



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK MİMARLIK
FAKÜLTESİ
DERGİSİ

ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Cilt/Vol: 34

Sayı/Issue: 2

Haziran/June 2019

ISSN 1019-1011



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ



Çukurova University, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture

Sahibi (Owner)

Mesut BAŞIBÜYÜK
Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi Dekanı

Editör (Editor)

Özen KILIÇ

EDİTÖR KURULU (Editorial Board)

Selma Ayşe ÖZEL (ÇÜ)	Ulvi Can ÜNLÜGENÇ (ÇÜ)
Mustafa GÜVEN (ÇÜ)	Özen KILIÇ (ÇÜ)
Ahmet Mahmut KILIÇ (ÇÜ)	Olcayto KESKİNKAN (ÇÜ)
Hüseyin AKILLI (ÇÜ)	Ali KESKİN (ÇÜ)
Ulus ÇEVİK (ÇÜ)	R. Tuğrul OĞULATA (ÇÜ)
Ali KOKANGÜL (ÇÜ)	F. Duygu SABAN (ÇÜ)
Mesut BAŞIBÜYÜK (ÇÜ)	Hüseyin R. YERLİ (ÇÜ)
İsmail Hakkı ÇAĞATAY (ÇÜ)	Nil YAPICI (ÇÜ)
Metin GÜRÜ (GÜ)	Serter ATABAY (AUS-BAE)
Mehmet Emin AYDIN (UWE-İngiltere)	Muammer KOÇ (HBKU-BAE)
Azra BİLGİN (UCB-ABD)	Tamio ENDO (MU-Japonya)

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

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

YAZIŞMA ADRESİ/CONTACT

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

AMAÇ ve KAPSAM

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, yılda dört sayı olarak yayımlanan hakemli bilimsel bir dergidir. Dergi akademik ve araştırma kurumlarındaki mühendislik ve mimarlık alanındaki araştırmacı ve uygulamacılara hizmet etmeyi amaçlamaktadır. Daha önce başka bir yerde yayımlanmamış tüm özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları kapsayan yenilikçi, değerli ve yararlı araştırma makaleleri kabul edilmektedir.

AIM and SCOPE

Journal of the Engineering and Architecture of Çukurova University is a peer-reviewed scientific journal which is currently published quarterly. The journal aims to serve researchers and practitioners in the fields of engineering and architecture in academic and research organizations. All innovative, valuable, and useful research articles including original and current scientific research and applications, previously unpublished anywhere else, will be regarded.

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- A Study on the Effect of Traverse Speed on Geometric Tolerances in Abrasive Waterjet Drilling of Aa7075 Aluminium Alloy 1**
AA 7705 Alüminyum Alaşımının Aşındırıcı Su Jeti ile Delinmesinde Traverse Hızının Geometrik Toleranslara Etkisinin Araştırılması
İsmail TEKAÜT
- Adana ve Mersin’de Bulunan Etlik Piliç Kümeslerinde Oluşan Gübrenin Biyogaz ve Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi 9**
Evaluation of Biogas and Electricity Production Potential of Fertilizer in Broiler Poultry Houses in Adana and Mersin
Metin DAĞTEKİN, Ali AYBEK ve M. Emin BİLGİLİ
- Adularya Yeraltı Maden Ocağında Bilgisayar Destekli Havalandırma Tasarımı..... 23**
Computer Aided Ventilation Design in Adularya Underground Mine
Mustafa ÖNDER, Burak ÇAKIR ve Seyhan ÖNDER
- Alternatif Yakıt Olarak Lignoselülozik Etanol Üretimi: İplikhane Pamuk Telefleri Üzerine Bir Çalışma..... 35**
Production of Lignocellulosic Ethanol as an Alternative Fuel: A Study on Cotton Yarn Wastes
Aslı ABDULVAHİTOĞLU
- Analysis of the Loads Acting on Rotary Kiln & Hydraulic Design 45**
Döner Fırına Etki Eden Yüklerin Analizi ve Hidrolik Dizayn
Sadık ÜNAL ve Abdul Kadir EKŞİ
- Atık Isı Geri Kazanım Sistemlerine Yönelik Literatür Araştırması ve Sanayiden Örnek Vaka İncelemesi..... 57**
A Review on Waste Heat Recovery Systems and a Case Study from Industry
Nehir TOKGÖZ ve Ömer ÖZGÜN
- Atık Pil Tozu Liç Kalıntısındaki Manganın Çözünürlüğü için Optimum Koşulların Yanıt Yüzey Yöntemiyle Belirlenmesi..... 73**
Determination of Optimal Conditions for Dissolution of Manganese in the Leach Residue of Waste Battery Powder by Response Surface Method
Gülstan Deniz TURHAN ÖZDEMİR ve Nizamettin DEMİRKIRAN
- Çukurova Üniversitesi’nde Ölçülen Güneş Işınım Verileri Analizi 87**
Analysis of Solar Radiation Data Measured at Cukurova University
Nuri EMRAHOĞLU ve İlhami YEĞİNGİL

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Doğrusal Yükleri Besleyen Şebeke Bağlantılı PV/Akü Sisteminin Tasarımı ve Tam/Kısmi Gölgeleme Durumlarında Performans Analizi 97**
Modeling and Performance Analysis of Grid Tied Photovoltaic Panel/Battery System Feeding Linear Loads on Complete/Partial Shading Conditions
Kemal AYGÜL, Tuğçe DEMİRDELEN ve Mehmet TÜMAY
- Effect of Bimodal and Monosized Grinding Media on Dry Grinding of Barite 113**
Baritin Kuru Öğütülmesinde Karışık ve Tek Tip Öğütücü Ortamın Etkisi
Diler KATIRCIOĞLU BAYEL
- Endüstriyel Ham Madde Atıklarının Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği 121**
Usability of Industrial Raw Material Wastes as Filling Material
Gül KARAKILÇIK ve Sedat TÜRKMEN
- Experimental Investigation of Stretchability and Bendability Characterization of AISI 1020 Steel 135**
AISI 1020 Çeliğinin Gerilebilirlik ve Eğilebilirlik Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi
Funda KAHRAMAN, Mustafa Kemal KÜLEKÇİ ve Mehmet KÜÇÜK
- Garp Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü'ne ait Ömerler Yeraltı Ocağındaki Bantlı Konveyörlerin Verimlilik Analizi 141**
The Productivity Analysis of Belt Conveyors in Ömerler Underground Mine of Western Lignite Corporation
Özer ÖREN, Şahin YUVKA, Cem ŞENSÖĞÜT ve İ. Göktay EDİZ
- Gövdesi Dolu ve Dairesel Boşluklu Yahtımsız Kompozit Döşeme Kirişlerinin Yangın Davranışının Deneysel İncelenmesi 155**
Fire Testing and Behavior of Unprotected Solid and Cellular Steel-Concrete Composite I-Beams
Pınar SUNAR BÜKÜLMEZ ve Oğuz Cem ÇELİK
- Irreversibility Analysis of a Minibus Air-Conditioner for Different Condensation Pressures 171**
Farklı Yoğuşma Basınçları için Minibüs Klimasının Tersinmezlik Analizi
İbrahim KARAÇAYLI ve Erdoğan ŞİMŞEK

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Kelime Temsil Yöntemleri ile Kelime Benzerliklerinin İncelenmesi..... 181**
Investigation of Word Similarities with Word Embedding Methods
Murat AYDOĞAN ve Ali KARCI
- Berdan ve Kazanlı (Mersin-Güney Türkiye) Sondajlarının Ostrakod Topluluğu 197**
The Ostracod Assemblage of the Berdan and Kazanlı (Mersin-S Turkey) Drillings
Ümit ŞAFAK
- Porter’ın Beş Kuvvet Modeli Temelinde Konut Sektöründeki Rekabeti Etkileyen Faktörlerin Analizi 209**
Analysis of Factors Affecting Competition in Housing Sector on the Basis of Porter’s Five Force Models
Ali Şeref CENGİZ, Serkan AYDINLI ve Emel ORAL
- Eğik Çekme Yüğü Etkisindeki Tekil Kazığın Üç Boyutlu Sayısal Analizi 219**
Three Dimensional Numerical Analysis of Single Pile Under Inclined Uplift Load
Buse EMİRLER, Mustafa TOLUN ve Abdulazim YILDIZ
- Universal Design Equations for Fractional Order PID Control of Plants with Time Delay 231**
Gerçek Zaman Gecikmeli Rasyonel Transfer Fonksiyonuna Sahip Sistemlerin Kontrolü için Kesirli Mertebeden Oransal-Entegral-Türevsel (PID) Bir Kontrol Edicinin Genel Tasarım Denklemleri
Mehmet Emir KOKSAL
- Development of a Preliminary Blasting Design and Assessment of Environmental Impacts for a Quarry 241**
Bir Taş Ocağı için Ön Patlatma Tasarımı Geliştirilmesi ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi
Mehmet AKSOY, Hakan AK ve Adnan KONUK
- Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme İşleminde Ölçme Belirsizliği Hesapları ve Belirsizlik Bütçesi Tablosu..... 249**
Measurement Uncertainty Calculations in Surface Roughness Measurement and Uncertainty Budget Table
Anıl AKDOĞAN ve Ali Serdar VANLI

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Farklı Yöntemler ile Üretilen MgO Takviyeli Alüminyum Kompozitlerde Mekanik Davranışların Karşılaştırılması 255**
Comparison of Mechanical Behavior of MgO Reinforced Aluminum Composites Produced by Different Methods
Muharrem PUL
- Katı Nem Alıcı Bir Rotorun Farklı Çalışma Şartları için Modellenmesi 267**
Modeling of a Solid Desiccant Wheel for Different Operating Conditions
Kamil Neyfel ÇERÇİ, Ertaç HÜRDOĞAN ve Osman KARA
- Sera Mikro-İklim Şartlarının Dinamik Modellenmesi 279**
Dynamic Modeling of Greenhouse Micro-Climate Conditions
Gökhan ARSLAN ve Sinan DÖLEK

A Study on the Effect of Traverse Speed on Geometric Tolerances in Abrasive Waterjet Drilling of Aa7075 Aluminium Alloy

İsmail TEKAÜT*¹

¹Gazi University, Technical Sciences Vocational School, Ankara

Geliş tarihi: 17.01.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Abstract

In this study, the effect of nozzle traverse speed on the geometric tolerances in the drilling of AA 7075 aluminum alloy by abrasive water jet was investigated. Holes were drilled with a diameter of 10 mm using 10 different nozzle traverse speeds (10, 16, 24, 34, 45, 55, 65, 75, 90 and 110 mm/min) and the other parameters were kept constant. Circularity and cylindricity deviation of the holes drilled using different nozzle traverse speeds was measured using a CMM. It was found that the increase in nozzle traverse speed results in increased deviation values from circularity and cylindricity. As a result, increased nozzle traverse speed reduces the amount of abrasive contacting the unit surface and the cutting process does not occur in accordance with the desired geometry.

Keywords: Abrasive water jet, Hole drilling, Cylindricity, Circularity

AA 7705 Alüminyum Alaşımının Aşındırıcı Su Jeti ile Delinmesinde Traverse Hızının Geometrik Toleranslara Etkisinin Araştırılması

Öz

Bu çalışmada, aşındırıcı su jeti ile AA7075 alüminyum alaşımının delinmesinde nozul travers hızının geometrik toleranslara etkisi araştırılmıştır. Delikler 10 farklı nozul travers hızı (10, 16, 24, 34, 45, 55, 65, 75, 90 ve 110 mm/dak) kullanılarak 10 mm çapında delinmiş ve diğer parametreler sabit tutulmuştur. Farklı nozul travers hızları kullanılarak açılan deliklerin dairesel ve silindiriklik sapması CMM kullanılarak ölçülmüştür. Nozul traverse hızı artışının silindiriklik ve dairesellikten sapma değerlerinin artışına neden olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, artan nozul traverse hızı birim yüzeye temas eden aşındırıcı miktarını azaltmakta ve istenilen geometri doğrultusunda kesme işlemi gerçekleştirilmemektedir.

Anahtar Kelimeler: Aşındırıcı su jeti, Delik delme, Silindiriklik, Dairesellik

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): İsmail TEKAÜT, ismailt@gazi.edu.tr

1. INTRODUCTION

Machines and mechanisms consist of several elements. It is of utmost importance for these elements to be of the size and geometry suggested in the engineering drawing of the machine or mechanism in question. Moreover, each one of these elements can be manufactured in a certain tolerance range. If not manufactured in accordance with the size and geometric tolerances noted in the engineering drawing, these elements would lead to issues in the assembly or in the proper functioning of a machine. Furthermore, these engineering issues are associated with shorter machine or mechanism life and increased cost if these parts are scrapped. Therefore, there is an ongoing interest of academia and manufacturers to seek the ideal production methods in order to minimize the costs and to create quality products. Abrasive water jet (AWJ) machining is one of these production methods which has recently found widespread use in the industry. AWJ machining is the number one choice for the machining of workpiece which requires total absence of heat deformation during this process. AWJ can be defined as cutting materials with the help of erosive effect of high-pressure water spray and micron-sized abrasive particles [1,2].

Abrasive water jet cutting involves machining of a workpiece using fine abrasive material mixed with water and sprayed on the workpiece at high pressures [3,4]. The fact that abrasive water jet cutting is a non-thermal cutting process, its high machining performance and surface integrity of the workpiece are significant features of this process [5,6]. Previous studies used abrasive water jet and abrasive air jet cutting and explored the properties of the micro holes drilled using these techniques. In general, these studies focused on the optimization of cutting parameters. Literature review showed that parameters such as traverse speed, standoff distance, abrasive mix ratio, depth of cutting, etc. affect the surface quality of the workpiece, i.e. kerf formation. Nevertheless, there was no study on the effects of these parameters on hole geometry. Literature reports on abrasive water jet technology suggested that increased abrasive

particle hardness is an important parameter in terms of depth of cutting and that the use of coarse-grained abrasive material results in higher surface roughness. Moreover, it was found that the use of fine-grained abrasives results in better surface roughness when compared to coarse-grained abrasives [7,8]. In AWJ cutting, nozzle traverse speed and depth of cutting lead to deformation at the water drainage zones, while abrasive flow rate increases the material removal rate. Increased nozzle traverse speed and standoff distance results in increased surface roughness, and surface roughness improves with increased amount of abrasive used [9-11].

Hole drilling process is performed with a stationary nozzle when the diameter of the hole being drilled is smaller than that of the nozzle while the standoff distance is reduced during the process when the diameter of the hole being drilled is larger than that of the nozzle. Abrasive water pressure is a significant parameter of hole drilling process [12]. For blind holes drilled using abrasive air jet (AAJ), air jet pressure and abrasive flow rate play an important role in the formation of convex, flat, and concave hole surfaces. Larger nozzle nipple diameter, standoff distance and air pressure are important for ideal kerf formation in the holes [13,15]. With increasing workpiece thickness, water jet pressure decreases which leads to poor surface quality and increased machining time. It was found that water jet orbit curve formation increases in the kerf when traverse speed is increased and the angle between the axis of nozzle and abrasive water orbit increases. This angle is further increased with increasing material thickness and material hardness [16].

Increased abrasive ratio leads to increases in the depth of micro holes along with their diameter; and the entry kerf is decreased with the increasing traverse speed. Increase in standoff distance and material flow rate, on the other hand, results in a wider entry kerf. In addition, increased depth of drilling is associated with reduced particle kinetic energy which in turn results in reduced hole diameter, while the hole diameter grows with increased standoff distance [17-21]. Previous studies reported that parameters such as traverse

speed, standoff distance, material thickness, material hardness, abrasive particle hardness, abrasive flow rate, abrasive particle size, and abrasive water jet pressure affect the results produced in hole drilling with AWJ cutting. This study aims to explore the effect of the changes in traverse speed on the circularity and cylindricity of the generated hole when the diameter of the hole being drilled with AWJ is larger than that of the nozzle. Using AWJ, 10 mm diameter holes were drilled on workpiece prepared of AA7075 aluminium alloy and it was aimed to find the ideal nozzle traverse speed.

2. MATERIAL AND METHOD

In this study, 10 mm diameter holes were drilled on material made of AA 7075 aluminium alloy with 20 mm thickness and 60 HRC hardness using a USEL INTERJET CNC WJ 2040 abrasive water jet (Figure 6).

This AWJ machine comes with a KMT VI STREAMLINE including a 4,000 bar pump (3,800 bar in practice) and a work area of 2,000 x 4,000 mm. 10 different cutting speeds were used based on the recommendations of FAGOR, a software company which manufacture the automated abrasive transfer system and the CNC control unit of the AWJ machine. Sand rate (%50), cutting height (2 mm), nozzle diameter (1.02 mm), orifice diameter (0.27 mm) parameters were held constant and only the traverse speed was changed in the tests (Table 1).

Garnet powder with an average size of 80 mesh was used in the experiments as a material commonly used in the industry. As powder size is not exactly the same in every batch, a new batch was used to fill the powder container of AWJ for each cutting cycle. Workpiece was fixed on the machine's work area using a gauge in order to ensure the nozzle is perpendicular to the workpiece surface (AA7075). In hole formation, nozzle started from the center of the hole and formed the hole. A total number of four holes were drilled for each cutting speed using the same cutting parameters.

HEXAGON DEA Coordinate Measuring Machine (CMM) was used to measure circularity and cylindricity values of these four holes for each parameter set. Circularity and cylindricity measurements were performed at depths of 2 mm, 10 mm, and 19 mm from the upper surface of each hole. Arithmetic means of these four measurements were taken for each nozzle traverse speed. Additionally, images of the entry and exit holes were taken using AMCAP-Direct Show Video Capture Sample v. 9.016. Using these images, deviations from circularity were found (Figure 2).

The graphics were produced for the deviations from circularity using the (CMM) coordinate measuring machine.



Figure 1. USEL INTERJET CNC WJ 2040 machine, abrasive sand and workpiece

Table 1. Machining parameters

Material Al -7075	Cutting Speed (mm/min)	Cutting Time (min:sec:ms)
1 st Test	10	32:31:60
2 nd Test	16	20:24:52
3 rd Test	24	1:33:53
4 th Test	34	9:37:65
5 th Test	45	7:56:09
6 th Test	55	5:08:03
7 th Test	65	4:58:08
8 th Test	75	4:20:05
9 th Test	90	3:54:09
10 th Test	110	2:59:07

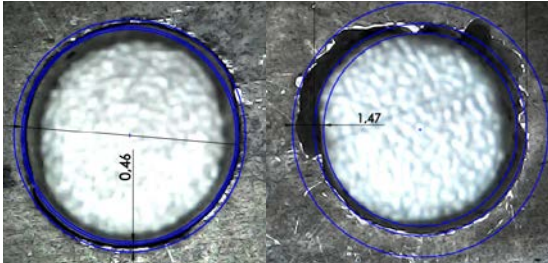


Figure 2. Circularity measurements of entry hole and exit hole

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, holes were drilled on a workpiece prepared of AA7075 aluminium alloy with 10 different nozzle traverse speeds using abrasive water jet. Deviations in circularity and cylindricity of these holes were then measured using a CMM and these deviations are graphically shown in Figure 3.

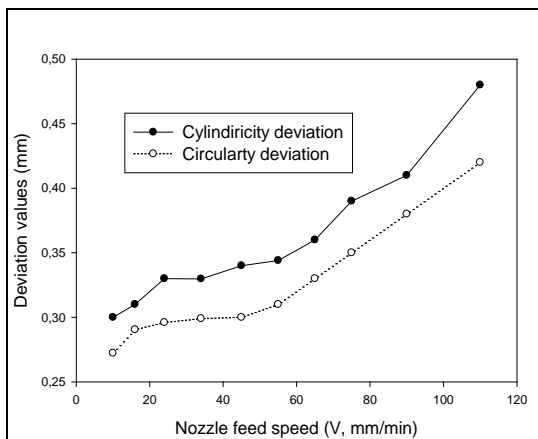


Figure 3. Comparison with CMM measurements

A closer look at the graphics in Figure 3 shows that deviations in circularity and cylindricity increases with the increased traverse speed. This can be accounted for by the circular motion precision of the nozzle when the diameter of the hole being drilled is larger than that of the nozzle and decreasing amount abrasive material per surface unit. Decrease in the amount of abrasive material per unit surface would make it harder for the AWJ to cut. As the decrease in the amount of abrasive material per unit surface leads to a faster

decrease in the kinetic energy of the particle, abrasive water jet pressure drops [1-11].

At lower traverse speeds, the amount of abrasive material cutting the unit surface is higher than the amount of abrasive material cutting the unit surface at higher traverse speeds. Increased traverse speed means that the amount of abrasive material cutting the unit surface is lower, that it will be harder to cut the material, and the pressure of the water jet will drop between the entry and exit holes. This would make it harder for the nozzle to cut around the hole with respect to the desired geometry. As a result, deviation from circularity and cylindricity of the holes increases with increasing traverse speed. Diagrams in Figure 4 are further proof of this finding.

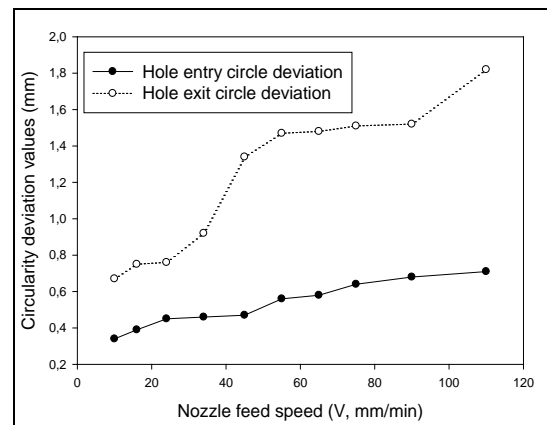


Figure 4. Comparison of deviations from circularity

A closer look at Figure 4 shows that the water jet pressure decreases between the entry hole and exit hole as deviation from circularity of the entry hole is lower than that of the exit hole. Moreover, the difference between the deviation from circularity of entry hole and exit hole from traverse speed of 10 mm/min to 24 mm/min only increases with further increase in traverse speed. This can be accounted for by further decrease in the water jet pressure at the exit hole as nozzle traverse speed increases. Decrease in the water jet pressure leads the particle to lose its kinetic energy and its hardness earlier which makes it harder to form the desired geometry. The images of entry hole and exit hole given in Figure 5 and Figure 6 are further proof of this mechanism.

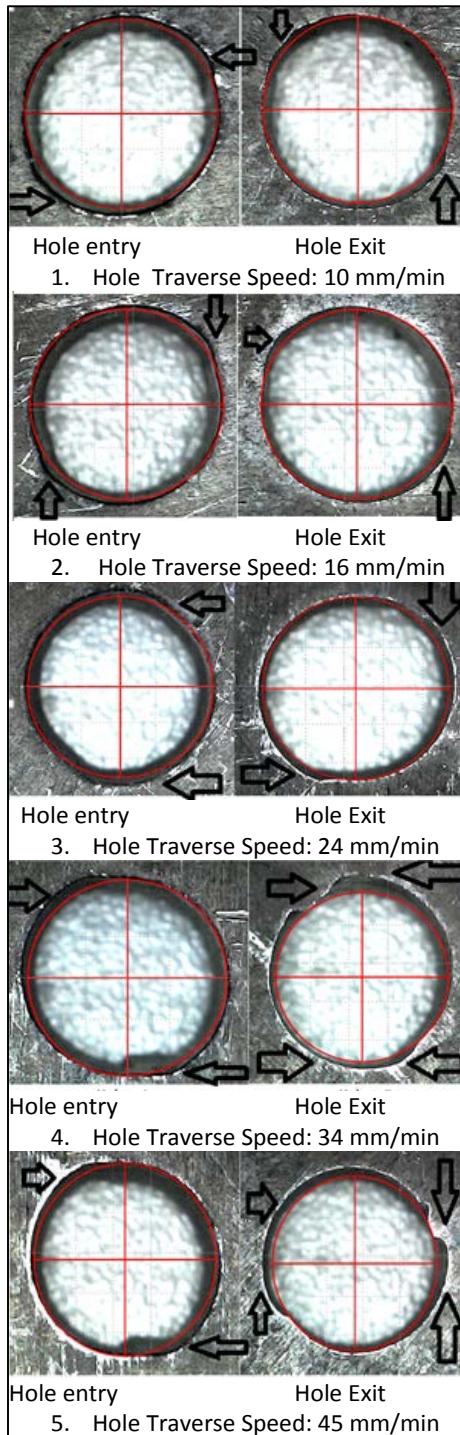


Figure 5. Images of the entry hole and exit hole with respect to traverse speed

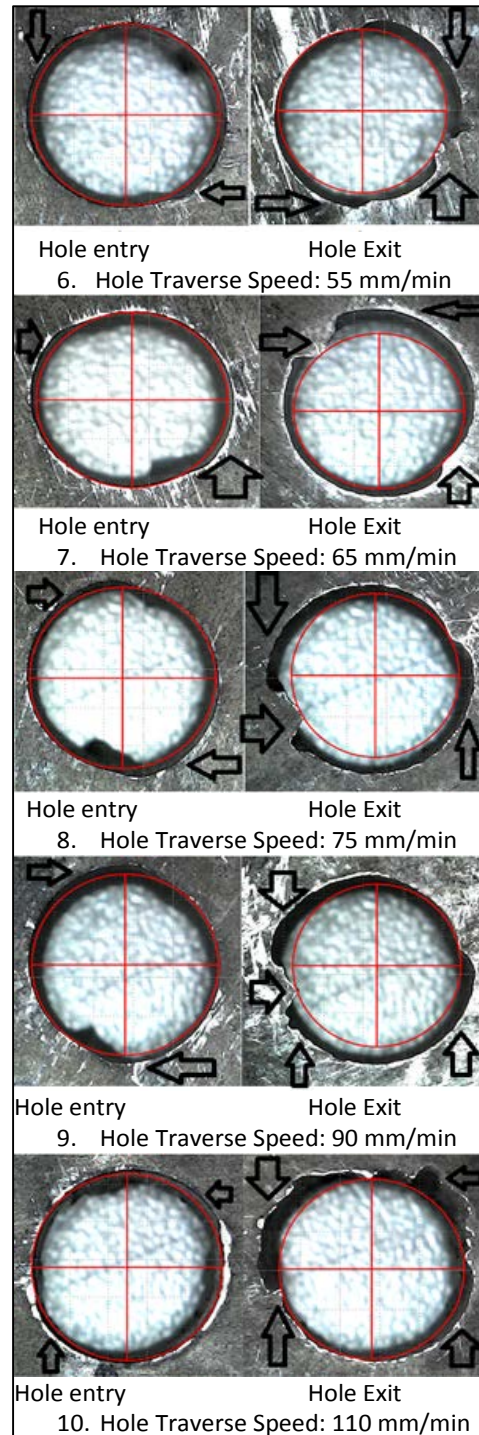


Figure 6. Images of the entry hole and exit hole with respect to traverse speed

A closer look at the images given in Figure 5 and Figure 6 shows that the increase in traverse speed led to deformations at the entry hole ring and exit hole ring. It was observed that the scale of the deviation from circularity was increased between traverse speeds of 10 mm/min and 16 mm/min. The deviation was further increased when the traverse speed was set to 24 mm/min.

This can be accounted for by the decreased amount of abrasive material eroding a unit surface at unit time when the traverse speed was increased and resulting decreased in water jet pressure and abrasive hardness around the exit hole surface. The fact that deviation from circularity was extremely high when the traverse speed was set to 110 mm/min is another proof of this mechanism. Cutting process involves the erosion caused by the speed of the nozzle parallel to the material surface (traverse speed) and the speed of the abrasive particle perpendicular to the workpiece surface. The speed of nozzle which is parallel to the material surface defines the amount of abrasive jet applied to the surface. Any increase in the nozzle traverse speed leads to an increase in the water jet cutting curves on the surface [16,17,23].

Accordingly, the amount of abrasive material performing the cutting of unit surface at unit time decreases when the traverse speed is increased from 10 mm/min to 16 mm/min. Moreover, in addition to the reduced amount of particles cutting a unit surface with increased traverse speed, the water jet pressure is reduced if the distance between entry hole and exit hole is longer. The reason behind this phenomenon is that the increased amount of jet curves with increased traverse speed requires abrasive particles to travel a longer distance. Thus, with the increased traverse speed, not only the amount of cutting particles is decreased but also the particles lose their hardness and kinetic energies due to the increased distance traveled which in turn increase the deviation from circularity.

Comparison of the machining times given in Table 1 and entry hole and exit hole images given in Figure 5 brings insight to these findings. The deviation from circularity was 0.34 mm for the

entry hole and 0.67 mm for the exit hole when the traverse speed was set to 10 mm/min. On the other hand, the deviation from circularity was increased to 0.39 mm for the entry hole and 0.75 mm for the exit hole when the traverse speed was set to 16 mm/min. And, the deviation from circularity was increased to 0.45 mm for the entry hole and 0.76 mm for the exit hole when the traverse speed was set to 24 mm/min. The increase in deviation from circularity at entry hole and exit hole was increased proportional to the increase in traverse speed. However, the deviation from circularity at entry hole was 0.47 mm when the traverse speed was set to 45 mm/min and a normal increase was observed. The deviation from circularity at entry hole, on the other hand, was 1.34 mm. Further increases in traverse speed resulted in similar increases. The deviation from circularity was 0.71 mm for the entry hole and 1.82 mm for the exit hole when the traverse speed was set to 110 mm/min. The deviation from circularity of entry hole found for the traverse speed of 10 mm/min was almost doubled for the traverse speed of 110 mm/min, while these increases were 3-fold for the exit hole. These findings suggest that the amount of abrasive particles cutting a unit surface and particle hardness decreases as traverse speed increases and that the water jet pressure decreases around the exit hole due to increased jet cutting curves on the surface. As a result, the desired hole geometry cannot be manufactured when traverse speed is increased.

4. CONCLUSION

A set of holes were drilled on a workpiece prepared of AA7075 aluminium alloy with 10 different nozzle traverse speeds using abrasive water jet and the deviation from circularity and cylindricity of these holes were analyzed based on the change in traverse speed.

- It was found that the increase in nozzle traverse speed has a significant impact on deviation from circularity and cylindricity.
- The lowest deviation from circularity and cylindricity was found using the lowest nozzle traverse speed, 10 mm/min, and the highest deviation from circularity and cylindricity was

found using the highest nozzle traverse speed, 110 mm/min.

- Moreover, it was observed that the deviation from circularity was increased more in exit holes when compared to entry holes.
- Deviation from circularity was negligible for traverse speeds of 10, 16 and 24 mm/min, however the deformation was visually observable with traverse speeds of 34, 45, 55, 65, 75, 90 and 110 mm/min. The geometry of the exit hole obtained with traverse speed of 110 mm/min was the sample with the highest deformation

5. REFERENCES

1. Jain, V.K., 2009. Advanced Machining Processes, Allied Publishers.
2. Cogun, C., 1993. Computer-aided System for Selection of Nontraditional Machining Operations, in Industry, 169-179.
3. Paul, S., Hoogstrate, A. M., Luttermelt Van, C. A., Kals, H.J.J., 1998. An Experimental Investigation of Rectangular Pocket Milling With Abrasive Water Jet, Journal of Materials Processing Technology, 73 (1-3): 179-188.
4. Nanduri, M., Taggart, D.G., Kim, T.J., 2002. The Effects of System and Geometric Parameters on Abrasive Water Jet Nozzle Wear, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 615-623.
5. Momber, A.W., Kovacevic, R., 2012. Principles of Abrasive Water Jet Machining, Springer Science& Business Media.
6. Kovacevic, R., 1991. Surface Texture in Abrasive Waterjet Cutting, Journal of Manufacturing Systems, 32-40.
7. Ohman, J.L., 1993. Abrasives: Their Characteristics and Effect on Waterjet Cutting, Proceedings of the 7th American Waterjet Conference, 351-362, USA.
8. Azmir, M.A., Ahsan, A.K., 2009. A Study of Abrasive Water Jet Machining Process on Glass/epoxy Composite Laminate, Journal of Materials Processing Technology, 209; 6168-6173.
9. Akkurt, M., 2009. AISI 1030 Çeliginin Asındırıcı Su Jeti ile Kesilmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün ve Kesme Önü Geometrisinin İncelenmesi, Cilt:15, 1-11.
10. Limbachiya, V.J., Patel, D.M., 2011. Parametric Analysis of Abrasive Water Jet Machine of Aluminium Material, 1(2), 282-286.
11. Reddy, D.S., Kumar, A.S., Rao, M.S., 2014. Parametric Optimization of Abrasive Water Jet Machining of Inconel 800H Using Taguchi Methodology, Universal Journal of Mechanical Engineering, 158-162.
12. Öjmertz, C., 1997. A Study on Abrasive Waterjet Milling, Department of Production Engineering. Thesis for Degree of Doctor of Philosophy, Sweden.
13. Huaizhong Li, Jun Wang, Ngaiming Kwok, Thai Nguyen and Guan Heng Yeoh, 2018. A Study of the Micro-hole Geometry Evolution on Glass by Abrasive Air-jet Micromachining, Journal of Manufacturing Processes 31, 156-161.
14. Srikanth, D.V., Sreenivasa Rao, M., 2014. Metal Removal and Kerf Analysis in Abrasive Jet Drilling of Glass Sheets, 3rd International Conference on Materials Processing and Characterization (ICMPC 2014), Procedia Materials Science 6, 1303-1311.
15. Akkurt, A., 2009. The Effect of Material Type and Plate Thickness on Drilling Time of Abrasive Water Jet Drilling Process, Materials and Design 30, 810-815.
16. Hlaváč, L.M., 2009. Investigation of the Abrasive Water Jet Trajectory Curvature Inside the Kerf, Journal of Materials Processing Technology 209, 4154-4161.
17. Shin B., Park, K., Bahk, Yeon-K., Park S., Lee, J., Go, J., Kang, M., Lee, C., 2009. Rapid Manufacturing of SiC Molds with Micro-sized Holes using Abrasive Water Jet, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 19(78),182.
18. Shukla, R., Singh, D., 2017. Experimentation Investigation of Abrasive Waterjet Machining Parameters using Taguchi and Evolutionary Optimization Techniques, Swarmand Evolutionary Computation 32, 167-183.
19. Gupta, V., P.M. Pandey, Garg, M., Khanna, R., Batra., N.K., 2014. Minimization of Kerf Taper Angle and Kerf Width using Taguchi's Method in Abrasive Water Jet Machining of

- Marble, *Procedia Materials Science* 6, 140-149.
20. Abhishek, K., Hiremath, S., 2016. Machining of Micro-holes on Sodalime Glass using Developed Micro-Abrasive Jet Machine (μ -AJM), *Procedia Technology*, 25, 1234-1241.
 21. Prasad, K., Basha, D., Varaprasad, K.C., 2017. Experimental Investigation and Analysis of Process Parameters in Abrasive Jet Machining of Ti-6Al-4V alloy using Taguchi Method, *Materials Today: Proceedings* 4, 10894-10903.
 22. Changshui, L., Zhuang, Z., Kai, G., Chao, 2018. Abrasive Water Jet Drilling of Ceramic Thermal Barrier Coatings, 19th CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining, 23-27 April, Bilbao, Spain, 517-522.
 23. Changshui, G., Zhuang, L., Kai, Z., Chao, G., 2018. Abrasive Water Jet Drilling of Ceramic Thermal Barrier Coatings, 19th CIRP Conference on Electro Physical and Chemical Machining, 23-27 April, Bilbao, Spain, 517-522.
 24. Saraçyakupoğlu, T., 2012. Analysis of Material, Pressure, Cutting Velocity and Water Jet Diameter's Effect on the Surface Quality for the Water Jet Cutting, Institute of Science and Technology, Doctorate Thesis, Eskisehir Osmangazi University, 29-78.

Adana ve Mersin’de Bulunan Etlik Piliç Kümeslerinde Oluşan Gübrenin Biyogaz ve Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi

Metin DAĞTEKİN^{*1}, Ali AYBEK², M. Emin BİLGİLİ³

¹Çukurova Üniversitesi Ceyhan Meslek Yüksekokulu, Ceyhan, Adana

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

³Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Adana

Geliş tarihi: 07.01.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Öz

Bu çalışmanın amacı, Adana ve Mersin’de bulunan etlik piliç (broiler) işletmelerinde oluşan gübrelere biyogaz enerji potansiyelini belirlemek ve konuya ilişkin yerel ölçekte sürdürülebilir çözümler oluşturmaktır. Çalışmada ayrıca ilçeler bazında biyogaz enerji değerlerinin yersel değişim haritalarının oluşturulması ve bölgede aile tipi biyogaz tesisinin kurulmasının elektrik üretimine katkısı da irdelenmiştir. Çalışmada, Mersin ilinin etlik piliç gübresinden yıllık üretilebilecek biyogaz metan potansiyeli 70.679.580,90 m³, ısı enerji miktarı 25.911,13 GJ ve elektrik enerji miktarı 2.879,01 MW_{he} olarak hesaplanmıştır. Bu değerler Adana İli’nde ise sırası ile 32.080.138,64 m³, 11.760,58 GJ ve 1.306,73 MW_{he} olarak tespit edilmiştir. İlçeler bazında etlik piliç gübresinden yıllık elektrik enerjisi üretimi; Mersin İli için en yüksek değer Tarsus İlçesi’nde (2.093,29 MW_{he}) belirlenmiştir. Bunu sırası ile Akdeniz (284,74 MW_{he}) ve Çamlıyayla (151,83 MW_{he}) izlemiştir. Adana’da ise, en yüksek değer Ceyhan (327,84 MW_{he}) ilçesinde belirlenmiştir. Bunu sırası ile Yüreğir (280,21MW_{he}), Seyhan (273,06 MW_{he}), Sarıçam (132,99 MW_{he}) ve Karaisalı (128,87 MW_{he}) izlemiştir. Çalışma sonucunda, söz konusu bu ilçelerde biyogaz tesislerinin kurulması için uygun potansiyelin olduğu tespit edilmiştir. Kurulacak biyogaz tesislerinin kümeslerde aydınlatma, ısıtma, su ve yem dağıtımında kullanılan elektrik motorlarının ve işletmedeki ailelerin elektrik ihtiyacını karşılayabileceği belirlenmiştir. Ayrıca, kurulacak biyogaz tesislerinin bölgede metan gazının çevreye verdiği zararları önleyebilecek fermente edilmiş ve gazı alınmış hayvansal gübrelere organik gübre olarak işletmelere bir ticari değer katkısı da sağlayabilecektir.

Anahtar kelimeler: Biyogaz, Etlik piliç, Gübre, Elektrik enerjisi

Evaluation of Biogas and Electricity Production Potential of Fertilizer in Broiler Poultry Houses in Adana and Mersin

Abstract

The aim of this study is to determine the biogas energy potential of fertilizers in broiler poultry houses located in Adana and Mersin and to create sustainable solutions on a local scale. In the study, the creation of local change maps of biogas energy values on the basis of districts and the contribution of the

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Metin DAĞTEKİN, mmdagtekin@gmail.com

establishment of family type biogas plant in the region to electricity production were also examined. In the study, the biogas methane potential of Mersin province which is produced from broiler fertilizer is calculated as 70,679,580.90 m³, the heat energy amount is 25,911.13 GJ and the electrical energy amount is 2,879.01 MW_{he}. These values were determined as 32,080,138.64 m³, 11,760.58 GJ and 1,306.73 MW_{he} in Adana province, respectively. Annual electricity production from broiler manure based on districts; The highest value for the province of Mersin (2,093.29 MW_{he}) was determined in the district of Tarsus. It was followed by Akdeniz (284.74 MW_{he}), and Çamlıyayla (151.83 MW_{he}), respectively. In Adana, the highest value was determined in Ceyhan (327.84 MW_{he}). This was followed by Yüregir (280.21 MW_{he}), Seyhan (273.06 MW_{he}), Sarıçam (132.99 MW_{he}) and Karaisalı (128.87 MW_{he}). As a result of this study, it has been determined that there is a potential for the establishment of biogas plants in these districts. It is determined that the biogas plants to be installed can meet the electricity needs of electric motors and families in operation in lighting, heating, water and feed distribution in the poultry houses. In addition, it will be able to provide a commercial value contribution to the enterprises of fermented and degassed animal fertilizers as organic fertilizers which can prevent the environmental damage of methane gas in the region.

Key words: Biogas, Broiler, Fertilizer, Electrical energy

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artması ve gelişen sanayileşmeyle birlikte, enerji kaynakları kullanımı önemli seviyelere ulaşmıştır. Fosil kökenli yakıtlar dünyanın enerji arzında büyük paya sahiptir ve mevcut çevresel sorunlara, özellikle hava kirliliği ve küresel ısınmaya neden olmaktadır. Buna göre, kaynakların hızlı tükenmesi ve fiyat dalgalanmaları, dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynakları eğiliminde bir artışa neden olmuştur [1,2].

Ülkemiz enerji kaynakları bakımından sınırlı sayıda rezervlere sahiptir ve enerji kullanımının yaklaşık %60’ını dışarıdan ithal etmektedir. Fakat ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça zengin olup, yeterince değerlendirilmemektedir [3,4]. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer alan biyokütle enerji kaynaklarından elde edilen yakıtlardan biri de biyogazdır. Çevresel ve sağlık sorunlarına yol açan organik atıkların işlenerek zararsız hale getirilmesi ve bu atıkların enerjiye dönüştürülmesini sağlayan biyogaz teknolojisi yenilenebilir enerji üretiminde en ön sırada yer almaktadır. Biyogaz, organik bazı atıkların oksijensiz ortamda (anaerobik) fermantasyonu sonucu ortaya çıkan rensiz, kokusuz, havadan hafif, parlak mavi bir alevle yanan ve bileşiminde yaklaşık olarak %55-75

metan, %24-44 karbondioksit ve çok az miktarlarda hidrojen sülfür, azot, karbon monoksit, oksijen ve hidrojen bulunan bir gaz karışımdır [5-7]. Biyogaz doğal gaza alternatif bir gaz yakıt olarak doğrudan yakma-ısınma ve ısıtmada, motor ve türbin yakıtı olarak, elektrik enerjisi elde edilmesinde, yakıt pili yakıtı olarak, doğal gaz içine katkı olarak ve kimyasalların üretiminde kullanılmaktadır.

Ülkemizde hayvan potansiyelinin, tarımsal alanların, hayvancılık ve tarımla uğraşan nüfusun fazla olmasından dolayı biyogaz, ülkemiz için etkili bir enerji kaynağı potansiyelini taşımaktadır [2,8]. Ülkemizin yıllık ve toplam geri kazanılabilir biyokütle enerji potansiyeli sırasıyla 32,6 ve 17,2 MTEP (Milyon Ton Eşdeğer Petrol) olarak tahmin edilmektedir. Bu enerji potansiyeli içerisinde hayvancılıktan yaklaşık 72 milyon ton yıllık hayvan gübresi tahmini yapılmaktadır [9].

Hayvan gübresinin büyük bir bölümünün doğrudan kırsal alanlarda ısıtma amacıyla kontrolsüz depolanması veya yakılması, gübrenin kalitesinde azalmaya, enerjinin çoğunun kaybına, koku ve görsel sorunlara, toprak ve su kirliliği gibi çeşitli çevre ve sağlık sorunlarına da neden olmaktadır [10]

Etlik piliç (broiler) gübresinden biyogaz ve elektrik enerjisi üretimi ile söz konusu gübrelerin

çevresel sorunlarının çözümüne yönelik önemli bir alternatiftir. Ülkemizde yıllık etlik piliç üretimi 221 milyon adete ulaşmış olup, bu rakamın yaklaşık 23 milyon adeti Adana ve Mersin illerinde yetiştirilmektedir [11]. Bu rakam biyogaz enerji üretimi için kullanılan kümes atıklarının bölgede ne denli yüksek potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca bölgede bu atıkların uygun bir şekilde bertaraf edilmesi çevre güvenliği açısından da önem taşımaktadır.

Adana ve Mersin illerinde etlik piliç üretimi kırsal kesimde yapılmakta ve bölgedeki üreticilerin büyük çoğunluğunu aile tipi işletmeler oluşturmaktadır. Bölgede yılda genellikle 5 dönemde yapılmakta olan yetiştiricilik; kümesin fiziki koşulu, bölgenin iklimsel özelliği ve işletmenin ekonomik yapısına bağlı olarak 6 döneme de çikabilmektedir.

Kümeslere ait atık çukuru veya buna benzer güvenli muhafaza yeri olmadığından dolayı üreticiler, oluşan atıkları kümesin temizlenmesi karşılığında veya çok düşük bir ücretle değerlendirmektedirler. Yüksek enerji üretim potansiyeline sahip olan bu hayvansal atıkların değerlendirilmeden bertaraf edilmesi milli enerji kaynaklarımız için önemli bir kayıptır. Bölge koşullarına ve işletmenin üretim kapasitesine uygun tipte biyogaz tesisinin yapılıp, bölgede yaygınlaştırılmasının çevresel kirliliğin korunması yanında, kırsal kesimdeki üreticilerin sosyo-ekonomik ve kültürel açıdan gelişmesine de önemli katkıları bulunacaktır.

Bu çalışmanın amacı, Adana ve Mersin illerine bağlı bulunan etlik piliç işletmelerinde oluşan gübrelerin biyogaz enerji potansiyelini belirlemek ve konuya ilişkin yerel ölçekte sürdürülebilir çözümler oluşturmaktır. Ayrıca, bu çalışmada ilçeler bazında biyogaz enerji değerlerinin yersel değişim haritalarının oluşturulması ve bölgede yoğun üretim yapılan kümesler için aile tipi biyogaz tesislerinin kurulmasının elektrik üretimine katkısı da irdelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

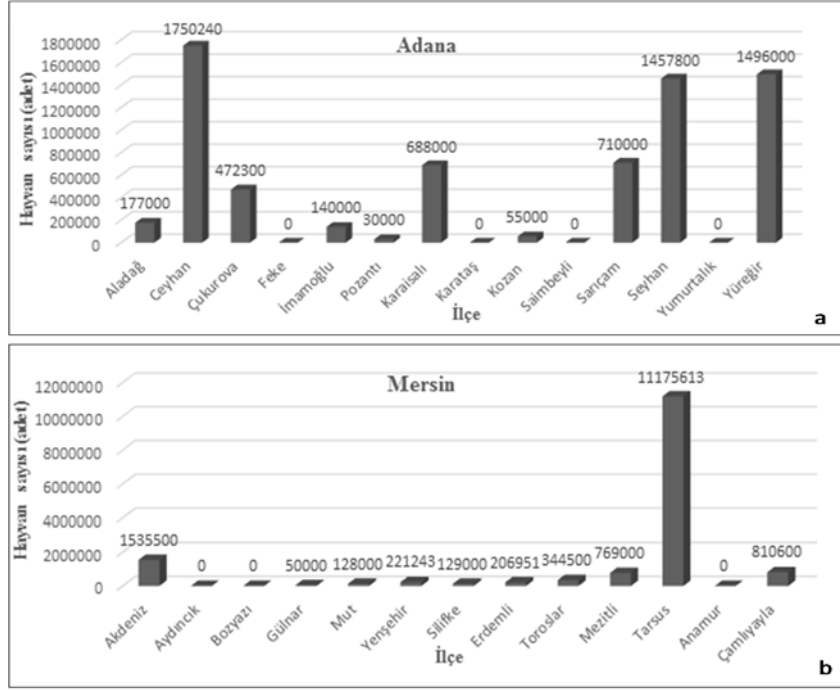
2.1. Materyal

Çalışmada, Adana ve Mersin illerine bağlı bulunan etlik piliç işletmelerinin biyogaz enerji potansiyelinin belirlenmesi için gerekli hayvan sayıları, İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, Hayvan Sağlığı ve Yetiştiriciliği Şube Müdürlüğü'nün 2018 yılı kayıtlarından alınmıştır. Adana İli 14 ilçeden (Aladağ, Ceyhan, Çukurova, Feke, İmamoğlu, Pozantı, Karaisalı, Karataş, Kozan, Saimbeyli, Sarıçam, Seyhan, Yumurtalık ve Yüreğir), Mersin İli ise 13 ilçeden (Akdeniz, Aydıncık, Bozyazı, Gülnar, Mut, Yenişehir, Silifke, Erdemli, Toroslar, Mezitli, Tarsus, Anamur ve Çamlıyayla) oluşmaktadır.

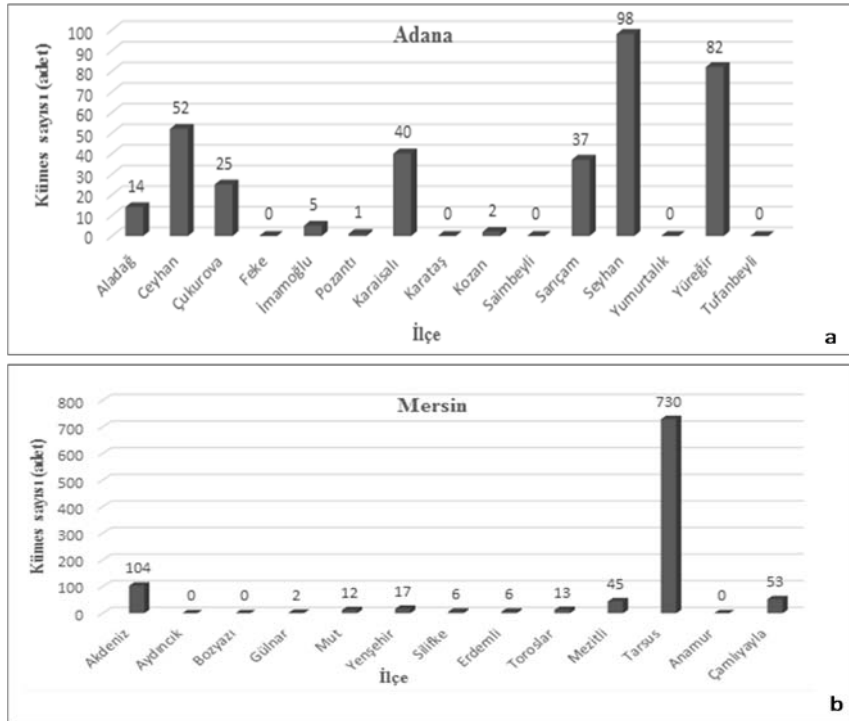
2.1.1. Hayvan ve Kümes Sayılarının Varlığı

Adana ve Mersin ilçelerine ait hayvan ve kümes sayıları sırası ile Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir. Adana'da toplam 135 adet etlik piliç üretimi yapan işletme bulunmaktadır. Bu işletmelerde 356 adet kümes ve 6.976.340 adet hayvan bulunmaktadır. İlçeler bazında hayvan varlığı incelendiğinde, birinci sırayı Ceyhan (%25,0) alırken, bunu Yüreğir (%21,4) ve Seyhan (%20,8) ilçeleri izlemiştir. Diğer deyişle Adana ilinde yetiştiriciliğin Ceyhan, Yüreğir, Seyhan, Sarıçam, Karaisalı ve Çukurova ilçelerinde daha yoğun olarak yapıldığı görülmektedir. Mersin'de ise etlik piliç yetiştiriciliği yapan işletmelerin sayısı 756 adet olup, bu işletmelerdeki kümes sayısı 988 adet ve hayvan varlığı 15.370.407 adettir. İlçeler bazında hayvan varlığının dağılımı ise ildeki toplam hayvan sayısının %72,7'sini Tarsus oluştururken bunu %9,9'la Akdeniz ve %5,2'le Çamlıyayla izlemiştir. Bu ilde yetiştiriciliğin Tarsus ilçelerinde yoğunlaştığını, Aydıncık, Bozyazı ve Anamur ilçelerinde ise yetiştiriciliğin yapılmadığı ve geriye kalan ilçelerde ise son dönemlerde örtü altı yetiştiriciliğin cazibesini kaybetmesinden dolayı bölgedeki çiftçiler etlik piliç üretimine yönelmiştir.

