etmişler, Veri çoğaltma (Data Augmentation) yöntemi kullanarak eğitim verisinin çoğaltılmasını ve çeşitlendirilmesini sağlamışlardır. Veri setinin %80'i eğitim, %10'u doğrulama ve %10 test işlemi için kullanmışlardır. Deneysel çalışmalarda veri çoğaltma işleminin başarı oranını %35 artırdığını göstermişlerdir. Yapılan testler sonucunda %83-%90 arasındaki doğruluk oranı ile hastalık ve zararlıları tespit edebilmişlerdir. Lu ve Lu (2017), histogram tabanlı otomatik eşikleme yardımıyla elmaların çürüklerinin tespiti üzerine bir çalışma yapmışlardır. Görüntüleri, yapılandırılmış aydınlatma yansıtımlı görüntüleme kullanarak 730nm dalga boyunda 4 türde toplam 120 elmadan elde etmişlerdir. Görüntülerde elmalar yatay pozisyonda olduğundan sap ve çanak kısımları görünmemektedir. Görüntüler üzerinde sırasıyla, Medyan filtre, otomatik eşikleme, açma ve doldurma işlemlerini uygulamışlardır. Eşikleme aşamasında görüntüler üzerinde 9 farklı otomatik eşikleme yöntemi denemişler ve Intermod, Ridler ve Otsu tekniklerinin %90 doğruluk oranı ile en iyi sınıflandırma başarısına sahip olduğunu saptamışlardır. Ridler tekniği kullanıldığında Pozitif yanlış ve negatif yanlış oranının ortalamada %6,7 ile en düşük olduğunu, Unimode ve Ridler tekniklerinin birlikte kullanılması durumunda ise bu oranın %5,8'e kadar düştüğünü tespit etmişlerdir. Zhang ve diğ. (2017), elma görüntüleri üzerinde optik özellikler ve destek vektör makinesi kullanılarak elmaların çürüklük seviyesine göre sınıflandırılması üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada 155 adet Fuji türü elma kullanmışlar, bu elmalardan bir mikrotom ile 3mm kalınlığında ve 2cm çapında doku örnekleri almışlardır. 400-1050nm dalga boylarında örneklerin geçirgenliğini ve yansıtkanlığını Entegre Küre Sistemi ile ölçmüşlerdir. Elde ettikleri özellikleri destek vektör makinesine vererek yaptıkları sınıflandırmanın başarısını %92,5 olarak tespit edilmiştir. Zarifneshat ve diğ. (2017), elmanın çürük hacimini tahmin etmek için ANN kullanmışlardır. Gerçek ve tahmini test verilerini önerdikleri ANN 'ye uygulamışlar. İstatistiksel

analizden, tahmini test verilerinin %95 doğruluk ile tespit etmişlerdir. Tablo 1’de literatürde yapılmış bazı çalışmaların kullandıkları yöntemler ve başarı oranları sunulmuştur.

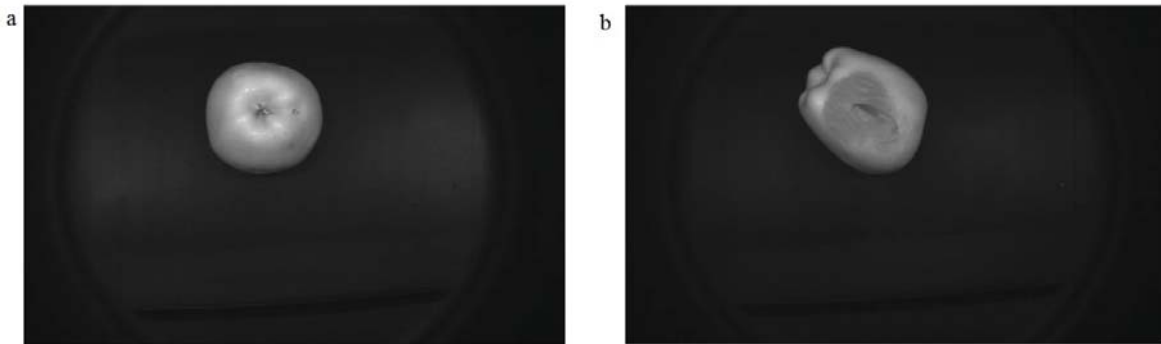
Tablo 1. Literatürde yapılmış çalışmalar

Yazar	Yıl	Amaç	Yöntem	Başarı Oranı (%)
Xing ve Baerdemaeker (2005)	2005	Elmalarda çürük tespiti	Yumuşatma, Hyperspectral eşikleme,	86,4
Mohana ve Prabhakar (2015)	2015	Elmalarda sap ve çanak bölgelerinin tanınması	Multifractal, Fourier ve Radon dönüşümleri, SVM, ANN, k-NN, LDC ve AdaBoost sınıflayıcıları	94
Dubey ve Jalal (2016)	2016	Elma hatalarının otomatik tanınması için görüntü işleme çözümü	Lab-HSV Renk Uzayları, Kmeans kümeleme, SVM	93
Sa ve diğ. (2016)	2016	NIR ve RGB görüntülerde meyve algılama	Faster R-CNN	83
Fuentes ve diğ. (2017)	2017	Domateslerde hastalık ve zararlıların tespiti	Faster R-CNN	83-90
Lu ve Lu, (2017)	2017	Elmalarda çürük tespiti	Hyperspectral görüntüleme, otomatik eşikleme, açma ve doldurma işlemleri, Intermod, Ridler, Ünimode ve Otsu eşikleme	90
Zhang ve diğ., (2017)	2017	Elmaları çürüklük seviyelerine göre sınıflandırma	SVM, Hyperspectral	92,5

Bu çalışmada, elma meyvelerinden 830nm uzun dalga geçiren (long pass) filtreye sahip NIR kamera ile alınan görüntüler üzerinde evrişimsel sinir ağı (ESA) yöntemi kullanılarak elmaların çürük ve sağlam şeklinde sınıflandırılması amaçlanmıştır. Literatür araştırmaları sonucunda elma meyvelerinde Faster R-CNN kullanılarak çürük tespiti üzerine yapılan ilk çalışma olduğu görülmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

Literatürde elmalarda çürük tespiti üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde genellikle hiperspektral ve multispektral görüntüleme sistemlerinin kullanıldığı görülmektedir (Mohana ve Prabhakar, 2015; Lu ve Lu, 2017; Zhang ve diğ. 2017). Bu sistemler elma yüzeylerindeki çürüklerin daha iyi tespit edilmesini kolaylaştıracak spektral bölgenin belirlenmesini mümkün kılmaktadır. Ancak, bu sistemler hem yüksek maliyetlidir hem de laboratuvar ortamlarının dışında kullanımı pek mümkün değildir. Bu nedenle, görüntü alma aşamasında, tasarlanan ve içerisinde bir NIR kamera buluna görüntü alma platformu kullanılmıştır. Çalışmada, Türkiye’de en çok yetiştirilen elmalardan çürük ve sağlam örnekler toplanarak görüntü veri kümesi oluşturulmuştur. Veri kümesinde 100 adet çürük ve 100 adet sağlam olmak üzere toplam 200 adet elma kullanılmış, her bir elmanın 6 farklı yönünden toplam 1200 adet görüntü elde edilmiştir. Şekil 1’de alınan elma görüntülerinden örnekler verilmiştir.



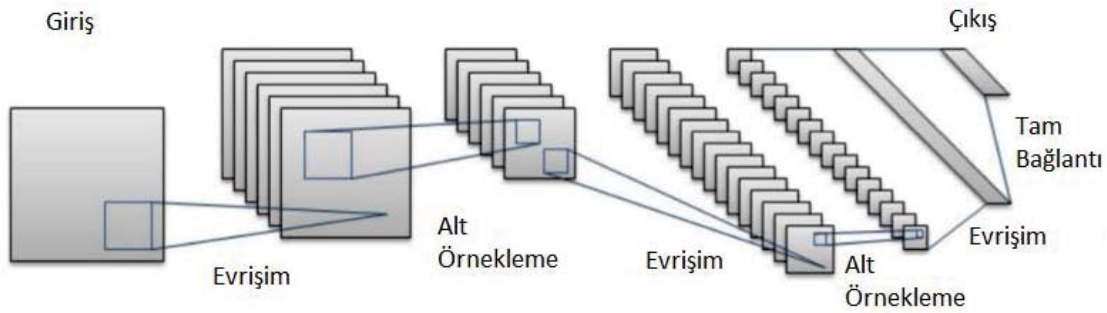
Şekil 1. (a) sağlam elma; (b) çürük elma.

Şekil 1’de verilen elma görüntüleri önışlem uygulanmamış ham görüntülerdir. Önışleme aşamasında sırasıyla kırpma, uyarlamalı histogram eşitleme, kenar bulma ve morfolojik işlemler yapılarak sınıflandırma başarısını artırmak amaçlanmıştır. Önışlem yapılan görüntüler üzerinde ise bir derin öğrenme algoritması olan ESA modeli eğitilmiş, daha sonra bu model ile çürük bölgeler tespit edilerek elmalar sınıflandırılmıştır.

2.1. Evrişimsel Sinir Ağı (ESA) Modeli

Derin öğrenme modelleri, pek çok araştırma alanında olduğu gibi tarım teknolojilerinde de yaygın olarak kullanılan güçlü bir araç haline gelmiştir (Kamilaris ve Prenafeta-Boldú, 2018). En çok kullanılan modeller; Otomatik kodlayıcılar, Kısıtlı Boltzman Makineleri ve evrişimsel sinir ağlarıdır. ESA, görüntüler üzerinde sıkça kullanılan özelleşmiş bir derin öğrenme mimarisidir (Özcan, 2014). Geleneksel sinir ağlarından en önemli farkı görüntüden öznelik çıkartılmasını kendisinin yapmasıdır. Geleneksel sinir ağlarına göre eğitim zamanı çok uzun olmasına rağmen birçok görüntü işleme probleminde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. ImageNet2012’de Krizhevsky ve diğ. (2012) ‘nin derin öğrenme tekniğiyle birinci olmasının ardından, derin öğrenmenin görüntü sınıflandırmadaki başarısı görülmüş ve ertesi yıllarda yapılan ImageNet yarışmalarında birçok katılımcı derin öğrenme tekniğini kullanmış ve benzer başarıyı elde etmişlerdir.

Derin öğrenmenin görüntü işleme alanında en yaygın kullanılan modeli olan ESA mimarisi genel olarak eğitilebilen birçok katmandan oluşmaktadır. Şekil 2’de ESA mimarisinin genel yapısı görülmektedir.

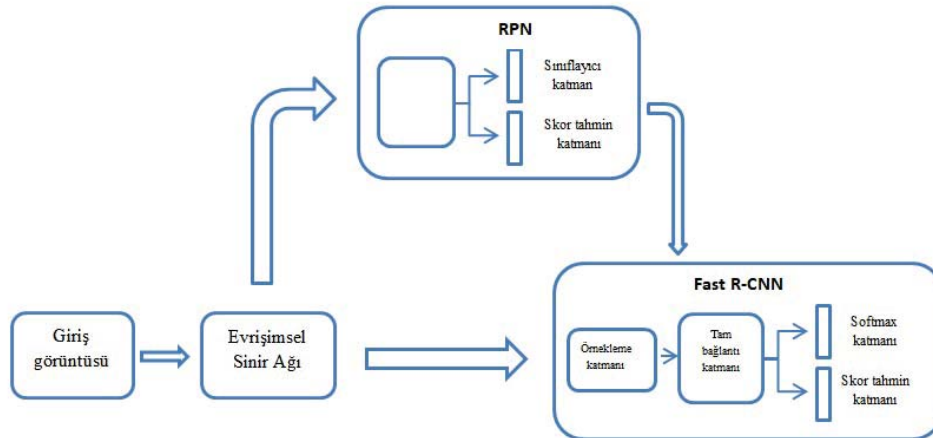


Şekil 2. ESA mimarisinin genel yapısı

Şekil 2’de görüldüğü gibi, ESA mimarisi birbirini takip eden evrişim, alt-örneklemeye katmanları ve son olarak da tam bağlantılı softmax ağından oluşmaktadır. Görüntü ilk olarak parçalara ayrılır ve her bir parça üzerinde filtre uygulanır. Filtre işleminden sonra resimde küçülme olur. Bu işlem sonucunda elde edilen pikseller anlamlandırılarak problem çözülmeye çalışılır (Bengio ve diğ. 2016). Çalışmamızda ESA mimarisi üzerine kurulmuş bir yaklaşım olan Faster R-CNN (Fast Region-based Convolutional Neural Network) metodu kullanılmıştır.

2.2. Faster R-CNN

Faster R-CNN, RPN (Ren ve diğ. 2017) ile Fast R-CNN modellerinin (Girshick, 2015) birleştirilmiş halidir. Şekil 3’te Faster R-CNN yapısını oluşturan RPN ve Fast R-CNN bölgeleri görülmektedir. RPN’in getirdiği yenilik, doğrudan örneklemeye katmanına bağlanılabilesidir. Böylece Faster R-CNN, güçlü yapısı ile görüntülerde baştan sona nesne tespitini gerçekleştirmek için bir çalışma ortamı sunar (Ren ve diğ. 2017).



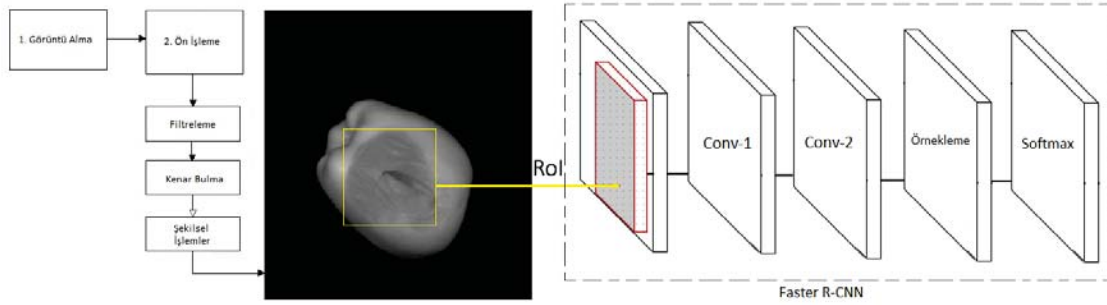
Şekil 3. Çalışmada kullanılan Faster R-CNN mimarisi (Yang ve diğ. 2017)

RPN tam olarak evrişimsel bir sinir ağıdır. Girdisi bir görüntü olan önerilen bölgeleri çıkartmak için kullanılır ve önerilen bölgelere aynı zamanda skorlar (tahmin etme doğruluğu) verilir. Önerilen bölgelerin sınıflama katmanı ve skor değerlerini tahmin katmanı aşamasında Fast R-CNN ağına birleştirilir. Fast R-CNN ağına da iki çıkış katmanı bulunmaktadır. Bunlardan ilki Softmax sınıflayıcı katmanı diğeri ise tespit edilen bölgenin tespit edilme doğruluğunu veren regresyon katmanıdır (Yang ve diğ. 2017).

Faster R-CNN ile giriş görüntüsü sınıflandırma süreci boyunca sadece bir kez hesaplanır ve daha sonra tespit edilmesi gereken bölgelerin buldukları yeri belirleyen kutuların sınırlarını düzeltir. Daha da fazlası, evrişimsel katmanların paylaşılması sayesinde, nesne tespitinin performansını geliştirmek için derin bir evrişimsel ağ eğitilebilir.

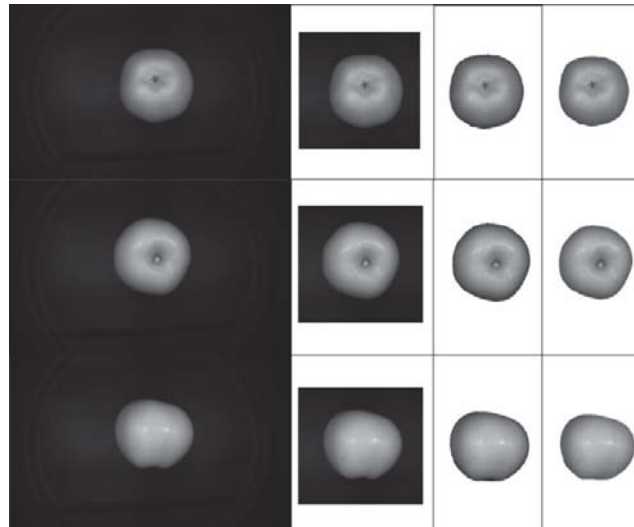
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmamızda ESA mimarisi üzerine kurulmuş bir yaklaşım olan Faster R-CNN modeli kullanılmıştır. Uygulama, Matlab yazılım ortamında Intel i7 6700HQ işlemci ve NVIDIA® GeForce® GTX 950M grafik kartı olan bir bilgisayar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'te uygulamanın işlem adımları görülmektedir.



Şekil 4. Sistemin çalışma adımları

Şekil 4'te görüldüğü gibi, görüntüler üzerinde bir ön işlem uygulanmıştır. Bu aşamada önce görüntüde ilgilenilmeyen kısımlar kırılmış, daha sonra elma ile arka plan bölütlenmiş ve elmanın arka planı tamamen beyaz (255) hale getirilmiştir. Yapılan deneylerde bu durumun çürük tespitinin başarısını artırdığı görülmüştür. Bu işlem Şekil 5'de görülmektedir.



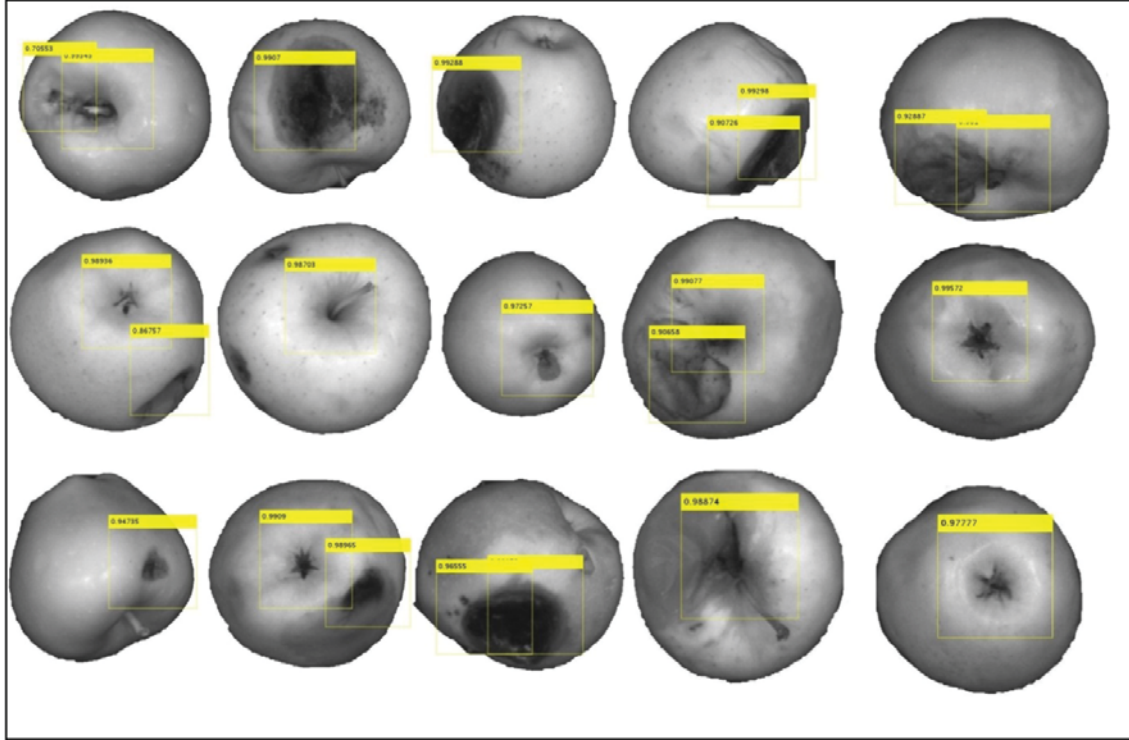
Şekil 5. Ön işlem adımları

Daha sonra görüntülerde elmanın sadece çürük bölgeleri dikkat eden bir şekilde etiketlenmiş, bu etiketlerden oluşan görüntü veri seti Faster R-CNN modeline giriş olarak verilmiştir. Bu modelde bulunan iki evrişim katmanının her birinde 3x3 boyutlarında 32 filtre, doldurma değeri 1 ve adım sayısı 1, örnekleme katmanında ise 3x3 filtre boyutu ve adım sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Tam bağlantılı katmanda sınıflayıcı olarak softmax kullanılmıştır. Görüntü veri kümesinin %70'i eğitim kalan %30'u ise test aşamasında kullanılmıştır. Ağın eğitimi 420 etiketlenmiş çürük elma görüntüsü üzerinde 12 saat sürmüştür. Çalışmada kullanılan modelin karışıklık matrisi Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan modelin karışıklık matrisi

	Çürük	Sağlam
Çürük	155	25
Sağlam	29	151

Tablo 2 'de görüldüğü gibi gerçekte çürük olan 180 elma görüntüsünün 155 tanesi çürük olarak tespit edilmiş, kalan 25 adet görüntü sağlam olarak yanlış sınıflandırılmıştır. Aynı şekilde, gerçekte sağlam olan 180 elma görüntüsünün 151 tanesi sağlam olarak tespit edilmiş ve kalan 29 görüntü ise çürük olarak yanlış sınıflandırılmıştır. Modelin doğru sınıflandırma oranı %84,95 olmuştur. Şekil 6'da modelin test sonuçları görüntüler üzerinde etiketlenmiştir.

**Şekil 6.** Etiketlenmiş test sonuçları

Şekil 6'da etiketler çürük olarak tespit edilmiş bölgeleri ifade etmektedir. Etiketler üzerindeki rakamlar ise etiketlenen bölgenin çürük olma ihtimalini yüzde olarak göstermektedir. Önerilen model ile elde edilen başarı oranının Tablo 1 'de görüldüğü gibi literatürdeki bazı çalışmalardan düşük olmasının en önemli sebebi ilgili çalışmalarda hiperspektral ve multispektral görüntüleme sistemlerinin kullanılmasıdır (Mohana ve Prabhakar, 2015; Lu ve Lu, 2017; Zhang ve diğ. 2017). Ancak, bu sistemler hem yüksek maliyetlidir hem de laboratuvar ortamlarının dışında kullanımı pek mümkün değildir. Bu nedenle çalışmada daha düşük maliyetli olan NIR kamera görüntüleme sistemi ile birlikte derin öğrenme yaklaşımlarından Faster R-CNN modeli denenmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada bir ESA modeli olan Faster R-CNN kullanılarak elmalar üzerindeki çürük bölgelerin tespiti yapılmıştır. Görüntü verisi olarak 200 adet elmanın 6 farklı açılarından alınan 1200 adet görüntü kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda tek başına Faster R-CNN modeli kullanıldığında başarı oranının çok yüksek olmadığı tespit edilmiştir. Bunun en önemli sebebi elmaların anatomik bölgelerinden olan sap-çanak bölgelerinin çürük olarak sınıflandırılmasıdır. Bu nedenle bu bölgelerin görüntüde göz ardı edilmesi gerekmektedir. Ancak bu şekilde başarı oranları yükseltilebilir. Bir sonraki çalışmada planladığımız en önemli hedef, elmanın anatomik bölgelerinden olan sap-çanak kısımlarının görüntüden atılması yolu ile sınıflandırma başarısının artırılmasıdır. Bunun için ilk olarak, derin öğrenme ile elmanın sap-çanak kısımları tespit edilecek ve görüntüden atılacaktır. Daha sonra görüntü işleme ile kalan çürük bölgelerin kolayca tespit edilip sınıflandırılması sağlanacak, böylece görüntü işleme ve derin öğrenmenin birlikte kullanıldığı hibrit bir yaklaşım önerilmiş olacaktır. Bu çalışmada önerilen modelin

makineye uyarlanması durumunda, meyve suyu gıda sanayisinde elmaların otomatik olarak ayrıştırılması amacıyla kullanılabileceği düşünülmektedir.

REFERANSLAR

- Artık, N. (2018). Meyve ve sebze üretim teknolojisi. Ankara Üniversitesi Ders Notları. Erişim: http://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/8059/mod_resource/content/0/1.%20hafta.pdf
- Barrett, D. M., Somogyi, L., & Ramaswamy, H. S. (2004). Processing fruits: science and technology, New York, USA, CRC press, 2, 455-480.
- Bengio, Y., Goodfellow, I., & Courville, A. (2016). Deep Learning, Cambridge, İngiltere, MIT yayınevi, 9, 326-366.
- Dubey, S. R., & Jalal, A. S. (2016). Apple disease classification using color, texture and shape features from images, Signal, Image and Video Processing, 10(5), 819-826.
- Fuentes, A., Yoon, S., Kim, S. C., & Park, D. S. (2017). A robust deep-learning-based detector for real-time tomato plant diseases and pests recognition, Sensors, 17(9), 2022.
- Girshick, R. (2015). Fast r-cnn, Proceedings of the IEEE international conference on computer vision, Santiago, Chile, 1440-1448.
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey, Computers and Electronics in Agriculture, 147, 70-90.
- Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). Imagenet classification with deep convolutional neural networks, In Advances in neural information processing systems, 1097-1105.
- Lu, Y., & Lu, R. (2017). Histogram-based automatic thresholding for bruise detection of apples by structured-illumination reflectance imaging, Biosystems Engineering, 160, 30-41.
- Mohana, S. H., & Prabhakar, C. J. (2015). Stem-Calyx Recognition of an Apple using Shape Descriptors. Signal & Image Processing : An International Journal (SIPIJ), 5(6), 17-31.
- Özcan, H. (2014). Çok Düşük Çözünürlüklü Yüz İmgelerinde Derin Öğrenme Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Bilgisayar Müh. Bölümü, Deniz Harp Okulu, İstanbul, Türkiye.
- Pandey, R., Naik, S., & Marfatia, R. (2013). Image processing and machine learning for automated fruit grading system: a technical review, International Journal of Computer Applications, 81, 29-39.
- Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2017). Faster R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 6, 1137-1149.
- Sa, I., Ge, Z., Dayoub, F., Upcroft, B., Perez, T., & McCool, C. (2016). Deepfruits: A fruit detection system using deep neural networks, Sensors, 16(8), 1222.
- Xing, J., & Baerdemaeker, J. D. (2005). Bruise detection on 'Jonagold' apples using hyperspectral imaging, Postharvest Biology and Technology, 37(2), 152-162.
- Yang, S., Fang, B., Tang, W., Wu, X., Qian, J., & Yang, W. (2017). Faster R-CNN based microscopic cell detection, In Security, Pattern Analysis, and Cybernetics (SPAC), Shenzhen, China, 345-350.
- Zarifneshat, S., Rohani, A., Ghassemzadeh, H. R., Sadeghi, M., Ahmadi, E., & Zarifneshat, M. (2012). Predictions of apple bruise volume using artificial neural network. Computers and electronics in agriculture, 82, 75-86.
- Zhang, S., Wu, S., Zhang, S., Cheng, Q., & Tan, Z. (2017). An effective method to inspect and classify the bruising degree of apples based on the optical properties, Postharvest Biology and Technology, 127, 44-52.



Sürekli Olay Simülasyonlarında Kesiklileştirme ve Semantik Bilgiye Dayalı Sorgu Yapıları

Discretizing Continuous Event Simulation and Semantic Information Based Query Structures

Mehmet Fatih Hocaoğlu 

¹ İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34700, Göztepe İstanbul, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 12/11/2018

Kabul/Accepted: 20/01/2019

Son Baskı/Final Edition: 31/01/2019

Öz

Bu çalışmada, sürekli olay simülasyonlarının durum vektörüyle kesikli bir uzaya resmedilmesi, etmen tabanlı zeki koşum kayıt mekanizması ve sorgu betik yapısı ele alınmıştır. Zeki kayıt mekanizması, “Doğru verinin, doğru zamanda kaydedilmesi” olarak tanımlanmıştır. Simülasyon modelinin yürüttüğü tüm hesaplamalar ve muhakeme mekanizmasıyla (reasoning engine) yaptığı tüm çıkarımlar, koşum izi etmeni olarak tanımlanan ve durum programlama yaklaşımıyla kontrol edilen, yapılar olarak tasarlanmıştır. Modeller arası semantik ilişkilendirmelerin koşum etmenlerine olan fonksiyonel yansımaları için betik yapılar tasarlanmış ve bu amaçla, kaydedilen veriler için özel bir betik sorgu yapısı geliştirilmiştir. Simülasyon modellerinin ve etmenlerin geliştirildiği ve işletildiği EtSiS (Etmen tabanlı Simülasyon Sistemi)’in ontolojik betimlemesinin bir parçası olan, ilişki kavramının işletim sonrası koşum yörüngesi sorgulamada nasıl kullanıldığı ve kayıt mekanizmasının yönetiminin nasıl yürütüldüğü, bir örnekle, gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“EtSiS, Simülasyon çıktı analizi, Simülasyon yörüngesi, Simülasyon yörünge sorgusu, Sorgu betiği, Varlıklar arası ilişki”

Abstract

In this study, a method to map continuous event simulations into discrete event spaces using state vectors, an agent-based intelligent execution trace mechanism and a query script structure are represented. The intelligent trace mechanism is defined as “the correct data being recorded at the right time”. All calculations carried out by simulation models and all inferences made by the reasoning engine are defined as structures that are defined as trace agents and controlled by State Oriented Programming approach. Scripting structures have been designed for the functional implications of the inter-model semantic associations to the execution, and for this purpose a special scripting query structure has been developed for the traced data.

How the concept of relationship, which is a part of ontological commitment of AdSiF (Agent driven Simulation Framework), which all simulation models and agents are developed and executed, is used in questioning the execution trajectory and how the management of the recording mechanism is carried out are shown with an example.

Key Words

“AdSiF, Execution Trajectory, Post-data analysis, Query on trajectory, Query script, Relation between entities”

1. GİRİŞ

Etmen tabanlı simülasyon sistemi (EtSiS) kesikli ve olay simülasyonları için modelleme ve işletim imkânı sağlarken, aynı zamanda simülasyon modellerinin muhakeme yeteneği olan zeki etmen olarak tasarlanmasına imkân verir (Mehmet Fatih Hocaoglu, 2005, 2011). EtSiS ortaya koyduğu durum tabanlı programlama paradigması, tanımladığı ontolojik betimleme ve betik programlama grameri, EtSiS'i bir programlama ortamı, bir yazılım geliştirme çerçevesi (Framework), olarak tanımlamamızın ana etkenleri arasındadır.

EtSiS model tasarımında ana odak birden fazla paradigmayı tümleştiren durum tabanlı programlama paradigmasıdır. Literatürde durum tabanlı programlama kavramı ile modelin durumsallık tanımlamaları yapılarak, durum tanımlamalarının programlanması veya durum tanımlamalarına uygun kod üretilmesi olarak ele alınmıştır (Nomoto, 2004; Sterkin, 2008). Oysa burada, durumların programlanması değil, durumlarla modelleme ve programlamayı esas alan bir programlama ve altında yatan ontoloji önerilmektedir. Tasarımı yapılan simülasyon modelleri davranış diyagramları genişletilmiş bir durum otomati formatındadır ve doğrudan EtSiS çekirdek yorumlayıcısı tarafından işletilirler (Mehmet Fatih Hocaoglu, 2011). Durum tabanlı programlama, sağladığı durum otomat gösterimi ile bir doğal dil karşılığıyla eşleştirilebilen davranışlar ve beraberinde zeki bir koşum kayıt mekanizması sunar.

Bu çalışmada, EtSiS'in ontolojik betimlemesinin bir parçası olan, ilişki kavramına yeni bir işlev kazandırılmıştır. Bir ilişkinin taraflarının sahip olduğu koşum izi etmenleri arasında bir fonksiyon eşlemesi yapılarak varlık koşum izi etmen değerleri arasında geçişkenlik sağlanmış ve koşum sonrası sorgulama etkinliği artırılmıştır.

Literatürde simülasyon işletimi esnasında meydana gelebilecek sistem hatalarına karşı, simülasyonun kaldığı zaman noktasından tekrar başlatılmasını sağlayacak koşum enstantane kayıtları üzerinde çalışmalar görülmektedir (Meneses & Kalé, 2015). Simülasyon koşum loglarının model hata ayıklama amaçlı kullanımı (Kemper & Tepper, 2009) ve performans analizinde etkin parametrenin kural tabanlı olarak tespiti amaçlı farklı kullanımlar mevcuttur (Vasyutynsky, Gellrich, Kabitzsch, & Wustmann, 2010). Sistem koşum yörüngesinin alternatif sistem tasarımları arasındaki farklılıkların görülmesinde istatistiksel analizler, dinamik zaman eğrilmesi (time warp) yaklaşımları kullanılmaktadır (Johnstone et al., 2015). Tüm bu analizler için yeterli uzunlukta, doğru frekansta ve sistem davranışını doğru temsil eden koşum verisinin alınması analizlerin doğruluğu ve hızlı işlenmesi için önemlidir.

Simülasyon yörünge kaydı, çoğunlukla modelcinin analiz aşamasında gerekli olacağını düşündüğü değişkenlere ait verilerin simülasyon koşumu esnasında bir kayıt mekanizması kurarak kaydedilmesiyle sağlanır. Ana motivasyon mümkün olduğunca geniş bir veri kümesinin, mümkün olan en yüksek sıklıkta kaydedilmesidir. Geliştirilen çözümlerde sıklıkla kaydedilecek veri ile model arasında organik bir yazılım bağımlılığı kurulur. Bazı uygulamalarda rezerve edilmiş değişkenlere, kaydedilecek verilerin atanması ile daha esnek yapılar kurulmaya çalışıldığını görülür (Kelton, Sadowski, & Sturrock, 2006), (C. Dennis Pegden, Shannon, & Sadowski, 1995). Bu çalışmada, doğru zamanda doğru verinin kaydedilmesiyle gereksiz veri kaydının nasıl önüne geçileceği gösterilmiştir. Ayrıca, ilişkili varlıklar arasında kurulan ilişkilerin yansımaları ile hesaplanabilen verinin kaydedilmesi engellenmiştir. Simülasyon koşumlarında değişen amaçlara göre kaydedilecek verinin seçilebileceği bir mekanizma olan, koşum izi etmeni tanıtılmış ve veri kayıtları üzerinde yapılacak sorgular için geliştirilen betik dil tanıtılmıştır.

Bu çalışma, şu bölümlerden oluşmaktadır. İkinci bölümde, EtSiS'in genel tanımı, davranış, durum, davranış cepheleri (listeleri) kavramları ve ilişki tanımı detayları ele alınmıştır. Üçüncü bölümde, simülasyon işletiminde zeki koşum kaydı tasarımı ve ilişki kavramının koşum kaydı ve sorgulamasında kullanımı anlatılmıştır ve dördüncü bölümde ise verilen örnek senaryo ile kullanımı gösterilmiştir. Sonuç ve tartışmalar bölümünde, tekniğin avantajları ele alınmıştır.

2. EtSiS: ETMEN TABANLI SİMÜLASYON SİSTEMİ

EtSiS cephe tabanlı programlama, mantık programlama paradigmasını, durum tabanlı programlama paradigmasında tümleştiren, simülasyon ve etmen programlama için bir betik dil sunar. DtP temel olarak bir dil gramerine sahip olarak tasarlanmış, hiyerarşik sonlu durum otomatlarının betik programlamasıdır. EtSiS davranış olarak tanımladığı, hiyerarşik durum otomatlarının durum geçişlerini yürüterek işleten ve davranış ve içerdiği durumların eriştikleri fonksiyonları çalıştırarak simülasyon işletimini sağlar. İşletim kapsamında, durumlar için tanımlanmış zaman yönetimleri, davranışların faz yönetimleri (aktive olma, iptal olma, askıya alınma, tamamlanma, ve tekrar aktive edilme), varlıklar arasında iletilen olayların işletimleri, davranışların diğer davranışlar ile olan etkileşimleri (başlatma sonlandırma gibi faz geçişi sağlama), muhakeme algoritmalarına erişim ve muhakeme sonuçları ile davranışların yönetimi ve ilişkili simülasyon işletimine dair tüm adımlar mevcuttur (Hocaoglu, 2018).

Bir EtSiS modeli aşağıdaki gibi 7 bileşen ile gösterilir;

$M = \langle X, Y, \{S, F, P, \mu\}, t_a, \partial_{ext}, \partial_{int} \rangle$

X: Girdi kümesi (modeller arası iletilen ve M modeli tarafından alınan olaylar),

Y: Çıktı kümesi (M modelinin yayınladığı olaylar),

$\{S, F, P, \mu\}$: Model davranışları kümesi (hiyerarşik durum otomatları formunda tasarlanmış, özelleştirilmiş yapılar). S davranış durumlarını ve F ve P ise, sırasıyla, duruma ilişkilendirilen olguları (facts) ve önermeleri (predicates) ifade eder.

$t_a: S \rightarrow T^{\text{inf}}$ zaman ilerleme fonksiyonu davranış durumlarının hayatta kalma süresini gösterir. Durumun tanımlı süreyi tüketerek çıkması durumunda iç geçiş sağlanır. Bir olay ile kesilmesi durumunda ise durum içerisinde kaldığı süre tüketilerek harici geçiş sağlanır. Her geçiş davranış diyagramında bir sonraki duruma geçişi ifade eder. Her durum geçişi bir olay yayınlama noktasıdır.

$\delta_{\text{ext}}: Q \times X \rightarrow Y$ bir olayın model davranışlarında nasıl bir değişime sebep olduğunu belirleyen harici geçiş fonksiyonlarıdır. Burada $Q = \{(s, te) | s \in S, te \in E(T \cup \{0, ta(s)\})\}$ te durum tarafından harcanan son süredir.

$\delta_{\text{int}}: S \rightarrow S$ durumun tanımlı süresini tamamlayarak gerçekleştirdiği iç geçiş fonksiyonlarıdır.

μ : Durumlara ilişkilendirilmiş çıktı değer çağrılarını (fonksiyon, önerme parametresi, olay parametresi, plugin fonksiyon parametresi ve öznitelik) tanımlar ve koşum izi kayıtlarını oluşturur.

3. ZEKİ KOŞUM KAYDI

EtSiS'de iki tip koşum yörüngesi mevcuttur. Birinci tip koşum yörüngesi, simülasyon işletimi esnasında üretilen ve kaydedilmek üzere seçilen verilerin zaman etiketli değerleri olarak tanımlanır ve koşum izi etmeni olarak isimlendirilir. Koşum izi etmeni modele ait fonksiyonların geri dönüş değerleri, model öznitelik değerleri, model önerme çıktı parametre değerleri (mantık programlama), tetikleyici olay parametreleri ve davranış etki sahalı parametre tanımları (davranışa özel tanımlı parametreler) ile belirlenir.

İkinci tip koşum yörüngesi ise, bir simülasyon varlığının işletim esnasında yürüttüğü tüm davranışların, davranışların durum geçişlerinin ve işletilen mesajların zaman etiketli kaydı olarak tanımlanır ve davranış izi olarak isimlendirilir. Davranışlara ait tüm faz geçiş zamanları (başlatılma zamanı, bitirilme zamanı, askıya alınma zamanı, tekrar aktive edilme zamanı) kaydedilir. Davranışın faz geçişlerine ek olarak, bir davranışın işletimi esnasında hangi durumları işlettiği, durumların giriş ve çıkış zamanları kaydedilir. Örnek olarak, bir uçağın uçuşu süresince sahip olduğu irtifa değerleri, hızı, oryantasyon bilgileri, yakıt miktarının her biri birinci tip koşum yörüngesi olarak tanımlanır. Uçuşu esnasında yürüttüğü her bir davranışın faz geçişleri, davranışların yürüttükleri durum geçişleri zaman etiketli olarak ikinci tip koşum yörüngesini oluşturur.

Modele ait her bir davranışın bir doğal dil ifade karşılığı vardır. Davranış izi koşum yörüngesi, bir modelin senaryo boyunca yürüttüğü davranışların, diğer bir ifadeyle, neler yaptığının durum tabanlı bir dil ile ifade edilmesidir. Davranış koşum yörüngelerinden hangi durumda ne kadar süre ile kalındığının tespiti mümkün olduğu için modelin hangi davranışı ne kadar süreyle yaptığı sonucu da çıkarılabilir. Benzer şekilde, hangi davranışların paralel olarak ne kadar süreyle yürütüldüğü, hangi davranışın başlatılmasıyla hangi davranışın sonlandırıldığı aynı şekilde sorgulanabilir.

Daha önce de ifade edildiği gibi, zeki simülasyon yörünge kaydı doğru verinin doğru zamanda kaydedilmesi olarak tanımlanır. Bir modelin modelleme çözünürlüğünü davranışların durum çözünürlüğü belirler. Durumlar ne kadar küçük zaman adımlı ve ne kadar atomik seviyede işlev çözünürlüğe sahip ise model çözünürlüğü o kadar yüksektir. Koşum izi etmeninin içerdiği veri yapısı hangi durum içerisinde üretiliyor ise, koşum izi etmeni ilgili durum içerisinde deklare edilir. Bu verinin yalnızca üretildiği ve/veya değerinin değiştiği zamanlarda kaydedilmesini sağlar. Koşum izi etmeni tanımlaması hangi veri setinin hangi durum içerisinde kaydedileceğinin tanımlamasını içerir. Tanımlama yapılan durumları içeren davranışların ilgili durumu işlettikten sonra, durum çıkış fazında koşum izi kaydı gerçekleşir. Koşum izi kayıt değeri, koşum izi etmen deklarasyonundan alınır ve zaman etiketi olarak ilgili durumun kayıt fazı olan çıkış fazı zamanı olarak belirlenir.

Genel olarak, koşum izi kaydı veya simülasyon yörüngesi kaydında karşılaşılan sorunu aşağıdaki gibi özetleyebiliriz;

- Sürekli olay simülasyonlarında, zaman adımlı işletimlerde her zaman adımında durum vektörünün kaydedilmesi; bu durumda durum değişkenlerinde bir değişim olup olmadığı kontrol edilemeden tüm vektörün kaydedilmesi kayıt hacmini artırır ve işletim hızını düşürür. Kullanıcı tanımlı olarak durum vektörü, sürekli olay simülasyonlarında bir modelin kalitatif değer noktalarını içerir. Şöyleki, bir kovanın su ile dolduruluyor olması sürekli bir olaydır ve durum vektörü kovanın boş olması ve tam dolu olması gibi iki kalitatif değer ile tanımlanabilir. Ara tüm değerler, kovanın bir miktar dolu olması ve taşması, tanımlı kalitatif değerler arasında yer alır (Mehmet Fatih Hocaoglu, n.d.). Benzer şekilde bir uçağın uçuşunda her bir simülasyon ilerleme adımı, sonraki rota bacağı noktasına olan süre, kalan yakıtın harcanma süresi ve çizelgelenen bir çarpışma olayı varsa olay gerçekleşme zamanı ile durum vektörüne eklenir. İlerleme adımı minimum zamanlı adım olarak belirlenir ve yöntemle simülasyon işletimi kalitatif değer noktalarına erişim zamanının hesaplanması ile kesikleştirilir.
- Kesikli olay simülasyonlarında tanımlı olay, kesikli zaman adımlarında veya sabit zaman aralıklarında durum vektörünün kaydedilmesi;
 - Sabit zaman aralıklarında durum değişimlerinin yakalanamaması durumu ile karşılaşılır.
 - Kesikli zaman kayıt durumunda sürekli olaya göre göreceli olarak daha az kayıt alınabilse de kayıt zaman tabanlı yapılabildiği için bir filtre mekanizması, ancak, probleme özgü geliştirilebilir.
 - Tanımlı şartlara göre kayıt en az kayıt hacmini doğurur fakat kaydedilecek değerlerin filtrelenmesi ve kayıt şart tanımları probleme özgü tanımlanabilir.

Geliştirilen yaklaşımın iki çözüm ayağı vardır. Birinci ayak, koşum izi kayıtlarının tanımlı durum geçişlerinde ve yalnızca ilgili duruma ilişkilendirilmiş verilerin kaydının sağlanmasıdır ve EtSiS bunun için tanımlı bir gramere sahiptir. Dil betimlemesi

içerisinde yürütülen ve model kodları ile derlenmeyi gerektirmeyen bir yapı sunulduğu için herhangi bir çözüm ile yazılım bağımlılığı doğurmaz.

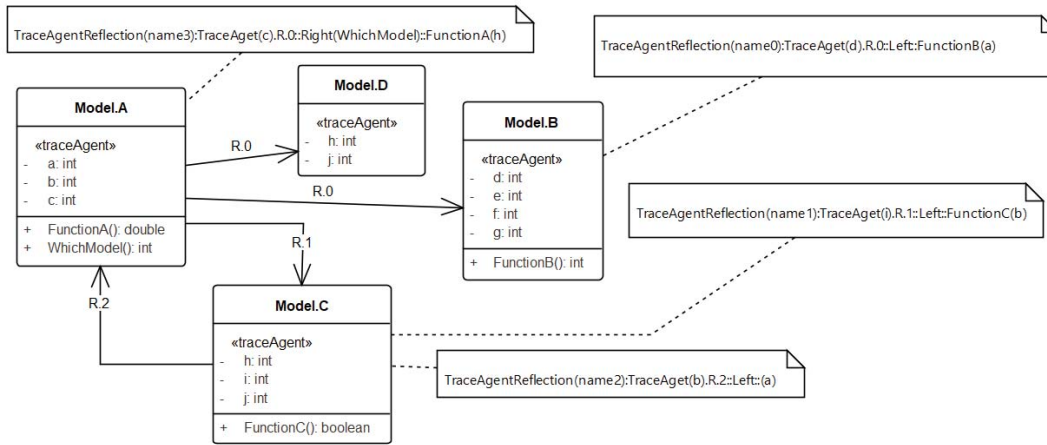
Çözümün ikinci ayağı ise aralarında ilişki tanımlanmış varlıkların koşum yörüngelerinin, ilişki üzerinden tanımlanmış fonksiyonlar ile hesaplanabilir veriler olarak kullanımınıdır.

3.1. İlişki Tabanlı Koşum Sorgulama

Modeller arasında kurulan ilişkiler üç farklı amaç için kullanılır. Bunlardan ilkinde, ilişkiler tarafların mesajlaşmaları için bir haberleşme kanalı oluştururlar. Varlıklar birbirlerine doğrudan kimlik bilgisine sahip olmadan mesaj iletimini ilişki tanımı üzerinden yürütebilirler. Örnek olarak, A modeli ile B modeli arasında R ilişkisi tanımlanmış olsun ve bu ilişkilendirmede A ilişkinin sol, B ise sağ tarafında yer alsın ($A \rightarrow RB$). A modeli B modelini “R isimli ilişki ile ilişkilendirildiği ve bu ilişkinin sağında yer alan varlık” olarak dolaylı bir tanımlama yaparak, modelin kimliğini bilmeden olay mesajı iletimi yürütebilir. Aynı, ilişki farklı modeller ile de tanımlanabilir, bu durumda ilişkinin diğer ucunda hangi varlığın olduğundan bağımsız bir haberleşme ağı sağlanır. Özellikle model seviyesinde bir soyutlama sağlarken (abstraction), farklı modeller ile olan aynı olay etkileşimi durum tabanlı programlama yaklaşımında çok biçimlilik (polymorphism) olarak ele alınabilir.

İlişkilerin kurulması ve kaldırılması safhalarında tarafların tanımlı fonksiyonları işletmeleri ve tanımlı davranış listelerini aktive etmeleri sağlanır. İkinci tip kullanım olarak nitelendirebileceğimiz kullanım, ilişkinin kurulması ve kaldırılması aşamaları için bir hazırlık eylemi yürütürken, aktive edilen davranış cepheleleri ile dinamik cephe yönetimi sağlanır. İlişkinin varlığı ve yokluğu farklı davranış yapılarına, farklı modelleme cephelelerine dinamik geçişi sağlar (M Fatih Hocaoglu, 2017).

Üçüncü kullanım konsepti ise, ilişkilendirilen varlıklar arasında bir koşum izi etmeni değer eşlemesi amacıyla kullanımınıdır. Şekil 1’de görüldüğü gibi, ilişkilendirilen iki varlığın öznitelikleri arasında bir eşleme yapılmıştır. Eşlemede, hangi modelin hangi koşum izi etmeninin, ilişkili varlığın hangi koşum izi etmeni değeri ile, hangi fonksiyon kullanılarak belirleneceği gösterilmiştir.



Şekil 1. Varlıklar arası ilişkiler ve koşum izi etmeni ilişkilendirme

Şekil 1’deki A modeli ile B modeli arasında kurulan R0 ilişkisi ile Model.B’ye ait koşum izi etmeni “d”nin değerinin, ilişkinin solunda yer alan modelin koşum izi etmeni “a”nın değerinin FunctionB ile hesaplanarak tespit edileceğini göstermektedir. Kurulan bu ilişkilendirme “Trace Agent Reflection” olarak isimlendirilmiş ve bir isim verilmiştir. Burada ilişkinin solunda yalnızca bir adet model olduğu için koşum izi etmeninin hangi modele göre belirleneceğinin doğrudan belirtilmesine gerek yoktur. Oysa, Model.A üzerinde yapılan deklarasyonda, R.0 ilişkisi ile ilişkilendirilen iki adet model mevcuttur. Bu durumda, hangi modele ait koşum izi etmeni değeri Model.A’nın “c” isimli koşum izi etmeninin değerinin belirlenmesinde kullanılacağı bir fonksiyon ile belirlenir. Örnekte, fonksiyon “WhichModel” olarak girilmiştir. Tespit edilen model kimliği kullanılarak, örnekte Model.D olarak belirlenen modelin “h” isimli koşum izi etmeni, yine Model.A’ya ait olan FunctionA isimli fonksiyonun girdi parametresi olarak kullanılarak değeri belirlenir. Eğer bir koşum izi etmeni herhangi bir fonksiyondan geçirilmeden, değeri doğrudan bir değer etmene eşlenecek ise ya herhangi bir fonksiyon deklarasyonu yapılmaz ya da bir boş fonksiyona gönderilir ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

```
double Model.C::EmptyFunction(double a)
{return a;}
```

Şekil 1’de Model.C ile Model.A arasında R.2 ilişkisi kullanılarak yapılan deklarasyon değeri doğrudan kullanımına örnek olarak verilmiştir.

Simülasyon koşumunun hızının artırılması için zaman zaman birbiri ile ilişkili olan varlıkların pozisyon güncellemesi gibi işlemler, ilişkili varlığın diğer varlığı kullanım aşamasına kadar ertelenir. Örnek olarak, bir füze taşıyan uçağın her hareketinde füzenin

pozisyon ve oryantasyon bilgisinin de güncellenmesi gerekir fakat bu füzenin ateşlenmesine kadar ertelenebilir. İkinci bir durum ise, ilişkili varlıklar arasında eşleştirilmiş koşum izi etmenleri birbirlerine göre hesaplanabileceği için simülasyon esnasında ilişki var olduğu sürece hesaplanabilen koşum izi etmeni için kayıt alınmaz. Füze pozisyon ve oryantasyonu aralarında “*Taşır*” ilişkisi var olduğu sürece uçağın pozisyonuna ve oryantasyonuna göre hesaplanabildiği için, koşum kayıt hacmini azaltmak adına, ilişkinin kurulu olduğu süre boyunca, birbirleriyle ilişkilendirilmiş olan koşum izi etmeni kayıtlarının alınmaması buna örnek olarak verilebilir. İlişkinin kaldırılması, örnek olarak füzenin ateşlenmesiyle, kayıt alınmasına bir başlangıç olacak ve koşum izi etmenleri veri kaynaklarından biri olan model öznitelik değerleri için ilk değerler ilişkili varlık tarafından atanacaktır. F16’nın füzeyi ateşlediği anda pozisyon, oryantasyon ve ilk hız değerlerini atayıp “*Taşır*” ilişkisini kaldırması tipik bir örnek durumdur.

Bu tercih koşum izi kayıtları sorgulanmasında bir farklılığı gerektirir. Bu amaçla EtSiS’in koşum izi etmeni ve davranış izi sorgulamaları için bir betik sorgu diline ilişki sorgu kavramı dahil edilmiştir. Davranış izi betik sorgusu, sorgulanacak davranışın faz sorgularını, örneğin, davranışın ne zaman aktive olduğu ne zaman tamamlandığı, ne zaman iptal edildiği vb., ve davranış durum sorgularını içerir. Örneğin, F16’nın *Fsa_Fly* isimli davranışının içerdiği *St_Fly* isimli duruma giriş ve çıkış zamanları sorgulanabilir. Birden fazla sorgu mantıksal ifadeler ve matematiksel operatörler ile birleştirilerek karmaşık sorgu olarak tanımlanabilir. Şekil 2’de bir durum sorgu betiği görülmektedir. Sorgu “*Plane*” tipindeki tüm varlıkların “*Fsa_Move*” davranışının aktive edilmesi ile ilgilidir ve köşeli parantez içerisinde yazılan davranış aktivasyon zamanı, davranıştan çıkış zamanı, davranış aktif kalma süresi sorgu sonucunda alınmıştır. Sorgu *Scn1* isimli senaryo koşumu için yürütülmüştür.

```
SCENARIO<Scn1>→MODELTEMPLATE<Plane>→FSA<Fsa_Move>→PHASE<ACTIVATED>
←[FSAENTRYTIME, FSAEXITTIME, FSADURATION]
```

Şekil 2. Davranış İzi Sorgusu

Şekil 3’de görülen sorguda *plane* tipindeki tüm modellerin *Fsa_Move* davranışı aktivasyon fazı sorgulanırken “ve” mantıksal operatörü ile F16-1 tekil modelinin (*instance*) aynı zamanda *Fsa_Active* isimli davranışının askıya alınıp alınmadığı sorgulanmaktadır. Söz konusu faz geçiş zamanları sorgu sonucu olarak alınmaktadır.

```
((SCENARIO<Scn1>→MODELTEMPLATE<Plane>→FSA<Fsa_Move>→PHASE<ACTIVATED>) &&
(Scn1>→ENTITY<F16-1>→FSA<Fsa_Active>→PHASE<SUSPENDED>))←[FSAENTRYTIME]
```

Şekil 3. Davranış izi sorgusu

Koşum izi etmeni üzerinde yürütülecek betik sorgu yürütülecek senaryo koşumu ismini ve sorgulanacak koşum izi etmenini içerir. Sorgulama koşum izi etmeninin değer tipine bağlı olarak matematiksel filtrelemeler (>, <, ≥, ≤, ≠, =) ve mantıksal ifadelerle (and, or) birleştirilmiş karmaşık ifadeler olarak tanımlanabilir. Şekil 4’deki *Yuksekklik* isimli koşum izi etmeninin 20. zaman noktasından daha sonraki değerleri ve *Hız* isimli koşum izi etmeninin 340. zaman noktasından önceki değerleri, *YakitTuketimi* isimli koşum izi etmeninin ve *Hız* etmeninin değerlerinin 200’den büyük veya eşit olduğu sorgu değerleri (VALUE) elde edilir (Şekil 4). Karmaşık sorgu yapısında da görülebileceği gibi, her bir sorgu bileşeni farklı senaryolarla ilişkilendirilebildiği için farklı senaryo koşumları arasında kıyaslama yapabilmek imkânı sunulur.

```
((SCENARIO<Scn1>→ENTITY<F16-1>→TRACEAGENT<Yuksekklik>→TIME≥20)&&( (SCENARIO<Scn1>→ENTITY<F16-1>→TRACEAGENT<Hız>→TIME≤340)&&( (SCENARIO<Scn1>→ENTITY<F16-1>→TRACEAGENT<YakitTuketimi>→VALUE≥200)&&( (SCENARIO<Scn1>→ENTITY<F16-1>→TRACEAGENT<Hız>→Value ≥ 200)))) ←[VALUE]
```

Şekil 4. Karmaşık koşum izi etmeni sorgusu

Koşum sonrası sorgulamada ilişkinin mevcut olduğu durumlarda sorgu betiği sorgulanan koşum izi etmeninin ilişkili varlık üzerinden gerçekleştirir. İlişki kaldırıldıktan sonraki durumlar için ise sorgu doğrudan varlık üzerinden yürütülür. Şekilde görülen Model.A ve Model.B arasında kurulan koşum izi etmen eşlemesine ait sorgu aşağıdaki şekilde tanımlanır. Model.B’ye ait *d* isimli koşum izi etmeni değeri *name0* isimli eşleme (Reflection) belirlenir. Belirlemede Model.A’ya ait “a” isimli koşum izi etmen değeri *FunctionB* isimli fonksiyona gönderilir ve elde edilen geri dönüş değeri Model.B “d” koşum izi etmeni sorgusu olarak kullanılır. Sorgu geri dönüş değerleri ise değer (VALUE) ve zaman (TIME) olarak belirlenmiştir. Sorgulama Model.A’nın “a” koşum izi etmeni üzerinden yürütülse de koşum izi etmeni sorgusu için alınan değerler *FunctionB*’de hesaplanarak koşum izi etmeni “d”nin değeri bulunur ve bu değer koşum izi etmeni “a”nın ilgili zamandaki değer karşılığıdır.

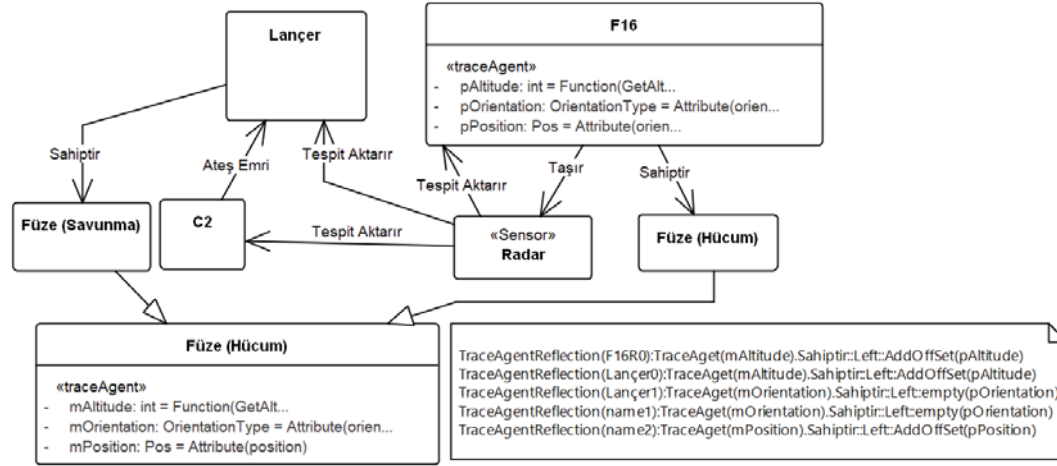
```
SCENARIO<S0>→ENTITY<Model.B>→TRACEAGENT<d::Reflection(name0)>
→Value≥200)))←[VALUE, TIME]
```

Şekil 5. İlişkili varlıklar koşum izi etmeni sorgusu

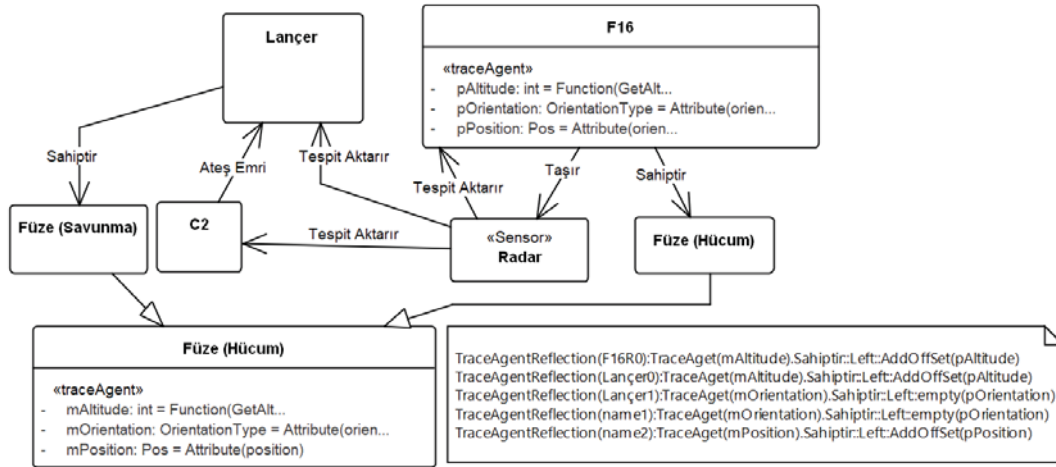
Tanımlama yapılarından kolaylıkla görülebildiği gibi, varlıklar arasında kurulan fonksiyonel bir ilişkilendirme ile yapılan bir koşum kaydından, ilişkili varlık için ilgili zamana ait bir yörünge değeri hesabı yapılmıştır.

4. ÖRNEK SENARYO

Senaryoda kırmızı ve mavi taraflara ait iki F16 uçağı üçer adet havadan yere hücum füzeleri taşımaktadır. Yerde ise bir füze savunma sistemi konuşlanmıştır. Sistem bir komuta kontrol modeli, bir radar, bir lançer ve 10 adet yerden havaya savunma füzelerden oluşmaktadır. Hücum füzeleriyle F6'lar arasında ve lançer ile savunma füzeleri arasında “Sahiptir” ilişkisi kurulmuştur. Varlıklar arasında kurulan ilişkiler ve koşum izi etmen ilişkilemleri



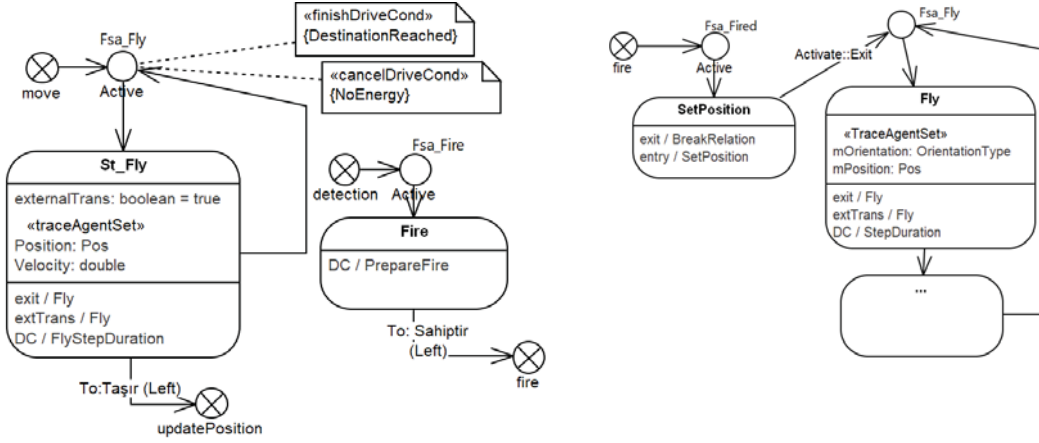
Şekil 6’de gösterilmiştir. Şekilde koşum izi etmen tanımlamaları ve etmenler arası ilişkilendirmeler görülmektedir. Koşum izi etmenlerinin içerdiği veri deklaryonda belirtilmiştir (Attribute(position), Function(GetAltitude)). Şekilden de görülebileceği gibi, hücum ve savunma füzeleri bir temel füze modelinden türetilmişlerdir ve koşum izi etmenleri (trace agents) miras yoluyla alınır.



Şekil 6. Varlıklar arası ilişkiler ve koşum izi etmeni ilişkilendirme

Uçak modeli “move” olayı aldığı anda Active durumu içerisinde ise *Fsa_Fly* isimli davranışı aktive eder. Davranış döngüsel bir davranıştır ve durum çıkışında kendisine verilen zaman ilerlemesine veya kendi istediği *FlyStepDuration* zaman adımı kadar *St_Fly* durumunu işleterek uçar. Durum çıkışında tanımlı koşum izi etmenlerinin kaydımlı gerçekleştirir. Sensörler uçaklarla ilişkilidir (Taşır ilişkisi ile) ve uçakların her hareketinde pozisyonları, *updatePosition* olayıyla, güncellenmektedir (Şekil 7).

Senaryoda uçaklar birbirlerini, sahip oldukları sensörlerle, hedef tespit ettikleri anda füzelerini ateşlemektedirler. *Detection* olayını alan *F16* modeli *Fsa_Fire* davranışını aktive eder ve Fire durumunda *PrepareFire* fonksiyonu tarafından hesaplanan süre kadar bekledikten sonra, “Sahiptir” ilişkisi ile ilişkilendirilmiş olduğu varlığa (bu durumda füze varlığı) *fire* olayını gönderir. *F16*’ların konumları değişmiş olmasına rağmen, etkin bir koşum hızı için, “Sahiptir” ilişkisi ile sahip olduğu füzelerin pozisyon ve oryantasyon bilgilerini güncellemez. Ateş emri alan füze (fire olayı ile) olay parametresi ile iletilen pozisyon ve oryantasyon parametrelerini alır ve *SetPosition* durumunda kendi pozisyonu olarak atar ve uçak ile arasında kurulu ilişkisini kaldırır (Şekil 7). Durum çıkışında füzenin uçuş davranışı olan *Fsa_Fly* aktive edilir (Davranış özet olarak verilmiştir). *Fsa_Fly* davranışı *Fly* durumu içerisinde deklare edilmiş olan *position* ve *orientation* isimli koşum izi etmenlerinin ürettikleri değerler durum çıkışında kaydedilir. Koşum sonrası analizde, füze *pozition*, *orientation* ve *mAltitude* koşum etmeni üzerinde yapılan sorgulamalarda, “Sahiptir” ilişkisi kaldırılncaya kadarki kısım için tanımlı ilişkilendirme dikkate alınarak (reflection) yürütülür.



Şekil 7. Uçak Davranışları ve Füze davranışları

Sorgu betiği *mAltitude* koşum izi etmeni için Şekil 8’de görülmektedir. Sorguda füze için *mAltitude* isimli koşum izi etmeni F16 modeline ait *pAltitude* isimli koşum izi etmeni üzerinden sorgulanmakta ve *pAltitude* koşum izi etmeninin alınıp *AddOffset* isimli fonksiyona girilerek parametresi olarak gönderilmesi ve fonksiyon geri dönüş değerinin füze yükseklik değeri olarak alınması ile sağlanmıştır. Alınan yükseklik değeri 200 değerinden büyük veya eşitse değer ve değerlerin tespit edildiği zaman sorgu sonucu olarak döndürülmektedir.

```
(SCENARIO<Scn1>→ENTITY<Füze-1> →TRACEAGENT< mAltitude::Reflection(F16R0)>
→Value >= 200)))←[VALUE, TIME])
```

Şekil 8. İlişki durumunda füze yüksekli sorgusu

Lançer ile füze arasında kurulan Lançer0 isimli koşum izi ilişkilendirme tanımı sonucunda, hücum füzelerinin pozisyonu, ateşleninceye kadar ilişkili oldukları lançer pozisyonu üzerinden hesaplanacaktır. Radar tarafından komutana iletilen tespit doğrultusunda (C2 ve Radar arasındaki “Tespit Aktarı” ilişkisi üzerinden) komutan (C2 varlığı) “Ateş Emri” ilişkisi ile ilişkilendirildiği lançere angajman emri verir. Radar ile lançer arasındaki “Tespit Aktarı” ilişkisi ile lançer hedefi ateşleme gerçekleşinceye kadar takip eder. Ateşlenme sonrası ilişki kaldırılacağı için pozisyon bilgisi kendi koşum izi etmeni tarafından pozisyon öznetiliği kullanılarak kaydedilecektir. Benzer şekilde, Lançer1 isimli ilişkilendirmeye, lançer namlu oryantasyonu ile savunma füzesi oryantasyonu eşlenmiştir. Senaryo varlıkları arasındaki tüm iletişim ilişki tanımları üzerinden gerçekleşir. Bu bir varlığın mesajını ilişkili varlığa gönderirken ilişkinin diğer ucunda hangi varlığın olduğunu bilmesinin gerekli olmadığını gösterir. Varlıklar arasındaki bu doğrudan olmayan ilişki, simülasyondaki varlıkların birbirlerinden tamamen bağımsız olmalarını sağlar.

5. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

Sürekli olay simülasyonlarında sıklıkla kullanılan zaman dilimleme yönteminde (Cellier, F. E., Kofman, 2006; Murray-Smith, 1995), belirlenen her bir zaman adımında modele ait bir durum vektörü oluşturulur ve zaman adımlarında yörünge kaydı gerçekleştirilir. Bu yaklaşımda, durum vektörünü uzun süre değiştirmeyen varlıklar için aynı verinin gereksiz olarak çok defa kaydedilmesini, zaman adımından daha kısa sürede durum vektörü değişimi yapan varlıklar için ise adımlar arasında kalan değişimlerin kaydedilmemesi sonuçlarını doğurur. Durum vektörleri, modele ait kalitatif değer noktalarını da sıralı olarak içerir. Simülasyon kalitatif değer noktaları üzerinden ilerletilerek kesiklilik sağlanır. EtSiS’de durum vektörü, zaman dilimleme yönteminde olduğu gibi her zaman adımında değil, değer değişimlerinde ve kesiksizleştirilmiş durum çıkışlarında gerçekleştirilir. Bu sabit zaman adımı işletime göre daha hızlı ve alınan kayıtların daha anlamlı olmasını sağlar. Çözüm hesaplama duyarlılığını da yükseltir. Çünkü çok küçük zaman adımlarında çift duyarlılık (double precision) hatası yükselirken, büyük zaman adımı işletimlerde Fourier yuvarlatma hataları yükselir. Sürekli olay simülasyonları için EtSiS’in sağladığı durum tabanlı kesiklilik, sürekli ve kesikli olay simülasyonlarının her ikisi için, çözümü ortak bir çözüm haline getirir.

Kesikli olay simülasyonlarında koşum kaydı tanımlı olayların oluşumu, kullanıcı tanımlı şartların sağlanması ve sabit veya değişken zaman aralıklı koşum kaydı tanımı yapılabilsede, bu ancak uygulama bağımlı bir çözüm olarak, yüksek yazılım bağımlılığı ile gerçekleştirilebilmektedir. Mevcut çözüm belirtimsel bir koşum kayıt yapısı ve betik bir sorgu yapısı sunduğu için herhangi bir yazılım bağımlılığı sunmaz ve tüm tanımlamalar için bir gramer sunar. Koşum izi etmeni tanımlamaları model betik yapısı içerisinde yer aldığı ve model kaynak kodu ile derlenmediği için farklı simülasyon koşum analizleri için, model iç yapısına müdahale edilmeden değiştirilmeleri mümkündür. Bu esneklik, zayıf yazılım bağımlılığı (loosely coupled), ortogonalite gibi pek çok yazılım mühendisliği kriterini destekler.

Geliştirilen çözüm ile varlıklar arasında mevcut olan ilişkilerin, koşum yörüngesine olan semantik yansımaları tanımlanmıştır. Bunun için ilişkinin varlıklar arasında hangi koşum kaydının nasıl bir fonksiyon ile ilişkili varlığa yansıtıldığı tanımlanmıştır. Koşum sonrası analizler için bu yansımaların sorgu betikleri tanımlanmıştır. Yapılan tanımlamalar deklarasyon düzeyinde olduğu için hem geliştirilmeleri, hem de farklılaşan amaçlar için yeni eklenti ve değişiklikler için esnek bir yapı sunar.

Geliştirilen kayıt ve sorgu mekanizmasıyla daha düşük hacimli veri kaydı imkânı sağlanmıştır. Bu kayıt performansını artırırken, gereksiz sıklıkta veri kaydının önüne geçer ve seçilen zaman adımından daha küçük zaman adımlı eylemlerden doğan değer değişimlerinin kaydedilmeme sorununu da ortadan kaldırır. Zira, zaman adımı ne kadar küçük olsa da, her durum geçişi tanımlı koşul izi etmeleri için kayıt anlamı taşır. Sunulan sorgu betik yapısıyla, genel bir veritabanı kuralı olan, hesaplanabilen verinin kaydedilmemesi ilkesi, sağlanır. Bir modele ait koşul kaydı, ilişkili olduğu modelin ilişki fonksiyonu ile hesaplanarak oluşturulur ve bu sorgu performansını artırır.

Önerilen çözüm ile, geleneksel olarak uygulanan, her simülasyon senaryo varlığının koşul kayıtlarını gerçekleştirme yerine, varlıklar arasında tanımlı ilişkilere atanmış fonksiyonlar kullanılarak, sorgulamaların kurulan semantik ilişkiler üzerinden yapılması sağlanmıştır. Analiz, sorgu ve kayıt avantajlarına ek olarak, ilişki varlıklar arasında birbirlerinden bağımsız, birbirlerinin iç yapılarına dayanmayan bir iletişim kanalı oluşturur.

REFERANSLAR

- C. Dennis Pegden, Shannon, R. E., & Sadowski, R. P. (1995). *Introduction to Simulation Using Siman*. McGraw-Hill.
- Cellier, F. E., Kofman, E. (2006). *Continuous System Simulation* (Springer.). Springer.
- Hocaoglu, M. F. (n.d.). *Qualitative Reasoning for Quantitative Simulation*. <https://doi.org/10.1155/2018/7842402>
- Hocaoglu, M. F. (2005). AdSiF : Agent Driven Simulation Framework. In Joseph S. Gauthier (Ed.), *Hunsville Simulation Conference -HSC2005*. Huntsville, Alabama.
- Hocaoglu, M. F. (2011). EtSiS: Etmen tabanlı Simülasyon Sistemi. In 4. Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı, USMOS'2011.
- Hocaoglu, M. F. (2017). Aspect Oriented Programming Perspective in Software Agents and Simulation. *International Journal of Advancements in Technology*. <https://doi.org/10.4172/0976-4860.1000186>
- Hocaoglu, M. F. (2018). AdSiF: Agent driven simulation framework paradigm and ontological view. *Science of Computer Programming*, 167, 70–90. <https://doi.org/10.1016/j.scico.2018.07.004>
- Johnstone, M., Le, V. T., Zhang, J., Gunn, B., Nahavandi, S., & Creighton, D. (2015). A dynamic time warped clustering technique for discrete event simulation-based system analysis. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*, 42(21), 8078–8085. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.06.040>
- Kelton, D. W., Sadowski, R., & Sturrock, D. T. (2006). *Simulation with Arena*. McGraw-hill Publisher.
- Kemper, P., & Tepper, C. (2009). Automated trace analysis of discrete-event system models. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 35(2), 195–208.
- Meneses, E., & Kalé, L. V. (2015). CAMEL : Collective-aware Message Logging, (March), 2516–2538. <https://doi.org/10.1007/s11227-015-1402-3>
- Murray-Smith, D. J. (1995). *Continuous System Simulation*. University of Glasgow, Glasgow, UK: Chapman & Hall.
- Nomoto, H. (2004). State Oriented Programming. In *Proceedings of the Eighth IEEE International Symposium on High Assurance Systems Engineering (HASE'04)*, 2004.
- Sterkin, A. (2008). State-Oriented Programming. In *6th MPOOL Workshop*, Cyprus.
- Vasyutynskyy, V., Gellrich, A., Kabitzsch, K., & Wustmann, D. (2010). Analysis of internal logistic systems based on event logs. In *IEEE conference on emerging technologies and factory automation (ETFA)*.



Seminal Quality Prediction Using Deep Learning Based on Artificial Intelligence

Hilal Benli ¹, Bülent Haznedar ², Adem Kalınlı ³

¹Erciyes University, Institute of Science and Technology, Department of Computer Engineering, 38039 Kayseri, TÜRKİYE

²Hasan Kalyoncu University, Engineering Faculty, Department of Computer Engineering, 27100 Gaziantep, TÜRKİYE

³Erciyes University, Engineering Faculty, Department of Computer Engineering, 38039 Kayseri, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 19/10/2018

Kabul/Accepted: 13/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Abstract

Fertility rates have dramatically decreased in the last two decades, especially in men. It has been described that environmental factors, as well as life habits, may affect semen quality. This paper evaluates the performance of different artificial intelligence (AI) techniques for classifying fertility dataset that includes the semen sample analysed according to WHO 2010 criteria and publicly available on UCI data repository. In this context, deep neural network (DNN) which involved in many studies in recent years is proposed to classify fertility dataset successfully. For the purpose of comparing the proposed method's performance, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference system (ANFIS) is also used for the classification problem. The results show that the performance of the DNN has the best with the average accuracy rate of 90.11%, and the results of the other ANFIS methods are also satisfactory.

Key Words

"Classification, fertility, statistical methods, artificial intelligence, deep learning, ANFIS"

1. INTRODUCTION

In recent years there has been a decline in fertility rates, especially in men. Fertility rate varies depending on some environmental factors and living conditions. There are several reasons that affect the amount of semen quality in men, such as environmental and seasonal factors, accident or serious trauma, childish diseases, smoking and daily activity. The analysis of the semen quality is important and a good predictor for male fertility potential.

Various studies have been carried out in this issue. Gil et al. (2012) compared three artificial intelligence methods: Decision Trees, Multilayer Perceptron (MLP) and Support Vector Machines, for prediction of the seminal quality. Girela et al. (2013) proposed a neural network approach based on MLP in order to estimate semen parameters. Wang et al. (2014) proposed a Clustering-Based Decision Forests method to tackle unbalanced class learning problem in seminal quality prediction. Bidgoli et al. (2015) proposed an optimized MLP for predicting seminal quality.

Deep learning, a subfield of machine learning, is a growing trend that is becoming increasingly common in general data analysis. In this paper, we compare the prediction performance of DNN and ANFIS trained using Hybrid (HB) algorithm, Genetic Algorithm (GA) and Simulated Annealing (SA) algorithm, by calculating the effects of environmental factors and life habits on male fertility potential. The rest of the paper is organized as follows: In the section 2, deep learning and neural network structure are presented. In the section 3, the dataset and proposed method are described, and finally in the section 4, the results and discussions are specified.

2. DEEP LEARNING: AN OVERVIEW

Deep Learning is a new area of machine learning research and has become a widely used method in recent years both academia and the industry. Deep learning is an improvement of artificial neural networks, consisting of more layers that permit higher levels of abstraction and improved predictions from data (LeCun et al., 2015).

Artificial neural networks (ANN) have been developed inspired by the working structure of the human brain and widely used in many applications. ANN is composed of a number of neurons and one of the artificial intelligence techniques trained to generate an output from a combination of input data. The elementary neuron is simulated by a model such as:

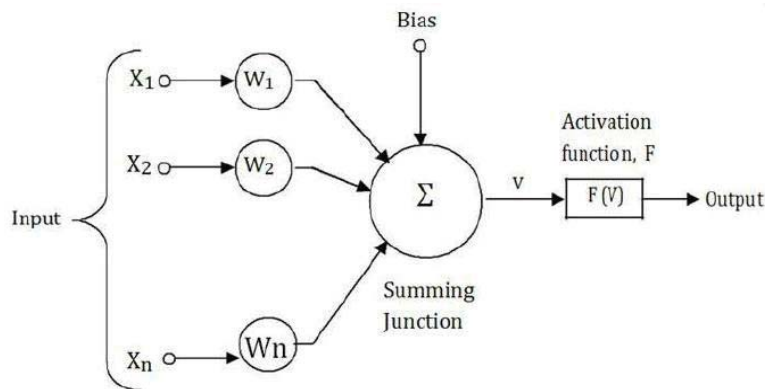


Fig. 1. An elementary neuron with n inputs

The output of the neuron is $a = f(z)$, where $z = \sum_j w_j x_j + bias$ is the weighted sum of the inputs. Feed-forward neural network architectures composed of multiple layers of neurons and each layer feeds the subsequent layer.

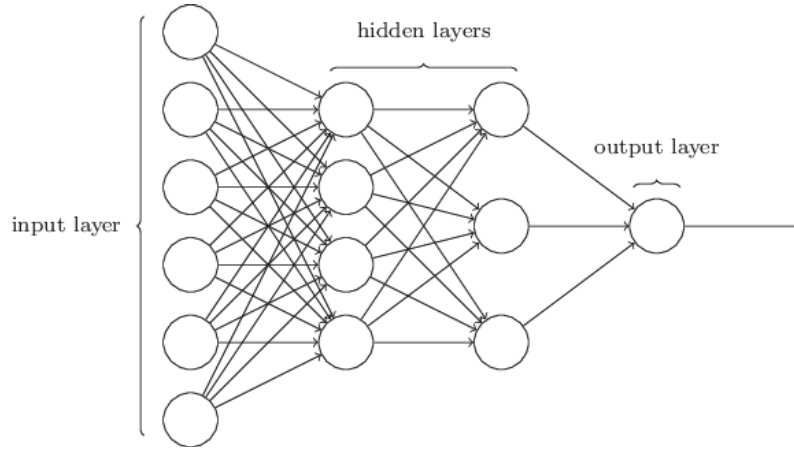


Fig. 2. An illustration of the neural network structure.

A feed-forward fully-connected multi-layer neural network is known as Deep Neural Network (DNN). DNN has become a widely used method in classification problems because of its excellent classification performance in recent years. In DNN each layer of nodes trains on a distinct set of features based on the previous layer's output and can be modelled as Eqs. (1) and (2).

$$h(n) = y(n-1)w(n) + bias \quad (1)$$

$$y(n) = f(h(n)) \quad (2)$$

$h(n)$ denotes the hidden layer from 1 to N . $y(n-1)$ is the output of the previous layer, $w(n)$ is the learnable weights and $bias$ is the learnable biases of the layer. f is the nonlinear activation function. The activation function used in hidden layers for feed-forward architecture is the Rectified Linear Unit (ReLU) the most used nonlinear function in recent years and modelled as Eq. (3).

$$f(x) = \max(0, x) \quad (3)$$

Sigmoid function given in Eq. (4) is used on the output layer for predicting the class.

$$f(x) = sigmoid(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (4)$$

Root Mean Square Propagation (RMSprop), an objective function is used in order to correctly classify the instances/classes, update the parameters of the model and reduce the error. RMSprop is a robust optimizer and applicable to mini batch learning (Tieleman&Hinton, 2012). In RMSprop, a moving average of the squared gradient is kept for each weight time step t :

$$r_t = (1 - \gamma) f'(\theta_t)^2 + \gamma r_{t-1} \quad (5)$$

$$v_{t+1} = \frac{\eta}{\sqrt{r_t}} f'(\theta_t) \quad (6)$$

$$\theta_{t+1} = \theta_t - v_{t+1} \quad (7)$$

Eqs. (5), (6) and (7) are the formulas of the parameter updates, where η is the learning rate, γ is decay term and θ is parameters of the network.

3. THE PROPOSED METHOD

The study is performed to classify fertility dataset (Gil et al., 2012) obtained from the UCI Machine learning repository. The fertility dataset includes a labelled dataset of 100 sample who were between 18 and 36 years old provided a semen sample for analysis as well as their socio-demographic data, environmental factors, health status and life habits. 100 volunteers provide a semen sample analysed according to the World Health Organization 2010 criteria (WHO, 1999). The dataset includes two classes

as semen quality: “normal” (N) and “altered” (O). There are 12 samples as altered and 88 as normal. This implies that the dataset is so unbalanced and classification of labelled as "altered" instances in the whole dataset is very hard. The details of the data features with their values normalized can be seen from Table 1.

Table 1. List of the variables with their descriptions and their values range.

Feature description	Values	Normalized
Season in which the analysis was performed	1) winter, 2) spring, 3) Summer, 4) fall	(-1, -0.33, 0.33, 1)
Age at the time of analysis	18-36	(0, 1)
Childish diseases	1) yes, 2) no	(0, 1)
Accident or serious trauma	1) yes, 2) no	(0, 1)
Surgical intervention	1) yes, 2) no	(0, 1)
High fevers in the last year	1) less than three months ago, 2) more than three months ago, 3) no	(-1, 0, 1)
Frequency of alcohol consumption	1) several times a day, 2) every day, 3) several times a week, 4) once a week, 5) hardly ever or never	(0, 1)
Smoking habit	1) never, 2) occasional , 3) daily	(-1, 0, 1)
Number of hours spent sitting per day	0-16	(0, 1)

To evaluate the performances of the methods, the dataset is randomly divided into two subsets. The train set (70%) is used for training, the remaining 30% is used for testing. This method is used only in the first part of the work. In addition, because of the limited number of “altered” class in dataset, the cross-validation method is used to accurately evaluate the model's ability to generalize. The goal of the cross-validation method is to test the validity of the results by repeating an experiment on independent conditions. For example, in statistical classification problems, after dividing a set of data into approximately equal k clusters, use $k-1$ cluster to construct the classifier for each k , and test the classifier with the remaining cluster. This method is given in Fig. 3. In this study, 5-fold and 10-fold cross-validation are applied for the performance assessment of network. In this study, model assessment is done for 15 times. For this goal the whole dataset is divided into 5 and 10 subsets randomly. Every time the one part of the data is determined as test set and the remaining form training data. The accuracy rate (%) of each model at every iteration are accumulated to provide the mean accuracy rate (%).

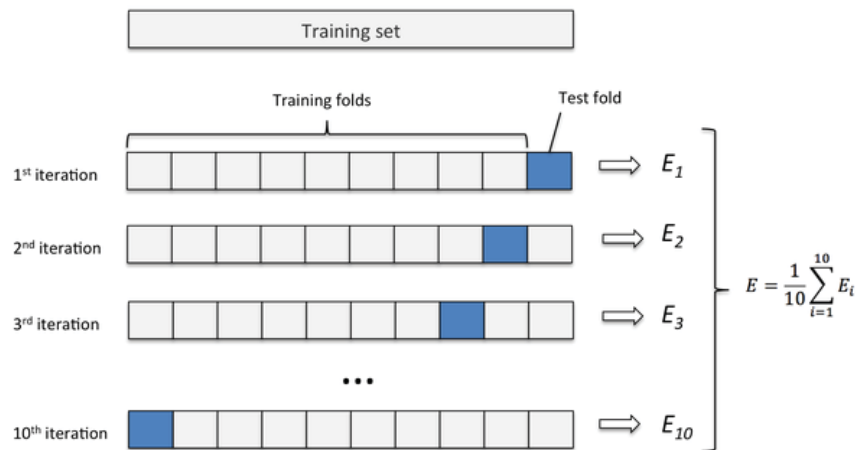


Fig. 3. 10-Fold Cross Validation Method

In this study, in order to classify fertility dataset successfully, DNN method which involved in many studies in recent years is proposed. For the simulation studies, Keras deep learning library is used to create a feed-forward neural network. Many attempts are made to decide on the various control parameter for the DNN. Afterwards, 4 hidden layers with 48, 36, 12, 6 neurons for per layer, respectively are used and the sigmoid logistic regression function is applied to the output layer. Also, RMSprop algorithm is chosen for optimisation of the proposed model. The momentum coefficient is 0.9, learning rate is 0.03 and the weight decay is 0.00005. The dropout rate is set to 0.2 in order to prevent network from overfitting.

For the purpose of comparing the proposed method’s performance, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference system (ANFIS) is also used for the classification problem. The ANFIS network is trained with three algorithm. The one of them is HB which is derivative-

based algorithm. HB is used to optimize ANFIS network parameters. This algorithm is formed from the combination of “gradient descent” and “least squares” methods. The gradient descent method is used for regulating nonlinear input parameters and least squares method is used for regulating linear output parameters (Haznedar et al., 2018). The other ones are artificial intelligence optimization algorithms such as GA and SA algorithm. GA is a heuristic algorithm which is used for being able to find exact or approximate results in optimization or search problem (Haznedar et al., 2017). SA is a probability-based meta-heuristic algorithm which was first proposed by Kirkpatrick et al., (1983). The SA algorithm is based on the similarity between the physical annealing of solids and the solution of the combinatorial optimisation problems (Haznedar & Kalinli, 2018). Thus, ANFIS parameters are optimized with GA and SA too.

The performance of those algorithms for training ANFIS are compared with the proposed DNN method for the classification of fertility data. In this context, the population size is taken 25, the crossing over rate is 0.8 and the mutation rate is chosen as 0.01 for the used GA. Also, the number of temperature points, the number of iterations for each temperature point and the temperature reducing parameter are chosen 10, 8 and 0.2, respectively for the SA algorithm.

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

In this study, the performance of the proposed DNN method is compared with 3 different classifiers including ANFIS-SA, ANFIS-GA and ANFIS-HB. Accuracy (ACC), Sensitivity (SN), Specificity (SP) and Precision (PREC) criteria are calculated by considering in the confusion matrix given in Table 2 are used to evaluate the performance of the classification methods. ACC is calculated as the number of all correct predictions divided by the total number of the dataset. The best accuracy is 1.0, whereas the worst is 0.0. It can also be presented as rate (%) which is defined by Eq. (8). The accuracy measure cannot be considered alone for evaluating a method in unbalanced dataset such fertility dataset. Therefore, SN, SP and PREC that are given in Eqs. (9), (10) and (11) are used for comparing of the proposed and the other methods over the fertility dataset. SN is calculated as the number of correct positive predictions divided by the total number of positives. It is also called recall (REC). The best SN is 1.0, whereas the worst is 0.0. SP is calculated as the number of correct negative predictions divided by the total number of negatives. It is also called true negative rate (TNR). The best SP is 1.0, whereas the worst is 0.0. PREC is calculated as the number of correct positive predictions divided by the total number of positive predictions. It is also called positive predictive value (PPV). The best PREC is 1.0, whereas the worst is 0.0. The definition of these criteria given as follows (Bidgoli et al., 2015):

- True Positive (TP): Observation is positive, and prediction is positive.
- False Negative (FN): Observation is positive, but prediction is negative.
- False Positive (FP): Observation is negative, but prediction is positive.
- True Negative (TN): Observation is negative, and prediction is negative.

$$Accuracy(\%) = \left(\frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \right) * 100 \tag{8}$$

$$Sensitivity(\%) = \left(\frac{TP}{TP + FN} \right) * 100 \tag{9}$$

$$Specificity(\%) = \left(\frac{TN}{TN + FP} \right) * 100 \tag{10}$$

$$Precision(\%) = \left(\frac{TP}{TP + FP} \right) * 100 \tag{11}$$

Table 2. The Confusion Matrix

	Positive	Negative
Positive	TP	FN
Negative	FP	TN

Simulation studies made using all methods presented in this study are worked by diversifying data set with 3 stage. In the first stage, the data set is divided into two random subsets as the training set (70%) and the testing set (30%). Furthermore in the second and third stage, for balancing the data set 5-fold and 10-fold cross validation method are implemented. In this context, the average performance of the proposed and the other classification methods are compared in the Tables 3, 4 and 5. From the obtained results the proposed method has higher prediction accuracy for classification of the male fertility potential.

Table 3. The performances of the methods on fertility data for 70% training and 30% testing

Methods	Accuracy (%)	Sensitivity (%)	Specificity (%)	Precision (%)
ANFIS-HB	70.00	90.90	12.50	74.07
ANFIS-GA	86.66	92.59	33.33	92.59
ANFIS-SA	90.00	96.29	50.00	92.85
DNN	93.33	100.00	100.00	93.10

Table 4. The performances of the methods on fertility data for 5-fold

Methods	Accuracy (%)	Sensitivity (%)	Specificity (%)	Precision (%)
ANFIS-HB	83.00	93.18	14.28	88.17
ANFIS-GA	86.00	96.59	25.00	88.54
ANFIS-SA	88.00	98.86	50.00	88.77
DNN	88.00	98.86	50.00	88.77

Table 5. The performances of the methods on fertility data for 10-fold

Methods	Accuracy (%)	Sensitivity (%)	Specificity (%)	Precision (%)
ANFIS-HB	86.00	94.31	37.50	90.21
ANFIS-GA	86.00	93.18	40.00	91.11
ANFIS-SA	88.00	94.31	50.00	92.22
DNN	89.00	95.45	55.55	92.30

It can be seen that the value of Accuracy, Sensitivity, Specificity and Precision predictive of DNN is the best in compared methods. Its success criterions is approximately similar to ANFIS-SA. Generally, the specificity values of all methods are found lower. The reason for this occurrence is unbalancing data set include only 12 samples as "altered". For best generalization of the methods the cross k-fold validation is utilized. In this study, 5-fold and 10-fold cross-validation employed. Tables 3, 4 and 5 shows the performance measurements of the methods. It is demonstrated that the performance of methods enhances when the value of k increases. It is clear that when k increases the number of training samples increase, therefore the better classification accuracy is achieved.

In this study, we have applied 3 different data sets and evaluated results from these data sets. Besides, the proposed and other methods' average performance values (%) obtained by using the different type data sets are given in the Fig. 4. The Fig.4 shows that the performance of the DNN has the best with the average accuracy rate of 90.11%, and the results of the other ANFIS methods are also satisfactory.

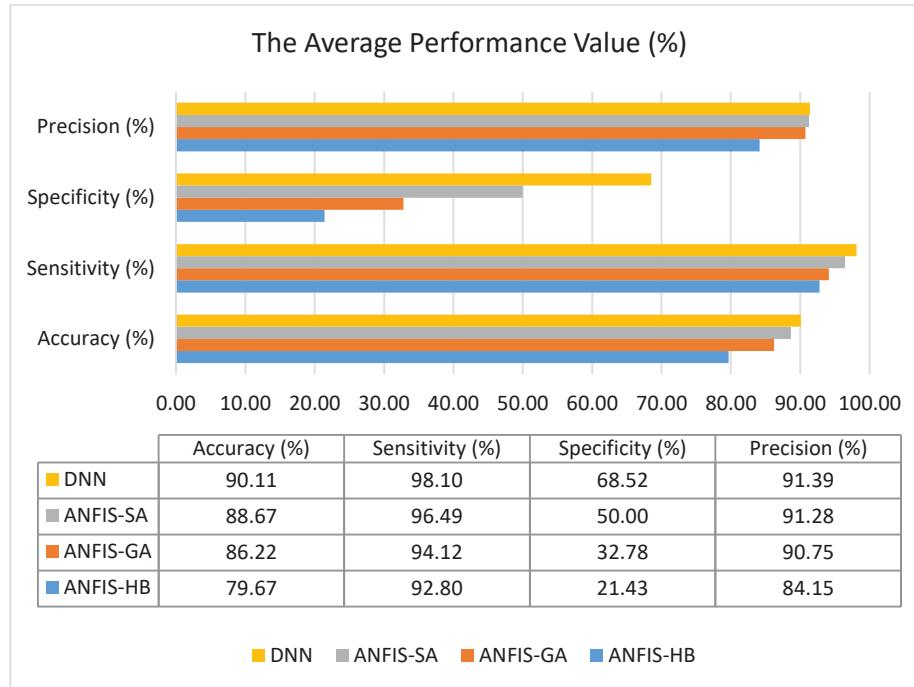


Fig. 4. The average performance values obtained by using 3 different type data set

5. CONCLUSIONS

In this paper, the performance of the DNN and ANFIS methods have been evaluated in the prediction of the male fertility potential. The relationship of life habits and environmental factors with semen parameters have been showed with the obtained results from 100 volunteers. It is seen in the Tables 3, 4 and 5. The proposed DNN method has the highest accuracy rate over the other ANFIS methods to classify the fertility dataset. In addition, the performance of the ANFIS that optimised by using derivative-based HB algorithm are poorer than the meta-heuristic GA and SA algorithms. By reason of the fact that calculating the gradient is too difficult in derivative-based algorithms. Moreover, the comparison of the results given in Tables 3, 4 and 5 demonstrate that DNN model has the highest SN, SP and PREC rates computed from confusion matrix. This rates are used to evaluate the performance of classification models used in machine learning. Thus, the evaluation of the proposed method with different measures increases the reliability and robustness of the study.

Different AI methods have been proposed for classification of fertility data set. For example, Gil et al. (2012) predicted seminal quality with artificial intelligence methods. They used MLP, SVM and DT methods in this study. They applied 10-fold cross validation for performance assessment. The results indicated that MLP and SVM had the best performance with accuracy rate of 86%, sensitivity of 94.1% and specificity of 40%, respectively. It is seen in the Table 5, DNN with 10-fold cross validation method is more successful with accuracy rate of 89%, sensitivity of 95.45% and specificity of 55.55%, respectively.

In conclusion, to our knowledge, this is the first study that the proposed DNN method has been compared for prediction of the fertility data set. From the obtained results, it is seen that DNN is quite a successful model for the classification of these data set. Furthermore in the future studies, the proposed model will be applied to different problems.

CONFLICTS OF INTERESTS

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this paper.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Research Fund of Erciyes University of Turkey, grant number: FDK-2016-6361.

REFERENCES

Bidgoli, A.A., Komleh, H.E., & Mousavirad, S.J., (2015). Seminal quality prediction using optimized artificial neural network with genetic algorithm. 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 695-699.

Gil, D., Girela, J. L., De Juan, J., Gomez-Torres, M. J., & Johnsson, M., (2012). Predicting seminal quality with artificial intelligence methods. *Expert Systems with Applications*. 39, 12564-12573.

Gil, D., & Girela, J.L., (accessed on 8 November 2013). UCI Machine Learning Repository: Fertility data set. Available online: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Fertility>.

Girela, J. L., Gil, D., Johnsson, M., Gomez-Torres, M. J., & De Juan, J., (2013). Semen parameters can be predicted from environmental factors and lifestyle using artificial intelligence methods. *Biology of Reproduction*, 88, 99.