Adana ve Mersin’de Bulunan Etlik Piliç Kümeslerinde Oluşan Gübrenin Biyogaz ve Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi



Şekil 1. Adana (a) ve Mersin (b)’in ilçe bazında hayvan sayıları



Şekil 2. Adana (a) ve Mersin (b)’in ilçe bazında kümes sayıları

2.2. Yöntem

2.2.1. Gübre ve Biyogaz Miktarının Belirlenmesi

İlçelerdeki etlik piliç işletmelerinin gübre miktarlarının hesaplanmasında, çalışmada belirtilmiş olan güncel hayvan sayıları dikkate alınmıştır. Hayvan gübresi ve biyogaz üretim miktarlarının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır;

$$GM = (HS * GGM * AK * 365)/1000 \quad (1)$$

Eşitlikte 1’de;

GM, yıllık gübre miktarı (ton/yıl)
GGM, günlük gübre üretimi (kg/gün-hayvan)
AK, atığın kullanılabilirliği (%)

$$KM = GM * KMO \quad (2)$$

Eşitlik 2’de;

KM, yıllık kuru madde miktarı (ton/yıl)
KMO, kuru madde oranı (%)

$$UKM = KM * UKMO \quad (3)$$

Eşitlik 3’de;

UKM, yıllık uçucu madde miktarı (ton/yıl)
UKMO, uçucu kuru madde oranı (%)

$$BM = (UKM * ÖMÜ) * 1000 \quad (4)$$

Eşitlik 4’de;

BM, yıllık biyogaz üretim miktarı (m³/yıl)
ÖMÜ, özgül biyogaz(metan) üretimi (m³CH₄/kg UKM)

$$TID = (BM * BID) * 1000 \quad (5)$$

Eşitlik 5’de;

TID, yıllık toplam ısı değeri (GJ/yıl)
BID, biyogazın birim ısı değeri (MJ/m³)

$$EÜ = (TID * EÜV)/3,6 \quad (6)$$

Eşitlik 6’da;

EÜ, yıllık elektrik üretimi (MW_{ne}/yıl)
EÜV, gaz motorunun net elektrik üretim verimi (%)

Hesaplamalarda gübre miktarı, kuru madde miktarı, uçucu madde miktarı ve biyogaz üretim potansiyeline ilişkin yapılan kabuller Çizelge 1’de özetlenmiştir. Biyogazın %60 metan içeriğindeki enerji değeri 22,7 MJ/m³ [12] olduğundan, 1 m³ metan gazının enerji değeri 36 MJ alınarak biyogazın enerji potansiyel değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada biyogaz amaçlı kullanılabilirlik etlik piliç gübresi, hayvanların barınakta kalma süreleri dikkate alınarak atığın kullanılabilirliği %99 olarak seçilmiştir [13-15]. Adana ve Mersin’in ilçeler bazındaki hayvan sayıları verilerine göre hesaplanan yıllık yaş gübre miktarı değerleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. Etlik piliç için atık miktarı kabulleri [13,14,16,17]

Parametreler	Alınan Değerler
Birim hayvan için günlük gübre üretimi (kg/gün-hayvan)	0,18
Atığın kullanılabilirliği (%)	99,0
Kuru madde oranı (%)	25,88
Uçucu kuru madde oranı (%KM)	77,27
Hammadde özgül metan üretimi (m ³ CH ₄ /kg UKM)	0,35

Çizelge 2. Adana ve Mersin’in ilçe bazlı hesaplanan yaş gübre miktarı değerleri

Mersin			Adana		
İlçeler	GM (t/yıl)	İl toplamına göre oranı (%)	İlçeler	GM (t/yıl)	İl toplamına göre oranı (%)
Akdeniz	99.873,53	9,89	Aladağ	11.628,90	2,54
Aydıncık	0,00	0,00	Ceyhan	114.990,77	25,09
Bozyazı	0,00	0,00	Çukurova	31.030,11	6,77
Gülnar	3.285,00	0,33	Feke	0,00	0,00
Mut	8.409,60	0,83	İmamoğlu	9.198,00	2,01
Yenişehir	14.535,67	1,44	Pozantı	1.971,00	0,43
Silifke	8.475,30	0,84	Karaisalı	45.201,60	9,86
Erdemli	13.596,68	1,35	Karataş	0,00	0,00
Toroslar	22.633,65	2,24	Kozan	3.613,50	0,79
Mezitli	50.523,30	5,00	Saimbeyli	0,00	0,00
Tarsus	734.237,77	72,71	Sarıçam	46.647,00	10,18
Anamur	0,00	0,00	Seyhan	95.777,46	20,90
Çamliyayla	53.256,42	5,27	Yumurtalık	0,00	0,00
			Yüreğir	98.287,20	21,44
			Tufanbeyli	0,00	0,00
Toplam	1.009.835,74	100,00	Toplam	458.345,54	100,00

Çizelge 2’de görüldüğü üzere, Mersin İli’nde yıllık üretilen yaş gübre miktarı 1.009.835,74 ton olup, bu değer yaklaşık %73’ü Tarsus’ta, %10’u Akdeniz’de ve %5’i Mezitli’de ve %5’i Çamliyayla’da üretilmektedir. Tarsus ilçesinde etlik piliç yetiştiriciliğinin yaygın olmasından dolayı bu ilçeden elde edilecek gübre miktarı da doğal olarak yüksek olacaktır. Bu durum Tarsus ilçesinin kırsal kesiminde bulunan kümeslerin büyükötle bakımından önemli potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Adana ilindeki yıllık yaş gübre miktarı 458.345,54 ton olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu gübrenin yaklaşık %25’i Ceyhan’da, %21’i Yüreğir’de, %20’si Seyhan ilçelerinde bulunmaktadır. Mersin yaş gübre miktarı bakımından Adana’nın yaklaşık iki katını oluşturmaktadır (Çizelge 2).

Üretilen yaş gübre miktarları hayvan sayısına bağlı olduğundan bu sektörde yapılacak teşvik ve desteklemelerle üreticileri hem yetiştiricilik açısından daha güçlenmesine hem de atık maddelerin değerlendirilmesinde (ısı ve elektrik gibi) önemli katkısı olacaktır. Ayrıca, kümeslerin daha modern üretim modeline kavuşturularak atıkların bertaraf edilmesinde çevre ve yeraltı sularının kirlenmesi gibi olumsuz etmenleri de asgari düzeye indirecektir.

Adana ve Mersin’in ilçeler bazında haritası, Arcmap 10.2 programı ile WGS 84 koordinat referans

sistemine sayısallaştırılmış ve vektör katman haline getirilmiştir. Oluşturulan ilçelerin toplam biyogaz enerji potansiyel (GJ/yıl) değerlerine göre 5 sınıf olacak şekilde QGIS 2.16.3 programı ile sınıflandırmaya tabi tutulmuş ve sınıf değerlerine göre renklendirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Adana ve Mersin ilçelerinde bulunan etlik piliç işletmelerinin gübrelere elde edilebilir uçucu kuru madde miktarları ve bu maddelerden elde edilebilecek biyogaz ve ısı enerjisi potansiyeli değerleri Çizelge 3 ve Çizelge 4’te verilmiştir.

Adana’da yaş gübreden elde edilebilecek yıllık uçucu madde miktarı 91.657,54 ton olup, bundan üretilen yıllık biyogaz metan potansiyeli 32.080.138,64 m³ ve ısı enerjisi miktarı 11.760,58 GJ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3). Bu değerler Mersin İli’nde ise sırası ile 201.941,66 ton, 70.679.580,90 m³ ve 25.911,13 GJ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4).

Adana İli’nde biyogaz metan üretim potansiyeli ilçeler bazında değerlendirildiğinde 8.048.337,93 m³ ile Ceyhan İlçesi’nin en yüksek potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Bunu sırası ile Yüreğir (6.879.235,73 m³), Seyhan (6.703.576,10 m³), Sarıçam (3.264.877,92 m³) ve

Karaisalı (3.163.712,69 m³) izlemiştir. Geriye kalan diğer ilçelerdeki biyogaz üretim potansiyelinin ise bu ilçelere göre daha düşük düzeylerde olduğu görülmektedir. Mersin ilçelerinde bu değer incelendiğinde en yüksek potansiyele sahip ilçenin 1.584.155,55 m³ ile Tarsus olduğu belirlenmiştir. Diğer ilçeler ise Tarsus'un sahip olduğu potansiyelin yanında çok düşük değerlerde kalmıştır.

Biyogazın gaz motorunda yakıt olarak kullanılmasıyla üretilecek yıllık elektrik enerjisi miktarı Mersin ve Adana illerinde sırası ile 2.879,01 MWhe ve 1.306,73 MWhe olarak hesaplanmıştır. İlçeler bazında yapılan hesaplamalarda ise, Mersin'in Tarsus İlçesi'nde üretilebilecek yıllık elektrik enerjisi üretiminin 2.093,29 MW'la en yüksek değerde olduğu belirlenmiştir. Bunu 284,74 MW'la Akdeniz ve 151,83 MW'la Çamlıyayla izlemiştir (Çizelge 3-4).

Çizelge 3. Adana'nın ilçeler bazında etlik piliç gübresi kuru madde, uçucu kuru madde, metan ve enerji değerleri

İlçeler	KM (t/yıl)	UKM (t/yıl)	BM (m ³ /yıl)	TİD (GJ/yıl)	EÜ (MW _{he} /yıl)
Aladağ	3.009,56	2.325,49	813.920,27	298,38	33,15
Ceyhan	29.759,61	22.995,25	8.048.337,93	2.950,52	327,84
Çukurova	8.030,59	6.205,24	2.171.833,58	796,19	88,47
Feke	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
İmamoğlu	2.380,44	1.839,37	643.778,74	236,01	26,22
Pozantı	510,09	394,15	137.952,59	50,57	5,62
Karaisalı	11.698,17	9.039,18	3.163.712,69	1.159,82	128,87
Karataş	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kozan	935,17	722,61	252.913,08	92,72	10,30
Saimbeyli	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sarıçam	12.072,24	9.328,22	3.264.877,92	1.196,90	132,99
Seyhan	24.787,21	19.153,07	6.703.576,10	2.457,53	273,06
Yumurtalık	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Yüreğir	25.436,73	19.654,96	6.879.235,73	2.521,93	280,21
Tufanbeyli	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toplam	118.619,83	91.657,54	32.080.138,64	11.760,58	1.306,73

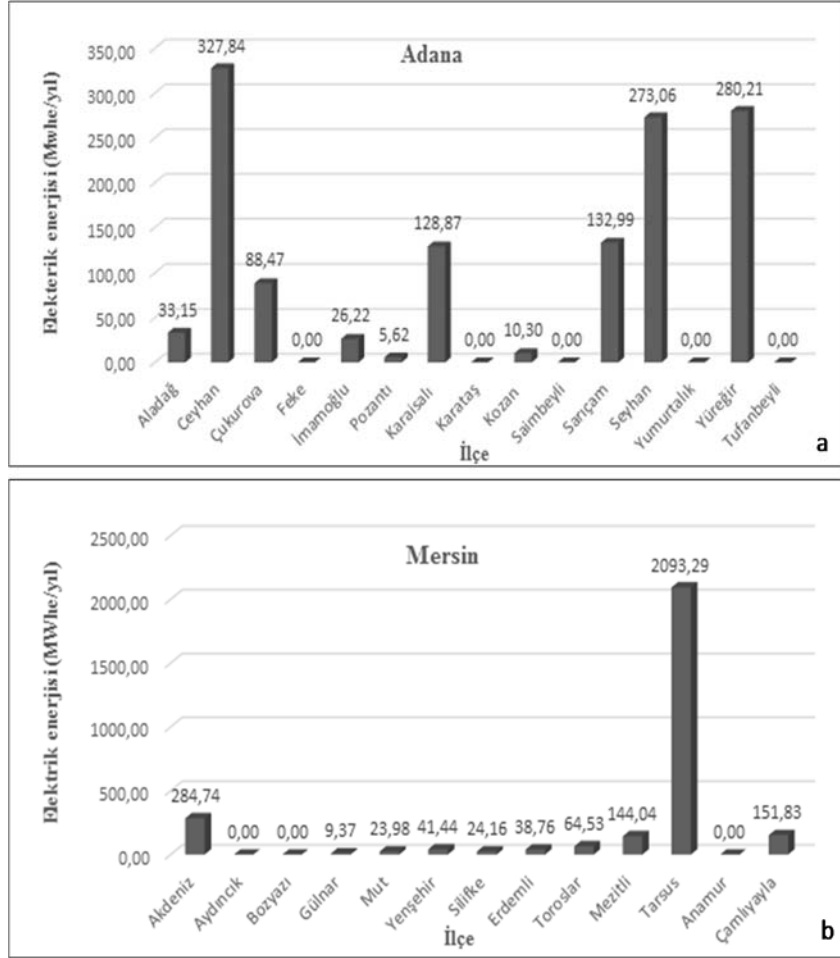
Çizelge 4. Mersin'in ilçeler bazında etlik piliç gübresi kuru madde, uçucu kuru madde, metan ve enerji değerleri

İlçeler	KM (t/yıl)	UKM (t/yıl)	BM (m ³ /yıl)	TİD (GJ/yıl)	EÜ (MW _{he} /yıl)
Akdeniz	25.847,27	19.972,18	6.990.264,57	2562,63	284,74
Aydıncık	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bozyazı	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gülнар	850,16	656,92	229.920,98	84,29	9,37
Mut	2.176,40	1.681,71	588.597,71	215,78	23,98
Yenişehir	3.761,83	2.906,77	1.017.368,15	372,97	41,44
Silifke	2.193,41	1.694,85	593.196,13	217,47	24,16
Erdemli	3.518,82	2.718,99	951.647,54	348,87	38,76
Toroslar	5.857,59	4.526,16	1.584.155,55	580,75	64,53
Mezitli	13.075,43	10.103,38	3.536.184,68	1.296,37	144,04
Tarsus	190.020,74	146.829,02	51.390.157,93	18.839,63	2.093,29
Anamur	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Çamlıyayla	13.782,76	10.649,94	3.727.478,93	1.366,49	151,83
Toplam	261.45,49	201.941,66	70.679.580,90	25.911,13	2.879,01

Adana ve Mersin’de Bulunan Etlik Piliç Kümeslerinde Oluşan Gübrenin Biyogaz ve Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi

Potansiyel olarak Tarsus’un tüm ilçelere göre çok avantajlı konuma sahip olduğu görülmektedir. Adana İli’nde ise ilçe bazında üretilecek elektrik enerjisi değerine bakıldığında, Ceyhan, Yüreğir, Seyhan, Sarıçam ve Karaisalı ilçelerinde

potansiyel olduğu görülmektedir. Bu ilçelerdeki yıllık elektrik üretim miktarı ise sırasıyla 327,84; 280,21; 273,06; 132,99 ve 128,87 MW_{he} olarak hesaplanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Adana (a) ve Mersin (b)'in ilçeler bazında etlik piliç işletmelerinde üretilebilecek elektrik enerjisi değerleri

Ülkemizin bölgesel ve genel biyogaz üretim potansiyelini değerlendirmek için çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Son dönemlerde yapılan bu çalışmalardan bir kaçışaşağıdaki gibi özetlenebilir;

Çağlayan ve Koçer [8] tarafından yapılan çalışmada Muş ilindeki küçük ve büyük baş hayvan atıklarından yılda 1.598.960 ton yaş gübre

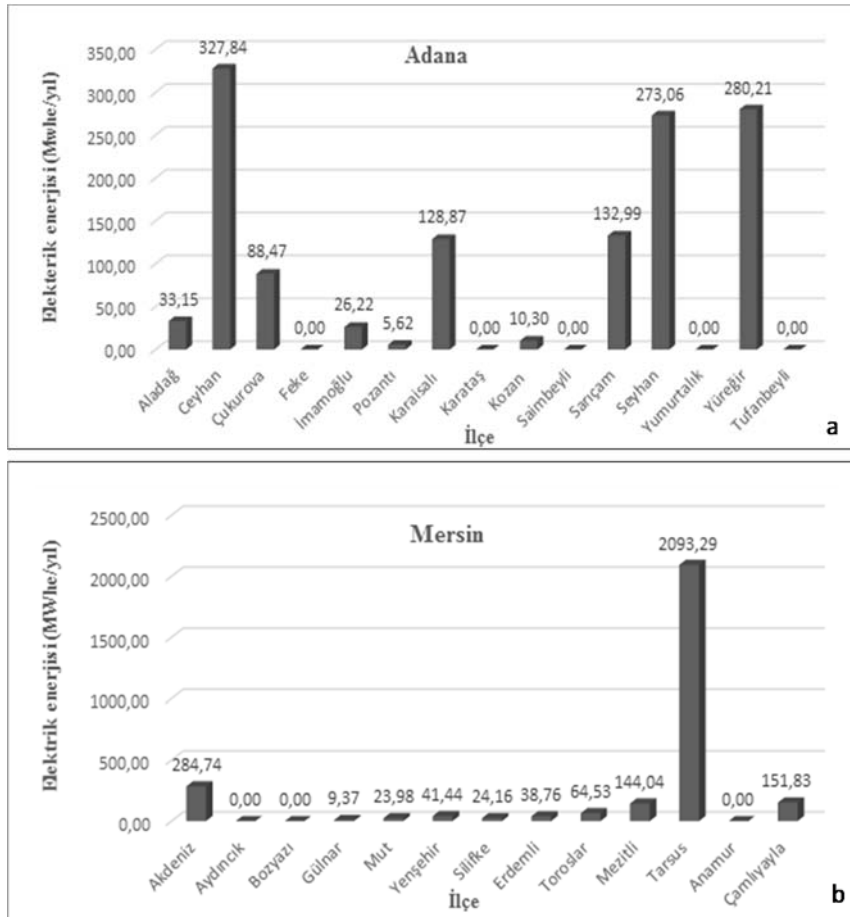
ve bu gübreden 79.940.328 m³ biyogaz üretebilecek potansiyele sahip olduğu hesaplanmıştır. Erensoy ve arkadaşları [18], Etlik piliç üretiminde atık materyal olarak çevresel sorunlara neden olan tavuk gübresinin biyogaz üretiminde kullanımı ve potansiyelini ortaya koymak amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda, 2 milyon hayvandan yıllık

yaklaşık 432 bin ton yaş gübre elde edilebileceğini ve bu gübreden yıllık 68 milyon m³ biyogaz ve 105.699,16 MW elektrik enerjisi üretebileceğini bildirmişlerdir. Aybek ve arkadaşları [19], Kahramanmaraş İli'nin hayvansal ve bitkisel atıklarının biyogaz potansiyelini 2.177 TJ/yıl olduğunu ve bu enerjinin yaklaşık %95'ini hayvansal atıkların oluşturduğunu bildirmişlerdir.

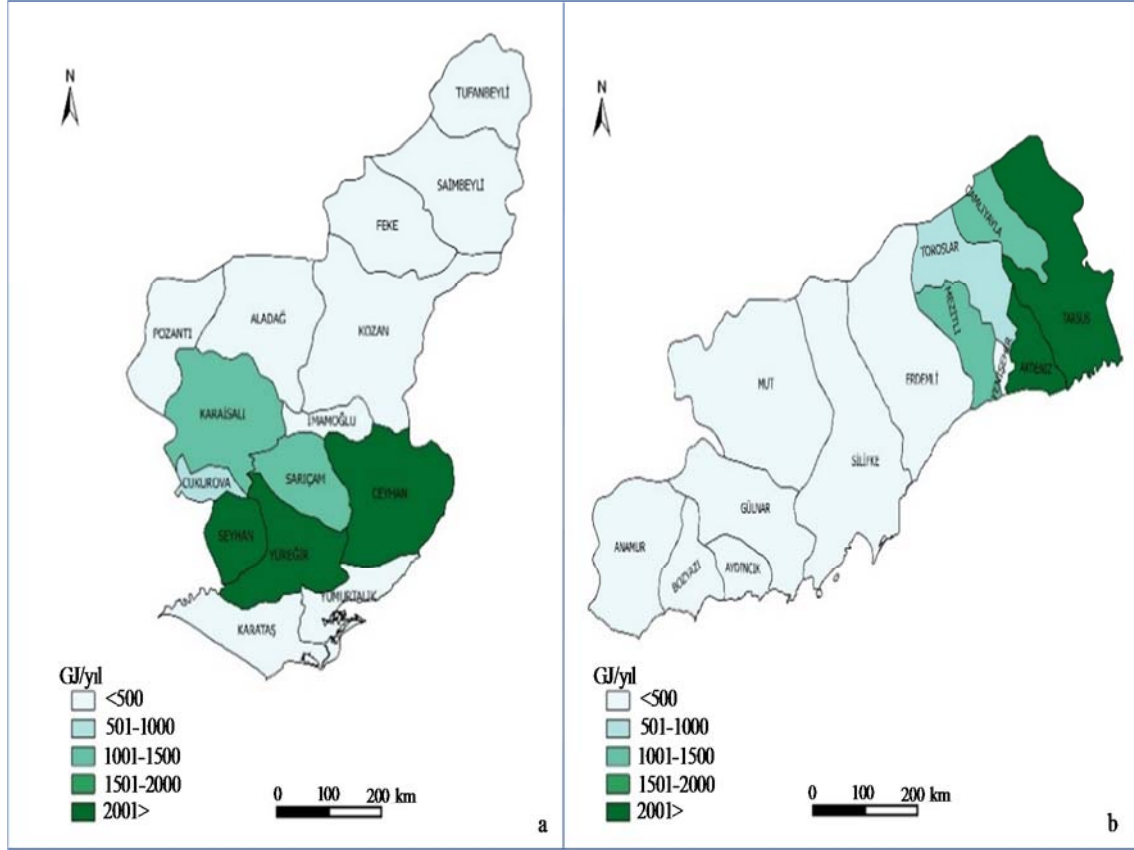
Eryılmaz ve arkadaşları [20] tarafından yapılan bir çalışmada Yozgat'ın hayvan gübresinden üretilen biyogaz potansiyelinin 45 milyon m³/yıl olduğu hesaplanmıştır. Karaca [17], Hatay ve ilçelerinde hayvan gübresinden (süt sığırı ve yumurta tavuğu) biyogaz potansiyelini belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada, Hatay'da biyogaz üretiminde

kullanılabilecek yıllık toplam 885 bin ton yaş gübre üretilbileceği ve bu gübreden yıllık 15 milyon m³ biyogaz ve 340 TJ ısı enerjisi elde edilebileceğini bildirmiştir.

Seyhan ve Badem [2] tarafından yapılan çalışmada, Erzincan İli hayvansal atıklarından elde edilebilir yıllık biyogaz miktarı 15.511.011 m³, elektrik enerjisi 38.025.864 kW_{he} ve ısı enerjisi 35.818.027.112 kCal olarak hesaplanmıştır. Çalışmada Erzincan'ın biyogaz kaynaklı elektrik kurulu gücü bakımından 4,3 MW'lık bir potansiyele sahip olduğu, biyogaz ve enerji üretimi değerleri açısından da kayda değer bir nitelik taşıdığı bildirilmektedir.



Şekil 3. Adana (a) ve Mersin (b)'in ilçeler bazında etlik piliç işletmelerinde üretilen elektrik enerjisi değerleri



Şekil 4. Adana (a) ve Mersin (b) ilçelerine göre toplam biyogaz enerji potansiyeli

Özetlenen çalışmalardan da görüldüğü üzere atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyeli hayvan sayısı, hayvan cinsi gibi birçok faktörlere bağlı değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, yapılan bu çalışmada bulunan sonuçların literatür ile kıyaslanması yapılmamıştır. Adana ve Mersin illerine ait ilçelerin toplam biyogaz enerji potansiyel değerlerine göre haritalanması Şekil 4'de verilmiştir.

Adana ve Mersin'in ilçelerine göre elde edilecek toplam biyogaz enerji potansiyeli (GJ/yıl) değerleri 5 sınıfa ayrılmıştır. Yapılan sınıflandırmada Adana ilinde <500 sınıfında Feke, Karataş, Saimbeyli, Tufanbeyli, Yumurtalık, Pozantı, Kozan, İmamoğlu, Aladağ, 501-1000 sınıfında Çukurova, 1001-1500 sınıfında Karaisalı ve Sarıçam, 2001> sınıfında Seyhan, Yüreğir, Ceyhan ilçelerinin yer aldığı görülmüştür. Mersin İli'ndeki

sınıflandırma ise, <500 sınıfında Aydıncık, Bozazı, Anamur, Gülnar, Mut, Silifke, Erdemli, Yenişehir, 501-1000 sınıfında Toroslar, 1001-1500 sınıfında Mezitli ve Çamlıyayla, 2001> sınıfında Akdeniz ve Tarsus ilçeleri yer almıştır.

Bölgede yetiştiriciliğin kırsal kesimde yapılması ve aile tipi işletme yapısında olması nedeniyle bölgedeki kümeslerin üretim kapasite dağılımının bilinmesi yerel anlamda sürdürülebilir çözümlerin üretilmesinde etkili olacaktır. Bu nedenle, Hayvan Sağlığı ve Yetiştiriciliği Şube Müdürlüğünden alınan veriler doğrultusunda yapılan değerlendirme sonucunda bölgedeki kümeslerin yaklaşık %78'inin 15.000-25.000 adet üretim kapasitesi aralığında değiştiği belirlenmiştir. Çalışmada, bölgeyi karakterize edecek ve kapasitesi 15-30 bin aralığında olan 3 adet kümes belirlenmiştir. Belirlenen bu kümeslerde işletme sahipleri ile

yapılan birebir görüşmelerde ve kümeslerdeki güç kaynakları etiketinden okunan değerler Çizelge 5’de verilmiştir.

Çizelge 5’te görüldüğü üzere, üç farklı ilçede bulunan kümeslerde yapılan incelemelerde elektrik tüketim kaynaklarının toplam değeri; üretim kapasitesi (hayvan/dönem) 22.000 olan kümeşte 25,8 kW, 31.000 olan kümeşte 28,6 kW ve 2x23.000 olan kümeşte 41,6 kW olarak belirlenmiştir. Bu kümeslerde yıllık tüketilen

elektrik enerjisi değeri ise sırası ile 20.316; 34.653 ve 61.662 kWh olarak tespit edilmiştir. İşletmelerin yıllık elektrik enerjisi tüketim değerleri EnerjiSA Toroslar Elektrik Perakende Satış A.Ş’den alınmıştır. İşletme içerisinde bulunan bakıcı veya ailenin barındığı meskende tüketilen elektrik enerjisi miktarları bu enerji tüketimi içerisinde yer almaktadır. Dört kişilik bir ailenin asgari yaşam standartlarına göre ortalama aylık elektrik enerjisi tüketimi 221 kWh, yıllık ise 2.652 kWh olarak değişmektedir [2,21].

Çizelge 5. Üç farklı kümesin üretim özelliği ve elektrikselsel kurulu güç dağılımı

İşletme	Ceyhan	Tarsus	Yüreğir
Üretim kapasitesi (hayvan/dönem)	2x23.000	22.000	31.000
Yıllık üretim dönemi	5	5	5
Gübre miktarı (t/yıl)	55	40	45
Isıtmada kullanılan kömür (ton/yıl)	30	7,5	12
Elektrik tüketim kaynakları (kW)			
Aydınlatma	1,4	1,1	1,4
Serinletme (Fan-Ped)	20,9	18,3	17,6
Yem dağıtma	5,5	3,0	1,7
Sulama	8,8	2,3	5,2
Isıtma	5,0	1,1	2,7
Toplam	41,6	25,8	28,6
Elektrik enerji tüketimi (kWh/yıl)	61.662	20.316	34.653

Çizelge 5’teki seçilen üç farklı kümesin yılda elde edilen gübre miktarları ve bu gübrelerden üretilecek biyogaz ve elektrik enerjisi değerleri Çizelge 6’da verilmiştir (Biyogaz ve elektrik

enerjisi değerleri Eşitlik 6’daki hesaplama yöntemine göre yapılmıştır ve yılda 5 dönem üretim yapıldığı varsayılmıştır).

Çizelge 6. Kümes kapasitesine göre üretilebilecek metan ve elektrik enerjisi değerleri

Kümes kapasitesi (adet)	HS (adet)	GM (ton/yıl)	BM (m ³ /yıl)	TİD (GJ/yıl)	EÜ (kWh _{ne} /yıl)
20 000	100.000	6.570,00	459.841,96	168,58	18.730,90
25 000	125.000	8.212,50	574.802,45	210,72	23.413,62
30 000	150.000	9.855,00	689.762,94	252,87	28.096,34
45 000	225.000	14.782,50	1.0345.644,41	379,30	42.144,52

Çizelge 5 ve Çizelge 6’da görüldüğü üzere, Tarsus ilçesinde seçilen 22.000 hayvan kapasitesine sahip kümeşte biyogazdan üretilecek elektrik enerjisinin bu kümesin yıllık elektrik enerji ihtiyacını karşılayabilecek potansiyele sahip olduğu tespit edilmiştir. Ceyhan ve Yüreğir ilçelerindeki kümeslerin ise elektrik enerjisini karşılayamadığı belirlenmiştir. Ancak, gübreden üretilebilecek

elektrik enerjisinin Ceyhan İlçesi’ndeki kümesin elektrik enerjisinin %68’ini, Yüreğir İlçesi’ndeki kümesin ise %82’ini karşılayabilme potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Seçilen kümeslerde serinletme sistemini oluşturan fanların güç değerleri, kümesin toplam elektrik tüketim kaynakları değerinin yaklaşık %50-71’ni oluşturmaktadır (Çizelge 5). Bu da gösteriyor ki,

biyogazdan üretilen elektrik enerjisi üretiminin kümeste aydınlatma, ısıtma, su ve gübre dağıtım gibi küçük ölçekli elektrik motorların enerji gereksinimini karşılayabilecektir. Ayrıca, bölgedeki işletmelerde bulunan aile fertlerinin ısınma ve aydınlatma gibi evin temel elektrik tüketimini de sağlayabilecektir.

Adana ve Mersin illerini kapsayan Çukurova bölgesinde yaz aylarında hava sıcaklığı 40 °C’ye kadar ulaşmaktadır. Bu nedenle bölgede özellikle Haziran-Ekim ayları arasında kümeste hayvanların gereksinim duyduğu optimum çevre koşullarını sağlamak için serinletme sistemleri (fanlar) gündüz sürekli çalışmaktadır. Buda, işletmelerin bu dönemlerdeki elektrik enerjisi tüketimini önemli oranda yükseltmektedir. Kümes sahipleriyle yüz yüze yapılan görüşmelerde yaz döneminde elektrik faturalarının çok yüksek geldiğini ve bununla üretim girdisini önemli oranda yükselttiğini dolayısıyla, bu dönemlerde ekonomik olarak olumsuz etkilendiklerini ifade etmişlerdir.

Tarsus ilçesindeki kümeslerin yıllık elektrik tüketiminin gübreden elde edilebilecek enerji potansiyeline sahip olmasının nedeni, bu bölgede bulunan kümeslerin çoğunun rakım düzeyinin yüksek olduğu (Toros dağlarının eteği kesiminde, yayla kesiminde) bölgelerde bulunduğundan hava sıcaklığının yaz döneminde ovaya göre serin geçtiğinden dolayı serinletme sistemlerinin daha az devreye girmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Erensoy ve arkadaşları [18], 25.000 hayvan kapasiteli bir etlik piliç kümesinden her dönemde 54 ton yaş gübre elde edildiğini ve bu gübreden elde üretilen biyogaz miktarının 85.104 m³ ve elektrik enerjisinin 13.191,12 kW_{he} olduğunu ve yıllık 79.146,72 kW_{he}’lık elektrik üretilebileceği bildirilmiştir. Bu değerlere göre, Ceyhan, Yüreğir ve Tarsus ilçelerinde seçilen kümeslerin yıllık elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilecek potansiyele sahip olduğu söylenebilir. Günümüzde birçok ülkede biyogazın ekonomik ve çevresel önemi benimsenmiş ve uygulamaları başlatılmıştır. Ülkemizde ise bu uygulamaların henüz beklenen düzeye gelmediği görülmektedir. Konuya ilişkin

yapılacak araştırma ve uygulamalar ile yeni teknolojilerin gelişimine katkıları sağlayacağı unutulmamalıdır.

Ülkemizde iller bazında kurulmuş biyogaz tesislerinin kapasitesine göre dağılımları aşağıda gibi özetlenebilir;

Biyogaz tesisleri olarak 5 adet 15 m³’lük ve 2 adet 22 m³’lük tesis Kayseri’de, 15 m³’lük 1 adet Konya’da, 22 m³’lük 1 adet Gediz gölcük köyünde ve 280 m³’lük 1 adet Elazığ’da bulunmaktadır. Ayrıca, Ankara’nın Beypazarı İlçesine kurulan bir biyogaz tesisinde tavuk gübresi kullanarak metan biyogaz üretmeye başlanmıştır. Kurulan tesiste saatte 2,5 MW elektrik enerjisi üretilmiştir. Bu üretimin yanında ısı ve organik gübre üretildiği belirtilmiştir [4].

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Adana ve Mersin ilçelerinde bulunan etlik piliç kümeslerindeki gübrelerin biyogaz enerjisi potansiyelinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada elde edilen sonuç ve öneriler aşağıdaki gibi özetlenebilir;

Adana ilinin etlik piliç gübresinden yıllık üretilen biyogaz metan potansiyeli 32.080.138,64 m³, ısı enerjisi miktarı 11.760,58 GJ ve elektrik enerjisi miktarı 1.306,73 MW_{he} olarak hesaplanmıştır. Bu değerler Mersin ilinde ise sırası ile 70.679.580,90 m³, 25.911,13 GJ ve 2.879,01 MW_{he} olarak belirlenmiştir.

Mersin’de yaş gübreden elde edilecek yıllık elektrik enerjisi üretiminin ilçeler bazında yapılan hesaplamalarda, 2.093,29 MW_{he}’la Tarsus’un en yüksek değer olduğu belirlenmiştir. Bunu 284,74 MW_{he}’la Akdeniz ve 151,83 MW_{he}’la Çamlıyayla izlemiştir. Adana ilçelerinde ise, bu değer 327,84 MW_{he}’la Ceyhan, 280,21 MW_{he}’la Yüreğir, 273,06 MW_{he}’la Seyhan, 132,99 MW_{he}’la Sarıçam ve 128,87 MW_{he}’la Karaisalı sıralanmıştır.

Adana ve Mersin ilçelerinde etlik piliç üretimi çoğunlukla kırsal kesimde yapıldığından,

yetiştiricilerin çoğunluğu geçim kaynağını bu sektörden sağlamaktadırlar. Son dönemlerde elektrik enerji fiyatlarında meydana gelen artışlar, üretim giderlerinin önemli ölçüde artmasına neden olmuştur. Bu durum, bölgedeki yetiştiricilerin rekabet gücünü zayıflatmıştır. Bu nedenle, Bölgede özellikle Tarsus başta olmak üzere Ceyhan, Yüreğir, Seyhan, Sarıçam ve Karaisalı ilçelerinde belirlenen bu biyogaz potansiyelinin en kısa sürede değerlendirilmesi için, bölgeye uygun alternatif projelerin üretilmesi gerekmektedir. Yapılacak projelerde üreticilere biyogaz tesisinin kazanımları hakkında teknik bilgilerin verilmesi ve tesisin kurulumu için özendirilecek teşviklerin sunulması etkili olabilecektir. Ayrıca, biyogaz tesisinin kurulumunun önemli bir yatırım giderini oluşturduğundan yetiştiricilerin önündeki bu sorunların aşılması durumunda enerjinin geri kazanımı ve çevresel risklerin azaltılması ile sektöre ve bölge sanayisine teknolojik açıdan önemli kazanımlar da sağlanabilecektir. Yapılan bu çalışmanın, etlik piliç kümeslerinde biyogaz tesislerinin planlanmasında çalışacak uzmanlara yol gösterici bir rehber olabileceği düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Abdeshahian, P., Lim, J.S., Ho, W.S, Hashim, H., Lee, C.T., 2016. Potential of Biogas Production from Farm Animal Waste in Malaysi, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 714–723.
2. Seyhan, A. K., Badem, A., 2018. Erzincan İlindeki Hayvansal Atıkların Biyogaz Potansiyelinin Araştırılması, *APJES* 6-1 25-35 Doi: 10.21541/apjes.334256.
3. Kaya, D., Çağman, S., Eyidoğan, M., Aydöner, C., Çoban, V., Tırıs, M., 2009. Türkiye'nin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Enerjisi ve Ekonomisi, *Atık Teknolojileri Dergisi*, 1, 48-51.
4. Şenol, H., Elibol, E.A., Açikel, Ü., Şenol, M., 2017. Biyogaz Üretimi İçin Ankara'nın Başlıca Organik Atık Kaynakları, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (2), 15-28.
5. Ardıç, İ, Taner, F., 2014. Biokütleden Biyogaz Üretimi I. Anaerobik Arıtımın Temelleri, http://www.emo.org.tr/ekler/14101ec47c52b48_ek.pdf (Erişim: 03.12.2018).
6. Yenilmez, F., 2015. Tavukçuluk Atıklarından Biyogaz Üretimi, *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi*, 29(3), 205–212, <http://veteriner.fusabil.org/text.php3?id=1063> (Erişim:15.12.2018).
7. Aybek, A, Üçok, S, İspir, S., Bilgili, M. E., 2015. Türkiye'de Kullanılabilir Hayvansal Gübre ve Tahıl Sap Atıklarının Biyogaz ve Enerji Potansiyelinin Belirlenerek Sayısal Haritalarının Oluşturulması, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12(3), 109-120.
8. Çağlayan, G.H., Koçer, N. N., 2014. Muş İlinde Hayvan Potansiyelinin Değerlendirilerek Biyogaz Üretiminin Araştırılması, *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2, 215-220.
9. Öztürk, M., Yüksel, Y. E., 2016. Energy Structure of Turkey for Sustainable Development, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1259–1272.
10. Özer, B., 2017. Biogas Energy Opportunity of Ardahan City of Turkey, *Energy (Oxford)*, 139,1144-1152. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20173368800>.(Erişim:28.12.2018).
11. TÜİK, 2017. Türkiye İstatistik Kurumu, Konularına Göre İstatistikler, Tarım. <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=kategori> (Erişim: 27.11.2018).
12. Acaroğlu, M., 2007. Alternatif Enerji Kaynakları, Nobel Yayın No:1253, 90s, Ankara.
13. Külçü, R., 2007. Bazı Tarımsal Atıkların Kompostlaştırılmasında Optimum Çevresel Şartların Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Antalya.
14. Ekinci, K. Külçü, R, Kaya, D, Yıldız, O, Ertekin, C, Öztürk, H., 2010. The Prospective of Potential Biogas Plants that can Utilize Animal Manure in Turkey, *Energy Exploration & Exploitation*, 28(3), 187-206.
15. Avcioğlu, O.A., Eliçin, A., Konuralp, A., 2010. Ankara'nın Hayvansal Atıklardan Biyogaz Potansiyeli ve Uygun Reaktör Büyüklüğünün Belirlenmesi, 26. Tarımsal Mekanizasyon

- Ulusal Kongresi, Bildiri Kitabı, 22-23 Eylül, Hatay, 356-362.
16. Hill, D.T., 1982. A Comprehensive Dynamic Model for Animal Waste Methanogenesis, Transactions of the ASAE 25(5), 1374-1380.
 17. Karaca, C., 2017. Hatay İli'nin Hayvansal Gübre Kaynağından Üretilen Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi, Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 22(1), 34-39.
 18. Erensoy, K., Bayraktar, H., Altan, A., 2016. Etlik Piliç Gübresinden Biyogaz ve Elektrik Üretim Potansiyeli Üzerine Bir Araştırma, https://www.researchgate.net/publication/309081321_Etlik_Pilic_Gubresinden_Biyogaz_ve_Elektrik_Uretim_Potansiyeli (Erişim:15.12.2018).
 19. Aybek, A., Üçok, S., Bilgili, M. E., İspir, M. A., 2015. Kahramanmaraş İlinde Bazı Tarımsal Atıkların Biyogaz Enerji Potansiyelinin Belirlenerek Sayısal Haritalarının Oluşturulması. Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 29 (2), 25-37.
 20. Eryılmaz, T., Yesilyurt, M.K., Gokdogan, O., Yumak, B., 2015. Determination of Biogas Potential from Animal Waste in Turkey: A Case Study for Yozgat Province, European Journal of Science and Technology, 2(4), 106-111.
 21. Yiğit, F., Kabul, A., 2014. Isparta Yöresinde Bir Evin Elektrik İhtiyacının Rüzgar Enerjisi ile Karşılansının Ekonomik Analizi, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 11(2), 1-9.

Adularya Yeraltı Maden Ocağında Bilgisayar Destekli Havalandırma Tasarımı

Mustafa ÖNDER*¹, Burak ÇAKIR², Seyhan ÖNDER¹

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

²Demir Export AŞ, Soma Eynaz Yer Altı Kömür İşletmesi, Manisa

Geliş tarihi: 08.02.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Öz

Yeraltı maden ocakları için bilgisayar destekli havalandırma tasarımı hayati bir önem arz etmektedir. Geleceğe yönelik güvenilir planlamalar yapabilmek için yeraltı ocaklarının havalandırma ile ilişkili olan veri seti parametreleri dikkatli bir şekilde oluşturulmalıdır. Bu çalışmada, bir yeraltı maden ocağı havalandırma şebekesinin bilgisayar ortamında tasarlanması için Ventsim® havalandırma benzetim programı kullanılmıştır. Havalandırma ölçümlerine ilişkin değerler, Eskişehir ili Mihalıççık ilçesinde bulunan Adularya Madencilik Enerji A.Ş.'ye ait yeraltı kömür madeninden alınmıştır. Bu veri seti kullanılarak havalandırma tasarımı yapılmış ve elde edilen sonuçlar gerçek değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, tasarım sonuçlarının gerçeğe yakın olduğu ve tasarımın başarılı olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Maden havalandırma, Simülasyon, Ventsim®

Computer Aided Ventilation Design in Adularya Underground Mine

Abstract

Computer aided ventilation design for underground mines has a vital importance. The data set parameters associated with the ventilation of underground mines must be carefully constructed to ensure reliable future planning. In this work, the Ventsim® ventilation simulation program was used to design an underground mine ventilation network in a computer environment. The values of the ventilation measurements were taken from the underground coal mine of Adularya Mining Energy Trade Corporation located in Mihalıççık, Eskişehir province. Ventilation design was performed using this data set and the results obtained were compared with actual values. As a result, it has been determined that the design results are close to reality and the design is successful.

Keywords: Mine ventilation, Simulation, Ventsim®

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mustafa ÖNDER, monder@ogu.edu.tr

1. GİRİŞ

Yeraltı madencilğinde havalandırma işleminin amacı; ocakta güvenli, rahat ve sağlıklı çalışma koşullarını sağlamaktır. Bu nedenle özellikle planlama ve projelendirme aşamalarında havalandırma şebeke analizi öncelikle ele alınmalıdır. Havalandırma şebekesi analizi küçük ocaklar için bazı basit yöntemlerle kolaylıkla yapılabilmektedir. Ancak ocağın büyük olması halinde bu tür bir analizi yapmak çok zaman alıcı ve zor, bazı hallerde ise olanaksızdır. Ayrıca, gerçek bir ocak için hazırlık galerilerinin sürülmesi, yeni hava yollarının açılması, vantilatör yerlerinin değiştirilmesi ve benzeri haller karşısında dirençlerde ortaya çıkan farklılıklar hava dağılımına büyük oranda etki edecektir. Bu hususların yaratabilecekleri problemlerin önceden bilinmesinde sayısız yararlar vardır. Diğer taraftan, yeraltı üretim katlarının her geçen gün derinlere ve daha karmaşık düzenlere gereksinme göstermesi, havalandırma maliyetlerini artırmaktadır. Bu maliyetlerin en alt düzeye indirilmesinde mekanik olarak sağlanan hava akımının daha da ekonomik kullanılması etkilidir.

Widzyk-Capehart ve Watson [1] yaptıkları çalışmada, Ventsim® programını Reedemer altın madenine uygulamışlardır. Ocağın mevcut havalandırma sistemi baş yukarı havalandırmadır. Yüzeyde iki adet emici santrifüj vantilatör bulunmaktadır. Mevcut sistem için 135 m³/s hava gerekmektedir. Makalede üç adet hava yolu (üretim katları, emniyet yolu, hava dönüş yolu) Ventsim® programında modellenmiş ve bu amaçla beş adet havalandırma modeli üretilmiştir. Nakliye, derin üretim katlarında meydana gelebilecek hava ihtiyacı, kaçış yolunda ortaya çıkabilecek değişiklikler, fan seçimi, yatırım ve işletim maliyetleri bu modellerin uygulandığı kısımları oluşturmaktadır. Modellemeler sonucunda HS 288 330 model santrifüj vantilatörün AL1200 aksiyal vantilatörle değiştirilmesi gerektiği, hava dönüş için katlar arasına 3,6 m çapında baş yukarı galerileri sürülmesi gerektiği ve hava dönüş yollarına paralel olarak 2,5 m çapında kaçış yolları açılması gerektiği belirtilmiştir. Widzyk-Capehart ve Fawcett [2] yaptıkları çalışmada, VENTSIM® programını Batı Avustralya Kalgoorlie'de bulunan Bronzewing

altın madeninin havalandırma sistemine uygulamışlardır. Mevcut havalandırma koşullarının VENTSIM® programında benzetimi yapılarak gelecek için havalandırma gereksinimleri değerlendirilmiştir. Şu anda mevcut sistem, iki üretim bölgesine 412 m³/s'lik bir hava göndermektedir. Sistem beş giriş ve üç çıkış hava yoluna sahiptir. Üç adet yüzeye yerleştirilmiş emici vantilatör bu maden ocağını havalandırmak için kullanılmaktadır. Geleceğe yönelik hava gereksinimi üretim oranına göre tahmin edilmiştir. Şu anki üretim oranı yaklaşık 1,5 Mtpa'dır. Gelecekte ise 1,2 Mtpa olacağı öngörülmektedir. İhtiyaç duyulacak temiz hava miktarı ise yaklaşık 450 m³/s olarak belirlenmiştir. Wei ve arkadaşları [3] tarafından yapılan makalede, Donghai madeninin havalandırma benzetimi VENTSIM programıyla gerçekleştirilmiştir. Maden ocağının bazı sorunları bulunmaktadır. Bu sorunlar, üç farklı üretim bölgesinin tek bir dönüş kuyusunu paylaşması, bazı hava kolları dirençlerinin çok yüksek olması ve vantilatör hava basıncının 3500 Pa'nın üzerine çıkması şeklinde belirlenmiştir. Yüksek dirence sahip hava yollarının dirençlerini azaltmak amacıyla hava miktarı 11,4 m³/s artırılmış ve hava basıncı 221,2 Pa azaltılmıştır. Belirlenen yeni değerler Ventsim® programına girilmiş ve vantilatörün 202,4 m³/s hava miktarında çalışması, hava basıncının ise 3321,5 Pa olması gerektiği sonuçları elde edilmiştir. Exikis ve Kapageridis [4], üç boyutlu tasarım programı VULCAN'ı bir maden ocağının havalandırma sistemine uygulamışlardır. Ocakta bulunan her hava koluna ait direnç, debi ve fan bilgileri programa girilerek havalandırma şebeke analizi yapılmıştır. Benzetim sonucunda hangi hava kollarında yüksek hava hacmi olabileceği görülebilmektedir. Aynı zamanda fan boyutlarının ne kadar olacağı, regülatörün, paralel hava kollarının ve tali fanların nereye yerleştirileceği bilgileri elde edilmiştir. Felsner [5] yaptığı çalışmada, Ventsim® programını bir maden ocağına uygulamıştır. Hava yollarındaki hava miktarını hesaplayabilmek için galerilerde hava hacmi ve kesit ölçümleri yapılmıştır. İkinci adımda elde edilen bilgilere göre maden ocağının Ventsim® programı ile tasarımı gerçekleştirilmiştir. Hava akımı benzetimi süresince, giriş hava kollarındaki hava akışı sabit kabul edilmiş ve benzetim değerleri ölçülen değerlerle karşılaştırılmıştır. Ortaya çıkan

farkları dengelemek için sürtünme ve direnç değerlerinde değişiklik yapılmıştır. Sürtünme faktörünü düzeltebilmek için bazı hava yollarının ahşap tahkimat olması gerektiği belirlenmiştir. Direnç değerleri ise mevcut tahkimat sistemine göre değiştirilmiştir. Osgoui ve Madani [6] çalışmalarında, Galandround kömür madenin havalandırma sistem dizaynını gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla öncelikle toplam gerekli hava miktarı gözleme dayalı olarak hesaplanmıştır. Daha sonra toplam basınç kaybı analitik metotlar kullanılarak bulunmuştur. Bilgisayar benzetimleri, farklı şebeke konfigürasyonlarının etkilerini değerlendirebilmek için kullanılmıştır. Son olarak gelecek havalandırma ihtiyaçlarını karşılayacak bir aksiyal tip vantilatör seçimine karar verilmiştir. Havalandırma şebeke analizi üç adet paket program (Minvent, VnetPC, Ventsim) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Vantilatör seçimi işlemi için üç program da 65 m³/s hava miktarı olan ve yaklaşık 300 Pa basınçta çalışacak bir vantilatör seçilmesi gerektiğine karar vermiştir. Aynı zamanda çalışma koşullarının iyileştirilmesini sağlamak amacıyla, 8,9,10 ve 11 nolu galerilerde tali vantilatör, 7 nolu galeride de regülatör kullanılması gerektiği olduğu sonucuna varılmıştır.

Dilekçi [7], TTK Kozlu Müessesesi Ocakları Havalandırma Şebekesinin Kazemaru Havalandırma Programı Kullanılarak Çözümlemesi adlı Yüksek Lisans Tez çalışmasında, maden ocağına ait kavşak, kol vantilatör verilerini programa tanıtarak havalandırma sistemi tasarımını gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda gelecek yıllarda maden ocağında meydana gelebilecek değişikliklere göre yapılan havalandırma tasarım sonuçları elde edilmiştir. İnan [8], yaptığı çalışmada Çayırhan G sahası için, tali havalandırma ve maden ocağının ana havalandırması VnetPC2000 adlı paket program ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, ocak havalandırması için gereken hava miktarını sağlayan 5 vantilatör belirlenmiş ve bu vantilatörlerden işletim masrafı en ekonomik olanı ana vantilatör olarak seçilmiştir.

Dalgıç [9], yapmış olduğu çalışmada; yeraltı maden ocağında toz konsantrasyonunun azaltılması ve

rahat bir çalışma ortamı sağlamak amacıyla, maden ocağının ihtiyacı olan hava miktarını gerçekleştirecek havalandırma tasarımını yapmıştır. Bu amaçla tasarımda VnetPC2000 paket programını kullanmıştır. Çalışma sonucunda, yeraltı maden ocağında sorun teşkil eden havalandırma yetersizliği ve toz konsantrasyonu için optimum değerler belirlenmiştir.

Geçmişte havalandırma hesaplarının doğrudan doğruya basit analitik metotlarla yürütülmesi veya şebekelerin benzeri modelleri üzerinde ölçmeler yapılması suretiyle problemlerin çözümü yoluna gidilmiştir. Fakat bugün, oldukça büyük ocaklarda daha ayrıntılı analiz ve değerlendirme yöntemlerinin kullanılmasına doğan ihtiyaçla, Hardy Cross iterasyon (yaklaşık tekrarlamalar) tekniğine yer veren bilgisayar programları kullanılarak daha hassas, hızlı ve ekonomik sonuçlar alınabilmektedir. Havalandırma tasarımında yapılacak hesaplamaların bilgisayar destekli olması havalandırmadan sorumlu maden mühendislerine büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Uluslararası bir yazılım olan Ventsim® havalandırma tasarım programı kullanım kolaylığı ve görselliği açısından ileri düzeyde bir yazılımdır. Bu çalışmada bir yeraltı madenin havalandırma tasarımının bilgisayar destekli yapılması amaçlanmıştır. Bunun üzerine Koyunağılı kömür havzasında faaliyet gösteren Adularya Enerji Mad. Enerji Turizm San. ve Tic. A.Ş.'ye ait yeraltı kömür madeninde ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Yapılan ölçümler hava yolu uzunlukları, kesitleri, çevreleri, koordinatları ve vantilatör karakteristik koşullarının belirlenmesidir. Ölçümler yapıldıktan sonra program aracılığı ile işletmenin havalandırma etüdü yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. İŞLETME HAKKINDA BİLGİLER

Adularya Enerji Mad. Enerji Turizm San. ve Tic. A.Ş. Eskişehir ili sınırları içinde Mihalıççık İlçesi Koyunağılı Köyü mevkiindedir. Eskişehir'e 128 km, Ankara'ya 145 km Beypazarı'nın 40 km batısındaki Koyunağılı köyüne 1,5 km uzaklıktadır.

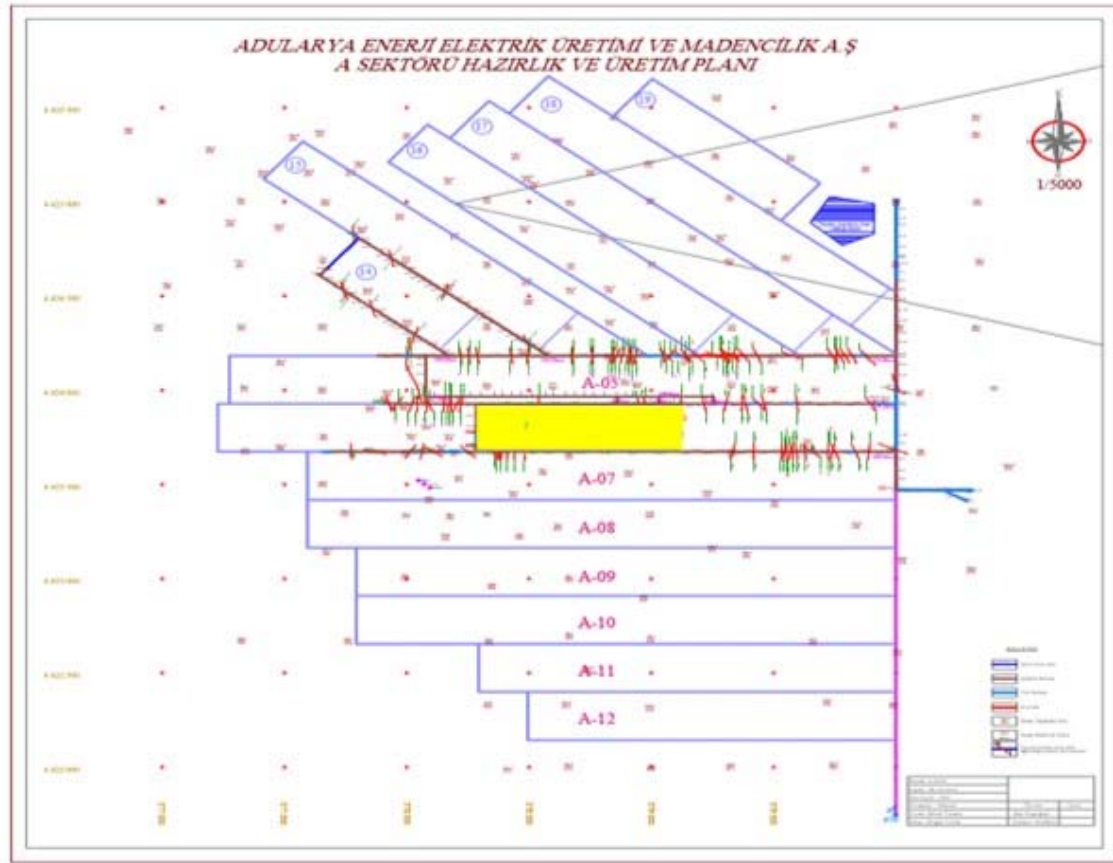
2007 yılında sahanın kömür üretilmesi ve termik santral kurulması amacıyla teslim alınmasından sonra ilk olarak tüm sahanın detaylı sondaj

çalışmaları yapılmıştır. Başlangıçtan bu güne derinlikleri ortalama 350 metre olan 400 adet sondaj gerçekleştirilmiştir. Sondajlardan elde edilen veriler ışığında tüm saha kömür üretimine yönelik olarak planlanmış olup, 30.000.000 ton kömür rezervi hesabı yapılmıştır [10].

Termik Santrale kömür besleyecek ana sektörlerde uzun ayak tam mekanize yürüyen tahkimat sistemi ile üretim yapılacak şekilde hazırlık çalışmaları devam etmektedir. Hâlihazırda A sektöründe 250 metre arınlı tam mekanize uzunayak teşkil edilmiş olup çalışmalar devam etmektedir. Ayrıca D sektörü isimli ocakta hazırlık çalışmaları

tamamlanmış hazır bir mekanize ayak panosu bulunmaktadır. Ekipman kurulumu henüz gerçekleştirilmemiştir. Hazırlık galerileri Dosco marka tek kollu galeri açma makinasıyla açılmaktadır.

Sahadan çıkarılan linyit kömürünün yakılarak enerji üretilmesi için kurulmuş olan bir termik santral mevcuttur. Adularya Yunus Emre Termik Santrali 2x145 MW iki üniteden oluşmaktadır. Kazan dolaşimli akışkan yatak teknolojisi olup, buna ek olarak yarı-kuru tip baca gazı arıtma sistemi mevcuttur. Adularya Madencilik Enerji A.Ş'nin A Sektörü imalat haritası, Şekil 1'de verilmiştir [10].



Şekil 1. Adularya işletme sahası kömür rezervi

Ocak temiz hava giriş desandrisinin kesiti 24 m², uzunluğu 400 m olup eğimi 16°'dir. Ocak hava çıkış desandrisi kesiti 24 m², uzunluğu 350 m olup,

eğimi 13°'dir. Ocak hava çıkış desandrisi Şekil 2'de gösterilmiştir.

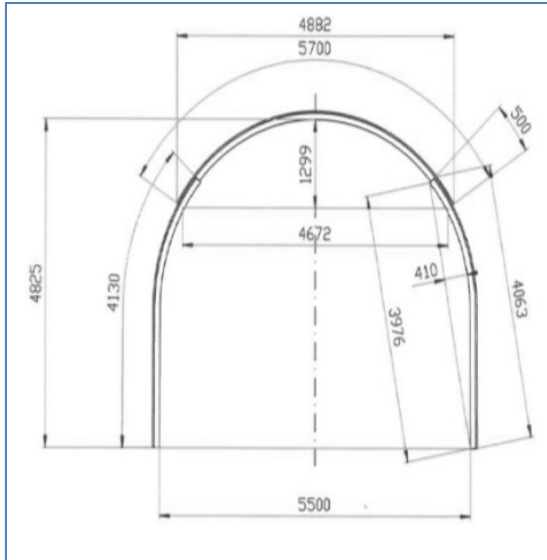


Şekil 2. Ocak hava çıkış desandrisi

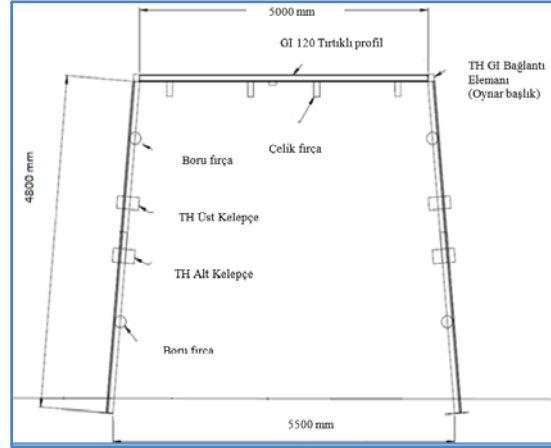
İşletmenin yeraltı ocağında galerilerde uygulanan kazı yöntemleri; galeri açma makinesi ile ilerleme ve delme patlatma yöntemidir.

2.1. Hazırlık Galerilerinde Tahkimat

Ocağa giriş ana galerilerin 100 m'lik kısımlarında beton tahkimat, devamında ise galeri kesitinin durumuna göre GI veya TH Çelik tahkimatı (Şekil 3 ve 4) uygulamaktadır. Ayrıca galerinin gerekli görülen kısımlarında shotcrete (püskürtme beton) uygulaması da yapılmaktadır.



Şekil 3. TH Tahkimat



Şekil 4. GI Tahkimat

2.2. Üretim Yöntemi

Adularya Madencilik A.Ş işletmesinde rezervin üretilmesi yeraltı işletme yöntemiyle yapılmakta olup, yeraltı üretim yöntemi olarak; “geri dönümlü arkadan geçertmeli uzun ayak üretim yöntemi” seçilmiştir. Taşta sürülen galerilerin kömür damarını kestiği noktalardan itibaren damarın doğrultusunda ve eğimine göre kömür içerisinde tavan-taban yolları sürülerek panolar oluşturulmuştur.

2.3. Havalandırma Sistemi

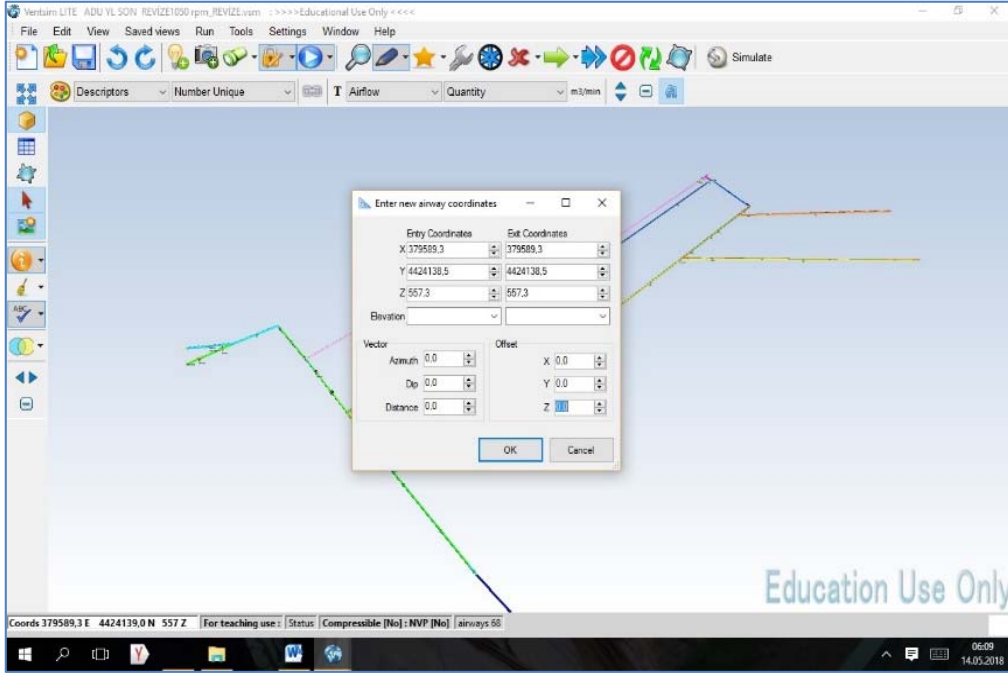
Ocak içerisinde düzenli olarak hava hızı, gaz değerleri ve sıcaklık ölçümleri yapılmaktadır. Ocak içerisinde havalandırma nefeslikten emici vantilatörle ve doğal havalandırma ile yapılmaktadır. Emici vantilatörler yedekli olarak çalışmakta, arıza olduğunda diğeri devreye girmektedir. Enerji kesilmesi vb. durumlarda otomatik olarak jeneratör devreye girerek bu emici ana vantilatörü çalıştırmakta olup, gücü 110 kW'dır. Ana havalandırma yanında yeraltında hazırlık galerilerinde tali vantilatörlerle de havalandırma yapılmaktadır.

3. VENTSIM® PROGRAMI İLE TASARIM

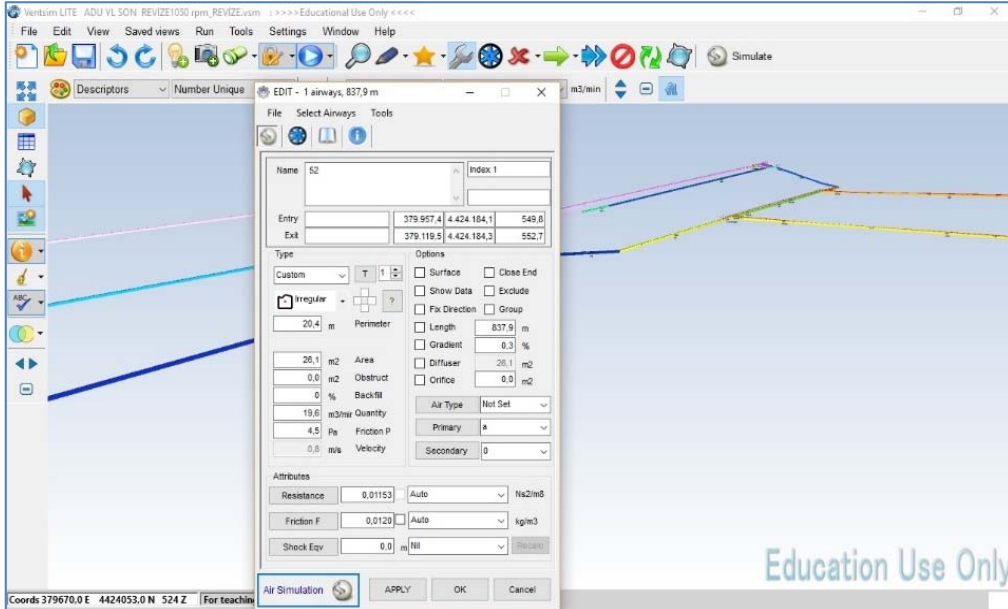
Ventsim® programı bir havalandırma tasarım programı olup, gelecekte oluşturulması düşünülen

panoların hava dağılımlarını analiz etmek amacıyla kullanılır. Hava yolu başlangıcı ve hava yolu bitişi için koordinat girişi aşağıda verilmiştir (Şekil 5).

Hava yolu, genişlik, yükseklik, tahkimat özelliği, sürtünme faktörü vb. verilerin girildiği pencere Şekil 6'da verilmiştir.

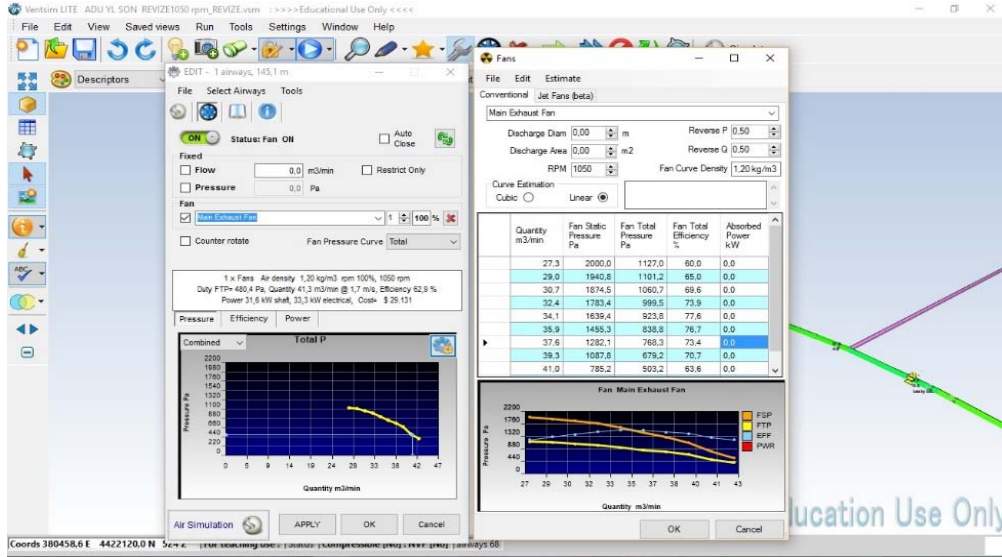


Şekil 5. Koordinat verileri giriş penceresi



Şekil 6. Hava yolu özellikleri veri giriş penceresi

Vantilatör eğrisini düzenlemek için Şekil 7’de verilen “Edit Fan Curve” sekmesi seçilerek vantilatör karakteristik eğrisi oluşturulmaktadır.



Şekil 7. Vantilatör çalışma koşullarının girildiği pencere

4. UYGULAMA ÇALIŞMASI

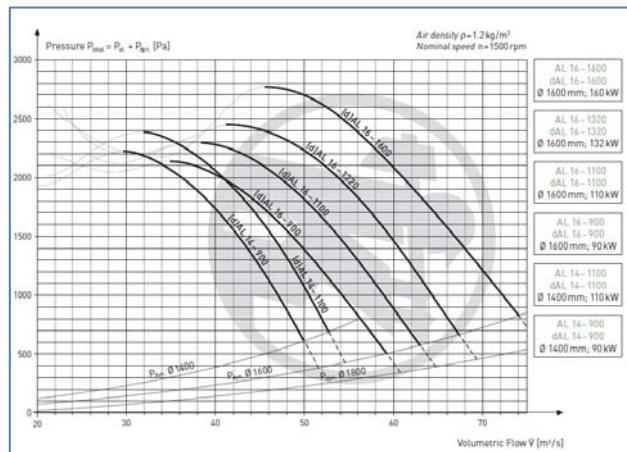
Adularya yeraltı kömür ocağı için Çizelge 1’de verilen bilgiler, yerinde yapılan çalışmalar ile belirlenmiştir. Bu bilgiler Ventsim® programı için temel oluşturmaktadır. Ocak içerisindeki ölçüm yapılan yerlerin x, y ve z koordinatları planlama biriminden alınmıştır. Havalandırma tasarımında eğim ve kesit farklılıkları dikkate alınarak galeri

bölmeleri oluşturulmuştur. Galeri bölümlerinde, o galerinin kesit ve eğimini temsil eden en uygun noktada hava hızı ölçümleri mobil anemometre EXTECH SDL 350 ile yapılmıştır. Kullanılan anemometre, Şekil 8’de verilmiştir.

Şirket Korfmann firmasının (dAL-1100) emici vantilatörünü kullanmakta olup, karakteristik eğrileri Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 8. EXTECH SDL 350



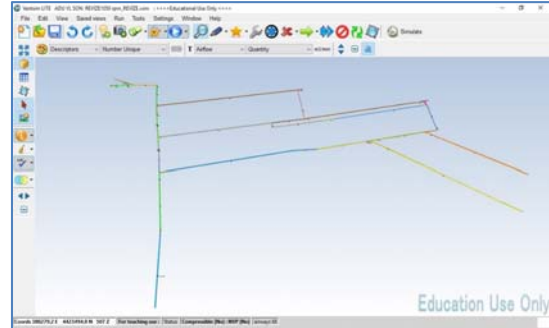
Şekil 9. Vantilatör karakteristik eğrileri

Çizelge 1’de, ölçüm yapılan noktalardaki hava hızı ve hava yollarının özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1. Hava yollarının özellikleri

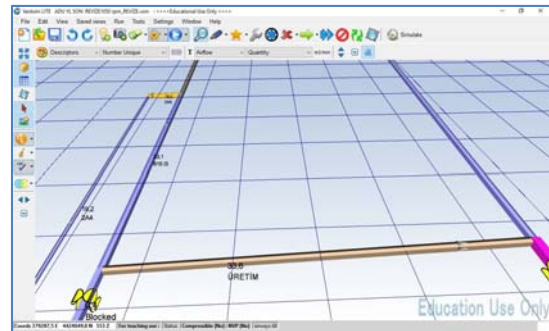
No	Ölçüm Noktası	Hava Hızı (m/sn)	Alan (m ²)	Debi (m ³ /dk)
	Kuzey Desandre	1,56	24,57	2299,752
1	A1	1,63	23,63	2311,014
2	A2	1,62	23,61	2294,892
3	A3	1,61	23,58	2277,828
4	A4	0,80	25,44	1221,120
5	A5	0,69	24,52	1015,128
6	A6	0,71	23,57	1004,082
7	A7	0,35	21,38	448,980
8	A8	0,34	21,43	437,172
9	A9	1,72	22,30	2301,360
10	A10	1,61	24,56	2372,496
11	A11	1,64	24,51	2411,784
12	D3	1,72	22,38	2309,616
13	51	0,89	24,83	1326,029
14	52	0,82	26,12	1285,104
15	53	0,89	24,62	1314,708
16	54	1,17	19,20	1347,840
17	55	0,55	17,95	592,350
18	56	1,18	18,20	1288,560
19	510K1	1,42	16,00	1363,200
20	510K2	1,39	15,80	1317,720
21	510 K3	0,59	15,20	538,080
22	HAZ 1410	0,63	18,35	693,630
23	HAZ 1409	0,67	17,42	700,284
24	2A1	1,50	14,50	1305,000
25	2A2	1,51	14,30	1295,580
26	2A3	1,54	13,45	1242,780
27	2A4	5,80	3,64	1266,720
28	2A5	1,06	19,78	1258,008
29	610/1	0,66	21,34	845,064
30	610/2	0,74	17,67	784,548
31	610/3	2,05	16,50	2029,500
32	ÜRETİM	1,91	17,50	2005,500
33	609/1	2,20	15,20	2006,400

Yukarıda verilen bilgiler sırasıyla Ventsim® programına girilmiş ve elde edilen tasarım Şekil 10’da verilmiştir.

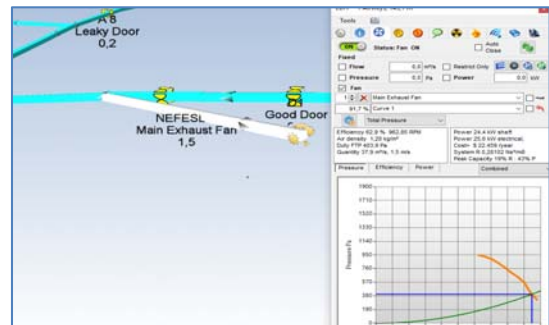


Şekil 10. A06 panosuna ait Ventsim® tasarımı

İşletmede A06 panosunda tam mekanize ayak ile üretim yapılmakta olup, ayakta geçen hava miktarı 33,5 m³/s olarak belirlenmiştir (Şekil 11). Püskürtme betonlu havayolları için sürtünme faktörü 0,0033 kg/m³, GI veya TH çelik tahkimatlı yollar için 0,012 kg/m³ alınmıştır. Ocağın eşdeğer direnci 0,28102 Ns²/m⁸ olarak belirlenmiştir. Hava giriş ve çıkış nefesliklerinde belirlenen hava hızları 1,5 m/s olup, vantilatör yaklaşık %92 kapasitede çalıştırılmaktadır (Şekil 12).



Şekil 11. Ayaktan geçen hava miktarları



Şekil 12. Hava çıkış nefesliğinde hız değerleri (m/s)

5. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Benzetim çalışmasının güvenilirliğini kanıtlamak için hipotez testi kullanılmıştır. Çizelge 2'de Ventsim® programından elde edilen sonuçlar ve ölçümlerden elde edilen değerler gösterilmiştir.

Çizelge 2. Ventsim® ve ölçüm değerleri

	İSİM	Ventsim®		Ölçüm		Debi Farkı
		Debi	Hız	Debi	Hız	
	Kuzey Desandre	37,9	1,5	38,3292	1,56	0,4292
1	A1	37,9	1,6	38,5169	1,63	0,6169
2	A2	37,9	1,6	38,2482	1,62	0,3482
3	A3	37,9	1,6	37,9638	1,61	0,0638
4	A4	18,4	0,7	20,352	0,8	1,952
5	A5	18,4	0,8	16,9188	0,69	-1,4812
6	A6	18,4	0,8	16,7347	0,71	-1,6653
7	A7	4,3	0,2	7,483	0,35	3,183
8	A8	4,3	0,2	7,2862	0,34	2,9862
9	A9	37,9	1,8	38,356	1,72	0,456
10	A10	37,9	1,5	39,5416	1,61	1,6416
11	A11	37,9	1,5	40,1964	1,64	2,2964
12	D3	37,9	1,5	38,4936	1,72	0,5936
13	51	19,5	0,8	22,1004	0,89	2,60048
14	52	19,5	0,7	21,4184	0,82	1,9184
15	53	19,5	0,8	21,9118	0,89	2,4118
16	54	19,5	1	22,464	1,17	2,964
17	55	8,3	0,5	9,8725	0,55	1,5725
18	56	19,5	1,1	21,476	1,18	1,976
19	510K1	19,5	1,2	22,72	1,42	3,22
20	510K2	19,5	1,2	21,962	1,39	2,462
21	510K3	7,6	0,5	8,968	0,59	1,368
22	HAZ 1410	11,6	0,6	11,5605	0,63	-0,0395
23	HAZ 1409	11,3	0,6	11,6714	0,67	0,3714
24	2A1	19,2	1,3	21,75	1,5	2,55
25	2A2	19,5	1,4	21,593	1,51	2,093
26	2A3	19,5	1,4	20,713	1,54	1,213
27	2A4	19,5	5,3	21,112	5,8	1,612
28	2A5	19,5	1	20,9668	1,06	1,4668
29	610/1	14,1	0,7	14,0844	0,66	-0,0156
30	610/2	14,1	0,8	13,0758	0,74	-1,0242
31	610/3	33,5	2	33,825	2,05	0,325
32	ÜRETİM	33,5	2	33,425	1,91	-0,075
33	609/1	33,5	2,2	33,44	2,2	-0,06

5.1. Hipotez Testi

Teorik olarak veya geçmiş gözlemlere göre ana kütle ortalaması (μ) ve standart sapması (σ) bilinen bir kütleden, yeni bir teknoloji veya yöntem

uygulanması sonrası yapılan örnekleme sonucunda hesaplanan örnek kütle ortalamasının test edilmesinde H_0 hipotezi $H_0: \bar{X} = \mu$ şeklinde kurulur. Uygulanan yeni teknoloji veya yöntemin ana kütle ortalamasını değiştirmedeği kabulüne dayanan H_0 hipotezine karşıt olarak ise H_1 hipotezi üç farklı şekilde oluşturulabilir [11].

$$H_1: \bar{X} \neq \mu \quad (\text{Çift taraflı test})$$

$$H_1: \bar{X} > \mu \text{ veya } \bar{X} < \mu \quad (\text{Tek taraflı test})$$

Belirli bir α güven seviyesi için standart normal dağılım (Z) çizelgelerinden; tek taraflı test için Z_α , çift taraflı test için $Z_{\alpha/2}$ belirlendikten sonra red bölgesi tanımlanır.

Ortalamaların testinde, ana kütleden yapılacak çok sayıda örnekleme sonucunda elde edilecek örnek kütle ortalamalarının normal dağılıcağı varsayılarak, test istatistiği standart normal değer (Z_h) eşitliği yardımıyla hesaplanır.

$$Z_h = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma_x} \quad (1)$$

σ_x : Ana kütleden yapılan örnekleme sonucu elde edilen ortalamaların standart sapması olup,

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{n} \quad (2)$$

kabul edilebilmektedir. Bu eşitlikte, σ : ana kütle ortalaması, n : örnek kütle ortalamasının örnek sayısıdır. Ana kütle standart sapmasının (σ) bilinmediği, fakat örnek kütle ortalamasının standart sapmasının (S) bilindiği durumlarda, örnek kütle ortalaması 30'dan büyük olduğundan $\sigma = S$ kabul edilebilmektedir.

Test istatistiğinin hesaplanması sonrasında $Z_h > Z_\alpha$ veya $Z_h < -Z_\alpha$ ise, Z_h red bölgesinde kalacağından H_0 hipotezi red edilir. Bunun tersi bir durumda ise Z_h kabul bölgesinde kalacağından H_0 hipotezi kabul edilir ve H_1 red edilir.

5.2. Ölçülen Hava Hızı ve Benzetim Değerlerinin Karşılaştırması

İşletmede ortalama hava hızı değerleri 1,3285 m/sn olarak ölçülmüştür. Ventsim® havalandırma benzetim programı kullanılarak tahmin edilen hava hızı ortalamaları ise 1,2471 m/sn olarak tespit edilmiştir. Tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Çizelge 3’de verilmiştir. Bu iki değer arasında bir farklılık olup olmadığını test etmek amacıyla %95 güven seviyesinde ortalamaların testi kullanılmıştır.

Çizelge 3. Hava hızı için tanımlayıcı istatistikler

Hız	N	Min	Max	μ	σ
Ölçüm	34	0,34	5,80	1,3285	0,9399
Ventsim	34	0,20	5,30	1,2471	0,8815

$$H_0 : \bar{X} = \mu = 1,3285 \text{ m/sn}$$

$$H_1 : \bar{X} > \mu = 1,3285 \text{ m/sn (Tek taraflı test)}$$

$Z_h > Z_\alpha$ ise H_0 red edilir, H_1 kabul edilir.

Eşitlik 1 ve 2 kullanılarak $Z_h=0,5384$ olarak hesaplanmış ve $Z_h=0,5384 < Z_\alpha=1,645$ olduğundan H_1 hipotezi reddedilmiş ve H_0 hipotezi kabul edilmiştir. Ölçülen hava hızı değerleri ile Ventsim® benzetim programı ile belirlenen hava hızı değerleri arasında farklılık olmadığı söylenebilir.

5.3. Ölçülen Debi ve Benzetim Değerlerinin Karşılaştırması

İşletmede ortalama debi değerleri 23,7803 m³/sn olarak ölçülmüştür. Ventsim® havalandırma benzetim programı kullanılarak tahmin edilen debi ortalamaları ise 22,5941 m³/sn olarak tespit edilmiştir. Tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Çizelge 4’te verilmiştir. Bu iki değer arasında bir farklılık olup olmadığını test etmek amacıyla %95 güven seviyesinde ortalamaların testi kullanılmıştır.

Çizelge 4. Debi için tanımlayıcı istatistikler

Debi	N	Min	Max	μ	σ
Ölçüm	34	7,29	40,20	23,7803	10,5795
Ventsim	34	4,30	37,90	22,5941	10,8597

$$H_0: \bar{X} = \mu = 23,7803 \text{ m}^3/\text{sn}$$

$$H_1 : \bar{X} > \mu = 23,7803 \text{ m}^3/\text{sn (Tek taraflı test)}$$

$Z_h > Z_\alpha$ ise H_0 red edilir, H_1 kabul edilir.

Eşitlik 1 ve 2 kullanılarak $Z_h=0,6369$ olarak hesaplanmış ve $Z_h=0,6369 < Z_\alpha=1,645$ olduğundan H_1 hipotezi reddedilmiş ve H_0 hipotezi kabul edilmiştir. $Z_h < Z_\alpha$ olduğundan H_1 hipotezi reddedilir, H_0 hipotezi kabul edilir. Ölçülen debi değerleri ile Ventsim® benzetim programı ile belirlenen debi değerleri arasında da farklılık olmadığı bulunmuştur.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yeraltı maden ocaklarında bilgisayar destekli havalandırma tasarımı maden mühendislerine büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Ventsim® havalandırma tasarım programı ile ocak toplam direnci, ocağa giren hava miktarı, kollardaki hava dağılımları, vantilatör gücü ve şebeke verimi kolaylıkla belirlenmektedir. Yeraltı ocaklarındaki havayollarının sürtünme faktörü değerlerini belirlemek için kullanılan standart tablolar dışında, benzetim çalışmalarıyla da gerçeğe yakın sürtünme faktörleri belirlenebilir. İşletmede ayaktan geçen hava miktarı 33,5 m³/s olarak belirlenmiş olup, hava giriş ve çıkış nefesliklerinde belirlenen hava hızları, 1,5 m/s’dir. Bu hız değerleri, “Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği” yönetmeliğinin belirttiği yasal sınırlar arasında kalmıştır. Püskürtme betonlu havayolları için sürtünme faktörü 0,0033 kg/m³, GI veya TH çelik tahkimatlı yollar için 0,012 kg/m³ alınmıştır. Ocağın eşdeğer direnci 0,28102 Ns²/m⁸ olarak belirlenmiş olup, vantilatör yaklaşık %92 kapasitede çalıştırılmaktadır. Yakın bir gelecekte üretim planlamasında yer alan diğer panolar çalışılmaya başlandığında, mevcut vantilatörün yetersiz kalacağı söylenebilir. Tasarım programları ile geleceğe yönelik tasarımlar başarılı bir şekilde yapılmakta olup, doğruluk seviyeleri de oldukça yüksektir. Bu çalışmada Adularya yeraltı kömür madeninden alınan veriler Ventsim® havalandırma tasarım programına girilmiş ve elde edilen sonuçlar gerçek verilerle karşılaştırılmıştır. Gerçek değerler

ile tasarım sonuçlarının benzer olması, kullanılan veri setinin güvenilir olduğunu göstermektedir. İşletme bundan sonraki tasarımlarında bu veri setini kullanarak geleceğe yönelik güvenilir planlamalar yapabilir.

7. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından 2017-1238 proje numarası ile desteklenmiştir.

8. KAYNAKLAR

1. Widzyk-Capehart, E., Watson, B., 2001. Agnew Gold Mine Expansion, Mine Ventilation Evaluation Using Ventsim, Proceedings of the 7th International Mine Ventilation Congress, Poland, 345-352.
2. Widzyk-Capehart, E., Fawcett, C., 2001. Life of Mine Ventilation Requirements for Bronzewing Mine Using Ventsim, Proceedings of the 7th International Mine Ventilation Congress, Poland, 815-822.
3. Wei, F., Fangping Z., Huiqing L., 2011. The Use of 3D Simulation System in Mine Ventilation Management, Procedia Engineering, 26, 1370-1379.
4. Exikis, A., Kapageridis, I.K., 2006. Simulation of Air and Contaminant Flow in Underground Mine Ventilation Networks, 2nd International Conference on Advances in Mineral Resources Management and Environmental Geotechnology (AMREG 2006), Greece.
5. Felsner, A., 2013. Application of Ventsim Visual at the Show Mine Erzberg, Montanuniversität Leoben. Department Mineral Resources and Petroleum Engineering, Bachelor Thesis.
6. Osgoui, R.R., Madani, H., 2003. Designing the Ventilation System for Galandroud Coal Mine, 18th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Antalya, 253-258.
7. Dilekçi, T., 2010. TTK Kozlu Müessesesi Ocakları Havalandırma Şebekesinin Kazemaru Havalandırma Programı Kullanılarak Çözümlemesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 182.
8. İnan, C., 2005. Çayırhan Kömür Madeni G Sahası için Havalandırma Modeli Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 66.
9. Dalgıç, A., 2001. Ventilation Design of the Guleman Kef Chromium Mine, Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 154.
10. Çakır, B., 2018. Yeraltı Maden Ocaklarında Bilgisayar Destekli Havalandırma Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 59.
11. Konuk, A., Önder, S., 1999. Maden İstatistiği, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, Eskişehir.

Alternatif Yakıt Olarak Lignoselülozik Etanol Üretimi: İplikhane Pamuk Telefleri Üzerine Bir Çalışma

Aslı ABDULVAHİTOĞLU*¹

¹Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 17.02.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Öz

Enerji talebi, teknolojinin ve sanayinin gelişmesine paralel olarak her geçen gün artmakta, diğer taraftan en eski ve en çok kullanılan enerji kaynağı olan fosil yakıtlar artan enerji ihtiyacı ile birlikte hızla tükenmektedir. Aynı zamanda hava kirliliği, sera gazı etkisi ve küresel ısınmadan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ön plana çıkmaktadır. Lignoselülozik biyokütle bu yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Etanol, lignoselülozik biyokütleden üretilir. Etanolün hammadde kaynağı olarak sadece yiyecek maddeleri ile çevresel öneme haiz olan ormanları kullanmayıp, tarımsal veya endüstriyel tarım atıklarından da elde edilebileceği için önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada iplikhane pamuk telefleri kullanılarak sırası ile önhazırlık, piroliz, enzimatik hidroliz ve fermantasyon işlemleri yapılmıştır ve yaklaşık %18,75 alkol dönüşüm oranı belirlenmiştir. Pamuk liflerinden 1000 g için ortalama 60,22 g etil alkol elde edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Etanol, Enzimatik hidroliz, Lignoselüloz

Production of Lignocellulosic Ethanol as an Alternative Fuel: A Study on Cotton Yarn Wastes

Abstract

Energy increases day by day in parallel with the development of technology and industry, on the other hand, the oldest and the most widely used energy source fossil fuels, are depleted rapidly by this demand. At the same time, the use of renewable energy sources is a priority for air pollution, greenhouse gas and global warming effect. Lignocellulosic biomass is one of these renewable energy sources. Ethanol can be produced from lignocellulosic biomass. As a source of raw materials, it is important not only to use forests that have ecological significance with foodstuffs but also for agriculture or industrial wastes. For this reason, in this study, the cotton yarn waste was used as raw material. Pyrolysis, enzymatic hydrolysis and fermentation were applied and ethyl alcohol was obtained and approximately 18,75% alcohol conversion rate was determined. It was concluded that 60.22 grams of ethyl alcohol could be obtained for 1000 grams of cotton fibres.

Keywords: Ethanol, Enzymatic hydrolysis, Lignocellulose

*Sorumlu Yazar (Corresponding author): Aslı ABDULVAHİTOĞLU, aabdulvahitoglu@atu.edu.tr

1. GİRİŞ

Geleneksel olarak bilinen ve yaygın olarak kullanılan klasik enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Aynı zamanda, bu kaynaklar çevre için büyük ve geri dönüşü olmayan tehlikelere de sebep olmaktadır. Klasik enerji kaynakları, artan ihtiyacı ve gelişen teknolojiyi beslemekte yetersiz kaldığından; gelişmiş ülkeler enerji çeşitliliğini artırarak, yayarak ve belli enerji kaynaklarına bağımlı kalmamaya çalışarak alternatif enerji arayışlarını sürdürmektedirler. Diğer yandan, yeni veya yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği de artmaktadır. Bunların bir kısmı ekonomik olduğu için alternatif enerji kaynağı olarak değer kazanmaktadır. Tamamının ortak yönü ise çevreye olumsuz etkilerinin olmamasıdır. Bu nedenle, biyoyakıtların alternatif yakıt olarak kullanımları hızla yaygınlaşmaktadır.

Daha çok tarımsal ürünlerden ve atıklarından, değişik kimyasal yöntemler kullanılarak elde edilen biyoyakıtlar, genellikle benzin ve motorinle karıştırılarak birlikte kullanılmaktadır. Biyoyakıtlar;

- Fosil kökenli yakıtların neden olduğu çevresel tahribatı azaltması,
- Egzoz emisyonlarının sağlık açısından risklerini en aza indirmesi,
- Enerjide dışa bağımlılığı azaltması ve
- Tarımsal kalkınmaya katkı sağlaması nedeni ile gündeme gelmektedir.

Etanol otomobil yakıtı olarak ilk defa 1908 yılında Henry Ford tarafından denenmiştir. Henry Ford'un denemesi başarılı olmasına rağmen benzin fiyatları etanole göre çok daha ucuz olduğundan, etanolün yakıt olarak kullanımı yaygınlaşmamıştır [1]. I. ve II. dünya savaşlarında yaşanan petrol kıtlığı, alkol tabanlı yakıtlara olan ilgiyi canlandırmıştır. 1970'lerdeki petrol krizi ise yenilenebilir alternatif yakıt kaynaklarına olan ihtiyacı tekrar gündeme getirmiştir [2].

Bunlardan biri olan etanol, eski çağlardan beri şekerin mayalanması ile elde edilmektedir. Etanol kimyasal formülü C_2H_5OH olan, temiz, renksiz, yanıcı ve oksijenatlı bir hidrokarbondur. Etanol

elde etmek için önce, tarım ürünlerinde var olan nişasta şekere dönüştürülmekte ve müteakiben şekere mayalama işlemi yapılmaktadır. Etanolün çok değişik hammadde kaynakları bulunmakta olup; tahıl, melas, meyve, şarap, selüloz bunlardan bazılarıdır.

2017 yılında dünyada yaklaşık 481 milyon m^3 etanol üretilmiştir. Brezilya ve ABD birlikte dünya etanol üretiminin %84'ünü gerçekleştirirken, AB %5'ini üretmektedir [3]. Yakıt etanolü Brezilya'da şeker kamışından, ABD'de ise mısırdan üretilmektedir. Türkiye'nin etanol üretim kapasitesi Çizelge 1'de gösterildiği gibi olup, toplam kapasite yıllık 150 bin m^3 'tür.

Çizelge 1. Türkiye'nin etanol üretimi [4]

Firma Adı	Üretim/yıl m^3	Şehir	Hammadde
Konya Şeker Çumra Fabrikası	84.000	Konya	Şeker Pancarı
Tarımsal Kimya Teknolojileri (TARKİM)	40.000	Bursa	Buğday, Mısır
Tezkim Tarımsal Kimya (TEZKİM)	26.000	Adana	Buğday, Mısır

Etanol yenilenebilir enerji olduğu için yakıt olarak kullanılması durumunda karbondioksit emisyonunun azalmasına da katkı sağlayacaktır. Etanol ve fosil yakıtlar yandıkları zaman her ikisi de havaya karbondioksit salmaktadır. Ancak etanolün yanması ile atmosfere salınan karbondioksit etanol üretiminde kullanılan hammadde kaynakları tarafından emildiğinden, ortaya çıkan CO_2 nötr kabul edilmektedir. Bu nedenle etanolün alternatif motor yakıtı olarak kullanımı hızla yayılmaktadır.

Etanolün alternatif yakıt olarak kullanılması durumunda hızla nüfusu artan dünyada insanların gıda kaynaklarını etkilemeyecek hammadde kaynakları üzerinde durulmalıdır. Bu kapsamda yiyecekler, tahıllar, şekerler veya ormanlar kullanılmamalı, daha bol ve verimli olan selülozik hammaddeler, enzimler ve yeni teknolojiler kullanılarak selülözün parçalanması ve şekere dönüştürülmesi ile etanol elde edilmesi yoluna gidilmelidir.

Dünya nüfusundaki artış ve yaşam standartlarındaki gelişme sonucunda tekstil tüketimi her geçen gün artmaktadır. Günümüzde tekstil endüstrisi ve tekstil yan sanayinde atıksız üretime tam olarak ulaşamamıştır. Bu nedenle sıfır atık projesi kapsamında tekstil atıklarının asgariye indirilmesi ve yeniden kullanımı bu alanda çalışan tasarımcıların ana gündemi olmaktadır [5]. Tekstil atıkları deyince akla iplik ve kumaş üretimi esnasında ortaya çıkan atıklar ile hazır giyim üretimi esnasında ortaya çıkan kumaş artıkları gelmektedir [6].

Dünyada her yıl yaklaşık 1 milyon ton tekstil atığı ortaya çıkmaktadır. Bunların büyük bir kısmı iplik ve kumaş üretiminde ortaya çıkan tekstil teleflerinden oluşmaktadır. Bir ring işletmesinde karde iplik üretimi esnasında yaklaşık %5,5-10,5, penye iplik üretiminde yaklaşık %12, kumaş üretimi ve konfeksiyon aşamalarında ise yaklaşık %23 oranında telef ortaya çıkmaktadır [7]. Bu teleflerin bir kısmı yeniden işlenerek tekrar iplik üretiminde kullanılmaktayken büyük bir kısmı ise yakılarak yok edilmekte ya da düşük fiyatlarla dış ülkelere satılmaktadır. Ancak yapılan araştırmalar tekstil atıklarının birçok endüstriyel ürün için hammadde kaynağı olarak kullanılabilceğini göstermektedir [8,9].

Bu araştırmalarda pamuğun selüloz içeriği kuru ağırlığının %85-95 oranında değiştiği görülmüş olup bu çok yüksek bir orandır ve biyoyakıt dönüştürülmesini kimyasal olarak mümkün kılmaktadır. Yapılan bir çalışmada, pamuğun yüksek oranda selüloz içeren nadir hammaddelerden biri olduğu tespit edilmiştir [10].

Chena ve arkadaşları (2007) [11], Tucker ve arkadaşları (2003) [12], Öhgren ve arkadaşları (2007) [13], Kaar ve Holtzaple (2000) [14] mısır koçanından; Kristensen ve arkadaşları (2007) [15] buğday sapı, Cao ve arkadaşları (2012) tatlı sorgum [16], Oberoi ve arkadaşları (2010) pirinç sapı [17] vb. gibi farklı lignoseküközük biyoküteller üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Kimyasal yapısına bakıldığında içindeki %80 selüloz içeriği ile pamuk diğer lignoselülozik yapılara göre etanol üretimi için daha iyi bir potansiyel olarak değerlendirilebilir [18]. Yapılmış

olan literatür taramasında kullanılması düşünülen iplikhane teleflerinden etanol üretimi hakkında bir çalışmaya rastlanmamıştır. Dolayısı ile yapılan bu araştırmanın ülkemizde sıfır atık projesi kapsamında öncü bir çalışma olacağı düşünülmektedir.

2. ALTERNATİF YAKIT OLARAK ETANOL

Etanol yakıt olarak, susuz etanol (%100 etanol), sulu etanol (%5 su-%95 etanol), susuz etanol-benzin karışımları (benzin içinde %10-20 etanol) ve Etil Tersiyer Bütil Eter (ETBE) hammaddesi olmak üzere 4 farklı şekilde kullanılabilir [1]. Etanol ve benzinin yakıt değerleri Çizelge 2’de gösterildiği gibi olup daha çok karıştırılarak kullanılmaktadır. Etanol içten yanmalı motorlarda yüksek performans sağlamak ve özellikle benzin ile karışım oranı arttığı zaman nispeten daha temiz yanmaktadır. Buharlaşma ve zehirli emisyonlarının oranı ise benzinden daha düşüktür [2].

Bu nedenle fosil yakıtların yoğun olarak kullanıldığı dünyada çevresel açıdan büyük sıkıntılar söz konusu olduğu günümüzde çözüm alternatiflerinden biri olarak biyoyakıtlar gösterilmektedir. Biyoyakıtlar motorin veya benzin ile kıyaslandığında CO₂ emisyonunu %90 oranında azaltmaktadır [6].

Çizelge 2 Etanol’un yakıt olarak değerleri [19,20]

Yakıt Tipi	Benzin	Etanol
Yoğunluk 15°C (kg/l)	0,69-0,79	0,789
Kinematik viskozite (mPa s @ 20°C)	0,37-0,44	1,19
Kaynama noktası (°C)	27-225	78,3
Parlama Noktası (°C)	-43	13
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	257	423
Oktan Sayısı (araştırma)	88-100	108,6
Oktan Sayısı (motor)	80-90	89,7

Etanol çeşitli ülkelerde %5-%25 oranlarında karışım olarak kullanılmaktadır. Çizelge 3’de yer alan bazı ülkelerde belli oranlarda etanol kullanılması zorunludur [41]. Ülkemizde ise resmi gazetede yayınlanan 27 Eylül 2011 tarihli ve

28067 sayılı Tebliğ'e göre piyasaya akaryakıt olarak arz edilen benzin türlerinin, yerli tarım ürünlerinden üretilmiş etanol içeriğinin 2013 yılı itibariyle en az %2, 2014 yılı itibariyle en az %3 olması zorunludur [21].

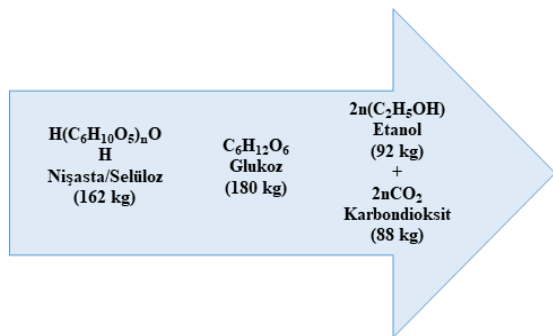
Çizelge 3. Etanol kullanımı zorunlu olan bazı ülkeler ve oranları [22]

Ülke	Oran	Ülke	Oran
Arjantin	E5	Pakistan	E10
Avustralya	E10	Avusturya	E10
Brezilya	E20-E25	Danimarka	E5
Paraguay	E18-E24	Fransa	E5-E10
Kolombiya	E10	Almanya	E5-E10
Hindistan	E5	İrlanda	E4
Yeni Zelanda	E10	Kanada	E5

Etanol üretimi için kullanılan hammaddeler genel olarak 3 sınıfa ayrılabilir. Bunlar;

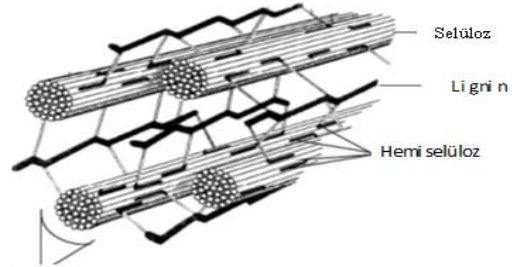
- Sukroz içeren ham maddeler (şeker kamışı, şeker pancarı vb.),
- Nişasta içeren hammaddeler (mısır, buğday, pirinç) ve
- Lignoselülozik ham maddeler (Mısır sapı ve buğday çöpü gibi tarımsal atıklar, odun ve enerji bitkileri)'dir [23].

Etanol üretimi için hangi hammadde kullanılırsa kullanılsın temel olarak Etanol fermantasyonunda hammadde olarak basit (monomerik) şekere ve ekmekeçi mayasına (*Saccharomyces cerevisiae*) ihtiyaç duyulur. Geleneksel maya fermantasyonunda 1 kg herhangi bir altı karbonlu şekerden (glikoz, manoz veya sakaroz) 0,51 kg etanol üretilmektedir [24].



Şekil 1. Nişasta ve selüloz hidrolizini takiben glikozun ekmekeçi mayası kullanılarak etanole dönüştürülmesi [24]

Şekerler doğrudan etanole dönüşebilirken daha karmaşık yapıdaki karbonhidratlar (nişasta ve selüloz) maya (fermantasyon enzimlerini üreten mikroorganizmalar) fermantasyon işlemini yapmadan önce basit şekerler haline parçalanmalıdır [25]. Daha elverişli ve düşük maliyetli kaynaklar elde etmek için ise, nişasta içermeyen, yiyecek ile ilgisi olmayan (yani besin zincirinde yer almayan) ağaçlar, otlar ve tarımsal atık vb. hammadde kaynakları üzerine odaklanılmalıdır. Daha bol ve verimli olan selülozik hammaddeler, enzimler ve yeni teknolojiler kullanılarak selülozun parçalanması ve selülozun şekere dönüştürülmesi yolu ile etanol elde edilmesi yoluna gidilmelidir.



Şekil 2. Bitkisel hücre duvarı [24]

Lignoselülozik bitkilerin içerisinde ise selüloz, hemiselüloz ve lignin bulunur. Lignin bitkilerin dik durmasını sağlayan bir polimerdir. Hemiselüloz ve lignin bileşimi, selüloz çevresinde koruyucu bir zırh oluşturur ki bu zırh selüloz hidrolizi öncesinde verimli bir işlem yapılabilmesi için uzaklaştırılmalıdır. Lignin aynı zamanda temiz kömür (kükürtsüz) olarak bilinir [26].

Lignoselülozik biyokütle içinde yer alan selüloz ve hemiselülozun altı ve beş karbonlu şekere dönüştürülmesi etanol üretmek için gereklidir. Ancak bu dönüştürme işlemi nişastanın dönüştürülmesinden daha zordur. Bu sebeple lignoselülozik hammaddeden etanol üretmek için birkaç işlem yapılması gerekir. Bunlar;

- Ön-muamele (karbonhidratların monomerik şekere hidrolizinin daha hızlı ve daha fazla yapılması için),
- Hidroliz (karbonhidrat polimerleri monomerik şekere dönüştürülür),
- Fermantasyon ve ürünlerin saflaştırılmasıdır [23].

Selüloz biyokütle içerisinde genel karbon formunda bulunur. Aynı zamanda bir glikoz polimeridir. Yüksek dereceli hidrojen bağlarından dolayı kimyasal saldırılara karşı dirençli durumdadır. Biyokütlede bulunan 4 tip şeker polimer formu hemiselülozdur. Beş karbonlu şekerler (genellikle D-galactose, D-glikoz ve D-mannose) ve üroyik asit ihtiva eder. Hemiselüloz sert kabuklu ağaçlardan

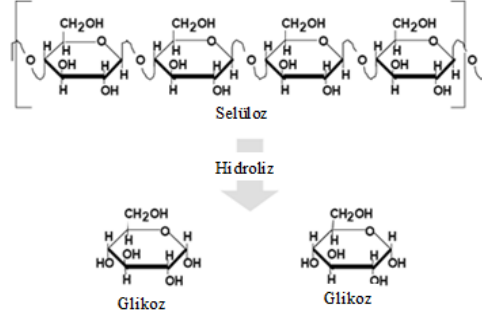
hidrolize edildiği zaman Ksiloz (5 karbonlu), yumuşak ağaçlardan ise daha fazla altı karbonlu şeker elde edilir [26]. Yapısal malzeme, bilinen adıyla lignoselüloz lignin-selüloz matrisi içinde selüloz liflerinin çapraz bağlandığı bir kompozittir. Depolimerizasyon temel bitki bileşenleri için zordur çünkü lignoselüloz hem kimyasal hem de biyolojik saldırılara karşı dirençlidir.



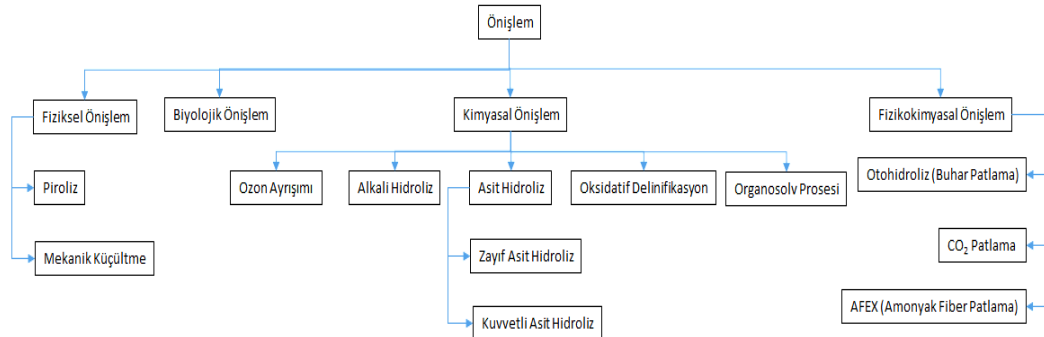
Şekil 3. Lignoselülozik etil alkol üretmek için uygulanan basamaklar

Ön işlem en pahalı adımlardan birisidir. Lignoselülozdan şekere dönüşümde, toplam işlem maliyetinin yaklaşık %33'ünü oluşturur. Ön işlemde lignoselülozik malzemenin yüzey alanının artırılması önemli bir hedefdir. Bu işlem

polisakkaritleri hidrolize işlemine (Şekil 4) daha yatkın yapar [27]. Ön işlem 4 ana başlıkta toplanabilir. Bunlar, Fiziksel, Kimyasal Ön işlem, Fizikokimyasal Ön işlem ve Biyolojik ön işlem olarak sıralanabilir (Şekil 5).



Şekil 4. Selüloz bağlarının kopartılarak glukoz şekere dönüştürülmesi [24]



Şekil 5. Lignoselülozik hammaddeye uygulanabilen ön işlemler

Hidroлиз ise önışlemeden sonra yapılan ve selüloz ile hemiselülozu fermente edilebilen şekerlere dönüştürme işlemidir. İki tip hidroлиз metodu bulunmaktadır: asit hidroлиз (Konsantre asit hidroлиз ve Zayıf asit hidroлиз) ve enzimatik hidroлиз. Enzimatik hidroлиз işleminde enzimler vasıtası ile selüloz parçalanır ve şekerlere dönüştürülür. Enzimatik hidroлизin avantajı düşük sıcaklıkta ve minimum inhibitör oluşumu ile gerçekleşmesidir. Dezavantajı ise uzun süre gerektirmesi ve enzimlerin pahalı oluşu olarak gösterilebilir [28].

3. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmada kullanılmak üzere Adıyaman ilindeki bir iplik firmasından penye pnömofil telefleri temin edilmiştir. Penye telefi, Ring ipliği üretim tesislerinde, harman hallaç kısmından geçen pamuk tarak ünitesine ulaşır ve cer ile vatka üniterlerinden de geçtikten sonra penyeye ulaşır. Penye bölümünde kısa lifler penyeleme işlemi sayesinde ayrılarak başka bir alanda biriktirilir ve “penye telefi” olarak adlandırılır.

Ham pamuğa göre oldukça temiz olan bu telefler, tekrar iplik yapımında kullanılabilen hidrofil pamuk, para kağıdı, vb. maddenin yapımında kullanılabilir. Penye telefi üzerinde toz, çepel, vb. yabancı madde miktarı çok düşük olduğu için hammaddeye ayrıca bir temizleme işlemi uygulanmamıştır.

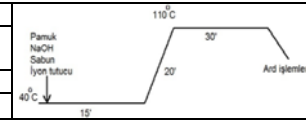
3.1. Ön İşlem ve Katı Ayrımı

Pamuk lifinin kimyasal yapısı yetiştirme koşullarına bağlı olarak kısmen değişiklikler göstermekle birlikte ham pamuğun kimyasal bileşiminde %88-96 oranında selüloz, %0,5-0,6 oranında yağ ve vaksalar, %4-6 oranında hemiselüloz ve pektin, %1,5-5 oranında protein ve %1-1,2 anorganik maddeler bulunmaktadır. Pamuklu materyale uygulanacak bazı işlemler ile selüloz yüzdesi %99'a kadar ulaşmaktadır [29].

Çalışma kapsamında öncelikle biyokütle içerisinde bulunan lignin ve diğer yabancı maddeleri uzaklaştırmak için bazı işlemler ile ön hazırlık

yapılmıştır. Bu işlem ile malzemenin yüzey alanı artırılması, içindeki selülozun ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada pamuk teleflerinin ön hazırlık işleminde kullanılmış olan bazı işlemler reçetesi ve çalışma diyagramı Çizelge 4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. Ön hazırlık reçetesi ve çalışma diyagramı

Flotte Oranı	1:15	
Yağ sökücü özelliği olan sabun (g/lt)	1	
İyon tutucu (g/lt)	0,5	
NaOH 38 °C (gr/lt)	4,36	

Ön hazırlık işleminin ardından pamuk lifleri iki kez 40 °C’de 5 dk boyunca durulama işlemine tabi tutulmuş ve NaOH artıklarının uzaklaştırılması için %0,5’lik asetik asit çözeltisi ile muamele edilmiştir. Nötralizasyon işlemi sonrasında 40 °C’de 5 dk boyunca durulama işlemine tabi tutulmuş olan pamuk lifleri etüvde 60 °C’de kurutularak ve 48 saat süreyle standart atmosfer şartlarında (20±2 °C ve %65 nispi nem) kondüsyonlanmıştır. Bu çalışmada ön hazırlık işleminden önce ve sonra yapılan ölçümler pamuk teleflerinin ön hazırlık işlemi esnasında %5,36 ağırlık kaybına uğradığını göstermektedir.