Haznedar, B., Arslan, M.T., & Kalinli, A., (2018). Using adaptive neuro-fuzzy inference system for classification of microarray gene expression cancer profiles. *Tamap Journal of Engineering*. 2018 (29), 1-13.

Haznedar, B., Arslan, M.T., & Kalinli, A., (2017). Training ANFIS structure using genetic algorithm for liver cancer classification based on microarray gene expression data. *Sakarya University Journal of Science*. 21, 54-62.

Haznedar, B., & Kalinli A., (2018). Training ANFIS structure using simulated annealing algorithm for dynamic systems identification. *NEUROCOMPUTING*. 302, 66-74.

Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D., & Vecchi, M.P., (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*. 220, 671–680.

LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G., (2015). Deep learning. *Nature*. 521 (7553), 436–444.

Lu, J., Huang, Y., & LA, N., (2010). [WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen: Its applicability to andrology laboratories in China],” *Zhonghua nan ke xue= National journal of andrology*. 16 (10), 867- 871.

Tieleman, T., & Hinton, G., (2012). Lecture 6.5-RMSprop: Divide the gradient by a running average of its recent magnitude. COURSE: Neural Networks for Machine Learning, 4.

Wang, H., Xu, Q., & Zhou, L., (2014). Seminal quality prediction using clustering-based decision forests. *Algorithms*. 7, 405-417.



ERP Kurulum Sürecinin Tamamlanmasının Ardından Modelleme Çalışmalarına Geçiş

Transition to Modeling After Completion of ERP Installation Process

Emel Yontar¹ , Süleyman Ersöz² 

¹Tarsus Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, 33400 Mersin, TÜRKİYE

²Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71451 Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 29/11/2018

Kabul/Accepted: 15/01/2019

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Öz

Son yıllarda işletmelerin bilgi teknolojisi tabanlı sistemlere yönelimlerinde artış olduğu görülmektedir. Bu ilginin artmasında, bilgi sistemlerinin işletmelere sağladığı faydaların etkili olduğu düşünülmektedir. Bu bağlamda firmaların aradığı ve geniş bir modüle sahip olan bilgi sistemi Kurumsal Kaynak Planlama (Enterprise Resource Planning-ERP) sistemleridir. İşletmelerde, doğru bilgiye hızlı şekilde ulaşarak etkin bir bilgi akışını sağlayan ERP sistemleri kullanımları her geçen gün artmaktadır. ERP sistemleri, işletmelerde veri tabanı olarak kullanılıp entegre bir şekilde bilgi paylaşımlarını koordine eder ve farklı departmanlarda çalışanların bilgilere eş zamanlı ulaşmasını sağlar. Bu noktada ERP sisteminde yer alacak ve bölümler arası koordineyi sağlayacak, ürün kodlamaları ön plana çıkmaktadır. Kurulum aşamasının ardından sistem analizi ile birlikte firma içerisinde ürünleri özelleştirmek yapılması gereken en temel çalışmadır. Bu çalışmada ERP uygulamalarının kullanılması için tarım makine sanayinde yer alan bir firma seçilmiştir. Tarım makine sanayinde yer alan firmaların ürün çeşitliliğinin çok geniş olması, üretim yoğunluğunun mevsimsel ve stok oranlarının düzensiz olması, planlamada yaşanan aksaklıkların verimliliği düşürmesi sebebiyle bu sektör ele alınmıştır ve ürünlere dair karışıklığın giderilmesi, benzerliklerin ortadan kaldırılması istenmiştir. ERP sisteminin bu firmaya uyarlanması noktasında da en temel yapılması gereken çalışma sistem analizinin ardından ürünlerin ERP sistemine uyarlanarak, ürün kodlarının hazırlanması olmuştur. Hammadde, yarı mamul, mamul ve malzemeler karakteristik özellikleri bakımından incelenerek, ürünlere ait spesifik bilgilerin yer aldığı modellenme çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmalar tamamlanmış ve her ürün için proses kartları oluşturulmuştur. Bu çalışma ile tarım makine sanayi sektöründe yer alan ve ERP yazılımı kullanacak olan diğer firmalara ERP kodlama çalışmalarında örnek olunmak istenmiştir.

Anahtar Kelimeler

“ERP, Bilgi Sistemleri, Modelleme, Kodlama”

Abstract

In recent years, there has been an increase in the tendencies of enterprises towards information technology-based systems. It is believed that the benefits of information systems to enterprises are effective in increasing this interest. In this context, the information system that the companies are looking for and which has a large module is Enterprise Resource Planning (ERP) systems. The use of ERP systems, which provides an effective information flow, is increasing day by day by reaching the right information in the business rapidly. ERP systems are used as data base in enterprises and coordinates information sharing in an integrated manner and ensure that employees at different departments reach information simultaneously. At this point, product coding which will be included in the ERP system comes to the fore. After the installation phase, system analysis is the most basic work that needs to be done. In this study, a company in the agricultural machinery industry was selected for the use of ERP applications.

Anahtar Kelimeler

“ERP, Information Systems, Modeling, Coding”

1. GİRİŞ

Globalleşme kavramıyla birlikte bilgi teknolojisinde yaşanan gelişmeler dünyadaki tüm unsurları etkilemiştir. İşletmelerin yönetim sisteminden üretim sistemine, muhasebe sisteminden pazarlama ve lojistik sistemine, insan kaynaklarından teknolojik alt yapıya kadar bütün sistemler çok hızlı değişim göstermiştir.

Bunun yanında firmaların hızlı kararlar almaları gereklilik haline gelmiştir. Hızlı ve doğru karar alabilmek de ancak doğru ve eksiksiz bilgiyle mümkün olabilmektedir. Bu süreç bilgi sistemlerinin varlığıyla etkin bir şekilde yönetilebilir. Bilgi sistemleri, bilginin yönetilmesinin temelini oluştururlar. Başka bir deyişle, örgütler için en temel amaç, bilgi yönetiminin sağlanabilmesi için bilgi sistemlerinin varlığıdır.

Bu noktada firmalar için yazılımlar ve içerdikleri bilgi rekabet ortamında ayakta kalmanın bir şartıdır. Bilişim teknolojileri alanındaki en büyük gelişmelerden biri de firmaların vazgeçilmezleri arasında yer alan Kurumsal Kaynak Planlaması (Enterprise Resource Planning (ERP)) yazılımlarıdır.

ERP, 1990'ların müşteri odaklı pazarlama stratejileri ihtiyacı sonucu; kuruluşun müşteriye teklif sunulma aşamasından müşteriye teslimat yapılması aşamasına ve hatta müşteri memnuniyetinin, bağlılığının sağlanmasına kadar uzanan tüm iş ve bilgi akışı süreçlerini, teknolojik bir altyapıya dayanarak ve bu altyapının olanakları ölçüsünde birleştirilerek otomatikleştiren, ölçülebilir çıktılar sağlayan ve kaynakların dağıtımının yönetimini gerçekleştiren bir sistemdir (Su ve Yang, 2010).

Örgütler için geniş çapta bilgi yönetim sistemi sunan ERP'nin yaptığı iş, gereksiz unsurları elimine etmek ve işletme fonksiyonları arasında veri paylaşımı ile farklı birimleri bütünleştirmektedir. ERP, bahsedilen gereksinimlere en uygun yanıtı veren gelişmiş bilişim tekniklerini kullanan sistemlerdir (Beşkese, 2004). En genel tanımıyla ERP sisteminin kavramı Şekil.1'de görsel olarak verilmiştir.



Şekil.1. ERP Sistemi Kavramı (Rashid vd., 2002'den değiştirilerek)

ERP yazılım sistemleri işletmelere birçok avantaj sunmaktadır. İşletmelerin temel hedefi olan; müşteri istek ve beklentilerini hızlı öğrenmek, hiçbir sorun yaşamadan malzeme ihtiyaçlarını tedarik etmek, istenilen ürünü üretmek ve müşteriye istediği ürünü, istediği anda, uygun fiyat ve kalitede sunmak ERP yazılım sistemleri ile kolay hale gelmiştir.

İşletmeleri kurumsal kaynak planlaması sistemlerini kullanmaya zorlayan birden çok farklı neden bulunmaktadır (Holsapple ve Sena, 2003):

- Tekrarlamalardan kaçınmak ve fonksiyonlar arasında entegrasyonu sağlamak
- Verilerin gerçek zamanlı kullanıma sunulması ile bilgi işlenmesini işletme içine yaygınlaştırmak
- Üst yönetimin vereceği destek ve kararlılık
- Maliyetleri azaltmak için müşterilerle bilgi değişimi ve sipariş alımını gerçekleştirmek
- Yönetim raporlarının oluşturulmasını kolaylaştıran teknolojik kaynaklar sağlamak
- Küreselleşme stratejisini desteklemek
- Rakipleri geçmek için yeni teknolojileri kullanmak
- İş süreçlerinin standardizasyonunu sağlamak
- Tedarik zincirini, stokları uygun seviyeye getirmek
- Esnekliği arttırmak
- Faaliyetleri koordine etmek

- Stratejik kararları iyileştirmek
- Süreçlerde müşteri katkısını arttırmak
- Çalışan sayısını azaltarak verimliliği arttırmak
- Eskiden kullanılan sistemi ve çoğalmış sistemleri tek bir sistem altında toplamak

Faydaların yanı sıra, bilgi sistemleri aracılığıyla örgütlerdeki herkesin yukarıdan ve aşağıdan edindiği bilgiyi paylaşması gerekir. Kişilerin edindikleri ya da ürettikleri bu bilginin bir havuzda toplanarak şirketin bir varlığı haline getirilmesi gerekmektedir. Böylece oluşturulmuş merkezdeki bilgi havuzunu kullanarak çok daha elverişli ve verimli bir şekilde istenilen bilgilere ulaşmak bu şekilde mümkün olacaktır.

Bu bilgi havuzunda olması gereken en temel çalışma, ürünlere ait bilgiler olacaktır. Her geçen gün, ürünlerin çeşitliliği artmaktadır. Artan ürün çeşidi ile artık ürün kodu kullanımı külfet olmaktan çıkmaktadır. Ürüne ait faaliyetlerin sistematik bir şekilde takibi için kodlama kaçınılmazdır. Bu sistematik faaliyet sayesinde işleyiş rahatlamaktadır (Nikam, 2015). Ürün kodlaması, ürüne ait bilgilerin yer aldığı tanımlama olarak adlandırılabilir.

Örgüt içerisinde ortak ana kod grubu oluşturulması ve ERP sistemi ile aktif hale getirilmesi tüm çalışanların yararına olacaktır. Çünkü ürün kodlamanın amaçları; benzer malzemeleri tek bir grup altına sıralamak, karışıklığın ve tekrarın önüne geçmek, tanım farklılıkları gidermektir.

Bu bakımdan, bu çalışmada ürün çeşitliliğinin ve karışıklığın çok olması sebebiyle tarım makine sektöründe yer alan bir firma ele alınmıştır. Sistem analiziyle gerek firma gerekse firmada ürünlere ait bilgiler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmada, ürün kodlamanın sağlıklı olarak yapılması hedeflenerek, mantıklı bir şekilde kodlamanın yapılmasıyla, bu ve diğer sektörlerde yer alan firmalara yol göstermesi istenmiştir. Çünkü ürün kodlamanın doğru ve esnek yapılması, ERP projeleri için ilk ve en önemli aşamadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Kısa bir geçmişi olan ERP konusu üzerinde yürütülen akademik çalışmalar son birkaç yıl içinde giderek hız kazanmıştır. Ülkemizde ERP yazılımları giderek yaygınlaşmakta ve birçok sektörde aranılır hale gelmektedir. Genelde bilgi teknolojileri ve işletme yönetimi konuları ile ilgilenen akademisyenler bu konuya eğilerek ERP'yi çeşitli açılardan incelemişlerdir. Aynı zamanda farklı sektörlerin ERP'ye yaklaşımları, ERP üzerine yapılan çalışmalar ve kazanımlar literatürde yer almıştır.

Bu çalışmada da yapılan araştırmalarda literatürde, ERP'nin farklı sektörlerde uygulanan çalışmaları ve ERP kavramı ele alınarak; bunlardan ERP seçiminden, adım adım kurulumuna ve sonucunda şirketlere kazandırdığı faydalara kadar konu olan yayınlar çalışmamıza yol göstermiştir.

ERP kavramını, gerekçelerini inceleyerek ERP'nin evrimsel gelişim sürecini, hedefini ve yapısını açıklayan Uçar (2004), uygulama ve ERP'ye dair olan formülasyonu bir üretim işletmesinde gerçekleştirmiştir. Yegül (2003) ERP modüler yapısını detaylı bir şekilde anlatmış ve Türkiye'de yapılan uygulamaları incelemiştir. Bunun yanı sıra Güler (2007) ERP sistem maliyeti, yazılım seçimi, gelişimi, uygulanması ve geçişte yaşanan güçlükleri, kuruma olan faydalarını araştırmıştır. Güler (2007)'nin çalışmasına ek olarak Fasal (2009) da çalışmasında işletmelerde kurulumu ve bu süreçte yaşanan sıkıntıları anlatmıştır. Kashani (2014) başarılı bir ERP kurulum süreci için gereken aşamaları adım adım ele almış ve incelemiştir.

Sektörlere yönelik yapılan çalışmalarda Tanrıverdi (2010) kurumların tüm iş süreçlerini bilgi teknolojileri sayesinde ortak bir platformda bir araya getiren ve modüler bir yapıya sahip olan ERP sistemlerini perakende sektöründe uygulanmasını incelemiştir ve kurulum ile uygulama aşamasında işletmelere gereken tüm adımları vermiştir. Tekstil sektöründe uygulamayı gerçekleştiren Palancı (2013)'de ERP'nin yönetsel kararlara etkisini incelemiştir. Aynı şekilde Özdemir (2010), çalışmasında ERP sisteminin kurulumu ve başarılı bir uygulama için dikkat edilmesi gerekenlere değinerek altın sektöründe çalışmasını gerçekleştirmiştir. Demirci (2017) ise Rize Bölgesinde faaliyet gösteren aile şirketlerinin kurumsallaşma süreci ile ERP yazılımı kullananlar arasındaki ilişkiyi araştırmıştır.

ERP kavramı, kurulumu, sektörel farklılıklar yanında firmalara sağladığı faydaları da literatürde araştırmaya konu olmuştur. Çakır ve Bedük (2013), beş firmaya anket uygulayarak ERP'nin işletmelerdeki etkisini araştırmışlardır ve ERP'nin sağladığı en belirgin faydaların şunlar olduğu sonucuna ulaşmışlardır; bilgiye kolay erişilebilirlik, zaman tasarrufu, sipariş takibinin satın alma işleminden teslim sürecine kadar entegre olması ve bölümler arası iletişim. Abukhader, (2015) Suudi Arabistan'daki özel hastanelerin ERP kullandıklarını incelemiştir. Yazılımları kullanan hastanelerden %77'si yapılan harcamaların azaldığını ve gelirlerin artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Çolakoğlu (2012)'de Aksaray ilinde otomotiv yan sanayinde faaliyet gösteren firmayı ele alarak stok yönetiminde ERP kullanımının firmaya sağladığı faydaları araştırmıştır. Ononiwu (2013) ise Yeni Zelanda'da elde ettiği bulgularda, efektif olarak ERP yazılımını kullanamaması sebebi ile firmaların stratejik iş değerinin artmadığı sonucuna ulaşmıştır.

Yapılan literatür araştırmasıyla birlikte ERP kavramı günümüzde oldukça önem arz eden bir proje olduğu gözükmektedir. Çalışmaların genelinde ERP kurulum aşamaları, yaşanan süreçle ilgili bilgi verilmiştir. Bu çalışmada ise, kurulum aşamasının ardından yapılması gereken, en temel çalışma sistem analiziyle birlikte ürünleri tanıma ve ERP yazılım sistemine uyarlamak için kodlama-modelleme çalışması olacaktır. Yapılacak olan çalışma tarım sektöründe faaliyet gösteren bir firma üzerinden olacaktır. Bu sektörün seçilmesi, tarım sektöründe ürün çeşitliliğinin fazla olması ve karışıklığın önüne geçilmek istenmesidir. Aynı zamanda çalışmayı inceleyenlere geniş perspektifte ürün kodlamaya dair yapılacak çalışmanın yol göstermesi düşünülmektedir.

3. UYGULAMA

Çalışmamıza konu olan firma 50 yıldan fazla deneyimiyle ve 2000'den çok ürün çeşidiyle tarım makine sektöründe hizmet veren önemli bir kuruluştur. Firma, John Deere, New Holland, , Laverda, Claas, Clayson, Deutz-Fahr biçerdövrere ve Gallignani, Welger, John Deere balya makinelerine ait jant, dişli, kasnak, mil, poyra, konik dişliler, akis başlıkları, bilya yatakları, komple bıçak kolu şanzımanı ve bıçak kolu şanzımanına ait çatal, bilya yatağı, eksantrik mili, aktarma organlarına ait parçaları üretmektedir. Aynı zamanda Avrupa, Orta Doğu, Güney Amerika, Asya, Afrika ve Uzakdoğu ülkelerine bayi ve distribütör kaynağı oluşturmaktadır.

ERP projesinin hayata geçirilmesi için seçilen bu firma için öncelikle mevcut sistemin yetersizliği, işletmenin kendi sektörüne ve diğer sektörlerle göre entegrasyonu ile uzun vadeli planlar incelenerek şu sorular sorulmuştur:

- ❖ Operasyonlar verimli bir şekilde yönetilebilmekte mi?
-Hayır, yönetilememektedir.
- ❖ Birimler arası entegrasyon kurulmuş mu?
-Hayır, birimler arası entegrasyon yoktur.
- ❖ Birimler arası verimlilik izlenebilmekte mi?
-Hayır verimli bir şekilde izlenememektedir.
- ❖ Birimler arası verimlilik izlenebilmekte mi?
-Hayır verimli bir şekilde izlenememektedir.
- ❖ Üst yönetim ihtiyaç duydukları anda güncelliğini yitirmemiş verilere ulaşabilmekte midir?
-Hayır, üst yönetim çoğu rapor ve verilere ulaşamamaktadır.
- ❖ İşletmenin iş hacminde büyüme planı var mıdır?
-Evet, işletmenin iş hacminde büyüme planı vardır ve karışıklık yaşanmaktadır.

Bu soru ve yanıtlar doğrultusunda firmanın kurumsallaşma için adım atmaya ve bilgi sistemlerinden faydalanmaya ihtiyacı olduğu belirlenmiştir. ERP ile burada yer alan eksiklikler firmada tamamlanması istenmiştir. Bunun yanında bu sisteme geçmek için firmayı ERP kullanımına iten nedenler şunlardır:

- Tekrarlardan kaçınmak ve birimler arasında entegrasyon sağlamak,
- Raporları ve verileri koordine etmek,
- Maliyetleri azaltmak,
- Stokları optimal seviyeye getirmek,
- 'ERP sisteminin kullanılmaması eksikliklerdir.' diye düşünen önemli yurt dışı müşterilerini kazanmak,
- Rakipleri yakalayıp onları geçmek üzere yeni teknolojileri kullanmak,
- Verilere çok daha hızlı ve rahat ulaşmak,

Bu gibi düşünceler sayesinde firma kurumsallaşma doğrultusunda adım atmıştır ve ERP Sistemi kullanmaya karar vermiştir. Yalnız bu sistemin de hayata geçirilmesi için mevcut sistemde düzeltmeye gidilmesi aşikardır.

3.1. ERP Sistemine Geçiş ve Kodlama Çalışmaları

Fiziksel olan ya da olmayan varlıkları farklı kriterlere göre sınıflandırdıktan sonra harf veya rakamlar kullanılarak oluşturulan sembollerle bu varlıkları belirtmeye kodlama adı verilir. Kodlanan varlık; ürün, malzeme, proses, tezgah, iş emri, personel gibi akla gelebilecek her şey olabilir.

Bir kod sistemi dizayn edilirken göz önüne alınması gereken unsurlar şunlardır (Kobu, 2003):

- Kodlar açık uçlu olmalıdır.
- Kodun tümü belirli bilgileri, belirli bir sıraya göre vermelidir. Yani her hanenin belli konuları tanımlama özellikleri olmalıdır.
- Kodun uzunluğunu sınırlayan faktörler göz önüne alınmalıdır.
- Sistemde bulunan gruplar gerektiğinde bir alt gruplara ayrılabilir.
- Kod sembolleri arasında bilgi gruplarını ayırma amacı ile (.), (-), (/) gibi işaretler kullanılabilir.
- Sınıflandırma ve gruplandırma mantıklı yapılmalıdır.
- Kullanılan kod sistemlerinin sayısı minimum tutulmalıdır.
- Kod sisteminin, ülke ve hatta uluslararası kapsamlı kod sistemleri ile uyumlu olması sağlanmalıdır.
- Kodun verdiği bilgileri hazırlanan kılavuza bakmadan hatırlanacak şekilde tasarlanmasına özen gösterilmelidir.

Bu bilgiler ışığında, firmada öncelikle yapılması gerekenler ERP nin temel adımı olan ürünlerin detaylı bir çalışma ile incelenmesi olmuştur. Hammadde, yarı mamul, mamul gibi ürün grupları belirlenmiştir, bunlar dışında malzemeler de ele alınarak kodlama çalışması kendi içerisinde başlıklara gruplandırılmıştır. Oluşturulması istenen stok kartları ERP kurulum sürecinin ardından yapılması gereken ilk aşamadır. Bu çalışmada istenen de tarım makine sektöründe yer alan firmalara kendi kurulum kartlarını mantık çerçevesinde oluşturmaya yöneltmek olacaktır.

3.1.1. Hammadde için Hazırlanan Kodlama Çalışmaları

Firmada hammadde olarak ayrılan grupta miller gelmektedir. Genelde çelik olmakla birlikte dışarıdan işlenmemiş alınan bu ürünler hammadde kategorisinde değerlendirilmiştir. Bunun dışında hammaddeye ait karakteristik özellikler detaylı bir şekilde incelenerek, aşamalar halinde hammadde kodlaması yapılmıştır.

Aşama-1: Hammadelere ait ortaya çıkan özellikler

Kodlama sırasında dikkat edilen karakteristik özellikler şunlardır:

1. Ham maddeye ait şekil bilgileri
2. Kullanılan ham madde malzeme çeşitleri
3. Kullanılan çelik malzemesi için gidilen ayırım çeşitleri
4. Kullanılan ham madde malzeme kalitesi çeşitleri
5. Ham maddeye ait ölçü bilgileri

Aşama-2: Bu özelliklerin harf ve alfabe kullanılarak tanımlanması

İlk olarak kullanılan hammadde H kodu ile gösterimde yer alacaktır.

H -----> Ham madde

İkinci olarak hammadde kodundan sonra ham maddeye ait şekil bilgileri kod sisteminde bulunacaktır:

D -----> Daire
 K -----> Kare
 A -----> Altıgen
 B -----> Boru

Ardından kullanılan hammadde malzeme çeşitleri ve kaliteleri aşağıdaki gibi olacaktır:

C1 -----> 1040 Çelik
 C2 -----> CK45 Çelik
 C3 -----> 8620 Çelik
 C4 -----> 4140 Çelik
 C5 -----> 4340 Çelik
 C6 -----> 16MnCr5 Çelik
 C7 -----> ST37 Çelik
 PR -----> Pirinç

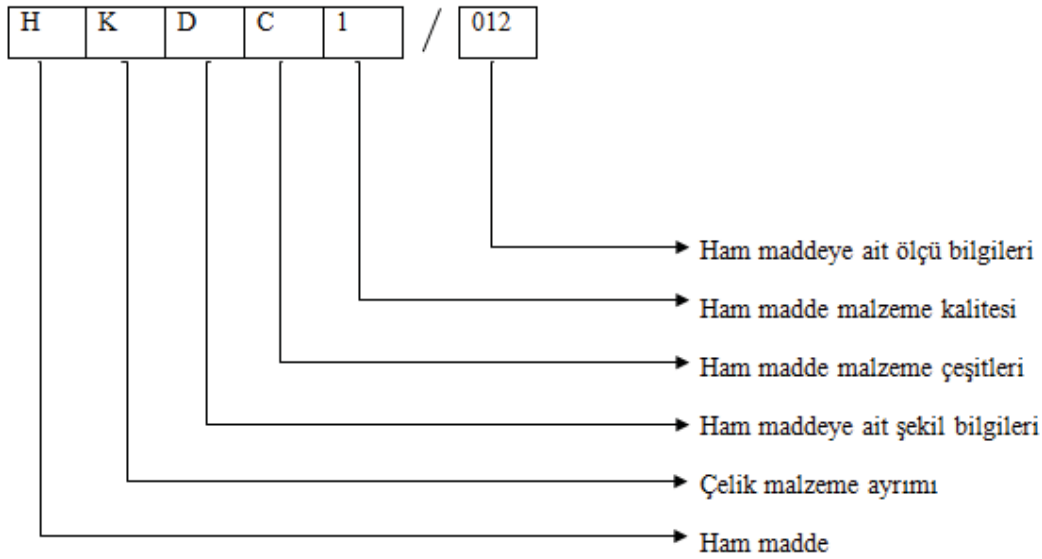
AL	----->	Alüminyum
BZ	----->	Bronz
PL	----->	Plastik
CK	----->	Çekme

Kullanılan çelik malzemesi için gidilen ayırım çeşitleri aşağıdaki gibi olacaktır:

K	----->	Kabuklu
T	----->	Taşlanmış
P	----->	Parlak
X	----->	İşlemsiz

Kullanılan ham maddeye ait ölçü bilgileri kod sisteminde çap, uzunluk boyutları dikkate alınarak sistemde yer alacaktır.

Aşama-3: Hammadde özelliklerinin bir araya getirilerek, kodlamanın tamamlanması



Kodun okunuşu: 12 mm çapında 1040 çelikten yapılmış kabuklu daire hammadde

3.1.2. Yarı Mamul İçin Hazırlanan Kodlama Çalışmaları

Firmada yarı mamul olarak ayrılan grupta ise yarı işlenmiş ürünler ele alınmıştır. Bu ürünler ya dışarıdan alım olarak döküm ve dövme halinde gelen ürünler ya da firma içerisinde operasyonlardan çıkan ara ürünlerdir. Öncelikle yarı mamule ait karakteristik özellikler detaylı bir şekilde incelenerek, aşamalar halinde yarı mamul kodlaması yapılmıştır.

Aşama-1: Yarı mamullere ait ortaya çıkan özellikler

Kodlama sırasında dikkat edilen karakteristik özellikler şunlardır:

1. Kullanılan yarı mamul çeşitleri (döküm, dövme)
2. Kullanılan yarı mamul malzeme kalitesi çeşitleri
3. Kullanılan logo türleri

Aşama-2: Bu özelliklerin harf ve alfabe kullanılarak tanımlanması

İlk olarak kullanılan yarı mamul çeşitleri şunlardır:

S	----->	Sfero döküm
P	----->	Pik döküm
C	----->	Çelik döküm
D	----->	Dövme

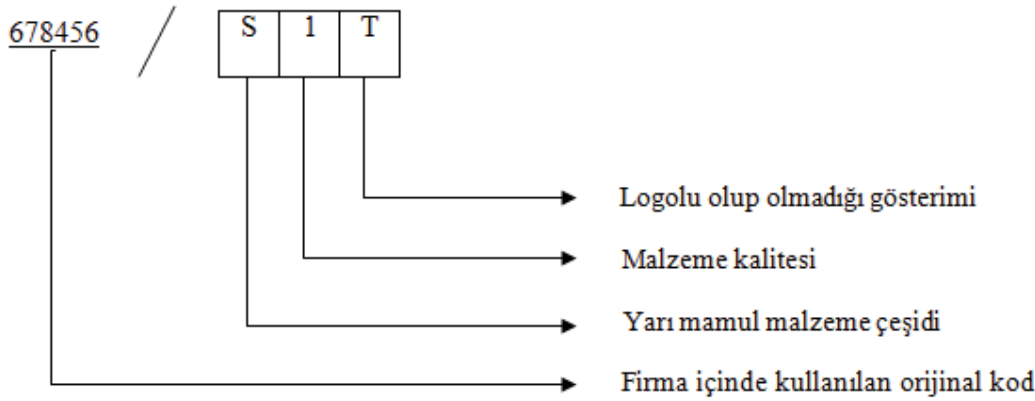
Kullanılan yarı mamul malzeme kalitesi çeşitlerinin gösterimi şu şekilde olacaktır:

1	----->	1. kalite döküm
2	----->	2. kalite döküm
3	----->	3. kalite döküm

Bir diğer değişken olan logolar markalara göre ayrılmıştır ve marka ayrımı arttıkça kodlamaya ekleme yapılabilir; tanımlaması şu şekilde olacaktır:

N	----->	Logosuz
A	----->	Enka marka logolu
T	----->	Türk Traktör marka logolu
K	----->	Kara Halil marka logolu
E	----->	Emniyet Sanayi marka logolu
G	----->	Gagri marka logolu

Aşama-3: Yarı mamul özelliklerinin bir araya getirilerek, kodlamanın tamamlanması



Firma içinde kullanılan orijinal kod: Dünya standartlarında satış yapan firmaların kendi orijinal kodları olması sebebiyle ve bu ürünleri firmanın üretmesinden ötürü, tanınırlık için bu şekilde kodlamada yer alması düşünülmüştür.

Kodun okunuşu: Türk Traktör logolu, 1. kalite sfero döküm 678456 orijinal kodun yarı mamulü

3.1.3. Mamul İçin Hazırlanan Kodlama Çalışmaları

Firma, John Deere, New Holland, , Laverda, Claas, Clayson, Deutz-Fahr biçerdöverlere ve Gallignani, Welger, John Deere balya makinelerine ait jant, dişli, kasnak, mil, poyra, konik dişliler, akis başlıkları, bilya yatakları, komple bıçak kolu şanzımanı ve bıçak kolu şanzımanına ait çatal, bilya yatağı, eksantrik mili, aktarma organlarına ait parçaları üretmektedir. Bu ürünler mamul grubunda yer almaktadır. Bu sebeple mamule ait karakteristik özellikler detaylı bir şekilde incelenerek, aşamalar halinde mamul kodlaması yapılmıştır.

Aşama-1: Mamullere ait ortaya çıkan özellikler

Kodlama sırasında dikkat edilen karakteristik özellikler şunlardır:

1. Renk ayrımı
2. Kullanılan yağ çeşitleri
3. Ürün grubu

Aşama-2: Bu özelliklerin harf ve alfabe kullanılarak tanımlanması

Temelde ilk olarak verilmesi gereken karakter bitmiş ürün olduğu için M ve MK kodlarıdır.

M	----->	Bitmiş ürün (mamul)
MK	----->	Komple bitmiş ürün (montajlanmış mamul)

Bir diğ er değ iş ken olan renkler 17 ayrı  eşit ten oluş makla birlikte kodlarının tanımlanması Tablo 1’deki gibidir:

Tablo 1. Renklerin Kodları

SIRA	RENKLER	KODLAR
1	TURUNCU	TT
2	AÇIK KAHVE	AK
3	SARI	SS
4	KOYU GRİ	KG
5	DEUTZ YEŐ İLİ	DY
6	CLASS GRİ	CG
7	Ő İYAH	BB
8	LAVERDA KAHVE	LH
9	CLASS YEŐ İL	CY
10	KREM	KK
11	MAVİ	MM
12	AÇIK GRİ	AG
13	BAYRAK KIRMIZI	BK
14	RENKSİZ	NN
15	LAVERDA KIRMIZI	LK
16	JOHN DEERE YEŐ İLİ	JY
17	BEYAZ	BE

Kullanılan 2 tip yağ ve fosfat bulunmaktadır ve bunlar için uygun görülen kodlama Ő yle olacaktır:

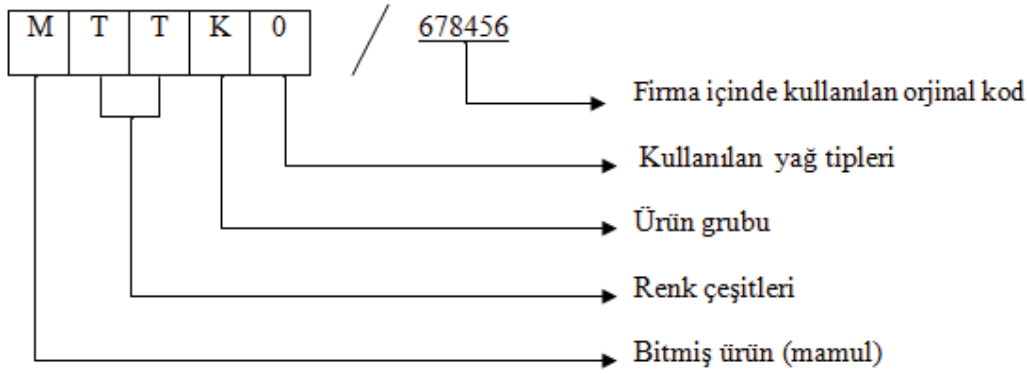
0	----->	Yağ lanmamış  rn
1	----->	1. tip yağ lı  rn
2	----->	2. tip yağ lı  rn
F	----->	Fosfat

Raporlama esnasında kullanılması gerekecek olan  rn grubu  eşit leri Ő u Ő ekilde ayarlanmış tır:

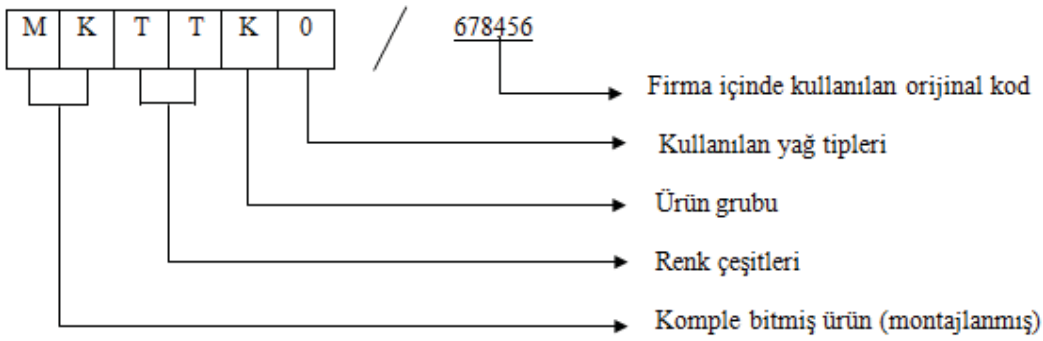
K	----->	Kasnak
D	----->	Diş li
M	----->	Mil
Y	----->	Rulman Yatak
A	----->	Aks
B	----->	Baş lık
P	----->	Poyra
D	----->	Disk Sacı
F	----->	Parmak
X	----->	Muhtelif Parçalar

Aşama-3: Mamul özelliklerinin bir araya getirilerek, kodlamanın tamamlanması

Bitmiş ürün için;

*Kodun okunuşu:* Bitmiş ürün (turuncu renkli, yağsız 678456 orijinal kodlu kasnak)

Komple bitmiş ürün için;

*Kodun okunuşu:* Komple bitmiş ürün (turuncu renkli, yağlanmamış 678456 orijinal kodlu kasnak)

Son olarak mamul kodlamayı daha tanımlı hale getirmek için mamul kodunun son haline yarı mamul kodu eklenerek kullanılacak kod aşağıdaki gibi belirlenmiştir ve özellikleri daha anlaşılır olmuştur. Komple bitmiş ürün birkaç parçadan oluştuğu için yanlarına yarı mamul kodları tanımlanmamıştır. Tablo 2’de buna ait örnek verilmiştir.

Tablo 2. Yarı Mamul Kodu İle Birlikte Kodlanmış Mamul Kodu Örneği

MTTD0/678456/S1E	Bitmiş ürün (1. kalite sfero, Emniyet Sanayi logolu, turuncu renkli, yağlanmamış dişli)
MKTTX0/678456	Komple bitmiş ürün (turuncu renkli, yağsız)

3.1.4. Malzeme İçin Hazırlanan Kodlama Çalışmaları

Malzemeler nihai ürünün maliyetine veya stokun bakiye durumuna hammaddeye nazaran daha az etkisi olan ilk madde kalemlerine verilen genel isim olarak tanımlanabilmektedir. Malzeme stok kodları hammadde kodlarındaki kadar detaya inmeden daha sade ve anlaşılabilir olarak hazırlanmıştır. Malzeme kodlarında detaya inilmemesinin nedeni, stok kodlarının çoğunluğunu oluşturan malzeme yapısının hammadde kadar detaylı takibinin çeşitlilik nedeniyle mümkün olmaması ve izlenebilirlik açısından karmaşaya sebebiyet vermesidir.

Aşama-1: Malzemelere ait ortaya çıkan özellikler

Kodlama sırasında dikkat edilen karakteristik özellikler şunlardır:

1. Malzeme çeşitleri
2. Malzemelerin numaralandırılması

Aşama-2: Bu özelliklerin harf ve alfabe kullanılarak tanımlanması

İlk olarak kullanılan malzeme M kodu ile gösterimde yer alacaktır.

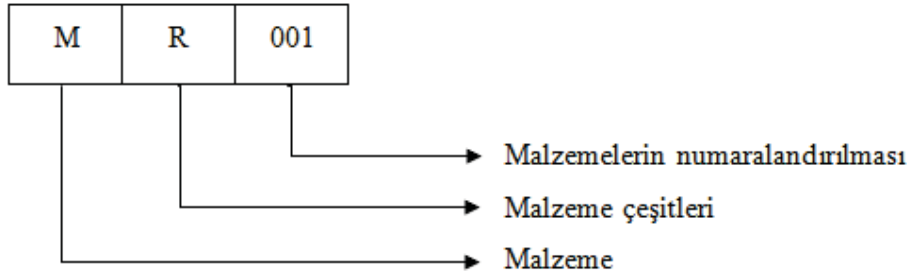
M -----> Malzeme

İkinci olarak hammadde kodundan sonra ham maddeye ait şekil bilgileri kod sisteminde bulunacaktır:

R	----->	Rulman
E	----->	Keçe
K	----->	Kater
Y	----->	Kayış
C	----->	Cıvata
A	----->	Ambalaj (Sandık, File)
M	----->	Mıknatıs
T	----->	Tezgah Taşı
Z	----->	Zımpara Taşı
B	----->	Kaynak Teli
S	----->	Segman
V	----->	Vida
J	----->	Jant
O	----->	Boya
L	----->	Kılavuz
P	----->	Matkap Ucu
D	----->	Rondela
G	----->	Eğge
I	----->	Oring
N	----->	Conta
U	----->	Pul
H	----->	Anahtar
W	----->	Pin
X	----->	Yüksük
F	----->	Sınıflandırılmayanlar

Son olarak da tamamen sayısal değerlerden oluşan ayırım eklenmiştir. 001, 002, 003, 004.... şeklinde malzeme grubuna göre devam etmektedir.

Aşama-3: Malzeme özelliklerinin bir araya getirilerek, kodlamanın tamamlanması



Kodun Okunuşu: 6204 ZZ HRB Rulman (Her koda karşılık gelen tanımlamalar ERP programının içinde yer alacaktır.)

4. SONUÇ

Günümüz rekabet koşullarında işletmelerin tüm süreçlerini gözden geçirmelerine, eskiyen bilişim altyapılarını yenilemelerine, işletmedeki tüm bilgilerin ortak veri tabanında entegre olarak depolanmasına olanak sağlayan ERP sistemleri en iyi çözümlerden birisidir.

ERP, firmanın bütün departman ve işlevlerini tek bir bilgi sistemi içinde entegre etmeye çalışmaktadır. Beklentileri birbirinden farklı olan birden fazla bölümün aynı bilgi sistemi içinde bir araya getirilmesi ve bilgi tabanını birimlerle paylaşması güç olmasına rağmen oldukça faydalıdır. Çünkü doğru bilgiye ancak o bilgiye ulaşmak için gereken doğru verilerin işlenmesiyle ulaşılır. Diğer bir deyişle, bilginin doğruluğunu sağlayan en önemli unsurlar doğru veriler ve bu veriler üzerinde yapılacak doğru işlemlerdir. Bu da ERP sistemi veri tabanı düzenlemesiyle mümkün hale gelmektedir.

Uygulama bölümünde ise tarım makine sanayinde yer alan firmaya ait ERP sistemi entegre edilmeye çalışılmıştır. Hammadde, yarı mamul, mamul ve malzemeler karakteristik özellikleri bakımından incelenerek modellenme çalışması yapılmıştır. Ürün kodlamalarının yapılması, projedeki en önemli çalışmalardan bir tanesidir. İleride, kartlarda mükerrerlik yaşanmaması, karmaşık kodlamalar ile sistem esnekliğinin bozulmaması için mutlaka firma içi deneyimli personel ve uzman danışman birlikte kararlar almalıdır. Bunun neticesinde, yapılan çalışmalar tamamlanmış ve firma içerisinde ERP yazılım sistemine yüklenerek çalışmalara başlanılmıştır ve proje hayata geçirilmiştir.

Bu çalışma ile tarım makine sanayinde yer alan diğer firmalara örnek olması istenmiştir. Çünkü sektörün ürün çeşitliliği bakımından fazla ve karmaşık gözükmesi, mevsimsel şartlara bağlı olarak planlamanın düzensiz olması ve KOBİ tanımına uyması bakımından hayata geçirilen ERP sisteminin tarım makine sanayi firmaları için de uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

Abukhader, S. M. (2015). ERP implementation in the private hospitals of Saudi Arabia. *International Journal of Healthcare Management*, 8(2), 77-88.

Beşkese, B., Bilişim Teknolojisi Yatırımlarının Değerlendirilmesine Yönelik Uygun Yöntemin Seçilmesi Modeli-ERP Yazılımı Seçimi Uygulaması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.

Çakır, B. Ö. ve Bedük, A. (2013). Çalışanların Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) değerlendirmeleri ve kurumsallaşma algıları. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 30, 81-91.

Çolakoğlu, N., Stok Yönetiminde Yazılım Kullanımı: Otomotiv Yan Sanayi Sektöründe Bir Firma Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aksaray, 2012.

Demirci E., Aile Şirketlerinin Kurumsallaşma Düzeyi İle Kurumsal Kaynak Planlaması Yazılımı Kullanımı Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi: Rize Bölgesi'nde Bir Uygulama, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Ana Bilim Dalı, Rize, 2017.

Fasal, A., Kurumsal Kaynak Planlaması ve Uygulanmasında Yaşanan Güçlükler: Bir Örnek Olay, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2009.

Güleryüz, Ö., Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) ve İşletmelerin Yönetimsel Kararlarına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 2007.

Holsapple, C. W. ve Sena, M. P., ERP Plans and Decision-Support Benefits, *Decision Support Systems*, (38): 575 – 590, 2003.

Kashani, M.R., ERP Implementation in Iran: (A Successful Experience in DGC), *International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*, Vol.8(9), 2014.

Kobu, B., Üretim Yönetimi, Avcıol Basım Yayın, İstanbul, 2003.

Nikam, D., Coding in material management. Retrieved from slideshare.net/: <http://www.slideshare.net/dineshnikam180/coding-46939313>, 2015.

Ononiwu, C. G. (2013). A delphi examination of inhibitors of the effective use of process industry enterprise resource planning (ERP) systems: A case study of New Zealand's process industry. *Electronic Journal of Information Systems Evaluation*, 16(2), 116.

Özdemir, A., Üretim Yönetiminde ERP Süreci ve Altın Sektörü Üzerine Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2010.

Palancı, Y., Kurumsal Kaynak Planlama (ERP) Sistemlerine Giriş ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013.

Rashid, M. A, Hossain, L. ve Patrick, J. D., The Evolution of ERP Systems: A Historical Perspective, 1-18, Idea Group Publishing, 2002.

Su Y., and Yang, C., A Structural Equation Model For Analyzing The Impact Of ERP On Scm. *Expert Systems With Applications* 37: 456-469, 2010.

Tanrıverdi, S., Perakende Sektöründe Kurumsal Kaynak Planlama Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2010.

Uçar, K., Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) ve Bir Üretim İşletmesinde Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 2004.

Yegül, M., Kurumsal Kaynak Planlama (ERP) ve Türkiye'deki Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2003.



Karbon Nanotüp (CNT) Ve Nano Grafen (G) Takviyeli Al 2024 Kompozitlerin Vorteks Yöntemiyle Üretilerek Aşınma Ve İşlenebilirlik Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation Of Abrasion And Machining Properties Of Carbon Nanotube (CNT) And Nano Grafen (G) Reinforced Al 2024 Composites By Vortex Method

Muharrem Pul

Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, 71450 KIRIKKALE

Başvuru/Received: 10/09/2018

Kabul/Accepted: 25/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Öz

Günümüzde metaller gibi klasik malzemelerin birçok özellikleri gelişen teknolojinin ihtiyaçları için yeterli olamayınca, daha üstün özelliklere sahip olan kompozit malzemeler üretilmeye başlanarak bu konuda hızlı bir gelişme sürecine girilmiştir. Klasik malzemelere göre kompozit malzemelerin en belirgin özellikleri hafiflik ve sağlamlıklarıdır. Yapılan araştırma ve geliştirmeler neticesinde, bu malzemelerin çekme, darbe dayanımlarının artırılması; yorulma, kimyasal direnç ve elektrik özelliklerinin iyileştirilmesi mümkün olmuş ve kompozit malzemeler yaygın şekilde havacılık, deniz taşıtları, otomotiv, makine, inşaat, askeri ve uzay teknolojisi alanlarında kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda geliştirilen bu tür kompozitlerin arasında nano katkılı metal matrisli kompozitler yer almaya başlamıştır. Bu çalışmada nano malzeme katkılı Al 2024 kompozitler üretilmiştir. Kompozitlerin üretim yöntemi olarak Vorteks (karıştırmalı döküm) yöntemi kullanılmıştır. Al 2024 içerisine farklı oranlarda (%0,5-%1,0-%2,0-%4,0) karbon nanotüp (CNT) ve nano boyutta grafen (G) takviye edilmiştir. Üretilen alüminyum kompozitlerin mikroyapıları incelenerek, mekanik özelliklerini tespit etmek amacıyla sertlik ve aşınma deneyleri yapılmıştır. İşlenebilirlik deneyleri; 200 m/min kesme hızında, 0,10 - 0,15 ve 0,30 mm/dev ilerleme değerlerinde ve 1,0 mm sabit kesme derinliğinde yapılmıştır. İşleme deneyleri sırasında kompozit malzemelerin yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Ayrıca kesici takımların aşınmalarını belirlemek için mikroskop görüntüleri çekilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilecek verilere göre kompozit yapı içerisindeki nano malzeme miktarlarının optimum değerleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

"Al 2024, Karbon Nanotüp, Nano Grafen, İşlenebilirlik, Aşınma"

Abstract

The most obvious characteristics of composite materials compared to conventional materials are lightweight and durability. In research and development as a result, shrinkage of these materials, to increase the impact resistance; fatigue, improved chemical resistance and electrical properties of composite materials has been widely possible and aviation, watercraft, automobile, machinery, construction, military and space technology has been used in the field. Among these composites developed in recent years, nanocomposite metal matrix composites have begun to take place. In this study, N 20 material composites are produced. Vortex (stirr casting) method was used as the production method of composites. Carbon nanotube (CNT) and nano-sized graphene (Gr) were reinforced in different ratios (0.5%-1.0% - 12.0% - 4.0%) in Al 2024. The microstructures of the aluminum composites were examined and hardness and abrasion tests were performed to determine their mechanical properties. Machinability tests, 200 m / min at a cutting speed of 0.10 - 0.15 and 0.30 mm / rev at feed rate and 1.0 mm of constant cutting depth was made. Surface roughness of composite materials was measured during machining experiments. In addition, microscope images were taken to determine the abrasion of the cutting tools. According to the data obtained as a result of the experiments, the optimum values of the amount of nano material in the composite structure were determined.

Key Words

"Al 2024, Carbon nanotube, Graphene Nanoplatelet, Machinability, Abrasion"

1. GİRİŞ

Hafif metal esaslı kompozitler, tıp, savunma sanayi, otomotiv, havacılık, enerji, altyapı, denizcilik, ulaştırma v.b. pekçok sektörde giderek artan oranda uygulama sahası bulmaktadır. Son zamanlarda bu tür kompozitlerin geliştirilmesinde kullanılan katkı maddeleri daha çok nano boyutta malzemeler olmaktadır. Bu malzemeler içerisinde nano boyutta B_4C , SiC , Al_2O_3 , MgO , karbon nano tüpler (CNT) ve grafen (G) gibi malzemeler ön plana çıkmaktadır. Günümüzde daha ekonomik, daha hafif ve gelişmiş mekanik özellikler sağlayan bu tür kompozitler üzerine yapılan araştırmalarda hız kazanmıştır.

Alüminyum alaşımları, düşük yoğunluk ve yüksek mekanik özelliklerinden dolayı otomotiv, havacılık ve savunma sanayi gibi birçok önemli üretim alanında kullanımları hızla artmaktadır. Duralümin olarak da bilinen 2024 Al-alaşımı, alüminyum alaşımları arasında en sert, elastisite modülü ve mukavemet değerleri en yüksek olanlarından biridir. Spesifik mukavemet (akma gerilmesi/yoğunluk) ve spesifik elastisite modülünün (elastisite modülü/yoğunluk) önemli olduğu yerlerde, otomotiv sanayinde, vagon yapımında, mühimmat sanayinde, uçak gövde ve kanatlarında, ortopedik taban, perçin ve çekici tekerlekleri yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır (Aydın, Bayram 2010). Alüminyum ve alaşımlarının çok yaygın olarak kullanılmasının sonucunda, kompozit malzemelerin bir türü olan metal matrisli (esaslı) kompozitlerin üretiminde alüminyum en yaygın kullanılan metallere biri haline gelmiştir. Alüminyum ve alaşımları bu tip kompozitlerde ana eleman (matris) olarak yer almaktadır. Kompozitlerde matris malzemesi kadar önemli olan diğer elemanlar takviyelerdir. Takviye malzemeleri kompozitin teknik özelliklerini belirleyen en önemli unsurdur. Son yıllarda, Al_2O_3 , SiC , B_4C , TiB_2 , TiC , WC , W , C , MgO gibi seramik esaslı takviyelerin yanında nano boyutta malzemelerde kompozit yapılar içerisinde takviye edilmeye başlanmıştır. Bu nano malzemelerin en önemlileri arasında karbon esaslı grafen ve karbon nanotüp sayılmaktadır.

Grafenkarbon esaslı bir malzeme olup bir atom kalınlığında, bal peteği şeklinde örgülü yapıya sahiptir. Bu altıgen yapı grafenin katmanlı şeklinin tek katmanını oluşturmaktadır. Ayrıca grafen; süper esnek, süper sağlam, süper hafif ve süper ince bir malzeme olup, günümüzdeki en heyecan verici bilimsel gelişmelerinden biri olarak görülmektedir (Şenel, Gürbüz, Koç 2015). Grafen, bir atom kalınlığında karbon tabakasıdır. Üst üste 3 milyon tabakadan oluştuğu ve 1 mm yakın bir kalınlığında olduğu hesaplanmaktadır. Elastik ve esnek olması yanında aynı zamanda çok serttir ve çelikten yüzlerce kez daha kuvvetlidir. Çok iyi elektrik iletkenidir ve erime noktası $3000\text{ }^\circ\text{C}$ civarındadır. Grafen, düz plakalar ve bir atom kalınlığı olan, atomları bir bal tarağı yapısında bulunan bir karbon formudur. Grafen son zamanlarda mekanik, elektriksel ve termal uygulamalardaki mükemmel performansından dolayı önemli akademik ve endüstriyel ilgi çekmektedir. Grafen, metal kompozitlerinde iyi bir takviye oluşturan olağanüstü mekanik özelliklere sahiptir (Dharsan, Kumar 2017). Tablo 1'de grafene ait bazı teknik özellikler verilmiştir.

Tablo1. Grafenin mekanik ve fiziksel özellikleri [4]

Property	Graphene
Tensile Strength	130 Gpa
Elastic modulus	0.5 – 1 Tpa
Thermal conductivity	$5.3 \times 10^3 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
Co efficient of thermal expansion	$-6 \times 10^{-4}/\text{K}$
Specific surface area	$2630\text{m}^2 \text{g}^{-1}$
Electron mobility	$1500 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{ s}^{-1}$
Transmittance	>95% for 2nm thick film >70% for 10nm thick film

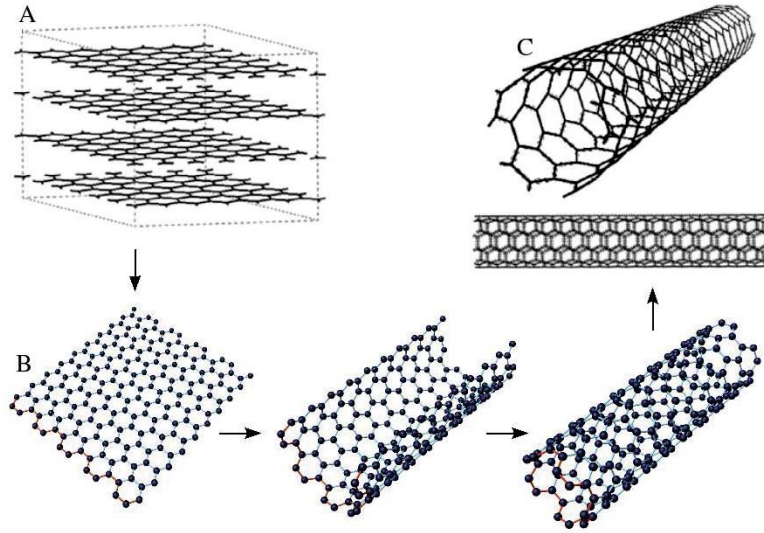
Karbon nanotüpler (CNT), 1990'lı yılların başından itibaren olağanüstü özelliklerinin farkedilmesi ile yoğun olarak araştırmalara konu olmuş ve giderek bu alaka, CNT'nin başta nanobilim olmak üzere çok sayıda farklı alanlarda bir "fenomene" dönüşmüştür. Hem deneysel hem de teorik birçok çalışmada CNT'ler, nanoteknoloji için bir model olmuştur. Bu alandaki ilerlemeler oldukça çarpıcı olmuştur ve bu malzemelerin bir özelliğinin keşfi, bu özellikten yola çıkan bir uygulamanın geliştirilmesi ve son olarak da uygulamanın ticari ürüne dönüşmesi ile sonuçlanmaktadır. Günümüzde, konu üzerinde dünya çapında yapılan sayısız araştırmanın yanında birçok dev şirket CNT esaslı ürünleri piyasaya sürmede birbiriyle yarışmaktadır. Tablo 2'de tek ve çok duvarlı karbon nano tüplere ait bazı teknik özellikler verilmiştir.

Tablo 2. Tek ve çok duvarlı karbon nano tüplere teknik özellikler

Properties	SWCNTs	MWCNTs
Specific Gravity	0.8 g/cm ³	1.8 g/cm ³
Elastic Modulus	~1 TPa	~0.3 – 1 TPa
Strength	50 – 500GPa	10 – 60 GPa
Resistivity	5 – 50 $\mu\Omega \text{ cm}$	5 – 50 $\mu\Omega \text{ cm}$
Thermal Conductivity	$3000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$3000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Thermal Stability	>700 $^\circ\text{C}$ (in air); 2800 $^\circ\text{C}$ (in vacuum)	>700 $^\circ\text{C}$ (in air); 2800 $^\circ\text{C}$ (in vacuum)
Specific Surface Area	~400-900m ² /g	~200 – 400m ² /g

CNT'ler, diğer tüm 1B nano malzemeler içerisinde belki de en büyük öneme sahip olanlardır. CNT, en basit manada, nanometre çaplı, μm boylu borsal yapılardır. Diğer bir ifade ile CNT'ler, yapısal açıdan bakıldığında, tek ya da daha çok grafen (grafitin tek bir katmanı) levhadan yapılmış, içi boş bir silindir gibi hayal edilebilir (Şekil 1). Söz konusu silindirin çapı $0,4 \text{ nm}$ 'den 100 nm ya da daha yüksek değerlere kadar çıkabilir. Bununla birlikte 15 nm 'nin üstündeki çaplara sahip borsal yapıların "karbon

nanolif[®] olarak sınıflandırılmasını önermiştir. Üretim yöntemi ve şartlarına bağlı olarak çok farklı olabilen CNT'lerin boyları ise yüzlerce μm 'den cm mertebesine kadar çıkabilir (Mutlay 2014).



Şekil 1. (A) grafit, (B) grafen levha ve (C) karbon nanotüp

Karbon alanında yapılan araştırmalar, 1991'de Iijima tarafından karbon nanotüpleri (CNT) keşfi ile devrim yaratmıştır. Deneyler ve simülasyonlar CNT'lerin karbon elyaflarına göre olağanüstü mekanik özelliklere sahiptir. CNT'lerin 1000 GPa'ya kadar sertlik, 100 GPa'lık mukavemet ve $6000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ kadar ısıl iletkenlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu araştırmalar, CNT'lerin, insanlığın bildiği, olağanüstü özelliklere sahip en güçlü elyaf olduğunu göstermektedir (Bakshi, Lahiri, Agarwal 2010).

Yapılan literatür araştırmasında nano malzeme katkısının Al 2024 alaşımının özelliklerini olumlu yönde geliştireceği öngörülmektedir. Kompozit malzemelerin kullanım alanı mühendislik uygulamalarında büyük bir yer teşkil etmektedir. Özellikle havacılık, makine, savunma, ulaştırma, otomotiv gibi sektörler kompozit malzemelerin kullanımının çok yaygın olduğu alanlardır. Bu projenin diğer bir amacı da bu sektörlerde metalik malzemelere alternatif oluşturabilecek yeni bir nanomalzeme katkılı kompozit geliştirmektir. Ayrıca bu çalışmanın sonucunda elde edilecek veriler ışığında yeni çalışmaların önünün açılacağı ve daha üstün özelliklerde kompozitlerin geliştirilebileceği düşünülmektedir. Yapılan ön araştırmada nano malzeme katkılı metalik kompozitler üzerine yeterince yerli araştırma ve yayın olmadığı da ayrıca tespit edilmiştir. Bu bağlamda, yapılacak olan proje ve çıkartılacak yayınlar ile literatüre katkı yapılması da ayrıca hedeflenmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu proje çalışmasında ana malzeme (matris malzemesi) olarak Al 2024 alaşımı seçilmiştir. Kompozit ana malzemesi olan Al 2024 alaşımına ait özellikler Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Al 2024 alaşımının teknik özellikleri

Kimyasal Bileşim

Fe	Si	Cu	Cr	Mn	Mg	Zn	Zi+Ti	Diğer	Al
0,5	0,5	3,8-4,9	0,1	0,3-0,9	1,2-1,8	0,25	0,15	0,15	Kalan

Mekanik Özellikler

Temper	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama (%50)	Sertlik (Brinell)
-	75	185	20	55
T3	340	475	18	120
T6	230-300	310-395	10-12	110
T8	275-315	370-420	10-12	115

Kompozitlerin hazırlanmasında takviye elemanı olarak kullanılacak olan nano malzemeler Tablo 4'te, verilmiştir.

Tablo 4. Nano malzemeler

Nano malzeme cinsi	İçerik	Boyut
Karbon Nanotüp (CNT)	%95 saflıkta	10-20 nm

Nano Grafen (G)	%99,5 saflıkta	6-16 nm
-----------------	----------------	---------

Proje çalışmasına kompozit malzemelerin hazırlanmasıyla başlanmıştır. Her nano malzemeden dört farklı katkı oranı kullanılarak toplamda 8 farklı özellikte nano malzeme katkılı Al 2024 nano kompozitin üretilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin takviye oranları Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 5. Al 2024 matrisli kompozitlerin nano malzeme katkı oranları

KARBON NANOTÜP (CNT)		NANO GRAFEN (G)	
Numune 1	Al 2024+%0,5 CNT	Numune 5	Al2024+%0,05 G
Numune 2	Al 2024+%1,0 CNT	Numune 6	Al2024+%1,0 G
Numune 3	Al 2024+%2,0 CNT	Numune 7	Al2024+%2,0 G
Numune 4	Al 2024+%4,0 CNT	Numune 8	Al2024+%4,0 G

Kompozit numunelerin elde edilmesinde sıvı faz yöntemlerinden olan karıştırılmalı döküm yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla deney numunelerinin hazırlanması için laboratuvar tipi düşük pota kapasitesinde bir adet karıştırılmalı döküm deney aparatı yapılmıştır. Yapıtılan ve karıştırılmalı döküm deneylerinde kullanılan aparata ait görüntü Şekil 2'de verilmiştir.

Pota içerisine konulan Al 2024 matris malzemesi 750°C - 800°C sıcaklık aralığına kadar ısıtılarak erimiş sıvı metal elde edilmiştir. Daha sonra sıvı metal içerisine nano malzemeler katılarak, 500 dev/dak hızda yaklaşık 10 dakika süre ile karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra sıvı metal önceden hazırlanan kalıplar içerisine dökülerek katılaşmaya bırakılmıştır. Tamamen soğuyup katılaştıktan sonra kompozit numuneler, boru şeklindeki yuvarlak kalıp içerisinden tornalanarak suretiyle çıkarılmışlardır. Üretilen nano malzeme takviyeli kompozit numunelere ait toplu görüntü Şekil 3'te verilmektedir.



Şekil 2. Karıştırılmalı döküm aparatı



Şekil 3. Sekiz farklı takviye oranında üretilen kompozit numuneler

Daha sonra, hazırlanan nano malzeme takviyeli Al 2024 kompozit numuneler üzerinde planlanan deney ve incelemelere geçilmiştir. Bu amaçla ilk olarak talaşlı işleme deneyleri (ISO 3685, 1993)'e uygun olarak yapılmıştır. Her işleme deneyi kullanılmamış yeni takım ucu ile yapılmış olup deneylerinde kesici takım olarak, Sandvik marka, *SNMG120408-QM H13A* kodlu Sementit Karbür (SK) uçlar kullanılmıştır.

İşleme deneyleri sırasında işlenen yüzeyler ait pürüzlülük değerleri ölçülmüş ve aşınma davranışlarını optik mikroskopta incelenmek üzere, herbiri tek işleme deneyinde kullanılan kesici takım uçları kodlanmıştır. İşleme deneyleri, kuru kesme şartlarında, 200 m/min kesme hızında, üç farklı ilerleme değerinde (0,05 - 0,10 - 0,20 mm/rev) ve 1 mm sabit kesme derinliğinde gerçekleştirilmiştir. İşleme deneyleri sırasında çekilen görüntü Şekil 4'te verilmektedir.



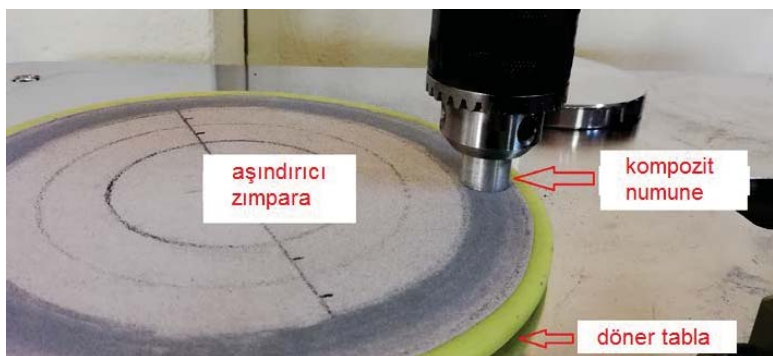
Şekil 4. İşleme deneyi ve kullanılan torna tezgahı

İşlenen yüzeylerin R_a cinsinden yapılan pürüzlülük ölçümlerinde, kompozit numunelerin yüzeyindeki 5 farklı bölgeden ölçümler yapılarak bu değerlerin aritmetik ortalamaları alınmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümlerinde (TS 6212 EN ISO 4288, 1999) standardından yararlanılmıştır.

İşlenebilirlik çalışmalarının diğer bir bölümünü ise kesici takım aşınmalarının incelenmesi oluşturmuştur. Bu amaçla kullanılan kesici takım uçları stereo mikroskop altında incelenmiştir. Her takım ucundan yan yüzey ve üstten olmak üzere görüntüler alınmıştır. İşleme deneylerinin tamamlanması ve buna bağlı olarak yapılan yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması incelemelerinden sonra, nano katkılı kompozit numunelerin bazı mekanik özelliklerini belirleyecek deney ve inceleme aşamasına geçilmiştir.

Bu amaçla ilk olarak numunelerin makro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçme işlemleri, Brinell yöntemi kullanılarak (TS EN ISO 4498, 2011) ve (TS EN ISO 6506-1, 2007) standartlarına uygun olarak, *Qness Q250M* model sertlik ölçme cihazında yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinde 2,5 mm çaplı bilya uç, 62,5 kg yük ve 14 saniye deney süresi uygulanmıştır. Sertlik ölçümlerinde her numune üzerinde 5 farklı noktadan ölçüm yapılarak ortalama değer hesaplanmıştır.

Mekanik özellikleri belirleyecek deneylerin ikinci aşamasında kompozit numunelerin abrasif aşınma davranışları incelenmiştir. Aşınma deneyleri, 74 μm aşındırıcı tane boyutuna sahip, Al_2O_3 zımpara kullanılarak, 10 N, 20 N ve 40 N yükler altında her numune için ayrı ayrı yapılmıştır. Kompozit numuneler, 0,6 ms^{-1} kayma hızında ve 40 s süre boyunca deneye tabi tutularak aşınma kayıpları kaydedilmiştir. Şekil 5'te aşınma deneyleri sırasında çekilmiş görüntüler verilmektedir.



Şekil 5. Aşınma deney numuneleri, pin-on-disc aşınma deney cihazı ve aşınma deney anı

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

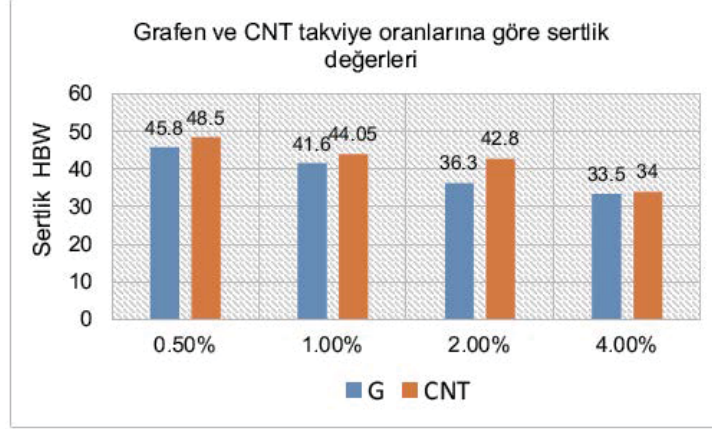
3.1. Kompozitlerin üretilebilirliği

Nano malzeme katkılı Al2024 matrisli kompozit numuneler karıştırma yöntemi kullanılarak üretilmişlerdir. Karıştırma işlemi sırasında karbon nanotüp (CNT) ve grafen (G) takviye malzemelerinin erimiş haldeki sıvı metal içerisine karıştırılması işleminde zorluklar yaşanmıştır. Pota içerisine ilave edilen nano boyuttaki malzemenin eriyik bünyesinde dağılması için farklı karıştırma hızları ve süreleri denenmiş olmasına rağmen arzu edilen homojenlikte takviye dağılımı elde edilememiştir. Takviye malzemesinde toplanmaların yaşandığı özellikle de takviye oranının % 1,0'ın üzerine çıkmasıyla bu durumun daha belirgin

hale geldiği üretimi yapılan kompozit numunelerin yüzey görüntülerinden anlaşılmıştır. Bu tür nano malzeme katkılı metal matrisli kompozitlerin üretiminde, infiltrasyon veya toz metalurjisi gibi yöntemlerin kullanılarak, sonuçların karıştırmalı döküm yöntemiyle mukayese edilmesi tavsiye edilebilir.

3.2. Sertlik sonuçlarının değerlendirilmesi

Kompozit numunelerin, takviye oranlarına göre ölçümünden elde edilen sertlik değerlerine göre çizilen grafikler Şekil 6'da gösterilmektedir.



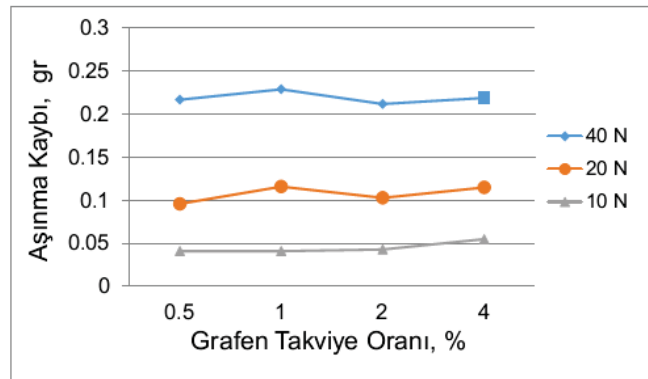
Şekil 6. Nano kompozitlerin sertlik değerleri

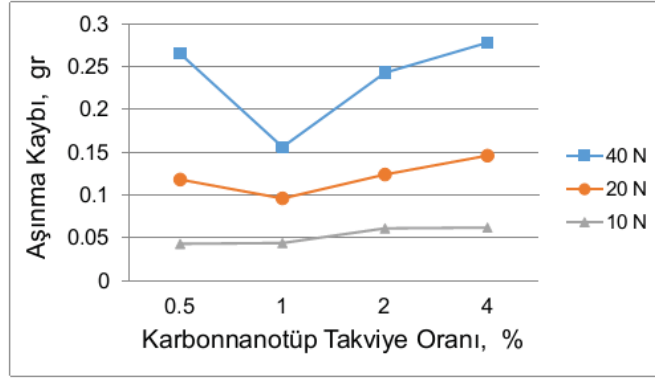
Şekil 6'daki grafikler incelendiğinde ilk göze çarpan, nano malzeme takviye miktarlarının artışına bağlı olarak sertlik değerlerindeki azalma eğilimidir. Bu durum hem G hemde CNT takviyeli kompozit numunelerde aynı şekilde gelişmiştir. Nano malzeme takviye miktarındaki artış ile kompozit yapıdaki takviye dağılımının homojenliği giderek bozulmuş ve büyük oranda takviye topaklanmaları meydana gelmiştir. Takviye topaklanmaları beraberinde porozite ve yapı içerisinde boşluk oluşumuna neden olmuştur. Bu durum, kompozitlerin sıvı faz üretim yöntemindeki yetersizlik ile açıklanabilir. Daha önceki bölümlerde de ifade edildiği gibi karıştırmalı döküm yöntemi ile sıvı fazdaki AI 2024 malzeme içerisinde nano boyuttaki takviye elemanlarının karıştırılarak homojen dağıtılmasında istenilen seviyede başarı sağlamak mümkün olamamıştır. Takviye miktarının artmasıyla geniş topaklanma bölgeleri meydana gelmiş ve zaten yumuşak fazda olan nano malzemeler kompozit yapının yumuşamasına sebep olmuştur.

G (grafen) takviyeli kompozitlerde CNT (karbon nanotüp) takviyeli kompozitlere göre bütün takviye oranlarında daha yumuşak değerler ölçüldüğü görülmektedir. Bu durum kompozit yapı içerisinde, G nano malzemelerin düzlemsel ağ yapısının, CNT'nin içi boş silindirik yapısına göre daha geniş yüzey alanına dağılım sergilemesiyle açıklanabilir. Dolayısıyla bütün takviye oranlarında G takviyeli kompozitler daha yumuşak kalmıştır. En yüksek sertlik değeri 48,5 HBW ile %0,5 CNT takviyeli kompozitte ölçülürken, en düşük sertlik değeri 34 HBW ile %4,0 G takviyeli kompozitte ölçülmüştür.

3.3. Aşınma sonuçlarının değerlendirilmesi

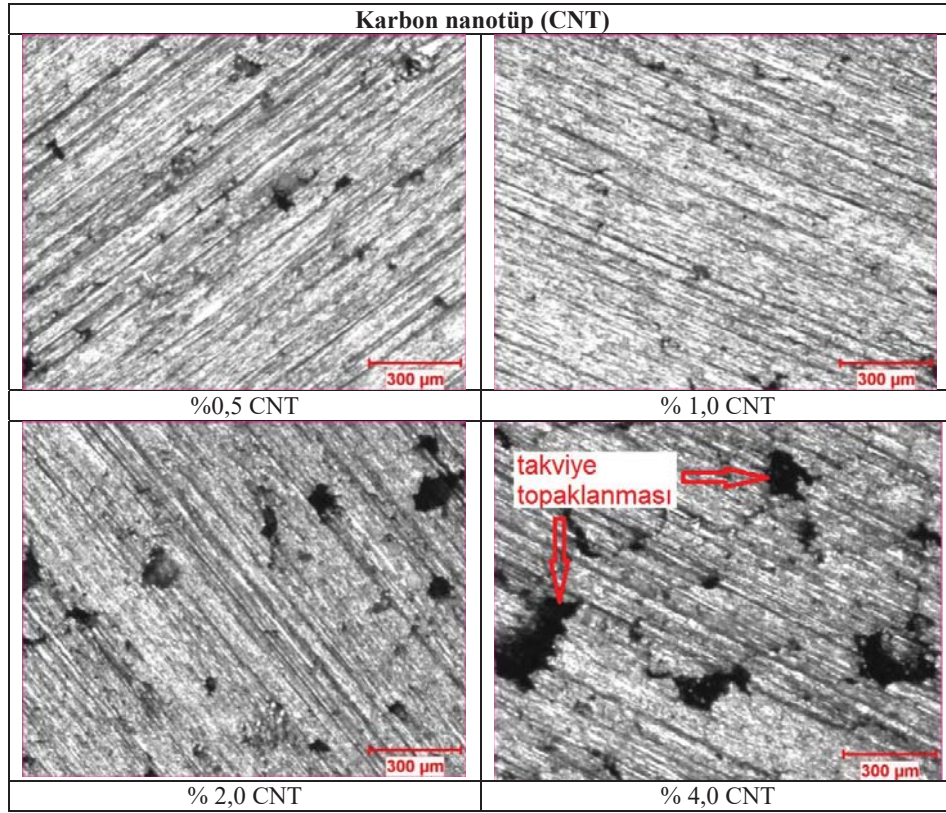
Kompozit numunelerin, pin-on-disc yöntemi ile yapılan aşınma deneylerinden takviye cinsi ve takviye oranlarına göre elde edilen aşınma kaybı değerlerine göre çizilen grafikler Şekil 7'de gösterilmektedir.



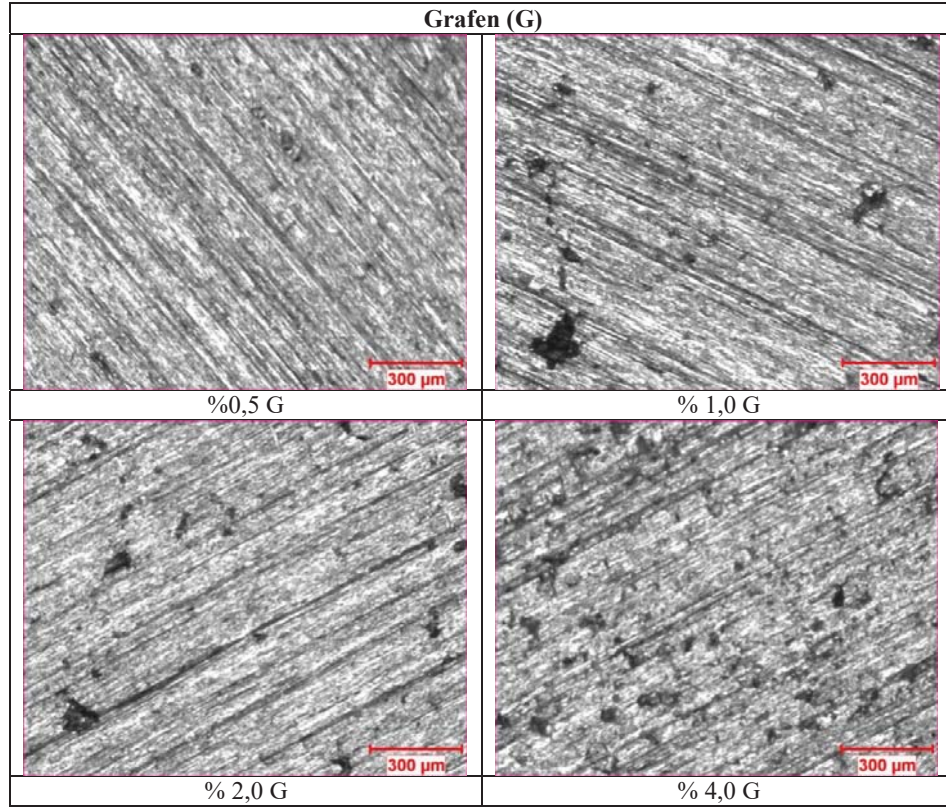


Şekil 7. Nano takviyeli kompozit numunelerin abrasif aşınma miktarları

Şekil 7'deki grafiklere bakıldığında genel olarak her üç yük miktarında da takviye oranlarının artmasıyla aşınma kayıplarının da artış gösterdiği görülmektedir. Genel olarak CNT takviyeli kompozitlerdeki aşınma kayıpları bir miktar fazla olsada, G takviyeli kompozitlere yakın değerlerde seyretmiştir. Ancak grafiklerdeki genel seyrin aksine, CNT takviyeli kompozit numunede %1,0 takviye oranındaki aşınma kaybı, % 0,5 takviyeye göre daha az meydana gelmiştir. Bu durumun kompozit numunenin üretiminden kaynaklandığını söylemek mümkündür. Daha önceki değerlendirmelerde de vurgulandığı gibi kompozit yapı içerisinde takviye malzemelerinin homojen dağılımı çok mümkün olamamıştır. Dolayısıyla aşınma deneylerinde, %1,0 CNT takviyeli kompozitin aşındırılan yüzeyine, yapının tamamında görülen düzensiz dağılımın aksine daha homojen ve kararlı bir kompozit yapı denk gelmiş olabilir. Veya bu bölgede nano takviye malzemesi çok az dağılmış olabilir ve buna bağlı olarak boşluklu yapı daha az oluşmuş olabilir. Sonuç olarak bu takviye oranına sahip kompozit numunede daha az aşınma değeri ölçülmüştür. Kompozitlerin aşınma davranışlarını daha iyi değerlendirebilmek için 40 N yük ile yapılan deneylerden sonra aşınan yüzeylerden çekilen mikroskop görüntüleri Şekil 8'de verilmektedir.



Şekil 8. CNT ve G takviyeli AI 2024 matrisli kompozit numunelerin aşınma güzeyleri



Şekil 8 (devam). CNT ve G takviyeli AI 2024 matrisli kompozit numunelerin aşınma güzeyleri

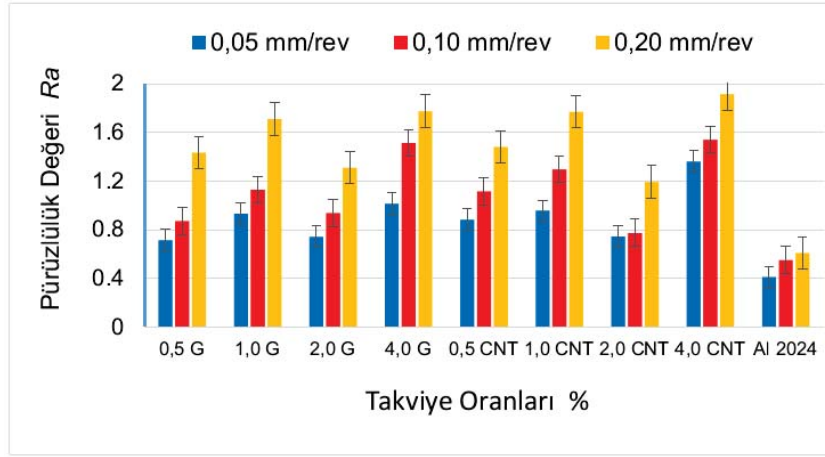
Şekil 8'deki mikroskop görüntüleri incelendiğinde, takviye elemanı olan nano malzemelerin topaklanmalar oluşturduğu ve alüminyum matris içerisinde düzensiz dağılım sergilediği görülmektedir. Takviye oranının artışına bağlı olarak bu olumsuz durumun daha fazla öne çıktığı anlaşılmaktadır. Kompozitlerin üretim yönteminde kullanılan karıştırılmalı döküm tekniği ile nano boyuttaki parçacıkların homojen dağılımını temin etmek mümkün olamamıştır. Özellikle CNT takviyeli kompozit numunelerde bu durum G takviyeli kompozitlere göre daha belirgindir.

Yüzeyler üzerindeki aşınma çizgileri genel olarak birbirine yakın özellikte meydana gelmiştir. Matris malzemesi AI 2024 içerisinde topaklanan CNT ve G takviye malzemelerinin aşınma deneyleri sırasında yüzeyi yer yer terk ettiği ve boşluklar oluşturduğu söylenebilir. Özellikle % 2,0 ve % 4,0 takviye oranlarında boşluklu yapı daha fazla öne çıkmıştır. Bu duruma bağlı olarak CNT takviyeli kompozitlerdeki aşınma kayıpları % 1,0 takviye oranından başlayarak giderek artış göstermiştir.

Grafen takviyeli kompozit numunelerdeki aşınma kaybı değerleri ile aşınma yüzeyi görüntüleri arasında bağ kurulabilir. G takviyeli kompozitlerin aşınma yüzey görüntülerine bakıldığında en fazla takviye topaklanmasının % 1,0 G takviyeli numunede olduğu görülmektedir. Dolayısıyla da yapı içerisindeki bu topaklanmaya bağlı olarak takviyenin yüzeyden uzaklaşması ve boşluklu yapıya sebep olması kaçınılmaz olmuştur. Ayrıca, aşınma yüzeylerindeki bazı derin çiziklerin oluşmasına, deneyler sırasında Al_2O_3 zımparadan kopan aşındırıcı parçacıkların neden olduğu ifade edilebilir. Sonuç olarak AI 2024 matris malzemesi içerisine ilave edilen nano CNT ve G takviye malzemelerinin kompozit yapının aşınma direncini düşürerek olumsuz etkilediği tespit edilmiştir.

3.4. Yüzey pürüzlülüklerinin değerlendirilmesi

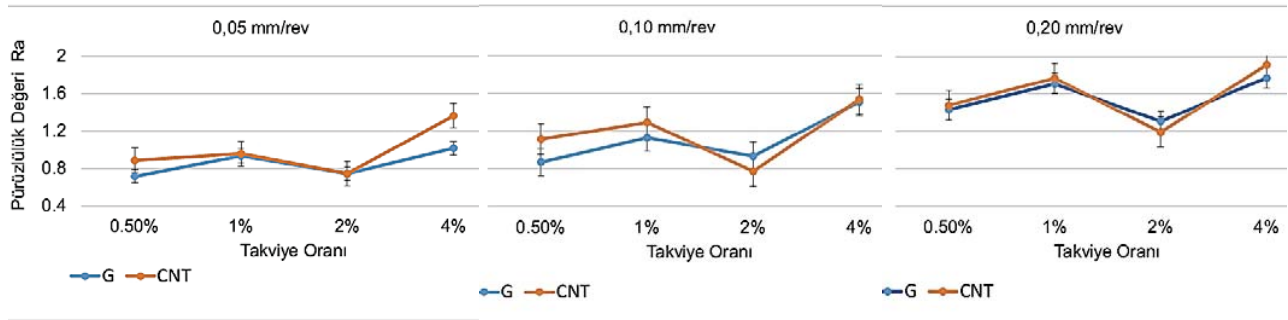
Kompozit numunelerin, işleme deneylerinden sonra yüzeylerinden ölçülen Ra cinsinden pürüzlülük değerlerine göre çizilen grafikler Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 9. İlerleme değeri ve takviye oranlarına göre yüzey pürüzlülükleri

Şekil 9'daki grafiğe bakıldığında ilk göze çarpan, ilerleme değerindeki artışla birlikte tüm kompozit numunelerdeki yüzey pürüzlülük değerlerinin artış göstermesidir. İkinci önemli tespit ise nano malzeme katkısız AI 2024 malzemedeki yüzey pürüzlülük değerlerinin katkılı kompozit malzemelere göre yarıya yakın miktarda düşük olmasıdır. Çok basit bir ifadeyle, nano malzeme katkısının AI 2024 malzemedeki yüzey pürüzlülük değerlerini arttırdığı ve bu yönüyle yüzey kalitesini olumsuz etkilediği görülmüştür. Aşınma yüzeylerinden çekilen mikroskop görüntülerinden anlaşılacağı üzere nano malzemeler kompozit yapı içerisinde homojen dağılım sergileyememiş ve oluşan takviye topaklanmaları sebebiyle yüzey kalitesi bozulmuştur. Talaş kaldırma esnasında takviye topaklanmalarının olduğu yüzey bölgelerinde, kesici takım ucu gözenekle veya grafit esaslı takviye malzemelerinin yoğun olarak toplandığı yumuşak faz ile karşılaştığında pürüzlülüğün oluşmasına sebep olmuştur. Diğer bir ifadeyle, takviye topaklanması olan bölgelerde takviyenin koparak yüzeyden uzaklaşması sebebiyle gözenekli veya boşluklu yüzey meydana gelmiştir. Grafiğe bakıldığında genel olarak, CNT takviyeli kompozit numunelerdeki yüzey pürüzlülük değerlerinin G (grafen) takviyeli numunelere göre bir miktar daha fazla olduğu söylenebilir. Bu durum, grafenin plaka halindeki yapısına karşın, CNT'nin içi boş silindirik yapıda olması ile ifade edilebilir. Bu iki nano malzeme temelde karbon atomları olmasına rağmen, aralarındaki yapısal farklılık yüzey pürüzlülük değerlerinde de bir miktar fark yaratmıştır. Şekil 9'daki grafik incelendiğinde, genel olarak 3 ilerleme değerinde de %2 nano malzeme takviyeli numuneler en düşük pürüzlülük değerlerini sergilemiştir. Takviye miktarları %0,5'ten %1,0'e çıkarken artış göstermiş, %1,0'den %2,0'ye çıkarken azalmış, %2,0'den %4,0'e çıkarken tekrar artışa geçerek en yüksek değerine ulaşmıştır. Kompozit yapı içerisindeki nano malzeme katkı miktarlarının artmasıyla, yüzey pürüzlülük değerleri de lineer bir artma göstermemiştir. Bu durumda, % 2,0 nano malzeme katkısının bütün kompozit yapılarda işlenebilirlik açısından uygun bir oran olduğu söylenebilir. Zira, hem CNT hem de G takviyeli numunelerde aynı şekilde en düşük yüzey pürüzlülük değeri % 2,0 takviye oranında elde edilmiştir.

CNT nano malzeme ile G nano malzeme arasındaki pürüzlülük değerlerindeki farkları ve % 2,0 takviyeli numunelerin pürüzlülük değerlerini daha açık görebilmek için Şekil 10'da üç ilerleme değerine göre, nano malzemelerin yüzey pürüzlülük değerlerini ayrı ayrı gösteren grafikler toplu olarak verilmektedir.

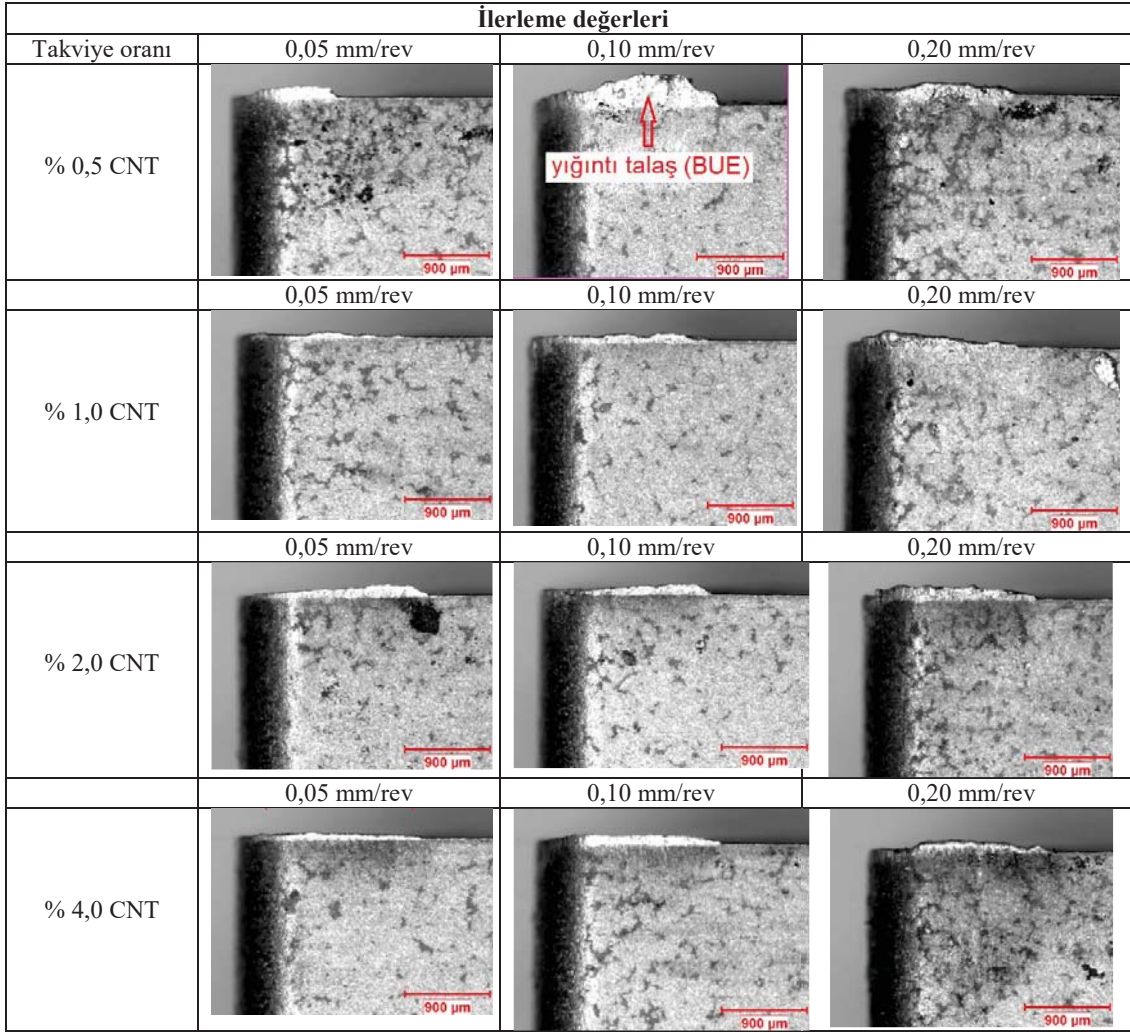


Şekil 10. İlerleme değerlerine göre CNT ve G takviyeli kompozitlerdeki yüzey pürüzlülükleri

Şekil 10'daki grafikler incelendiğinde CNT takviyeli numunelerin pürüzlülük değerlerinin G takviyeli numunelere göre biraz daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca her iki nano malzeme takviyeli kompozitte de % 2,0 takviye oranlarında en düşük pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Yukarıda da ifade edildiği gibi % 2,0 takviye oranı bu tür kompozitlerde optimum oran olarak kabul edilebilir.

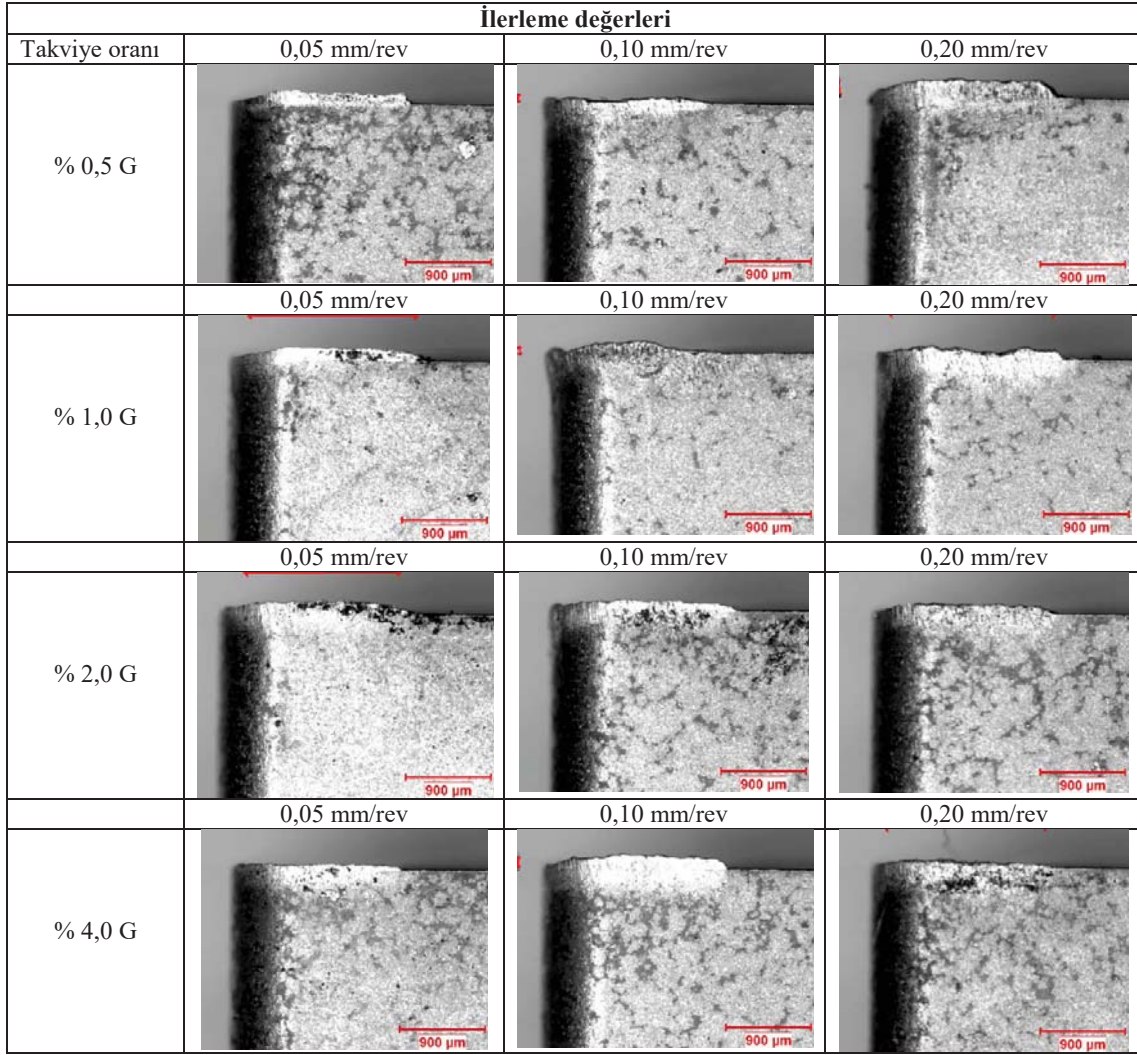
3.5. Takım aşınmalarının değerlendirilmesi

İşleme deneylerinden sonra kesici takımların stereo mikroskopta çekilen görüntüleri Şekil 11 ve 12'de verilmiştir.



Şekil 11. CNT takviyeli kompozitlerin işleme deneylerinde kullanılan kesici takımlar

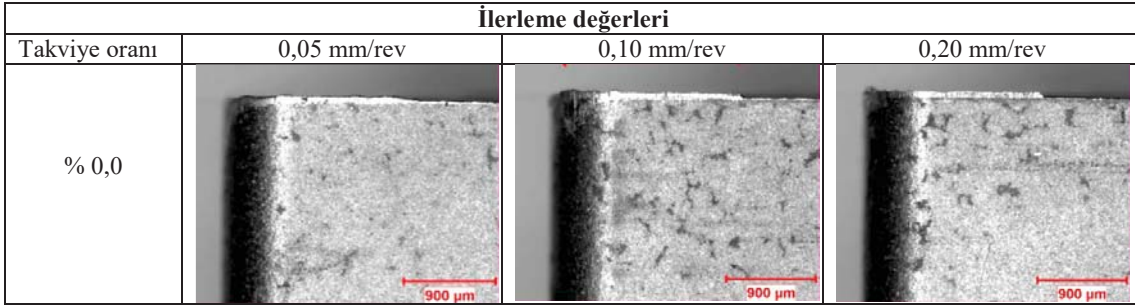
Şekil 11'deki mikroskop görüntülerine bakıldığında kesici takımların tamamında yan yüzey aşınmasının meydana gelmediği söylenebilir. Deneylerde seçilen kesme hızı ve ilerleme değerleri, takım uçlarında herhangi bir aşınma olmamış ancak kesici takımların tamamında bir miktar yığıntı talaş (BUE) oluşumuna sebep olmuştur. Kompozit malzemenin yapısında bulunan takviye malzemesinden çok az miktarda takım yan yüzeylerine yapıştığı görülmektedir. Alüminyum gibi sünek malzemelerin işlenmesinde ortaya çıkan yığıntı talaş bu deneylerde de takım yüzeylerinde meydana gelmiştir. Ancak ilerleme değerinin artmasıyla yığıntı talaş miktarında artış oluşmamıştır. Bunun sebebi olarak, kompozit malzeme içerisindeki takviye elemanı CNT partiküllerinin homojen olmayan dağılımını göstermek mümkündür. Diğer mekanik deneylerde olduğu gibi kararsız takviye dağılımı ve meydana gelen boşluklu yapı nedeniyle işleme deneyleri sırasında kesici takım ucu farklı malzeme fazlarıyla karşılaşmıştır. Dolayısıyla takviyesiz bir alüminyum malzemenin işlenmesinde ve genelde ilerleme değerinin artışına bağlı olarak lineer biçimde artması beklenen yığıntı talaş miktarı, bu deneylerde oluşmamıştır.