3.2. Piroлиз, Enzimatik Hidroлиз ve Fermentasyon Aşamaları

Müteakiben araştırmalarda kullanılacak kondüsyonlanmış pamuk lifleri aşağıda belirtilen metotlar ile sırasıyla işleme tabi tutulmuştur.

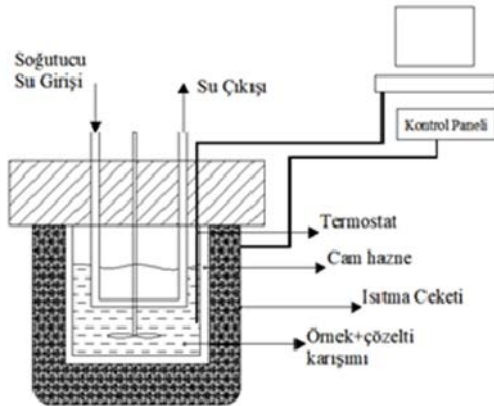
Kondüsyonlanmış pamuk lifi örneklerinin pirolizi için “PARR (ABD)” yüksek basınç reaktörü (Şekil 6) kullanılmıştır. Örneklerin enzimatik hidroлиз ve fermentasyonu için “Thermo (ABD)” çalkalamalı inkübatör kullanılmıştır. Örneklerin şeker ve alkol analizi Yüksek Basıncılı Sıvı Kromatografisinde (HPLC) (Shimadzu LC-2030 C model ve RID 20A refraktif indeks dedektörlü) (Japonya) yapılmış ve kolon olarak “Bio-Rad HPX-87H (300 x 7,8 mm)” kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan kimyasallar Sigma (Sigma Chemical Company, MO, ABD) ve Merck (Merck KGaA, Darmstadt, Almanya) firmalarından temin edilmiştir. Cellic® CTec2 enzimi Novenzyme

(Danimarka)'dan temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan maya *S. cerevisiae* (FERMIVIN LS2, Oenobrand SAS, Fransa) instant mayadır.

3.2.1. Piroliz

Piroliz işlemi Parr (ABD) yüksek basınç reaktöründe gerçekleştirilmiştir. (Şekil 6). Ayrıca uygulamada “glassliner” kullanılarak yüksek sıcaklık ve asit konsantrasyonunun neden olduğu korozyonu [30] ve buna bağlı olarak oluşabilecek fermantasyon inhibitörlerini en aza indirmek amaçlanmıştır.

Sülfürik asit ile piroliz için 5 gr kondüsyonlanmış pamuk lifi örneği 200 ml sülfürik asit (%0,5 (h/h)) çözeltisi ile karıştırılarak 120 °C'de 90 dk yüksek basınç reaktöründe tutulmuştur.



Şekil 6. Piroliz işleminin gerçekleştirildiği reaktörün şematisel gösterimi

3.2.2. Enzimatik Hidroliz

Piroliz işleminin ardından Enzimatik hidroliz işlemi için 100 ml'lik örnekler hazırlanmış, 10 M NaOH ile pH 5,0'a ayarlanmıştır. Mikrobiyal gelişimi önlemek amacı ile 0,5 g/L kloramfenikol ilave edilmiştir. Ardından 0,06 ml enzim/g Cellic CTec2 ilave edilerek çalkalamalı inkübatörde 50 °C'de 200 devir/dakika karıştırma hızında hidroliz gerçekleştirilmiştir. 3 gün boyunca hidroliz işlemi devam etmiştir. 0,45 µm'lik filtreden geçirildikten sonra HPLC'de analiz edilmiştir [31].

3.2.3. Fermentasyon

Etil alkol fermentasyonu için kullanılacak 0,2 g/L *S. Cerevisiae* (FERMIVIN LS2, Oenobrand SAS, Fransa) aktif kuru maya 20 g/L glikoz, 8,5 g/L maya ekstraktı, 1,32 g/L NH₄Cl, 0,11 g/L MgSO₄, ve 0,06 g/L CaCl₂ içeren pH'sı 5,5 olarak ayarlanan sıvı besi yerinde 30 °C'de 24 saat çoğaltılmıştır. Daha sonra maya süspansiyonu içeren besi yeri, alkol fermentasyonu yapılacak hidrolizat miktarının %10 hacminde alınıp 4000 rpm'de 4 °C'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrasında maya, fermentasyonunun gerçekleştirileceği hidrolizat ile süspansiyon edilerek alkol fermentasyonunun gerçekleştirileceği ortama eklenmiştir [32]. 3 gün fermenterde kalan örnekler HPLC'de analiz edilmiş ve alkol verimi, Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{Etanol Verimi} = \frac{\text{Oluşan Etanol Miktarı}}{\text{Fermente Edilen Şeker Miktarı}} \times 100 \quad (1)$$

HPLC ile şeker ve etil alkol tayini amacıyla enzimatik hidroliz ile fermentasyon işlemi sonunda alınan örnekler 5000 devir/dak'da 10 dakika santrifüj edildi. Santrifüj sonunda elde edilen süpernatant analizde kullanılmıştır. Bunun için örnekler 0,45 µm'lik filtreden (Milipore Millex-HV, Hidrofilik PVDF filtre) geçirilip HPLC'ye enjekte edilmiştir [33,34].

HPLC koşulları:

Enjekte edilen miktar: 20 µl

Taşıyıcı faz: 5 mM'lık sülfürik asit

Akış hızı: 0,5 ml/dak

4. BULGULAR

İplikhane pamuk teleflerine ön işleme uygulanmış, akabinde kondüsyonlanmıştır. Kondüsyonlanmış pamuk lifi örnekler önce piroliz işlemine ardından sırası ile enzimatik hidroliz ve fermentasyon işlemi için inkübatöre alınmıştır. Ardından numuneler santrifüj işlemine tabii tutulmuştur. Bu aşamadan sonra örneklerin şeker ve alkol analizi yapılmıştır. Örneklerdeki şekerlerin konsantrasyonlarının belirlenmesinde dış standart yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla, bileşiklerin

standartlarından (sükroz, glikoz, früktoz, gliserol, metanol, etanol) 6 farklı konsantrasyonda kalibrasyon çözeltileri hazırlanıp HPLC’de analiz edilmiştir. Numune 1 den elde edilen sonuca göre enzimatik hidroliz sonrası örnek içinde 0,367 g Sükroz, 5,583 g Glukoz ve 0,054 g arabinoz elde edilmiştir. İkinci numuneden ise 0,387 g Sükroz, 9,716 g Glukoz ve 0,053 g arabinoz elde edilmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Enzimatik hidroliz sonrası HPLC sonuçları

1. Numune (100 ml)		2. Numune (100 ml)	
Sükroz (g)	0,367	Sükroz (g)	0,387
Glukoz (g)	5,583	Glukoz (g)	9,716
Früktoz (g)	0	Früktoz (g)	0
Arabinoz (g)	0,054	Arabinoz (g)	0,053
Gliserol (g)	0	Gliserol (g)	0
Metanol (g)	0	Metanol (g)	0
Etanol (g)	0	Etanol (g)	0

Çizelge 6. Fermentasyon sonrası HPLC sonuçları

1. Numune (100 ml)		2. Numune (100 ml)	
Sükroz (g)	0,366	Sükroz (g)	0,386
Glukoz (g)	0,421	Glukoz (g)	0,459
Früktoz (g)	0,285	Früktoz (g)	0,296
Arabinoz (g)	0,065	Arabinoz (g)	0,112
Gliserol (g)	0,195	Gliserol (g)	0,12
Metanol (g)	0,41	Metanol (g)	0,257
Etanol (g)	1,415	Etanol (g)	1,596

Fermentasyon sonrası numuneler HPLC cihazında analiz edilmiş ve sonuçlar Çizelge 6’da belirtilmiştir. Fermentasyon sonucunda birinci numuneden 1,415 g/100 ml, ikinci numuneden 1,596 g/100 ml etanol elde edilmiş olup ve ortalama 1000 g iplikhane pamuk telefinden 60,22 g etanol elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. 1 no’lu denklem kullanılarak ortalama alkol verimi 15,79% olarak hesaplanmıştır. Burada enzimatik hidroliz sonrası elde edilen sükroz, glukoz mayalanmış ve etil alkole dönüşmüştür. Arabinoz ise mayalanmamıştır. Fermentasyon

işlemi sonucunda gliserol, metanol ve etanol meydana çıkmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada iplikhane telefleri içerisindeki selülozdan etanol elde edilmeye çalışılmıştır. Telefler içerisindeki kristal yapı; selüloz, hemiselüloz ve ligninden oluşmaktadır. Öncelikle telefler içerisinde bulunan lignin ve diğer yabancı maddeleri uzaklaştırmak için ön hazırlık işlemi yapılmıştır. Bu işlem için yağ sökücü özelliği olan sabun, iyon tutucu, NaOH kullanılmıştır. Akabinde enzimatik hidroliz uygulamak için 200 ml %1,0’lik sülfürik asit çözeltisi ve 5 g kondüsyonlanmış pamuk lifleri ile karıştırılarak 120 °C’de 90 dk süre ile piroliz edilmiş. Reaktörde piroliz işlemi tamamlandıktan sonra pH’sı 10 M NaOH ile 5,0’a ayarlanıp mikrobiyal gelişimi önlemek amacı ile 0,5 g/L kloramfenikol ilave edilmiştir. Daha sonra novozymes Cellic CTec2 kullanılarak, çalkalamalı inkübatörde 50 °C’de 200 rpm karıştırma hızında hidroliz gerçekleştirilmiştir. HPLC’de oluşan şeker miktarı ölçülmüştür. Akabinde 3 gün boyunca fermentasyonun gerçekleşeceği inkübatöre yerleştirilmiştir. HPLC ile şeker (sükroz, glikoz, früktoz) ve etil alkol tayini amacıyla piroliz sonucu, enzimatik hidroliz ve fermentasyon boyunca alınan örnekler 5000 rpm’de 10 dakika santrifüj edilerek ve santrifüj sonunda elde edilen süpernatant analizde kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda;

- HPLC yapılan ölçümler neticesinde iplikhane pamuk teleflerinden alkol eldesinin mümkün olduğu tespit edilmiş,
- Kullanılan kondüsyonlanmış pamuk liflerinden 1000 g için ortalama 60,22 g etil alkol elde edilebileceği sonucuna ulaşılmış,
- Yaklaşık %18,75 alkol dönüşüm oranı belirlenmiş,
- Bu çalışmanın devamında Çukurova bölgesinde bulunan tekstil firmalarından sağlanacak olan işlem görmüş (boyanmış) tekstil teleflerinden etil alkol üretilebilirliğinin araştırılması planlanmıştır. Bu aşamadan

sonra elde edilen etil alkolün susuzlaştırılarak saflaştırılması hedeflenmiştir.

Sonuç olarak iplikhane pamuk telefi kullanılarak etanol üretiminin hem sosyal hem de ekonomik yararları olacaktır. Bunlar:

- İthal petrole olan bağımlılığın azaltılması,
- İplikhane pamuk telefleri için alternatif pazarların oluşturulması,
- Karbon salınımının azaltılması ve
- Fosil yakıtların yenilenebilir yakıtlarla değişiminin sağlanmasıdır

6. TEŞEKKÜR

Bu proje, Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi'nin Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 17103004 no'lu Bilimsel Araştırma Projesi olarak desteklenmiştir.

7. KAYNAKLAR

1. <https://www.ag.ndsu.edu/energy/biofuels/energy-briefs/history-of-ethanol-production-and-policy> 14.2.2018.
2. DiPardo, J., 2002. Outlook for Biomass Ethanol Production and Demand, https://www.agmrc.org/media/cms/biomass_E6EE9065FD69D.pdf 14.02.2018.
3. <https://ethanolrfa.org/resources/industry/statistics/#1549569130196-da23898a-53d8> 14.2.2018
4. http://depo.btu.edu.tr/dosyalar/sanayi/Dosyalar/MURAT_ERTAS.pdf 14.2.2018.
5. Doğan, Z., 2012. Tekstil Sektöründe Atık Ekolojisi Uygulamaları 1. Uluslararası Moda ve Tekstil Tasarımı Sempozyumu, 8-10 Ekim Antalya, 2012.
6. Eser, B., Çelik, P., Çay, A., Akgümüş, D., 2016. Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Geri Dönüşüm Olanakları, Tekstil ve Mühendis, 23(101), 43-60.
7. Celep, G., Doğan, G., Yüksekaya, M.E., Tercan, M., 2016. Geri Dönüşümlü Lifler İçeren Süprem Kumaşların Isıl Konfor Özelliklerinin İncelenmesi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4, 104-112.
8. Kalın, V., 2005. Tekstil Atıkları ve Pamuk Linterinden Kağıt Hamuru ve Kağıt Üretim Koşullarının Belirlenmesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 62.
9. Usta, İ., Akalın, M., Koçak, D., Merdan, N., Taşdemir, M., 2003. Farklı Oranlardaki Pamuk Atıkları (Telef) ile Desteklenmesi PP Polimerinin Oluşturduğu Kompozit Yapıların Mekanik ve Akış Özelliklerinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 16(2), 403-410.
10. Prasad, S., Sigh, A., Joshi, H., 2007. Ethanol as an Alternative Fuel from Agricultural, Industrial and Urban Residues. Resource Convers Recycle, 50, 1-30.
11. Chena, M., Xiaaa, L., Xueb, P., 2007. Enzymatik Hydrolysis of Corn cob and Ethanol Production from Cellulosic Hydrolysate. International Biodeterioration and Biodegradation 59, 85-89.
12. Tucker, M., Kyoung, H.K., Newman, M.M., Nguyen, Q.A., 2003. Effects of Temperature and Moisture on Dilute Acid Steam Explosion Pretreatment of Corn Stover and Cellulase Enzyme Digestibility, Applied Biochemistry and Biotechnology, 105(1), ISSN:0273-2289.
13. Öhgren, K., Vehmaanpera, J., Siika-Aho, M., Galbe, M., Viikari, L., Zacchi, G., 2007. High Temperature Enzymatic Prehydrolysis Prior to Simultaneous Saccharification and Fermentation of Steam Pretreated Cornstover for Ethanol Production. Enzyme and Microbial Technology 40, 607-613.
14. Kaar, W.E., Holtzapple, M.T., 2000. Using Lime Pretreatment to Facilitate the Enzymic Hydrolysis of Cornstover, Biomass and Bioenergy 18, 189-199.
15. Kristensen, J.B., Börjesson J., Bruun, M.H., Tjerneld, F., Jørgensen, H., 2007. Use of Surface Active Additives in Enzymatic Hydrolysis of Wheat Straw Lignocellulose. Enzyme and Microbial Technology 40, 888-895.
16. Cao, W., Sun, C., Liu, R., Renzhan, Y., Xiaowu, W., 2012. Comparison of the Effects of Five Pretreatment Methods on Enhancing the Enzymatic Digestibility and Ethanol

- Production from Sweet Sorghum Bagasse. *Bioresource Technology*, 111, 215-221.
17. Oberoi, H.S., Vadlania, P.V., Brijwania, K. Bhargav, V.K., Patil, R.T., 2010.. Enhanced Ethanol Production Via Fermentation of Rice Straw with Hydrolysate-adapted *Candidatropicalis* ATCC 13803, *Process Biochemistry*, 45, 1299-1306.
 18. Tye, Y.Y., Lee, K.T., Wan Abdullah, W.N., Leh, C.P., 2016. The World Availability of Non-wood Lignocellulosic Biomass for the Production of Cellulosic Ethanol and Potential Pretreatments for the Enhancement of Enzymatic Saccharification *Renewable Energy Reviews* 60, 155-172.
 19. Xing-cai, L., Jian-guang, Y., Wu-gao Zhang, Zhen, H., 2004. Effect of Cetane Number Improver on Heat Release Rate and Emissions of High Speed Diesel Engine Fueled with Ethanol-diesel Blend Fuel. *Fuel* 83, 2013-2020.
 20. Yüksel, F., Yüksel, B., 2004. The use of Ethanol-gasoline Blend as a Fuel in an SI Engine, *Renewable Energy* 29, 1181-1191.
 21. <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyoetan ol.aspx> 14.2.2018.
 22. <https://docplayer.biz.tr/241461-Biyoetanol-kullanım-zorunluluğunun-türk-ekonomisinde-yaratacağı-etkiler-dr-f-figen-ar-pankobirlik-dünya-enerji-konseyi-türk-millî-komitesi.html> 14.2.2018.
 23. Adıgüzel, A.O., 2013. Lignoselülozik Materyallerden Biyoetanol Üretimi için Kullanılan Ön-Muamele ve Hidroliz Yöntemleri SAÜ. *Fen Bil. Der.* 17(3), 381-397.
 24. Shesler, R., 1994. Ethanol production in Hawaii Processes, Feedstocks, and Current Economic Feasibility of Fuel Grade Ethanol Production in Hawaii Prepared for State of Hawaii Department of Business, Economic Development & Tourism Final Report July.
 25. Johannesen, R., 2018. Energy Efficiency & Environmental News: Alcohol Production from Biomass, Florida Energy Extension Service 14.2.2018.
 26. Understanding Biomass as a Source of Sugars and Energy, http://permanent.access.gpo.gov/websites/www.ott.doe.gov/biofuels/understanding_biomass.html 14.2.2018.
 27. Wheals, A.E., Basso, L.C., Alves, D.M.G., Amorim, H.V., 1999. Fuel Ethanol After 25 Years, *Renewable Fuels Association TIBTECH* December (Vol 17).
 28. Zabed, H., Sahu, J.N., Boyce, A.N., Fasruq, G., 2016. Fuel Ethanol Production from Lignocellulosic Biomass: An Overview on Feedstocks and Technological Approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 66, 751-774.
 29. Alhalabi, K., 2007. Suriye ve Türkiye’de Üretilen Pamuk Liflerinin Özelliklerinin ve Eğrilme Yeteneklerinin Karşılaştırılması İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana
 30. Raja, P.B., Sethuraman, M.G., 2008. Inhibitive Effect of Black Pepper Extract on the Sulphuric Acid Corrosion of Mild Steel. *Materials Letters*, 62(17), 2977-2979.
 31. Anonymous Sheet, 2010. Fuel Ethanol Application. CellicCTec and HTec2—Enzymes for Hydrolysis of Lignocellulosic Materials. Novozymes A/S, Luna-01668:01.
 32. Yang, Y., Sharma-Shivappa, R.R., Burns, J.C., Cheng, J., 2009. Saccharification and Fermentation of Dilute-Acid-Pretreated Freeze-Dried Switchgrass. *Energy&Fuels*, 23(11), 5626-5635.
 33. Pickering, G.J., Heatherbl, D.A., Barnes, M.F., 1998. Optimising Glucose Conversion in the Production of Reduced Alcohol Wine Using Glucose Oxidase. *Food Research International*, 31, 685-692.
 34. Cordier, H., Mendes, F., Vasconcelos, I., François, J.M., 2007. A Metabolic and Genomic Study of Engineered *Saccharomyces cerevisiae* Strains for High Glycerol Production. *Metabolic Engineering*, 9, 364-378.

Analysis of the Loads Acting on Rotary Kiln & Hydraulic Design

Sadık ÜNAL*¹, Abdul Kadir EKŞİ¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 16.01.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Abstract

Rotary kilns are the equipment for which crystallization and mixing is carried out with the help of high temperature. In this study, evaluation of replacing the electric motor which was used for moving the pinion gear with a hydraulic motor were carried out. The force and torque value exerts on the gear that provides the rotation of the rotary kiln was calculated analytically. As a result of the calculation, it was concluded that the pinion gear is exposed to 21,208 kN and the torque value is 6097,3 N.mm. By these values, detailed calculations of the hydraulic motor, pump, electric motor, minimum pipe diameter and reservoir capacity which constitute the rest of the system were performed. According to the calculations made, the final system was created by selecting the components to be used in the system.

Keywords: Hydraulic design, Rotary kiln, Load analysis

Döner Fırına Etki Eden Yüklerin Analizi ve Hidrolik Dizayn

Öz

Döner fırınlar, yüksek sıcaklık yardımıyla kristalizasyon ve karışım işlemlerinin yapıldığı ekipmanlardır. Bu çalışmada, döner fırını hareket ettiren elektrik motorunun hidrolik bir motor ile değiştirilmesi irdelenmiştir. Döner bir fırının çalışması esnasında fırının dönmesini sağlayan dişlinin maruz kaldığı kuvvet ve tork değeri analitik olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama sonucu pinyon dişlinin maruz kaldığı 21.208 kN ve tork değerinin 6097.3 N.mm olduğu sonucuna varılmıştır. Bu değerlere göre sistemin geri kalanını oluşturan hidrolik motorun, pompanın, elektrik motorun, minimum boru çaplarının ve rezervuar kapasitesinin detaylı hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalara göre sistemde kullanılması gereken bileşenler seçilerek nihai sistem oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hidrolik dizayn, Döner fırın, Yük analizi

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Sadık ÜNAL, sadikunal01@hotmail.com

1. INTRODUCTION

The shape of rotary kiln is a cylindrical vessel. The material slights in the horizontal inclined surface. The rotary kiln rotates very slowly about its axis. The raw material before crystallization is fed into cylindrical vessel from the end. During the rotation, material moves down slowly under high temperature in the form of mixing. Hot gases pass through the rotary kiln to crystallize. The flow direction of hot gases can be same with material flow. It is called co-current flow. But generally, the flow direction of hot gases can be opposite with material flow. It is called counter-current flow. Hot gases can be generated lots of different ways. But generally, the generation of hot gases can be categorized two different ways; external generated hot gases and internal generated hot gases. The large flame is obtained and spread out from the pipe. This pipe is called fire-burner. Different types of fuels can be used such as coal, gas or oil. The main components of a rotary kiln are the refractory lining, support tyres and rollers, shell, main drive gear, auxiliary drive gear and internal heat exchangers. Raw enters from a side in the kiln; remove the other side by moving the product in a hot environment [1].

The rotary kiln working principle is geared system. Electrical motor feeds the gear box and gives first move. After that, gear system transfers the motion to the other gears until reaching the large pinion on the tube. So, rotation is obtained by using electrical power. The material and hot gas are fed. The material rotates with high level of heat and crystal form of material is obtained [2].

The spur gear has been used at rotary kiln. The teeth of spur gears are parallel to the axis. The power is transmitted between two parallel shafts. The advantages of spur gears are less cost, simple construction and easy manufacturing. In addition to this, spur gears have highest efficiency compared to other gear types. Spur gears are used at high speed and high load applications [3].

There is no system directly driven hydraulic system at rotary kiln. Generally, mechanical driven rotary kiln system is preferred. Because, hydraulic

requires expertise compared to other systems. High capacity forces can be obtained by using hydraulic systems. Various studies are available for the design of rotary kiln in literature. Almost all works are related to gear system. Working principles are similar to each other. But every work was done by putting something new in literature.

Dmitrij Ramanenka has analyzed the effects on the rotary kiln [4]. He was modeled the rotary kiln with respect to these effects. Especially, it has been about drive unit. Because, the drive unit is most affected by the external influences of the rotary kiln. He has categorized the effects under three main titles. These are mechanical effects, thermal effects and chemical effects. There are many factors that can cause sudden loads on the rotary kiln. There is a load due to the product in the rotary kiln. In addition to this, layer on the wall causes sudden load. Dmitrij Ramanenka has explained brick lining loading effect, too. Brick lining is tightly fitted to the rotary kiln steel walls. During the rotation of rotary kiln, the steel walls and lining are affected from radial and longitudinal bending forces, vibrations and torsion. Additional stresses can typically arise from misalignment of the kiln or other abnormalities. He has explained the loads to effect on rotary kiln stress-controlled loads, external loads, gravity load and pressure load. Ramanenka had made some analytical calculations to better understand the state of refractory lining. For this reason, he applied to create simplified numerical models of rotary kiln. He used LS-Dyna software program for numerical calculations.

Versteeg, et al. (2001) modeled the rotary kiln with respect to mass transfer [5]. They found out that the most important parameter in rotary kiln was mass transfer for designing the gale. The other factors generally affect thermal stress, elongation, ovality, and distance between gales. According to their findings, despite the other effects such as thermal and chemical effects, mass transfer and loads are the most important factors for designing the gales. As a conclusion of their study, they found out that if the bed fill was high or rotational speed was fast, the momentum of the particles increases. Momentum depends on mass and speed.

So, the particles which were in rotary kiln fall down during the rotation and reach the inner surface of rotary kiln. This situation caused a distortion in the surface of the bed.

In this study, a rotary kiln and pinion gear system was evaluated in details. Firstly, analytical calculation of the force and torque that exerts on the helical gear was performed. Then, the specification of the components was enlightened and selected to composed the system.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Material

The specification of the evaluated system is given in Table 1.

Table 1. The gear box parameters of rotary kiln

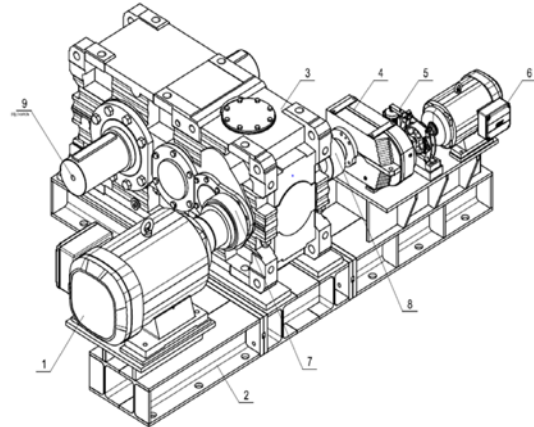
Power	90 kW + 7,5 kW
Input Speed	1500 rpm
Output Speed	150 rpm
Gear Type Transmission Between Gear Box and Rotary Kiln	Spur
Gear Type Inside The Gear Box	Helical
Working Temperature	150 °C
Power Source	Electrical Motor

Reducer gives low revolution values and high torque values to the pinion of gear system. In our system gear ratio was determined as 10 with respect to inlet rotation speed. Thereby 1500 rpm inlet speed of electric motor was decreased to 150 rpm output speed which is the desired speed for rotary kiln system operates at calcination temperature. Revolution speed of the motor was reduced in order to get higher torque on the system.

Pinion gear transmits torque to the girth gear on rotary kiln shell. Electrical motor produces a rotary

motion and translate to reducer. Then, reducer decreases the speed of rotary motion and increases torque of system. Then, reducer feeds the pinion gear. Pinion gear is contacted with drive gear. The rotary kiln is surrounded by a large single gear from outside. This single large gear is called Girth Gear. The electrical motor creates first motion and drive reducer. Reducer decreases speed and increases torsion. The reducer translates the motion to the pinion gear. Pinion gear and girth gear are contacted each other. Pinion gear translates motion to the girth gear. When the girth gear rotates, the rotary kiln rotation is obtained. Variable-speed electric motor can be used. But electrical motor has to be high starting torque at start of kiln with a large load effect [6].

The teeth of the gear were finished by hobbing or shaping. Cycles life up to 108 and reliability is about 99%-99,9%. It is high precision shaved or ground tooth. Especially efficiency and nominal torque class are important to design hydraulic system. General assembly technical drawing is given in Figure 1 [7].



- 1 Main Electric Motor
- 2 Base Frame
- 3 Main Reducer
- 4 Auxiliary Reducer
- 5 Auxiliary Coupling Between Electric Motor & Reducer
- 6 Auxiliary Electric Motor
- 7 Main Coupling
- 8 Auxiliary Coupling Between Auxiliary Reducer & Main Reducer
- 9 Output Shaft of Main Reducer

Figure 1. General assembly of drive system

The schematic representation of girth gear and pinion gear connection is shown in Figure 2 below.

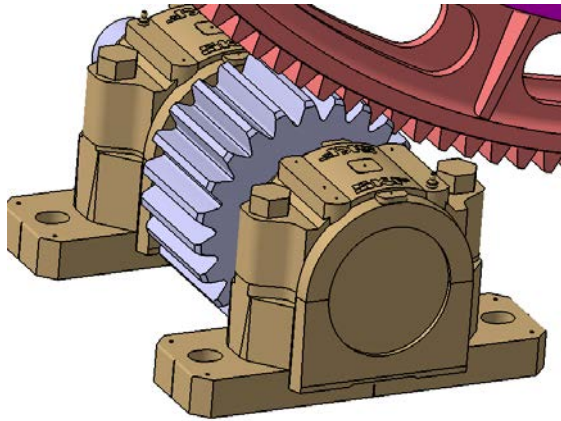


Figure 2. The schematic representation of girth & pinion gear connection

Nowadays, many modern powerful machines are controlled either partially or completely by hydraulic mechanisms. The first oils used as hydraulic oil were plain mineral oils. Therefore, huge and powerful machines can be controlled by small size units by using the power of hydraulic [8]. In addition to this, hydraulic systems compensate the loads. Hydraulic fluid, reservoir, hydraulic pump, filters, hydraulic motor are the main components of hydraulic system. Each

hydraulic component will be designed with respect to actual gear system by load analysis. Loads, power and torque values were determined and hydraulic components was designed by using these values throughout this study.

The gears of system are pinion gear and girth gear. The pinion gear translates the motion, which is produced by electrical motor, to the girth gear. Girth gear surrounds cylindrical kiln tube and creates rotation with the help of pinion gear motion. The gear materials are the same for both pinion gear and girth gear, 34CrNiMo6. For the tyre and its shaft, GS 42 Cr Mo 4 is used as material. It is heat treated steel. (C: %0.38-0.45; Si: % ≤ 0.40; Mn: % ≤ 0.80; P: % ≤ 0.035; S: % ≤ 0.035 Cr: %0.90-1.20; Mo : %0.15-0.30). Lots of factors affect the service life. The combination of materials, hardness and manufacturing method can be determined to obtained long service life [9].

The pinion gear material is alloy special steel. The grade is 34CrNiMo6 and the number is 1.6582. The hardness of the gear is between 270 to 330 HB. The module of pinion gear is 25. The number of teeth (z) is 23. Pitch diameter (da) is 575. The technical drawing of pinion gear is shown in Figure 3 below.

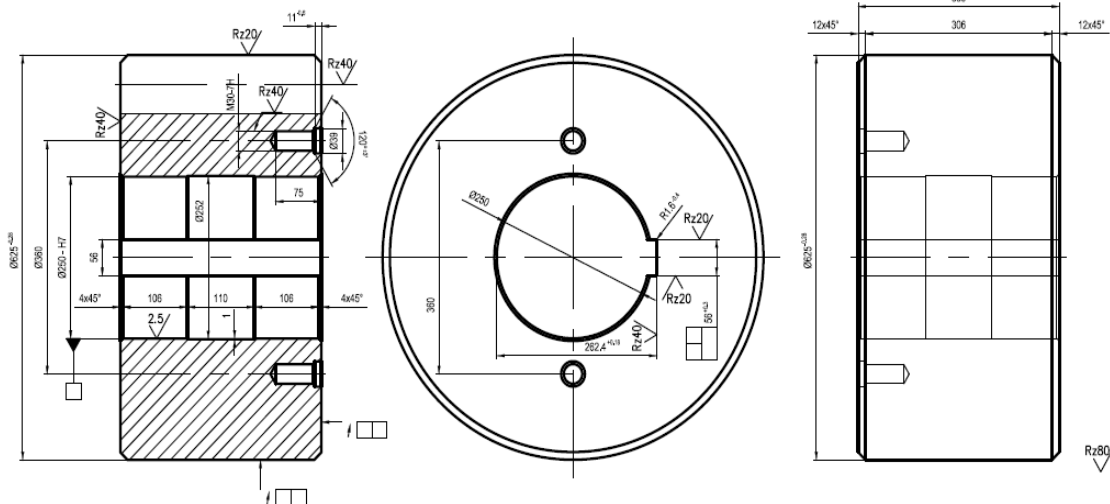


Figure 3. Technical drawing of pinion gear

The girth gear material is alloy special steel. The grade is 34CrNiMo6 and the number is 1.6582, too. The hardness of the gear is between 220 to 266 HB. The module of pinion gear is 25 mm. The

number of teeth (z) is 176. Pitch diameter (da) is 4400 mm. The technical drawing of girth gear is shown in Figure 4 below.

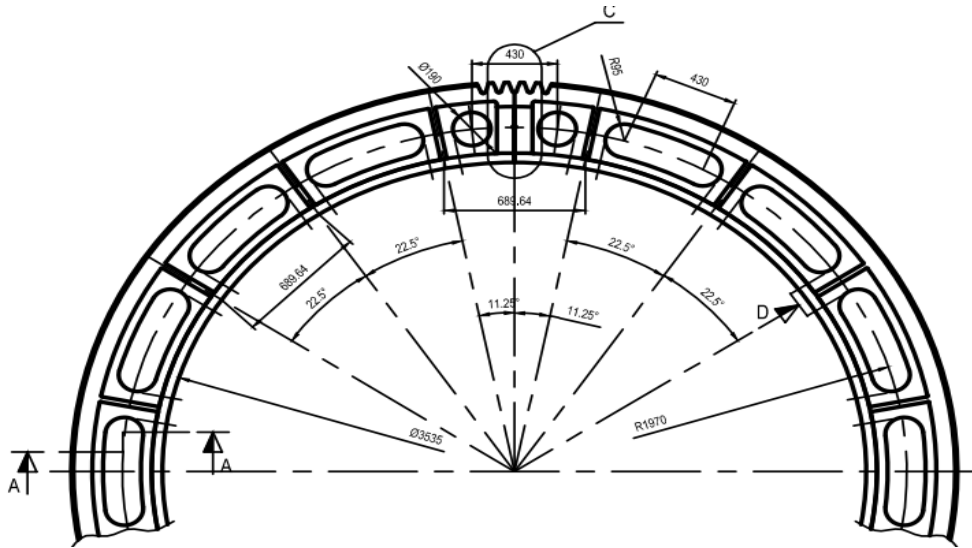


Figure 4. Technical drawing of girth gear

The design rotary kiln has 45 meter length and 3 meter diameter with 2° inclination. The dimension between the layers of rotary kiln and 3 tyres and gear are shown in Figure 5. The other name of tyres is riding rings. Tyre is annular single steel part. Tyre is produced by machining to obtain

smooth cylindrical surface. The tyre rides steel rollers and set about half a kiln-diameter apart. The rotary kiln must be supported by tyres and reduce the friction. Tyres are welded with a block to rotary kiln rotating ring.

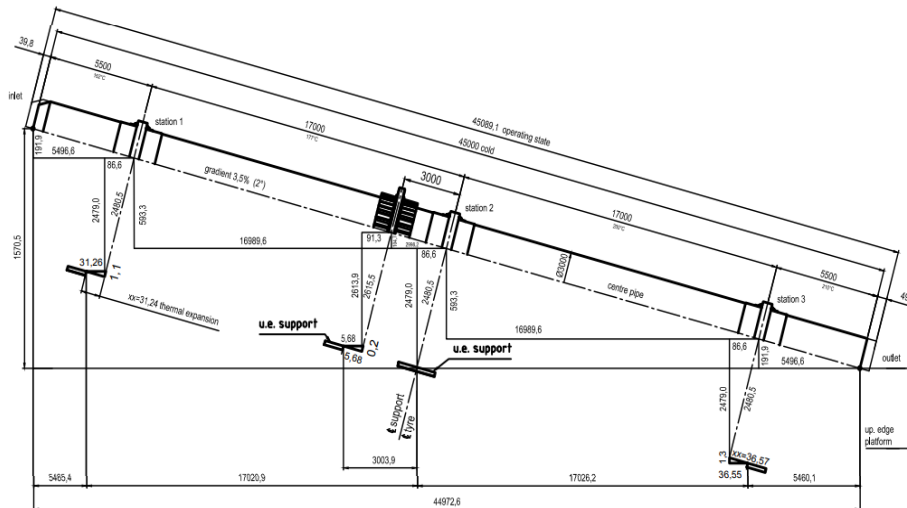


Figure 5. Technical drawing of rotary kiln

The rotary kiln, which was analyzed and designed, was modeled via CATIA software program in 3D environment. The 3D model of the system was illustrated in Figure 6.

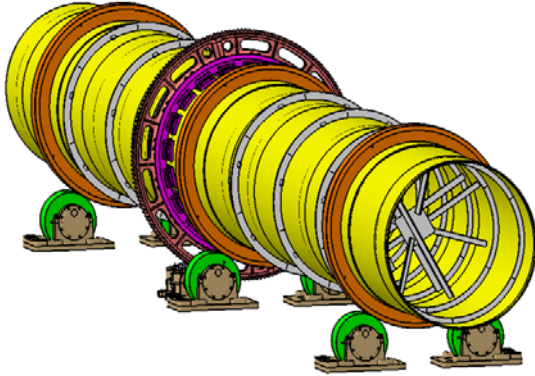


Figure 6. 3D model of the rotary kiln

3.2. Method

The modules and number of teeth for pinion and girth gear are given in material section. So, the pitch diameters can be calculated. Also, the analytical calculation of force and torque on the gear can be calculated as follows.

The first step of calculation starts with the pitch diameters of gears

$$d_r = N_r * m \quad (1)$$

$$d_p = N_p * m \quad (2)$$

Where;

d is the pitch diameter of the rotary kiln and the pinion (mm),
 m is the module,
 N is the number of teeth,
 Sub-index r and p indicates rotary kiln and pinion, respectively.

Calculation of the center diameter of gears the second step of values of force and torque.

$$\frac{d_r + d_p}{2} = d_c \quad (3)$$

Where;

d_r is the pitch diameter of rotary kiln,
 d_p is the pitch diameter of pinion,
 d_c is the center diameter.

The corresponding equation of transmitted load is expressed by following equation;

$$W_t = \frac{60000 * H}{\pi * d_p * n_p} \quad (4)$$

Where;

W_t is the transmitted load (kN),
 H is the power (kW),
 n is the speed (rev/min),

Thus, the tangential force of pinion on rotary kiln is $F^t = W_t$.

And force (F) express as;

$$F = \frac{F^t}{\cos 20^\circ} \quad (5)$$

After the calculation of force, torque (T) can be find out as;

$$T = F * \frac{d_p}{2} \quad (6)$$

For the design of the hydraulic system, it is necessary to know the forces and torque in the gear system. As we have given the force and torque formulas, we can also share hydraulic formulas.

Required flow is express as;

$$Q = \frac{V * n}{1000 * \eta_v} \quad (l / \text{min}) \quad (7)$$

Torque output is express as;

$$M = \frac{V * \Delta p * \eta_m}{62.8} \quad (\text{Nm}) \quad (8)$$

Output power is express as;

$$P = \frac{Q^* \Delta p^* \eta_t}{600} \text{ (kW)} \quad (9)$$

Where;

V = displacement (cm^3/rev),
 n = speed (rpm),
 Δp = differential pressure (bar),
 η_v = volumetric efficiency,
 η_m = mechanical efficiency,
 η_t = overall efficiency.

Hydraulic Pump is the circuit element that sends the fluid in the tank to the set pressure and outgoing system. The pumps convert mechanical energy into hydraulic energy. The basic principle of hydraulic pumps is Pascal's Law. The pressure which is applied on hydraulic, transmits everywhere with contacting hydraulic. Hydraulic pumps are positive displacement pumps. Power source is substance of hydraulic, reservoir and hydraulic pump instead of the electrical motor at gear system. Safe working system is obtained with the help of safety valves at hydraulic system. When the pump is selected, it must be selected to produce enough pressure and pressure to perform the function of the system to be used. Varies types of hydraulic pumps are available such as hand, power driven, constant displacement, gear type power, gerotor, piston, vane and variable displacement [10].

The principle of piston pump is reciprocation by rotation unit for producing fluid flow. There is no only single piston, but also piston-cylinder combinations may be used. The mechanism of the pump creates rotation to shaft for generating reciprocating motion. The fluid is drawn into cylinder and fluid expels, so flow is produced. Two different types of piston pump are available, axial and radial piston. In addition to this, both types of pumps have fixed and variable displacement type pumps. Variable displacement piston pumps are generally called overcenter pumps.

The gerotor type pumps are in reality generated rotor pumps. Different types of gerotor are

available. The internal-gear gerotor pump has pair of gears and these gears are always in sliding contact. The internal gear has to be one more tooth than the gerotor gear for obtaining sliding contact. All of the gears rotation direction is the same. Chamber is filled with oil before the teeth distancing from each other, and is ejected. The sealing is used by the sliding contact. Gerotor has some advantages and disadvantages and they are shown Table 2 below:

Table 2. Precedence and limitations of the hydraulic gerotor motor

Precedence	Limitations
Compared to other types of hydraulic motors, relatively simple construction	Low sealing ability of lobes between the inner rotor and outer ring
Low speed	Low total efficiency
Relatively small and light	Friction
Relatively cheap	Wear
High torque	
Self-braking ability	

For selection of electric motor, maximum power should be calculated. It can be calculated from equation 10 as below:

$$P = \frac{Q \cdot V}{510} \quad (10)$$

Every hydraulics has different physical properties. Hydraulic fluids are used to transmit hydraulic power. In addition to lubricating and cooling the hydraulic circuit elements. When water is used as a hydraulic fluid, problems such as corrosion, boiling point, freezing point and low viscosity are encountered. The physical properties of hydraulic fluids are very sensitive and important such as viscosity, oxidation, ability of lubrication, bubble formation, yield point, flashing point, and polymerization [11]. For the fluid, the best quality hydraulic mineral fluid is preferable such as HLP oils to DIN 51524. Brugger value should be more than 30 N/mm^2 for general application and more than 50 N/mm^2 for heavily loaded hydraulic equipment and fast cycling and high dynamic

loaded machines, measured with respect to DIN 51 347-2.

The normal operating viscosity should be between 16 and 100 mm²/s (cSt) whereas maximum start-up viscosity should be 800 mm²/s (cSt).

Effective filtration should be performed in order to protect the system from contamination for maximum pump and system component functionality and life.

The quality can be obtained by obeying standards. For the fluid cleanliness, the system should be suitable to ISO 4406:1999 standard. In addition to this, quality of filter elements should be suitable to such as class 20/18/15, with respect to ISO 4406:1999. Recommended cleanliness class is 18/16/13 for ISO 4406:1999. Therefore, maximum component life and functionality are obtained.

Hydraulic fluid specification for chemical resistance of seal material and its temperature must be compared with maximum system temperature and ambient temperature. N- Nitride which is able to resist between -40...+90 °C are preferable [12].

Inner diameter of the pipe can be calculated from equation 11 as below:

$$D = \sqrt{((Q * 21.22) / v)} \quad (11)$$

D = diameter of the pump (mm)
 v = flow velocity (m/s)

The last component that should be calculated on the system is the reservoir. The reservoir capacity should be more than the volume of motor displacement, pump displacement and pipes in the system.

3. RESULTS

The pitch diameters of gears were calculated as 575 mm for pinion and 4400 mm for rotary gears. The equations are presented in Equation 12 and 13, respectively.

$$d_r = N_r * m = 176 * 25 = 4400 \text{ mm} \quad (12)$$

$$d_p = N_p * m = 23 * 25 = 575 \text{ mm} \quad (13)$$

The center diameter of the gears is calculated by Equation 14.

$$\frac{d_r + d_p}{2} = \frac{4400 + 575}{2} = 2487.5 \text{ mm} \quad (14)$$

The corresponding equation of transmitted load is expressed by following equation (7,5 kW electrical motor is neglected, because it is auxiliary drive). Calculations are made with respect to main drive (90 kW electrical motor);

$$W_t = \frac{60000 * H}{\pi * d_p * n_p} = \frac{60000 * 90.0}{\pi * 575 * 150} \quad (15)$$

$$W_t = 19.929 \text{ kN}$$

Thus, the tangential force of pinion on rotary kiln is $W_t = F^t = 19,929 \text{ kN}$.

Therefore, force can be calculated as;

$$F = \frac{F^t}{\cos 20^\circ} = \frac{19.929}{\cos 20^\circ} = 21.208 \text{ kN} \quad (16)$$

Torque T of the gear is can be calculated as;

$$T = F * \frac{d_p}{2} = 21.208 * \frac{575}{2} = 6097.3 \text{ N.mm} \quad (17)$$

After the calculation of force and torque, the motor capacity, pump capacity, electric motor and reservoir can be evaluated.

Required flow;

$$Q = \frac{V * n}{1000 * \eta_v} \text{ (l / min)} \quad (18)$$

Torque output;

$$M = \frac{V * \Delta p * \eta_m}{62.8} \text{ (Nm)} \quad (19)$$

Output power;

$$P = \frac{Q * \Delta p * \eta_t}{600} \text{ (kW)} \quad (20)$$

V = displacement (cm^3/rev)

n = speed (rpm)

Δp = differential pressure (bar)

η_v = volumetric efficiency

η_m = mechanical efficiency

η_t = overall efficiency

Generally, mechanical efficiency is assumed 0,9 at mechanical systems. By assuming the system mechanical efficiency as 0,9 torque output formula, $V * \Delta p$ can be calculated as;

$$6097.3 \approx 6100 = \frac{V * \Delta p * 0,9}{62.8} = V * \Delta p = 425644.4 \text{ Nm} \quad (21)$$

The selection hydraulic motor must be confirmed the value of 425644.4 Nm.

The different type of hydraulic motors can be selected in table from MR 1800 H to MRE 5400 L. But for example, at MR2400 H must be Flushing. Minimum MR2400 I can be selected, but minimum two size of larger can be selected for working in safe area.

According to calculations, the motor from 1800 H to MRE 5400 L can be used. However, in order to avoid flushing, the motor MR 2400 I and the rest should be selected. To be more secure, in this study, MRE 3100 I was selected as motor. The diagrams of the motor MRA 2400 H, MR 2400 H and MRE 3100 I were presented in Table 3 below [13].

Table 3. Hydraulic motor selection chart

Motor type	Displacement	Specific Torque	Speed		Maximum pressure				Max power
			Min	Max	Continuous	Intermittent	Peak	A+B	
-	V	T_s	n_{min}	n_{max}	$P_{cont.}$	$P_{int.}$	P_{peak}	P_{A+B}	$P_{max.}$
-	cm^3/rev	Nm/bar	rpm	rpm	bar	bar	bar	bar	kW
MR 1100 G	1125.8	17.9	0,5	330	250	300	420	400	119
MRE 1400 G	1369.5	21.8	0,5	280	230	280	400	400	102
MRA 1600 G	1536.7	24.5	0,5	260	210	260	380	400	96
MR 1600 H	1598.4	25.4	0,5	260	250	300	420	400	144
MR 1800 H	1809.6	28.8	0,5	250	250	300	420	400	153
MRE 2100 H	2091.2	33.3	0,5	250	230	280	400	400	148
MRA 2400 H	2401.4	38.2	0,5	220	210	260	380	400	130
MR 2400 I	2393.0	38.1	0,5	220	250	300	420	400	183
MR 2800 I	2792.0	44.5	0,5	215	250	300	420	400	194
MRE 3100 I	3103.7	49.4	0,5	215	230	280	400	400	190
MRA 3500 I	3490.4	55.6	0,5	180	210	260	380	400	175
MR 3600 L	3636.8	57.9	0,5	180	250	300	420	400	185
MR 4100 L	4104.4	65.3	0,5	175	250	300	420	400	190
MR 4500 L	4502.7	71.7	0,5	170	250	300	420	400	210
MRE 5400 L	5401.2	86.0	0,5	160	230	280	400	400	210
MRA 6000 L	6005.9	95.6	0,5	140	210	260	380	400	190
MR 6500 M	6460.5	103.6	0,5	130	250	300	420	400	240
MR 7000 M	6967.2	111.4	0,5	130	250	300	420	400	250
MRE 7600 M	7628.1	121.4	0,5	130	230	280	400	400	250
MRE 8200 M	8226.4	130.9	0,5	120	230	280	400	400	250
MRA 9000 M	9040.4	143.9	0,5	110	210	260	380	400	230

After the calculation of torque output, the actual mechanical efficiency must be calculated. From the catalogue values of hydraulic motor, total efficiency and volumetric efficiency were determined. By determining the total and volumetric efficiencies, actual mechanical efficiency can be calculated as;

$$\eta_m = \frac{\eta_t}{\eta_v} = \frac{0.86}{0.99} = 0.87 \quad (22)$$

$$6097.3 \approx 6100 = \frac{3103.7 * \Delta p * 0.87}{62.8} = \Delta p = 141.87 \text{ bar} \quad (23)$$

$$\Delta p = 141.87 \text{ bar} \approx 145 \text{ bar} \quad (24)$$

Maximum speed and torque of selected motor are 215 rpm and 49.4 Nm/bar, respectively. Therefore, the pressure of the system is calculated by Equation 25.

$$\frac{6100}{49.4} = 123.5 \text{ bar}$$

Proper pump for the system should be decided as well. For this, Equation 26 and 27 must be used for required flow.

Required flow;

$$Q = \frac{3103.7 * 150}{1000 * 0.99} = 470.26 \text{ (l / min)} \quad (26)$$

$$Q = \frac{470.26 \text{ l / min}}{1.50} = 313.51 \text{ cm}^3 / \text{rev} \quad (27)$$

The selected pump (PV360) gives;

$$360 * 1.50 = 540 \text{ l / min} \quad (28)$$

The selected pump gives;

$$P = \frac{Q.V}{510} = \frac{145 * 540}{510} = 153.53 \text{ kW} \quad (29)$$

Maximum power:

$$P = \frac{Q.V}{510} = \frac{350 * 540}{510} = 370.59 \text{ kW} \quad (30)$$

According to selected pump, the electric motor should have 148,41 kW power and 1500 rpm speed.

For required flow, inner diameter of the pipes was calculated by Equation 31.

$$D = \sqrt{\left(\frac{Q * 21,22}{v}\right)} \quad (31)$$

$$D = \sqrt{\left(\frac{517,28 * 21,22}{2}\right)} = 74,08 \text{ mm} \approx 75 \text{ mm}$$

Where;

D = diameter of the pump (mm)

v = flow velocity (m/s)

At the last, reservoir capacity must be determined by considering displacement of motor, displacement of pump + pipe diameter and its total length. Generally, the total volume of the equipment was multiply by 2.5 for spare fluid. The total volume of the reservoir should be $30759.25 \text{ cm}^3 \approx 3.125 * 10^7 \text{ mm}^3$.

After determining the volume (capacity) of the reservoir, the dimension of the reservoir should be decided. The dimensions (in millimetre) and the model of reservoir was illustrated in Figure 7.

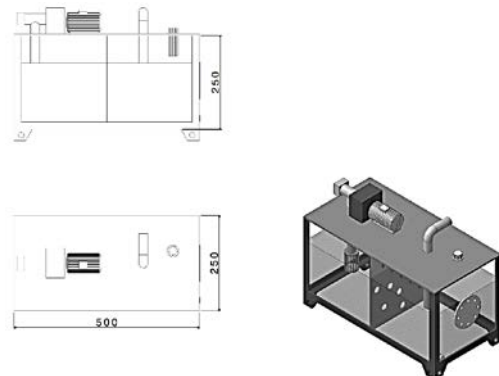


Figure 7. The model and dimensions of reservoir

4. CONCLUSION

Driver gear provides reference for hydraulic system calculations. Torque values, reducer input and output revolution values, electrical motor power was used. Girth gear and pinion were used as gear system. But electrical motor and reducer are canceled and hydraulic motor, hydraulic pump and reservoir are placed.

So, unstable load strength is increased. Unstable loads harm the gear system especially reducer and electrical motor. But, hydraulic system provides strength. General hydraulic system is given which is applied to rotary kiln in Figure 8 below. Pump sucks the oil from hydraulic oil reservoir and send to filters. After passing filters, hydraulic reaches the hydraulic motor and hydraulic energy transform to mechanical (rotating) energy. The speed of rotating motion controls by controlling the pressure of oil by using control valves. So, pressure controlling creates reducer controlling mechanism, in addition to this speed can be changed. Hydraulic motor is connected with coupling to the pinion gear and pinion gear transforms the motion to the girth gear which is on the kiln shell.

5. ACKNOWLEDGEMENT

I would like to express my sincere gratitude to my wife, mother and father for his invaluable guidance, advices, encouragement to develop myself and my studies. Feeling his support, both personal and professional helped me a lot during my studies.

6. REFERENCES

1. The Working Principle of Rotary Kiln, https://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_kiln.
2. Sew Eurodrive Catalog, Rotary Kiln, Segmented Girth Gears, https://www.sew-eurodrive.kz/solutions/solutions_with_industrial_gear_units/grinding_breaking_and_pulverizing/rotary_kiln/rotary_kiln.html.
3. Sew Eurodrive Catalog, Industrial Gear Units: Bevel-Helical Gear Units X. Series Bucket Elevator Drives, Edition 04/2012.
4. Ramanenka, D., 2015. Numerical Evaluation of Brick Lining Status in Rotary Kilns, Licentiate Thesis, Lulea University of Technology, Sweden.
5. Versteeg, G.F., Kuipers, J.A.M., Heesink, A.B.M., 2001. Modelling of Rotary Kilns, University of Twente, The Netherlands.
6. Jörg, G., Sturm, P., Krüger, J., Reuter, M.A., Kögler, C., Probst, Thomas T., 2005. Metallurgical Furnaces. John Wiley & Sons.
7. Prof. K.Gopinath & Prof. M.M.Mayuram, Machine Design II, Indian Institute of Technology Madras, India.
8. Güven, A.K., 2001. Hidrolik Yağların Ana Fonksiyonları ve Hidrolik Yağ Seçimi, II. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi, İzmir.
9. Bringas J., 2004. Handbook of Comparative World Steel Standards Third Edition, USA.
10. Australian Pump Manufacturers' Association, https://caridokumen.com/download/australian-pump-handbook-_5a44c603b7d7bc7b7a85091f_pdf, November 2018.
11. Menezes, P.L., Ingole, S., Nosonovsky, S., 2013. Tribology for Scientist and Engineers: From Basics to Advanced Concept, New York.
12. Renolin, Product Program Hydraulic Fluids, FUCHS Industrial Lubricants.
13. Parker Hannifin Corporation, High Torque Radial Piston Motors MR Type Catalogue.

Atık Isı Geri Kazanım Sistemlerine Yönelik Literatür Araştırması ve Sanayiden Örnek Vaka İncelemesi

Nehir TOKGÖZ*¹, Ömer ÖZGÜN¹

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

Geliş tarihi: 16.01.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Özet

Yaşanan hızlı nüfus artışı, sanayileşme oranının yükselmesi ve teknolojiye enerjiye duyulan ihtiyacı günden güne arttırmaktadır. Dünya genelinde birçok endüstriyel tesise ait enerji tüketiminin yaklaşık olarak dörtte birinin atmosfere atılan atık gazlar ile kaybolduğu varsayılmaktadır. Çok büyük miktarda olan bu kaybın tekrar kazanılması geri kazanım sistemleri ile mümkün hale gelmektedir. Bu çalışmada atık ısı geri kazanım sistemleri üzerine yapılmış olan daha önceki çalışmalar sınıflandırılarak incelenmiştir. Ayrıca örnek bir vaka çalışması yapılarak doğalgaz yakıtlı bir kazan için baca gazı ısı geri kazanım potansiyeli araştırılmış, atık baca gazındaki ısıdan yararlanmak amacıyla ısı geri kazanım sistemi (reküperatör) tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem için; enerji analizleri, ısı transfer analizleri ve ekonomik analizler yapılmış, sistemin 15 yıllık ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı yakıt tasarrufu, Net Bugünkü Değer Metodu ile 1.121.410,23 TL olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atık ısı, Atık ısı geri kazanım sistemleri, Reküperatör, Isı transferi

A Review on Waste Heat Recovery Systems and a Case Study from Industry

Abstract

Rapid population growth, increase in the industrialization rate and technological developments increase the need for energy day by day. It is assumed that about one-fourth of the energy consumption of many industrial plants throughout the world is lost waste gases discharged into the atmosphere. Recovering this huge waste heat is possible with heat recovery systems. In this study, literature review and classifications on waste heat recovery systems have been investigated. In addition, a case study was conducted to investigate the potential of exhaust gas heat recovery for a natural gas-fired boiler. Results led us design a heat recovery system to utilize the waste heat from the exhaust gas. For this design; energy, heat transfer and economic analysis have been made and the fuel savings of the system was calculated 1.121.410, 23 TL for 15 years economic life with present value method.

Keywords: Waste heat, Waste heat recovery systems, Recuperator, Heat transfer

*Sorumlu (Başlıca) yazar (Corresponding author): Nehir TOKGOZ, nehirtokgoz@osmaniye.edu.tr

1. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde hızlı nüfus artışı ve sanayideki gelişmeler ile doğru orantılı olarak enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Mevcut enerji kaynakları artan enerji ihtiyaçlarını karşılayamaz duruma gelmiştir. Bunun sonucunda enerji verimliliği kavramı ortaya çıkmıştır. Harcanan enerji miktarının, üretimden elde edilen ürün miktarını ve kalite oranını düşürmeden, ekonomik gelişmeleri ve sosyal refahı olumsuz etkilemeyecek şekilde en aza indirilmesi enerji verimliliği olarak adlandırılmaktadır.

Başka bir deyişle enerji verimliliği; sistemdeki gaz, buhar, ısı, hava ve elektriksel enerji kayıplarını engellemek, sistemden atık olarak uzaklaştırılan oluşumların geri kazanımı ve tekrar değerlendirilmesi veya üretim miktarını düşürmeden ihtiyaç duyulan enerji ihtiyacının azaltılması, verimi daha yüksek enerji kaynakları, daha gelişmiş endüstriyel süreçler, enerji geri kazanımı gibi verimlilik artırıcı önlemlerin tamamıdır. Enerji verimliliğinde esas olan herhangi bir tasarrufa veya kısıtlamaya gidilmeden enerjinin etkin bir şekilde kullanılarak tüketimin azaltılmasıdır. Üretim kapasitesi yüksek ve enerji tüketimi fazla olan sanayi tesislerinde enerjinin verimli bir şekilde kullanılması maliyetleri düşürdüğü gibi enerji eldesi için gerekli olan kaynak tüketimini de ciddi derecede azaltmaktadır [1].

Dünya genelinde birçok endüstriyel tesise ait enerji tüketiminin yaklaşık olarak dörtte birinin atmosfere atılan ısı ve gaz ile kaybolduğu varsayılmaktadır [2].

Çok büyük miktarda olan bu kaybın tekrar kazanılması geri kazanım sistemleri ile mümkün hale gelmektedir. İlk yatırım maliyetleri yüksek olduğu halde uzun vadede sağladığı faydalardan dolayı endüstriyel tesislerde geri kazanım sistemleri kurulmaya başlanmıştır. Geri kazanım sistemleri hem endüstriyel tesislerin enerji ihtiyaçları için ayırdıkları payı azaltmakta hem çevreye verdiği zararı düşürmekte hem de enerjinin en verimli şekilde kullanılmasını

sağlamaktadır [2]. Örneğin; endüstriyel bir kazanda verim yaklaşık %75 civarında, enerji kayıpları (boru kayıpları, radyasyon ve konveksiyon kayıpları, sıcak baca gaz kayıpları) yaklaşık %25 civarındadır. Geleneksel bir buhar kazanında üretilen enerjinin takribi %16-20 kadarı atık ısı olarak baca gazları ile beraber sistemden ayrılmaktadır. Oranın yüksek olması, geri kazanım sistemlerinin baca gazları için önemini açıkça göstermektedir [3].

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Endüstriyel tesislerde maliyeti oluşturan en büyük ana girdilerden biri enerji olduğu için, işletmelerinin her bölümünde enerji verimliliği ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Tesislerin en büyük enerji kayıplarından birini ise atık ısılar oluşturmaktadır. Bu kaybı azaltabilmek için ısı enerjisinin kullanıldığı hemen hemen her sektörde atık ısı geri kazanım sistemleri kullanılmaktadır. Herhangi bir üretim işlemi sonrası açığa çıkan ve atmosfer sıcaklığının üzerinde bir sıcaklıkta bulunan ısıya atık ısı, bunları geri kazanmak için tasarlanan sistemlere de atık ısı geri kazanım sistemleri denilmektedir. Atık ısı sıcaklık değerlerine göre 650 °C üzerindeki yüksek sıcakta ısı, 120 °C-650 °C arası orta sıcaklıkta ısı ve 120 °C altındaki düşük sıcaklıkta ısı olmak üzere sınıflandırılabilir. Atık ısı ve geri kazanılmasıyla ilgili bilim adamları tarafından yapılan birçok çalışma mevcuttur. Yapılan çalışmalardan bir kısmı sınıflandırılarak özetlenmeye çalışılmıştır.

2.1. Isı Borusu ile Atık Isı Geri Kazanımının İncelendiği Çalışmalar

Güngör, son yıllarda değişik, verimli ve çok üstün uygulamaları ile yaygın bir kullanım alanı bulan ısı borularının; temel prensipleri, kullanılan malzemeler, çalışma akışkanları üzerine inceleme yapmış, ısı borulu ısı değiştiricilerin enerji geri kazanım ve özellikle iklimlendirmedeki uygulamalarını incelemiştir [4]. Ersöz, ısı borusu vasıtasıyla atık ısıların geri kazanımı için baca gazlarından yararlanma yolu deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar yorumlanarak ne kadarlık bir ısı kazancı olduğu incelenmiştir [5]. Ersöz yaptığı bir diğer çalışmasında [6] ısı borusu

yardımla baca gazları ile atılan ısının geri kazanılmasını deneysel olarak incelemiştir, inceleme sonuçlarında ise baca gazı sıcaklığının derecesine bağlı olarak ısıtılmak istenilen akışkanında elde edilen sıcaklık değerlerini yorumlamıştır.

Ürün, [7] ısı borulu atık baca gazlarından geri kazanılabilecek ısı için kurulu bir sistemin ısı performansını deneysel olarak incelemiştir. Sistem için, R-134a soğutucu akışkanın, R-410a soğutucu akışkanına göre daha etkili olduğunu ortaya koymuştur.

Remeli, [8] bir ısı borusu termoelektrik jeneratörü kullanarak, ısı geri kazanım ve güç üretimi için pasif bir ısı transferi sistemi geliştirmiştir. Sistemin, aynı anda atık ısıyı geri kazanma ve herhangi bir yardımcı güç olmaksızın tamamen pasif bir sistemden elektrik enerjisi üretme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Jouhara, [9] çelik endüstrisinde kullanılmak üzere düz ısı borusu ısı değiştiricisi ile ısı geri kazanım sisteminin tasarımı ve üretimini incelemiştir. Çalışmasının sonucunda düz ısı borusu ısı değiştiricisinin endüstriyel uygulamalarda atık ısı geri kazanımı için yenilikçi yüksek verimli bir teknoloji olduğunu belirtmiştir.

2.2. Eşanjör Uygulamaları ile Atık Isı Geri Kazanımının İncelendiği Çalışmalar

Oğulata ve Doba, [10] yaptıkları çalışmalarında, atık ısı geri kazanım sistemlerindeki yüksek verimlerden dolayı çapraz akışlı levhalı tip ısı değiştiricisini incelemiştir. Sıcaklık, hava hızı ve sistemdeki basınç kayıplarını ölçmüş ve sistemin etkinliğini belirlemiştir.

Şahan, [11] çalışmasında HVAC sistemlerinde, plakalı ısı değiştiricisi ile yapılabilecek geri kazanım uygulamalarını incelemiş, havadan havaya plakalı eşanjörler kullanıldığında, projede meydana gelen değişiklikleri ve elde ettiği bulguları örnekler üzerinde değerlendirmiştir.

Atalay, [12] atık ısı geri kazanımı sağlamak için kullanılan döner tip ısı değiştiricisini incelemiştir.

Eşanjörün etkinliği için dönme hızı ve hava debisine bağlı olarak deneysel, analitik ve sayısal hesaplamalar yapmıştır. Belirli bir değere kadar dönme hızının artmasıyla, ısı değiştiricisi tarafından taşınan sıvının arttığını ve akış hızının azalmasıyla, etkililiğin arttığını belirtmiştir. Goel, [13] çalışmasında baca gazı atık ısı ve atık su geri dönüşümü için yoğunlaşma ısı değiştiricisi tasarlamış ve performans analizlerini yapmıştır.

2.3. Isı Pompası ile Atık Isı Geri Kazanımının İncelendiği Çalışmalar

Yamankaradeniz, [14] bir tekstil fabrikasından elde ettiği verileri kullanarak atık ısıdan enerji geri kazanımından kullanılan klasik sistemlerle ısı pompası sistemlerinin karşılaştırılmasını yapmıştır. Boyahanedan 65°C'de çıkan atık suyun enerjisinden yararlanmak için kullanılan plakalı ısı eşanjörü yerine ısı pompası kullanılması halinde, yeni sisteme ait ekonomik analizleri yapmış, yıllık enerji tasarruf miktarları ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

Yamankaradeniz yapmış olduğu bir diğer çalışmada, [15] enerji geri kazanımı sağlamak için iki farklı prototip ısı pompası deney tesisi tasarlamıştır. İlk çalışmada, endüstride kullanılan kurutma proseslerinde, kurutma odasından çıkan nemli ve sıcak havanın ısını geri kazanmak amacıyla, ikinci çalışmada ise endüstride birçok proses sonucu açığa çıkan ve drenaja atılan düşük sıcaklıktaki atık sıvılardan faydalanmak amacıyla prototip ısı pompası tesisi kurmuştur. Her iki çalışmasının sonucunda ısı pompası kullanımının oldukça verimli olduğu ortaya koymuştur.

Muslu, [16] ısı pompası destekli ısı geri kazanım cihazının farklı sıcaklıklardaki performans analizlerini yapmış, ülkemizde üretilen bir ısı pompası destekli ısı geri kazanım cihazını kullanmış ve farklı sıcaklıklarda performans ölçümlerini yapmıştır.

Farshi, [17] kademeli sıkıştırma-emme ısı pompası adı verilen yeni bir ısı pompası tasarlayarak diğer ısı pompaları (sıkıştırma, soğurma ve hibrid sıkıştırma-emme) ile karşılaştırılmıştır. Dört farklı ısı pompasının özelliklerini belirlemek için enerji ve ekserji analizlerini yaparak karşılaştırılmıştır.

2.4. Ekonomizer ile Atık Isı Geri Kazanımının İncelendiği Çalışmalar

Gibbs, [18] bir kazana ekonomizer takılması ile elde edilecek yakıt tasarrufunu incelemiştir. Yapılan çalışmalar sonrasında yakıt tasarrufunun %6-16 arasında olduğunu ortaya koymuştur.

Butcher ve Litzke, [19] çalışmalarında, yakıt olarak kömür kullanılan kazanlarda kullanılan yoğunlaşmalı ekonomizerlerin verimliliğini ve baca gazına ait çıktıların emisyon kontrolleri açısından olası kullanımlarını hesaplamışlardır. Çalışmalarında, ısı transfer hesaplamaları yaparak bu tür kazanlara entegre edilen hava ve su soğutmalı ekonomizerlerle ilgili deneysel incelemeler yapmışlardır.

Çıtır, [20] ray ve profil haddehanesinde bulunan tav fırınında ekonomizer kullanılması durumunda atık ısı geri kazanım çalışması yapmıştır. Çalışmasında baca gazı ölçümleri sonuçları alıp, kütle ve enerji denklemlerini elde ederek ekonomizerden enerji kullanım imkanları, tasarım kriterleri ve amortisman süreleri hesaplanmıştır. Ekonomizerin %84 verimle çalıştığı tespit edilmiş ve ekonomizer kullanımı sonucu yıllık kazancın toplamda 513,916 € sistemin amortisman süresinin ise 3,6 yıl olacağını hesaplanmıştır.

He, [21] kömürle çalışan elektrik santrali için düşük basınçlı ekonomizeri atık ısı geri kazanım sistemi olarak tasarlamış ve termodinamik analizlerini yapmıştır. Düşük basınçlı ekonomizerin kullanılmasıyla, egzoz baca gazı içerisindeki ısının etkin bir şekilde geri kazanılabileceğini ve aynı zamanda su tüketiminin de azaltılabileceğinden bahsetmiştir.

Kılınc, [22] demir çelik sektöründeki endüstriyel bir tesise ait tav fırını bacasından atılan atık gazın ekonomizer vasıtasıyla geri kazanılması sonucu elde edilen ısı enerjisinin merkezi ısıtma-soğutma sistemlerinde ve sıcak su kullanım yerlerinde kullanılabilirliği incelenmiştir. Fırın bacasından atılan gazın sıcaklığına bağlı olarak ısı kapasite hesaplamaları ve optimum değerler tespit edilmiştir. Yapılan hesaplamalar neticesinde tesisin ihtiyacı olan sıcak suyun, ekonomizer vasıtasıyla geri kazanılan atık ısı enerjisi ile elde edilmesi sonucu

yıllık yaklaşık olarak 6.300.000 TL'lik tasarruf sağlandığı hesaplanmıştır.

2.5. Reküperatör ile Atık Isı Geri Kazanımının İncelendiği Çalışmalar

Aras, [23] baca gazlarını kullanarak kazan ön yakma havasının ısıtılması ve sıcak su temini için bir reküperatör tasarımı yapmıştır. Çalışma sonucunda, kazan veriminin %92'den %99'a yükseleceğini, reküperatör kullanımı sonucu 5 Nm³/h yakıt tasarrufu sağlanabileceğini göstermiştir.

Selimli, [24] bir tesisin tav fırınında, yakıt optimizasyonu sağlamak ve yüksek enerjili fırın egzoz gazından (700 °C-850 °C) fırın yakma havasına ısı transfer sağlamak amacıyla reküperatör tasarlamıştır. Tasarlanan reküperatör vasıtasıyla 820 °C baca gazı sıcaklığı ile 575 °C yakma havası elde edilmiştir. Bu sayede enerji geri kazanımı ve emisyon azalımı sağlanırken, ayrıca yüksek kaliteli ürün ve düşük maliyetli üretim elde edilmiştir.

2.6. Kazan Uygulamalarında Atık Isı Geri Kazanımının İncelendiği Çalışmalar

Willems, [25] endüstriyel kazanlar için gelişmiş sistem kontrolleri ve enerji tasarrufu yöntemlerini incelemiş, kazanlarda enerji tasarrufu için uygulanabilecek yöntemleri anlatmıştır.

Cortina, [26] çalışmasında biyo-yakıtlı kazanlar için kondensatörlerin önemini vurgulamış, kondensatör kullanılarak geri kazanılabilecek ısıdan bahsetmiştir.

Ünlü, [27] buhar kazanının verimini yükseltmek için, kazan yüzey blöfünün yapılması ve blöften enerji kazanımı, kondensin geri döndürülmesi, buhar kaplarındaki buhar kaçaklarının önlenmesi, atık ısıdan ve flaş buhardan ısı geri kazanımı üzerine çalışmalar yapmıştır.

Terhan, [28] Atatürk Üniversitesi'nde kurulu bulunan ısıtma merkezindeki kazanlardan egzoz gazı olarak dışarıya atılan atık enerjinin geri kazanımı ve atılan enerjinin tesislerde kullanım potansiyelini araştırmıştır. Neticede, egzoz edilen

baça gazı enerjisinin sistemde yeniden kullanımı ile kazan veriminin artacağı, yakıt tasarrufu sağlanacağı ve mahal ile sıcak su ısıtılmasında kullanılabilceğini tespit etmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda yıllık 413.673,07 m³ yakıt tasarrufu sağlanabileceği görülmüştür.

Wang, [29] endüstriyel buhar kazanı atık ısı ve su geri kazanımı için geliştirilen membran bazlı yoğunlaştırıcı teknolojiyi incelemiştir. Egzoz su buharının %40 oranında azaltıldığı ve toplam verimliliğin %5'ten fazla bir artış gösterildiği görülmüştür.

Görgülü, [30] bir tesiste baca gazından çıkan atık ısı enerjisini geri kazanarak çift etkili absorpsiyonlu soğutma sistemi tasarlamıştır.

2.7. Atık Isı Geri Kazanımında ORÇ Uygulamalarının İncelendiği Çalışmalar

Yağlı, [31] bir tav fırınının bacasından atmosfere atılan egzoz gazı atık ısını kullanması için organik Rankine çevrimi tasarlamıştır. ORÇ tasarımı toluen akışkanı kullanılarak yapılmış ve ardından çevrimin iyileştirilmesi için farklı akışkanlar incelenmiştir. Her bir akışkan için enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır.

Peris, [32] seramik endüstrisinde düşük dereceli atık ısı geri kazanımında organik Rankine çevriminin deneysel olarak uygulanmasını yapmıştır. Çalışmasında, organik Rankine çevriminin gerçek endüstriyel koşullarda performansını doğrulamak ve uygulamanın kârlılığını değerlendirmeyi amaçlayan araştırmacı, laboratuvar ve endüstriyel uygulama testlerinin ORÇ performans verilerinden, ısı geri kazanım sistemi modeli geliştirilmiştir. Modelin kullanılması ile beraber, çalışma yılı boyunca sistemin elektrik üretimi simüle edilerek 115 MWh üzerinde enerji üretimi elde edilmiştir. Seyedkavoosi, [33] içten yanmalı bir motordan atık ısı geri kazanımı için iki kademeli organik Rankine çevriminin ekserji analizini yapmıştır. Isı geri kazanım sistemi için çalışma sıvıları R-123, R-134a ve su seçilmiştir. Sonuçlar, dikkate alınan koşullar altında R-123'ün, %21'lik bir ekserji verimi ve 468 kW'lık net güç üretmesi sebebi ile sistem için en iyi çalışan akışkan olduğunu ortaya koymuştur.

Ramirez, [34] bir çelik fabrikasında atık ısı geri kazanım ünitesi ile birlikte büyük ölçekli bir organik Rankine çevrimi pilot tesisi tasarlanmıştır. Atık ısı, doymuş buhar üretmek için elektrikli ark ocağının dumanlarından geri kazanılmış ve daha sonra ısıtma mevsiminde bir bölgesel ısıtma tesisatına ve yılın geri kalanında da elektrik üretimi için organik Rankine çevrimine gönderilmiştir. Organik Rankine çevriminin nominal güç çıkışı 1,8MW ve net verimlilik %21,7 olarak hesaplanmıştır.

2.8. Gaz Türbinlerinde Atık Isı Geri Kazanımının İncelendiği Çalışmalar

Srikanth, [35] dizel yakıtı kullanan gaz türbininin egzoz gazını kullanarak atık ısı geri kazanım kazanlarında, kazan borularının korozyondan kaynaklanan arızalarını analiz etmiştir. Kazanın düşük sıcaklıktaki bölgelerinde yüksek korozyon eğilimi ve buna bağlı arızaların, bu bölgelerdeki hidratlı ferrik sülfat oluşumu ile doğrudan ilişkili olduğu bulunmuştur.

Yaylacı, [36] enerji sektörünün en önemli donanımlarından biri olan gaz türbini, atık ısı kazanı, konvansiyonel kazan ve buhar türbinlerinden oluşan TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi kuvvet santrali ünitesinin simülasyon modelini hazırlanmıştır. Kullanmış olduğu program vasıtası ile sisteme ait termodinamik hesaplamalar yapmıştır. Sistemin ekserji analizini yaparak ekserji veriminin optimizasyonunu yapmıştır.

Sharma, [37] gemi gaz türbininde kritik üstü ve transkritik karbondioksitin kullanılması sonucu elde edilecek gücün termodinamik analizlerini yapmıştır. Belirtilen çalışma koşulları altında önerilen sistemin, sağlayacağı güç çıktısını yaklaşık %18 artırma potansiyeline sahip olduğunu bulmuştur. Ayrıca, kullanılan sistem ile beraber genel verim %11'den fazla arttığını tespit etmiştir.

2.9. Sektörel Bazlı Yapılan Çalışmalar

2.9.1. Tekstil Sektöründe Atık Isı Geri Kazanımının İncelendiği Çalışmalar

Can, [38] boyama işleminden elde edilen atık ısının geri kazanım potansiyelini değerlendirmiştir. Sudan suya gövde ve boru ısı eşanjörü ile atık ısı

geri kazanım sisteminin etkin çalışma koşullarını optimize etmek için ekserji temelli bir yaklaşım uygulanmıştır. Atık su giriş sıcaklığı, kütle akış hızı, soğutma suyu giriş basıncı ve referans durum koşulları gibi sistem performansını etkileyen parametreler incelenmiştir. Koçlu, [39] boyama işlemi sonrası atılan yüksek yoğunluktaki ve yüksek sıcaklıktaki akışkanların plakalı ısı değiştirici yardımıyla geri kazanımını ve sistemin performans analizlerini incelemiştir. Sistemin kurulması ile birlikte 1 kg pamuk boyama için harcanan doğalgaz miktarında aylık ortalama %28,36 oranında bir azalma kaydedilmiştir.

2.9.2. Demir-Çelik Sektöründe Atık Isı Geri Kazanımının İncelendiği Çalışmalar

Kaşka, [40] çelik endüstrisinde kullanılan tav fırınların atılan ısının geri kazanımı için kullanılan organik Rankine çevriminin performansını incelemiştir. Evaporatör ve yoğunlaştırıcı basınçları, buharlaştırıcı çıkışındaki aşırı ısınma, yoğunlaştırıcıdaki aşırı soğutma ve buharlaştırıcıdaki ısı değişiminin sıkışma noktası sıcaklık farkı gibi bazı çalışma parametrelerinin incelenmesi, tesisin çalışması ve ısı çevrimi prosesine dair önemli bilgiler vermiştir. Eyidoğan, [41] endüstriyel bir tesise ait sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG) yakıtlı haddehane tav fırınında enerji verimliliği çalışmaları yapmıştır. Fırın verimliliği ve tasarruf potansiyellerini hesaplayabilmek için çeşitli ölçümler yapmıştır. Ölçüm sonuçlarından elde edilen verileri kullanarak enerji-kütle dengeleri kurmuştur. Hesaplamalar sonucunda fırın genel verimi %52,76 olarak hesap etmiştir. Tav fırınında yapılan incelemeler sonucu potansiyel enerji tasarruf noktalarının, yüksek hava fazlalık katsayısı ile çalıştırılma ve reküperatörün ısı transfer alanının yetersiz kalması olduğu görülmüştür. Bu noktalara yapılacak iyileştirmeler ile, yıllık 150.910\$ tasarruf elde edileceği ve yıllık 678,500 kg CO₂ emisyon salınımının önlenilebileceğini belirtmiştir. Akın, [42] ergimiş cürufun sahip olduğu ısı enerjisinin geri kazanılmasına olanak sağlayacak yenilikçi bir sistem tasarlanmıştır. Ayrıca, tasarlanan sistemin maliyet muhasebesi yapılmış ve ticari yönden kullanılabilirliği analiz edilmiştir. Deng, [43] çelik endüstrisinde cüruf soğutma işleminde atık ısının geri kazanılması için kullanılan ısı borusu ısı

değiştiricisini incelemiştir. Isı değiştiricisini temsil eden ana parametreler, deneysel ve teorik olarak araştırılarak en uygun işletme koşulları termodinamiğin birinci ve ikinci kanunları ile belirlenmiştir. Sonuçta, ısı transfer oranı ve ısı transfer katsayısının, su akış hızına bağlı olarak arttığını ortaya koymuştur. Jouhara, [44] çelik üretiminde açığa çıkan yüksek sıcaklıktaki ısının geri kazanımı için düz ısı borusu ısı eşanjörü tasarlanmış ve test etmiştir. Tasarlanan ısı değiştiricisinin termal performansı ve ısı transfer hızı araştırılmıştır. Sonuçlar, sistemin ısı geçiş kabiliyetinin yüksek sıcaklık kaynağının sıcaklığından çok fazla etkilendiğini göstermektedir. Chang, [45] atık ısı geri kazanımıyla birlikte, demir çelik sektöründe kok üretim sürecini modellenmiştir. Gerçek fabrika verileri, literatür verileri ile karşılaştırılmıştır, söndürme moduna ve atık ısı geri kazanımına dayanan kok üretim süreci termodinamik, tekno-ekonomik ve CO₂ emisyon analizi üzere üç metot ile analiz edilmiştir. Çalışmalar sonucunda atık ısı geri kazanımı ile enerji ve ekonomik verimliliğin artacağı ve CO₂ emisyonlarının azaltılabileceği tespit edilmiştir.

2.9.3. Çimento ve Orman Sektöründe Atık Isı Geri Kazanımının İncelendiği Çalışmalar

Karellas, [46] endüstride fırın ve ön ısıtıcıların radyasyon ve konveksiyon kayıpları nedeniyle sisteme giren ısının geri kazanımı için su buharı, Rankin ve organik Rankine çevrimlerini karşılaştırılmıştır. Neticede organik Rankine çevriminin daha verimli olduğu görülmüştür. Ekonomik açıdan bakıldığında, atık ısı geri kazanım tesisi ile geri kazanılan ısı enerjisi ile ciddi miktarlarda para tasarrufu yapılabileceği görülmüştür. Tütüncü, [47] çimento fabrikalarında atık ısı geri kazanım sistemlerinin enerji verimliliğine olan etkileri, sistemin termodinamik olarak incelenmesi ve geliştirilmesi amaçlanmıştır. Güneş, [48] bir orman endüstri tesisinde kojenerasyon sistemi ile elde edilebilecek elektrik enerjisi ve ısı enerjisinin potansiyelini araştırmıştır. Sistemin uygulanması ile beraber tesis için hem elektrik hem de ısı enerjisi üretilebileceği belirtilmiştir. Sistemin yıllık 1,8 milyon TL enerji tasarrufu sağlayacağı ve kendini 2 ay içerisinde amorti edeceği görülmüştür.

2.9.4. Gıda Sektöründe Atık Isı Geri Kazanımının İncelendiği Çalışmalar

Aneke, [49] enerjiyi yoğun olarak kullanan cips üretim sürecinin fritöz bölümüne vurgu yaparak, ısı geri kazanımının önemini vurgulamıştır. Fritöz bölümünden çıkan atık ısının elektrik enerjisine çevrilmesi ve bu çevrim için bir çift ısı kaynağı sistemi kullanımını önermektedir. Önerilen teknolojinin şu anda 216 kW kapasiteli olan tesisin günlük en yüksek elektrik ihtiyacının yaklaşık %92'sini ürettiğini göstermektedir. Yaşam döngüsü değerlendirme çalışması, üretilen elektriğin, kömürle çalışan geleneksel bir elektrik santralinden üretilen elektriğin yerini almak için kullanımı halinde CO₂ emisyonunu 139,580 kg/yıl azaltabileceğini göstermektedir. Manno, [50] endüstriyel makarna üretim sürecini incelenmiş ve kurutma işleminden gelen atık ısıyı geri kazanmak için bir adsorpsiyon çevrimi tasarlamış ve elde edilebilecek enerji tasarruflarını değerlendirmiştir. Yapılan analizler sonucu elde edilen veriler, %40-50 aralığında ısı enerjisi tasarrufu sağlanabileceğini göstermiştir.

2.9.5. Enerji Üretim Tesisinde Atık Isı Geri Kazanımının İncelendiği Çalışmalar

Eyriboyun, [51] Zonguldak Çatalağzı Termik Elektrik Santrali'nin yoğunlaştırıcı soğutma suyu atık ısısının, yerleşim yerlerinin ısıtılmasında kullanılmasını incelenmiştir. Kullanılacak olan ısı pompası sistemiyle yoğunlaştırıcı soğutma suyu atık ısısının geri kazanılarak konut ısıtılmasında kullanılmasının hem ekonomik kazanç sağlayacağı hem de doğal kaynakların korunması hem de çevre kirliliğinin azaltılması amaçlanmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre; işletme giderleri ve enerji tasarrufu bakımından ısı pompası sistemi avantajlı olsa bile ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ve de konuyu sahiplenen resmi bir kurum olmaması nedeniyle bu ısının kullanılmadığından bahsetmiştir. Enç ve Kasırga, [52] Depo Gazı Enerji Üretim Tesisinde oluşan ve atmosfere atılan atık ısının değerlendirilmesini araştırmışlardır. Dizayn edilen atık ısı geri dönüşüm sistemiyle ısı geri kazanımı sağlanmış ve bu ısı sera ısıtılmasında kullanılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

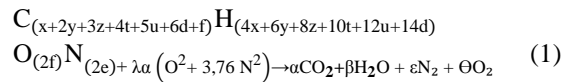
Sunulan bu çalışmada orman endüstri sektöründe hizmet veren bir tesisin atık ısı geri kazanım potansiyeli araştırılmıştır. Tesiste ısıtma, sıcak su ve proses ihtiyaçlarını tedarik edebilmesi için 2 adet doğalgaz yakıtlı alev borulu kızgın sulu kazan sistemi kullanılmaktadır. Mevcut sistemin enerji, ısı transferi ve ekonomik çözümlenmeleri [28] yapılarak elde edilen sonuçlar neticesinde atık ısıdan yararlanmak için ön hava ısıtıcı tasarımı (reküperatör) ve uygulaması yapılmıştır.

3.1. Enerji Hesaplamaları

Bu bölümde yakıt olarak doğalgaz kullanılan kazanlardan atık baca gazı olarak çıkan enerjinin büyüklüğünü tespit etmek, ön ısıtıcı ile ne kadarlık kısmının tekrar kazanılabileceğini hesaplamak için enerji analizi yapılmıştır. Tesiste kullanılan doğalgazın %92'si metan, geri kalan %8'lik kısmı propan, bütan, az miktarda etan ve karbondioksitten oluştuğu kabul edilmiştir. Doğal gazın özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. İçeriğinde bulunan metan moleküllerinin kimyasal yapısının basitliği nedeniyle yanma işlemi kolay olup, tam yanma gerçekleşmektedir. Kapalı formülünün çıkarılabilmesi için doğalgazın kimyasal içeriğine ve hacimsel yüzde değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Hava ile yakıtın tam yanması sonucu açığa çıkan yanma ürünleri ve mol miktarları Eşitlik 1'de gösterilmiştir [53].

Çizelge 1. Doğal gazın özellikleri

Yakıt	Alt Isıl Değer (H _u) [kJ/kg]	Üst Isıl Değer (H _o) [kJ/kg]
Doğal Gaz	45000	50000
Metan	50050	55530
Propan	46340	50330
Bütan	45370	49150



Yanma reaksiyonu neticesinde ürün olarak CO₂, H₂O, O₂ ve N₂ meydana gelmektedir. Yanma ürünlerine ait mol miktarları kmol cinsinden kimyasal denkleştirme yapılarak hesaplanabilir.

Toplam baca gazı miktarı kmol cinsinden Eşitlik 2 ile hesaplanmıştır.

$$n_{bg} = n_{O_2} + n_{CO_2} + n_{H_2O} + n_{N_2} \quad (2)$$

Bacadan çıkan egzoz gazlarını meydana getiren bileşenlerin her birine ait mol kesirleri Eşitlik 3 ile hesaplanmıştır.

$$x_{CO_2} = \frac{n_{CO_2}}{n_{bg}}, \quad x_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_{bg}}, \quad x_{N_2} = \frac{n_{N_2}}{n_{bg}}, \quad x_{O_2} = \frac{n_{O_2}}{n_{bg}} \quad (3)$$

Egzoz gazlarının ortalama özgül ısı Eşitlik 4 ile hesaplanmıştır [53].

$$c_{p,ort} = c_{p(CO_2)}x_{CO_2} + c_{p(O_2)}x_{O_2} + c_{p(H_2O)}x_{H_2O} + c_{p(N_2)}x_{N_2} \quad (4)$$

\dot{c}_p değeri ise; özgül ısı değerini ifade etmekte olup birimi kJ/kg.K olarak alınmıştır. Yakıtın yanması sonucu elde edilen yakıt enerjisi Eşitlik 5 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{E}_{yakıt} = \dot{Q}_{yakıt} x H_u \quad (5)$$

Eşitlikteki $\dot{Q}_{yakıt}$ birim zamanda sarf edilen yakıt olup birimi m^3/s 'dir. H_u ise yakıtın alt ısı değerini ifade etmekte olup birimi kJ/ m^3 'tür. Baca gazlarının birim zamandaki kütlesi, yakıtın ve havanın birim zamandaki kütlelerinin toplamına eşittir.

$$\dot{m}_{yakıt} + \dot{m}_{hava} = \dot{m}_{baca\ gazı} \quad (6)$$

Havanın birim zamandaki kütlesi (kg/s);

$$\dot{m}_{hava} = \frac{\dot{m}_{yakıt} x 4,76 x \lambda x Ma_{hava}}{Ma_{yakıt}} \quad (7)$$

Eşitlik ile hesaplanır. $\dot{m}_{yakıt}$ yakıtın birim zamandaki kütlesini, λ hava fazlalık katsayısını, Ma_{hava} havanın mol ağırlığını ve $Ma_{yakıt}$ ise yakıtın mol ağırlığını ifade etmektedir. Yakıtın birim zamandaki kütle değeri (kg/s);

$$\dot{m}_{yakıt} = \dot{Q}_{yakıt} x \rho_{yakıt} \quad (8)$$

Eşitlik 8 ile hesaplanır. Eşitlikteki $\dot{Q}_{yakıt}$ değeri, birim zamanda sarf edilen yakıt olup gaz yakıtlar için birimi m^3/s 'dir. $\rho_{yakıt}$ ise yakıtın ortam şartlarındaki yoğunluğunu ifade etmektedir. Gaz yakıtlar için yakıt yoğunluğu ortam koşullarına göre (1 atm basınç ve T_o ortam sıcaklığı °K);

$$\rho_{yakıt} = \frac{Ma_{yakıt} x 273}{22,4 x T_o} \quad (9)$$

Baca gazlarının birim zamandaki kütle ve mol miktarları Eşitlik 10 ve 11'den hesaplanmıştır.

$$\dot{m}_{baca\ gazı} = \dot{m}_{yakıt} + \frac{\dot{m}_{yakıt} x 4,76 x \lambda x Ma_{hava}}{Ma_{yakıt}} \quad (10)$$

$$\dot{n}_{baca\ gazı} = \frac{\dot{m}_{baca\ gazı}}{Ma_{baca\ gazı}} \quad (11)$$

Yakıtın yanması sonucu açığa çıkan enerjinin bir kısmı baca gazları ile beraber atmosfere atılmaktadır. Baca gazlarının enerjisi; baca gazı sıcaklığından ileri gelen duyulur ısı (Eşitlik 12) ve su buharına ait gizli ısıdan (Eşitlik 13) meydana gelir.

$$\dot{E}_{bg,duy} = \dot{n}_{bg} x \dot{c}_{p,ort} x (T_{bg} - T_o) \quad (12)$$

$$\dot{E}_{bg,giz} = (\dot{n}_{bg} x x_{H_2O}) x x M_{H_2O} x h_{fg} \quad (13)$$

Baca gazından dışarı atılan (kayıp) duyulur ve gizli ısı yüzdeleri Eşitlik 14 ve 15 ile hesaplanmıştır.

$$\%e_{kay,duy} = \frac{\dot{E}_{bg,duy}}{\dot{E}_{ya}} x 100 \quad (14)$$

$$\%e_{kay,giz} = \frac{\dot{E}_{bg,giz}}{\dot{E}_{ya}} x 100 \quad (15)$$

Yanma işleminin gerçekleştiği proseslerden enerji kaybının çok büyük bir bölümü baca gazları kayıplarından meydana gelmektedir. Kazan kayıpları hesaplanırken meydana gelen kayıplar baca gazı kayıpları ve diğer kayıplar olmak üzere iki ana başlıkta ele alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Baca gazlarının sahip olduğu enerji duyulur ve gizli enerjinin toplamından hesaplanmıştır. Toplam baca gazı kayıpları, yüzde baca gazı kayıpları ve kazan kayıpları Eşitlik 16, 17 ve 18 ile hesaplanmıştır [54].

$$\dot{E}_{top,bg} = \dot{E}_{bg,duy} + \dot{E}_{bg,giz} \quad (16)$$

$$\% \text{ baca kayıpları} = \frac{\dot{E}_{top,bg}}{\dot{E}_{yakıt}} \times 100 \quad (17)$$

$$\% \text{ kazan kyp.} = \% \text{ baca kyp.} + \% \text{ diğer kyp.} \quad (18)$$

Bacadan atılarak kayba uğrayan enerjinin yıllık parasal değeri, Eşitlik 19 ile hesaplanmıştır. Kazanın 24 saat, 30 gün ve 12 ay balistiği kabul edilmiştir. Verilen eşitlikteki m değeri, 1 m³ doğalgaza ait birim fiyatı göstermektedir.

$$P_{kay} = \frac{\dot{E}_{bg,duy} + \dot{E}_{bg,giz}}{4,18 \times H_u} \times m \times 60 \times 60 \times 24 \times 30 \times 12 \quad (19)$$

Egzoz edilen baca gazlarının soğutulması ile beraber geri kazanım sağlanan enerji, çiylenme noktasının üzerindeki bir sıcaklığa ($T_{bg,c}$) soğutulması halinde yalnızca duyulur enerjinin bir kısmı geri kazanılabilir. Hem duyulur hem de gizli enerjiden geri kazanım sağlanabilmesi için çiylenme noktasının altına inilmelidir.

$$P_{su} = x_{H_2O} \times P_{atm} \quad (20)$$

Denklemden verilen x_{H_2O} baca gazları içerisindeki suyun mol kesri, P_{atm} ise atmosfer basıncıdır. Geri kazanılan enerji miktarı, enerji kütle denkliği yazılarak Eşitlik 21 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{E}_{geri,kaz} = \dot{m}_{bg} \times c_{p,ort} \times (T_{bg,g} - T_{bg,c}) \quad (21)$$

Geri kazanılan ısı miktarının yüzdesel değeri Eşitlik 22 ile hesaplanmıştır.

$$\% \dot{e}_{geri-kazan} = \frac{\dot{E}_{geri,kaz}}{\dot{E}_{yakıt}} \times 100 \quad (22)$$

3.2. Isı Transfer Hesaplamaları

Yapılan enerji analizi neticesinde elde edilen baca gazı enerjisinden geri kazanım sağlayabilmek için ne büyüklükte ısı değiştirici tasarlanması gerektiğini belirlemek için ısı transfer analizi yapılmıştır. Isı transferi için, ısı değiştiricinin geometrik özellikleri toplam boru sayısı, ısı transfer yüzey alanı, boru tarafı ve gövde tarafının basınç düşümleri hesaplanmıştır. Basınç

kayıplarını karşılayabilmek için ihtiyaca duyulacak fan kapasitesi belirlenmiştir. Kazanlardan atık ısı olarak atılan sıcak baca gazı, sisteme dahil edilecek bir ısı değiştiricisi vasıtası ile soğutulurken, elde edilecek ısı sayesinde kazana ait yakma havasına on ısıtma yapılması amaçlanmaktadır. Söz konusu sistem için çapraz akışlı ısı değiştirici tasarlanması öngörülmüştür. Isı değiştiricisinin içerisindeki boru demetlerinden ısıtılmak istenen yakma havası, demetlerin üzerinden baca gazı geçirilerek ısı geçişi sağlanmaktadır. Seçilen ısı değiştiricinin her iki akışkanını içinde ısı transfer katsayısı hesaplanmalıdır. Boru demetleri içinden akan hava tarafının ısı transfer katsayısını hesaplamak için Eşitlik 23'de verilen Dittus-Boelter denkleminde faydalanılmıştır [55]. Eşitlikten elde edilen Nusselt sayısı Eşitlik 24'e uygulanmış ve hava tarafı için ısı transfer katsayısı hesaplanmıştır.

$$Nu = 0,023 \times Re^{0,8} \times Pr^{0,4} \quad Re > 10000 \quad (23)$$

$$h_{hava} = \frac{Nu \times k_{hava}}{d_i} \quad (24)$$

Yukarıdaki eşitliklerde verilen, Nu: Nusselt sayısını, Re: Reynolds sayısını, Pr: Prandtl sayısını, h_{hava} havanın taşınım ısı transfer katsayısını ($W/m^2.K$), k_{hava} havanın ısı iletkenlik katsayısını ($W/m.K$) ve d_i ise borunun iç çap ölçüsünü (m) ifade etmektedir. Seçilen ısı değiştiricinin boru içi hava tarafının ısı transfer katsayısını hesaplamak için Eşitlik 25 ve 26 kullanılmıştır [56].

$$v_{hava} = \frac{4 \times m_{hava}}{\rho_{hava} \times \pi \times (d_i)^2} \quad (25)$$

$$Re = \frac{\rho_{hava} \times d_i \times v_{hava}}{\mu_{hava}} \quad (26)$$

Egzoz gazının taşınım katsayısını hesaplamak için sistemdeki boru demetlerinin sıralı tip mi, şaşırtmalı tip mi olduğu önem arz etmektedir. Sunulan çalışmada boru dizilişleri sıralı tip olarak belirlenmiştir. Bu belirlemeye göre Nusselt sayısı Eşitlik 27 ile hesaplanmıştır [57].

$$Nu_D = 0,27 \times Re_{max}^{0,63} \times Pr^{0,36} \times (Pr/Pr_s)^{0,25}$$

$$1000 < Re_{max} < 2 \times 10^5 \quad (27)$$

Sisteme ait bacadan çıkan egzoz gazına ait ortalama hız;

$$V_{bg,ort} = \frac{\dot{m}_{bg}}{\rho_{bg} \times L_z \times L_y} \quad (28)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Eşitlikte verilen L_z ısı değiştiricisinin uzunluğunu, L_y ise ısı değiştiricisinin genişliğini göstermektedir. Baca gazına ait maksimum hız Eşitlik 29'dan [56];

$$V_{bg,max} = V_{bg,ort} \times \frac{S_z}{(S_z - d_0)} \quad (29)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. S_z boruların arasındaki boşlukların z yönündeki mesafesini göstermektedir. Baca gazı tarafına ait Re sayısı da Eşitlik 30 ile hesaplanmıştır [56].

$$Re_{max} = \frac{\rho_{bg} \times d_0 \times V_{bg,max}}{\mu_{bg}} \quad (30)$$

Baca gazı tarafına ait ısı taşınım katsayısı Eşitlik 31 ile hesaplanmıştır [58]. Eşitlikte belirtilen, k_{bg} baca gazına ait ısıl iletkenlik katsayısını ve d_0 ise borunun dış çap ölçüsüdür.

$$h_{bg} = \frac{Nu_D \times k_{bg}}{d_0} \quad (31)$$

Nusselt sayısı Eşitlik 32'den hesaplanır. Eşitlikte yer alan F düzeltme faktörünü ilgili tablolardan ($N_z=10$ ' y yönündeki boru demeti sayısı) 0,98 seçilmiştir [58].

$$Nu_{D,N_z} = Nu_D \times F \quad (32)$$

toplam ısı transfer katsayısı Eşitlik 33 ile hesaplanmıştır. Eşitlikte bulunan k_{boru} , ısı değiştirici boru malzemesine ait ısıl iletkenlik katsayısıdır [59,60].

$$U_0 = \frac{1}{\frac{r_o}{r_i} \times \frac{1}{h_{hava}} + \frac{r_o}{k_{boru}} \times \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \frac{1}{h_{bg}}} \quad (33)$$

Soğuk ve sıcak akışkanlar arasındaki sıcaklık farkı (ΔT), ısı değiştiricinin giriş kısmında çıkış kısmına

nazaran daha yüksektir. Sıcaklık farkı, çıkış kısmına doğru üstel olarak azalır. Bu değer, logaritmik ortalama sıcaklık farkı olarak adlandırılır ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır [59,60].

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{bg,g} - T_{hava,\zeta}) - (T_{bg,\zeta} - T_{hava,g})}{\ln\left(\frac{T_{bg,g} - T_{hava,\zeta}}{T_{bg,\zeta} - T_{hava,g}}\right)} \quad (34)$$

Sistemin ait ısı transfer alanı Eşitlik 35 ile hesaplanmıştır.

$$A_o = \frac{\dot{m}_{hava} \times c_{p,hava} \times (T_{hava,\zeta} - T_{hava,g})}{F \times U_0 \times \Delta T_{lm}} \quad (35)$$

Boru ve gövde taraflarına ait basınç düşümleri Eşitlik 36 ile hesaplanmıştır.

$$\Delta P_{boru} = f \times \frac{L_{top}}{d_i} \times \rho_{hava} \times \frac{V_{hava}^2}{2} \quad (36)$$

Denklemden verilen L_{top} , toplam boru uzunluğunu ve f , sürtünme faktörünü temsil etmektedir. Sürtünme faktörü için literatürde kabul görmüş birçok denklem mevcuttur. Sunulan çalışmada bu denklemlerden düz dairesel borular için kullanılan Eşitlik 37'deki Filonenko denklemi kullanılmıştır. [61].

$$f = 0,046xRe^{-0,2} \quad 3 \times 10^4 < Re < 10^6 \quad (37)$$

Boru tarafında oluşan basınç düşümünü aşabilmek için gerekli fana ait güç Eşitlik 38 ile hesaplanmıştır.

$$\dot{W}_{fan,hava} = \frac{\dot{Q}_{hava} \times \Delta P_{top}}{\eta_{fan}} \quad (38)$$

Yukarıdaki denklemden belirtilen \dot{Q}_{hava} havaya ait hacimsel debiyi, η_{fan} ise verimi ifade etmekte olup, %85 alınmıştır. [62]. Baca gazı kısmında boru demeti üstünden akan baca gazına ait giriş ve çıkış arasındaki basınç düşümü Eşitlik 39 ile hesaplanmıştır. Basınç düşüm katsayısı Eşitlik 40 ξ ile gösterilir ve boru demeti dizilimine göre değişkenlik gösterir [63].

$$\Delta P_{gövde} = \xi \times \left(\frac{\rho_{bg} \times V_{bg,ort}^2}{2} \right) \quad (39)$$

Bu denklem sıralı boru dizilimi için;

$$\xi = 2x \left(\frac{S_y}{d} - 1 \right)^{-0,5} \times Re^{-0,5} \times N_z \quad (40)$$

Sistemde meydana gelecek basınç düşümünü aşabilmek için gerekli fan gücü denklem 3.41 ile hesaplanmıştır. Denklemde belirtilen; $T_{bg,g}$ baca gazı giriş sıcaklığını, P_d ise basınç düşümü ile atmosfer basıncının toplamını ifade eder. P_i atmosfer basıncını ifade etmekte olup, k ise özgül ısı oranıdır. Bu çalışmada η_{fan} %85 olarak kabul edilmiştir [63].

$$\dot{W}_{fan,bg} = \frac{\dot{m}_{bg} \times c_{p,bg} \times T_{bg-g} \times \left[\left(\frac{P_d}{P_i} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}{\eta_{fan}} \quad (41)$$

3.3. Ekonomik Analiz

Sistem için ekonomik analiz, bir önceki bölümde tasarlanan ısı değiştirici vasıtası ile elde edilecek yakıt tasarrufu ve amortisman süresini hesaplayabilmek için yapılmaktadır. Ekonomik analiz yapılırken; ilk yatırım maliyetleri, ekonomik ömür, senelik bakım ve işletme harcamaları, senelik kar miktarı, hurda değeri ve faiz oranları önem arz etmektedir. Kurulacak sistem vasıtası ile geri kazanılan enerjinin yıllık maddi değeri (tasarruf miktarı), Eşitlik 42 ile hesaplanmıştır. Eşitlikteki m değeri 1 m^3 doğalgaza ait birim fiyatı göstermektedir.

$$F_{geri,kaz} = \frac{\dot{E}_{geri-kaz}}{4,18 \times H_u} \times m \times 60 \times 60 \times 24 \times 30 \times 12 \quad (42)$$

Ekonomik analiz yapılırken net bugünkü değer metodundan faydalanılmıştır. Bu metot gelecek dönemde alınacak ve/veya verilecek paranın şimdiki değerini belirlemek amacı ile kullanılmaktadır. Şimdiki ve gelecekteki gelir ile giderler herhangi bir alternatif için bilinebiliyorsa, uygun bir faiz oranı kullanılarak alternatifte ait şimdiki değer hesaplanabilir. Eşitlik 43 ile net bugünkü değer NBD hesaplamaları yapılmıştır. Eşitlikteki n , yatırımın faydalı ömrünü A_i , yatırımdan sağlanacak nakit girişlerini, r faiz oranını, H yatırımın faydalı ömrü sonundaki hurda değerini, C_i yatırım için yapılması gereken nakit çıkışlarını ifade etmektedir [64].

$$NBD = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{(1+r)^i} + \frac{H}{(1+r)^{n+1}} - \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} \quad (43)$$

Kazan sistemine uygulanacak olan projenin amortisman süresi geri ödeme süresi ile hesaplanmıştır. Yıllara göre sağlanan gelirin değişmediği kabulü ile yatırım tutarının, 1 yıllık yatırım gelirine, K bölünmesi ile geri ödeme süresi hesaplanmıştır (Eşitlik 44).

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = \frac{I}{K} \quad (44)$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Çalışmanın yapıldığı endüstriyel tesiste 2 adet 18.000.000 kcal/h kapasiteli 180/120 °C kızgın sulu alev duman borulu kazan bulunmaktadır. Bu endüstriyel tesiste yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Endüstriyel tesise ait kazan otomasyon sisteminden alınan veriler Çizelge 2'de sunulmuştur. Alınan veriler neticesinde yapılan enerji analizinde toplam baca gazı kayıplarının yaklaşık olarak %17 olduğu hesaplanmıştır. Bu kayıp tesiste bulunan her iki baca için de büyük bir enerji potansiyeline sahiptir. Kayıp baca gazlarının yıllık maddi değeri her iki baca için toplamda 1.119.792 TL'dir. İki kazanın yıllık yakıt tüketimi toplamda 13.320.644 m^3 'tür. Kazanlar yılın 365 günü ve 24 saat çalışmaktadır. Kazanların saatlik yakıt tüketimi 1520 m^3 , günlük tüketimi ise 36.494,9 m^3 'tür. Çizelge 3'de kazan verilerine göre yapılan analiz sonuçları sunulmuştur.

Çizelge 2. Otomasyon sisteminden alınan veriler

Alınan Değerler	1.Kazan	2.Kazan
Hava fazlalık katsayısı λ	1,13	1,17
Baca gazı çıkış sıcaklığı °C	156	152
Yakma havası °C	30	30

Baca gazının kayıp enerjisi, baca gazının sıcaklığıyla doğru orantılı olarak değişmektedir. Baca gazı sıcaklığı arttıkça, baca gazının duyulur enerji kaybı artmaktadır. Baca gazı gizli enerji kaybı artan sıcaklıktan etkilenmemektedir. Baca gazı gizli kayıp değeri doğrudan baca gazı içerisindeki su buharı ile doğru orantılıdır. Kazan verimi baca gazı sıcaklığı ile ters orantılı olarak değişmektedir. Baca gazı sıcaklığı arttıkça kayıplar artmakta, bu da kazandan elde edilen verimin düşmesine neden

olmaktadır. Hava fazlalık katsayısının artması da toplam baca gazı miktarını arttırmaktadır. Artan baca gazı ile beraber duyulur baca gazı ısı kaybı artmakta ve dolayısı ile verim düşmektedir. Baca gazından kaybedilen kayıp ısılar baca gazının soğutulması veya baca gazındaki su buharının yoğuşturulması ile büyük bir kısmı tekrar kazanılabilir. Su buharının yoğuşabilmesi için çiylenme sıcaklığının altına kadar soğutulması gereklidir.