Şekil 12. G takviyeli kompozitlerin işleme deneylerinde kullanılan kesici takımlar

Şekil 12'deki görüntüler incelendiğinde, Şekil 11'deki gibi G takviyeli kompozit numunelerin işleme deneylerinde kullanılan kesici takımlarda da yan yüzey aşınması meydana gelmemiştir. Ancak, CNT katkıli numunelerin işlendiği kesici takımlarda olduğu gibi yığıntı talaş oluşumu gözlenmektedir. Yığıntı talaş miktarlarının, CNT takviyeli numunelerin işlendiği kesici takımlardan biraz daha fazla olduğu söylenebilir. Bu durumu, G takviyeli kompozitlerin CNT takviyeli kompozitler göre daha düşük sertlik değerlerinde olmasıyla ve tabaka şeklindeki atomik yapısıyla açıklamak mümkün olabilir. Sonuç olarak, işleme deneyleri için seçilen kesici takım ve kesme parametrelerinin, bu tür kompozit yapıların işlenmesinde, takım aşınması yönünden uygun olduğu görülmüştür.

Mukayese yapabilmek amacıyla nano malzeme takviye edilmemiş AI 2024 malzemenin işlenmesinde kullanılan kesici takım uçlarının mikroskop görüntüleri Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 13. Nano malzeme takviye edilmemiş AI 2024 malzemenin işlenme deneylerinde kullanılan kesici takımlar

Şekil 13'teki takım görüntülerine bakıldığında, üç farklı ilerleme değerinde de takım uçlarında herhangi takım aşınması meydana gelmediği görülmektedir. Çok az miktarda yığıntı talaş oluşmuştur. Ancak yığıntı talaş miktarları CNT ve G nano malzeme takviyeli kompozit numunelere göre oldukça az miktarlardadır. Daha öncede ifade edildiği gibi sünek yapıda olan AI 2024 malzemenin işlenmesinde bir miktar BUE oluşması beklenen bir sonuçtur. Burada dikkat çekilmesi gereken husus, hem CNT hem de G takviye malzemelerinin takım yüzeylerinde BUE oluşumuna katkı sağlamasıdır. Grafit atomlarından meydana gelen bu iki tür nano malzemenin, katkıdıkları yapılar kayganlığın yanında bir miktar yapışma özelliği de kazandırmış oldukları söylenebilir. Dolayısıyla bu deneysel çalışmada, içerisine nano boyutta CNT ve G takviye edilen alüminyum malzemenin işlenmesinde takım yüzeylerinde normalden daha fazla yığıntı talaş oluşmuştur. Kesici takım takım yüzeylerinde oluşan yığıntı talaşlar, takım aşınmasına neden olmamıştır ancak işlenen kompozit numunelerin yüzeylerinden ölçülen pürüzlülük değerlerinde etkili olduğu değerlendirilmiştir.

3.6. Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Karıştırmalı döküm yöntemi kullanılarak elde edilen nano malzeme takviyeli kompozitte istenilen homojenlikte takviye dağılımı elde edilememiştir. Bu tür nano malzeme katkılı metal matrisli kompozitlerin üretiminde, infiltrasyon veya toz metalurjisi gibi farklı yöntemlerin kullanılarak, sonuçların karıştırmalı döküm yöntemiyle mukayese edilmesi tavsiye edilebilir.
- Kompozit yapı içerisine katılan CNT ve G takviye malzemesinde topaklanmaların yaşandığı, özellikle de takviye oranının % 1,0'ın üzerine çıkmasıyla bu durumun daha belirgin hale geldiği tespit edilmiştir.
- Hem G hemde CNT takviyeli kompozit numunelerde takviye miktarlarının artışına bağlı olarak sertlik değerleri azalmıştır. G takviyeli kompozitlerde CNT takviyeli kompozitlere göre bütün takviye oranlarında daha düşük sertlik değerleri ölçülmüştür. Bu duruma kompozit yapı içerisindeki, G nano malzemelerin düzlemsel ağ yapısının, CNT'nin içi boş silindirik yapısına göre daha geniş yüzey alanına dağılımı olmasının neden olduğu düşünülmektedir.
- Genel olarak üç aşınma yük miktarında da (10, 20, 40 N) CNT ve G takviye oranlarının artmasıyla, aşınma kayıplarında artış göstermiştir. AI 2024 matris malzemesi içerisine ilave edilen nano CNT ve G takviye malzemelerinin kompozit yapının aşınma direncini düşürerek olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Bu sonucu sertlik sonuçlarıyla birlikte değerlendirmek mümkündür.
- İşleme deneylerinde beklendiği şekliyle, ilerleme değerindeki artışla birlikte tüm kompozit numunelerdeki yüzey pürüzlülük değerleri artış göstermiştir. Ancak nano malzeme katkısız AI 2024 malzemedeki yüzey pürüzlülük değerleri, CNT ve G katkılı kompozit malzemelere göre yarıya yakın miktarda düşük ölçülmüştür. Nano malzeme katkısı AI 2024 malzemedeki yüzey pürüzlülük değerlerini artırarak yüzey kalitesini olumsuz etkilemiştir. Genel olarak, CNT takviyeli kompozit numunelerdeki yüzey pürüzlülük değerlerinin, G takviyeli numunelere göre bir miktar daha fazla olduğu söylenebilir.
- İşleme deneylerinde seçilen kesme parametreleri, kullanılan kesici takım uçlarının tamamında, herhangi bir aşınma mekanizmasına neden olmamıştır. Ancak kesici takımların tümünde bir miktar yığıntı talaş (BUE) oluşumuna sebep olmuştur. Bu yığıntı talaşların, takım aşınmasına neden olmadığı ancak, kompozit numunelerin yüzey pürüzlülük değerlerinde etkili olduğu değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, işleme deneyleri için seçilen kesici takım ve kesme parametrelerinin, bu tür kompozit yapıların işlenmesinde, takım aşınması yönünden uygun olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 2017/076 numaralı proje kapsamında Kırıkkale Üniversitesi BAP Birimi tarafından desteklenmiştir.

REFERANSLAR

- C. M. Şenel, M. Gürbüz, E. Koç (2015). Grafen Takviyeli Alüminyum Matrisli Yeni Nesil Kompozitler. Mühendis ve Makina, Cilt 56, Sayı 669, 36-47.
- H. Aydın ve A. Bayram (2010). Farklı Isıl İşlem Koşullarındaki 2024 Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Sonrası Mekanik Özelliklerindeki Kaybın Belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 15, Sayı 1, 159-168.
- ISO 3685 (1993). Tool-life testing with single-point turning tools, 1-12.
- İ. Mutlay(2014). Karbon Nanotüpler: Özellikler ve Uygulamalar. Grafen Chemical Industries Co. Ankara, Turkey.
- K. Dharsan, S. Santhosh Kumar(2017). An Exploration of the Influence in Aluminium Metal Matrix Composite Reinforced with Graphene. 5th National Conference on Trends in Automotive Parts Systems and Applications (TAPSA-2017), International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol 6, Special Issue 7, 141-142.
- S. R. Bakshi, D. Lahiri ve A. Agarwal(2010). Carbon nanotube reinforced metal matrix composites – A Review. International Materials Reviews, Vol 55, No 1, 41-61. DOI:10.1179/095066009X12572530170543
- TS 6212 EN ISO 4288(1999). “Mamulün Geometrik Özellikleri (Gps) - Yüzey Yapısı: Profil Metodu - Yüzey Yapısının Değerlendirilmesi İçin Kurallar ve İşlemler. TSE, Ankara.
- TS EN ISO 4498(2011). “Sinterlenmiş metal malzemeler (sert metaller hariç) - Görünen sertliğin ve mikrosertliğin tayini. TSE, Ankara.
- TS EN ISO 6506-1(2007). “Metalik malzemeler - Brinell sertlik deneyi - Bölüm 1: Deney metodu. TSE, Ankara.



MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ

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

UMAGD, (2019) 11(1), 383-395.



10.29137/umagd.503309

Cilt/Volume:11 Sayı/Issue:1 Ocak/January 2019

Araştırma Makalesi / Research Article

Optical Bio-barcode Nanobiosensors

Fikret Yalçinkaya¹ , Abdulhamid Hamsho¹ 

¹Kırıkkale University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, 71451 Kırıkkale, TURKEY

Başvuru/Received: 17/07/2018

Kabul/Accepted: 26/11/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Abstract

Nanobiosensors are at the core of multidisciplinary research worldwide, from textiles to medicine, from space research to marine. The field of optical nanobiosensors has a special importance within this growing area over the last quarter of the century. Various forms of optical detection methods have been used in a wide spectrum of applications. Practical applications are intentionally given to help clinicians and laboratory employees in terms of materials, compositions, and protocols of use. This tutorial review includes recent efforts in the use of nanoparticle-based bio-barcode analysis to detect a target molecule by focusing on optical techniques. The optical sensing part defines fluorescence, real-time PCR, colorimetric, luminescence, surface plasmon and electrophoresis resonance systems. Finally, applications have been summarized in the detection of pathogenic microorganisms, clinical analysis, pesticides and toxicants in the environmental area and in food products.

Key Words

“Optic, Biobarcode, Nanobiosensor”

1. INTRODUCTION

Nanotechnology is the study of extremely small structures with a size between 0.1 and 100 nm. Nanotechnology literally means any technology that is a nanometer with real-world applications. Nanotechnology is probable to have a major impact on semiconductor technology, information technology and our economy and society, or cellular and molecular biology in the early 21st century. Nanotechnology promises breakthroughs in science and technology research, materials and production, pharmaceutical and health, nanoelectronic and energy, information technology, biotechnology, biosensors and national security. Nanotechnology is widely felt to be the next Industrial Revolution (Bhushan B., 2010) Nanoparticle based materials offer excellent expectations for biological and chemical detection due to their distinctive electrical properties (Zhu et al., 2004). In recent years, metal nanoparticles have been applied for detect of protein (Jie et al., 2007), and DNA (Hansen et al., 2006a,b), with sensitivities in the picomolar and femtomolar range. Nanoparticle-on-a-biobarcode is one more selectivity of nanobiosensor technology, Magnetic and gold nanoparticles, bound to a suitable antibody or complementary DNA, are used to label specific molecules, target DNA, structures or microorganisms. Bio-barcode has recently emerged as a new bioassay technique with excellent ability for multiplexing (Hill. H.D., Mirkin C.A. 2006), reaching also high sensitivity. Bio-barcode analyzes are some of the few non-enzyme amplification assays that can provide sensitivity comparable to PCR that does not contain enzymes and specific instrumentation. The most frequently used detection methods are given as follows with special emphasis on their nanobiosensors applications.

1.1. Fluorescence Detection

Optical and Fluorescence is the most frequently used method and it has a variety of schemes. The most commonly used block diagram approach of an optical biosensor with fluorescence detection is as follows:

$$\text{Optical Biosensor} = \left| \begin{array}{l} \text{Ligand-binding target} \\ \text{molecule (high} \\ \text{selectivity)} \end{array} \right. + \left| \begin{array}{l} \text{Fluorescence} \\ \text{detection (high} \\ \text{sensitivity)} \end{array} \right.$$

Zang *et al.*, have shown that a very small amount of small molecules can be detected by competitive bio-barcode immunoassay. To do that, properly modified gold nanoparticles with monoclonal antibody (McAb) and 6-carboxyfluoresce in the labeled single stranded thiol oligonucleotides (FAM-SH-ssDNA) have been used (Fig. 1A). The fluorescence of 6-FAM was quenched by gold nanoparticle, when adding the small molecule and modified AuNPs to Ovalbumin linked haptens (OVA-hapten) were coated on the bottom of the microplate, between a hapten and small molecule would be a competitive reaction (Fig. 1B). The hapten-McAb-Au NPs probe was formed at the bottom of the microplate, the AuNPs labeled with small molecule can be removed by washing. After washing the free AuNPs, DTT has been used to release of 6-FAM-SH-ss DNA from the surface of labeled AuNPs on microplate and hence fluorescence signal can be detected (Zhang C. et al, 2017). The steps need to realized are given as follows:

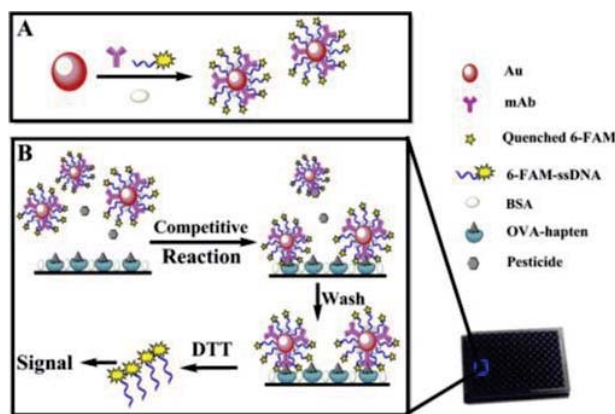
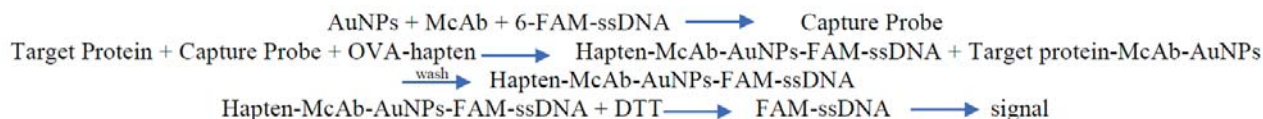
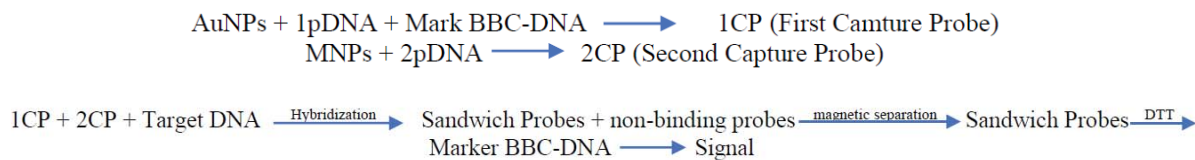


Fig. 1. (A) preparation of modified AuNPs with McAb and barcode DNA, (B) formed of hapten-McAb-AuNP probe complex and detection fluorescence signal (Zhang C. et al, 2017).

Amini et al, developed a new optical fluorescence bio-barcode technique to detect Exotoxin A by bio-barcode DNA (BBC-DNA) assay, Exotoxin A is the most virulent virulence factor of *P. aeruginosa*. Gold nanoparticle (AuNP) and magnetic nanoparticle (MNP) probes have been used, the AuNPs modified by first probe DNA (1pDNA) and fluorescence marker bio-barcode DNA (Fig. 2A) and the MNPs modified by a second probe DNA (2pDNA) see (Fig. 2B). When added target DNA, the target DNA can hybridize with 1pDNA and 2pDNA. The conjugation of probes with nanoparticles and hybridization with target

DNA resulted in the following sandwich structure: MNP 2pDNA-tDNA-AuNP 1pDNA-BBC-DNA (Fig. 2C). Free AuNPs and MNPs were removed by sample magnetic separation, the sandwich complex remain constant in the tube. After released total DNAs by dithiothreitol (DTT). Finally, the fluorescent signal can be measured by fluorescence spectrophotometer and hence detect of Exotoxin A (Fig. 2D) (Amini B., et al 2016).



Zhou *et al*, developed a new method to detection of a known piece of DNA, using silver nanoparticles and magnetic nanoparticles. Silver nanoparticles were functionalized with labeled ssDNA (single-strand DNA) and fluorescently barcode dsDNA (double-strand DNA). The MNP was modified with capture DNA. The target DNA has two complementary DNAs, one half with labeled DNA and the other half with capture DNA. Having bounded target DNA to nanoprobcs, the complex sandwich was formed and can be separated by the magnetic field and then spectrofluorometric measurements were carried out directly (Zhou Z. et al, 2014).

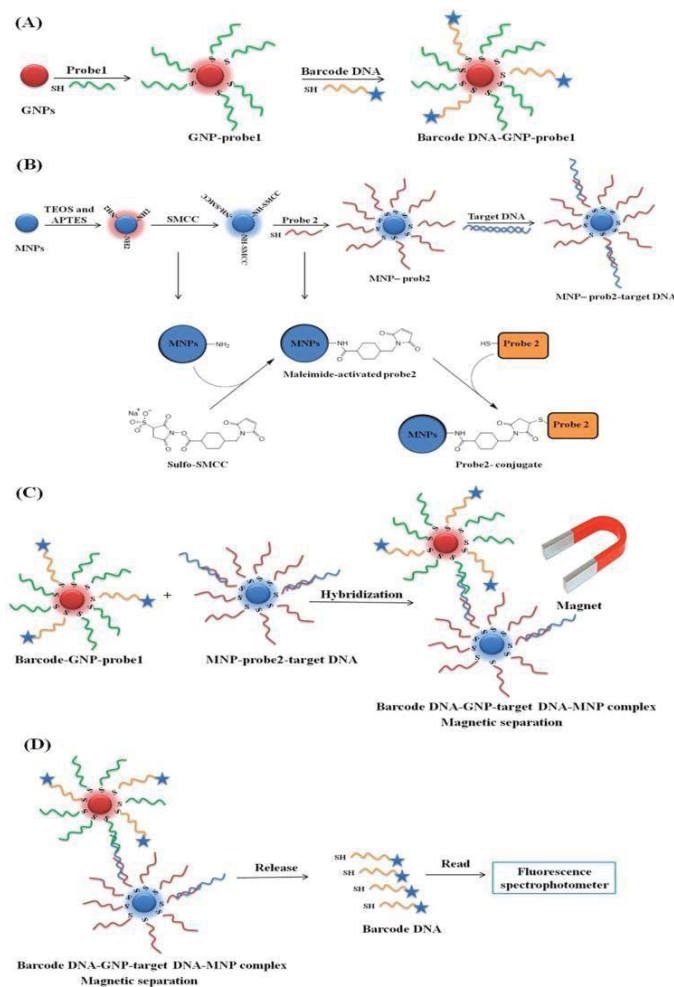
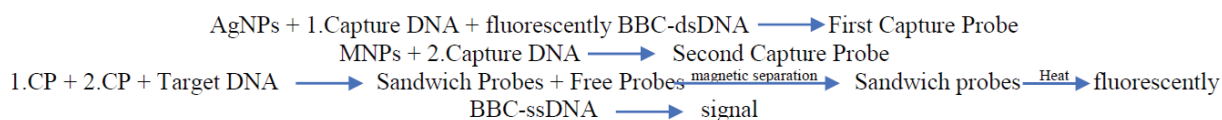
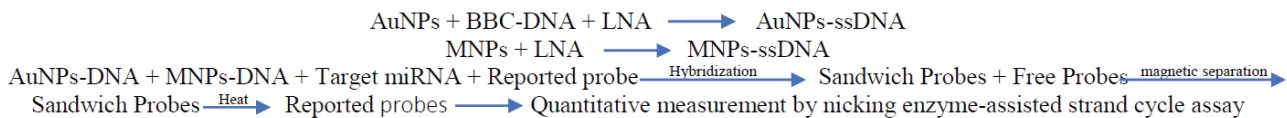


Fig. 2. (A) preparation of AuNP and coated by probe-1 DNA and bio-barcode DNA, (B) Modified MNP by probe-2 DNA, (C) binding target DNA with 2pDNA and 1pDNA and formed the sandwich, (D) magnetic separation, DNAs release and read the fluorescence signal (Amini B., et al 2016).

Dong *et al*, developed a highly sensitive and selective biosensor for the detection of microRNAs using bio-barcode DNA assay with catalytic hairpin assembly via multiple probes. In the designed system, two nanoprobcs of gold nanoparticles functionalized

with locked nucleic acid (LNA) and bio-barcode DNA and the magnetic nanoparticles modified with DNA probe were prepared (Fig. 3A). When adding the target miRNA and reported probe (RP), the target miRNA hybridized between AuNP-LNA and MNP-DNA, and the reported probe hybridized with BBC-DNA (Fig 3B). After separating the sandwich by a magnetic field, the reported probe can be released under high temperature. The RP-DNA can trigger an nicking enzyme-assisted (Nb,BbvCI) strand cycle, which produces an amplified signal selectivity and sensitive miRNA detection (Fig. 3C) (Dong H., et al, 2015)



Broto *et al*, reported for the first time an NP-based bio-barcode for detection of C reactive protein (CRP) in plasma samples. This assay uses polystyrene particles modified with BBC-DNA and capture antibody, magnetic beads modified with specific antibody and a fluorescence DNA microarray. The MBs were added to plasma sample, the target protein in plasma sample labeled with the first antibody on the surface of the MBs to form immunocomplex that will be isolated, then add the BBC-DNA modified particles to form the sandwich complex. The Sandwich complex isolated by magnetic field, the release of the modified oligonucleotide occurs which is finally hybridized in a fluorescent DNA microarray and the fluorescent signal can be detected. (Fig. 4) (Broto M., et al 2017).

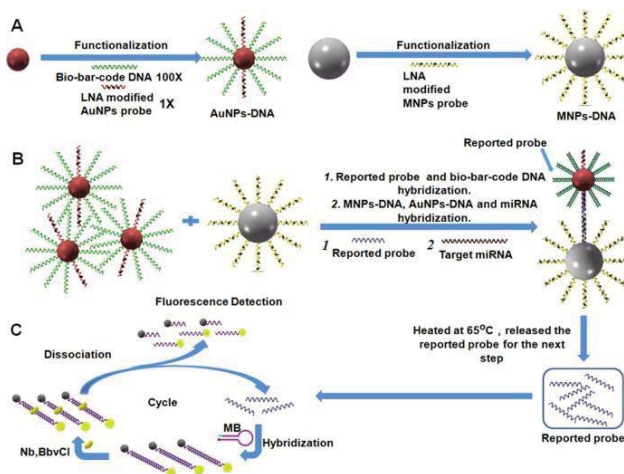
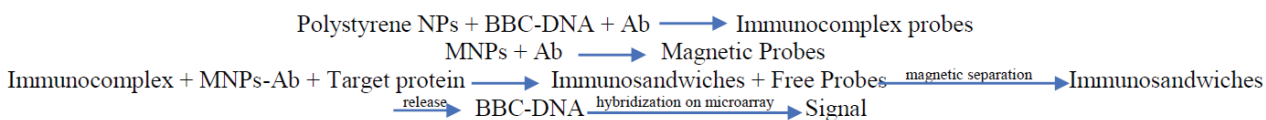


Fig. 3. (A) proportion of modified AuNPs and MNPs, (B) formed of AuNP LNA-miRNA-DNA MNP and BBC-DNA-RP, (C) released RP detection by enzyme-Assisted Strand Cycle (Nb,BbvCI) and Exponential Signal Amplification (Dong H., et al, 2015)

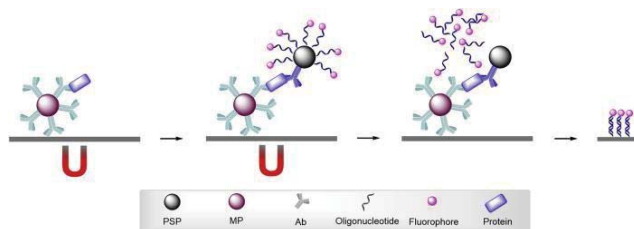
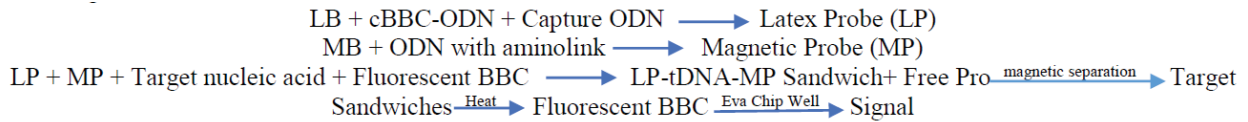


Fig. 4. Diagram of the detection of a small molecule by the sandwich nanoparticle-based bio-barcode assay (Broto M., et al 2017).

Trévisan *et al*, developed a new type of BBC biosensor to resolve problem encountered in detecting of poor biological samples. The method uses evanescent wave fluorescence, magnetic beads (MB) and nonmagnetic beads (latex beads LB), both functionalized with oligonucleotides (Fig. 5a,b). The LB probe modified with two type oligonucleotides (ODN), the first ODN complementary to fluorescently bio-barcode DNA (BBC-ODN), the second ODN can hybridize with half of target DNA, another half of target DNA is complementary to ODN onto the surface of MB. When added the target DNA to probes, “MB-tDNA-LB-BCB” sandwiches were formed. After magnetic separation of sandwich from excess non-hybridized BBC, the fluorescent BBC-ODN dehybridize with high temperature (Fig. 5c). The sensor detector the fluorescent of BBC-ODN onto the surface of Eva chip by measuring the kinetics of fluorescence evolution. (Trévisan M., et al 2010)



1.2. Light absorption (colorimetric)

Specific antibodies modified nanoparticles interact with the target molecule, the resulting nanoparticle aggregation or separated DNA can be measured by light absorption. Zhou *et al.*, have shown that specific enzymes can be detected by DNAzyme for the detection of protein cancer biomarkers. Two nanoprobe were used, the first one is a MMPs (magnetic microparticles) were functionalized with McAb anti-AFP (α -fetoprotein), the second nanoprobe is a AuNPs functionalized with polyclonal antibody (PcAb) anti-AFP and dsDNA, only one of the double strand was labeled with AuNPs and another strand can be hybridized with the first strand, was the peroxidase-mimicking DNAzyme. Thus, magnetic beads are added to the sample, AFP was sandwiched between AuNP and MMP (Fig. 6). After isolating the sandwiches by a magnetic field, the DNAzyme hybridized from the other strand into the supernatant, the released DNAzyme then reacted with substrate solution, producing a green color and can be detected by absorption light with a peak at 410 nm (Zhou. W.H. et al, 2009).

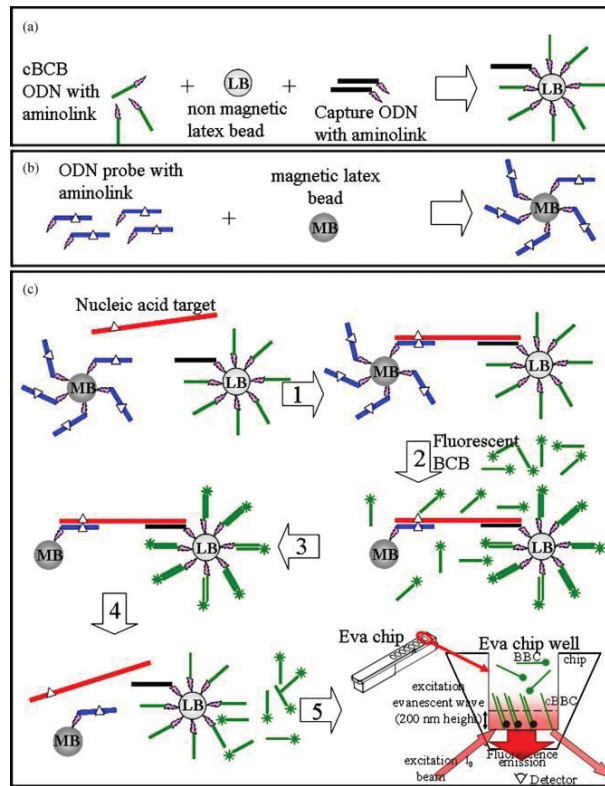
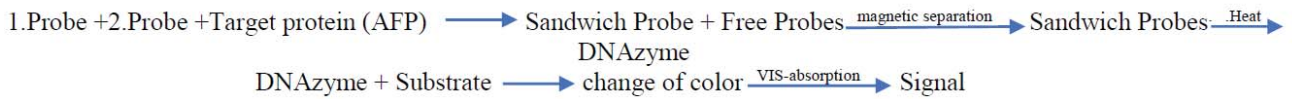
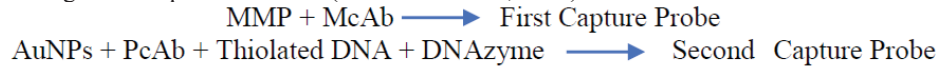


Fig. 5. (a) Preparation of modified latex beads with BBC ODN, (b) Preparation of magnetic beads modified with ODN probe, (c) schematic diagram of the bio-barcode assay. (1) hybridization of target DNA with modified Latex Bead and MB, (2) labeled of fluorescent BBC with BBC-ODN onto the surface of LB, (3) magnetic separation of MB, (4) released of fluorescent BBC, (5) detection of fluorescent BBC-ODN in EVA chip with EWF sensor (Zhou. W.H., et al, 2009).

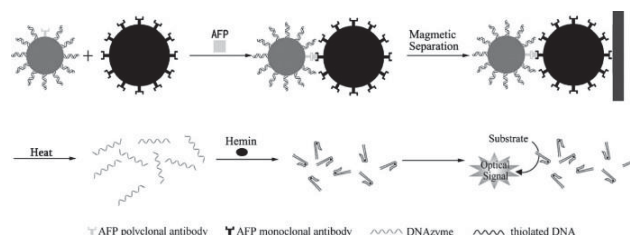
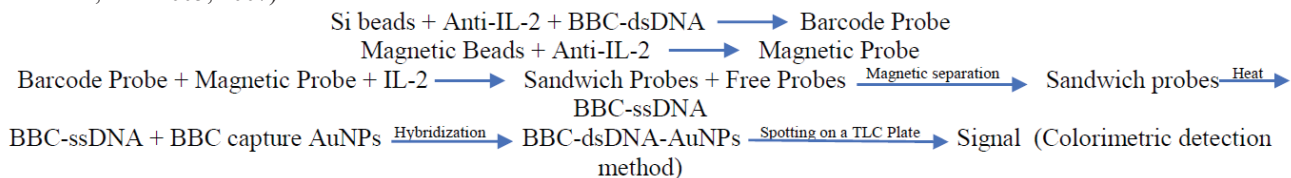


Fig. 6. Schematic illustration of the immunocomplex assay for detection of cancer biomarker (Zhou. W.H. et al, 2009).

Nam and co-workers, developed an ultrasensitive colorimetric bio barcode amplification method for detection of interleukin-2 (IL-2). The IL-2 is a cytokine signaling molecule in the immune system. In order to detect IL-2, the functionalized silica beads with McAb Anti-interleukin-2 and bio-barcode ssDNA, thus hybridize with complement BBC-DNA. The other particle is magnetic bead. The magnetic beads were modified with seconder Anti-interleukin. When added IL-2 to probes, the first and second antibody are bonded with IL-2 and formed the complex sandwiches "BBC-DNA/SiB/IL-2/MB" (Fig 7A). After separated the nonbonded probe by magnetic field the barcode DNA released from SiB by high heat and hybridized with modified AuNPs with barcode capture probes. The bonded AuNPs with barcode DNA can give a less reddish and the other free particles gives more reddish color, for the separation of two nanoparticles they used thin-layer-chromatography (TLC) plate. (Fig. 7B) (Nam J.M., et al 2005, 2007)



1.3. Light scattering

The principle is simple, metal nanoparticles, such as AuNPs or silver nanoparticle, can be used to spread light of certain wavelengths. *Du et al*, developed a novel bio barcode competitive immunoassay for detection of small molecule pesticide residue based on gold nanoparticles labeling silver staining method in a microwell plate. To detect small molecule, such as, Triazophos (TAP), two types of probes were used, the first one is MMPs coated with ovalbumin coupled with the pesticide hapten, and the second probe is gold nanoparticles (AuNPs). The nanoparticles were coated with McAb and BBC-ssDNA. After labeling TAP with gold nanoprobe, the non-bonded gold nanoprobe labeled with ovalbumin onto the surface of the magnetic microparticle and released free AuNPs by magnetic separation (Fig. 8A). The bonded of AuNPs with magnetic particles were treated with DTT to release barcode DNA and then was measured by a simple method based on microwell plate. The barcode added to the plate via the method. The plate has a biotinylated DNA and modified gold nanoparticles with capture DNA. The barcode DNA has two half-complementaries, one with biotinylated DNA and the other with capture DNA. These surrogate barcode targets are then hybridized to microarrays and detected with silver amplified gold nanoparticle probes. (Fig. 8B) (Du P. et al, 2017)

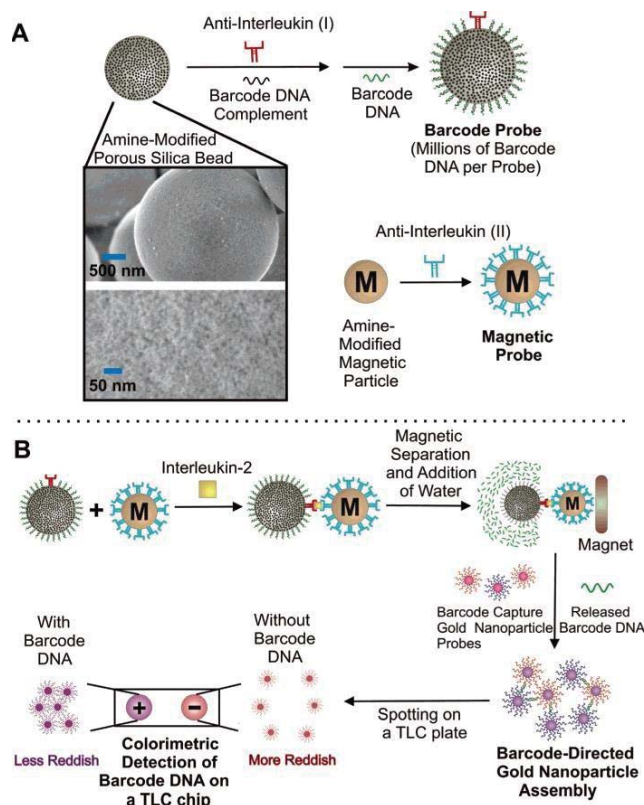
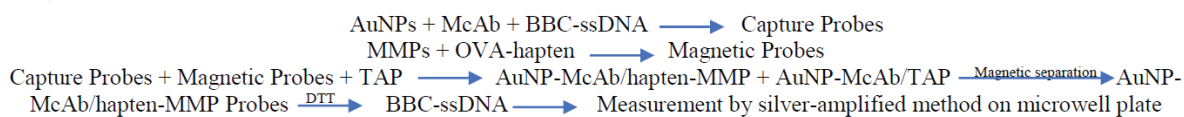
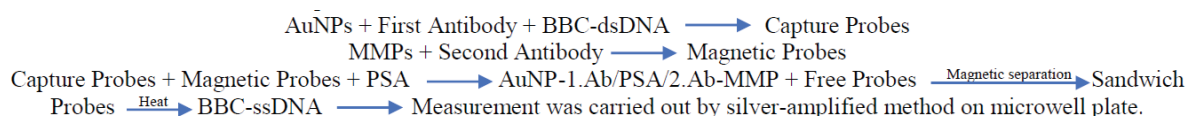


Fig. 7. (A) Preparation of modified silica beads and magnetic beads, (B) formed of sandwich complex and quantified of barcode DNA by TLC plate. (Nam J.M., et al, 2007)

Bao *et al.*, reported barcode immunoassay method for the detection of PSA (prostate-specific antigen). In this work, they used a magnetic nanoparticle, gold nanoparticle and ssDNA barcode. In the first step, target protein labeled with the first antibody onto a surface of magnetic particle and in the second step antibody labeled onto a surface of gold nanoparticle was used to form sandwich probes. After magnetic separation, the bonded gold nanoparticle released from magnetic nanoparticle and the barcode DNA released from gold nanoparticle by Dithiothreitol (DTT). The released DNA can hybridize with modified AuNPs by capture DNA and surface of biotinylated DNA - streptavidin-coated microwell plate, finally the signal was amplified by silver enhancement. (Bao T.P. *et al.*, 2006). Another work, by Nam *et al.*, used gold nanoparticles modified by ssDNA and complementary barcode DNA, after magnetic separation, the BBC-DNA released by high temperature and signal amplified by a silver enhancement in a microwell plate (Nam J.M., *et al.* 2003)



1.4. Real-Time PCR

When bio-barcode conjugated with modified nanoparticles or target RNA, after release operation, bio-barcode can be measured by real-time PCR. Du *et al.*, reported a new bio-barcode immunoassay competitive amplification method for detecting a small molecule (Mw < 5000) like triazophos (TAP) pesticide. In this work they used gold and magnetic nanoparticles, the gold nanoparticle modified with McAb and ssDNA, ssDNA can hybridize with barcode DNA. A magnetic nanoparticle (MNPs) was developed by conjugation of magnetic nanoparticles and OVA-coupled with hapten. When added a target molecule, the target molecule bonded with McAb at gold nanoprobe and free gold nanoprobe bonded with hapten-OVA onto the surface of MNPs and both together formed the sandwich (AuNP-McAb-OVA-MNP). After magnetic separation of probes by magnetic field, the bonded gold nanoprobe with target protein were removed, and then the bonded gold nanoprobe with magnetic probes remained in the tube (Fig. 9). The barcode DNA isolated from AuNPs in the tube and detected by real-time PCR (Du P. *et al.*, 2016)

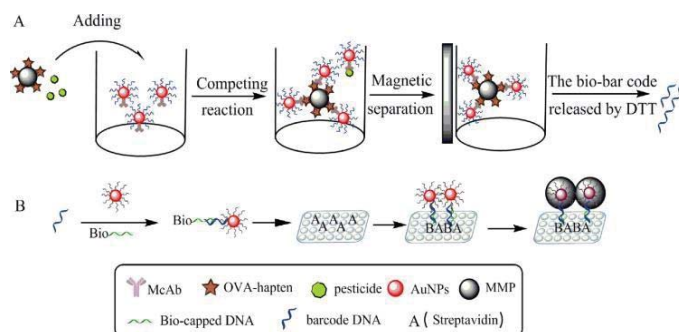
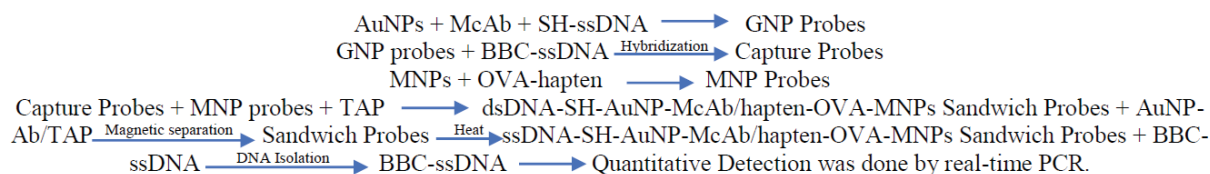


Fig. 8. Schematic illustration of the immunocomplex assay with microwell plate for detection pesticide (Du P. *et al.*, 2017).

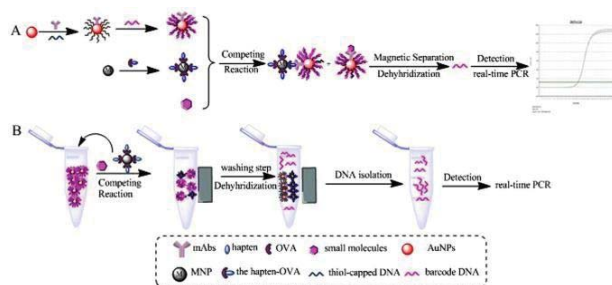
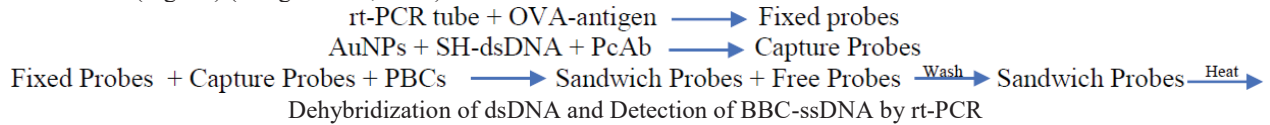


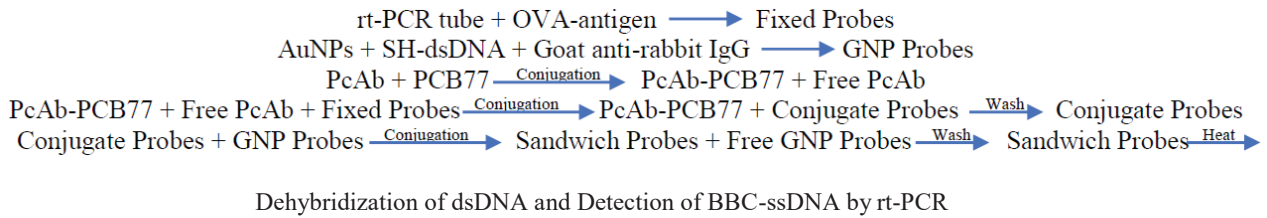
Fig. 9. Schematic illustration of competitive bio barcode immunoassay nanobiosensor (Du P. *et al.*, 2016).

Yang *et al.*, reported a novel bio-barcode immunoassay to detection of polychlorinated biphenyls (PCBs) in hairtail, to simplify the technique further and improve the sensitivity of the previously developed bio barcode immunoassay. This work combines bio barcode DNA assay and immune rt-PCR. The gold nanoparticles were modified with a thiol-capped DNA and antibody for the proportion of a capture probe. The Real-Time PCR tubes functionalized with ovalbumin coating antigen. The target protein in the sample conjugation with PcAb onto the surface of AuNPs and the non-bonded of capture probes fixed on the wall through immunoreaction of coating antigen onto the rt-PCR tube. The target protein with capture probes was removed by washing, the

barcode DNA onto a surface of fixed AuNPs released by high temperature and directly quantify the barcode DNA in the tube by real-time PCR (Fig. 10) (Yang G. et al, 2015).



Yang and co-workers also developed an immunosandwich assay for the determination of 3,4,3',4'-tetrachlorobiphenyl (PCB77), using PcAb for conjugation with the target protein and coating antigen in PCR tube, the gold nanoparticles functionalized with thiol-capped dsDNA and goat anti-rabbit IgG. IgG was conjugated with Fc region of polyclonal antibody by immunoreaction in PCR tube and formed the sandwich immuno-complex (Fig. 11). The signal-DNA was released from the probes by the initial heating procedure of real-time PCR and was quantified by real-time PCR (Yang G.X., et al, 2013)



1.5. Electrophoresis

Lee et al, developed a new type of bio barcode gel assay for determination of different miRNA levels from lung and breast cancer cells with high selectivity and sensitivity. Sandwiching target miRNA with a gold-nanoprobe (AuNPs-DNA) functionalized with a different signal component oligonucleotide and magnetic nanoprobe (MNPs-DNA) functionalized with signal component oligonucleotide to make the AuNPs-DNA/miRNA/MNP-DNA sandwiches. Then, separated from the solution by a magnetic field (Fig. 12). Finally, dissolved the AuNPs by potassium cyanide (KCN), to completely release BBC-DNA in a very short time and to further increase the signal intensity detected during gel electrophoresis of double helix BBC-DNA sequences (Lee H., et al, 2013).

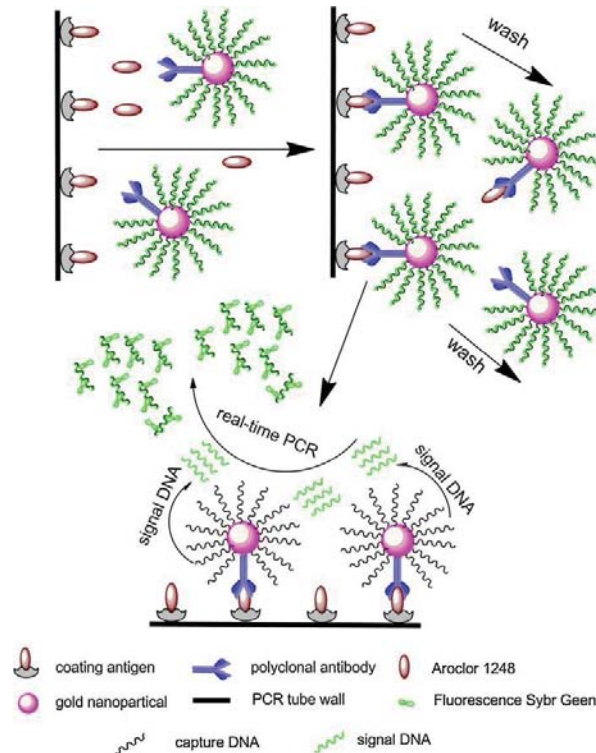
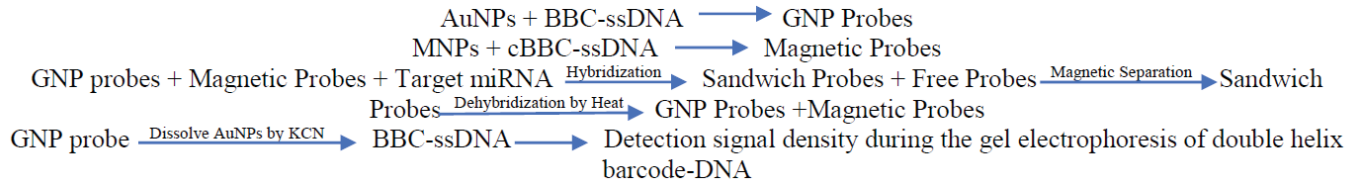


Fig. 10. Schematic illustration of detection of Arcelor 1248 by barcode immunoassay used Real-Time PCR (Yang G. et al, 2015).

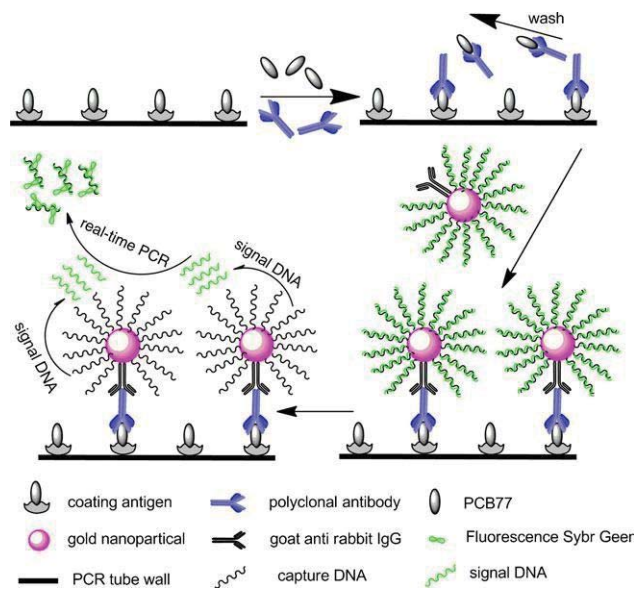


Fig. 11. Schematic illustration of immunosorbent bio barcode assay (Yang G.X., et al, 2013).

Dong *et al.*, developed a new type of bio-barcode nano-biosensor for detection of HIV-1 p24 antigen. A pair of anti-p24 mAb was used in BBC analyzes to capture p24 antigen in the form of a sandwich and measure p24 capture used gel electrophoresis and PCR amplification. In this work they compare between nanoparticle based BBC assay and normal fluorescence microplate and bio-barcode based microplate. The first 1G12 mAb was coated on microplate wells (Figure 13A) or MMPs to capture free p24 antigens. The captured p24 captured 1D4 mAb coated AuNP probes having dsDNA oligonucleotides. While an oligonucleotide sequence is covalently immobilized, the unbound free bio barcode DNA strand can be released by high heat. The released BBC-DNA was amplified by PCR, electrophoresed on the agarose gel and quantified. (Fig. 13C) (Chen L., et al, 2009). In another paper authors used a G12 antibody, coated on microplate wells to capture free P24 antigen and labeling with the second mAb onto the surface of AuNPs (Fig. 13B) (Dong. H. et al, 2012).

Hee An and co-workers also used a mAb immobilized microplate method based on bio-barcode to detect tyrosinehydroxylase (An J.H., et al, 2013).

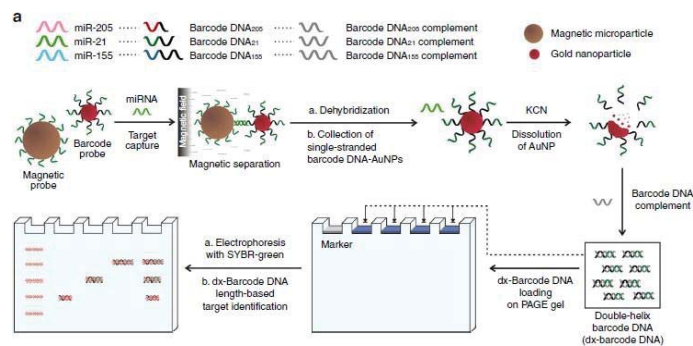
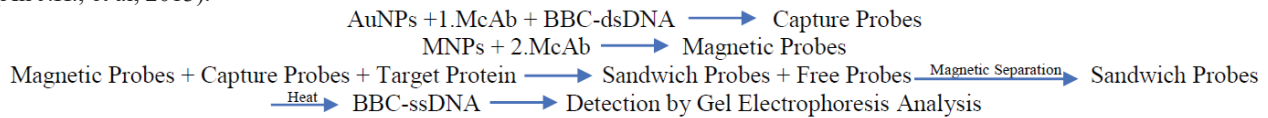


Fig. 12. The schematic diagram of the bio barcode nanobiosensor gel assay for detection of miRNA (Lee H., et al, 2013).

1.6. Surface Plasmon Resonance (SPR):

SPR is an optical detection method that detects that the molecular adsorption-induced dielectric constant occurs on the surface of a noble metal such as gold or on a semiconductor surface. Loo *et al.*, used SPR sensing to detect cytochrome-c (Fig. 14). For this work, they developed a new generation aptamer-based BBC assay. MMPs were functionalized with cyt-c Ab and aptamer to form sandwich "MMP-Ab/cyt-c/aptamer". After washing unbonded probes by magnetic field, aptamer released by high heat from the sandwich and hybridized with the SPR probe. The SPR probe was prepared for RNase H for SPR sensing. RNase H is used to specifically digest RNA in a probe. After hydrolysis of the RNA probe with RNase H, the unspoilt aptamer was released from the RNA-DNA hybrid and ligated to a new RNA probe for another enzymatic reaction cycle to amplify the signal by gold nano rods (Au-NRs) (Loo J.F.C., et al, 2017)

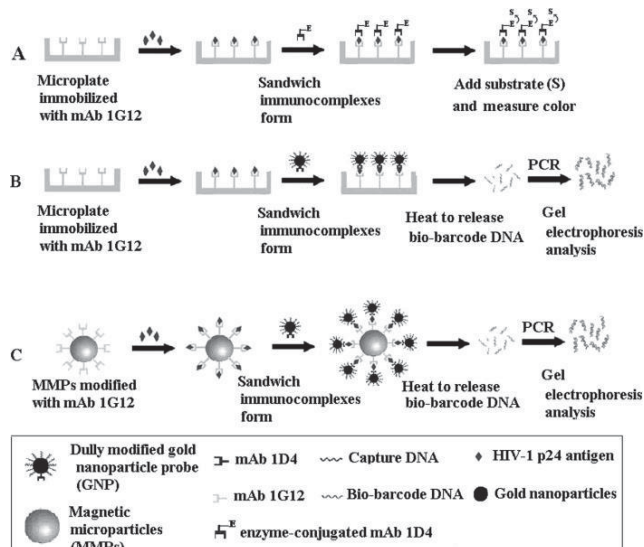
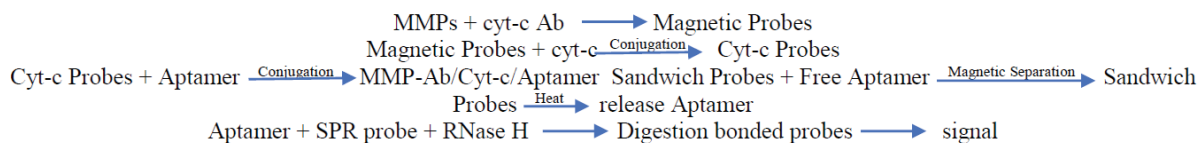


Fig. 13. (A) General ELISA assay to detect an HIV-1 P24 antigen, (B) microplate method for detection HIV-1 P24 antigen by PCR and electrophoresis, (C) Detection of HIV-1 P24 by magnetic nanoparticles and gold nanoparticles-based bio-barcode assay method (Dong. H. et al, 2012)

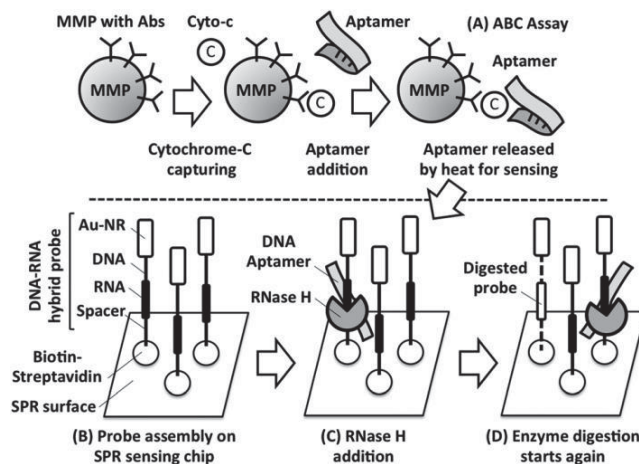


Fig. 14. The BBC assay showing the design and workflow for cytochrome-c sensing. (A) form a sandwich “MMP-Ab/cyt-c/aptamer” and separated by magnetic field, (B) released aptamer by heat and adding to SPR probe, (C) adding RNase H enzyme to specifically hydrolyze RNA in the probe, (D) amplify signal by a next enzymatic reaction cycle (Loo J.F.C., et al, 2017)

2. CONCLUSION

This review has summarized recent challenges, trends and advances in the quickly evolving field of bio barcode optical biosensors supported by nanoparticles. An overview of the techniques reported, the liner range, the role of nanoparticles, the limit of detection of biosensor and the detection techniques used are summarized in Table 1. This study showed that nanoparticle-based bio-barcode ensure very good results with promising sensitivity and selectivity; It offers an appealing analytical approach for accessible, fast and low-cost for detection of biomolecules, toxins, environmental pollutants and pathogens. The major advantages of bio-barcode biosensors are exceptionally small; portability, high sensitivity, acceptable analysis costs, simplified use and direct interpretation of results.

Table 1: General data on nanoparticle-based bio-barcode sensing

Marker Sample matrix	LOD	Liner range	NP	Role of NP	Detection technique	Reference
Triazophos	6 ng L^{-1}	$0.01\text{-}20 \mu\text{g L}^{-1}$	Au NP	Label	fluorescence	(Zhang C. et al, 2017)
tDNA	1 pM		Ag NP	Transducer modifier	fluorescence	(Zhou Z. et al, 2014)
miRNA	52.2 zM	0.3 pM to 3 aM	Au NP	Probe capture	fluorescence	(Dong H., et al, 2015)
tDNA	2 pM		Latex bead	Probe capture	fluorescence	(Trévisan M., et al 2010)
AFP	0.1 ng	0.2 to 20 ng	Au NP	Catalytic label	Light absorption	(Zhou. W.H. et al, 2009)
Interleukin-2	30 aM	-	Si NP	Label	Light absorption	(Nam J.M., et al 2005)
Triazophos	$1.96 \times 10^{-2} \text{ ng ml}^{-1}$	2.5×10^{-2} to 40 ng ml^{-1}	Silver enhancement Au NP	Scatter light	Light scattering	(Du P. et al, 2017)
Triazophos	0.02 ng ml^{-1}	0.04 to 10 ng ml^{-1}	Au NP	Label	rt PCR	(Du P. et al, 2016)
miRNA	10 pM	1 aM to 10 nM	Au NP	Label	Electrophoresis	(Lee H., et al, 2013)
HIV-1 P24	0.1 pg ml^{-1}	0.1 to 1000 pg ml^{-1}	Au NP	Label and Probe capture	Electrophoresis	(Dong. H. et al, 2012).
Cyt-c	80 pM		MMP	Probe capture	SPR	(Loo J.F.C., et al, 2017)

3. ABBREVIATIONS

Ab	Antibody	miRNA	Micro ribonucleic acid
AFP	α -fetoprotein	MMPs	Magnetic microparticles
Au NPs	Gold nanoparticles	MNPs	magnetic nanoparticles
Au NRs	Gold nanorods	MP	magnetic probe
BBC	Bio-barcode	NPs	nanoparticles
CP	Capture probe	ODN	Oligonucleotides
Cyt-c	Cytochrom c	OVA	Ovalbumin
DNA	Deoxyribonucleic acid	PcAb	polyclonal antibody
dsDNA	Double-stranded Deoxyribonucleic acid	PCBs	polychlorinated biphenyls
DTT	Dithiothreitol	PCR	Polymerase chain reaction
EWF	Evanescent wave fluorescence	PSA	Prostate-specific antigen
FAM	Carboxyfluoresce	RNA	Ribonucleic acid
HIV	Human immunodeficiency virus	RP	Reported probe
IgG	Immunoglobulin G	rt-PCR	Real-time PCR
IL	Interleukin	SH-ssDNA	single-stranded thiol-oligonucleotides
LB	latex beads	SiB	Silica beads
LNA	Locked nucleic acid	SPR	Surface plazmon resonance
LOD	Limit of detection	ssDNA	single-stranded Deoxyribonucleic acid
LP	Latex probe	TAP	Triazophos
MB	Magnetic beads	tDNA	Target DNA
McAb	monoclonal antibody		

REFERENCES

Amini B., Kamali M., Salouti M., Yaghmaei P., (2016), Fluorescence bio-barcode DNA assay based on gold and magnetic nanoparticles for detection of Exotoxin A gene sequence., Doi: j.bios.2016.10.030

An j.H., Oh B.K., Choi J.W., (2013), Detection of Tyrosine Hydroxylase in Dopaminergic Neuron Cell Using Gold Nanoparticles-Based Barcode DNA, DOI: 10.1166/jbn.2013.1525

- Bao Y.P., Wei T.F., Lefebvre P.A., An H., He L., Kunkel G.T., Muller U.R., (2006), Detection of Protein Analytes via Nanoparticle-Based Bio Bar Code Technology, DOI: 10.1021/ac051798d
- Bhushan B., (2010), *springer handbook of nanotechnology (1-11) (3rd Edition)*. Springer Heidelberg Dordrecht London New York. DOI 10.1007/978-3-642-02525-9
- Broto M., Galve R., Marco M.P., (2017), Sandwich NP-based biobarcode assay for quantification C-reactive protein in plasma samples, DOI: 10.1016/j.aca.2017.09.007
- Chen L., Wei H., Guo Y., Cui Z., Zhang Z., Zhang X.E., (2009), Gold nanoparticle enhanced immuno-PCR for ultrasensitive detection of Hantaan virus nucleocapsid protein, DOI: 10.1016/j.jim.2009.05.007
- Dong H., Liu J., Zhu H., Ou C.Y., Xing W., Qiu M., Zhang G., Xiao Y., Yao J., Pan P., Jiang Y., (2012), Two types of nanoparticle-based bio-barcode amplification assays to detect HIV-1 p24 antigen, DOI: 10.1186/1743-422X-9-180
- Dong H., Meng X., Dai W., Cao Y., Lu H., Zhou S., Zhang X., (2015), Highly Sensitive and Selective MicroRNA Detection Based on DNABio- Bar-Code and Enzyme-Assisted Strand Cycle Exponential Signal Amplification, DOI: 10.1021/acs.analchem.5b00029
- Du P., Jin M., Chen G., Zhang C., Jiang Z., Zhang Y., Zou P., She Y., Jin F., Shao H., Wang S., Zheng L., Wang J., (2016), A Competitive Bio-Barcode Amplification Immunoassay for Small Molecules Based on Nanoparticles, DOI: 10.1038/srep38114
- Du P., Jin M., Zhang C., Chen G., Cui x., Zhang Y., Zhang Y., Zou P., Jiang Z., Cao X., She Y., Jin F., Wang J., (2017), Highly sensitive detection of triazophos pesticide using a novel bio-bar-code amplification competitive immunoassay in a micro wellplate-based platform, DOI: 10.1016/j.snb.2017.10.075
- H.D. Hill, C.A. Mirkin, (2006), The bio-barcode assay for the detection of protein and nucleic acid targets using DTT-induced ligand exchange, *Nat. Protoc.* 1 324e336.
- Hansen, J.A., Mukhopadhyay, R., Hansen, J.O., Gothelf, K.V., 2006a. *J. Am. Chem. Soc.* 128, 3860–3861.
- Hansen, J.A., Wang, J., Kawde, A.-N., Xiang, Y., Gothelf, K.V., Collins, G., 2006b., Quantum-Dot/Aptamer-Based Ultrasensitive Multi-Analyte Electrochemical Biosensor, *J. Am. Chem. Soc.* 128, 2228–2229.
- Jie, G., Liu, B., Pan, H., Zhu, J.J., Chen, H.Y., 2007, CdS Nanocrystal-Based Electrochemiluminescence Biosensor for the Detection of Low-Density Lipoprotein by Increasing Sensitivity with Gold Nanoparticle Amplification, *Anal. Chem.* 79, 5574–5581.
- Lee H., Park J.E., Nam J.M., (2013), Bio-barcode gel assay for microRNA, DOI: 10.1038/ncomms4367
- Loo J.F.C., Yang C., Tsang H.L., Lau P.M., Yong K.T., Ho H.P., Kong S.K., (2017), An Aptamer Bio-barCode (ABC) assay using SPR, RNase H, and probes with RNA and gold-nanorods for anti-cancer drug screening, DOI: 10.1039/c7an01026e
- Nam J.M., Jang K.J., Groves J.T., (2007), Detection of proteins using a colorimetric bio-barcode assay, DOI: 10.1038/nprot.2007.201
- Nam J.M., Thaxton C.S., Mirkin C.A. (2003), Nanoparticles-based bio-barcodes for the ultrasensitive detection of proteins, DOI: 10.1126/science.1088755
- Nam J.M., Wise A.R., Groves J.T., (2005), Colorimetric Bio-Barcode Amplification Assay for Cytokines, DOI: 10.1021/ac0513764
- S.I. Stoeva, J.S. Lee, C.S. Thaxton, C.A. Mirkin, Multiplexed DNA detection with biobarcode nanoparticle probes, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 45 (2006) 3303e3306.
- Trévisan M., Schawaller M., Quapil G., Souteyrand E., Mérieux Y., 2010, Evanescent wave fluorescence biosensor combined with DNA bio-barcode assay for platelet genotyping, DOI: 10.1016/j.bios.2010.08.038
- Yang G., Zhuang H., Chen H., Ping X., Bu D., (2015), A gold nanoparticle based immunosorbent bio-barcode assay combined with real-time immuno-PCR for the detection of polychlorinated biphenyls, DOI: 10.1016/j.snb.2015.02.128
- Yang G.X., Zhuang H.S., Chen H.Y., Ping X.Y., Bu D., (2013), A sensitive immunosorbent bio-barcode assay based on real-time immuno-PCR for detecting 3,4,3',4'-tetrachlorobiphenyl, DOI: 10.1007/s00216-013-7583-9

Zhang C., Du P., Jiang Z., Jin M., Chaen g., Cao X., Cui X., Zhang Y., Li R., Abd El-aty A.M., Wang J. (2017), A simple and sensitive competitive bio-barcode immunoassay for triazophos based on multi-modified gold nanoparticles and fluorescent signal amplification, Doi: J.ACA.2017.10.032.

Zhou W.H., Zhu C.L., Lu C.H., Guo X., Chen F., Yang H.H., Wang X., (2009), Amplified detection of protein cancer biomarkers using DNAzyme functionalized nanoprobessw, DOI: 10.1039/b916217h

Zhou Z., Li T., Huang H., Chen Y., Liu F., Huang C., Li N., (2014), A dual amplification strategy for DNA detection combining bio-barcode assay and metal-enhanced fluorescence modality, Doi: 10.1039/c4cc05554c

Zhu, N. N., Zhang, A. P., Wang, Q. J., He, P. G. and Fang, Y. Z. 2004b. Electrochemical detection of DNA hybridization using methylene blue and electro-deposited zirconia thin films on gold electrodes. *Anal. Chim. Acta*, 510: 163–168



Akıllı Yol Durum Sensörü Tasarımı

Intelligent Road Condition Sensor Design

Fecir Duran¹ , Mustafa Teke² 

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği, 06560 Ankara, TÜRKİYE

²Çankırı Karatekin Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu Mekatronik Programı, 18200 Çankırı, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 09/01/2019

Kabul/Accepted: 26/01/2019

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Öz

Bu çalışmada, yol yüzeyinin durumunu tespit eden akıllı yol durum sensörü tasarlanmıştır. Sürücülerin ve yolcuların güvenliğini en çok tehlikeye sokan buzlu yol durumunun tespiti üzerine çalışılmıştır. Yol yüzeyi tahmini için toprak sıcaklığı, hava sıcaklığı, hissedilen nem, hava basıncı ve yol yüzeyindeki iletkenlik değerleri sınıflandırma algoritmalarında öznelik olarak seçilmiştir. Yol yüzeyi buzlu, kuru, ıslak ve tuzlu-ıslak olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma algoritmaları olarak K en yakın komşu ve Destek Vektör Makinası tercih edilmiştir. K en yakın komşu algoritmasının, Destek Vektör Makinası algoritmasına göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Sınıflandırıcı tek kartlı bilgisayar olarak bilinen Raspberry Pi3 üzerinde gerçek zamanlı olarak çalıştırılmaktadır. Tasarlanan yol durum sensörü mevcut sensörlere göre kurulumu kolay ve yüksek başarıma sahiptir.

Anahtar Kelimeler

“Makine Öğrenmesi, Yol Durum Sensörü, Gömülü Sistem”

Abstract

In this study, intelligent road condition sensor is designed to determine the condition of the road surface. It has been studied on the determination of the icy road situation which endangers the safety of drivers and passengers at most. For road surface estimation, soil temperature, air temperature, sensed humidity, air pressure and conductivity values on the road surface are selected as attributes in classification algorithms. The road surface is classified as icy, dry, wet and salty-wet. K-Near Neighbours and Support Vector Machine were preferred as classification algorithms. It is seen that K-Near Neighbours algorithm has given more accurate results than Support Vector Machine algorithm. The classifier is run in real time on the Raspberry Pi3, known as a single board computer. The designed road condition sensor is easy to install and has high performance in comparison with existing sensors.

Key Words

“Machine learning, Road Condition Sensor, Embedded System”

1. GİRİŞ

Olumsuz hava ve yol koşullarının tahmini hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Yol hava durumu bilgi sistemi (RWIS-Road Weather Information Systems) 1980'lerden bu yana kullanılmaktadır. RWIS sürücülere otoyol kenarlarında bilgilendirme yapabilmeyi yanı sıra karayolu bakım birimlerine de yol yüzeyindeki kar ve buz hakkında bilgi vermektedir. RWIS altyapısının iki önemli noktası vardır ki bunlar yolculuk güvenliği ve yol bakım maliyetidir. RWIS yardımıyla zamandan ve yol bakım maliyetinden ciddi tasarruf sağlanır. Yol kenarlarına konulan hava istasyonları ile yol ve havanın sıcaklıkları ölçülürken kullanılan kameralar aracılığıyla yol yüzeyindeki buzlanma ve karlanma tespit edilir (Crevier & Delage, 2001).

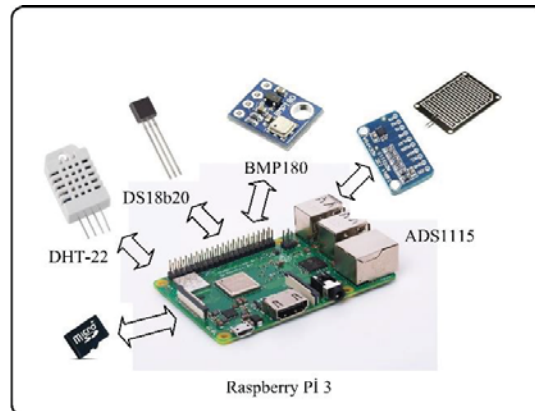
Yol yüzeyinde oluşan kar ve buzun tespiti için farklı yaklaşımlar kullanılmıştır. Temassız ve temaslı olmak üzere yol yüzey sınıflandırma çalışmaları iki kategoriye ayrılabilir. Yol istasyonlarına yerleştirilen kamera ve sensörler temaslı grubuna girerken araç üzerine monte edilen sensör ve kameralar temassız sınıflandırıcıya girmektedir. İki sistemde de ya kamera ya da sensör (ses, ısı, ışık) ile algılama teknikleri kullanılmaktadır. Bu metotların etkili çalışabilmesi için güçlü hesaplama makinelerine ve aydınlatma kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Temaslı sistemlerde aydınlatma ve güçlü makineler yol kenarlarındaki istasyonlarda kolaylıkla konumlandırılabilir ancak taşınır sistemlerde bunu gerçekleştirmek zordur. Temassız uzaktan ölçüm sistemlerinde sonic radar, infrared dedektör ve kamera ile görüntü işleme üzerine çalışılmıştır (Gresham ve ark., 2001; Werthof ve ark., 2002). Dalga boyuna duyarlı kameralar yardımıyla karlı, buzlu yol koşullarını belirlemede %80-90 başarı elde edilirken kuru ve ıslak yol durumu belirlemede %70'e kadar başarı elde edilmiştir (Kuehne & Burghout, 1998). Omer ve Fu (2010) temassız olarak Yol yüzey koşullarını düşük maliyetli GPS ile işaretlenmiş noktalar için görüntü tanıma sistemi yardımıyla tespit edilmektedir. Bu çalışmada karla kaplı yol yüzeyi üstündeki buz tabakasının tespiti mümkün değildir. Bunun yanı sıra yüzey tespitinde de ışık yoğunluğunun ani değişimi ve yol üzerine düşen gölgelemeyen dolayı yüzey sınıflandırmasında hatalar meydana gelmektedir (Omer & Fu, 2010). Sass (1997) temassız olarak Danimarka'da karayolu istasyonlarında kaygan yol koşullarına etki eden yol yüzey sıcaklığının otomatik öngören sistem sunmuştur. Yol yüzeyine maruz kalan güneş ışınımının etkisini incelemiştir. Sayısal tahmin ile atmosferik veriler istasyondan alınarak yol yüzeyi hakkında tahminde bulunulmuştur. Sayısal model ile yol yüzey sıcaklık tahmini sistemi geliştirmiştir. Atmosferik veriler ile yapılan tahmin sonucu yol yüzeyi hakkında genel tespitle bulunulmuştur ancak yol yüzey durumu bölgesel olarak değişen konumlarda bu sistem yeterli olmamaktadır. Gagnon ve arkadaşları (2012) yol yüzey koşullarının ölçülmesi için Optik tabanlı teknolojilerden de faydalanılarak sürücüler için uyarı sistemi tasarlanmıştır. Optik sistemlerde ışığın yansımaya ya da soğurulmasına dayalı yöntemler geliştirilmiştir. Ancak bu yöntemler gizli buzlanma gibi içerisinde hava kabarcığı bulunmayan buzlanmalarda doğru sonuç vermemektedir. Yansıma metodunda yansıyan yüzey buzlanmalarda bu yöntem çalışmamaktadır (Gagnon, Groves, & Pearson, 2012). Casselgren ve ark. (2016) NIR (Near InfraRed) kamera ölçüm tekniği ile anlık yol yüzey koşulunu tespit etmiştir. Ancak kurulan sistem hem ekonomik hem de uygulanabilir değildir (Casselgren, Rosendahl, Sjödaahl, & Jonsson, 2016). Jonsson ve ark. (2015) kızıl ötesi kamera sistemi ile yol yüzeyi sınıflandırılması yapmıştır. K en yakın komşu (K-Near Neighbours-KNN) metodunun Destek Vektör Makinasından (Support Vector Machine-SVM) daha kullanışlı olduğunu öne sürmüştür. Kullanılan cihazların boyut ve maliyeti çok yüksek olduğundan uygulanabilirliği konusunda sıkıntılar mevcuttur (Jonsson, Casselgren, & Thörnberg, 2015).

Bu çalışmada, yüksek doğrulukla çalışan ve düşük maliyetli yol yüzey durum tahmin sistemi gerçekleştirilmiştir. Sistemde KNN ve SVM algoritmaları kullanılmıştır. Yol yüzey durumunu tahmin etmek için KNN algoritması seçilmiştir ve yol yüzey sıcaklığı, yolun 10 cm alt sıcaklığı, mutlak nem ve hava basıncı verilerini kullanmaktadır. Tahmin algoritması Raspberry Pi3 gömülü sistem platformu üzerinde gerçek zamanlı olarak çalışmaktadır. KNN algoritmasıyla yüksek başarıya sahip sonuçlar elde edilmiştir.

2. MATERYAL VE METHOD

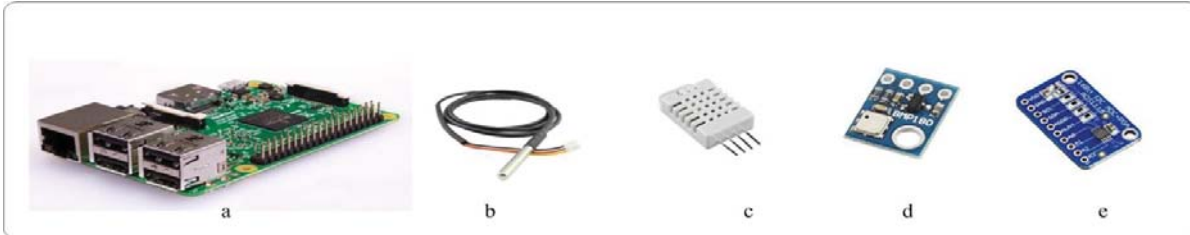
2.1. Donanım Yapısı

Akıllı yol durum sensörü, iletkenlik, sıcaklık, nem ve basınç sensörleri ile Raspberry Pi3'den oluşmaktadır. Sistemin genel yapısı şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Akıllı yol durum sensörünün genel yapısı

Buzlanmanın en önemli sebeplerinden biri yol yüzey sıcaklığının sıfır derece veya altında olması ve havanın neminin yüksek olmasıdır (Harvey, McLinden, & Tew, 2013). Bu nedenle yollardaki buzlanmanın oluşumunun tespiti ve tahmini için bu verilerin ölçülmesi çok önemlidir. Gerçekleştirilen sistemde yol sıcaklığını ve havanın nemini ölçmek için DHT-22 sensörü kullanılmaktadır. DHT-22 sensörü %0-100 oranında nem değerini %2-5 doğrulukta ölçmenin yanı sıra -40°C ile 80°C arasında sıcaklık ölçümü yapabilen sıcaklık ve nem sensörüdür. Yol yüzeyine yakın seviyeye yerleştirilen DHT-22 sensörü hava sıcaklığını ve havanın nem miktarını anlık olarak okuyarak algoritmaya giriş verisi olarak işleme alınmaktadır. Şekil 2c'de DHT-22 gösterilmektedir. Buzlanmayı etkileyen diğer bir fiziksel büyüklük de hava basıncının değişimleridir. Hava basıncının artmasıyla donma noktası düşerken kaynama noktası da aynı oranda artmaktadır. Yol yüzeyinde oluşacak olan buz tabakası için hava sıcaklığının yanı sıra hava basınç miktarı da tahmin algoritması için önemlidir. Sistemde düşük güç tüketimine sahip BMP-180 dijital hava basıncı sensörü kullanılmıştır. 300-1100 hPa aralığındaki hava basıncını ölçmektedir. SBC ile I2C (Inter-Integrated Circuit) protokolü aracılığıyla haberleşmektedir. Şekil 2d'de gösterilmektedir. I2C protokolü SDA (Serial Data Line) ve SCL (Serial Clock) hatlarından oluşan eşzamanlı haberleşmeye örnektir. SDA cihazlar arasındaki veri yolunu ifade ederken, SCL veri iletimindeki senkronizasyonu sağlayan saat darbelerini ifade etmektedir. Toprak sıcaklığı, yol yüzeyinin sıcaklığını etkilemesinden dolayı yolun buzlanmasını etkiler. Gerçekleştirilen çalışmada toprak altı sıcaklığının ölçümü için şekil 2b'de görülen DS18B20 sensörü kullanılmıştır. DS18B20 dijital çalışan 12-bit yüksek çözünürlüğe sahip sıcaklık sensörüdür. -55°C ile +125°C arasındaki sıcaklık ölçümlerini yapabilmektedir. Tek hat haberleşme protokolü aracılığıyla tek bir hat üzerinden Raspberry Pi3 ile haberleşmektedir. Tek hat haberleşmesi I2C protokolüne benzeyen daha düşük veri hızına sahip haberleşme protokolüdür. Şekil 2a'da gösterilen Raspberry Pi3 üzerinde genel amaçlı giriş-çıkış birimine, HDMI çıkışa, USB bağlantısına, 1GB RAM hafızasına, mikro SD hafıza kartı yuvasına, ethernet modülüne, wi-fi modem ve güçlü bir işlemci serisi olan ARM işlemcisi bulundurmaktadır. Secure Digital (SD) flash bellek kartı takılarak işlemciyle uyumlu bir sürücü olarak çalışmaktadır. Raspbian açık kaynak ve kurulumu ücretsiz olan bir işletim sistemidir. Raspberry Pi3 çok fonksiyonlu esnek yapılu programlama ve elektronik proje tasarımına uygun bir gömülü sistemdir. Bu özellikleri Raspberry Pi3'ü kablosuz sensör düğümü olarak kullanmayı kolaylaştırır. İnternet veya grafik arayüz gerektiren, sensör düğümü gibi projelerde bahsedilen bütün bu özellikler Raspberry Pi3'ün tercih sebebidir. Buna ek olarak sınıflandırma, akıllı sistemler gibi yüksek performanslı makine gerektiren işlemleri üzerinde yaparak veri işlemek için başka bir sunucuya veri taşıma zahmetinden kurtarmaktadır. Yol yüzeyine yapay yollarla serpilen tuz yolun buzlanma derecesini düşürecektir. Bu nedenle yol yüzeyindeki tuzluluğun ölçülmesi doğru bir tahmin için gereklidir. Üzerinde analog dijital çevirici (ADC) bulunmayan mikrodenetleyicilerde ya da düşük çözünürlüklü ADC'ye sahip olan sistemlerde kullanılabilen analog sinyal ölçüm sensörüdür. ADS1115 sensör kartı, 4 adet 16-bit yüksek çözünürlüklü analog sinyali dijital sinyale dönüştürmeye ve saniyede 860 örnekleme alma hızına sahiptir. Küçük işaretlerle uğraşanlar için içerisinde amplifikatör bulundurmaktadır. 2V-5V arası çalışma gerilimine sahiptir. I2C haberleşme protokolünü kullanarak Pi3 ile haberleşmektedir. 4 farklı adres alabilen kart ile aynı anda 4 kart sisteme ilave edilebilir bu sayede toplamda 16 adet ADC aynı anda çalışabilmektedir. Şekil 2e'de gösterilmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada yoldaki tuz oranının tespiti için kullanılmaktadır. Yol yüzeyine yerleştirilen iletken teller arasındaki direnç okunarak yol yüzeyinin tuzlanmış olduğu belirlenmektedir.



Şekil 2. (a) Raspberry Pi3; (b) DS18B20 Sıcaklık sensörü; (c) DHT-22; (d) BMP180; (e) ADS1115 Analog çevirici

2.2. Yazılım Yapısı

Tasarlanan sistemde ilk aşama olarak sınıflandırma yapabilmek için gerekli olan eğitim verisi toplamıştır. Sonrasında toplanan verilerden yüksek oranda doğru tahmin yapabilmek için en uygun alt veri kümesi seçilmiştir. Son aşamada ise yol durum tahmini Raspberry Pi3 ile gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmadaki sistemde yol ve hava durum verileri anlık okunarak daha önceden kayıt altına alınan veriler ile sınıflandırma algoritmasına sokulur. Çevre birimlerden aldığı anlık sensör bilgileri ile geçmişte kaydettiği bilgiler arasında sınıflandırma algoritması kullanarak yol yüzey durum tahmini yapılmıştır. Sınıflandırma işleminde en yakın komşu ve destek vektör makinesi algoritmaları kullanılmıştır

Yol durum sınıflandırması için özellik seçiminde yenilemeli özellik seçimi (recursive feature elimination-RFE) yöntemi kullanılmıştır. Yenilemeli özellik seçimi algoritmasının seçimi sonucunda en iyi özellik listesi oluşturulur. Yenilemeli özellik seçimi özellik sıralama doğruluğu kullanılan sınıflandırma modeline bağlıdır. Buna bağlı olarak da seçilen özellik alt kümesi de daha iyi performans gösterecektir. Yenilemeli özellik seçimi de seçilen alt gruplar, değerlendirme fonksiyonuna göre karşılaştırılır. Adım N + 1'de seçilen alt küme, adım N'de seçilen altkümeden daha yüksek doğrulukta sonuç verirse, N + 1 adımında seçilen alt küme sınıflandırma için kullanılacak uygun kümedir (Guyon, Weston, Barnhill, & Vapnik, 2002). Bu çalışmada akıllı pasif yol durum sensörü olan IRS31 ve hava durumu ölçüm istasyonu hava durumu ölçen WS600 eğitim veri seti oluşturmada kullanılmıştır. Veri seti içerisinde yolun alt sıcaklığı, üst sıcaklığı, hava sıcaklığı, nem miktarı, çığ düşme noktası, yağış miktarı, yol yüzey tuzluluk oranı, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü ve hava basıncı gibi veriler bulunmaktadır. Sınıf kümesi olarak da ıslak-tuzlu, kuru, ıslak ve buzluk yol durumları bulunmaktadır. Yüksek doğruluk veren yeni özellik alt kümesi yolun alt sıcaklığı, hava sıcaklığı, nem

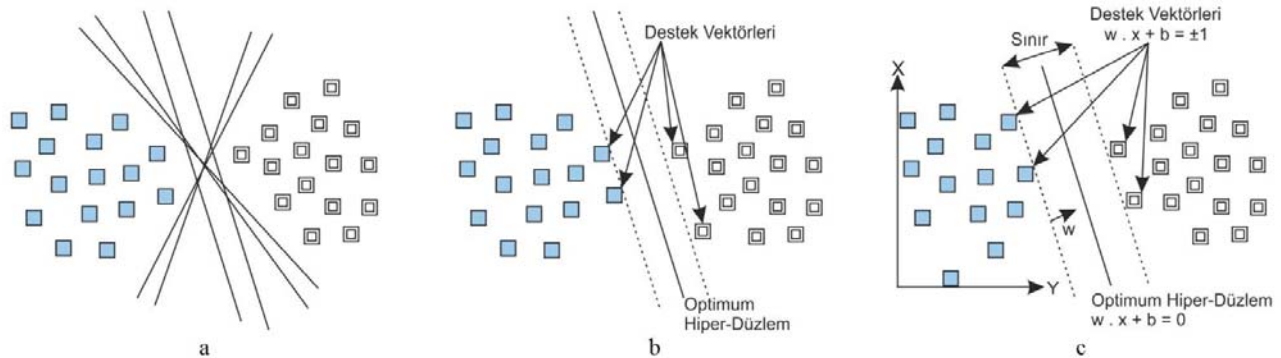
miktari, yol yüzey tuzluluk oranı ve hava basıncı değerleridir. Özellik seçim algoritmasında en yüksek doğruluk skorlarını alan özellikler alt küme olarak seçilmiştir.

2.3. KNN Algoritması

KNN daha önce sınıflandırılmış veri kümesine ait noktalar ile sınıflandırılmamış yeni noktanın hangi kümeye ait olduğunu belirler. Sınıflandırma işlemini, sınıflandırılacak yeni noktaya en yakın k tane uzaklıktaki noktaların sınıf yoğunluğuna bakarak yapar. Bu sınıflandırma algoritması bilinen eski, basit ve etkili makine öğrenmesi algoritmalarındandır (Batista & Silva, 2009; Bhatia, 2010; Cover & Hart, 1967). KNN algoritması sınıflandırma yaparken eğitime ihtiyaç duymaması, gürültülü veri setine karşı hassas olmaması güçlü taraflarındandır (Bhatia, 2010). Aşırı bellek kullanımı, nitelik sayısı ve özellik sayısı artması ile işlem yükünün artması hesaplama yükünde artma meydana gelmesi zayıf yanıdır. Hesaplama yüküne seçilen k değeri ve uzaklık ölçütü de etki etmektedir (Liu & Zhang, 2012). KNN algoritmasının performansı örnek veri setleri arasındaki uzaklığın ölçülmesine de bağlıdır. Veri setleri arasındaki yakınlığı Öklid, Minkowski, Manhattan ve Chebyshev gibi uzaklık ölçütleri ile hesaplanabilir (Kresse & Danko, 2012; Xu, Zong, & Yang, 2013). Tasarımı yapılan sistemde $k=3$ değeri ve Öklid uzaklık ölçütü ile yapılan sınıflandırmada en yüksek tahmin oranını vermiştir. Sistemin hesaplama yükünü azaltmak için sınıflandırma öncesi öznelik seçimi yapılarak boyut azaltma işlemi yapılmıştır. Bu sayede sistemin daha hızlı cevap vermesi sağlanmıştır.

2.4. SVM Algoritması

SVM algoritması istatistiksel yaklaşıma göre çalışan sınıflandırma algoritmalarındandır. SVM'nin ilk uygulaması iki sınıfa sahip veri kümelerinin hangi sınıfa ait olduğunu belirlemek için çalışılmıştır. İki sınıflı problemlerdeki başarısının ardından çok sınıflı ve doğrusal olmayan verilerin sınıflandırılması üzerine uğraşmıştır. SVM'nin temel mantığı ayrılması istenen sınıflar arasında mesafesi en geniş boşluğu ya da düzlemi belirlemesi ya da tahmin etmesidir bu düzlem hiper-düzlem denilmektedir (Vapnik, 1995). Makine öğrenmesi algoritmalarından SVM neredeyse çoğu alanda kullanıldığı gibi akıllı ulaşım sistemlerinde de kullanılmaktadır. Şekil 3a'da gösterildiği gibi iki sınıf arasında sonsuz adet düzlem çizilebilmektedir. Oluşturulan bu düzlemlerden iki sınıfın arasındaki en büyük ayrımı gösteren düzlem istenilen uygun değerinde düzlemdir, sınıf aralığını belirten vektörler ise destek vektörleri olarak bilinir ve şekil 3b'de gösterilmektedir. Sınıflar arası optimum hiper düzlem şekil 3c'de gösterildiği gibi belirlenmektedir.



Şekil 3. (a) iki sınıf arasındaki sonsuz düzlem (b) destek vektörleri (c) optimum hiper düzlem

SVM'nin eğitimi için n sayıda örnekten oluşan eğitim verisinin $\{x_i, y_i\}, i = 1, \dots, n$ olsun. Doğrusal olarak iki sınıfın bir yüzeyle ayrılabilir durumda düzlemin denklemi eşitlik 1'deki gibi olur.

$$f(x) = w^t \cdot x + b = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \quad (1)$$

Denklemden w ağırlık vektörünü yani düzlemin normalini, b sabiti sapma değerini gösterirken bu değişkenlerin değerleri düzlemin konum pozisyonunu değiştirmektedir. SVM'de sınıflar doğrusal ayrılabilirse $y_i = +1$ ve $y_i = -1$ etiketli sınıflara aynı uzaklıkta ayıran en iyi düzlemin bulunmasıdır. Eğitim kümesinin aşağıdaki denklemleri sağlanması durumunda;

$$y_i = +1 \text{ için } w^t \cdot x_i + b \geq +1 \quad (2)$$

$$y_i = -1 \text{ için } w^t \cdot x_i + b \leq -1 \quad (3)$$

Bu hiper-düzlemleri meydana getiren destek vektörleri $w \cdot x_i + b = \pm 1$ şeklinde ifade edilirler. En uygun düzlemin sınırının maksimum olabilmesi için $\|w\|$ minimum olmalıdır. Buna bağlı olarak sınırlar ise $y_i (w \cdot x_i + b) - 1 \geq 0$ ve $y_i \in \{1, -1\}$ ifade edilir. Bu optimizasyon eşitliği Lagrange denklemleri aracılığıyla çözümlenebilir ve eşitliğin son hali aşağıdaki şekli almaktadır. (Marsland, 2011).

$$L(w, b, a) = \frac{w^2}{2} - \sum_{i=1}^n a_i y_i (w \cdot x_i + b) + \sum_{i=1}^n a_i \quad (4)$$

3. DEĞERLENDİRME

Akıllı ulaşım sistemleri için tasarlanan yol durum sensörü yol yüzey sıcaklığını, hava sıcaklığını, hissedilen nemi, hava basıncını ve yol yüzeyindeki tuz miktarını anlık olarak işleme almaktadır. Yol yüzeyindeki buzlanmayı etkilediği için yolun 10 cm altındaki sıcaklık değeri de algoritmada işleme alınmıştır. Yol yüzeyinin buz tutabilmesi için yol altının da sıcaklığı düşük değerlerde olmalıdır. Kış mevsiminde güneşlenmesi az, eğimi olan ve keskin viraja sahip bir konumdan eğitim veri seti toplanmıştır. Bölgesel hava durumu verilerinin genel meteorolojik verilere yakın olduğu ama riskli bölgeden alınan verilerin genel hava verilerinden farklı olduğu görülmüştür. KNN ve SVM algoritmalarına girilen veri seti KNN algoritmasında daha doğru sonuç vermektedir. Karışıklık matrisinin diyagonalı algoritmanın doğruluk oranı hakkında bilgi vermektedir. Karışıklık matrisi yatayda gerçek sınıf değerlerini düşeyde tahmin edilen sınıf değerlerini barındıran bir kare matristir. Matrisin diyagonal değerleri doğru sonuçların toplamını vermektedir. Sadece bu değere bakarak da sınıflandırma algoritmasının performansı hakkında bilgi edinilebilir (Marsland, 2011).

Nem, hava sıcaklığı, yol sıcaklığı ve iletkenlik sensörlerinden alınan anlık veriler KNN algoritmasında işleme alınarak %99.68 oranında başarımla elde edilmiştir. Sınıflandırıcı değerlendirme yapmak için karışıklık matrisinden yararlanılmıştır ve algoritma cevapları tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. K-en yakın komşu ve Destek vektör makinesi algoritmalarının karışıklık matrisi sonuçları

KNN	Buzlu	Kuru	Islak	Tuzlu-Islak	SVM	Buzlu	Kuru	Islak	Tuzlu-Islak
Buzlu	1284	4	0	0	Buzlu	1167	121	0	0
Kuru	9	6048	0	2	Kuru	31	6028	0	0
Islak	0	2	102	3	Islak	0	107	0	0
Tuzlu- Islak	0	3	2	541	Tuzlu- Islak	3	515	0	28

Karışıklık matrisinden doğruluk oranı, hassasiyet, yaygınlık gibi değerler hesaplanabilmektedir. Diyagonal değerlerinin toplamının bütün değerlere oranı doğruluk oranını vermektedir. Bu çalışmada kullanılan sınıflandırıcıların performansı doğruluk oranına göre kıyaslanmaktadır ve eşitlik 5'de gösterilmektedir.

$$\text{Doğruluk Oranı} = \frac{\text{Doğru Pozitif} + \text{Doğru Negatif}}{\text{Doğru Pozitif} + \text{Doğru Negatif} + \text{Yanlış Pozitif} + \text{Yanlış Negatif}} \quad (5)$$

$$\text{KNN D. O.} = \frac{1284 + 6048 + 102 + 541}{1284 + 6048 + 102 + 541 + 4 + 11 + 5 + 5} = \%99.68$$

$$\text{SVM D. O.} = \frac{1167 + 6028 + 0 + 28}{1167 + 6028 + 0 + 28 + 121 + 31 + 107 + 518} = \%90.28$$

Yukarıdaki matrislerin diyagonal değeri en büyük olan KNN algoritmasıdır. Tasarlanan yol durum sensöründe KNN algoritması tercih edilmiştir.

4. SONUÇ

Tasarlanan yol durum sensörü hali hazırda bulunan temaslı yol durum sensör kurulumundan daha etkindir yüksek doğrulukta çalışmaktadır. Harici bir bilgisayar donanımına ihtiyaç duymaksızın yol yüzeyi hakkında tahmin yapabilmektedir. Raspberry Pi3 kullanılarak tasarlanan sistem, yol yüzey sıcaklığını, hava sıcaklığını, algılanan nemi, hava basıncını ve yol yüzeyindeki tuz miktarını gerçek zamanlı olarak kaydedebilmektedir. Toplanan veriler, %99.68 performans oranı elde edilen KNN algoritmasına uygulanmakta ve yol yüzey durumu tahmin edilmektedir. İşlenmiş veri setindeki en doğru sınıflandırma KNN sınıflandırıcısıdır. Bu algoritma ile Raspberry Pi3 de hızlı ve kesin cevap veren bir yol durum sensörü geliştirilmiştir.

REFERANSLAR

Batista, G., & Silva, D. F. (2009). How k-nearest neighbor parameters affect its performance. Paper presented at the Argentine symposium on artificial intelligence.

Bhatia, N. (2010). Survey of nearest neighbor techniques. arXiv preprint arXiv:1007.0085.

Casselgren, J., Rosendahl, S., Sjödal, M., & Jonsson, P. (2016). Road condition analysis using NIR illumination and compensating for surrounding light. Optics and lasers in engineering, 77, 175-182.

- Cover, T., & Hart, P. (1967). Nearest neighbor pattern classification. *IEEE transactions on information theory*, 13(1), 21-27.
- Crevier, L.-P., & Delage, Y. (2001). METRo: A new model for road-condition forecasting in Canada. *Journal of Applied Meteorology*, 40(11), 2026-2037.
- Gagnon, R., Groves, J., & Pearson, W. (2012). Remote ice detection equipment—RIDE. *Cold Regions Science and Technology*, 72, 7-16.
- Gresham, I., Jain, N., Budka, T., Alexanian, A., Kinayman, N., Ziegner, B., . . . Staecker, P. (2001). A compact manufacturable 76-77-GHz radar module for commercial ACC applications. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 49(1), 44-58.
- Guyon, I., Weston, J., Barnhill, S., & Vapnik, V. (2002). Gene selection for cancer classification using support vector machines. *Machine learning*, 46(1-3), 389-422.
- Harvey, A. H., McLinden, M. O., & Tew, W. L. (2013). Thermodynamic analysis and experimental study of the effect of atmospheric pressure on the ice point. Paper presented at the AIP Conference Proceedings.
- Jonsson, P., Casselgren, J., & Thörnberg, B. (2015). Road surface status classification using spectral analysis of NIR camera images. *IEEE Sensors Journal*, 15(3), 1641-1656.
- Kresse, W., & Danko, D. M. (2012). *Springer handbook of geographic information*: Springer Science & Business Media.
- Kuehnle, A., & Burghout, W. (1998). Winter road condition recognition using video image classification. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(1627), 29-33.
- Liu, H., & Zhang, S. (2012). Noisy data elimination using mutual k-nearest neighbor for classification mining. *Journal of Systems and Software*, 85(5), 1067-1074.
- Marsland, S. (2011). *Machine learning: an algorithmic perspective*: Chapman and Hall/CRC.
- Omer, R., & Fu, L. (2010). An automatic image recognition system for winter road surface condition classification. Paper presented at the Intelligent transportation systems (itsc), 2010 13th international ieee conference on.
- Sass, B. H. (1997). A numerical forecasting system for the prediction of slippery roads. *Journal of Applied Meteorology*, 36(6), 801-817.
- Vapnik, V.N., 1995, *The Nature of Statistical Learning Theory*, Springer-Verlag, New York.
- Werthof, A., Siweris, H., Tischer, H., Liebl, W., Jaeger, G., & Grave, T. (2002). A 38/76 GHz automotive radar chip set fabricated by a low cost PHEMT technology. Paper presented at the Microwave Symposium Digest, 2002 IEEE MTT-S International.
- Xu, G., Zong, Y., & Yang, Z. (2013). *Applied data mining*: CRC Press.



MÜHENDİSLİK
FAKÜLTESİ

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

UMAGD, (2019) 11(1), 402-408.