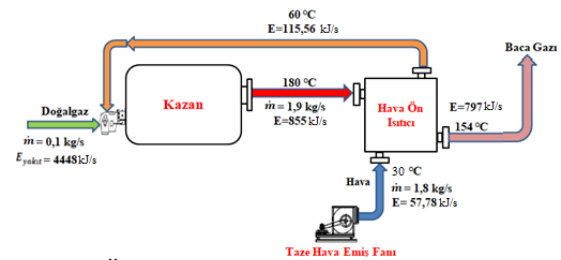
Çizelge 3. Analiz sonuçları

Analiz	1.Kazan	2.Kazan
Baca Gazı Duyulur Isı Kaybı (%)	6,78	6,72
Baca Gazı Molar Kesri (H ₂ O)	0,1629	0,1638
Baca Gazı Gizli Isı Kaybı (%)	10,32	10,32
Baza Gazı Toplam Isı Kaybı (%)	17,1	17,04
Baca Gazı Kaybının Bedeli (TL/yıl)	560.880	558.912
Çiylenme Sıcaklığı	62,24	62,86
Yakıt Debisi (kg/s)	0,1	0,1
Yakıt Enerjisi (kJ/s)	4448	4448
Hava Debisi (kg/s)	1,78	1,82
Baca Gazı Debisi (kg/s)	1,88	1,92

4.1. Sisteme Ait Hava Ön Isıtıcısının Dizaynı

Tesiste bulunan kazandan çıkan 180°C sıcaklığındaki baca gazı ön ısıtma ünitesine girmektedir. Ön ısıtıcıya (rekuperator) giren hava dış sıcaklığın etkisi ile beraber soğumaya başlar. Yaklaşık olarak 154-°C'ye kadar soğuma olmaktadır. Aynı zamanda 30 °C olan kazan yakma havası 60 °C'ye kadar ısıtılmaktadır. Baca gazına ait çıkış sıcaklık değeri çiylenme noktasının üzerinde olduğundan baca gazı içerisindeki su buharının çiylenmesi mümkün olmayacaktır. Sıcaklığı artan hava tekrar kazana verilir. Isınan havanın tekrar kazana verilmesi ile beraber kazan verimi artar. Kazan veriminin artması ile beraber daha iyi bir yanma meydana gelir ve kazan kayıpları azalır. Sistemde kullanılan kazanda bulunan brülör maksimum hava sıcaklığının 80 °C'ye kadar dayanım sağlamaktadır. Ön ısıtma sistemi için tasarımı yapılırken havanın 60-°C'ye kadar ısıtılması hedeflenmiştir. Ön ısıtma sisteminde oluşabilecek ısı kayıplarını minimize etmek amacıyla dış kısmı yalıtım malzemesi ile çevrilmiştir. Hava ön ısıtıcısının içi de sıralı tip boru demeti ile çevrilmiştir. Boru demetinde yer alan boruların dış çapları 30 mm, iç çapları ise 27 mm olup et kalınlığı 1,5 mm olarak seçilmiştir. Sistemin çiylenme

sıcaklığı 60-°C olduğu için paslanma beklenmemektedir. Çiğlenme söz konusu olmayacağı için boru demetinde karbon çeliği kullanılmıştır. Ön ısıtıcı içerisinde yer alan borular yatayda 30 sıra, düşeyde 10 sıra olmak üzere toplamda 300 tanedir. Boru demeti etrafı karbon çeliği levha ile çevrilmiş olup, diğer kısmı 15 cm kauçuk köpük (k=0,038 W/m.K) ile çevrilerek izole edilmiştir. Boru demetinde yer alan boruların birbirlerine olan mesafeleri enine ve boyuna eşit mesafede olacak şekilde konumlandırılmış ve 0,040 m olarak ayarlanmıştır. Boru demetinde yer alan her bir borunun boyu eşit ve 1 m olarak seçilmiştir. Ön ısıtıcı içerisinde yer alan boru demetinden oluşan ısı değiştiricinin malzemesi olarak seçilen karbon çeliğine ait ısı iletkenlik katsayısı k=60,5 W/m.K olarak hesaplamalarda kullanılmıştır. Hava ön ısıtıcı içerisinde boru demeti 0,35'lik kısma yerleştirilmiştir. Hava ön ısıtıcının yüksekliği ile kazan çıkışında yer alan baca gazı borusunun çapı ön ısıtıcının yüksekliğinden daha küçüktür. Ön ısıtıcının yüksekliği 2 m olarak tasarlanmıştır. Kazan çıkışında bulunan bacanın çapı 1,5 m ve bacanın uzunluğu 12 m'dir. Ön ısıtıcıdan çıkan ve burada ısıtılan havanın kazan brülörüne iletiği hava kanalında oluşabilecek kayıpları minimize etmek için dış kısmı 10 cm kalınlığında cam yünü (k=0,040 W/m.K) ile kapatılmıştır. Tesiste aynı kapasitede iki kazan olduğu için her bir kazan için birer tane ön ısıtıcı eklenmiştir. Sisteme ait ön ısıtma ünitesinin şematik gösterimi, kazan sistemdeki yerleşimi ve enerji-kütle denklileri Şekil 1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 1. Ön ısıtıcı şematik yerleşimi

4.2. Sistem için Tasarlanan Hava Ön Isıtıcısının Analiz Sonuçları

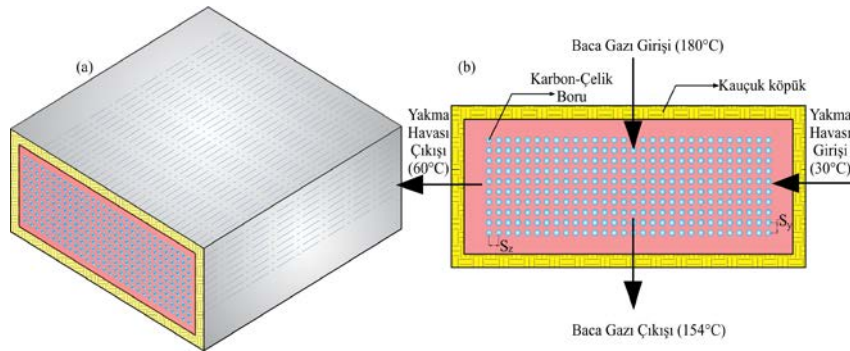
Kazan sisteminde kullanılan ön ısıtıcı için yapılan tasarıma ait hesaplamalar Çizelge 4'de, tasarlanan

ısı değiştiricinin izometrik ve kesit görünüşü de Şekil 2’de verilmiştir. Hava için yapılan hesaplamalarda, Nusselt sayısı, $Nu=38,95$, ısı iletim katsayısı, $k_{hava}:0,024$ W/m.K ve $d_i:0,027$ m olarak hesaplanmıştır. Baca gazı için yapılan hesaplamalarda, Nusselt sayısı, $Nu_D=65,65$, $k_{hava}:0,035$ W/m.K ve $d_o: 0,03$ m olarak alınmıştır. L_{top} ; toplam boru boyu uzunluğudur ve 300 m olarak alınmıştır. Bir boruya ait yüzey alanı $0,094$ m²’dir. Boru tarafı için yapılan hesaplamalarda, f sürtünme faktörü: $0,016$, $L_{top}: 300$ m, $d_i:0,027$ m, $\rho_{hava}:1,164$ kg/m³ (30°C için) ve $V_{hava}:7,42$ m/s olarak alınmıştır. Gövde tarafı için yapılan hesaplamalarda, basınç düşümü katsayısı (ξ): $0,144$, $\rho_{hava}: 4,5$ kg/m³ ve ortalama baca gazı hızı $(V_{bg,ort})^2= 5,17$ m/s olarak alınmıştır. Boru tarafı için yapılan hesaplamalarda,

havanın hacimsel debisi $\dot{Q}_{hava}: 0,422$ m³/s ve fanın verimi, $\eta_{fan}:\%85$ olarak alınmıştır. Gövde tarafı için yapılan hesaplamalarda, kütleli debi (\dot{m}_{bg}): $1,9$ kg/s, baca gazı giriş sıcaklığı ($T_{bg,g}$): 180 °C ve baca gazı özgül ısısı ($c_{p,bg}$): $0,33$ kcal/Nm³°K olarak alınmıştır. Ekonomik analizlerde; geri kazanılan enerji, $\dot{E}_{geri,kaz}=10181,2$ kJ, yakıtın alt ısıl değeri, $H_u=34535$ kJ/m³ ve 1 m³ doğalgazın birim fiyatı, $f=0,075$ TL/m³ olarak alınmıştır. Hesaplamalar sonucunda 164.528,34 TL yıllık tasarruf elde edildiği görülmüştür. Ön ısıtıcının ilk yatırım maliyeti 62.670,80 TL’dir. Kurulan ön ısıtıcının ekonomik ömrü 15 yıl, faiz oranı %4 ve hurda değeri ‘0’ olarak alınmıştır. Sistemin büyük tamir ve bakım maliyetleri 25.000 TL, işletme maliyeti 40.000 TL’dir. Geri ödeme süresi 7 aydır.

Çizelge 4. Kazan sisteminde kullanılan ön ısıtıcı için yapılan tasarıma ait hesaplamalar

		T ($^{\circ}C$)	\dot{m} (kg/s)	V (m/s)	V_{max} (m/s)	Nu	h (W/m ² .K)	L_{top} (m)	k (W/m.K)	A (m ²)	ΔP (kPa)	Güç (kW)
Boru Tarafı Hava	Giriş	30	1,8	7,42	38,95	34,62	300	60,5	28,2	5,69	0,0469	
	Çıkış	60										
Gövde Tarafı Baca Gazı	Giriş	180	1,9	2,32	8,02	65,65	76,59	300	60,5	0,0086	0,03	
	Çıkış	154										



Şekil 2. Tasarlanan ısı değiştiricinin izometrik ve kesit görünüşü

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bir sanayi kuruluşuna ait 2 adet kızgın sulu alev borulu kazanda enerji verimliliği çalışmaları yapılmış olup, enerji analizleri, ısı transferi analizi ve ekonomik analizler için çeşitli hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan analiz ve hesaplamalar sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur:

- Sisteme ait kazanların yıllık yakıt tüketimi ortalama 13.320.644 m³/yıl civarındadır. Yakıtın yıllık parasal değeri 6.232.587,4 TL’dir.
- Kazan bacalarından çıkan gazın toplam ısı kaybı %17 civarındadır. Baca gazı kaybının yıllık bedeli her iki baca için toplamda 1.119.792 TL’dir.
- Kazan çıkışından atılan baca gazına ait sıcaklık 180 °C’dir. Kazandan atılan bu sıcak gazın geri

kazanımı için bir ön ısıtıcı imal edilmiştir. Ön ısıtıcı ilk yatırım maliyeti 62.670,80 TL, tamir ve bakım maliyeti 25.000 TL ve işletme maliyeti olarak 40.000 TL olarak hesaplanmıştır. Sistemin ekonomik ömrünün 15 yıl ve geri ödeme süresinin ise 7 ay olacağı hesaplanmıştır.

- Yapılan hesaplamalar sonucunda yıllık tasarruf miktarının 164.528,34 TL ve toplam yakıt tasarrufunun 1.121.410,23 TL olacağı görülmüştür.

Ayrıca söz konusu ön ısıtıcı uygulaması ile ısıtılan kazan yakma havası sayesinde kazan verimi artacak, beraberinde de atmosfere salınan CO₂ oranı azalacaktır. Azalan CO₂ oranı ile beraber baca gazı kaynaklı çevre kirliliği de azalacaktır. Atık ısı geri kazanımın sağlanabileceği benzer kazan uygulamalarında aynı metot ile enerji ve yakıt tasarrufu sağlanılabileceği düşünülmektedir. Bu geri kazanım yönteminin benzer uygulamalar için kullanılması önerilebilir.

6. KAYNAKLAR

1. Angın, B., 2007. Cam Sanayinde Geleneksel Yakıtlar Yerine Doğal Gaz Kullanımının Enerji Ekonomisi Açısından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi. Mersin, 1-68.
2. Selbaş, R., 1992. Atık Isı Enerjisinden Yararlanma Yöntemleri ve Uygulamaları, Akdeniz Üniversitesi F.B.E, Yüksek Lisans Tezi, Antalya, 1-57.
3. Willems, D., 2006. Advanced System Controls and Energy Savings for Industrial Boilers, Transactions of the Citrus Engineering Conference, 52, 11- 22.
4. Güngör, A., 1995. İklimlendirmede Enerji Geri Kazanımında Isı Borulu Isı Değiştiriciler, Makine Mühendisleri Odası, II.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 639-655.
5. Ersöz, M.A., 2002. Baca Gazlarındaki Atık Isının Isı Borusu ile Geri Kazanımının Araştırılması, Gazi Üniversitesi F.B.E, Yüksek Lisans Tezi, Ankara,1- 133.
6. Ersöz, M., 2009. Baca Gazlarındaki Atık Isının Isı Borusu İle Geri Kazanımının Deneysel İncelenmesi, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 133-141.
7. Ürün, E.,2010. Atık Baca Gazlarından Isı Geri Kazanımının Deneysel Olarak İncelenmesi, Karabük Üniversitesi F.B.E, Yüksek Lisans Tezi, Karabük, 1-71.
8. Remeli, M., 2015. Simultaneous Industrial Waste Heat Recovery and Power Generation Using Heat Pipe Assisted Thermoelectric Generator, Manufacturing Engineering College of Science Engineering and Health RMIT University, Master's Thesis, Australia, 1-158
9. Jouhara, H., 2017. Experimental Investigation on a Flat Heat Pipe Heat Exchanger for Waste Heat Recovery in Steel Industry, 1st International Conference on Sustainable Energy and Resource Use in Food Chains, Berkshire-UK, 1-15.
10. Ogulata, R. T., Doba, F., & Yılmaz, T. (1999). Second-law and experimental analysis of a cross-flow heat exchanger. Heat transfer engineering, 20(2), 20-27.
11. Şahan, A.M., 1999. HVAC Uygulamalarında Isı Geri Kazanımı, IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 151-161.
12. Atalay, B., 1998. Waste Heat Recovery Using Regenerative Heat Exchanger, Çukurova University Institute of Natural and Applied Sciences, Master's Thesis, Adana,1-96
13. Goel, N., 2012. Design and Performance Analyses of Condensing Heat Exchangers for Recovering Water and Waste Heat from Flue Gas, Lehigh University, Department of Mechanical Engineering, Master's Thesis, Ann Arbor, 1-107
14. Yamankaradeniz, N., 2007. Tekstil Sanayiinde Atık Isıdan Yararlanılarak Enerji Tasarrufunda Klasik Sistem ile Isı Pompasının Karşılaştırılması, Uludağ Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Dergisi, 12(1), 115-124.
15. Yamankaradeniz, N., 2009. Soğutma Tekniği ve Isı Pompası Uygulamaları, Dora Yayıncılık, 2, 13-14.
16. Muslu, M. 2017. Isı pompası destekli ısı geri kazanım cihazının farklı sıcaklıklardaki performans analizi, Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-72.
17. Farshi, L.G., 2018. Thermodynamic Analysis of a Cascaded Compression Absorption Heat

- Pump and Comparison with Three Classes of Conventional Heat Pumps for the Waste Heat Recovery, *Applied Thermal Engineering Journal*, 128, 282–296.
18. Gibbs, B.M., 1987. Boiler Fuel Savings by Heat Recovery and Reduced Standby Losses, *Heat Rec. Systems and CHP Journal*, 7, 151-157.
 19. Butcher, T.A., Litzke W., 1994. Condensing Economizers For Small Coal- Fired Boilers and Furnaces, U.S. Energy Pittsburgh Energy Technology Center, Master's Thesis, New York, 1-80.
 20. Çıtır, H., 2013. Endüstriyel Tav Fırınında Ekonomizer Tasarımı, Karabük Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, Karabük, 1-50.
 21. He, B., 2014. Thermodynamic Analysis of a Low-Pressure Economizer Based Waste Heat Recovery System for a Coal-Fired Power Plant, *Energy Journal*, 65, 80-90.
 22. Kılınç, H., 2016. Endüstriyel Tav Fırını Bacalarından Atık Isının Geri Kazanımı, İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve F.B.E, Yüksek Lisans Tezi, Hatay, 1-56.
 23. Aras, H., 1991. Doğal Gaz Yakan Sistemlerde Baca Gazından Isı Geri Kazanımı, Anadolu Üniversitesi F.B.E, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 1-60.
 24. Selimli, S., 2012. Endüstriyel Tav Fırını için Reküperatör Tasarımı, Karabük Üniversitesi F.B.E, Yüksek Lisans Tezi, Karabük, 1-73.
 25. Willems D., 2006. Advanced System Controls and Energy Savings for Industrial Boilers, *Transactions of the Cit. Eng. Conference, USA*, 11-22.
 26. Cortina, M., 2006. Flue Gas Condenser for Biomass Boilers, Lulea University of Technology Department of Applied Physics and Mechanical Engineering, Master's Thesis, Sweden, 1-76.
 27. Ünlü, C., 2008. Buharlı Sistemlerde Enerji Geri Kazanımı, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 108, 53-63.
 28. Terhan, M., 2010. Atatürk Üniversitesi Isıtma Sistemi Kazan Bacalarında Isı Geri Kazanım Potansiyelinin Araştırılması, Atatürk Üniversitesi F.B.E, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 1-192.
 29. Wang, D., 2012. Coal Power Plant Flue Gas Waste Heat and Water Recovery, *Applied Energy Journal*, 91, 341–348.
 30. Görgülü, B., 2013. Atık Isı Kaynaklı Çift Etkili Absorpsiyonlu Soğutma Sisteminin Termodinamik Analizi, Süleyman Demirel Üniv, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 1-99.
 31. Yağlı, H., 2013. Atık Isının Organik Rankine Çevrimi ile Kullanılabilirliği ve Ekserjisi, 9. Ulusal Temiz Enerji Semp., Konya, 394-401.
 32. Peris, B., 2015. Experimental Study of an ORC for Low Grade Waste Heat Recovery in a Ceramic Industry, *Energy Journal*, 85, 534-542.
 33. Seyedkavoosi, S., 2017. Exergy-Based Optimization of an Organic Rankine Cycle for Waste Heat Recovery from an Internal Combustion Engine, *Applied Thermal Engineering Journal*, 126, 447–457.
 34. Ramirez, M., Epelde, M., de Arteche, M. G., Panizza, A., Hammerschmid, A., Baresi, M., & Monti, N. 2017. Performance evaluation of an ORC unit integrated to a waste heat recovery system in a steel mill. *Energy Procedia*, 129, 535-542.
 35. Srikanth, S., 2003. Analysis of Failures in Boiler Tubes Due to Fireside Corrosion in a Waste Heat Recovery Boiler, *Engineering Failure Analysis Journal*, 10, 59–66.
 36. Yaylacı, Ç., 2015. Konvansiyonel ve Atık Isı Kazanlarda Buhar Üretimi Sürecinin Enerji ve Ekserji Analizleri, GTÜ, Yüksek Lisans Tezi, Gebze, 1-73.
 37. Sharma, O.P., 2018. Thermodynamic Analysis of a Supercritical/Transcritical CO₂ Based Waste Heat Recovery Cycle for Shipboard Power and Cooling Applications, *Energy Con. and Manag.*, 155, 262–275.
 38. Can, M., 2009. Waste-Heat Recovery Potential in Turkish Textile Industry: Case Study for City of Bursa, *Renewable and Sustainable Energy Reviews Journal*, 13, 663–672.
 39. Koçlu, A., 2011. Tekstil Endüstrisi Boyama Prosesinde Plakalı Isı Değiştiricilerle Atık Isı Geri Kazanım Sistemi Enerji ve Ekserji Analizi, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 1913-1925.
 40. Kaşka, Ö., 2014. Energy and Exergy Analysis of an Organic Rankine for Power Generation from Waste Heat Recovery in Steel Industry,

- Energy Conversion and Management Journal, 77, 108-117.
41. Eyidoğan, M., 2014. Endüstriyel Tav Fırınlarında Enerji Tasarrufu ve Emisyon Azaltım Fırsatları, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 29(4), 735-743,
 42. Akın, S., 2016. Demir Çelik Endüstrisinde Ergimiş Cüruftan Elde Edilen Atık Isının Geri Kazanımı, Bursa Teknik Üniversitesi F.B.E, Bursa, 1-118.
 43. Deng, Y., 2017. Investigation on Thermal Performance of Steel Heat Exchanger for Ground Source Heat Pump Systems Using Full-Scale Experiments and Numerical Simulations, App. Ther. Engineering, 91-98.
 44. Jouhara, H., Almahmoud, S., Chauhan, A., Delpech, B., Nannou, T., Tassou, S. A., ... & Arribas, J. J. (2017). Experimental investigation on a flat heat pipe heat exchanger for waste heat recovery in steel industry. Energy Procedia, 123, 329-334.
 45. Chang, S., 2017. Modeling Thermodynamic and Techno-Economic Analysis of Coke Production Process with Waste Heat Recovery, Energy, 141, 435-450.
 46. Karellas, S., 2013. Energetic and Exergetic Analysis of Waste Heat Recovery Systems in the Cement Industry, Energy Journal, 58, 147-156.
 47. Tütüncü, G., 2012. Çimento Sektöründe Atık Isı Geri Kazanım (WHR) Sisteminin Termodinamik İncelemesi, Ege Üniversitesi F.B.E, İzmir, 1-98.
 48. Güneş, M.F., 2001. Energy and Cost Analysis of A Cogeneration System, Dokuz Eylül Üniversitesi F.B.E, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 1-138.
 49. Aneke, M.C., 2012. Optimising Thermal Energy Recovery, Utilisation and Management in the Process Industries, University of Northumbria, Master's Thesis, 1-210.
 50. Manno, M., 2017. Adsorbent Materials for Low-Grade Waste Heat Recovery: Application to Industrial Pasta Drying Processes, Energy Journal, 140, 729-745.
 51. Eyriboyun, M., 2017. Çatalağzı Termik Elektrik Santrali ile Bölgesel Isıtma Yapılabilirliğin Enerji Analizi, Isı Bil. ve Tek. Dergisi, 37(1), 139-146.
 52. Enç, V., Kasırğa, M., 2012. Depo Gazı Enerji Üretim Tesisi Baca Gazı Atık Isısının Seralarda Değerlendirilmesi: İstanbul Örneği, Tarih Kültür ve Sanat Araştırmaları Dergisi, 1(4), 298-309.
 53. Çengel, Y.A., Boles, M.A., 2006. Thermodynamics an Engineering Approach, McGraw- Hill, USA, 1-865.
 54. Terhan, M., Çomaklı, K. 2015. Baca Gazı Atık Isısı İle Kazan Yakma Havasının Ön Isıtılmasının Fizibilitesi. Engineer & The Machinery Magazine, 56, 668.
 55. Incropera, F.P., DeWitt, D.P., 1996, Introduction to Heat Transfer, John Wiley & Sons, New York, 1-959
 56. Cortina, M., 2006. Flue Gas Condenser for Biomass Boilers, Lulea University of Technology Department of Applied Physics and Mechanical Engineering, Master's Thesis, Sweden, 1-76
 57. Gnielinski, V., 2010. Heat Transfer in Cross Flow Around Single Rows of Tubes and Through Tube Bundles, in VDI Heat Atlas, ed. VDI, Springer Verlag, Berlin, Germany, 725-729.
 58. Çengel, Y.A., 2011. Isı ve Kütle Transferi, Güven Bilimsel Yayınları, İzmir.
 59. Kakaç, S., Liu, H., 1998. Heat Exchangers: Selection, Rating and Thermal Design, CRC Press, New York, 1-676
 60. Chen, Q., Finney, K., Li, H., Zhang, X., Zhou, J., Sharifi, V., Swithenbank, J., 2012. Condensing Boiler Applications in the Process Industry, Applied Energy, 89, 30- 36.
 61. Gaddis, E.S., 2010. Pressure Drop of Tube Bundles in Cross Flow, in VDI Heat Atlas, ed. VDI, Springer Verlag, Berlin, Germany, 1076-1091.
 62. Hazell, D.D., 2011. Modeling and Optimization of Condensing Heat Exchangers for Cooling Boiler Flue Gas, Lehigh University, Department of Mechanical Engineering, Master's Thesis, 1-109.
 63. Okka, O., 2006. Mühendislik Ekonomisine Giriş Problemler ve Çözümleri, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 1-334.

Atık Pil Tozu Liç Kalıntısındaki Manganın Çözünürlüğü için Optimum Koşulların Yanıt Yüzey Yöntemiyle Belirlenmesi

Gülistan Deniz TURHAN ÖZDEMİR¹, Nizamettin DEMİRKIRAN*¹

¹İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Malatya.

Geliş tarihi: 04.01.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Öz

Bu çalışmada, bitmiş çinko karbon ve alkali pillerden hazırlanan atık pil tozundaki çinko oksidin nitrik asit çözeltisinde çözündürülerek giderilmesinden sonra geriye kalan liç kalıntısındaki manganın çözünürlüğü için optimum parametre değerleri belirlenmiştir. Sülfürik asit derişimi, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi bağımsız değişkenler olarak seçilmiş ve çözünürlüğe etki eden parametre değerlerini optimize etmek için yanıt yüzey yöntemi (RSM) kullanılmıştır. Mangana çözünürlüğünü arttırmak için indirgen madde olarak melas kullanılmıştır. Proses parametrelerinin etkilerini görebilmek için deneysel bulgulara çoklu regresyon analizi yapılmış ve modifiye bir denklem elde edilmiştir. Deneyler sonucunda sülfürik asit derişimi, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon sürenin artmasıyla liç veriminin arttığı belirlenmiştir. Reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon sürenin çözünme üzerinde daha etkili parametreler olduğu gözlenmiştir. Maksimum liç verimine ulaşmak için optimum deney koşulları 2,07 mol/L, 68,8 °C ve 120 dk olarak bulunmuştur. Optimum koşullar altında mangana çözünürlüğünün %93 olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık pil, Mangana, Liç, Optimizasyon, Yanıt yüzey yöntemi

Determination of Optimal Conditions for Dissolution of Manganese in the Leach Residue of Waste Battery Powder by Response Surface Method

Abstract

In this work, the optimal parameter values for the dissolution of manganese in the leach residue were determined after zinc oxide in the waste battery powder prepared from spent zinc carbon and alkaline batteries was removed by dissolving in nitric acid solution. The concentration of sulfuric acid, reaction temperature and reaction time were selected as independent variables, and response surface method (RSM) was used to optimize the parameter values that have an effect on the dissolution. Molasses was utilized as reducing agent to increase the dissolution of manganese. To see the interactive effects of process variables, the multiple regression analysis to the experimental findings was performed, and a modified equation was obtained. At the end of the experiments, it was determined that the leaching efficiency increased with an increase in the concentration of sulfuric acid, reaction temperature and reaction time. It was observed that the reaction temperature and reaction time were more effective parameters on the dissolution. To reach the maximum leaching efficiency, the optimum experimental conditions were found to be 2.07 mol/L, 68.8 °C and 120 min. It was determined that 93% of manganese in the solid residue was dissolved under optimal conditions.

Keywords: Waste battery, Manganese, Leaching, Optimization, Response surface methodology

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Nizamettin DEMİRKIRAN, nizamettin.demirkiran@inonu.edu.tr

1. GİRİŞ

Sulu çözümlerde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar yoluyla metal, metal tuzları ve bileşiklerinin üretimini içeren hidrometalurji, esas olarak düşük tenörlü oksitli cevherlerden metal üretimine uygulanmakla birlikte, günümüzde çeşitli atıklardan metal kazanma ve üretiminde de kullanılmaktadır. Hidrometalurjide temel basamak, istenen metali içeren bir katının uygun bir çözücü ile reaksiyona girmesini ve bu metalin katı fazdan sıvı faza kütle transferini içeren liç işlemidir. Liç işleminde kullanılan çözücünün türü, çözücünün derişimi, reaksiyon sıcaklığı, katı/sıvı oranı, karıştırma hızı ve tane boyutu gibi çeşitli parametreler liç verimini etkilediğinden metal kazanma verimi üzerinde de doğrudan bir etkiye sahiptir [1,2].

Endüstrinin en çok faydalandığı demir dışı metallere birisi olan mangan, başlıca demir çelik sektöründe, ferro mangan üretiminde, alüminyum alaşımlarında, gübre, cam, boya, kuru pil ve seramik üretimi ile petrokimya ve elektronik sektöründe kullanım alanı bulmaktadır. Mangan için temel hammadde kaynağı piroluzit (MnO_2) gibi doğal cevherler olmakla beraber son yıllarda ekonomik ve çevresel sebeplerden ötürü çeşitli atıklardan da manganın geri kazanılmasına yönelik çalışmalar yürütülmektedir [3,4]. Mangan içeren katı atıklar arasında çinko karbon ve alkali çinko mangan dioksit piller önemli bir yere sahiptir. Bu tip pillerin dünya genelinde yılda yaklaşık 90 milyar adet civarında tüketildiği ifade edilmektedir. Çinko karbon ve alkali çinko mangan dioksit pillerin üretiminde kullanılan metal miktarları kaynaklarda farklı değerlerde verilmiş olmakla birlikte, bir çinko karbon pilin toplam kütlelerinin yaklaşık %26'sını ve bir alkali çinko mangan dioksit pilin ise toplam kütlelerinin yaklaşık %35'ini mangan oluşturmaktadır [1,5,6]. Dolayısıyla sözü edilen pil türlerinden oluşacak atıklar da önemli miktarda mangan içerirler ve mangan üretimi için ikincil hammadde kaynağı olarak değerlendirilebilirler. Aynı zamanda bu atıklar çinko için de bir kaynak olarak kullanılabilir. Böylece çevreye bırakılan atık pil miktarında bir azalma sağlanmış olacağı gibi, atıkların ekonomiye kazandırılması ve bir dereceye

kadar metallere doğal kaynaklarının korunması da sağlanabilir. Bu gibi önemlerinden dolayı son yıllarda hidrometalurjik yöntemlerin uygulanmasıyla atık pillerden mangan ve çinko kazanmaya yönelik yapılan araştırmaların sayısında artış olduğu görülmektedir.

Hidrometalurjik yöntemlerin uygulanmasıyla bitmiş alkali çinko mangan dioksit ve çinko karbon pillerden metal kazanma ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda, asidik ve bazik özelliğe sahip farklı çözücüler liç reaktifleri olarak kullanılmıştır [7-11]. Yapılan çalışmalarda pil tozlarındaki metal değerlerin çözünmesi üzerine reaksiyon sıcaklığı, çözücü derişimi, katı/sıvı oranı, reaksiyon süresi, tane boyutu ve karıştırma hızı gibi parametrelerin etkileri araştırılmıştır [12-17].

Bir katı maddeden istenen bir metalin liç işlemi ile kazanılmasına yönelik çalışmalarda, liç verimi üzerine bir parametrenin etkisi incelenirken genellikle diğer parametreler belli bir değerde sabit tutulur. Her bir deney parametresinin etkisinin incelenmesinde aynı yola başvurulduğu için birçok deney yapılması gerekmektedir ve aynı zamanda parametreler arasındaki karşılıklı ilişki de gözlenmemektedir. Böylece yapılacak deney sayısını azaltmak, liç verimi üzerine etki eden parametrelerin etkilerini belirlemek amacıyla çeşitli deneysel tasarım yöntemlerine başvurulabilir. Literatürde son yıllarda Taguchi, Box-Behnken ve merkezi karma tasarım (CCD) gibi çeşitli deneysel tasarım yöntemlerinin kullanıldığı liç çalışmalarının gerçekleştirildiği görülmektedir [18-21].

Hidrometalurjik çalışmalarda deneysel tasarım yöntemlerinin kullanılmasının en önemli avantajları deneysel çalışmaları en aza indirmek, önemli parametreleri belirlerken önemsiz parametreleri elemek, hataların etkisini azaltmak, parametreler arasındaki etkileşimleri belirlemek, parametreler arasındaki matematiksel ilişkiyi ortaya çıkarmak ve sonuçların üç boyutlu grafiklerle gösterimini sağlamak olduğu söylenebilir [21]. Yanıt yüzey yöntemi (Response Surface Method, RSM), düzeyleri önceden belirlenmiş birden fazla bağımsız değişkenin bağımlı değişken (yanıt) üzerindeki etkilerini

ortaya koymak için sıklıkla başvurulan deneysel tasarım yöntemlerinden birisidir. En yaygın kullanılan yanıt yüzey yöntemlerinden birisi merkezi karma tasarım yöntemidir. Bu yöntemde iki düzeyli faktöriyel nokta, aksenal nokta ve merkezi nokta olmak üzere üç tür tasarım noktası bulunmaktadır. İki düzeyli faktöriyel nokta -1 ve +1 düzeylerinin tüm olası kombinasyonlarını içerir. Aksenal noktalar $\pm a$ ve merkezi nokta (0) değerlerini alarak oluşturulan noktalardır [22].

Atık pillerden metal kazanımında yanıt yüzey yönteminin uygulandığı çeşitli çalışmalar literatürde mevcuttur. Atık nikel kadmiyum ve nikel metal hidrit pillerden biyoliç yönteminin uygulanmasıyla nikel, kadmiyum ve kobalt gibi ağır metallerin kazanımının istatistiksel değerlendirilmesi ve optimizasyonunun incelendiği bir çalışmada, yanıt yüzey yöntemlerinden birisi olan Box-Behnken yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada nikel, kadmiyum ve kobalt kazanımı üzerine etkili olan bağımsız değişkenler olarak pH, Fe³⁺ derişimi ve tane boyutu seçilmiş ve optimum deneysel koşulların belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Deneyler neticesinde pH, Fe³⁺ derişimi ve tane boyutunun sırasıyla 1,0, 9,7 g/mL ve 62,0 µm olduğu deney koşulları optimum koşullar olarak belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak yapılan deneyler sonucunda nikel, kadmiyum ve kobalt için sırasıyla % 85,6, % 66,1 ve % 90,6 bir liç verimine ulaşılmıştır [23].

Alkali çinko mangan dioksit, çinko karbon, nikel kadmiyum, nikel metal hidrit ve lityum atık pillerinin karışımından metal değerlerin kazanılması amacıyla yapılan bir çalışmada, optimum koşulları belirlenmek için üç seviyeli tam faktöriyel tasarım yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada çözücü ajan olarak sülfürik asit ve indirgen madde olarak sodyum metabisülfid kullanılmıştır. Sülfürik asit derişimi, katı/sıvı oranı, sodyum metabisülfid miktarı ve reaksiyon süresinin bağımsız değişkenler olarak alındığı çalışmada, atık pil tozu karışımındaki kadmiyum, kobalt, mangan, nikel ve çinkonun yüzde çözünürlük değerleri belirlenmiştir. Deneyler sonucunda sülfürik asit derişimi, katı/sıvı oranı, sodyum metabisülfid miktarı ve reaksiyon süresi için optimum değerler sırasıyla 1,34 mol/L,

%10,9 (w/v), 0,45 g ve 45 dakika olarak belirlenmiştir. Bu optimum koşullarda çinko için %99, kobalt için %96, mangan için %94, kadmiyum için %81 ve nikel için %68'lik bir liç verimi elde edilmiştir [24].

Yanıt yüzey yöntemlerinden birisi olan merkezi karma tasarımın uygulandığı başka bir çalışmada ise herhangi bir indirgeyici madde içermeyen sülfürik asit çözeltileri kullanılarak bitmiş çinko karbon pillerden seçimli liç yoluyla çinko çözünürlüğünü maksimum, mangan çözünürlüğünü ise minimum düzeyde tutacak deney şartlarının belirlenmesi araştırılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde sülfürik asit derişimi, reaksiyon sıcaklığı ve karıştırma hızının sırasıyla 1 mol/L, 70 °C ve 300 rpm olduğu koşullarda pil tozundaki çinkonun çözünmesinin maksimum olduğu (%92) buna karşılık mangan çözünmesinin ise minimum düzeyde (%15) kaldığı tespit edilmiştir [25].

İndirgen ajan olarak glikoz varlığından sülfürik asit çözeltilerinin çözücü olarak kullanıldığı çalışmada, atık çinko karbon pillerden mangan ve çinko kazanımı iki seviyeli tam faktöriyel deney tasarım yöntemiyle incelenmiştir. Bağımsız değişkenler olarak sülfürik asit derişimi, glikoz miktarı, çözelti hacmi ve reaksiyon sıcaklığının seçildiği çalışmada, çinko ve manganın çözünmesi için bağımsız değişkenler ve yanıtlar arasındaki ilişkiyi gösteren model denklemler önerilmiştir. Çözelti hacminin 250 mL, sülfürik asit derişiminin 2 mol/L, glikoz miktarının 0,5 g ve reaksiyon sıcaklığının 100 °C olduğu deney koşullarında, katı pil tozunda bulunan her iki metal türünde yaklaşık %100 oranında çözeltiye geçtiği belirlenmiştir [6].

Bağımsız değişkenlerin etkilerini belirleyebilmek ve parametre etkilerini optimize edebilmek amacıyla, çeşitli liç çalışmalarının yanı sıra fotokataliz [26], gıda [27] ve adsorpsiyon [28] gibi birçok araştırma alanında da yanıt yüzey yönteminin uygulandığı deneysel çalışmalar yürütülmüştür.

Atık alkali çinko mangan dioksit ve çinko mangan pil tozlarındaki mangan oksitler indirgen bir

madde içermeyen asidik bir çözeltide zor çözünürken, çinko oksit kısa sürelerde kolaylıkla çözünebilmektedir. Atık pil tozundaki metal değerler hidrometalurjik yöntemle kazanılmak istendiğinde, pil tozu bir liç işlemine maruz bırakılır. Kullanılan çözücüye bağlı olarak liç sonunda her iki metal türün iyonlarına ilave olarak pilin yapısındaki diğer metal türlerde çözünerek çözelti ortamına geçebilir. Böylece birden fazla metal türü içeren bir çözelti elde edilmiş olur. İstenen metal iyonunu yüksek oranda içeren bir çözelti elde etmek için ya istenen türü çözüldükten kazanmak ya da istenmeyenleri uzaklaştırmak amacıyla bir takım ayırma ve saflaştırma proseslerinin uygulanması gerekir. Bu işlemlerin uygulanması yerine seçimli bir liç işleminin uygulanmasıyla gerekli olan ayırma ve saflaştırma işlemlerinin sayısı azaltılabilir veya bu işlemleri uygulamaya gerek kalmayabilir. Seçimli liç işlemi ile katı maddedeki metal türlerden biri kullanılan çözücüye bağlı olarak çözelti ortamına alınırken diğer metal türler çözünmeden katı bünyesinde kalır. Dolayısıyla liç işlemi sonunda ilgili metal bakımından zengin bir çözelti elde edilmiş olur.

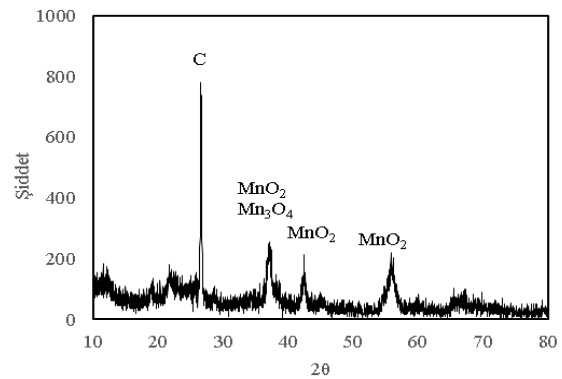
Bu çalışmada atık alkali çinko mangan dioksit ve çinko karbon pillerden elde edilen pil tozundaki çinko oksidin nitrik asit çözeltisinde çözüldürülerek uzaklaştırılmasından sonra kalan katı kalıntıdaki manganın, indirgen madde olarak kullanılan melas varlığında sülfürik asit çözeltilerinde liç verimine etki eden parametrelerin optimum değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Merkezi karma tasarım yöntemlerinden birisi olan yüzey merkezli kompozit tasarım (CCF) yöntemi kullanılmıştır. İstatistiksel analiz yapılarak mangan çözünürlüğü için optimum koşullar belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Malatya ilinde toplanan bitmiş alkali ve çinko karbon piller manuel olarak parçalanıp metal, kâğıt ve plastik kısımlar ayrıldıktan sonra her iki pil türündeki tozlar karıştırılmış ve deneylerde kullanılacak olan atık pil tozu hazırlanmıştır. Pil tozu oda sıcaklığında kurutulduktan sonra

öğütülmüş ve farklı boyutlara sahip örnekler elde etmek için elenmiştir. Deneylerde -50+70 mesh boyutuna sahip pil tozu örnekleri kullanılmıştır. Pil tozunun kimyasal analizi Spectro Xcpus XRF spektrometre ile yapılmış ve ortalama olarak %50,3 MnO, %24,9 ZnO, %3,8 K₂O ve %19 C içerdiği belirlenmiştir. Örneğin nem içeriği bir etüvde 105 °C'de kurutma sonucunda %2 olarak tespit edilmiştir. Çinko ve mangan iyonlarını birlikte içeren bir liç çözeltisi elde etmemek amacıyla, optimizasyon deneylerinden önce atık pil tozu 0,5 mol/L nitrik asit çözeltisiyle 10 dakika süreyle muamele edilerek çinko oksidin çözünmesi sağlanmıştır. Bu işlem sonunda pil tozundaki çinko oksidin tamamen çözüldüğü, mangan oksidin ise %7 kadarının çözültüye geçtiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda pil tozundaki K₂O'nun da giderildiği belirlenmiştir. Nitrik asitte çözme işleminden sonra mangan oksitler ve karbon içeren katı kalıntı çözüldükten ayrılarak oda sıcaklığında kurutulmuş ve optimizasyon deneylerinde kullanılmıştır. Elde edilen kalıntıya ait XRD analizi Rigaku RadB-DMAX II model X-ray difraktometresi ile yapılmıştır. Çinko oksit çözüldükten sonra kalıntı pil tozunun XRD grafiği Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1'de ZnO piki gözlenmemekte ve kalıntının başlıca farklı yükseltgenme basamaklarına sahip mangan oksitler ve karbondan ibaret olduğu anlaşılmaktadır. Kalıntının kimyasal analizi de sözü edilen spektrometre ile yapılmış ve %66,7 MnO ve %31,3 C içerdiği belirlenmiştir. Kalıntının nem içeriği 105 °C'de etüvde kurutma sonucunda %2 olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Çinko oksit çözüldükten sonra kalıntı pil tozunun XRD grafiği

2.2. Metot

Mangan liç deneyleri ceketli cam reaktör, sirkülatörlü su banyosu, mekanik karıştırıcı ve geri soğutucudan oluşan bir deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Derişimi bilinen 500 mL sülfürik asit çözeltisi cam reaktöre konulduktan sonra sıcaklık değeri çalışma sıcaklığına getirilmiş ve 8 g katı örnek reaktöre ilave edilerek 500 rpm karıştırma hızında deneyler yapılmıştır. Mangan çözünürlüğünü arttırmak amacıyla tüm deneylerde 3 g melas kullanılmıştır. Deney süresi sonunda çözeltiden alınan örneklerde katıdan çözünerek çözeltiliye geçmiş olan mangan miktarı kompleksometrik titrasyonla belirlenmiştir. Çözünmüş olan mangan miktarı Eşitlik 1'den hesaplanmıştır.

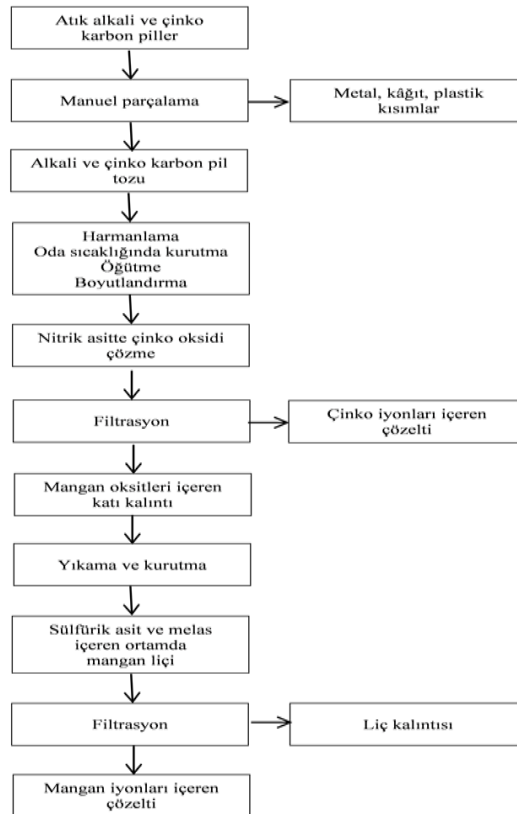
$$\% \text{ Çözünen mangan} = \frac{m_0 - m_c}{m_0} \cdot 100 \quad (1)$$

Eşitlik 1'de m_0 başlangıçta katıdaki mangan kütleini (g) ve m_c çözeltilideki mangan kütleini (g) temsil etmektedir. Deneylerde bağımsız değişkenler olarak seçilen sülfürik asit derişimi, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresinin yanıt üzerine (% çözünen mangan, Y) olan etkileri incelenmiştir. Bağımsız değişkenler ve düzeyleri Çizelge 1'de verilmiştir. Regresyon ve varyans analizleri (ANOVA) Design Expert Yazılımı (Version 10.0.6.0) ile yapılmıştır.

Çizelge 1. Deney parametreleri ve değerleri

Bağımsız Değişken	Kod	Düzye		
		-1	0	1
Sülfürik asit derişimi, mol/L	A	0,5	1,5	2,5
Reaksiyon sıcaklığı, °C	B	30	50	70
Reaksiyon süresi, dk	C	10	65	120

Çalışmada izlenen deneysel yöntem Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada izlenen deneysel yöntemi temsil eden akış şeması

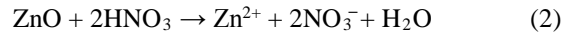
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Alkali çinko mangan dioksit ve çinko karbon pillerin kullanımı sırasında anot ve katot olarak kullanılan maddeler yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonlarına uğrayarak farklı kimyasal türlere dönüşürler. Çinko karbon pillerde anot olarak silindir biçiminde metalik çinko kullanılırken, alkali pillerde bu görevi toz halinde kullanılan metalik çinko görmektedir. Her iki pil türünde de katot olarak mangan (IV) oksit (MnO_2) kullanılır. Yükseltgenme sonucunda çinko, çinko okside dönüşürken mangan (IV) oksit indirgenir ve farklı yükseltgenme basamaklarına sahip mangan oksitler oluşur. Dolayısıyla bitmiş bir pil tozunda MnO_2 'den başka Mn_2O_3 , Mn_3O_4 ve MnO gibi mangan oksitler bulunabilir. Çinko amfoter özelliğe sahip olduğundan pil tozundaki çinko oksit hem asidik çözeltilerde hem de bazik çözeltilerde çözünür. Mangan oksitler ise bazik ortamda çözünmezken kuvvetli asidik çözeltilerde sınırlı miktarda çözünürler. Yukarıda bahsedilen mangan oksit türleri arasında sulu ortamda çözünürlüğü en yüksek olan mangan (II) oksittir (MnO). Bu sebeple $2+$ yükseltgenme basamağından daha yüksek yükseltgenme basamağına sahip mangan oksitlerin sulu ortamda çözünürlüğü yüksek olan Mn^{2+} iyonlarına indirgenmesi ve böylece mangan oksitlerin çözünme verimini arttırmak için genellikle indirgen ajanlar liç esnasında kullanılmaktadır. Bu çalışmada indirgen ajan olarak Malatya Şeker Fabrikasından temin edilen melas kullanılmıştır.

Atık bir pil tozu asidik bir çözeltide çözüldürüldüğü zaman hem çinko hem de mangan oksitler çözünerek Zn^{2+} ve Mn^{2+} formunda çözelti ortamına geçerler. Çözeltiye geçen iyonları birbirinden ayırarak kazanmak için çöktürme, solvent ekstraksiyonu, adsorpsiyon ve iyon değişimi gibi ayırma yöntemlerinin uygulanması gerekir. Bu işlemler belli bir maliyete sahiptir ve proses ekonomisini olumsuz yönde etkileyebilir. Yukarıda ifade edildiği gibi çinkonun amfoter özelliğinden yararlanarak atık pil tozu önce bazik bir çözeltide liç işlemine tabi tutularak çinko oksidin seçimli olarak çözünmesi sağlanabilir. Daha sonra kalan katı kalıntıya indirgen bir madde varlığında asidik bir çözeltide ikinci bir liç işlemi

uygulanarak mangan iyonları çözeltiye alınabilir. Böylece çinko ve mangan iyonlarını bir arada içermeyen ve ilgili iyon bakımından zengin iki farklı liç çözeltisi elde edilebilir. Bu işlemler sonucunda elde edilen çözeltilerden mangan ve çinko iyonları çeşitli bileşikleri halinde kazanılabilir. Önceki çalışmamızda yukarıda sözü edilen iki kademeli liç yöntemi atık alkali pil tozlarına uygulanmış ve çinko ve mangan iyonlarını ayrı ayrı içeren liç çözeltileri elde edilmiştir [29]. Bu çözeltilerden çinko ve mangan iyonları karbonat halinde çöktürülmüş ve kalsinasyon işlemi uygulanarak oldukça saf halde ZnO ve MnO bileşikleri elde edilmiştir.

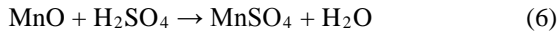
Mevcut çalışmada, hem bitmiş çinko karbon hem de alkali çinko mangan dioksit pillerden hazırlanmış olan atık pil tozları kullanılarak, pil tozundaki mangan oksitlerin çözünürlüğünün optimizasyonu incelenmiştir. Bu çalışmada da her iki metal türünü birlikte içermeyen bir çözelti elde edilmesi hedeflendiği için ilk olarak pil tozundaki çinko oksit kısmı nitrik asit çözeltilerinde kısa bir süre için çözüldürülmüştür. Nitrik asit kuvvetli bir asit olmakla birlikte yükseltgen bir özellik gösterir. Dolayısıyla pil tozundaki çinko oksit Eşitlik 2'de verilmiş olan reaksiyona göre çözünerek Zn^{2+} halinde çözeltiye geçerken, mangan oksitler nitrik asidin bu yükseltgen etkisi sebebiyle kısmen çözünebilmektedir.



Deneyler esnasında 10 dakikalık reaksiyon süresi sonunda çinko oksidin tamamen çözüldüğü ve mangan oksitlerin ise ancak %7 civarında çözünebildiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla özellikle reaksiyon süresi, sülfürik asit derişimi ve reaksiyon sıcaklığının ayarlanması suretiyle pil tozundan çözünecek mangan miktarı minimum düzeyde tutulabilir. Böylece elde edilecek çözeltideki çinko kazanılmak istendiğinde, çözeltiye geçmiş olan az miktardaki mangan iyonlarını uzaklaştırmak nispeten daha kolay ve daha az masraflı olacaktır.

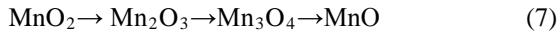
Çinkonun çözünmesinden sonra elde edilen katı kalıntıdaki manganı kazanmak için kolay temin edilebilirliği, ucuz olması ve çoğu liç işlemlerinde

etkili bir çözücü olması sebebiyle liç reaktifi olarak sülfürik asit kullanılmıştır. Kalıntıda bulunabilecek mangan oksitlerin sülfürik asit çözeltilerinde çözünme reaksiyonları Eşitlik 3-6'da verildiği gibi yazılabilir [30].

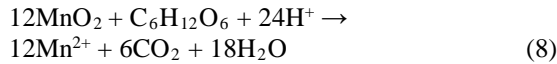


Ancak bu reaksiyonlarda görüldüğü gibi MnO_2 , Mn_2O_3 ve Mn_3O_4 gibi mangan oksitler tamamıyla Mn^{2+} iyonu haline indirgenememektedir. Bu sebeple indirgeyici bir özelliğe sahip olan melas liç çözeltilisine ilave edilerek sözü edilen mangan oksitlerin çözünürlüğü artırılabilir.

Melas, şeker üretimi sonucunda ortaya çıkan ve yaklaşık %50 civarında kristallenemeyen şeker içeren kahve renkli oldukça viskoz sıvı bir maddedir. Başlıca glikoz, früktoz ve sükroz içeren melas, hayvan yemlerinde katkı maddesi olarak, fermantasyonla etil alkol üretiminde ve sıvı şeker üretiminde kullanılmaktadır. Melasın bünyesinde bulunan ve kimyasal formülleri $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ olan glikoz ve früktoz indirgen şeker olarak bilinir [31,32]. Mangan oksitlerin indirgenme sırası Eşitlik 7'de verildiği gibi yazılabilir [33].



Böylece melas içeren sülfürik asit çözeltilerinde esas olarak MnO_2 için çözünme reaksiyonunun Eşitlik 8'deki gibi olduğu söylenebilir.



Bu reaksiyon neticesinde (2+)'dan daha yüksek yükseltgenme basamağına sahip mangan türleri sulu ortamda çözünürlüğü oldukça fazla olan Mn^{2+} iyonuna kadar indirgenmiş olur. Böylece indirgen bir madde varlığında gerçekleştirilen liç işlemiyle katı fazdaki manganın daha fazla çözünmesi sağlanmış olur ve yüksek mangan çözünme verimine ulaşılabilir.

Deney tasarımında yanıt yüzey yöntemi (RSM) yanıt veya bağımlı değişken üzerine bağımsız değişkenlerin etkilerini belirlemek ve optimum yanıtı elde etmek için kullanılır. RSM'nin en çok kullanılan yöntemlerinden biri olan merkezi karma tasarım (CCD) olup faktörlerin düzeylerini belirlemek ve yanıt tahmini için ikinci derece bir polinom modeli elde etmek için kullanılır. Bununla birlikte üç farklı CCD yöntemi bulunmakta olup bunlardan birisi olan yüzey merkezli kompozit tasarım (CCF) yöntemi bu çalışmada uygulanmıştır. Toplam deney sayısı 2^n faktöriyel düzeninde $2^n + 2n + n_0$ olarak hesaplanmıştır. Burada n bağımsız değişken sayısını ve n_0 ise merkezi noktayı temsil etmektedir. Çalışmada 3 farklı bağımsız değişken seçildiğinden, $2^3 = 8$ faktöriyel nokta ve $2 \times 3 = 6$ eksenel nokta bulunmaktadır. Merkezi noktada yapılacak tekrar deney sayısı 6 olarak seçilmiş olup toplam deney sayısı 20 olarak belirlenmiştir. Oluşturulan deney planı ve bu deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. CCF yöntemine göre belirlenen deney planı ve elde edilen yanıtlar

Deney	Sülfürik asit derişimi (A), mol/L	Reaksiyon sıcaklığı (B), °C	Reaksiyon süresi (C), dk	%Çözünen mangan, Y
1	0,5	30	10	8,0
2	2,5	30	10	17,2
3	0,5	70	10	26,6
4	2,5	70	10	34,7
5	0,5	30	120	23,4
6	2,5	30	120	44,7
7	0,5	70	120	84,0
8	2,5	70	120	92,6
9	0,5	50	65	31,0
10	2,5	50	65	44,3
11	1,5	30	65	27,5
12	1,5	70	65	71,0
13	1,5	50	10	17,0
14	1,5	50	120	56,0
15	1,5	50	65	39,7
16	1,5	50	65	40,7
17	1,5	50	65	39,7
18	1,5	50	65	39,7
19	1,5	50	65	39,7
20	1,5	50	65	40,7

Değişkenler arasındaki ilişkiyi temsil edecek modeli belirlemek için deney sonuçlarına çoklu regresyon analizi uygulanmıştır. Bazı parametre etkileri göz önüne alınarak elde edilen model modifiye edilmiş ve sonuç olarak yanıt ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren kodlanmış modifiye model denklemi Eşitlik 9'da verilmiştir.

$$Y=40,29+6,05A+21,70B+19,72C-1,72AB+1,58AC+9,05BC-3,03A^2+8,52B^2-4,28C^2-1,45ABC-3,63A^2B \quad (9)$$

Eşitlik 9'daki modelin istatistiksel önemi ve uygunluğu varyans analizi ve F-testi yapılarak belirlenebilir. Böylece, elde edilen deney sonuçları için varyans analiz sonuçları belirlenmiş ve bu sonuçlar F testine göre yorumlanmıştır. Varyans analizi sonuçları Çizelge 3'te gösterilmiştir. Bu analiz sonucunda elde edilen ve Çizelge 3'te verilmiş olan Prob>F değerleri incelenen

parametrelerin önemi ve birbirleri ile olan etkileşimi hakkında fikir verir. Başka bir ifadeyle varyans analizi sonucunda elde edilen bilgilerden birisi olan Prob>F değerleri dikkate alınarak deneysel parametrelerden hangisinin yanıt üzerinde daha etkili olduğu tespit edilebilir.

Prob>F değeri 0,05 anlamlılık düzeyinden küçük olan deney parametrelerinin, elde edilen yanıt üzerinde daha etkili olduğu ifade edilebilir. Çizelge 3'ten her üç parametre için Prob>F değerlerinin 0,05'den daha küçük olduğu gözlenmektedir. Dolayısıyla sülfürik asit derişimi, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresinin mangan çözünürlüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Aynı zamanda bağımsız değişkenler ile yanıt arasında ikinci ve üçüncü dereceden bir ilişki olduğu ve yanıt üzerinde etkili olduğu da Çizelge 3'ten görülmektedir.

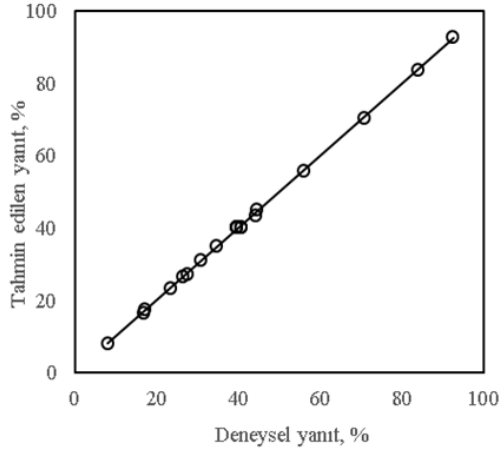
Çizelge 3. Varyans analiz (ANOVA) sonuçları

Değişimin Kaynağı	Katsayılar	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Değeri	Prob.>F	Sonuç
A ₀	+40,29	8730,45	11	793,68	1696,76	< 0,0001	Önemli
A	+6,05	366,02	1	366,02	782,50	< 0,0001	Önemli
B	+21,70	941,78	1	941,78	2013,38	< 0,0001	Önemli
C	+19,72	3888,78	1	3888,78	8313,61	< 0,0001	Önemli
AB	-1,72	23,81	1	23,81	50,89	< 0,0001	Önemli
AC	+1,58	19,85	1	19,85	42,43	0,0002	Önemli
BC	+9,05	655,22	1	655,22	1400,76	< 0,0001	Önemli
A ²	-3,03	25,28	1	25,28	54,04	< 0,0001	Önemli
B ²	+8,52	199,54	1	199,54	426,58	< 0,0001	Önemli
C ²	-4,28	50,42	1	50,42	107,79	< 0,0001	Önemli
ABC	-1,45	16,82	1	16,82	35,96	0,0003	Önemli
A ² B	-3,63	21,02	1	21,02	44,95	0,0002	Önemli
Kalan		3,74	8	0,47			
Açıklanamayan kısım		2,41	3	0,80	3,01		
Hata		1,33	5	0,27			
Toplam		8734,19	19				

İstatistiksel model için R² ve R²_{adj} değerleri her ikisi içinde 0,999 olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin

yüksek olması çalışmada seçilen modifiye modelin uygun olduğunu göstermektedir. Deneysel olarak

elde edilen yanıt değerleri ile model denkleminde hesaplanan değerler arasındaki uyumu görmek için deneysel yanıtlara karşı tahmin edilen yanıtların grafiği Şekil 3'te verilmiştir. Bu şekilde tahmin edilen değerler ile deneysel değerler arasındaki uyumun oldukça iyi olduğu gözlenmektedir.



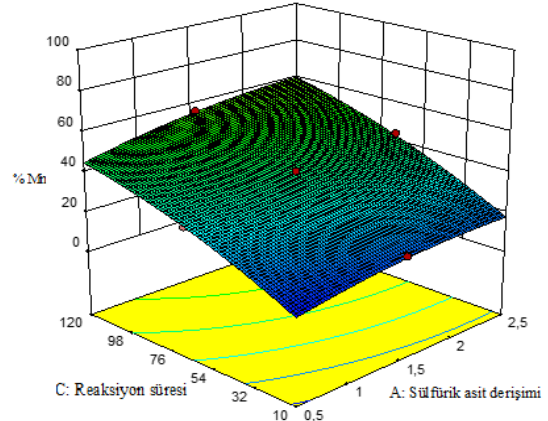
Şekil 3. Deneysel yanıtlara karşı modelden hesaplanan yanıtların karşılaştırılması

Modelin uygunluğu belirlendikten sonra nümerik optimizasyon yöntemi kullanılarak optimum deney koşullarının belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Model denkleminde elde edilen üç boyutlu yanıt yüzey grafikleri her bir değişkenin düzeyi ile yanıtlar arasındaki ilişkiyi gösterir ve değişkenlerden biri merkez düzeyinde sabit tutulurken diğer iki değişkenin hem birbirleri ile olan etkileşimini hem de yanıt üzerindeki etkisini görmek için kullanılabilir.

Mangan çözünürlüğü üzerine sülfürik asit derişimi ve reaksiyon süresinin etkisi Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu şekil sülfürik asit derişimi ve reaksiyon süresi düşük seviyelerde iken mangan çözünme veriminin de düşük seviyelerde olduğunu, sülfürik asit derişimi ve reaksiyon süresi arttığı zaman çözünürlüğün de arttığını göstermektedir.

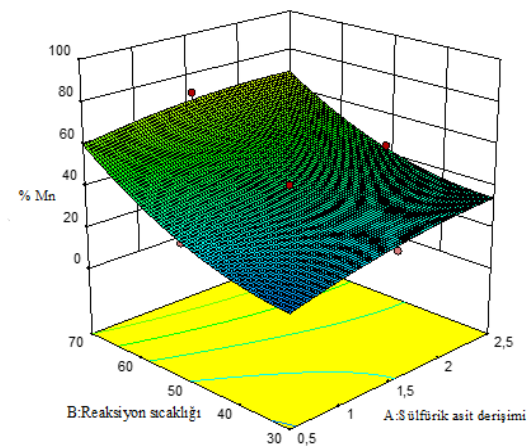
Gerek Şekil 4 gerekse Çizelge 2'den görüleceği gibi sülfürik asit derişimi ve reaksiyon süresinin artmasıyla mangan çözünürlüğü de artmaktadır. Ancak sülfürik asit derişiminin reaksiyon

süresinden daha etkili bir parametre olduğu da anlaşılmaktadır.



Şekil 4. Mangan çözünürlüğüne sülfürik asit derişimi ve reaksiyon süresinin etkisi

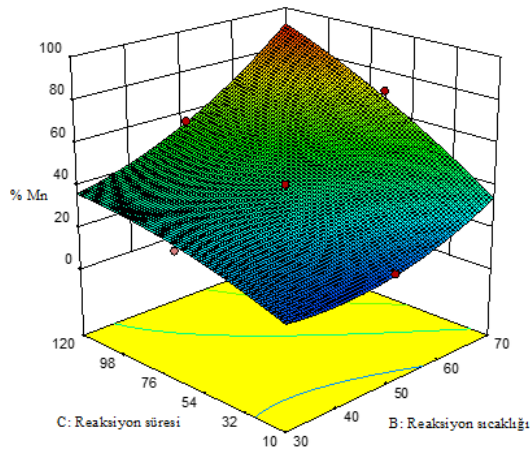
Manganın liç verimine sülfürik asit derişimi ve reaksiyon sıcaklığının etkisini gösteren üç boyutlu grafik Şekil 5'te verilmiştir. Bu şekil sülfürik asit derişimi ve reaksiyon sıcaklığı değerleri düşük seviyelerde olduğunda yanıtın da düşük olduğunu, ancak sülfürik asit derişimi ve reaksiyon sıcaklığı arttığı zaman liç veriminin de önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Çizelge 2'deki veriler de incelendiği zaman sülfürik asit derişiminin ve reaksiyon sıcaklığının artmasıyla çözünmenin arttığı görülebilir.



Şekil 5. Mangan çözünürlüğüne sülfürik asit derişimi ve reaksiyon sıcaklığının etkisi

Sabit reaksiyon süreleri dikkate alınarak sülfürik asit derişimi ve reaksiyon sıcaklığı mukayese edildiği zaman, reaksiyon sıcaklığının artmasının mangan liç verimi üzerinde sülfürik asit derişiminden daha etkili bir parametre olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 6'da manganın çözünürlüğüne reaksiyon sıcaklığının ve reaksiyon süresinin birlikte etkisini gösteren üç boyutlu yanıt yüzey grafiği çizilmiştir. Şekil 6 reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi düşük iken çözünmenin de düşük seviyelerde kaldığını ancak bu iki parametrenin değerinin artmasının çözünme verimini de artırdığını göstermektedir. Çizelge 2'deki deneysel yanıt değerleri de incelendiği zamanda sülfürik asit derişimi sabit olduğunda reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresinin artmasıyla mangan çözünürlüğünün arttığı görülmektedir. Ancak bu artışta reaksiyon sıcaklığının rolünün daha önemli olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 6. Mangan çözünürlüğüne reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresinin etkisi

Kullanılan materyalin bileşimi, kullanılan parametreler ve değerleri ile uygulanan deneysel yöntem farklılık gösterse de mevcut çalışmadan elde edilen bulguların literatürdeki benzer çalışmalarla uyumlu olduğu gözlenmiştir. İndirgen madde olarak glikoz varlığında sülfürik asit çözeltilerinde atık pil tozlarının çözünmesi için gerçekleştirilen çalışmada optimum sülfürik asit derişimi 2 mol/L ve reaksiyon sıcaklığı 100 °C

olarak belirlenmiş ve bu şartlarda mangan çözünürlüğünün %100'e yakın olduğu belirtilmiştir [6]. Farklı türde atık pillerden elde edilmiş olan pil tozlarından metal kazanılması amacıyla yapılan bir çalışmada sülfürik asidin daha etkili bir çözücü olduğu ve 1 mol/L sülfürik asit derişiminin en uygun değer olarak belirlendiği ifade edilmiştir. Ancak indirgeyici bir maddenin kullanılmadığı çalışmada mangan için yaklaşık %30 bir liç verimine ulaşıldığı belirlenmiştir [20]. Yine farklı türde atık pillerden hazırlanan pil tozundaki metallerin çözünürlüğünün incelendiği bir çalışmada sülfürik asit derişimi için 1,34 mol/L değeri optimum değer olarak belirlenmiş ve mangan liç veriminin %94 olduğu tespit edilmiştir [24]. Sülfürik asit derişimi ve reaksiyon sıcaklığı için optimum değerlerin 1 mol/L ve 70 °C olarak belirlendiği başka bir çalışmada ise mangan liç verimi %15 olarak belirlenmiştir. Ancak bu çalışmada da herhangi bir indirgeyici madde kullanılmamış ve esas olarak pil tozundaki çinkonun seçimli çözüldürülmesi hedeflendiği için mangan liç veriminin düşük seviyelerde kaldığı ifade edilmiştir [25].

Katı/sıvı oranının 8/500 g/mL, karıştırma hızının 500 rpm ve melas miktarının 3 g olarak sabit alındığı mevcut çalışmada, sülfürik asit derişimi için 2,07 mol/L, reaksiyon sıcaklığı için 68,8 °C ve reaksiyon süresi için 120 dk optimum deney koşulları olarak belirlenmiş ve bu koşullarda pil tozundaki manganın %93'ünün katı fazdan çözültü ortamına alındığı tespit edilmiştir. Esas olarak liç çalışmalarında kullanılan çözücünün derişimi, reaksiyon sıcaklığı, tane boyutu, katı/sıvı oranı, karıştırma hızı ve reaksiyon süresi gibi parametreler liç verimi ve proses ekonomisi üzerinde etkilidir. Yukarıda da ifade edildiği gibi deneysel çalışmalarda kullanılan materyalin bileşimi, seçilen bağımsız değişkenler ve bunların değerleri ile uygulanan deneysel yöntemle bağlı olarak elde edilen sonuçlar farklılık gösterse de genel olarak mevcut çalışmadan elde edilen bulgular ile literatürdeki çalışmalardan elde edilen bulgular arasında bir uyum olduğu ifade edilebilir. Bizim çalışmamızın en önemli dezavantajının literatürdeki çalışmalardan daha düşük katı/sıvı oranlarında çalışılmış olduğu söylenebilir. Literatürdeki çalışmalarda genellikle okzalik asit,

sitrik asit, glikoz, hidrojen peroksit ve askorbik asit gibi meddeler mangan çözünürlüğünü arttırmak amacıyla indirgeyici madde olarak kullanılmıştır. Bu kimyasalların bir maliyetinin olması prosesin ekonomisini olumsuz yönde etkileyebilir. Bizim çalışmamızda ise indirgeyici madde olarak bir endüstriyel atık olan melas kullanılmıştır. Dolayısıyla bu çalışmada daha düşük maliyetli bir indirgeyici maddenin kullanılmış olması çalışmanın en önemli avantajı olduğu söylenebilir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, atık çinko karbon ve alkali pillerden elde edilen pil tozundaki çinko oksit giderildikten sonra elde edilen katı kalıntıdaki manganın, indirgen madde olarak melas içeren sülfürik asit çözeltilerindeki çözünürlüğü için optimum koşulların belirlenmesi incelenmiştir. Sülfürik asit derişimi, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi bağımsız değişkenler olarak seçilmiş ve mangan çözünürlüğü üzerine olan etkileri belirlenmiştir. Bağımsız değişkenler ve yanıt arasındaki ilişkiyi gösteren modifiye bir model denklemi önerilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre her üç parametrenin değerinde meydana gelen bir artışın manganın çözünmesini olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Sülfürik asit derişimi çözünme üzerinde önemli bir parametre olsa da reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresinin derişimden daha etkili parametreler olduğu belirlenmiştir. Optimum deney koşulları belirlenmiş ve sülfürik asit derişiminin 2,07 mol/L, reaksiyon sıcaklığının 68,8 °C ve reaksiyon süresinin 120 dk olduğu şartlarda manganın liç veriminin yaklaşık olarak %93 olduğu tespit edilmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje numarası: FDK-2018-970).

6. KAYNAKLAR

1. Veloso, L.R.S., Rodrigues, L.E.O.C., Ferreira, D.A, Magalhaes F.S., Mansur, M.B., 2005. Development of a Hydrometallurgical Route

for the Recovery of Zinc and Manganese from Spent Alkaline Batteries, *J. Power Sources*, 152, 295-302.

2. Bernades, A.M., Espinosa, D.C.R., Tenorio, J.A.S., 2004. Recycling of Batteries: A Review of Current Processes and Technologies, *J. Power Sources*, 130, 291-298.
3. Xionga, S., Lia, X., Liua, P., Haoa, S., Haoa, F., Yinb, Z., Liua, J., 2018. Recovery of Manganese from Low Grade Pyrolusite Ore by Reductively Acid Leaching Process Using Lignin as a Low Cost Reductant, *Miner. Eng.*, 125, 126-132.
4. Yamaguchi, T., Nagano, H., Murai, R., Sugimori, H., Sekiguchi, C., Sumi, I., 2018. Development of Mn Recovery Process from Waste Dry Cell Batteries, *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, 20, 1909-1917.
5. Salgado, A.L., Veloso, A.M.O, Pereira, D.D., Gontijo, G.S., Salum, A., Mansur, M.B., 2003. Recovery of Zinc and Manganese from Spent Alkaline Batteries by Liquid-Liquid Extraction with Cyanex 272, *J. Power Sources*, 115, 367-373.
6. Biswas, R.K., Karmakar, A.K., Kumar, S.L., 2016. Recovery of Manganese and Zinc from Spent Zn-C Cell Powder: Experimental Design of Leaching by Sulfuric Acid Solutions Containing Glucose, *Waste Manage.*, 51, 174-183.
7. De Souza, C.C.B.M., De Oliveria, D.C., Tenorio, J.A.S., 2001. Characterization of Used Alkaline Batteries Powder and Analysis of Zinc Recovery by Acid Leaching, *J. Power Sources*, 103, 120-126.
8. Ferella, F., Michelis, I.D., Pagnanelli, F., Beolchini, F., Furlani, G., Navarra, M., Veglio, F., Toro, L., 2006. Recovery of Zinc and Manganese from Spent Batteries by Different Leaching Systems, *Acta Metall. Slovaca*, 12, 95-104.
9. Gega, J., Walkowiak, W., 2011. Leaching of Zinc and Manganese from Used up Zinc-Carbon Batteries Using Aqueous Sulfuric Acid Solution, *Physicochem. Prob. Miner. Process.*, 46, 155-162.
10. Turhan Özdemir, G.D., Demirkiran, N., 2016. Atık Alkali Pillerden Elde Edilen Çinko Tozun Sodyum Hidroksit Çözeltilerindeki

- Çözünürlüğünün İncelenmesi, AKU J. Sci. Eng., 16, 61-67.
11. Demirkıran, N., Turhan Özdemir, G.D., 2019. A Kinetic Model for Dissolution of Zinc Oxide Powder Obtained from Waste Alkaline Batteries in Sodium Hydroxide Solutions, Metall. Mater. Trans. B, 50B, 491-501.
 12. Baba, A.A., Adekola, A.F., Bale, R.B., 2009. Development of a Combined Pyro-and Hydro-Metallurgical Route to Treat Spent Zinc-Carbon Batteries, J. Hazard. Mater., 171, 838-844.
 13. Senanayake, G., Shin, S.M., Senaputra, A., Winn, A., Pugaev, D., Avraamides, J., Sohn, J.S., Kim, D.J., 2010. Comparative Leaching of Spent Zinc-Manganese-Carbon Batteries Using Sulfur Dioxide in Ammoniacal and Sulfuric Acid Solution, Hydrometallurgy, 105, 36-41.
 14. Shin, S.M., Senanayake, G., Sohn, J., Kang, J., Yang, D., Kim, T., 2009. Separation of Zinc from Spent Zinc-Carbon Batteries by Selective Leaching with Sodium Hydroxide, Hydrometallurgy, 96, 349-353.
 15. Demirkıran, N., 2015. Examination of the Use of Ammonium Acetate as Lixiviant in Recovery of Zinc from Waste Batteries and Kinetic Analysis, Environ. Eng. Manag J., 14, 51-56.
 16. Karakaya, E., Kükrer, T., Veglio, F., Akçıl, A.U., Kitis, M., 2007. Atık Alkali ve Çinko-Karbon Pillerden Mangan ve Çinko Geri Kazanımı: İnorganik ve Organik Asitlerle Liç Testleri, 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İzmir, Türkiye, 24-27 Ekim, 301-305.
 17. Sayılğan, E., Kükrer, T., Yigit, N.O., Civelekoglu, G., Kitis, M., 2010. Acidic Leaching and Precipitation of Zinc and Manganese from Spent Battery Powder Using Various Reductants, J. Hazard. Mater., 173, 137-143.
 18. Bezerra, M.A., Santelli, R.E., Oliveira, E.P., Villar, L.S., Escalera, L.A., 2008. Response Surface Methodology (RSM) as a Tool for Optimization in Analytical Chemistry, Talanta, 76, 965-977.
 19. Azizi, D., Shafaei, S.Z., Noaparast, M., Abdollahi, H., 2012. Modeling and Optimization of Low-grade Mn Bearing Ore Leaching Using Response Surface Methodology and Central Composite Rotatable Design, Trans. Nonferr. Met. Soc. China, 22, 2295-2305.
 20. Tanong, K., Coudert, L., Blais, J.F., 2016. Recovery of Metals from a Mixture of Various Spent Batteries by a Hydrometallurgical Process, J. Environ. Manag., 181, 95-107.
 21. Turan M.D., Altundoğan H.S., 2011. Hidrometalurjik Araştırmalarda Yanıt Yüzey Yöntemlerinin (YYY) Kullanımı, Madencilik, 50, 11-23.
 22. Montgomery, D.C., 2001. Design and Analysis of Experiments, 5th Edition, Wiley, New York.
 23. İjadi Bajestani, M., Mousavi, S.M., Shojaosadati, S.A., 2014. Bioleaching of Heavy Metals from Spent Household Batteries using Acidithiobacillus Ferrooxidans: Statistical Evaluation and Optimization, Sep. Purif. Technol., 136, 309-316.
 24. Tanong, K., Coudert, L., Chartier, M., Mercier, G., Blais, J.F., 2017. Study of the Factors Influencing the Metals Solubilisation from a Mixture of Waste Batteries by Response Surface Methodology, Environ. Technol., 38, 3167-3179.
 25. Shalchian, H., Rafsanjani-Abbasi, A., Vahdati-Khaki, J., Babakhani, A., 2015. Selective Acidic Leaching of Spent Zinc-Carbon Batteries Followed by Zinc Electrowinning, Metall. Mater. Trans. B, 46B, 38-47.
 26. Derikvandi, H., Nezamzadeh-Ejhieh, A., 2017. Comprehensive Study on Enhanced Photocatalytic Activity of Heterojunction ZnS-NiS/Zeolite Nanoparticles: Experimental Design Based on Response Surface Methodology (RSM), Impedance Spectroscopy and GC-MASS Studies, J. Colloid Interf. Sci., 492, 652-664.
 27. Yolmeh, M. Jafari, S.M., 2017. Applications of Response Surface Methodology in the Food Industry Processes, Food Bioprocess. Tech., 10, 413-433.
 28. Arulkumar, M., Sathishkumar, P., Palvannan, T. 2011. Optimization of Orange G Dye Adsorption by Activated Carbon of Thespesia Populnea Pods Using Response Surface Methodology, J. Hazard. Mater., 186, 822-834.

29. Turhan Özdemir, G.D., Demirkiran, N., 2018. Selective Dissolution of Zinc and Manganese from Waste Alkaline Battery Powders by Two-Stage Leaching Method, International Conference on Innovative Engineering Applications, Sivas, Turkey, 20-22 Sept. 300-306.
30. Sadeghi, S.M., Vanpeteghem, G., Neto, I.F.F., Soares, H.M.V.M., 2017. Selective Leaching of Zn from Spent Alkaline Batteries Using Environmentally Friendly Approaches, Waste Manage., 60, 696-705.
31. Lashenn, T.A., El-Hazek, M.N., Helal, A.S., El-Nagar, W., 2009. Recovery of Manganese Using Molasses as Reductant in Nitric Acid Solution, Int. J. Miner. Process., 92, 109-114.
32. Xu, W., Liang, L., Zhu, M. 2015. Determination of Sugars in Molasses by HPLC Following Solid-Phase Extraction, Int. J. Food Prop., 18, 547-557.
33. Nayl, A.A., Ismail, I.M., Aly, H.F., 2011. Recovery of Pure $MnSO_4 \cdot H_2O$ by Reductive Leaching of Manganese from Pyrolusite Ore by Sulfuric Acid and Hydrogen Peroxide, Int. J. Miner. Process., 100, 116-123.

Çukurova Üniversitesi'nde Ölçülen Güneş Işınım Verileri Analizi

Nuri EMRAHOĞLU*¹, İlhami YEĞİNGİL²

¹Çukurova Üniversitesi, Uzay Bilimleri ve Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi,
Adana

²Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Gaziantep

Geliş tarihi: 28.01.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Öz

Adana, güneş enerjisi nedeniyle çok uygun bir bölgede (Boy=35° 18 'E, Enl = 36° 59' N, Yük=130 m) yer almaktadır. Bölgede yapılması düşünülen yatırımlar için atmosferik koşulların her zaman sabit olmaması nedeniyle güneş enerjisi ve meteorolojik ölçümlerin düzenli olarak yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, Çukurova Üniversitesi Uzay Bilimleri ve Güneş Enerjisi Uygulama ve Araştırma Merkezinde (UZAYMER) piranometre ile alınan anlık veriler FORTRAN 77 program diliyle hazırlanan programla analiz edilmiştir. Bu programla, saniyelik olarak alınan verilerden saatlik ve günlük veri setleri oluşturulmuştur. Bu veri setlerinden aylık, yıllık ve yüzdelik ışıma değerleri hesaplanmıştır. Atmosfer dışı ışıma enerjisi değerleri kullanılarak, günlük verilerden Adana'nın bulutsuzluk değerleri elde edilmiştir.

Çalışma iki kısımdan oluşmuştur. Birinci kısım 1978-1982 yılları arasında alınan verilerin, ikincisi ise karşılaştırma yapılmak amacıyla 2017 yılında alınan verilerin analizidir. 1978-1982 yılları arasında Adana'da yıllık ortalama güneş enerjisi değeri 5745,1 MJ/m² ve ortalama günlük toplam ışıma 15,74 MJ/m²-gün olarak belirlenmiştir. En az enerji Ocak ayında 6,84 MJ/m²-gün, en fazla güneş enerjisi ise 25,42 MJ/m²-gün ile Haziran ayında olduğu tespit edilmiştir. 2017'de alınan verilerin sonucunda ise yıllık ortalama günlük güneş enerjisi 17,75 MJ/m²-gün, yıllık ortalama güneş enerjisi ise 6479,99 MJ/m² olarak hesaplanmıştır. En fazla güneş enerjisi 29,25 MJ/m²-gün ile Temmuz, en az ise 6,24 MJ/m²-gün aralık ayı olarak belirlenmiştir.

Ayrıca çalışmada, 1978-1982 ve 2017 verilerinden, bulutsuzluk indeksi de belirlenerek karşılaştırılmıştır. Bu sonuca göre $K_t < 0,34$ değeri için bölgenin bulutlu, $0,34 \leq K_t \leq 0,64$ değerleri arasında ise kısmen bulutlu, $K_t > 0,64$ değeri için ise havanın açık olduğu kabul edilmiştir. 1978-1982 dönemi için en bulutlu ay Şubat en açık ay ise Eylül olarak belirlenmiştir. 2017 verilerine göre de en bulutlu ay Şubat, en açık ay ise Temmuz ve ekim olarak belirlenmiştir. Yapılacak yatırımlar için bu değerlerin yol gösterici niteliğinde olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Direkt ışıma, Toplam ışıma, Bulutsuzluk indeksi

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Nuri EMRAHOĞLU, nemrahoglu@cu.edu.tr

Analysis of Solar Radiation Data Measured at Cukurova University

Abstract

Adana is located in a very suitable area due to solar energy (Long=35° 18 'E, Lat=36° 59' N, Alt=130 m). Due to the fact that the atmospheric conditions are not always constant for the investments to be made in the region, there is a need for regular measurements of solar energy and meteorological measurements.

In this study, instant data obtained with pyranometer in Cukurova University Space Sciences and Solar Energy Application and Research Center (UZAYMER) were analyzed with the program prepared with FORTRAN 77 program language. Hourly and daily data sets are created from data taken in seconds. Monthly, yearly and percentile radiation values are calculated from these data sets. With the non-atmospheric radiation energy values, the clearness values of Adana were obtained from the daily data.

The study consisted of two parts. The first part is the analysis of the data taken between 1978-1982 and the second is the analysis of the data taken in 2017 for comparison. Between the years of 1978-1982 in Adana, the average annual solar energy value was 5745,1 MJ/m² and the average daily total radiation was 15.74 MJ/m²-day. The minimum energy is 6.84 MJ/m²-day in January and the maximum solar energy is 25.42 MJ /m²-day in June. As a result of the data obtained in 2017, the average annual solar energy is 17.75 MJ/m²-day and the annual average solar energy is 6479.99 MJ/m². Maximum solar energy is 29.25 MJ/m²-day with July and at least 6.24 MJ/m²-day in December.

In addition, in the study, the statistics of 1978-1982 and 2017 were determined and compared. According to this result, for the value of $K_t < 0.34$, it was assumed that the region was cloudy, K_t value $0.34 \leq K_t \leq 0.64$ between the partially cloudy and $K_t > 0.64$ value for the air is assumed to be open. The most cloudy month for the period 1978-1982 is February and the most open month is September. According to 2017 data, the most cloudy month is February and the clearest month is July and October. These values are guiding for the investments to be made.

Key Words: Solar energy, Direct radiation, Total radiation, Clearness index

1. GİRİŞ

Fosil yakıtların giderek azaldığı bir dünyada, su ve enerji ihtiyacını çözen ülkeler, bilim, teknoloji ve ekonomi alanlarında ayakta kalacakları bir gerçektir. Tükenen yakıtların yerine konulabilecek enerji ise yenilenebilir enerji kaynakları olacaktır. Ayrıca, fosil yakıtların neden olduğu zarar göz önüne alındığında, yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır.

Enerji dünyadaki tüm ülkelerin en önemli ekonomik değerlerinden biridir. Her ülke, dünyadaki enerji kaynaklarının sınırlı olması ve yavaş yavaş azalması sebebiyle, enerji üretimi için yatırımlarını planlaması gerekmektedir. Bu planlar çevre kirliliğini önlemeyi de içermelidir. Bu

nedenle yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır. Bu kaynakların temel unsuru ise Güneş'tir.

Türkiye'de 1936 yılından beri DMİ (Devlet Meteoroloji İstasyonları) tarafından 65 istasyonda, toplam güneş ışınımı ölçümleri sürekli yapılmaktadır. (EİE, 1983) bu ölçümleri yapan aktinograflar yeterince hassas olmadıklarından %5-15 arasında hatalı sonuçlar vermektedir. Konu önemli olduğundan Fen Edebiyat Fakültesi Fizik bölümüne 1978 yılından beri güneş ışınımı verileri sağlıklı olarak sürekli alınmıştır ve alınmaya devam edilmektedir.

Güneş enerjisinden yararlanmak amacıyla tarih boyunca çaba sarf edilmiştir. Bu çalışmalar doğal

yakıtların tükenmesi tehlikesinin ortaya çıktığı 20. yüzyılda daha da hızlanmış ve güneşten yararlanmak için ciddi çalışmalar yapılmıştır.

Bilinen ilk çalışmalar MÖ 500 yıllarına dayanmaktadır. Xenophon bir eserinde [2] Sokrat'ın (MÖ 212) bu konudaki düşüncelerine yer verilmiştir. 25 yüzyıl önce Vesta tapınağındaki rahipler, madeni konilerden yansıttıkları güneş ışınları ile kutsal ateşleri yakmışlardır. Arşimet (MÖ 212) yüzlerce aynayı kullanarak Sirakus kentine saldıran Roma Donanmasının gemilerini yakmıştır. 1878 yılında, Paris'te kullanılan yoğun toplayıcının çanak şeklindeki yansıtıcısı, ışınları, çanağın ortasındaki madeni sütunda yoğunlaştırmakta ve sütun içindeki suyun, buhar makinasının buharlaştırması sağlanmaktaydı. 1913 yılında Mısır'ın Meadi kentinde, su pompalamak için güneş enerjisinden yararlanmıştır. Shuman ve Boys tarafından geliştirilen parabolik topaçlar ile güneş ışınları yatay borular üzerinde yoğunlaştırılarak 55 BB. Mekanik güç elde edilerek su pompaları çalıştırılmıştır [3].

Günümüzde güneşten, topaçlar yardımı ile su ısıtılmasında, konut ısıtılmasında, aynalı topaçlar yardımıyla yüksek sıcaklıklar elde ederek sanayide, güneş pilleri yardımı ile elektrik enerjisi elde edilmesinde ve buna benzer amaçlarla yararlanılmaktadır. Bu konudaki çalışmalar, üniversiteler, kamu ve özel kuruluşlarınca, tüm dünyada yoğun bir şekilde sürdürülmektedir. Bu çalışmalarda çoğu zaman, bölgesel güneş enerjisi verileri kullanılmakta, dolayısıyla güneş enerjisi verileri, çalışmalara esas teşkil etmektedir.

Güneş enerjisi verileri genellikle, güneş ışımının toplam, yayılmış ve doğrusal bileşenleri ölçülerek yapılmaktadır. Bu bileşenler arasındaki ilişkiler kullanılarak, bir bileşenden diğerine geçilebilmektedir. Yöntemlerde kullanılan veriler, yayılmış ışınım yüzdesi ile bulutsuzluk indeksidir. Bulutsuzluk indeksi ve yayılmış ışınım yüzdesi sırasıyla Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 ile verilir.

$$K_T = \frac{H_T}{H_0} \quad (1)$$

$$K = \frac{H_Y}{H_T} \quad (2)$$

Burada H_T toplam ışınım, H_0 atmosfer dışı ışınım, H_Y yayılmış ışınımdır. K_T bulutsuzluk indeksi, K yayılmış ışınım yüzdesidir.

Hakkı Ögelman [4], Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün (MGM) 25 istasyonunda alınan yatay yüzeye gelen toplam ışınımın tahmini için Angstrom yöntemini kullanmıştır. Değişik iklim yöreleri için,

$$H_T = H_0 \left(a + b \frac{s}{S_0} \right) \quad (3)$$

Eşitlik 3 kullanılarak Türkiye'nin güneş ışınımını veren harita çıkarılmıştır. Burada a , b iklim koşullarına bağlı sabitler s güneşlenme süresi, S_0 mümkün olan maksimum güneşlenme süresi, H_0 atmosfer dışı ışınım, H_T yatay yüzeye gelen toplam ışınımdır.

Mengeş ve Sonmete [5] yaptıkları çalışmada, Konya'da 2000-2002 yılları arasında alınan aylık ortalama güneş enerjisi değerlendirmesini altı modelle hesaplamışlar ve aynı zaman aralığında ölçülen değerlerle karşılaştırmışlardır.

Varınca ve Gönüllü [6] yaptıkları çalışmada 1966-1982 yılları arasında EİE tarafından alınan verilerinin analizi sonucunda, Türkiye güneş enerjisi değerinin ortalama $308 \text{ cal/cm}^2\text{-gün}$ ($1 \text{ cal}=4,18 \text{ J}$ ve $12,87 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$) olduğunu tespit etmişlerdir.

Bulut [7] yaptığı modelleme çalışmasında, trigonometrik denklemi temel alan ve yılın gününe bağlı bir model geliştirilmiştir. Bu model, kaydedilen 10 yıllık verilerle karşılaştırılmış ve Türkiye'deki 68 merkez için modellenmiştir.

Benzer bir çalışmada, [8] Türkiye Erzurum kenti için yapılmıştır ve yatay yüzeye gelen enerji tahmin edilmiştir. Bu tahmini ölçülen değerlere uygun olduğu belirtilmiştir.

Şahan ve arkadaşları [9] yaptıkları çalışmada, 1993-1995 yılları arasında Çukurova Üniversitesi UZAYMER'den alınan toplam ve UV güneş ışınımı verilerinin analizi yapılmış yıllık ortalama toplam ışınım 8322 MJ/m^2 ve UV ışınım ise 312 MJ/m^2 olarak belirlenmiştir.

Çağlar ve arkadaşları [10] yaptıkları çalışmada 2008-2009 yılları arasında Ankara ilinde alınan toplam ve direkt ışınım verileri değerlendirilmiş belirtilen ölçüm aralığında sırasıyla toplam ve direkt ışınım 17.04 ve 15.72 MJ/m^2 olarak belirlenmiştir.

Şahan ve arkadaşları [11] yaptıkları çalışmada ise Osmaniye kent merkezinde bir yıl boyunca alınan veriler değerlendirilmiş aylık ortalama değer olarak 4755.43 W/m^2 ($17.12 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$) tespit etmişlerdir.

Akdeniz kıyısındaki Mersin şehri için güneş enerjisi enerji tahmini yapılmış ve alınan verilerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, tahmini verilerle alınan verilerin uyumu gösterilmiştir [12].

Öte yandan, Özcan [13] yaptığı çalışmada enerji politikası ve enerji haklarına dikkat çekmiştir. Güneş ve rüzgâr enerjisinde toplumsal haklar da söz konusudur. Sürdürülebilir enerji politikaları çalışmasında birçok olumlu öneri bulunmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Güneş Enerjisinin Oluşumu

Güneş, samanyolu galaksisinde füzyon olayı ile hidrojeni helyuma dönüştüren bir yıldızdır. Kütlelerinin %90'ı hidrojendir. Yarıçapı $1.39 \times 10^9 \text{ m}$, dünyaya ortalama uzaklığı $1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ olan yoğun, sıcak gazlardan oluşan bir küredir. Güneş bir katı cisim gibi dönmez. Ekvator bölgesi hemen hemen 27 günde, kutup bölgeleri ise 30 günde dönmektedir. İç bölgesindeki sıcaklık tahminen 8×10^6 ile $4 \times 10^6 \text{ K}$ arasındadır [14].

Yerçekimsel kuvvetin sonucu başlayan termonükleer reaksiyon olayında 4 hidrojen atomu bir helyum atomuna dönüşürken bir miktar kütlede

Einstein'in $E=mc^2$ bağıntısı gereğince enerjiye dönüşür. Bu reaksiyonla güneşin iç bölgelerinde oluşan enerji yaklaşık bir milyon yıl sonra yüzeye ulaşır [15].

2.1.1. Atmosfer Dışı Işınım

Güneş yüzeyi $5762 \text{ }^\circ\text{K}$ sıcaklıktaki etkin bir siyah cisim olarak düşünülür. Dünya atmosferine ulaşan enerji 1353 W/m^2 'dir. ($1,940 \text{ cal/cm}^2\text{dak}$, $4,871 \text{ MJ/m}^2\text{sa.}$) [16]. Yapılan deneylerde bu değerlerin $\pm \%1,5$ hatayı içerdiği kabul edilmiştir [17]. Yeryüzüne gelen bu enerji, değişik dalga boylarında farklı enerjileri içermektedir.

Dünya ile güneş arasındaki uzaklığın ± 3 değişimi, gelen enerjide ± 3 değişimine neden olmaktadır [18], atmosfer dışı ışınım, dünyanın yörüngesi değiştiğinden yılın günlerine bağlıdır ve

$$G_{0n} = G_{gs} (1 + 0,033 \cos(360.n/365)) \quad (4)$$

Eşitlik 4 ile verilir.

2.1.2. Gelen Güneş Açısı Denklemleri

Doğrusal ışınım geliş açısı θ için gelen denklem [19],

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \omega \\ &+ \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \delta \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \beta \sin \delta \sin \omega \end{aligned} \quad (5)$$

Eşitlik 5 ile verilmektedir. Yatay yüzey için ($\beta=0$) ve $\cos \beta=1$, $\sin \beta=0$ 'dır. Bu durumda geliş açısı doğal olarak Zenit açısına eşit olmaktadır. Güneye bakan yüzey için azimut açısı $\delta=0$ olduğunda, gelen açı denklemi

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega_s + \sin \delta \sin \phi \quad (6)$$

değerini alır (Eşitlik 6). Eşitlik 4'ün özel bir çözümü olarak $\theta_z = 90^\circ$ olduğunda güney saat açısı bulunabilir.

$$\cos \theta_z = -\frac{\sin \phi \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta} = -\tan \phi \tan \delta \quad (7)$$

$$W_s = \arccos(-\tan \phi \tan \delta) \quad (8)$$

gün uzunluğu ise Eşitlik 9 ile verilir.

$$N = \frac{2}{15} W_s \quad (9)$$

2.1.3. Yatay Yüzey Üzerine Gelen Atmosfer Dışı Işınım

Yılın değişik günlerinde, atmosfer dışındaki yatay yüzeye gelen enerji Eşitlik 10 ile verilir.

$$G_0 = G_{gs} \left[1 + 0,033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \cos \theta_z \quad (10)$$

Yatay yüzey üzerine gelen günlük atmosfer dışı ışınımı bulmak için Eşitlik 8'in saat açısına göre integrali alınır. Yatay yüzeye gelen günlük atmosfer dışı ışınım J/m^2 cinsinden

$$H_0 = \frac{24 \cdot 3600 \cdot G_{gs}}{\pi} \left[1 + 0,033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \left[\cos \phi \cos \delta \sin W_s + \frac{2\pi W_s}{360} \sin \phi \sin \delta \right] \quad (11)$$

2.2. Ölçüm Kayıtları

Bu çalışmada kullanılan veriler 1985'de yayınlanan yüksek lisans tezi ve sonrasında araştırma amacıyla devam eden saniyelik toplam ışınım verilerinden, saatlik ve günlük olarak elde edilmiştir. Bu değerler kullanılarak Adana'nın toplam ışınım dağılımı, toplam ışınım yüzdelik frekans dağılımı bulunmuştur. Güneşten atmosfer dışındaki $1 m^2$ 'ye gelen enerjide bir değişiklik olmadığından, yüzeyde alınan verilerde de bir farklılık olmamaktadır. Sadece iklimsel özellikler değişirse yani bulutluluk aşırı hava kapalı ise ölçülen enerjide bir farklılık görülebilmektedir. Bilindiği gibi Çukurova Bölgesi Akdeniz iklim koşullarının etkisi altındadır. Hemen hemen her yıl aynı özellikler göstermektedir. Bu nedenle belirtilen tarihlerde alınan veriler günümüzde de yapılan araştırmalarda kullanılabilir.

Çukurova Üniversitesi Adana'nın kuzeyinde $36^\circ 59'K$ enlemde $35^\circ 8'D$ boylamında, denizden 130 m yüksekliktedir. Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde 1978'de başlayan ve daha sonra UZAYMER'de alınmaya devam eden toplam ve doğrusal ışınım verilerinin 1978-1982 arası yılları ile 2017 yılı değerlendirilmiştir.

Güneş ışınımının yayılmış ve doğrusal bileşeni toplam ışınımı oluşturur. Toplam ışınım yarı küresel ışınımında denmektedir. Toplam ışınımın ölçümünde Eppley tipi 8-48 model Piranometre kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Eppley 8-48 siyah-beyaz piranometre

Saniyelik olarak alınan verilerden saatlik ve günlük veriler elde edilmiştir. Ancak, yıl boyunca her gün veri alınmamıştır. Elektrik kesintilerinden dolayı yarım kalan ölçümler, bilgisayarın çalışmadığı ya da yarım gün olarak kayıt edilen veriler, değerlendirme dışı bırakılmıştır. Hazırlanan FORTRAN 77 programıyla değerlendirilen toplam ışınım verileri için şunlar göz önünde tutulmuştur.

- Toplam ışınımın günlük ve saatlik değeri, hiçbir zaman atmosfer dışı, saatlik ve günlük yatay yüzeye gelen ışınım değerinden büyük olmamalıdır.
- Saatlik Bulutsuzluk (clearness) indeksi K_T ve günlük Bulutsuzluk indeksi K_T , 0,9 değerinden büyük olmamalıdır.

1978–1982 yılları arasında alınan toplam doğrusal ışınım verileri, yapılan değerlendirmeler sonunda

1355 günlük veri değerlendirmeye alınmıştır. 2017 yılında anlık olarak alınan güneş ışınım verilerin tamamı (365 gün) değerlendirilmiştir. Toplam 1720 günlük veri bu çalışmanın sonuçlarını oluşturmuştur.

Değerlendirmede sistemden kaynaklanan hatalar göz önüne alınmamıştır. Piranometrenin lineer hatası $\pm\%1$ 'dir. Bunun yanı sıra güneşin doğuşu ve batışından kaynaklanan kosinüs etkisi de hesaba katılmalıdır. Kosinüs etkisinden meydana gelecek hata $\pm\%1,2$ 'dir [20].

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Toplam Işınım Verileri

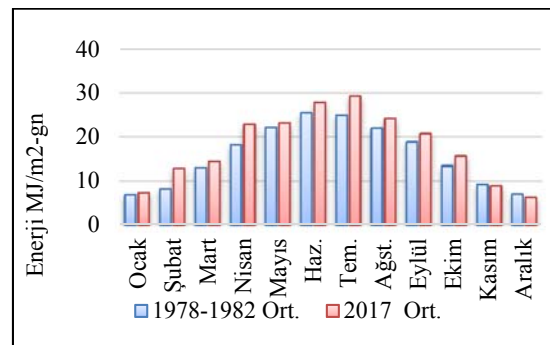
Adana'ya 1978–1982 yılları arasında gelen günlük toplam ışınım değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi 52 aylık veri değerlendirilmiştir. Yıl boyunca Adana'ya gelen ortalama günlük enerji $15,74 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$, ortalama yıllık enerji yaklaşık olarak $5745,1 \text{ MJ/m}^2$ 'dir. Yıllık ortalama değer incelendiğinde haziran ayının $25,42 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ ile en fazla enerjinin geldiği ay olarak görülmektedir. En düşük enerji değeri de $6,84 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ olarak Ocak ayındadır. İklimsel etkilerin farklılığını ortaya çıkarmak için ve karşılaştırma yapabilmek için 2017'de alınan 1 yıllık veriler de değerlendirilmiştir. Bu sonuçlar göre ise 365 gün sonunda ortalama günlük enerji $17,75 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$, yıllık ortalama enerji ise $6479,99 \text{ MJ/m}^2$ bulunmuştur. 2017'de en fazla enerji Temmuz ayında $29,25 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$, en az ise Aralık ayında $6,24 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ olarak belirlenmiştir. Çizelge 1'de bu değerler verilmiştir. Birinci ve ikinci çalışma arasındaki enerji farklılıklar havanın bulutlu olmasından ileri gelmiştir. Bu değerler benzer çalışma için 1993 yılında yine UZAYMER'de Şahan ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada günlük ortalama güneş ışınım enerjisi $17,09 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$, yıllık enerji ise 8322 MJ/m^2 bulunmuştur. En yüksek ışınım enerjisi $25,75 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ ile temmuz, en düşük ışınım enerjisi ise $7,25 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ ile ocak ayı olarak belirlenmiştir. Bu çalışmadaki sonuçlarla karşılaştırıldığında uyumlu görünmektedir [9]. Yine Osmaniye'de Şahan ve

arkadaşları tarafından yapılan çalışmada aylık ortalama güneş ışınım enerjisi $4755,43 \text{ W/m}^2$ ($17,12 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$), günlük ortalama ise $396,29 \text{ W/m}^2$ ($1,43 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$) olarak bulunmuştur. Bu çalışmayla karşılaştırıldığında aylık olarak sonuçlar benzerlik göstermektedir. Bunun nedeni de Osmaniye'nin Adana ile aynı enlemlerde olmasındandır [11].

Çizelge 1. 1978-1982 yılları ve 2017 yılı yatay yüzeye gelen günlük toplam ışınım.

Yatay bir yüzeye gelen ortalama günlük toplam ışınım ($\text{MJ/m}^2\text{-gün}$)							
Aylar	1978	1979	1980	1981	1982	1978-1982 Ort.	2017 Ort.
Ocak		8,02	6,68	5,68	6,98	6,84	7,32
Şubat		5,60	9,53	6,67	10,97	8,19	12,85
Mart		14,46	13,17	12,88	11,53	13,01	14,35
Nisan		21,33	18,22	18,55	14,38	18,12	22,81
Mayıs		23,71	22,82	22,15	19,85	22,13	23,11
Haziran		26,14	27,05	24,6	23,87	25,42	27,79
Temmuz		27,44	23,96	24,3	23,89	24,90	29,25
Ağustos		21,68	21,56	22	22,43	21,92	24,16
Eylül		19,6	17,62	18,64	19,35	18,80	20,71
Ekim	12,27	13,19	12,37	15,52	13,52	13,37	15,57
Kasım	9,96	9,47	9,36	8,4	8,79	9,20	8,87
Aralık	6,09	6,44	6,77	6,67	8,85	6,96	6,24
Ort.	9,44	16,42	15,76	15,51	15,37	15,74	17,75

Şekil 2'de bu iki çalışmanın sütun grafiği verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere 1978-1982 yıllarında alınan verilerin ortalaması ile 2017 yılında alınan verilerin ortalaması arasında fark vardır. Dünya dışında yata bir yüzeye gelen enerji güneşten gelen enerji değişmediği için sabittir. O halde bu farklılıklar bulutluluktan yani iklimsel farklılıktan kaynaklanmaktadır.



Şekil 2. 1978-1982 ve 2017 yılları aylık ortalama enerji

3.2. Günlük Toplam Işınım Yüzdeleri Frekans Dağılımı

Toplam ışıma ölçüm yılları boyunca, belirlenen enerji aralıklarına göre yüzdeleri dağılımları Çizelge 4’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde günlük toplam ışımanın 20 MJ/m²-gün’den büyük değerlerin yüzdesi 39,14, 10 MJ/m²-gün’den küçük değerlerin yüzdesi 21,13 olduğu görülmektedir. 20 MJ/m²-gün’den büyük değerlerin bulunduğu aylar %97,68 ile Temmuz, %94,22 ile Haziran, %82,03 ile Mayıs, %81,3 ile Ağustos %64,89 ile Nisan, %51,85 ile Eylül olarak sıralanmıştır. Aynı enerji aralığının diğer ayların yüzdeleri dağılımları sıfırdır. 10 MJ/m²-gün’den küçük değerlerin bulunduğu aylar ise sırasıyla Aralık %78,28, Ocak %69,09’dur.

Çizelge 2. 1978-1982 yılları arasında ölçülen günlük ışımanın belirlenen enerji aralıklarındaki yüzdeleri frekans dağılımı

Aylar	Enerji Aralıkları (MJ/m ² -gün)					
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-35
Ocak	12,6	56,6	30,9			
Şubat	12,2	25,8	49,0	13,0		
Mart	2,4	12,7	20,2	57,1	7,6	
Nisan	0,4	3,8	14,6	26,4	34,7	20,2
Mayıs		0,6	7,0	10,5	37,9	44,1
Haziran			1,1	4,7	18,4	75,8
Temmuz				2,3	39,2	58,5
Ağustos				18,7	68,2	13,1
Eylül			4,4	43,8	51,9	
Ekim	0,7	7,3	55,7	38,4		
Kasım	4,4	36,0	59,6			
Aralık	13,8	64,5	21,8			

Çizelge 2’de 2107 yılında değerlendirilen belirlenen aralıklardaki yüzdeleri verilmiştir. Çizelge 2’de temmuz ayında enerji en yüksek yüzdeye sahiptir. En düşük enerji yüzdesi Aralık ayındadır. Aslında beklendiği gibi kuzeye yarım küreye aralık ayında en kısa gün ve dünyanın negatif deklinasyonu en büyüktür. Güneşlenmenin çok kısa sürmesi ve iklimsel özellikler de göz önüne alındığında bu sonuç kabul edilebilir değerdedir. Her iki veri değerlendirmesinde de Aralık ayı en az enerji değeri yüzdesine sahiptir.

Çizelge 3. 2017 yılında ölçülen günlük ışımanın belirlenen enerji aralıklarındaki yüzdeleri frekans dağılımı

Aylar	Enerji Aralıkları (MJ/m ² -gün)					
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-35
Ocak	29,0	48,4	22,6			
Şubat	3,6	10,7	57,1	28,6		
Mart	12,9	9,7	22,6	35,5	19,4	
Nisan		6,7	10,0	10,0	20,0	53,3
Mayıs		6,5	16,1	9,7	16,1	51,6
Haziran			3,3	6,7	6,7	83,3
Temmuz						100,0
Ağustos				12,9	48,4	38,7
Eylül				50,0	46,7	3,3
Ekim			6,5	29,0	51,6	12,9
Kasım	16,7	40,0	43,3			
Aralık	40,7	59,3				

3.3. Günlük Bulutsuzluk İndeksi, K_T

1978-1982 yılları günlük bulutsuzluk indeksinin yüzdeleri frekans dağılımı Çizelge 4’de verilmiştir. Bulutsuzluk indeksi K_T’nin 0,34’den küçük değeri için hava çok bulutlu, 0,64’den büyük değerler için hava çok açık olduğu kabul edilmiştir [21]. Havanın çok kapalı olduğu günlerin yüzdesi 10,11, açık olduğu günlerin yüzdesi ise 15,3 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4’den de görüldüğü gibi 1978-1982 yılları arasında değerlendirilen bulutsuzluk indeksinin 0,34’den küçük olduğu aylar Ocak %20, Şubat %25, Mart %17’dir. Temmuz ve Ağustos aylarında bu değer sıfırdır. Kasım, Aralık aylarında ise 0,34’ten küçük K_T değeri tekrar yükselerek sırasıyla %11 ve %216 olmaktadır.

Karşılaştırma yapabilmek için 2017’de alınmış verilerin değerlendirilmesi sonucunda iklimsel fark hemen göze çarpmaktadır. Bu yılın bulutsuzluk indeksi de Çizelge 4’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde temmuz ayında hiç bulutlanma görülmemektedir. En çok bulutluluk ise Ocak ve Aralık ayı %26 seviyesindedir. Sırasıyla Ekim ve Eylül ayları %86,7 ve %79,3 olarak en bulutsuz günler olarak sıralanmaktadır.