10.29137/umagd.484670

Cilt/Volume:11 Sayı/Issue:1 Ocak/January 2019

Araştırma Makalesi / Research Article

ATM Cash Flow Prediction and Replenishment Optimization with ANN

Sefik Ilkin Serengil ¹ , Alper Ozpınar ² 

¹ Softtech A.S., Research and Development Center, Istanbul, TURKEY

² Istanbul Ticaret University, Department of Mechatronics, Istanbul, TURKEY

Başyuru/Received: 13/11/2018

Kabul/Accepted: 28/12/2018

Son Versiyon/Final Version: 31/01/2019

Abstract

ATMs are physical interaction points between financial institutions and real customers. Storing physical cash causes renouncing to get interested. On the other hand, customer satisfaction requires to store the necessary cash amount. This concern becomes even more critical for countries having high-interest rate and overnight interest rates are higher. In this paper, we will show that daily cash withdrawals are predictable and we will propose a cost function for replenishment optimization. Experiments show that proposed model decrease idle balance dramatically.

Keywords

“ATM Replenishment, Cash Optimization”

1. INTRODUCTION

Automatic Teller Machines (ATM) are physical interaction points between financial institutions and real customers. Storing physical cash causes renouncing to get interested or provide a loan. On the other hand, meeting the bank account owners and potential cash delivery to anyone without a bank account or customer from other financial institutions satisfaction requires to store the necessary cash amount whenever needed 7/24. ATM's are like major physical laws of open system environments with dynamic cash balancing within the boundaries of the machine. Herein, setting the optimum amount of money in the ATM by loading another optimized amount of money and planning the possibility of cash deposit by users. Overall system optimizes the savings with overnight interest rates and increase customer satisfaction.

Some banks might store 40% more cash in ATMs than its demand (Simutis, Dilijonas, & Bastina, Cash Demand Forecasting for ATM using Neural Networks, 2008). Finance institutions might have thousands of ATMs. That's why even small optimizations in business operations would contribute high earning. This concern becomes even more critical for countries having high-interest rate and overnight interest rates are higher.

Even though there are well-known software solutions mentioning cash management exists, local rules and requirements enforce adoption (Simutis, Dilijonas, Bastina, Friman, & Drobinov, Optimization of Cash Management for ATM Network, 2007). That's why cash management and forecasting skill are still the most desired feature comes after remote monitoring and multivendor software (Armenise, Birtolo, Sangianantoni, & Troiano, 2010).

Replenishment of low amount money often would not be a solution because each replenishment has a cost for out-of-service time and overtime pay of employees. Moreover, some ATMs might let deposited cash to be withdrawn based on its model. In this case, both cash withdrawals and deposits should be considered for these recycler machines. Furthermore, some rule-based restrictions should be regarded as such as maximum loading amount and valid replenishment days.

Related researches mostly studied cash demand prediction and loading time schedules separately (Ekinci, Lu, & Duman, 2015). In this paper, it is going to be shown that daily cash withdrawals are predictable for individual ATMs. Besides, we will propose a cost function to calculate the optimized amount and days.

2. DATA ANALYSIS

The data we have is transaction level data of 6500 individual ATMs all over Turkey. The oldest data of an ATM belongs to 2013 (5 years). Some newly built ATMs have much smaller data.

The data is stored in the data warehouse. As a matter of course, warehouses are not designed for responding to online queries. Transaction-level data is transformed into daily numbers for individual ATMs with an ETL job. The final form of the information is daily cash withdrawals and deposits for individual ATMs. We then transform this raw data into features based on Table 1.

3. MOTIVATION

Finance intuitions might have thousands of ATMs. Here, the machine learning model might be trained with a data set including individual ATM IDs as an input feature. This approach is pervasive in decision tree/regression tree based models (Chen et al, 2017). However, this increases the complexity of the calculation.

On the other hand, we prefer to separate the data set into sub data sets for individual ATMs and dropped the ATM ID feature. In this way, we will have thousands of machine learning model, but each model is going to be trained with a much smaller data set. Thus, training time will reduce radically. Running training parallel will handle thousands of machine learning models.

Moreover, the data set will be separated into two sub-datasets for cash withdrawal and deposit. Finally, each ATM will have two different machine learning models.

3.1. Model

Our observations discovered that the following date-time based features affect the next day's demands.

Daily cash withdrawals and deposit amounts are transformed into the features illustrated above. Then, these features will be transferred to the input layer of neural networks. There are 29 nodes in the input layer. Output layer consists of a node, and it is the daily demands for withdrawals and deposits. Finally, the hidden layer includes a layer and 20 nodes. The number of nodes in the hidden layer comes from 2/3 times of some inputs plus outputs (Heaton, 2008). The structure of the neural networks tuned and this design produces the most successful results in our experiments.

Table 1. Input Features

Index	Feature	Scale	Index	Feature	Scale
1	Is a religious holiday?	0-1	16	Week of Month	1-5
2	Is Before religious holiday?	0-1	17	Week of Year	1-52
3	Day of month	1-31	18	Is Work Day?	0-1
4	Yearly deviation	$\pm\infty$	19	Year	(0, $+\infty$)
5	Is Father's Day?	0-1	20	Is Monday?	0-1
6	Is First day of the month	0-1	21	Is Tuesday?	0-1
7	Is First work day of the month	0-1	22	Is Wednesday?	0-1
8	Is half day?	0-1	23	Is Thursday?	0-1
9	Month of year	1-12	24	Is Friday?	0-1
10	Is Mother's Day?	0-1	25	Is Saturday?	0-1
11	Season	1-4	26	Is Sunday?	0-1
12	Trx Amount of 1 day earlier	$\pm\infty$	27	Is Middle of the Month?	0-1
13	Trx Amount of 2 day earlier	$\pm\infty$	28	Is Middle Workday of the Month	0-1
14	Trx Amount of 3 day earlier	$\pm\infty$	29	Is an exceptional salary day?	0-1
15	Is Valentine's Day?	0-1			

Some special days such as Religious holidays (because of hegira calendar), Father's day, and Mother's day change every year. That's why we feed these days as Boolean parameters.

Day of week feature is one of the most critical functions for cash withdrawal transactions. One hot encoding is applied to the day of weeks. We can feed it as a numeric feature, but in that case, its weights won't be proportional.

Salary withdrawals are a significant fraction of cash withdrawal transactions (Kumar & Walia, 2006). Salary day of government employees might be changed because of long holidays. This might cause inconsistent estimations. That's why we put salary day as a dedicated input even though it is a mostly same day of the middle workday of the month.

Cash withdrawal transactions exist in domino effect (Serengil & Ozpinar, Workforce Optimization for Bank Operation Centers: A Machine Learning Approach, 2017). We feed previous n day's daily cash withdrawal amounts as an input. Here, n is parametric, and we often set it to 3 to consider last three days. This appears most of time series problems independent from the business domain (Serengil & Ozpinar, Planning Workforce Management for Bank Operation Centers with Neural Networks, 2016). Additionally, a difference of previous hours ((T-1)-(T-2), (T-1)-(T-3), ...) might contribute to generalize model in some researches but it does not take effect in our study (Ozpinar, 2007).

4. SOFTWARE ARCHITECTURE

Machine learning code is responsible for predicting daily demands. However, the core machine learning code is a small fraction of the AI system. Its required surrounding architecture is enormous (Sculley et al, 2015).

Neural networks model predicts daily expected cash withdrawals and deposits for the following 15 days. Here, the challenge is that the model assumes the workload of the previous n days as inputs. Today can be predicted by passing yesterday's workload because we've already known the workload for yesterday. The trick is that we are going to catch today's prediction as an input to predict tomorrow's workload. Similarly, tomorrow's forecast will be given as an input to predict the day after tomorrow. In this way, predictions will be shifted to foresee the following day.

Here, training, prediction and assigning work tasks are asynchronous operations. We plan to train machine learning models once a week. Training is the most costly operation.

Task assignment is often applied once or twice a week based on the previous order. Because a request order includes the next loading time.

Finally, predictions are going to be made daily. Herein, prediction task includes daily ETL to transfer un-transferred data. In this way, we can keep an online database updated. Even though replenishments are not handled every day, daily predictions enable to have a pro-active system. If daily demands are higher than the expectations, then we can update next order date.

5. COST FUNCTION

Cash demand predictions are going to be consumed to calculate the optimum amount to replenish. Here, we have applied a linear optimization model. We evaluate expected demand, duration, and transportation expenses to find the cost for the following seven days cumulatively. Minimum costly one will be assigned to a bank branch as a load order. The order includes an amount to load and next order date. We have developed the following code block to find optimum loading amount and duration.

Some ATMs are in the responsibility of bank branches, and some others are in responsibility in cash management office. Branch owner ATMs are located close to the branches. Mostly, they do not need a truck to carry banknotes. On the other hand, cash management office owner ATMs are located distributed. That's why the cost for branch owner ATMs are less than cash management office owner ATMs. Besides, an ATM is out of the service for half an hour during replenishment. Also, an officer and a supervisor work for this duty. We generalized out of service time, time pay for employees and transportation expenses as an amount in Turkish liras.

In this way, we will find both negative interest reflection and transportation cost for a candidate pair of amount and days.

This approach tends to replenish more frequent for high interest rates whereas less frequent for low interest rates.

```
costs = []
interest_rate = 28/100
for i in range(1, 7): #max loadings should be for 7 days
    required_amount = sum(expected_cash[0:i] - expected_load[0:i]) #demand for i days cumulatively
    daily_interest = -(required_amount*interest_rate)/365 #negative interest disappears
    if(branch)
        unit_logistic_cost = 73 #Turkish Liras
    elif(cash_management_office):
        unit_logistic_cost = 155 #Turkish Liras

    logistic_cost = (7/i) * unit_logistic_cost
    cost = logistic_cost + daily_interest
    # business rules
    if weekday + i == 5 or weekday + i == 6: #Saturday and Sunday
        cost = 1000000 #set cost to very large number not to be found as optimum
    costs.append(cost)
optimum_loading_days = costs.index(max(costs))
```

Fig. 1. Cost Function Design

The following figure shows cumulatively demands for both withdrawal and deposit. It also calculates the cost for candidate loading for seven days period cumulatively.

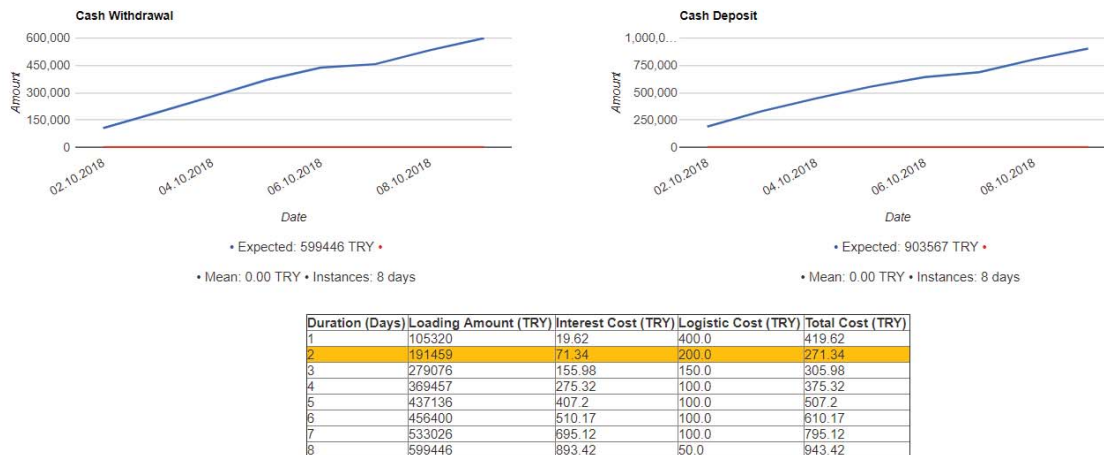


Fig. 2. Finding the optimum loading based on cumulative costs

6. EVALUATION

We are initially going to evaluate the proposed system for cash demand predictions. Because it is the first prerequisite to develop an intelligent model (Zapranis & Alexandridis , 2009). The following illustration shows weekly cash demand predictions and actual value graphs of 4 sample ATMs. Besides, mean absolute error and it its ratio to mean is shown.

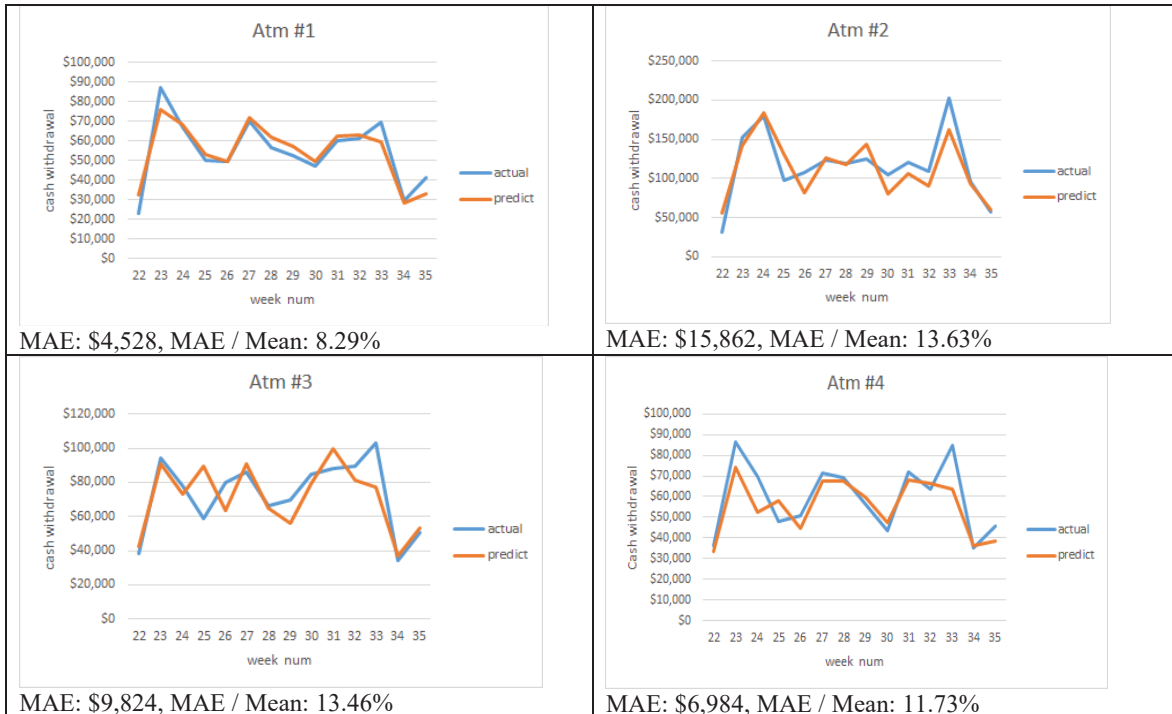


Fig. 3. Weekly predictions vs actual values for sample ATMs

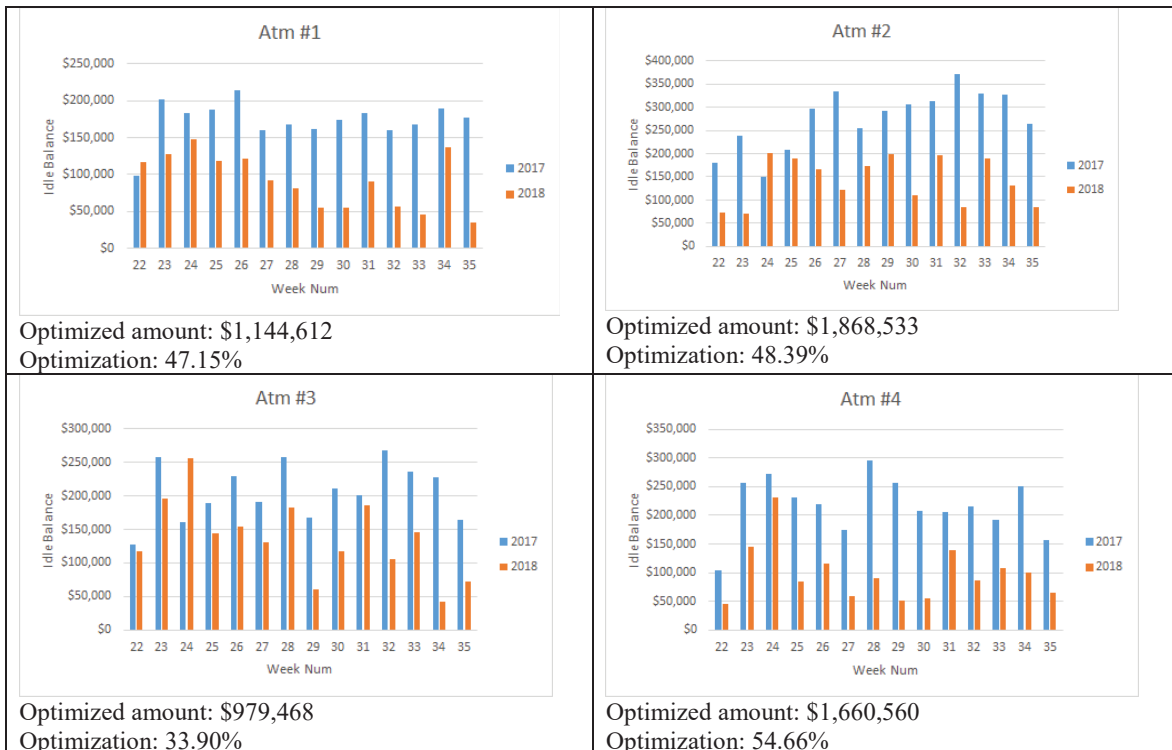


Fig. 4. Idle balance optimization for sample ATMs

Beyond accurate predictions, we will show concrete gains and profits. To evaluate the success of the system, we compare the unused balance of groups of ATMs for the previous year and the current year’s numbers. Even though replenishment order

infrastructure can serve for all 6500 ATMs, we run it for 41 pilot ATMs. Cash loadings are applied based on this proposed system this year whereas it was applied based on personal decisions and manually in the previous year. Here, the metric is an unused balance because cash withdrawal trends might be increased and this might trigger to load more money. On the other hand, decreasing idle-unused money will contribute to earning interest directly. Decreasing idle balance is mainly based on consisted cash demand predictions and calculating the optimized amount of money. The demonstration shows idle balance optimization of 4 sample ATMs same as Figure 4.

These figures belong to the small size of ATMs. The following statistics state total optimization of this intelligent system for 41 ATMs.

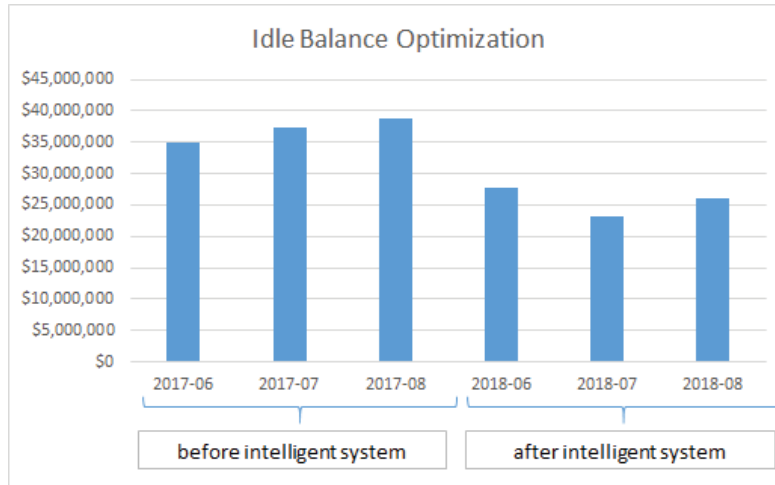


Fig. 5. Total optimization

Table 2. Total optimization numbers

	2017	2018
June	\$34,896,626.62	\$27,699,397.36
July	\$37,417,677.67	\$23,086,556.16
Aug	\$38,872,556.12	\$25,949,074.67
Total	\$111,186,860.41	\$76,735,028.19
Total Gain	\$34,451,832	
Optimization	30.99%	

Idle balance is optimized for Turkish liras, but graphs and tables show dollar exchanged amounts (1 USD = 6 TRY) to be understood globally.

7. CONCLUSION

In this paper, an architecture was proposed to optimize ATM cash flow management mainly based on daily predictions and finding the cost for each candidate replenishment. Both negative interest cost (what if this amount would transfer to the central bank to earn interest) and transportation cost are considered in the cost calculation. Experiments show that cash withdrawals have a seasonal trend based on date time features and they are predictable. This study also indicates that unused balance can be decreased dramatically depending on accurate predictions.

ACKNOWLEDGMENTS

This study is conducted by Softtech A.S. under the project number 6130 and supported by Turkish Government Organization TUBITAK TEYDEB (Technology and Innovation Funding Programs Directorate of The Scientific and Technological Research Council of Turkey) in the scope of Industrial Research and Development Projects Grant Program (1501) under the project number 3161163.

REFERENCES

- Armenise, R., Birtolo, C., Sangianantoni, E., & Troiano, L. (2010). A generative solution for ATM CashManagement. *Soft Computing and Pattern Recognition*. Paris, France.
- Chen, W., Xie, X., Wang, J., Pradhan, B., Hong, H., Bui, D., . . . Ma, J. (2017). A comparative study of logistic model tree, random forest, and classification and regression tree models for spatial prediction of landslide susceptibility. *Catena*, 151, 147-160.
- Ekinci, Y., Lu, J.-C., & Duman, E. (2015). Optimization of ATM cash replenishment with group-demand forecasts. *Expert Systems with Applications*, 42, 3480–3490.
- Heaton, J. (2008). *Introduction to Neural Networks for Java*. Heaton Research, Inc.
- Kumar, P., & Walia, E. (2006). Cash Forecasting: An Application of Artificial Neural Networks in Finance. *International Journal of Computer Science and Applications*, 3(1), 61-77.
- Ozpinar, A. (2007). *Modeling and Planning of Energy Production in Renewable Energy Stations with Artificial Neural Networks*. PhD Thesis Submitted to Yildiz Technical University.
- Sculley, D., Holt, G., Golovin, D., Davydov, E., Phillips, T., Ebner, D., Dennison, D. (2015). Hidden Technical Debt in Machine Learning Systems. *Advances in neural information processing systems*.
- Serengil, S., & Ozpinar, A. (2016). Planning Workforce Management for Bank Operation Centers with Neural Networks. *Proceedings of the 15th WSEAS International Conference on Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Databases*. Venice.
- Serengil, S., & Ozpinar, A. (2017). Workforce Optimization for Bank Operation Centers: A Machine Learning Approach. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 4(6), 81-87,.
- Simutis, R., Dilijonas, D., & Bastina, L. (2008). Cash Demand Forecasting for ATM using Neural Networks. *Continuous Optimization and Knowledge-Based Technologies EurOPT-2008*. Lithuania.
- Simutis, R., Dilijonas, D., Bastina, L., Friman, J., & Drobinov, P. (2007). Optimization of Cash Management for ATM Network. *Information technology and control*, 36(1), 117-121.
- Zapranis, A., & Alexandridis, A. (2009). Forecasting cash money withdrawals using wavelet analysis and wavelet neural networks. *International Journal of Financial Economics and Econometrics*.



KOBİ'LER İÇİN KOSGEB Destek Modellerinin Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri İle Sıralanması

Sorting The KOSGEB Support Models For SMEs By Multicriteria Decision Making Methods

Ali Sevinç¹ , Tamer Eren^{*2} 

¹Kırşehir KOSGEB Müdürü, 40080, Kırşehir, TÜRKİYE
²Kırıkkale Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 19/11/2018

Kabul/Accepted: 20/01/2019

Son Versiyon/FinalVersion:31/01/2019

Öz

Küçük ve Orta Boy Ölçekli İşletmeler (KOBİ), oluşturdukları katma değer itibariyle genel ekonomide katalizör görevi yapmaktadır. Üretim, pazarlama, ihracat ve istihdama sağladığı katkı tartışmasız çok ciddi boyutlara ulaşmış, ekonomi yönetimlerinin vazgeçemediği bir kesim olmuştur. KOBİ'lerin ekonomide çok önemli bir yeri bulunmasına rağmen; verimlilik, kurumsallaşma, markalaşma, üretim, pazarlama ve finansman alanlarında ciddi problemlerle karşılaşmaktadırlar. Devlet bu tür problemleri çözmek için Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı (KOSGEB) aracılığıyla destek vermektedir. Firmalar bu destek modellerinin çoğuna başvurabilmektedir. KOBİ'lerin öncelikli problemler ile ilgili destek modellerine başvurması gerekirken öncelikli olmayan modellere başvurması ciddi kaynak israfına ve zaman kaybına neden olmaktadır. Bu çalışmada, KOBİ'lerin öncelikli sorunlarına göre hangi destek modellerine başvurması gerektiği problemi ele alınmıştır. Konya ilinde 31 adet KOBİ ölçekli otomotiv yan sanayi ile ilgili firmanın ortak sorunları dikkate alınarak, hangi destek modellerine başvurabileceği çok ölçütlü karar verme yöntemleriyle belirlenmiştir. Burada Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile kriterlerin ağırlıkları hesaplanmış, TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi ile KOSGEB desteklerinin sıralaması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler

"KOBİ, Analitik hiyerarşi prosesi, TOPSIS, Çok ölçütlü karar verme"

Abstract

Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs) act as catalysts in the general economy with the added value they create. The contribution to production, marketing, exportation and employment has unquestionably reached a very serious level and economic management has been a part of the economy. Although SMEs have a very important place in the economy; they face serious problems in productivity, institutionalization, branding, production, marketing and finance. In order to solve such problems, They are supported by the Small and Medium Enterprises Development Organization (KOSGEB). Firms can apply to most of these support models. When SMEs should apply for support models related to priority problems, applying to non-priority models causes serious waste of resources and time loss. In this study, the problem of which support models should be applied according to the priority problems of SMEs is discussed. In the province of Konya, it is determined by the multi-criteria decision-making methods which can be applied to support models by considering the common problems of the SME related automotive supplier industry. Here, we calculated the weights of the criteria by using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the order of KOSGEB support with TOPSIS method.

Key Words

"SME, Analytic hierarchy process, TOPSIS, Multi-criteria decision making"

1. GİRİŞ

Küçük ve orta ölçekli işletmelerin (KOBİ) istihdam potansiyeli, üretime, ihracata, yatırıma, istikrara katkısı ve genel ekonomiye verdiği katkı bu işletmeleri değerli kılmıştır. Katkının ileri boyuta taşınması için işletmelerin gelişmesi ve büyümesi gerekmektedir. KOBİ'lerin verimliliğini ve rekabet gücünü artırmak, dolayısıyla büyümelerini sağlamak yönetim, üretim ve pazarlama ve diğer alanlarda yaşadıkları sorunlara çözüm getirmekle mümkün olacaktır. Ayrıca ekonomiye katkısını artırmak amacıyla, teknoloji geliştirmeye, kurumsallaşmaya, ihracata ve yatırım yapmaya teşvik edilmektedir. Bu açıdan, KOBİ'lerin uluslararası piyasada rekabet gücünü artırmak ve ekosistem içerisinde etkin olmalarını sağlamak için KOSGEB tarafından, KOBİ'lere destek modelleri sunulmaktadır.

KOSGEB tarafından, KOBİ'lerin gelişimine yönelik destek modellerinin değerlendirmeye alınmasında, bazı destek modelleri için proje hazırlama şartı bulunurken, bazılarında ise proje şartı bulunmamaktadır. Firmalara kullanılan destek modelleri için milyar TL bulan bütçe tahsis edilmektedir. KOBİ'lerin başvurularını değerlendirmede öncelikli sorunları dikkate alarak karar verilmesi destek modellerinden işletmeye beklenen faydayı artıracaktır. Bu çalışmada KOSGEB destek modellerini, işletmelerin öncelikli sorunlarına göre kullanılarak hem işletmeye hem de genel ekonomiye daha fazla katkı sağlayacak, çok ölçütlü karar verme yöntemleriyle sınırlanmasını sağlayan bir yöntem dizayn edilmiştir.

KOBİ'lerin analizi yapılmış, KOBİ tanımı, ürettiği katma değer itibarıyla ekonomiye sağladığı katkı ve istihdamın çok önemli bir kısmını bu işletmelerin sağlaması, buna ilaveten krizlerde istikrara hizmet etmesi nedeniyle bunların önemi üzerinde durulmuştur. KOBİ'lerin yönetim, pazarlama, üretim ve finans alanında karşılaştıkları sorunlara yer verilmiştir.

KOBİ'lerin sorunlarına yönelik, öncelikli destek modellerinin sunulması amacıyla çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve TOPSIS yöntemlerine yer verilmiş, bu yöntemlerin her aşamasında yapılması gereken işlemler açıklanmıştır. KOBİ'ler, AHP ve TOPSIS ile ilgili literatürde yer alan çalışmalara ilişkin bilgiler sunulmuştur. Ayrıca literatürde yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir. Firmaların ortak özellikleri ve sorunları analiz edilmiş, ortak sorunlar belirlenmiştir. Firmaların hedef kriterleri belirlenmiştir. AHP tabanlı TOPSIS yöntemiyle KOBİ'lerin sorunlarına göre öncelik verilmesi gereken KOSGEB destek programları tespit edilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde KOBİ'lerin literatürdeki yerinden bahsedilmiştir. Araştırmacıların KOBİ'lere yönelik çalışmalarına yer verilmiştir. Literatürde KOBİ'lerin sorunlarına, mevcut uygulamalarına ve iç süreçlerine odaklanılmıştır. Çoğunlukla KOBİ'ler ile ilgili tanımlamalara yer veren bu çalışmalarda verilen desteklerin değerlendirilmesine yönelik bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Ekonomik değerine ve yönetsel boyutlarına vurgu yapılan çalışmalara bakıldığında genel bir perspektiften yaklaşıldığı görülmektedir. KOBİ'lere sağlanan destekler üzerine yapılan çalışmalarda ise genel bir açıdan yaklaşılarak bu desteklerin KOBİ'ler üzerindeki etkisinin araştırılması yapılmıştır.

Yapılan literatür taramasında, KOBİ'lerin pazarlama, üretim, finansman ve yönetim sorunları ile ilgili çalışmalar tespit edilmiştir. Devlet desteklerinin istihdam üzerine etkisi üzerine çalışmalar yapılmıştır. AHP ve VIKOR yöntemiyle proje seçimi, AHP, TOPSIS, PROMETHEE yöntemiyle kargo seçim çalışması yapılmıştır. AHP-TOPSIS yöntemleriyle poliklinik değerlendirilmesi yapılmış, yine AHP, TOPSIS yöntemleriyle basketbol takımlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. AHP, TOPSIS yöntemleriyle KOBİ destek modellerinin, KOBİ'lerin sorunlarını dikkate alarak, sıralama yapılmasına yönelik bir çalışma tespit edilememiştir. Tablo 1'de literatür taraması verilmiştir.

Tablo 1. Literatürdeki çalışmalar

No	Yazar(lar)	Konu Adı	Yılı	Anahtar Kelimeler
1	Torlak ve Uçkun	Eskişehir’deki KOBİ’lerin Pazarlama ve Finansman Sorunları Ara Kesiti	2005	KOBİ, pazarlama sorunları, finansman sorunları, KOBİ’lerin pazarlama ve finansman sorunları
2	İlhan	KOBİ’ler: Sosyo-Ekonomik Bir Perspektif	2006	KOBİ’ler, Girişimcilik, Küçük İşletmeler.
3	Aksoy ve Çabuk	KOBİ’lerdeki Toplam Kalite Yönetimi Uygulamalarının Kurumsallaşma Üzerindeki Etkileri	2006	KOBİ, Toplam Kalite Yönetimi, Kurumsallaşma
4	Özkanlı ve Namazalieva	Kırgızistan’da Faaliyet Gösteren Bazı Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelerde Yönetim Sorunları Üzerine Bir Araştırma	2006	KOBİ’ler, Kırgızistan, Yönetim Sorunları, Diğer KOBİ Sorunları
5	Zerenler Vd.	Küresel Teknoloji, Araştırma-Geliştirme (Ar-Ge) Ve Yenilik İlişkisi	2007	Rekabet, Küresel Teknoloji, Araştırma-Geliştirme (AR-GE) Yenilik
6	Çatal	Bölgesel Kalkınmada Küçük Ve Orta Boy İşletmelerin (Kobi) Rolü	2007	KOBİ, avantajlar, dezavantajlar,
7	Özdemir Vd.,	Küçük Girişimcilerin Artan Türkiye Ekonomisinde Yeri	2007	KOBİ, Küreselleşme, Kalkınma Planları, Genel Sanayi ve İşyerleri Sayımı, KOSGEB
8	Sarıkahya	Mobilya Endüstrisinde KOBİ’lere Verilen Devlet Desteklerinin Firmalar Üzerindeki Etkileri (Ankara Örneği)	2012	Mobilya Endüstrisi, Devlet Destekleri, Pazarlama
9	Kaya ve Alpkan	Problems and Solution Proposals for SMEs In Turkey	2012	SME, The Mistakes, Solution Offers, Management, Financial Requirements
10	Ulusoy ve Akarsu	Türkiye’de KOBİ’lere Yapılan Destekler ve İstihdam Üzerindeki Etkileri	2012	KOBİ, istihdam, devlet destekleri, KOSGEB, nüfus, işsizlik.
11	Uluyol	Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelerde (KOBİ) Finansal Yönetim Uygulamaları	2013	KOBİ, Finansal Yönetim, KOBİ’lerde Finansal Yönetim.
12	Kolçak ve Bilici	KOBİ’lere Sağlanan Finansal Desteklerin Üretim ve İstihdama Etkileri NUTS-II TRA-I Bölgesinde Bir Uygulama	2013	KOBİ, İstihdam, Üretim, Finansal Destek
13	Alkış ve Temizkan	KOBİ’lerin Yönetimsel Sorunlarının Çözümünde Japon Yönetim Sisteminin Rolü	2013	Japon yönetim modeli, KOBİ sorunları, Japon, KOBİ
14	Alan ve Yeloğlu	Markalaşma ve Yenilikçilik	2013	Marka, Markalaşma, Yenilik, Yenilikçilik
15	Gebeş ve Battal	Türkiye’de Havacılık Kümelenmeleri Ve Finansman Sorunları	2014	Finansman, Havacılık, Kümelenme.
16	Ayandibu ve Houghton	The role of Small and Medium Scale Enterprise in local economic development (LED)	2017	Small and Medium Scale Enterprise, Local Economic Development
17	Singh	Impact of Digitalization on Small and Medium Enterprises in India	2017	Digitalization, SME, Internet
18	Gür vd.,	Ankara’da Monoray projelerinin analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemleri ile seçimi	2017	Analitik hiyerarşi prosesi, Hedef programlama, Proje seçimi, Kentsel ulaşım
19	Asoğlu ve Eren	AHP, TOPSIS, PROMETHEE Yöntemleri ile Bir İşletme İçin Kargo Şirketi Seçimi	2018	TOPSIS, AHP, PROMETHEE, Kargo Şirketleri, Şirket
20	Taş vd.,	AHP-TOPSIS Yöntemleri Entegrasyonu İle Poliklinik Değerlendirilmesi: Ankara’da Bir Uygulama	2018	Hastane seçimi, tüketici algısı, çok kriterli karar verme, AHP, TOPSIS
21	Aydın	KOBİ Yöneticilerinin Web Tabanlı E-Ticaret Hakkındaki Bilgi Düzeyleri Ve Tutumları: Trb1 Bölgesi Örneği	2018	İmalatçı KOBİ’ler, Bilişim, Web Tabanlı E-Ticaret, Rekabet, Uluslararasılaşma.
22	Ahmad vd.,	Reflections Of Entrepreneurs of Small and Medium-Sized Enterprises Concerning the Adoption of Social Media and Its Impact on Performance Outcomes: Evidence from the UAE	2018	Social media networks Entrepreneurship Small and medium-sized enterprises Organization performance United Arab Emirates

Tablo 1 (devam). Literatürdeki çalışmalar

No	Yazar(lar)	Konu Adı	Yılı	Anahtar Kelimeler
23	Geyik ve Eren	Spor Toto Basketbol Süper Ligi ve Turkish Airline Euroleague Basketbol Takımlarının AHS-TOPSIS Yöntemleriyle Değerlendirilmesi	2018	Çok ölçütlü karar verme, AHS, TOPSIS, Basketbol ligi
24	Walter vd.,	The Technology Transfer in the Development of the Small and Medium Metal-mechanic Ecuadorian Enterprise	2018	SMEs; technology transfer and technology management; industrial development and metal mechanical industry
25	Hamurcu ve Eren	Sürdürülebilir Kent İçi Ulaşım için Bulanık AHP Tabanlı VIKOR Yöntemi ile Proje Seçimi.	2018	Proje seçimi, kent içi ulaşım, Bulanık AHP, VIKOR
26	Auzzir vd.	Impacts of Disaster to SMEs in Malaysia	2018	SME, natural disaster, business continuity management
27	Sevinç vd.	Analysis of the Difficulties of SMEs in Industry 4.0 2 Applications by Analytical Hierarchy Process and 3 Analytical Network Process	2018	Small and medium enterprises; Industry 4.0; multi-criteria decision making; Analytic hierarchy process, Analytic network process
28	Sevinç ve Eren	Determination of KOSGEB Support Models for Small and Medium Scale Enterprises by Means of Data Envelopment Analysis and Multi Criteria Decision making methods	2019	Data envelopment analysis; SME; KOSGEB; Productivity; AHP; TOPSIS

3. KÜÇÜK VE ORTA BOY İŞLETMELERİN ANALİZİ

İstihdam, üretim, pazarlama, ihracat ve yatırım ile ilgili faaliyetlerinin önemli bir kısmı KOBİ'ler tarafından yapılmaktadır. Ülke ekonomisinin büyümesinde önemli bir role sahip olmuştur. İşletmelerin gelişmesi ve büyümesi ekonomiye doğrudan yansımaktadır. Bu açıdan işletmelerin sorunlarına çözüm üretmek ve ekonomiye katkısını artırmak amacıyla politikalar geliştirilmiştir. Bu amaçla KOBİ ölçeğini belirlemek amacıyla KOBİ tanımı yürürlüğe sokulmuştur.

3.1.KOBİ Tanımı

Türkiye'de çalışan sayısı 250 kişiden az, yıllık net satış hasılası 125 milyon TL altında olan işletmeler KOBİ olarak kabul edilmiştir. Ayrıca mikro, küçük ve orta ölçekli olarak sınıflandırılmıştır. KOBİ tanımı tablo 2.de verilmiştir (www.resmigazete.gov.tr). Avrupa Birliğinde ise KOBİ tanımı çalışan sayısı en fazla 250 kişi olmakla birlikte yıllık net satış hasılatı 50 milyon Avroyu geçmeyen işletmeler KOBİ sınıfına girmektedir. İşletmeler mikro, küçük ve orta ölçekli olarak sınıflara ayrılmıştır. Tablo 3.de verilmiştir (<http://www.kobi.org.tr>).

Tablo 2. Türkiye KOBİ Tanımı

Kriter	Mikro Ölçekli KOBİ	Küçük Ölçekli KOBİ	Orta Ölçekli KOBİ
Çalışan Personel Sayısı	< 10	< 50	< 250
Yıllık Net Satış Hâsılatı	≤ 2 Milyon Avro	≤ 10 Milyon Avro	≤ 50 Milyon Avro

Tablo 3. Avrupa Birliği KOBİ Tanımı

Kriter	Mikro Ölçekli KOBİ	Küçük Ölçekli KOBİ	Orta Ölçekli KOBİ
Çalışan Personel Sayısı	< 10	< 50	< 250
Yıllık Net Satış Hâsılatı	≤ 3 Milyon TL	≤ 25 Milyon TL	≤ 125 Milyon TL

İhracatın genel ekonomi açısından tartışmasız önemi büyüktür. Türkiye İhracatçılar Meclisi(TİM) 2018 yılı verilerine göre toplan 163.532.569 TL ihracat gerçekleştirilmiştir. Tarım sektörü 22.645.609 ABD, imalat sektörü 136.325.297 ABD, Sanayi mamullerinde ise 106.558.021 ABD ihracat yapılmıştır. Sanayi mamulleri içerisinde ilk sırayı otomotiv endüstrisi 31.568.469 ABD, ikinci sırayı çelik sektörü 15.554.861 ABD, elektrik elektronik ve hizmet sektöründen 11.309.459 ABD ile üçüncü sırada yer almıştır (<http://www.tim.org.tr>). Otomotiv sektörü sanayi mamulleri içerisinde en fazla ihracat yapan sektör olmuştur.

3.2.KOBİ Kavramı ve Ortaya Çıkışı

1970'li yıllarda ekonomik buhran yaşanmış, büyük firmalar iflas etmiş, ekonomik sıkıntılar had safhaya varmış, yaşanan sıkıntılara çözüm aranırken, bu krizden KOBİ'lerin başarılı çıkması dikkat çekmiştir. Bunun üzerine gelişmiş ülkelerde, KOBİ'leri sayısal olarak artırma ve güçlendirme politikaları geliştirilmiştir (İlhan, 2006:270). Bu işletmeler ekonomik krizlere çözüm olmuştur

(Kaya ve Alpkan 2012:31). İşten çıkarmalar büyük firmalara oranla daha az yaşanmıştır. KOBİ'lerin krizlere karşı dayanıklı olması, batık alacakları daha az ve çözümlere karşı esnekliği bunda etken olmuştur. Bu açıdan istikrara hizmet etmektedirler (Varum ve Rocha, 2013:9-25).

KOBİ'ler genellikle işletme sahibi ve aile üyelerince yönetilmektedir. Karar alma sistemleri tamamen esnek, gayri resmi bir yapısı ve kişilere bağlı kalmaktadır. Dar bir alanda hizmet ve ürün sunarlar. Büyük miktarda girdi alımları gibi fırsatlardan istifade edemezler ve ölçek ekonomilerinden yararlanmaları pek görülmemektedir (Ayandibu ve Houghton, 2017:134).

3.3.KOBİ'lerin Ekonomide Önemi

KOBİ'lerin ekonomideki etkinliğini artırmak ve istihdam artışı sağlamak amacıyla çeşitli politika ve stratejiler geliştirilmiş, destek programları yürürlüğe konulmuştur (Harvie, 2003:4). Türkiye'de hükümetlerin beş yıllık kalkınma planlarında yer almıştır (<http://www.sbb.gov.tr>). Ekonomiye katma değer oluşturmak amacıyla, başta KOSGEB olmak üzere kamu kuruluşlarınınca destek mekanizmaları oluşturmuş ve büyük miktarlarda bütçe tahsis edilmiştir (<http://www.kosgeb.gov.tr>).

KOBİ'ler düşük maliyetli istihdam oluşturmada, az yatırımla daha çok üretim sağlamakta ve pazarda talep değişikliklerine hızlı ve kolay uyum sağlamaktadırlar. Teknolojik yeniliklere kolayca adapte olmakta ve bölgeler arası dengeli kalkınmaya katkı sağlamaktalar. Ferdi tasarrufları teşvik etmekte ve büyük işletmelerin tamamlayıcı işlevi bulunmaktadır (Ulusoy ve Akarsu, 2012:107). Bölgelerarası kalkınmışlık farkını ve sosyal sınıflar arasındaki eşitsizliği azaltacak niteliğe sahip olmaları, ekonomik ve sosyal kalkınmaya katkısı, KOBİ'leri, ekonomi yönetimlerinin sürekli gündeminde kalmıştır. Bu nedenle birçok kurum KOBİ'lerin verimliliklerini artırma, ürettikleri katma değer ve rekabet gücünün artırılması için çalışma yapılmaktadır (Alkış ve Temizkan, 2012:71). KOBİ'lerin rekabet gücünün artması ile ekonomiye katkısı daha fazla olacaktır (Sevinç ve Eren, 2015:38).

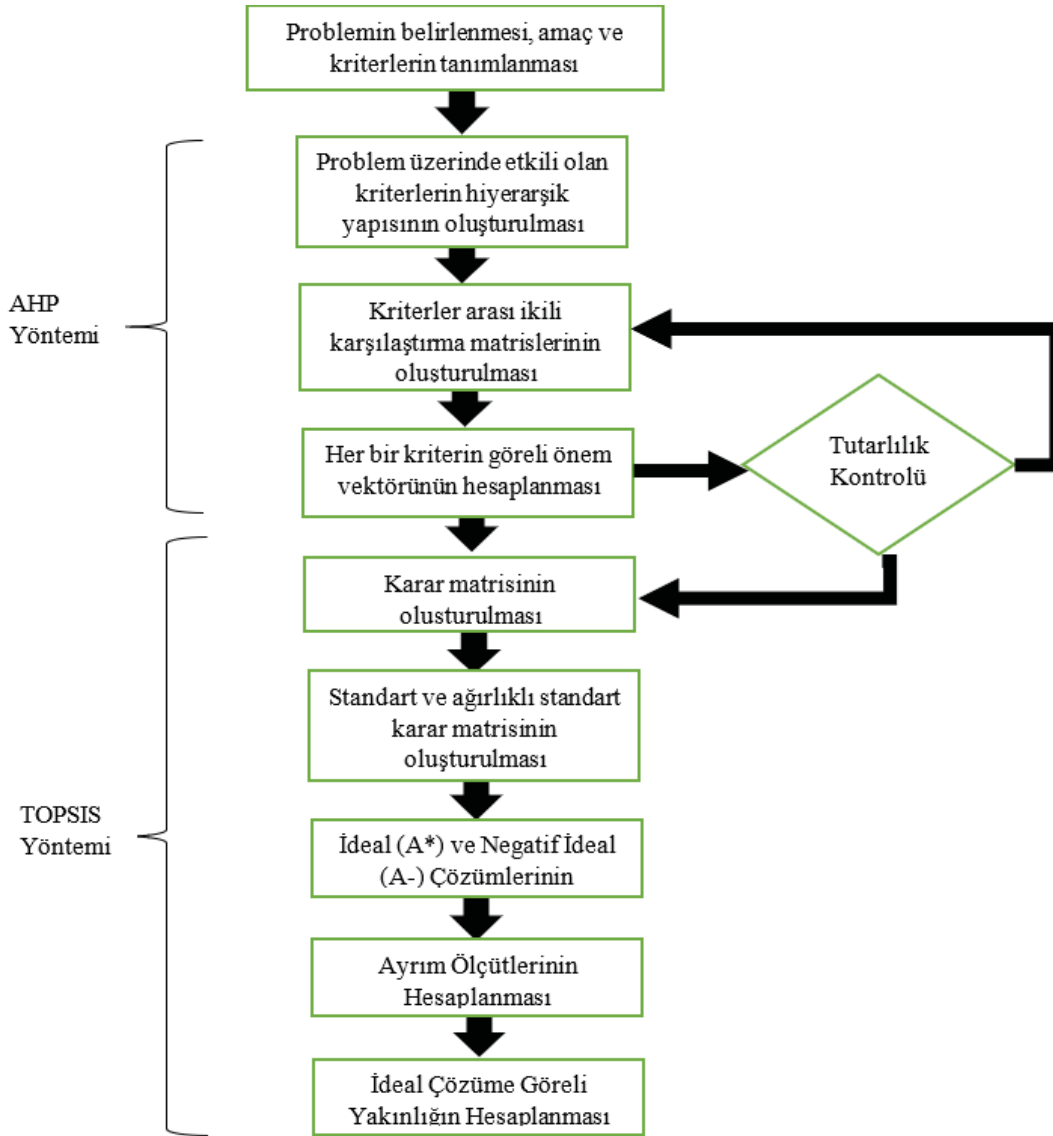
Özellikle kriz dönemlerinde, KOBİ'lerin ekonomik ve sosyal problemlerin artmasını engelleyebilen birimler olduğu fark edilmiştir (Sarıkahya, 2012:177). Genel ekonomiye katkıları fark edilir olmuş, hükümet yetkilileri ve uzmanlar krizlere karşı küçük işletmeleri desteklemeye çalışmışlardır (Riberio-Soriano, 2017:1). Büyük işletmelere oranla, krizden daha az etkilenmesi, büyük işletmelerden boşalan faaliyetleri doldurmaları bu işletmeleri önemli kılmıştır. Özellikle işsizliğin azaltılması, yeni istihdam alanlarının oluşturulması, ekonomik ve sosyal kalkınmaya katkı vermektedirler. Ulusal ekonomilerin korunmasında önemli bir rol üstlenmişlerdir (Özbek, 2008: 49). Ayrıca esnek yapıları, kullandıkları ileri teknoloji, kaliteli ve ucuz üretimin motoru konumuna taşınmıştır (Özdemir vd. 2007:175). Türkiye'de her zaman ekonomi, sosyo-politikte yer almış, politika ve stratejilerin belirlenmesinde etken olmuştur. Çünkü istihdamın %78'i, katma değer %55'i, ihracatın %59'u, toplam yatırımların %50'si, toplam satışların %65,5'i ve toplam kredilerin %24 ünü bu ölçekteki işletmeler sağlamaktadır (Sevinç ve Eren, 2016:1022). KOBİ'lerin sorunlarının çözümü ekonomiye olan katkısını artıracaktır.

3.4.KOBİ'lerin Sorunları

KOBİ'lerin sorunları finansman, üretim, pazarlama ve yönetim olarak dört alanda özetlenmiştir. Finansman sorunları; kaynakları etkin ve verimli kullanmakta zorlanmaktadırlar. Mali konularda uzman eleman istihdam etmemesi, işletme yöneticisinin finansal yönetimi konusunda bilgi eksikliği bulunmaktadır (Uluyol, 2013:91). Kredi maliyetlerinin yüksekliği, (Gebeş ve Battal, 2014:284). Sermaye yetersizliği işletmeleri finansal olarak zora sokmaktadır (Torlak ve Uçkun, 2005:209-210). Üretim ve teknoloji sorunları; teknik uzman yetersizliği, kapasite yetersizliği ve organizasyon yapısının istikrarsız olması gibi nedenlerden dolayı yeni çıkan teknolojileri daha az kullanmaktadırlar (Ahmad vd., 2018:7). Pazarlama sorunları; tüketici tercihlerinde hızlı değişim, yüksek dağıtım komisyonları, rakiplerin fiyat anlaşmaları, dağıtıcıların pazar hâkimiyeti, hammadde satıcıların tekelleşmesi, taklit ürünlerin çoğalması, rakiplerin uyguladığı baskıcı satış yöntemleri, aldatıcı ve yanıltıcı reklamlar, kırıncı rekabet aracı olarak reklamlar, müşterileri tatmin etme zorluğu, teknolojik gelişmelere ayak uydurma zorluğu, yeni satış yöntemlerine alışmama, nitelikli satış elemanlarını istihdam edememe, taşıma, depolama ile ilgili sorunlar, stok kontrolündeki sorunlar ve bilgi sistemlerinde eksiklikler olarak değerlendirilmiştir (Torlak ve Uçkun, 2005:207). Ayrıca KOBİ'lerde pazar oluşturma ile ilgili ciddi bir organizasyon mevcut değildir. Hedef pazarların araştırılması, bulunması ve değerlendirilmesinde eksiklikler vardır (Aydın, 2018:69).

4. MATERYAL VE METOT

Günümüzde insanlar tecrübelerine istinaden sezgisel yönlerini kullandıkları gibi karmaşık sorunlar için bilimsel yöntemleri de kullanmaktadırlar. Literatürde kabul görmüş birçok yöntem mevcuttur. Çok ölçütlü karar verme yöntemleri literatürde araştırmacılar tarafından sıklıkla tercih edilmektedir (Özbek ve Eren, 2013). Bu çalışmada problem çözümünde çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. AHP yöntemi karar verme problemlerinde karar vericilere problem üzerindeki etkili olan kriterlerin değerlendirilmesine fırsat sağlamaktadır. Hangi faktörün ne derece önemli olduğunu belirleyebilmektedir. TOPSIS yöntemi ise karar vericilerin elinde bulunan alternatiflerin problem üzerinde etkili olan kriterlere göre değerlendirilebilmesine imkân sağlamaktadır. Literatürde bu yöntemlerin araştırmacılar tarafından sıklıkla tercih edildiği görülmüştür. Bu çalışmada da yöntemlerin bu avantajlarından faydalanılmıştır. Yapılan çalışmalara bakıldığında Alağaç vd. (2016) iletişim sektöründe, Özcan vd. (2017) enerji sektöründe, Alver vd. (2018) eğitim sektöründe, Gür vd. (2017); Hamurcu ve Eren (2018) ulaşım sektöründe, Asoğlu ve Eren (2018) lojistik sektöründe, Ayan vd. (2016); Taş vd. (2018) sağlık sektöründe, Geyik ve Eren (2018) spor sektöründe AHP/TOPSIS yöntemleri ile uygulamalar yapılmıştır. Ele alınan problemde çözüm yöntemlerinin akış şeması Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Çözüm Yönteminin Akış Şeması

4.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi

1977'de Saaty tarafından geliştirilen bir model ile karar verme problemlerinde kullanılmaktadır. Hiyerarşik olarak ifade edilmeye ihtiyaç duyulan durumlarda, kararı etkileyen faktörleri yüzdelik olarak dağılımlarını veren, birçok subjektif yargıyı değerlendiren bir yöntem olarak tanımlanmaktadır. Geliştirildiğinden bu yana çok çeşitli alanlarda uygulanma imkânı bulan AHP yöntemi temelde, birçok alternatif arasından problemi etkileyen ölçütleri, oluşturulmuş bir skalaya göre değerlendirerek en iyi çözümü vermektedir. AHP yöntemi 5 ana adımdan oluşmaktadır. Bu adımlara göre; (Saaty ve Niemira 2006:1-4),

Adım 1: Karar Probleminin Tanımlanması

Adım 2: Hiyerarşik Yapının Kurulması

Karar verme sürecinin temel aşamaları arasında yer alan modelleme adımı amaç, kriterler ve alternatiflerin grafiksel olarak sunulması olarak tanımlanmaktadır. Amaca ulaşırken karar vericiler kriterleri yaptıkları katkıya göre değerlendirmektedir. Hiyerarşik yapıda en üstte problemin amacı bulunmaktadır ve alt seviyelere doğru inildikçe kriterler ve alternatifler görülmektedir.

Adım 3: İkili Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması

Hiyerarşik yapının oluşturulmasından sonra problemde etkili olan kriterler ve alternatifler kendi aralarında karşılaştırmalara tabi tutulur. Karşılaştırma matrisleri aracılığıyla yapılan bu kıyaslamalarda $n \times n$ boyutlu kare matris kullanılmaktadır. Köşegen üzerindeki matris bileşenlerinin 1 değerinin alması yani $i=j$ durumunun olması, kriterlerin kendileri ile karşılaştırılmayacağına

göstermektedir. Daha sonra kriterlerin karşılaştırılması birbirlerine göre aldıkları önem dereceleri ile yapılmaktadır. Bu aşamada Saaty tarafından geliştirilen 1-9 önem skalası kullanılmaktadır. Tablo 4'de geliştirilen 1-9 skalası verilmektedir.

Tablo 4. Önem skalası

Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	Her iki faktörün eşit öneme sahip olması durumu
3	1. Faktörün 2. faktörden daha önemli olması durumu
5	1. Faktörün 2. faktörden çok önemli olması durumu
7	1. Faktörün 2. faktöre nazaran çok güçlü bir öneme sahip
9	1. Faktörün 2. faktöre nazaran mutlak üstün bir öneme sahip
2,4,6,8	Ara değerler

Karşılaştırmalar yapılırken oluşturulan ikili karşılaştırma matrislerinde tüm değerleri 1 olan köşegenin üstünde (veya altında) kalan değerleri hesaplarken $a_{ji} = 1/a_{ij}$ kullanılmaktadır.

Adım 4: Göreli Önem Vektörünün (Özvektörün) Hesaplanması

Kriterlerin bütün olarak değerlendirilmesinde ağırlıklarını yani diğer bir ifade ile göreli önem vektörü hesaplanırken normalize edilmiş matrisin satır bileşenlerinin ortalaması alınmaktadır (Saaty, 2013).

Adım 5: Kriterler Arasındaki Tutarlılığın Ölçülmesi

Geliştirilen formülasyon ile verilen kararlar arasındaki tutarlılık derecesi kabul edilebilir bir seviyede ise karar vericiler sürece devam edebilir ve analizlerini yapabilirler fakat durum aksi yönde ise karar vericiler bir önceki aşamalara dönerek verdikleri kararları tekrar ele almak ve düzeltmek zorundadırlar. Tutarlılık derecesinin 0,1 değerinin altında olması karar vericiler için istenilen durumdur (Saaty, 2013).

4.2. TOPSIS Yöntemi

Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen ve çok ölçütlü karar verme yöntemleri arasında sıklıkla kullanılan bu yöntem, birbirleriyle çelişebilen kriterler arasında karar almada, basit bir şekilde yardımcı olmaktadır. Geliştirilmiş olan bu yöntem ile m tane alternatif arasında belirli kriterler doğrultusunda ve bu kriterlerin alabileceği maksimum ve minimum değerlere göre ideal çözüme uzaklıkları değerlendirilmektedir. Böylece m tane alternatif seçeneğin sıralamasının yapılması mümkün olmaktadır.

6 temel adımdan oluşan TOPSIS yönteminin çözüm sürecine ilişkin hesaplamaları şu şekildedir: (Jahanshahloo, 2006:1377-1378)

Adım 1: Karar Matrisinin (A) Oluşturulması

Satırlarında üstünlüklerinin sıralanmak istendiği alternatiflerin, sütunlarında ise karar verme sürecinde etkili olan, değerlendirmede ana faktörler arasında yer alan kriterlerin bulunduğu karar matrisi oluşturulmaktadır ve aynı zamanda bu matris başlangıç matrisi olarak da isimlendirilmektedir. Bu matris m tane alternatif ve n tane değerlendirme kriterinden oluşmaktadır.

Adım 2: Standart Karar Matrisinin (R) Oluşturulması

Karar matrisinde bulunan her değerın bulunduğu sütunda karşılık geldiği değerlerin kareleri toplamının kareköküne bölünmesiyle normalizasyon işlemi tamamlanmaktadır. Daha sonra hesaplanan bu değerler ile R matrisi elde edilmektedir.

Adım 3: Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin Oluşturulması

Bu aşamada ilk olarak değerlendirme kriterine ilişkin ağırlık değerleri (w_i) belirlenir. Bu ağırlık değerlerinin toplamı 1'e eşittir. Bu w_i değerleri ile R matrisinde bulunan her bir değer çarpılarak Ağırlıklı Standart Karar Matrisi (V) oluşturulur. Bazı problemlerin yapısı gereği karar vericiler bu aşamada ağırlık değerlerini çeşitli yöntemlerle hesaplamaktadırlar ya da değerlendirme kriterlerine ilişkin ağırlık değerlerini eşit kabul ederek hesaplama adımlarına devam etmektedirler.

Adım 4: İdeal (A^) ve Negatif İdeal (A^-) Çözümlerinin Oluşturulması*

Ele alınan problemde belirlenen kriterlerin, TOPSIS yöntemine göre monoton artan ya da azalan bir eğilimde olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle V matrisindeki her sütunda yer alan maksimum değer ideal (A^+) çözümünü, minimum değerler ise negatif ideal (A^-) çözümünü göstermektedir.

İdeal çözüm seti $A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\}$ şeklinde gösterilmektedir.
Negatif ideal çözüm seti $A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$ şeklinde gösterilmektedir.

Adım 5: Ayrım Ölçütlerinin Hesaplanması

Bu adımda değerlendirilen her bir kriterin ideal ve negatif ideal çözüm noktalarına uzaklıklarının hesaplanması gerekmektedir. Buna göre Euclidian Uzaklık yaklaşımı ile maksimum ve minimum noktaların ideal noktalara uzaklıkları hesaplanmaktadır.

Hesaplanacak olan (S_i^+) ve (S_i^-) değerleri karar noktası sayısı kadar olması gerekmektedir.

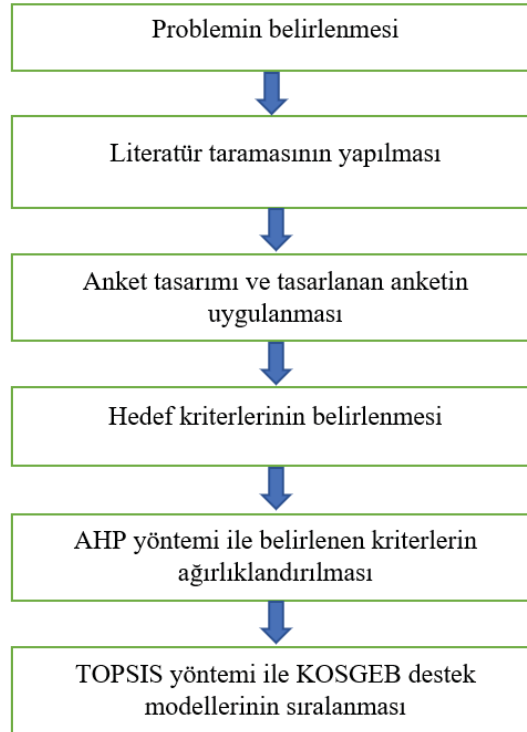
Adım 6: İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması

Alternatiflerin ideal çözüme yakınlığının (C_i^+) bulunması için kriterlerin ideal ve negatif ideal çözüm noktalarına uzaklıkları kullanılmaktadır. Bu noktada yararlanılan ölçüt negatif ideal ayırım ölçütünün toplam ayırım ölçütü içindeki payını yansıtmaktadır.

Yapılan hesaplama sonucunda (C_i^+) değeri $0 \leq C_i^+ \leq 1$ aralığında bulunuyor ise $C_i^+=1$ noktasında ilgili karar noktasının ideal çözüme, $C_i^+=0$ ise ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını göstermektedir.

5. UYGULAMA

İşletmelerin öncelikli sorunlarına göre KOSGEB destek modellerinin kullanılması işlemi, sorunun tespit edilmesinden, kullanılan yöntemlerden, sıralama işlemine kadar uygulama adımları Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Uygulama Adımları

5.1. Otomotiv Yan Sanayi ve Otomotiv Sektörü İle İlişkili Döküm Sektöründe KOBİ’ler İçin KOSGEB Desteklerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemiyle Sıralanması

Bu çalışmada kullanılan veriler, Konya’da otomotiv yan sanayi ve otomotiv sektörü ile ilişkili döküm sektöründe 31 adet firmadan, yönetim, finansman, pazarlama ve üretim alanında karşılaştıkları sorunlar bire bir görüşme, yani mülakat ile temin edilmiştir. Sorunlar analiz edilmiş, sorunların çözümüne yönelik hedef kriterleri belirlenmiştir. Bu hedef kriterlere hizmet edebilecek Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı (KOSGEB) 10 adet destek modeli belirlenmiştir (Sevinç, 2017). Bu aşamalarda 15 adet KOBİ uzmanın görüşleri alınmıştır. Daha sonra AHP ile kriterlerin ağırlıklandırma işlemi yapılmıştır. Bunun akabinde firmaların öncelikli sorunlarını çözebilecek KOSGEB destek modelleri TOPSIS yöntemiyle sıralanmıştır.

Çalışmanın Amacı

KOBİ'ler istihdam potansiyeli ve ekonomi üzerinde ağırlığı kuşkusuz yüksek bir seviyededir. KOBİ'lerin büyümesi ekonomiye doğrudan yansımaktadır. Bu açıdan, bu ölçekteki işletmelere ekonomi yönetimleri büyük önem vermektedir. KOSGEB tarafından KOBİ'lerin rekabet gücünün artması amacıyla bütçe tahsis edilmekte ve desteklenmektedir (<http://www.kosgeb.gov.tr>). KOSGEB destek modelleri firmaların öncelikli sorunları tespit edilemeden kullanılmaktadır. Bu da desteklerden beklenen etkinin daha az olmasına neden olmaktadır. Öncelikli sorunu üretim ile ilgiliyken, firma pazarlama ile ilgili destek talebinde bulunmaktadır. Başka bir örnekle ifade edilirse, nitelikli eleman sorunu varken kaliteli üretim, kurumsallaşma vb. çalışma yapmaları, destek modelinden firma için beklenen etkiyi göstermesi zor görülmektedir. Öncelikli sorunlara göre kullanılan destek modelleri hem firmaya daha fazla katma değer sağlayacaktır. Aynı zamanda genel ekonomiye daha fazla katkı anlamına gelmektedir. Kıt kaynaklar etkin kullanılacaktır.

Çalışma Yapılan Firmaların Özellikleri ve Ortak Sorunları

Firmaların yaşadığı bazı sorunlar, bazı özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Yönetimde tamamen aile bireylerinin yer alması kurumsallaşmasına engel olabilmektedir. Bu çalışmada firmaların ortak özellikleri ve karşılaştıkları sorunlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

Firmaların Ortak Özellikleri

- Aile şirketleridir.
- Yönetimde aile bireyleri yer almaktadır
- Üretim vb. faaliyetleri proje bazlı yapmaktadırlar
- Üretim için yeterli makine-ekipman sahiptirler
- Teminat ve banka kredi sorunu yaşamamaktadırlar
- Yeni Pazar bulma konusunda tecrübe sahibidirler
- Yurtdışına ihracat yapmaktadırlar.
- Bayilik sistemi ile çalışmaktadırlar.
- Marka tescil belgeleri bulunmaktadır
-

Firmaların Ortak Sorunları

- Kalifiye eleman sorunu yaşamaktadırlar.
- Kurumsallaşma konusunda sorun yaşamaktadırlar.
- Markalaşma ile ilgili faaliyetleri yetersizdir
- Üretim vb. konularda eğitim ve danışmanlık hizmeti alınmamaktadır
- Üretimde otomasyona geçme konusunda sorun yaşamaktadırlar.
- Kapasiteyi tam kullanamamaktadırlar.

Hedef Kriterleri

Firmaların sorunlarını tespitine müteakip, karşılaştıkları sorunların çözümüne katkıda bulunacak dört adet hedef kriteri belirlenmiştir. Kriterler, firmalardan elde edilen bilgiler doğrultusunda, 15 adet KOBİ uzmanından görüşü alınarak tespit edilmiştir. Yine hedef kriterlere hizmet edecek KOSGEB destek modelleri KOBİ uzmanlarının görüşü alınarak belirlenmiştir. Oluşturulan hedef kriterleri şu şekildedir; kurumsallaşma, markalaşma, teknoloji ve finansman olup, Tablo 5'te verilmiştir. AHP ağırlıklandırma işlemleri bunlar üzerinden yapılmıştır.

Hedef kriterlerini tanımlamakta yarar bulunmaktadır. Kurumsallaşma: bir işletmenin kişilerden bağımsız olarak kurallara, standartlara, prosedürlere sahip olması, değişen çevre koşullarını takip eden sistemleri kurması ve gelişmelere uygun olarak organizasyonel yapısını oluşturması; kendisine özgü iletişim ve iş yapma yöntemlerini "kültür" haline getirmesi ve böylece diğer işletmelerden farklı ve ayırt edici bir kimliğe bürünmesi sürecidir (Aksoy ve Çabuk, 2006:47). Markalaşma; maddi ve maddi olmayan, psikolojik unsurları da kullanarak, bir firmanın ürünlerini ve hizmetlerini piyasada farklılaştırmasıdır (Alan ve Yeloğlu, 2013:15). Pazarlama; Tüketici gereksinimlerini belirlemek, bunları tanımlamak ve karlı biçimde tahmin etmekle sorumlu yönetim sürecidir. (Jefkins, 1983:2) Diğer bir hedef kriteri ise Teknoloji'dir. Sözlük anlamı "bilginin, sanayideki işlemlerde sistematik olarak uygulamaya alınması" olarak ifade edilmektedir. Geniş anlamı, araştırma, geliştirme, üretim, pazarlama, satış ve satış sonrası hizmeti kapsayan bir sanayi sürecinin, etkin ve verimli bir biçimde gerçekleştirilmesi için kullanılacak bilgi ve becerilerin tümüdür (Zerenler vd. 2007:656). Türk Dil Kurumu'nun yaptığı tanıma göre finansman: ekonomi Bir girişime işleyebilmesi, gelişebilmesi için gereken para ve krediyi sağlama işidir (<http://www.tdk.gov.tr>). Hedef kriterlerinin belirlenmesine müteakip KOSGEB destek modelleri belirlenmiştir.

Tablo 5. Hedef Kriterleri

Kodu	Hedef Kriterleri
K1	Markalaşma
K2	Teknoloji
K3	Kurumsallaşma
K4	Finans

KOSGEB Destek Modelleri

Destek modellerinin bir kısmı proje bazlı iken, bir kısmı proje bazlı değildir. KOBİGEL destek modeli, kurumsallaşma, markalaşma, kapasite artırımı, pazar payı artışına yardımcı olurken, Ar-Ge destek modeli, teknoloji geliştirme, yeni ürün geliştirme ve mevcut ürünü iyileştirme amacı gütmektedir. Yurtiçi fuar desteği pazar payının artmasına ve markalaşma hedefine hizmet etmektedir. Yurtdışı iş gezisi ihracata yönelik bir destek modelidir. Tanıtım desteği pazarlama ve markalaşmaya yöneliktir. Nitelikli eleman, eğitim ve danışmanlık desteği bütün hedef kriterlerine yardımcı olan bir destek modelleridir. Kredi faiz desteği firmaların bankadan aldığı kredi faizini desteklemekte, finansman destek modeline girmektedir. Eşleştirme destek modeli ise yurtdışında kurulu alanlarda ihracata yönelik bir destek modelidir. KOSGEB destek modelleri P1-P10 arasında kodlanmış, Tablo 6’te sunulmuştur. ([Http://www.kosgeb.gov.tr](http://www.kosgeb.gov.tr)).

Tablo 6. KOSGEB Destek Modelleri

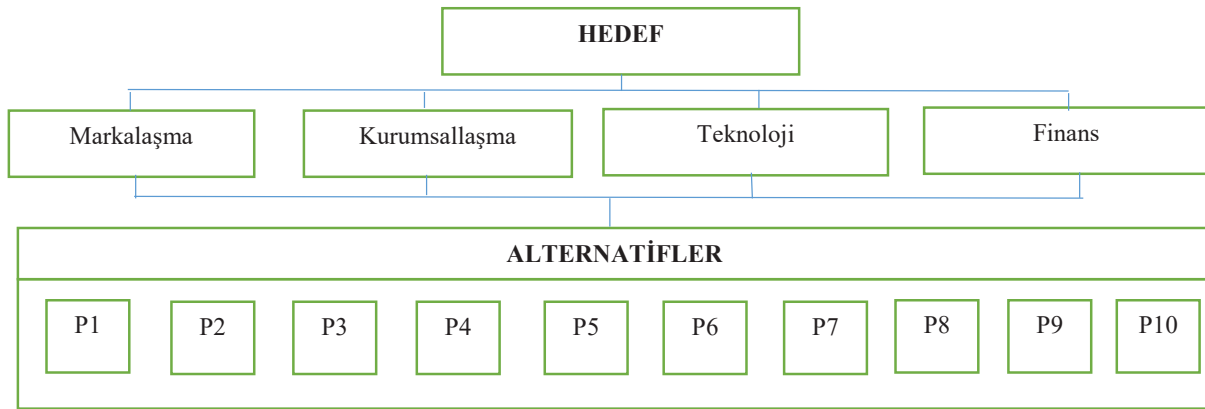
Kod	Destek Modeli
P1	Ar-Ge Proje Desteği
P2	Yurtiçi Fuar Desteği
P3	Yurtdışı İş Gezisi Desteği
P4	Tanıtım Desteği
P5	Nitelikli Eleman Desteği
P6	Danışmanlık Desteği
P7	Eğitim Desteği
P8	Kredi Faiz Desteği
P9	Eşleştirme Desteği
P10	KOBİGEL Proje Desteği

Hedef kriterleri ve KOSGEB destek modelleri belirlendikten sonra kriterlerin ağırlıklandırma işlemi AHP yöntemiyle yapılmıştır. Ağırlıklandırma işleminde kullanılan skala değeri hazırlanmış, Tablo 7’te sunulmuştur. Skala değeri, hedef kriterlerine hizmet eden destek modellerinin AHP işlemlerinde kullanılması amacıyla dizayn edilmiştir. Skala değeri ağırlıklandırma işleminde girdi olarak kullanılacaktır. Puanlama; ilişki derecesinin yoğunluğuna göre, 1-5 arasında yapılmıştır. En az ilişki yoğunluğuna 1 puan verilirken, en fazla ilişki yoğunluğuna 5 verilmiştir. Markalaşma hedefine KOBİGEL destek modeli ve yurtiçi fuar destek modeli ile arasında ilişki derecesine 5 puan verilirken, teknoloji ile ilgili hedef kriteri arasındaki ilişki derecesine 3 puan verilmiştir. Bu yapının kurgulanmasında KOSGEB destekleri yönetmeliğinden ve 15 adet KOBİ Uzmanı görüşünden yararlanılmıştır (<http://www.kosgeb.gov.tr>). Firmalar için öncelikli KOSGEB destek modellerinin sıralanması amacıyla yapılan AHP ve TOPSIS yöntemi ile yapılan işlemlerin her aşaması aşağıda verilmiştir.

Tablo 7. Skala Değeri

Skala Değeri	Skala Durumu
1	Çok Az İlişkili
2	Az İlişkili
3	Normal İlişkili
4	Fazla İlişkili
5	Çok Fazla İlişkili

Hedef kriterleri ve bu çalışmaya dahil edilen KOSGEB destek modelleri için hiyerarşik yapı Şekil 3'te verilmiştir. Öncelikli KOSGEB destek modellerini sıralaması TOPSIS yöntemi ile yapılmıştır. Bu işlemde önce AHP ile kriterlerin ağırlıklandırma işlemi yapılmıştır. Firmaların AHP ve TOPSIS yöntemi ile ilgili işlemlerin her bir basamağı aşağıda verilmiştir.

**Şekil 3.** KOSGEB Destek Modelleri için Hiyerarşik Yapı

Oluşturulan hiyerarşik yapı Şekil 3'de gösterilmektedir. Karar matrisi Saaty'nin Tablo 1'deki önem skalası kullanılarak Tablo 8'da gösterildiği gibi oluşturulmuştur. Ağırlıklandırma işleminin yapılabilmesi için kurulan karar matrisi uzmanların görüşleri dikkate alınarak hazırlanmış ve grup kararı ile oluşturulmuştur.

AHP Karar Matrisi

Tablo 8. AHP Karar Matrisi

	Markalaşma	Kurumsallaşma	Teknoloji	Finans
Markalaşma	1,0000	3,0000	5,0000	7,0000
Kurumsallaşma	0,3333	1,0000	3,0000	5,0000
Teknoloji	0,2000	0,3333	1,0000	3,0000
Finans	0,1429	0,2000	0,3333	1,0000

Karar matrisi oluşturulduktan sonra normalize karar matrisi Tablo 9'de gibi belirlenmiştir.

Tablo 9. Firmaların AHP Normalize Karar Matrisi

	Markalaşma	Kurumsallaşma	Teknoloji	Finans
Finans	0,5966	0,6618	0,5357	0,4375
Markalaşma	0,1989	0,2206	0,3214	0,3125
Kurumsallaşma	0,1193	0,0735	0,1071	0,1875
Teknoloji	0,0852	0,0441	0,0357	0,0625

W sütün vektörü Tablo 8'deki gibi elde edilmektedir. Temel değer hesaplanması için A karşılaştırma matrisi W öncelik vektörü ile çarpılarak D sütün vektörü Tablo 8'deki gibi oluşturulmuştur. D sütün vektörünün ağırlık vektörüne bölünmesiyle E vektörü

Tablo 8'deki gibi elde edilmiştir. E vektörünün aritmetik ortalaması alınarak lamda Tablo 10 'deki gibi bulunmuştur. Tutarlılık indeksi (CI) hesaplanmıştır. Kriter sayısı 4 olduğu için Tablo 3'de verilen rassallık indeksi 0,9 olarak alınmıştır. Bunun sonucunda tutarlılık oranı $0,0439 < 0,10$ olduğundan dolayı firmalar için AHP ile elde edilen ağırlıklar tutarlıdır.

Tablo 10. AHP Yöntemi ile Elde Edilen Ağırlıklar ve Tutarlılığın Test Edilmesi

Özvektör (w)	D vektörü	E vektörü		
0,5579	2,3555	4,2222	Lamda	4,1185
0,2633	1,0994	4,1747	CI	0,0395
0,1219	0,4919	4,0362	RI	0,9
0,0569	0,2299	4,0408	CO	0,0439

TOPSIS Yöntemiyle KOSGEB Destek Modellerinin Sıralanması

TOPSIS yöntemiyle oluşturulan firmalar için karar matrisi Tablo 11'da gösterilmektedir. TOPSIS yönteminin ilk adımında karar matrisi oluşturulmaktadır. Bu matris yapısı alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilebilmesini mümkün kılmaktadır. Matristeki değerler KOSGEB KOBİ Uzmanlarının görüşlerine başvurularak oluşturulmuştur.

Tablo 11. Firmaların Karar Matrisi

Firmalar	Markalaşma	Kurumsallaşma	Teknoloji	Finans
P1	2	2	5	3
P2	5	3	3	3
P3	4	2	4	2
P4	5	2	2	3
P5	4	5	5	4
P6	4	5	4	4
P7	4	5	4	3
P8	4	4	4	5
P9	5	3	3	3
P10	5	5	4	4

Oluşturulan standart karar matrisi Tablo 12'da gösterilmektedir.

Tablo 12. Firmaların Standart Karar Matrisi

Firmalar	Markalaşma	Kurumsallaşma	Teknoloji	Finans
P1	0,147	0,166	0,406	0,272
P2	0,369	0,248	0,243	0,272
P3	0,295	0,166	0,324	0,181
P4	0,369	0,166	0,162	0,272
P5	0,295	0,414	0,406	0,362
P6	0,295	0,414	0,324	0,362
P7	0,295	0,414	0,324	0,272
P8	0,295	0,331	0,324	0,453
P9	0,369	0,248	0,243	0,272
P10	0,369	0,414	0,324	0,362

Tablo 9'da AHP yöntemi ile bulunan ağırlıkların Tablo 10'da gösterilen standart karar matrisinin çarpılmasıyla elde edilen Ağırlıklı standart karar matrisi Tablo 13'de gösterilmiştir.

Tablo 13. Firmaların Ağırlıklı Standart Karar Matrisi

Firmalar	Markalaşma	Kurumsallaşma	Teknoloji	Finans
P1	0,082	0,044	0,049	0,015
P2	0,206	0,065	0,030	0,015
P3	0,165	0,044	0,040	0,010
P4	0,206	0,044	0,020	0,015
P5	0,165	0,109	0,049	0,021
P6	0,165	0,109	0,040	0,021
P7	0,165	0,109	0,040	0,015
P8	0,165	0,087	0,040	0,026
P9	0,206	0,065	0,030	0,015
P10	0,206	0,109	0,040	0,021

Ağırlıklı standart karar matrisinin sütunlarının maksimum ve minimum değerleri alınarak oluşturulan ideal ve negatif ideal çözümler Tablo 14'deki gibi elde edilmiştir.

Tablo 14. İdeal (+) ve negatif ideal (-) çözümlerin oluşturulması

A+	0,206	0,109	0,049	0,026
A-	0,082	0,044	0,020	0,010

Ayrım ölçütleri Tablo 15'deki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 15. Her bir kriterin ideal ve negatif ideal çözüm noktalarına uzaklıkları

	S_i^+	S_i^-
P1	0,14	0,0301
P2	0,049	0,1258
P3	0,0794	0,0846
P4	0,0725	0,1235
P5	0,0414	0,1097
P6	0,0426	0,1074
P7	0,0435	0,107
P8	0,0476	0,0964
P9	0,049	0,1258
P10	0,0111	0,1414

Tablo 13'te elde edilen ayrım ölçütleri ile elde edilen ideal çözüme göreli yakınlıklar Tablo 16'teki gibi elde edilmiştir.

Tablo 16. İdeal Çözüme Göreli Yakınlık

Firmalar	Ci	Firmalar	Ci
P1	0,1769	P6	0,7160
P2	0,7198	P7	0,7109
P3	0,5159	P8	0,6696
P4	0,6300	P9	0,7198
P5	0,7257	P10	0,9269

Tablo 14'te firmalar için öncelikli KOSGEB destek modellerinin sıralaması verilmiştir. İlk sırada proje P10: KOBİGEL destek modeli yer almış, 2. P5: nitelikli eleman destek modeli yer alırken, 3. P9: eşleştirme destek modeli ve P2: yurtiçi fuar destek modeli yer almıştır. 4. P6: danışmanlık desteği, 5. P7: eğitim destek modeli, 6. P8: kredi faiz desteği, 7. P4: tanıtım destek modeli, 8. P3: yurtdışı iş gezisi, 9. P1: Ar-Ge destek modeli takip etmiştir.

5.2 Tartışma

KOBİGEL destek modeli ilk sırada yer almıştır; kurumsallaşma, üretim ve pazarlama sorunlarına hitap etmektedir. KOBİ'lerin ağırlıklı olarak aile işletmesi olması nedeniyle kurumsallaşma ile ilgili sorunlar yaşaması nedeniyle bu destek modelinin ilk sırada çıkması oldukça anlamlıdır. İkinci sırada nitelikli eleman desteği yer almıştır. Yapılan araştırmada, işletmelerin önemli bir kısmında nitelikli eleman sorunu olduğu tespit edilmiş, ikinci sırada yer almasından dolayı tutarlı bir sonuç olduğu ifade edilebilir. Üçüncü sırada ise eşleştirme destek modeli bulunmaktadır; ihracata yönelik olan bir destek modelidir. Üretimdeki sorunlar çözüldükten sonra ihracata yönelmesi yerinde olacaktır. Dolayısıyla KOBİGEL ve nitelikli eleman desteğinden sonra yer alması anlamlıdır. Dördüncü sırada danışmanlık destek modeli ve beşinci sırada eğitim destek modeli işletmenin gelişimine faydalı olabilecek bir modeldir. Sıralama olarak KOBİGEL, nitelikli eleman destek modelinden sonra çıkması anlamlıdır. Çünkü nitelikli eleman sorunu varken, eğitim ve danışmanlık desteğinin etkisi yetersiz kalabilir. Ayrıca ihracata yönelik olan eşleştirme desteğinin inde etkisi zayıf kalabilir. Bu açıdan sıralamanın uygun olduğu düşünülmektedir. Ar-Ge destek modeli son sırada yer almıştır. Temel sorunları çözmeden bir işletmenin teknoloji geliştirme çalışmalarının başarılı olması çok zor görülmekte ve kaynak israfına neden olabilir. Bu açıdan Ar-Ge destek modelinin son sırada yer almasının yerinde olduğu ve sıralamanın anlamlı olduğu değerlendirilebilir.

5.3. Sonuç ve Öneriler

KOBİ'lerin yatırım, pazarlama, üretim, ihracat ve istihdamın önemli bir oranını sağlamaları nedeniyle ekonomi yönetimleri tarafından çok önemsenmiştir. Ekonomiye ürettiği katma değer yanında, ekonomik krizlerde istikrara katkıda bulunmuş, bölgesel kalkınmada etkin rol almış, genel ekonomi açısından her zaman kayda değer görülmüştür. KOBİ'lerin büyümesi, genel ekonominin büyümesine doğrudan yansıtacağından, başta verimlilik sorunları olmak üzere diğer sorunlarının çözümü büyük önem arz etmektedir.

KOBİ'lerin yönetim, finansman, pazarlama ve üretim alanlarında yaşanan sorunların çözümü, rekabet gücünün artmasına katkıda bulunacaktır. Bu açıdan verimlilik ve etkinlik esaslı çalışan firmaların, sorunları kolay aşip, rekabet gücü kazanabilmektedir. Firmaların rekabet gücü sektörlerin rekabet gücünü etkileyecek, bu da genel ekonomiye yansıtacaktır. KOSGEB destek modellerinin amacı da KOBİ'lerin rekabet gücünün artmasını sağlamaktır.

Bu çalışmaya konu olan yöntemlerle, firmaların öncelikli sorunlarına göre destek kullanılması durumunda firma etkinliği daha fazla olacak ve ekonomiye daha fazla katma değer üretecektir. Devlet desteklerini daha fazla katma değer üreten firma ve sektörlerle kullanılması, kullanılması yöntemlerin buna göre dizayn edilmesi yatırım, üretim, ihracat ve istihdam katkısını artıracaktır.

KOSGEB KOBİ'lere yönelik 2018 yılına kadar büyük miktarlarda bütçe tahsis etmesine rağmen, firmaların öncelikli sorunlarına göre destek modellerinin kullanımı ile ilgili literatürde çalışmalara rastlanmamıştır. Çok ölçütlü karar verme yöntemleri, özellikle AHP ve TOPSIS yöntemi tedarikçi seçimi gibi konularda kullanılmış, fakat KOBİ'lerin sorunları saha çalışması ile tespit edip, hedef kriterleri belirlenip, AHP ve TOPSIS yöntemi ile KOBİ'ler için KOSGEB destek modellerini öncelikli sorunlara göre sıralaması ile ilgili çalışmanın yeni bir çalışma olduğunu söylemek mümkündür. Bu çalışma ile KOSGEB destekleri, KOBİ'lerin öncelikli sorunlarının çözülmesini sağlayacak, etkin olmayan firmalar etkin hale gelebilecek ve işletmeler daha fazla katma değer üretecek ve genel ekonomiye daha fazla katma değer sağlayacaklardır. Tartışma bölümünde de görüldüğü üzere KOSGEB destek modellerinin sıralaması, işletmelerin karşılaştığı sorunlar dikkate alındığında anlamlı görülmektedir.

Bu çalışmada veriler Konya ilinde otomotiv yan sanayi ve bu sektörle ilişkili döküm sektöründe KOBİ ölçekli 31 adet firmadan birebir görüşme ile firmaların ortak sorunları tespit edilmiştir. AHP ile kriterlerin ağırlıklandırma işlemi yapılmış, TOPSIS yöntemiyle KOBİ'lere öncelikli kullanılması gereken KOSGEB destek programları sıralanmıştır. TOPSIS yöntemi ile belirlenen öncelikli KOSGEB destek modelleri belirlenmiştir. İlk sırada KOBİGEL destek modeli yer almış, nitelikli eleman destek modeli yer alırken, 3.Eşleştirme destek modeli ve yurtiçi fuar destek modeli yer almıştır. 4. Danışmanlık destek modeli, 5. Eğitim destek modeli, 6. Kredi faiz destek modeli, 7. Tanıtım destek modeli, 8.Yurtdışı iş gezisi modeli ve 9.Ar-Ge destek modeli takip etmiştir. Bu çalışma sonucu, otomotiv yan sanayi sektörü ve otomotiv sektörü ile ilişkili döküm sektöründeki firmaların ortak sorunlarına göre AHP tabanlı TOPSIS yöntemi ile KOSGEB destek modellerini belirleyen bir model oluşturulmuştur. Böylece KOSGEB destek modelleri firmaların sorunlarına göre kullanılması imkânı olacağından, firmaların sorunlarının çözümüne de katkıda bulunacaktır. Bu da desteklerden azami istifade anlamına gelmektedir. Firmaların ve sektörlerin genel ekonomiye katkısı daha fazla olması beklenmektedir. Bu çalışmadan sonra bu model başka kurumların verdiği destek modellerinde uygulanması, ayrıca farklı sektörlerde yapılması planlanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Kırıkkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı tarafından 18 Mayıs 2017 tarihinde kabul edilen “KOBİ’ler için KOSGEB Destek Modellerinin Veri Zarflama Analizi Ve Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri İle Belirlenmesi” konulu doktora tezinden üretilmiştir.

Bu çalışma, 2015/138 projesi olarak Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Programı (BAP) tarafından desteklenmiştir.

REFERANSLAR

Ahmad, S. Z. Norita A. & Abu Bakarc, A. R. (2018), Reflections of Entrepreneurs of Small and Medium-Sized Enterprises Concerning the Adoption of Social Media And its impact On Performance Outcomes: Evidence from the UAE. *Telematics and Informatics* 35, 6–17. doi.org/10.1016/j.tele.2017.09.006.

Aksoy, U. A. & Çabuk, A. (2006). KOBİ’lerdeki Toplam Kalite Yönetimi Uygulamalarının Kurumsallaşma Üzerindeki Etkileri. [Http://Sbe.Balikesir.Edu.Tr/Dergi/Edergi](http://Sbe.Balikesir.Edu.Tr/Dergi/Edergi), 39-57.

Alan, H. & Yeloğlu, O. (2013). Markalaşma ve Yenilikçilik. Siirt Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi İktisadi Yenilik Dergisi, 1.1: 13-26.

Alver, V., Çetin, S., Eren, T., & Bedir, N. (2018). The Solution of the Assignment Problem of Paid Teachers to Primary and Secondary Schools with the AHP and Mathematical Programming Model: A Case in Kırıkkale, Turkey. *International Journal of Lean Thinking*, 9:1, 13-32.

Asoğlu, İ. & Eren, T. (2018). AHP, TOPSIS, PROMETHEE Yöntemleri ile Bir İşletme için Kargo Şirketi Seçimi. *Yalova Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8:16, 102-122.

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.

Ayandibu, O. A. & Houghton, J. (2017). The role of Small and Medium Scale Enterprise in local economic development (LED), *Journal of Business and Retail Management Research (JBRMR)*, 11, 2, 133-139.

Aydın, A. (2018). KOBİ Yöneticilerinin Web Tabanlı E-Ticaret Hakkındaki Bilgi Düzeyleri Ve Tutumları: TRB1 Bölgesi Örneği. *Bingöl Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 2, 2,1, 65-89.

Alağaç H.M., Bedir N., Mermi Ö.S., Kızıldaş Ş., & Eren T (2016). Ana Haber Bültenlerinin AHP-TOPSIS ile Değerlendirilmesi. 2. Uluslararası Medya Çalışmaları Kongresi, Antalya, Türkiye, 20-23 Nisan 2016.

Alkış, H. & Temizkan, V. (2012). KOBİ’lerin Yönetimsel Sorunlarının Çözümünde Japon Yönetim Sisteminin Rolü. *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2.1, 68-85.

T.C. Cumhurbaşkanlığı, (2018), KOBİ Yönetmeliği, <http://resmigazete.gov.tr>, Erişim Tarihi: 6.7.2018

T.C. Cumhurbaşkanlığı, Strateji ve Bütçe Başkanlığı, <http://www.sbb.gov.tr/kalkinma-planlari> Erişim tarihi: 01.11.2018

Çatal, M. F. (2007). Bölgesel Kalkınmada Küçük ve Orta Boy İşletmelerin (KOBİ) Rolü. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10.2, 333-352.

Gebeş, F. & Battal, Ü. (2014). Türkiye’de Havacılık Kümelenmeleri ve Finansman Sorunları. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 273-288.

Gür Ş., Hamurcu M., & Eren T (2017). Ankara’da Monoray Projelerinin Analitik Hiyerarşi Prosesi ve 0-1 Hedef Programlama İle Seçimi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23:4, 437-443. doi: 10.5505/pajes.2016.03903.

Geyik, O. & Eren, T. (2018). Spor Toto Basketbol Süper Ligi ve Turkish Airline Euroleague Basketbol Takımlarının AHS-TOPSIS Yöntemleriyle Değerlendirilmesi. *Spor Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 3 (1), 32-53. Doi: 10.25307/jssr.374895

Hamurcu M., & Eren T. (2018). Sürdürülebilir Kent İçi Ulaşım için Bulanık AHP Tabanlı VIKOR Yöntemi ile Proje Seçimi. *NWSA Engineering Science*, 13:3, 201-216.

Harvie, C. & Lee B.C. (2003). Public Policy and SMEs Development. *Economics working Paper Series*, 03-18, 1-24.

Hwang, C. ve K Yoon, K., (1981), *Multiple attribute decision making*, Springer

- İlhan, S. (2006). Kobi'ler Sosyo-Ekonomik Bir Perspektif. Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Dergisi, 2
- Jahanshahloo, G. R. Lotfi, F. H. & Izadikhah, M. (2006). An Algorithmic Method to Extend TOPSIS For Decision-Making Problems with Interval Data. Applied Mathematics and Computation, 175.2: 1375-1384. doi:10.1016/j.amc.2005.08.048
- Jenkins, F., Modern Marketing, Handbook Series, 2nd Edition, 1983
- Kaya, S. Alpan, L. (2012). Problems and Solution Proposals for SMEs in Turkey. Emerging Markets Journal, 2.2, 30-45. DOI 10.5195/emaj.2012.26
- KOSGEB İdaresi Başkanlığı, [http://www.kosgeb.gov.tr/KOBİ Tanımı Yönetmelik](http://www.kosgeb.gov.tr/KOBİ_Tanımı_Yönetmelik), Erişim tarihi: 6.5.2016
- Özkanlı, Ö. & Namazalieva, K. (2006). Kırgızistan'da Faaliyet Gösteren Bazı Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelerde Yönetim Sorunları Üzerine Bir Araştırma. Türk Dünyası Sosyal Bilimler Dergisi, 36, 97-125.
- Özbek, A., & Eren, T. (2013). Üçüncü parti lojistik firma seçiminde kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemleri: literatür araştırması. Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 31(2), 178-202.
- Özbek, Z. (2008). Kobi'lerin Türk Ekonomisine Etkileri. Uluslararası Ekonomik Sorunlar Dergisi, 31, 49-57.
- Özdemir, S. Ersöz, H. Y. & Saroğlu, H. İ. (2007). Küçük Girişimciliğin Artan Önemi ve Kobi'lerin Türkiye Ekonomisindeki Yeri. Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi, 53, 173-230.
- 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 & Sustainable Energy Reviews, 78, 1410-1423. doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.039
- Saaty, T. L. & Niemira, M. P. (2006). A Framework for Making A Better Decision. Research Review, 13(1). 1-4
- Saaty, L. T., (2013) The Modern Science of Multicriteria Decision Making and Its Practical Applications: The AHP/ANP Approach, Operations Research, 61, 5, <https://doi.org/10.1287/opre.2013.1197>.
- Sankahya, M. (2012). Mobilya Endüstrisinde Kobi'lere Verilen Devlet Desteklerinin Firmalar Üzerindeki Etkileri (Ankara Örneği). Politeknik Dergisi, 15.4, 177-183. (DOI): 10.2339/2012.15.4, 177-183.
- Singh P. (2017). Impact of Digitalization on Small and Medium Enterprises in India, Indian Journal of Research, 6.4 468-469.
- Sevinç, A. & Eren, T. (2015). Kırıkkale'de Kobi'lerin Verimlilik Sorunları ve Çözüm Önerileri, 5.Ulusal Verimlilik Kongresi, Ankara, 1-72
- Sevinç, A. & Eren, T. (2016). Kobilerin Yönetim ve Organizasyon Sorunları ve Kırıkkale Kobi'lerinde Bir Uygulama, ICOMEP 2016 Kongresi, İstanbul, 1020-1031.
- Sevinç, A. (2017). KOBİ'ler için KOSGEB destek modellerinin veri zarflama analizi ve çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile belirlenmesi. Kırıkkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Sevinç, A., Gür, Ş. & Eren, T. (2018). Analysis of the Difficulties of SMEs in Industry 4.0 Applications by Analytical Hierarchy Process and Analytical Network Process. Processes, 6, 264-280.
- Sevinç, A. & Eren, T. (2019). Determination of KOSGEB Support Models for Small and Medium Scale Enterprises by Means of Data Envelopment Analysis and Multi Criteria Decision making methods. Processes, (In Press).
- Ribeiro-Soriano, D., Small business and entrepreneurship: their role in economic and social development, Entrepreneurship & Regional Development an International Journal, 29:1-2, 1-3, 2017.
- Taş, C., Bedir, N., Alağaç, H.M., Eren, T., & Çetin, S. (2018). AHP-TOPSIS Yöntemleri Entegrasyonu ile Poliklinik Değerlendirilmesi: Ankara'da Bir Uygulama. Sağlık Yönetimi Dergisi, 2:1, 1-16.
- Torlak, Ö. & Uçkun, N. (2005). Eskişehir'deki KOBİ'lerin pazarlama ve finansman sorunları. <https://earsiv.anadolu.edu.tr>. 199-215.
- Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği, <http://www.kobi.org.tr> (Erişim tarihi:20.12.2018)
- Türkiye İhracatçılar Meclisi, <http://www.tim.org.tr> (Erişim tarihi:20.12.2018)
- Türk Dil Kurumu, <http://www.tdk.gov.tr> (Erişim tarihi:19.12.2018)

- Ulusoy, R. & Akarsu, R. (2012). Türkiye'de KOBİ'lere Yapılan Destekler ve İstihdam Üzerindeki Etkileri. Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 23, 105- 126.
- Uluçol, O. (2013). Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelerde (Kobi) Finansal Yönetim Uygulamaları. Muhasebe Ve Finansman Dergisi, 60(4), 91.
- Varum, C. A. & Rocha, V. C. (2013). Employment and SMEs During Crises. Small Business Economics, (1), 9-25. doi 10.1007/s11187-011-9343-6.
- Walter, (2018), The Technology Transfer in the Development of the Small and Medium Metal-mechanic Ecuadorian Enterpris, International Journal of Emerging Research in Management &Technology, 7, 2.
- Auzzir, Z. Haigh, R., & Amaratungab, D. (2018). Impacts of Disaster to SMEs, in Malaysia, Procedia Engineering 212 1131–1138.
- Zerenler, M., Türker, N. & Şahin, E. (2007). Küresel Teknoloji, Araştırma-Geliştirme (Ar-Ge) ve Yenilik İlişkisi. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 1.17, 653-667.



e-issn: 1308-5514