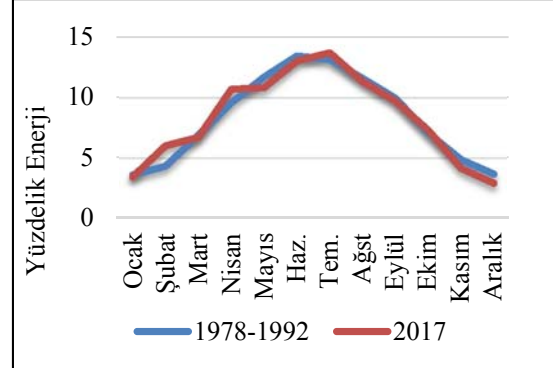
Çizelge 4. Karşılaştırmalı bulutsuzluk indeksi yüzdelik dağılımı

Aylar	1978-1982 yılları arası Bulutsuzluk indeksi			2017 yılı Bulutsuzluk indeksi		
	Bulutsuzluk aralığı					
	0,00-0,34	0,35-0,64	0,65-0,80	0,00-0,34	0,35-0,64	0,65-0,80
Ocak	27,5	51,2	20,4	26,7	66,7	6,7
Şubat	25,8	56,4	17,8	3,6	96,4	
Mart	16,8	71,1	11,1	32,3	67,7	
Nisan	12,8	72,3	14,9	35,9	41,0	23,1
Mayıs	9,1	82,5	8,5	24,1	48,3	27,6
Haziran	2,8	88,6	9,6	3,4	31,0	65,5
Temmuz		89,7	10,3			100,0
Ağustos		96,6	3,4		35,7	64,3
Eylül	3,9	68,6	28,5		20,7	79,3
Ekim	4,2	78,6	17,3		13,3	86,7
Kasım	11,6	65,3	23,1	10,0	43,3	46,7
Aralık	26,0	58,4	14,7	26,7	50,0	23,3

Çalışmada ayrıca 1978–1982 içinde alınan verilerle, 2017 yılında alınan güneş ışınım enerjisi ölçüm değerlerinin yüzdelik frekans dağılımları çıkarılmıştır. Her iki değerlendirme için de verilerin belirli enerji aralıklarında yüzdelik frekansları Çizelge 5’de iki ayrı zaman dilimleri için verilmiştir.

Çizelge 5. 1978-1982 ve 2017 yıllarında aylara göre enerji yüzdeleri

Saatlik güneş ışınım enerjisi yüzdeleri		
Aylar	1978-1992	2017
Ocak	3,62	3,44
Şubat	4,34	6,03
Mart	6,89	6,73
Nisan	9,59	10,71
Mayıs	11,72	10,85
Haziran	13,46	13,05
Temmuz	13,18	13,73
Ağustos	11,61	11,34
Eylül	9,96	9,72
Ekim	7,08	7,31
Kasım	4,87	4,16
Aralık	3,69	2,93



Şekil 3. Saatlik Güneş ışınım enerjisi yüzdelik dağılımı

Çizelge 5 ve Şekil 3 incelendiğinde ışınım enerjisinin aylara göre yüzdelik dağılımları beklenildiği gibi güneş ışınım enerjisi frekansının en yüksek olduğu aylar (her iki çalışmada d) Haziran ve Temmuz aylarıdır. En düşük ışınım enerjisi ise aralık ve ocak ayı olarak görülmektedir.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada iki farklı zaman diliminde alınan güneş ışınım enerjileri karşılaştırılmıştır. Çalışmada ortaya çıkan sonuç aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Yapılan analiz sonuçlarına göre güneş enerjisinin 1978-1982 yılları için Ocak ayında, $6,78 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ 2017 yılı değerlendirmesinde ise Aralık ayı $6,24 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ olduğu, aynı şekilde sırasıyla ilk değerlendirme için en fazla güneş enerjisi gelen ayda Haziran, $25,57 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$, 2017 değerlendirmesinde ise $29,25 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ ile Temmuz ayı olduğu bulunmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre her iki değerlendirmeye göre, Ocak, Şubat, Ekim ve Kasım aylarında ortalama güneş enerjisinin yüzde yüzü $20 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ 'nin altında, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında güneş enerjisinin %59'u $20 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ 'nin üzerinde olmaktadır. 1978-1982 zaman aralığında Adana için yıllık ortalama güneş enerjisi $5759,7 \text{ MJ/m}^2$ 'dir. Günlük ortalama güneş enerjisi ise $15,78 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ 'dir. 2017 yılı verilerinin değerlendirmesi sonucunda

ortalama ve yıllık ortalama güneş ışınım enerjisi değerleri sırasıyla 17,75 MJ/m²-gün ve 6479,99 MJ/m²-gün olmuştur.

Yüzdeler olarak bakıldığında ise her iki zaman dilimi için değerler çok yakındır. O nedenle, bu rakamlar Adana'nın güneş enerjisi yönünden çok iyi olduğunu göstermektedir.

Kuzeye gidildikçe bu değerler azalmakta, örneğin Ankara'da (E=34° 48'K, B=32° 8'D) %25 daha az olmaktadır [14]. Güneye gidildikçe bu değerler artmaktadır. Beer Sheva, İsrail'de (B=34° 48'D, E=31° 15'K) yapılan çalışmada bu değer %20 daha fazladır [21].

Bölgeye gelen güneş enerjisi bölgenin iklimine de bağlıdır. Adana ile yaklaşık aynı enlemde olan Antalya (B=36° 9'K, B=31° 7'D)'da Adana'dan %10 daha fazla güneş enerjisi almaktadır

Bulutsuzluk indeksi sonuçlarına göre bölgede her iki zaman aralığı için en bulutlu ay Ocak, Şubat ve Aralık en açık ay ise Temmuz ve Eylül'dür.

Bu çalışmadan çıkan sonuç, bu iki zaman diliminde veriler karşılaştırıldığında bölgede iklimsel açıdan büyük değişikliklerin olmadığı, yapılacak güneş enerjisi kullanım kaynaklı yatırımlar için yol gösterici niteliğinde olduğu ortaya konulmuştur.

5. KAYNAKLAR

1. McDaniels, D.K., 1979. The Sun: Our Future Energy Source (Second Edition). New York: John Wiley and Sons, 271.
2. Anderson, B., 1977. Solar Energy, Fundamentals in Building Design, McGraw-Hill, New York, 150.
3. Deriş, N., 1979. Güneş Enerjisi Sıcak Su ile Isıtma Tekniği, Sermet Matbaası, İstanbul, 100.
4. Ögelman H.B., 1981. Yatay Yüzeye Düşen Toplam Güneş Radyasyonun Türkiye'de Dağılımı, Güneş Dergisi, 2, 20-24.
5. Mengeş, H.O., Sonmete, M.H., 2005. Konya'da Aylık Ortalama Toplam Güneş Işınımının Tahmini için Mevcut Bazı Modellerin Karşılaştırılması, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 1(3), 237-244.
6. Bulut, H., Büyükalaca, O., 2007. Simple Model for the Generation of Daily Global Solar-Radiation Data in Turkey, Applied Energy, 84, 477-491.
7. Varınca, K.B., Gönüllü M.T., 2006. Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Haziran 2006, ESOĞÜ, Eskişehir, 21-23.
8. Bakirci, K., 2008. Correlations for Estimation of Solar Radiation on Horizontal Surfaces. Journal of Energy Engineering, 134(3),130-134.
9. Şahan, M., Şahan, H., Yeğingil, İ., 2010. Yıllık Toplam ve Ultraviyole (UV) Güneş Enerjisi Verilerinin Ölçülmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14(1), 10-16.
10. Çağlar, A., Yamalı, C., Baker D., K., Kaftanoğlu B., 2013. Measurement of Solar Radiation in Ankara, Turkey. J. of Thermal Science And Technology, 33(2), 135-142.
11. Şahan, M., Tokat, Ö., Okur, Y., 2015. Osmaniye'de Günlük Toplam Güneş Işınım Ölçümleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, SDU Journal of Science (E-Journal), 10(2), 97-105.
12. Arslan, G., Bayhan, B., 2016. Solar Energy Potential in Mersin and A Simple Model to Predict Daily Solar Radiation, Muğla Journal of Science and Technology, Special Issue, 1-4.
13. Özcan, A., 2016. New Experiences on Environmental Rights in Frame Work Of Sustainability and An Ecopolitical Analysis: Solar and Wind Rights, Alternative Policy 8(1), 34-66.
14. Duffie, J.A., Beckman, W.A., 2013. Solar Engineering of Thermal Processes, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc. 3-133.
15. McDaniels, D.K., 1979. The Sun: Our Future Energy Source (Second Edition). New York: John Wiley and Sons. 271.
16. Thekaekara, M.P., Drummond, A.J., 1971. Standard Values for the Solar Constant and its

- Spectral Components. Natl. Phys. Sci., 229, 6-9.
17. Thekaekara, M.P., 1976. Solar Radiation Measurement: Techniques and Instrumentation, Solar Energy, 18(4), 309-325.
 18. Threlkeld, J.L., Jordan, R.C., 1957. Direct Solar Radiation Available on Clear Days. Heat, Piping Air Cond, 64(29), 12-18.
 19. Benford, F., Bock, J.E., 1939. A Time Analysis of Sunshine, Trans. Am. Illumin. Eng. Soc., 34, 200-218.
 20. Esen, R., 1980. Bir Siyah-beyaz Piranometre Tasarımı Gerçekleştirilmesi ve Özelliklerinin Belirlenmesi. Ç.Ü.T.B.F Tez (yayınlanmamış), 54.
 21. Al Kudish, D., Machlav, W.Y., 1983. Solar Radiation Data for Beer Sheva, Israel-Solar Energy, 33-37.

Doğrusal Yükleri Besleyen Şebeke Bağlantılı PV/Akü Sisteminin Tasarımı ve Tam/Kısmi Gölgeleme Durumlarında Performans Analizi

Kemal AYGÜL¹, Tuğçe DEMİRDELEN^{*2}, Mehmet TÜMAY²

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Adana

²Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik
Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 21.01.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Öz

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı son yıllarda hızla artmaktadır. Bu durum sonucunda PV paneller ile günlük hayatta birçok uygulamada karşılaşılmaktadır. PV sistemlerin performansı çevre ve hava durumu gibi etmenlerden büyük oranda etkilenmektedir. Buna örnek olarak bulutlar, tozlanma, kar gibi nedenlerle meydana gelen gölgeleme veya kısmi gölgeleme durumlarının PV sistemlerin maksimum güç noktalarında çalışmasına neden olması gösterilebilir. Bu çalışmada bu durumun sonuçlarını incelemek üzere şebeke bağlantılı ve doğrusal yükleri besleyen bir PV/Akü sisteminin modellenmesi yapılmıştır. Önerilen sistemin PSCAD ile benzetim çalışmaları yapılmış ve farklı gölgeleme senaryoları için performansı incelenmiştir. Benzetim çalışmaları sonucunda PV sistemin maksimum güç noktası izlemesi (MPPT) için kullanılan hata & gözlem (P&O) algoritmasının PV sistemin yerel maksimum noktalarında takılıp düşük verimle çalıştığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik, Akü, Kısmi gölgeleme, Maksimum güç noktası izleme

Modeling and Performance Analysis of Grid Tied Photovoltaic Panel/Battery System Feeding Linear Loads on Complete/Partial Shading Conditions

Abstract

The use of renewable energy sources has been increasing rapidly in recent years. As a result of this situation, PV panels are encountered in many applications in daily life. The performance of PV systems is greatly influenced by factors such as the environment and the weather. Examples include shading or partial shading conditions due to clouding, dusting and snow that cause PV systems not to operate at maximum power points. In this study, in order to analyze the results of these conditions modelling of a grid connected PV/Battery system feeding linear loads was performed. The proposed system simulated via PSCAD and the performance analysis of the system under different shading scenarios was conducted. As a result of

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Tuğçe DEMİRDELEN, tdemirdelen@adanabtu.edu.tr

simulation studies, it is observed that perturb and observe (P&O) algorithm used for maximum power point tracking was stuck at local maximum power points and the PV system operated at low efficiency.

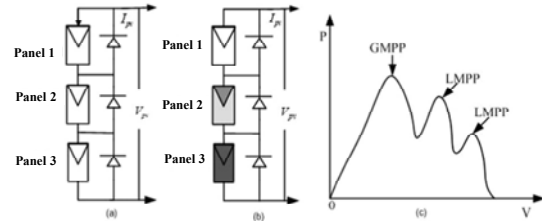
Keywords: Photovoltaic, Battery, Partial shading, Maximum power point tracking

1. GİRİŞ

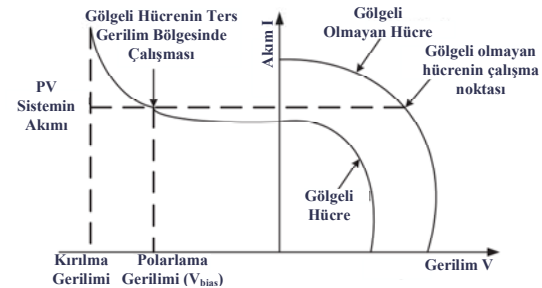
Geleneksel enerji kaynaklarının neden olduğu çevre kirliliği ve bu kaynakların tükenmekte olması nedeniyle güneş enerjisi gibi temiz ve tükenmez enerji kaynaklarına olan ilgi son dönemde giderek artmaktadır. Fotovoltaik (PV) hücreler, fotovoltaik etki ile güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılan başlıca elemanlardan biridir. PV hücrenin akım ve gerilim seviyesinin düşük olması nedeni ile PV hücrelerin seri ve paralel bağlanması sonucu PV paneller, PV panellerin seri ve paralel bağlantı kombinasyonları ile de PV dizinler oluşturulur. Paralel bağlantı ile çıkış akımının, seri bağlantı ile çıkış geriliminin artırılması sağlanmaktadır. PV hücrelerin çıkış akım, gerilim ve güç değerleri ışınım yoğunluğu ve sıcaklık gibi parametrelere bağlı olduğundan dolayı bu parametreler değiştikçe PV sistemin akım, gerilim ve güç değerleri de değişiklik göstermektedir.

Güneş ışınları PV dizini oluşturan panellere eşit yoğunlukta geldiği zaman PV dizinin çıkış güç eğrisinde bir adet maksimum güç noktası gözlenir. Ancak bulut, tozlanma gibi nedenlerle ışınım yoğunluğu PV dizin içerisindeki bazı panellerde az, bazı panellerde daha fazla olduğu zaman PV dizinin çıkış güç eğrisinde birden fazla maksimum güç noktası gözlenir. Bu durum kısmi gölgeleme durumu olarak isimlendirilir. Kısmi gölgeleme durumunda Şekil 1'de görüldüğü gibi global maksimum güç noktasının (GMPP) yanında yerel maksimum güç noktaları (LMPP) da gözlenir. Değişen sıcaklık ve ışınım yoğunluğu değerlerine karşın PV sistemi maksimum güç noktasında çalıştırmak önem arz etmektedir. Bu amaçla farklı yöntemler uygulanarak maksimum güç noktası takibi yapılmaktadır. [1,2] numaralı makalelerde homojen ışınım yoğunluğu ve kısmi gölgeleme durumları için kullanılan geleneksel ve güncel maksimum güç noktası izleme yöntemleri incelenmiş ve bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır.

Şekil 2'de gölgeli ve gölgeli olmayan hücrelerin akım-gerilim eğrisi gösterilmiştir. PV dizindeki gölgeli bir hücre seri bağlı olduğu gölgeli olmayan diğer hücreler ile aynı akım değerinde çalışmak zorunda olduğu için ters gerilim bölgesinde çalışmaya zorlanır. Bir hücrenin ters gerilim bölgesinde çalışması ise güç kaynağı yerine yük gibi davranıp güç tüketmesine neden olmaktadır. Bir süre ters gerilim bölgesinde çalışan hücre ısınarak açık devre haline gelir. Bu olaya sıcak yüzey etkisi adı verilmektedir. Bu etki by-pass diyotları kullanılıp ilgili hücreden ters akım geçmesini engelleyerek önlenmektedir. Kısmi gölgeleme durumunda PV sistemin çıkış güç karakteristiğinde oluşan çok tepeli karakteristiğin nedeni de by-pass diyotlardır.



Şekil 1. (a) Homojen ışınım yoğunluğu ve, (b) kısmi gölgeli durumdaki hücreler, (c) Kısmi gölgeleme durumundaki Güç-Gerilim (P-V) eğrisi [1]



Şekil 2. PV sistemin Akım-Gerilim (I-V) eğrisi [1]

Bu çalışmada doğrusal yükleri besleyen ve şebeke bağlantılı bir PV/Akü sisteminin modellenmesi ve

farklı gölgelenme ve sıcaklık senaryoları için performans analizi PSCAD programı ile benzetim çalışmaları yapılarak gösterilecektir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Son dönemde PV panellerin tam ve kısmi gölgelenme durumlarındaki maksimum güç noktası takibi ve PV panellerin akü ile birlikte kullanıldığı devre yapıları ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

Guichi ve arkadaşları [3] hibrit güç üretim sistemlerinde kullanılacak fotovoltaiik sistemlerin homojen ışınım yoğunluğu ve kısmi gölgelenme koşulları için maksimum güç noktasında veya sınırlandırılmış güç modunda çalıştırılması için bir kontrol yöntemi önermişlerdir. Normal çalışma koşullarında maksimum güç noktası izleme (MPPT) için parçacık sürü eniyileme (PSO) yöntemi kullanılırken PV sistem tarafından üretilen güç, depolama ünitesinin kapasitesini ve yüklerin talebini aştığında sistemi orta güç modunda çalıştırmak için yazarlar tarafından önerilen algoritma kullanılmıştır.

Goud ve arkadaşları [4], kısmi gölgelenme durumunda GMPP takibini (GMPPT) yapmak için iki farklı MPPT yöntemi kullanarak hibrit bir GMPPT yöntemi önermiştir. Önerilen yöntemin performansı benzetim çalışmaları ve deneysel veriler ile test edilmiştir. Farzaneh ve arkadaşları [5] kısmi gölgelenme durumlarında çalışan PV sistemler için geliştirilmiş ateşböceği algoritması ile GMPP takibi yapmayı önermiştir. Önerilen algoritma ile ateşböceği, PSO ve Hata ve Gözlem (P&O) algoritmalarının performansları karşılaştırılmış ve önerilen algoritmanın ateşböceği, PSO ve P&O algoritmalarından daha iyi bir performans gösterdiği belirtilmiştir.

Tang [6], bir gemi üzerine kurulan PV paneller ve aküyü içeren bir sistemin farklı gölgelenme koşulları için GMPP takibinde kullanılmak üzere “Decentralizing and coevolving differential evolution” (DCDE) adı verilen bir algoritma kullanmıştır. Bu algoritmanın performansı sayısal hesaplamalar ve deneysel veriler ile doğrulanmıştır.

Ramyar ve arkadaşları [7] kısmi gölgelenme durumlarında MPPT için yeni bir yöntem önermiş ve bu yöntemin performans analizini benzetim çalışmaları ve deney sonuçlarıyla sunmuştur.

Belhaouas ve arkadaşları [8], PV panellerin elektriksel bağlantısını değişmeden birbirine komşu hücrelerin yerlerinin değiştigi farklı kombinasyonlar ile kısmi gölgelenme durumlarında gölgeyi PV dizin üzerinde dağıtarak LMPP’lerin oluşmasını engellemeyi amaçlamıştır. Farklı gölgelenme senaryolarında bu bağlantı kombinasyonlarının performansı incelenmiş ve bu bağlantı şekillerinin kullanılmasının sistemin performansını artıracığı belirtilmiştir.

Wang ve arkadaşları [9] kısmi gölgelenme durumlarında GMPPT için “the search-skip-judge global MPPT” (SSJ-GMPPT) ve “rapid global MPPT” (R-GMPPT) adı verilen iki algoritma önermiştir. Deney sonuçlarıyla SSJ-GMPPT kullanılarak tüm gölgelenme durumlarında isabetli güç noktası izleme yapılabildiği, R-GMPPT kullanılarak hızlı bir şekilde maksimum güç noktasına ulaşılabildiği gösterilmiştir. Pati ve arkadaşları [10] şebeke bağlantılı bir PV sistem üzerinde MPP izleme için fibonacci arama yöntemi kullanmış ve ayrıca aktif/reaktif güç filtresi gören evirici aracılığı ile sistemin güç kalitesini artırmayı amaçlamıştır. Sistemin performansı benzetim çalışmaları ile test edilip sonuçları sunulmuştur.

Ghasemi ve arkadaşları [11] kısmi gölgelenme durumunda MPP izleme için iki aşamalı bir yöntem önermiştir. İlk aşamada kısmi gölgelenmenin varlığı tespit edilip daha sonra önerilen bir algoritma ile GMPP tespiti amaçlanmıştır. GMPP tespit edilmesinden sonra tekrar P&O algoritması devreye alınarak MPP’deki küçük değişikliklerin takip edilmesi sağlanmıştır.

Sabillon ve arkadaşları [12], evsel yüklerin bağlı olduğu elektrik şebekesine bağlı olarak çalışan PV ve aküleri içeren bir sistemin elektrikli araçların şarjı için optimum bir şekilde kullanılmasını düzenleyen bir yöntem önermiştir. Önerilen sistemin performansı 107 noktalı bir dağıtım sisteminde test edilip performans sonuçları sunulmuştur.

Hassan ve arkadaşları [13] elektrik ihtiyacı şebeke bağlantılı PV-Akü sistemi ile, şebekeye satış tarifesi üzerinden sağlanan bir müşterinin olduğu sistemi incelemiştir.

Numbi ve arkadaşları [14] şebeke satış tarifesinde çalışan bir PV-Akü sistemi önermiş ve bu sistem için optimum enerji modeli bulmayı amaçlamıştır. Sistemin enerji akışı, akü şarj durumu gibi parametreler benzetim çalışması ile incelenip sonuçları sunulmuştur.

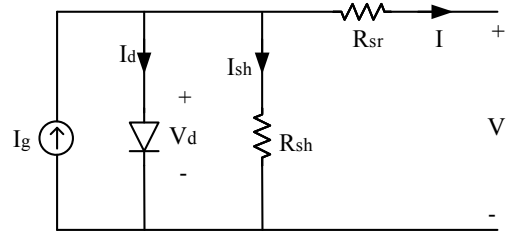
Kumar ve arkadaşları [15] tek sensör tabanlı bir MPPT yöntemi kullanarak PV sistem ile akü şarj etmek üzere bir plan önermiştir. Ayrıca kısmi gölgeleme durumunda MPPT için “mathematics-based hybrid Cauchy and Gaussian sine cosine optimization” isimli bir yöntem uygulamıştır. Sistemin benzetim çalışmalarındaki performans sonuçları diğer MPPT yöntemleri ve devre şemaları ile karşılaştırılmıştır.

Karimi ve arkadaşları [16] PV ve bataryalardan oluşan mikro şebeke için merkezsiz bir güç yönetimi ve yük paylaşımı yöntemi önermiştir. Önerilen yöntemin farklı yük, PV üretimi ve akü şarj durumları için performansı yapılan deneyler ile test edilip gösterilmiştir. Badawy ve Sozer [17] PV/akü tabanlı elektrikli araç şarj istasyonunun güç akışı yönetimi için bir yöntem önermiştir. Bu yöntem ile PV/akü sistemlerinin şebeke ile entegrasyonunun artırılmasının ve artan elektrikli araç şarj talebinin karşılanmasının hedeflendiği belirtilmiştir. Mao ve arkadaşları [18] kısmi gölgeleme durumlarındaki PV sistemler için PSO ve P&O algoritmalarına dayanan özgün bir algoritma önermiştir. Önerilen algoritmanın performansı simülasyon ve deneysel çalışma ile test edilip sonuçları sunulmuştur.

3. ÖNERİLEN SİSTEMİN MODELLENMESİ

3.1. PV Sistemin Modellenmesi

PV hücreler için en çok kullanılan eşdeğer devre modeli Şekil 3’de gösterilen tek diyotlu eşdeğer devre modelidir.



Şekil 3. PV hücrenin eşdeğer devresi [19]

Bu modelde PV hücre bir akım kaynağı buna paralel bağlanan bir diyot, direnç ve seri bağlanan bir direnç ile gösterilir. Bu devreye Kirchhoff’un akım yasası uygulandığında:

$$I = I_g - I_d - I_{sh} \quad (1)$$

I_g hücreye düşen ışık sonucu üretilen akımı gösterir. Hücreye düşen ışık şiddetine ve hücre sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. I_d paralel kolda yer alan ve PV hücrenin lineer olmayan I-V karakteristiğini modelleyen diyot akımını gösterir. I_{sh} paralel kolda yer alan direnç üzerinden geçen akımı gösterir. Diyot akımı I_d ve paralel kol akımı I_{sh} yerine ilgili denklemler yazıldığında Eşitlik 2 elde edilir.

$$I = I_g - I_0 \left[\exp \left(\frac{V + IR_{sr}}{nkT_c/q} \right) - 1 \right] - \left(\frac{V + IR_{sr}}{R_{sh}} \right) \quad (2)$$

Hücre sıcaklığı ve ışık şiddetinin bir fonksiyonu olan I_g Eşitlik 3’te ifade edilmiştir.

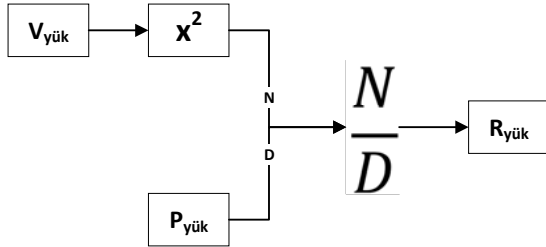
$$I_g = I_{scR} \frac{G}{G_R} [1 + \alpha_T (T_c - T_{cR})] \quad (3)$$

I_{scR} referans ışık şiddeti (G_R) ve sıcaklık (T_{cR}) değerlerinde hücrenin kısa devre akımını, α_T ise sıcaklık sabitini ifade eder.

Eşitlik 2’de yer alan I_0 ise doyma akımını ifade eder ve Eşitlik 4’deki gibi gösterilir.

$$I_0 = I_{0R} \left(\frac{\tau_c}{\tau_{cR}} \right) \exp \left[\left(\frac{1}{\tau_{cR}} - \frac{1}{\tau_c} \right) \frac{q\epsilon_g}{nk} \right] \quad (4)$$

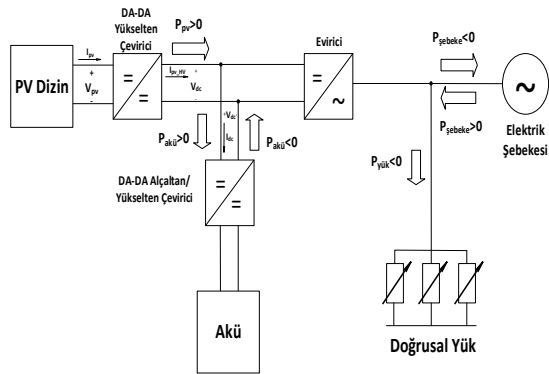
Eşitlik 2 ve Eşitlik 4’de yer alan diğer parametrelerden q elektron yükünü, k Boltzmann sabitini, ϵ_g boşluk (band-gap) enerjisini, n diyot idealite faktörünü ifade eder. [18]



Şekil 6. Yük gerilimi ve gücü kullanılarak rezistif direncin hesaplanması

4. ÖNERİLEN SİSTEMİN KONTROLÜ

Bu bölümde Şekil 7’de şeması görülen, önerilen sistemdeki PV ve akü sistemlerinin kontrolü anlatılacaktır.

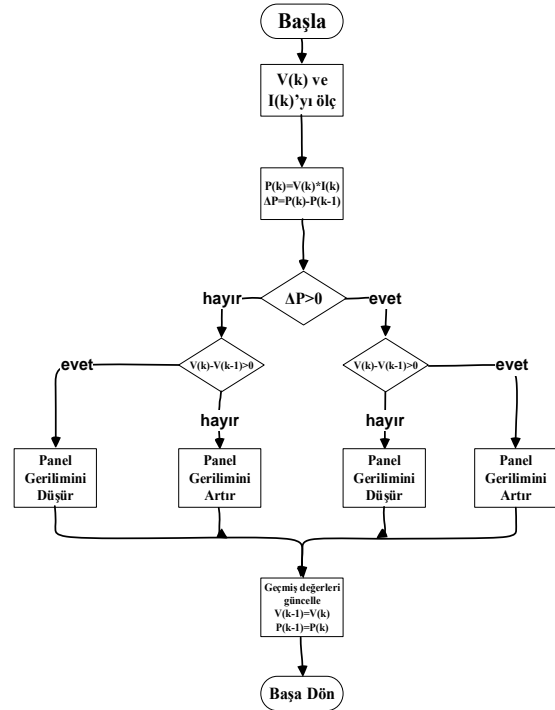


Şekil 7. Önerilen sistemin şeması

4.1. PV Sistemin Kontrolü

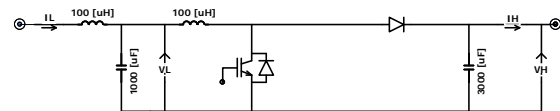
PV sistemlerde üretilen güç yük talebi ile uyuşmadığında verim kaybı ortaya çıkmaktadır. Bu sorunu önlemek için PV sistemin maksimum güç noktasında çalıştırılması gerekir. Panel sıcaklığı ve ışınım yoğunluğundaki değişiklikler maksimum güç noktasını etkilemektedir. PV sistemin çalışma noktasından kaynaklanan kayıpları önlemek için bir maksimum güç noktası izleyicisinin kullanılması önem arz etmektedir. Önerilen sistemde maksimum güç noktası takibi için P&O algoritması kullanılmıştır. Algoritmanın amacı PV sistemin maksimum güç ürettiği V_{mpp} ve I_{mpp} noktalarını tespit ederek sistemin bu noktada çalışmasını

sağlamaktır. Belirli aralıklar ile PV sistemin gerilim değerinin ayarlanması sonrası sistem çıkış gücü kontrol edilir. Çıkış gücünün durumuna göre bir sonraki adımda gerilim değerinin artırılacağına veya azaltılacağına karar verilir. Şekil 8’de P&O algoritmasının akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 8. P&O algoritmasının akış diyagramı

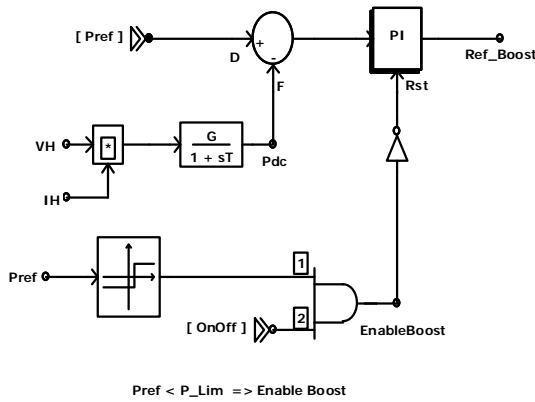
MPPT algoritması tarafından üretilen referans gerilim değeri Şekil 9’da görülen Yükselten çevirici tarafından DA bara akımını (I_{PV_HV}) ayarlamak için kullanılır. DA bara gerilimi ise Şekil 10’da gösterilen evirici tarafından ayarlanır.



Şekil 9. Yükselten çevirici devre şeması

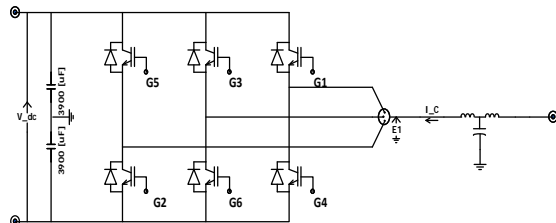
Yükselten çeviricinin kontrol şeması Şekil 10’da gösterilmiştir. Bu şemada Plim önceden tanımlanan maksimum güç değerini, VH ve IH sırasıyla yükselten çeviricinin yüksek gerilim tarafında ölçülen gerilim ve akım değerlerini ifade eder. Bu

değerler kullanılarak hesaplanan güç değeri PI kontrol sistemine geri besleme sinyali olarak gönderilir. Kontrol sistemi yükselten çevirici içerisinde yer alan IGBT'nin tetikleme sinyalini kontrol eder. Ayrıca referans güç değerinin maksimum güç değeri ile karşılaştırılması sonucu oluşturulan EnableBoost sinyali ile sadece referans güç değerinin maksimum güç değerinden küçük olduğu durumlarda çeviricinin çalışması sağlanmıştır.



Şekil 10. Yükselten çevirici kontrol şeması

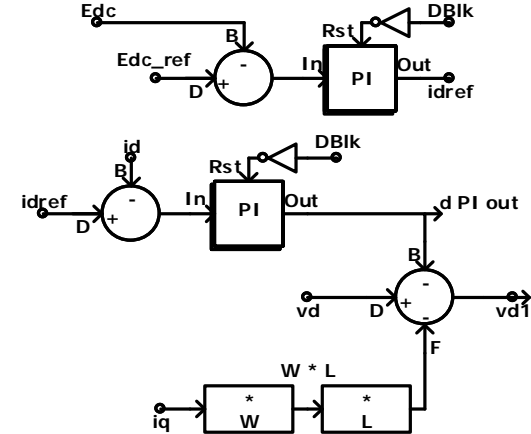
DA bara gerilimi Şekil 11'de devre şeması ve Şekil 12'de kontrol şeması gösterilen evirici tarafından ayarlanır. Şekil 12'de Edc ve Edc_ref parametreleri sırasıyla DA gerilim ve DA Referans gerilim parametrelerini ifade eder. Panel sıcaklığı veya ışınım yoğunluğu parametrelerinden birinde değişiklik olduğu zaman PV sistemin çıkış gücü değişmektedir. Yükselten çevirici bu değişiklik sonucu akım artırmak veya azaltmak için duty cycle değerini değiştirir.



Şekil 11. Evirici devre şeması

Bunun sonucunda DA bara gerilimi de değişir. DA bara gerilimini eski haline getirmek amacıyla

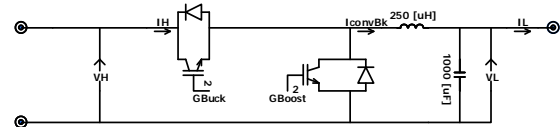
evirici DA baradan talep ettiği akımı artırma veya azaltma yoluna gider. Böylece DA bara geriliminin kontrolü sağlanmış olur.



Şekil 12. Evirici DA gerilim kontrolü şeması

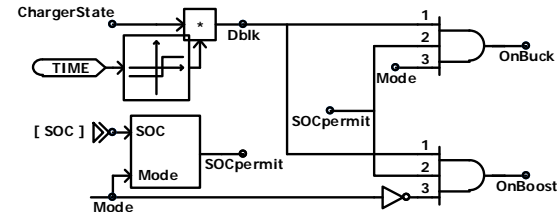
4.2. Akü Sisteminin Kontrolü

Akü Şekil 13'de devre şeması gösterilen alçaltan/yükselten çevirici aracılığı ile DA baraya bağlanır. Alçak gerilim (200V) tarafı aküye, yüksek gerilim (250V) tarafı DA baraya bağlıdır.



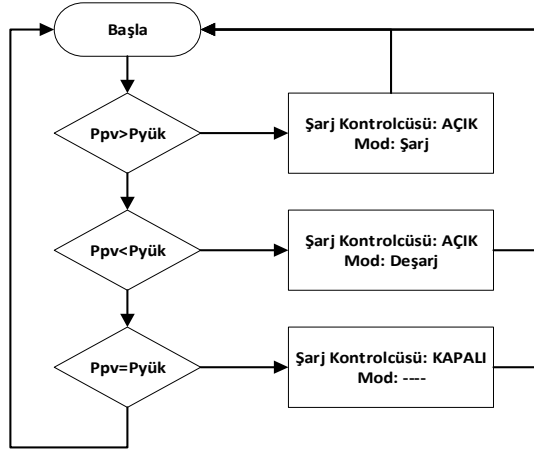
Şekil 13. Alçaltan/yükselten çevirici devre şeması

Şarj kontrolcüsünün açık veya kapalı olması, açık olduğu durumda şarj veya deşarj modunda çalışmasının kontrolü Şekil 14'de gösterilmiştir. Bu şemada ChargerState kontrolcüsünün açık veya kapalı olma durumunu, SOC akülerin şarj yüzdesini, mode ise kontrolcüsünün şarj veya deşarj durumunu ifade eder.



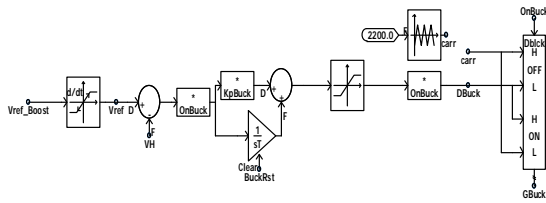
Şekil 14. Akü sistemi üst seviye kontrol şeması

ChargerState ve Mode parametreleri Şekil 15’de gösterilen akış diyagramına göre kontrol edilir.



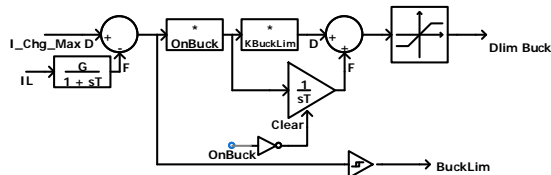
Şekil 15. Akü sistemi kontrolü akış diyagramı

Alçaltan/yükselten çevirici şarj modunda çalıştığı zaman alçaltan modu (Buck mode) devrededir. Alçaltan çeviricinin şarj kontrolcüsü Şekil 16’da gösterilmiştir.



Şekil 16. Alçaltan modu şarj kontrolcüsü

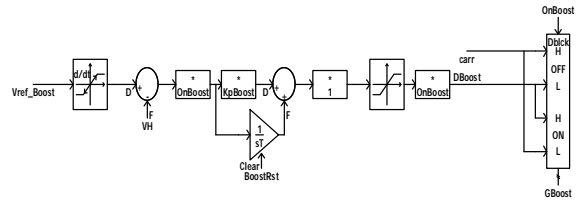
Alçaltan çeviricinin sisteme zarar verecek akımlara çıkmasını engellemek amacı ile duty cycle değeri Şekil 17’de gösterildiği gibi sınırlandırılmıştır.



Şekil 17. Alçaltan modunda yüksek akımlara karşı duty cycle değerinin sınırlandırılması

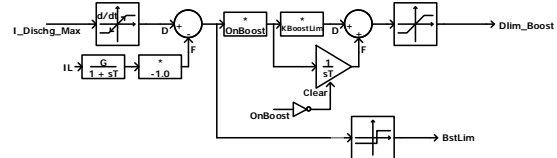
Çevirici deşarj modunda çalıştığı zaman yükselten modu (Boost mode) devrededir. Yükselten

modunun şarj kontrolcüsü şekil 18’de gösterilmiştir.



Şekil 18. Yükselten modu şarj kontrolcüsü

Yükselten çeviricinin sisteme zarar verecek akımlara çıkmasını engellemek amacı ile çeviricinin duty cycle değeri Şekil 19’da gösterildiği gibi sınırlandırılmıştır.



Şekil 19. Yükselten modunda yüksek akımlara karşı duty cycle değerinin sınırlandırılması

5. BENZETİM ÇALIŞMASI SONUÇLARI

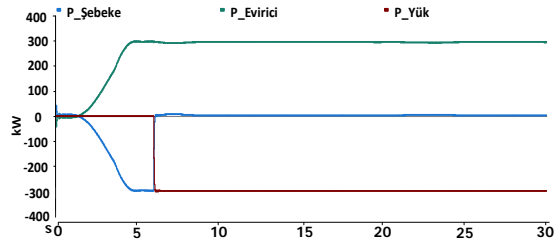
Bu bölümde önerilen sistemin farklı ışınım yoğunluğu, gölgeleme ve sıcaklık parametrelerine göre performansı 6 farklı senaryo üzerinden incelenecektir. Şekil 7’de güç akışı yönlerine göre işaretler belirtilmiştir. Çizelge 3’de ise yük devreye girdikten sonraki güç değerlerine göre senaryoların özeti verilmiştir.

Çizelge 3. Benzetim çalışması senaryo özeti

No.	Gölgeleme Durumu	PV	Akü	Yük	Elektrik Şebekesi
1	Yok	300 kW	0 kW	[-300] kW	0 kW
2	Yok	300 kW	[0,5] kW	[-300, -200] kW	[-100,0] kW
3	%100 [300, 1000] W/m ²	[50,300] kW	[-15,5] kW	[-300] kW	[-50,150] kW
4	%100 [300, 1000] W/m ²	[50,300] kW	[-15,5] kW	[-350,-250] kW	[-50,150] kW
5	%25 [300, 1000] W/m ²	[150,300] kW	[-15,5] kW	[-300] kW	[-50,100] kW
6	%25 [300, 1000] W/m ²	[150,300] kW	[-15,5] kW	[-400,-300] kW	[-50,300] kW

5.1. Senaryo 1

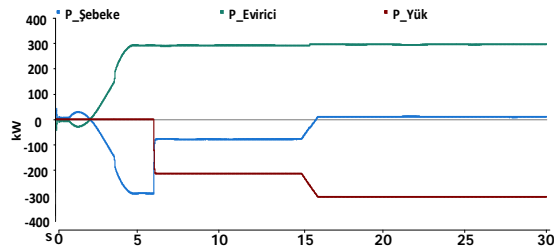
Bu senaryoda PV dizin 1000 W/m^2 ışınım yoğunluğu ve 25 C° hücre sıcaklığı değerlerinde çalışmakta ve PV dizin tarafından üretilen güç yük talebini tam olarak karşılamaktadır. Dolayısı ile akünün şarj kontrolcüsü kapalı konumdadır.



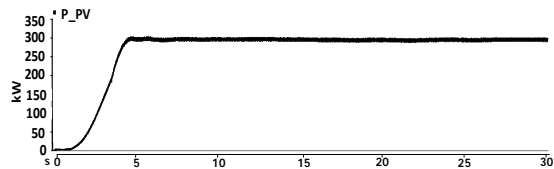
Şekil 20. Önerilen sistemin aktif güç grafiği

5.2. Senaryo 2

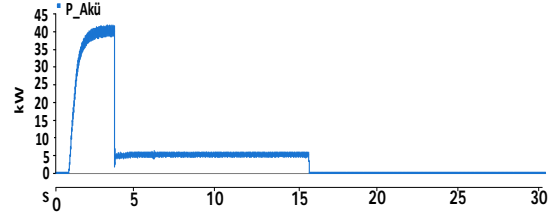
Bu senaryoda PV dizin 1000 W/m^2 ışınım yoğunluğu ve 25 C° hücre sıcaklığı değerlerinde çalışmakta ve üretilen gücün yük talebinden az ve eşit olduğu durumların sonuçları gözlemlenmektedir. Şekil 21'de 6 ila 15. saniyeler arasında yük talebi PV dizinin ürettiği güçten az olduğu için akünün şarj olduğu ve elektrik şebekesine güç aktarımı olduğu görülmektedir. 16. saniyeden sonra yük talebi PV dizin tarafından üretilen güce ulaştığı için akü ve elektrik şebekesine güç aktarımının durduğu görülmektedir.



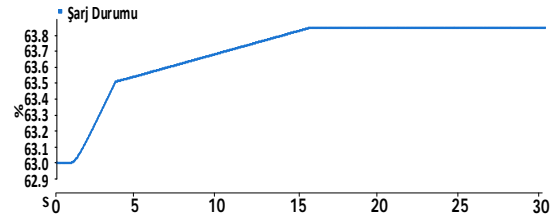
Şekil 21. Önerilen sistemin aktif güç grafiği



Şekil 22. PV dizinin aktif güç grafiği



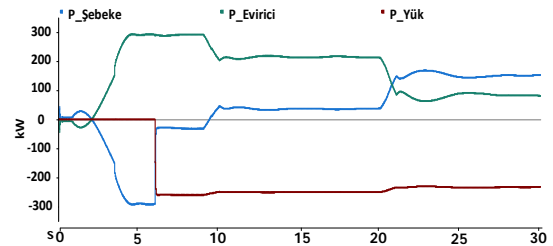
Şekil 23. Akünün aktif güç grafiği



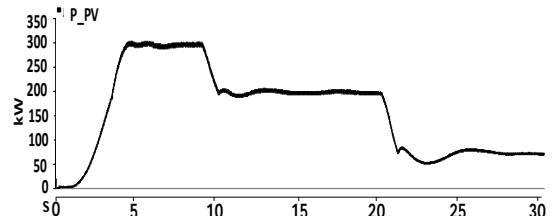
Şekil 24. Akünün şarj durumu grafiği

5.3. Senaryo 3

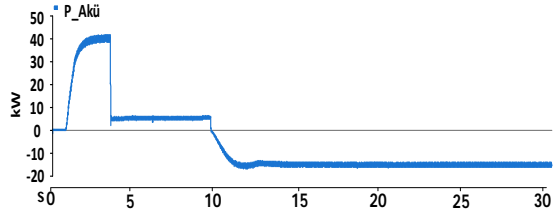
Bu senaryoda PV dizinin üç farklı ışınım yoğunluğu ve sıcaklık seviyesinde çalışması sonucu akünün deşarj olmaya başlayarak yükü beslemesi görülmektedir. Şekil 25'de 10. ve 20. saniyelerde ışınım yoğunluğu ve sıcaklık değerlerinin değişmesi sonucunda akünün deşarj olmaya başlaması, akünün gücünün yük talebine yetmemesi sonucu elektrik şebekesinden de yüke bir güç akışı olduğu gözlemlenmektedir.



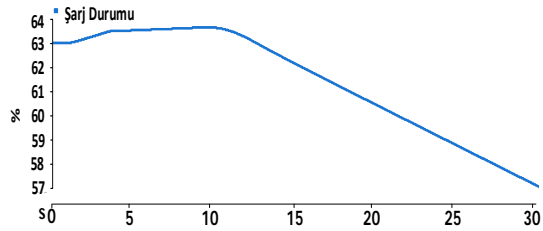
Şekil 25. Önerilen sistemin aktif güç grafiği



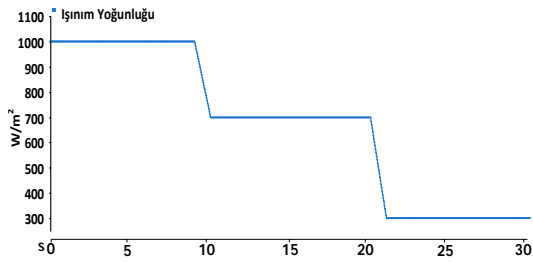
Şekil 26. PV dizinin aktif güç grafiği



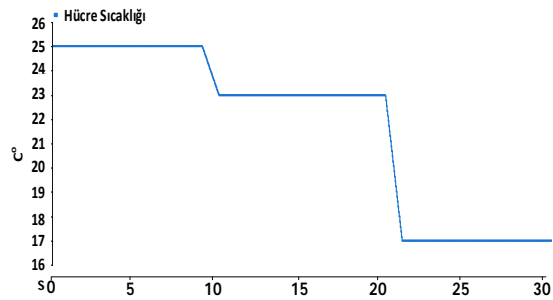
Şekil 27. Akünün aktif güç grafiği



Şekil 28. Akünün şarj durumu grafiği



Şekil 29. Işınım yoğunluğu grafiği

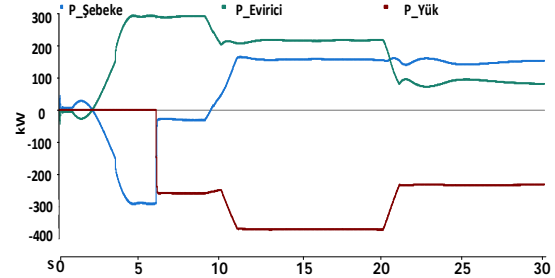


Şekil 30. Hücre sıcaklığı grafiği

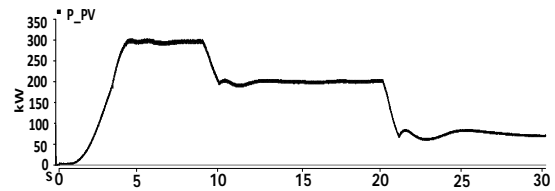
5.4. Senaryo 4

Bu senaryoda senaryo 3'de olduğu gibi ışınım yoğunluğu ve sıcaklık değerlerinin değişmesi sonucu PV dizin çıkış gücünün azalması ile akünün yükü beslemek üzere deşarj olmaya başlaması ve elektrik şebekesinden yüke güç akışı olduğu görülmektedir. Yük talebi senaryo 3'e göre daha

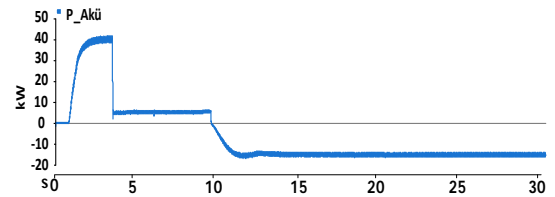
fazla arttığı için elektrik şebekesinden aktarılan gücün arttığı da görülmektedir.



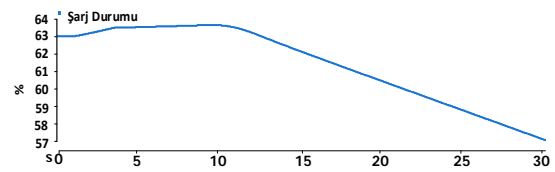
Şekil 31. Önerilen sistemin aktif güç grafiği



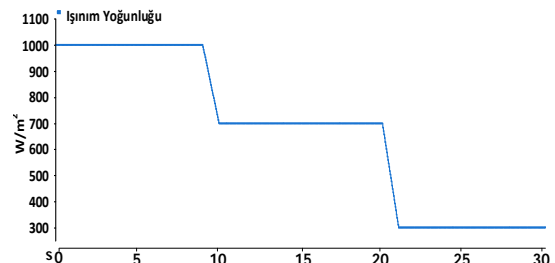
Şekil 32. PV dizinin aktif güç grafiği



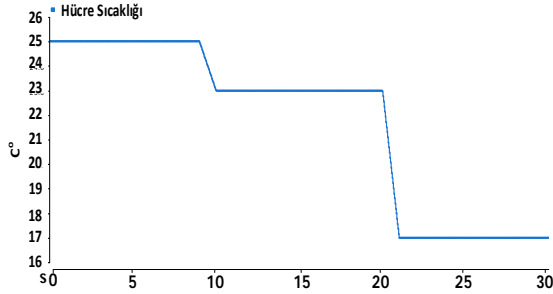
Şekil 33. Akünün aktif güç grafiği



Şekil 34. Akünün şarj durumu grafiği



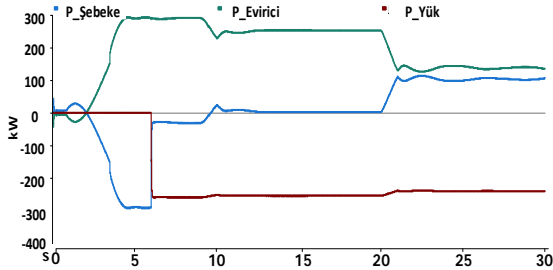
Şekil 35. Işınım yoğunluğu grafiği



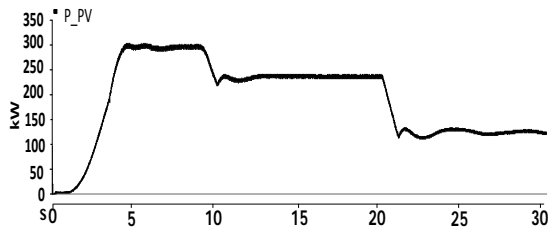
Şekil 36. Hücre sıcaklığı grafiği

5.5. Senaryo 5

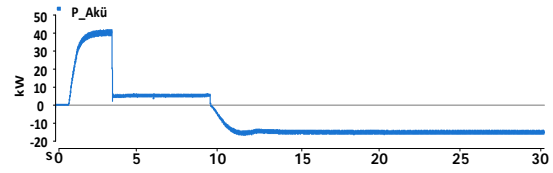
Bu senaryoda PV dizindeki panellerin %75'i 1000 w/m^2 ışıma yoğunluğu ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık değerlerinde çalışırken %25'i için ışıma yoğunluğu ve sıcaklık değişimi Şekil 41 ve 42'de gösterilmiştir. 10. saniye'ye kadar PV dizinin ürettiği güç yük talebinden fazla olduğu için akünün şarj olduğu ve elektrik şebekesine güç aktarıldığı görülürken, 10. saniye'de dizindeki panellerin %25'inin gölgelenmesi (700 W/m^2) ile PV dizinin çıkış gücü düşmüş bunun sonucunda akü deşarj olmaya başlamıştır. 20. saniye'de gölgelenmenin artması ile (300 W/m^2) dizinin çıkış gücü daha fazla düşmüş ve elektrik şebekesinden çekilen güç artmıştır.



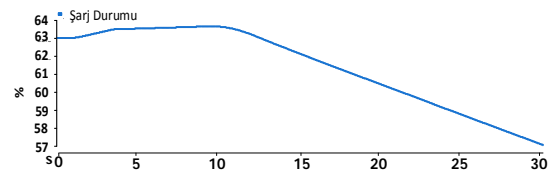
Şekil 37. Önerilen sistemin aktif güç grafiği



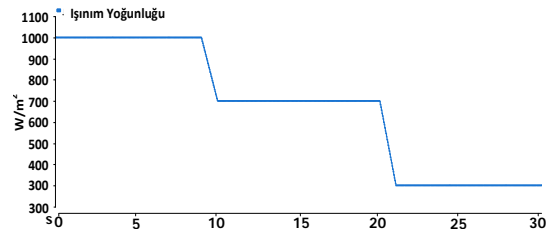
Şekil 38. PV dizinin aktif güç grafiği



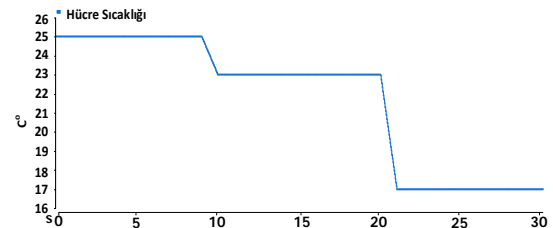
Şekil 39. Akünün aktif güç grafiği



Şekil 40. Akünün şarj durumu grafiği



Şekil 41. Gölge panellerin ışıma yoğunluğu grafiği

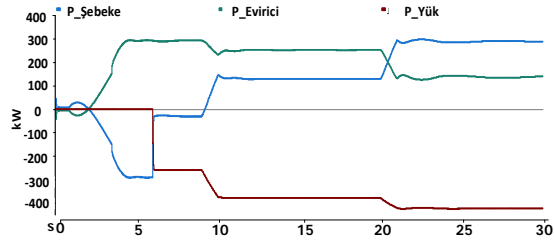


Şekil 42. Gölge panellerin hücre sıcaklığı grafiği

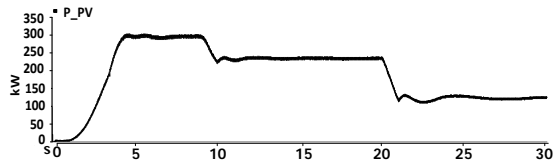
5.6. Senaryo 6

Bu senaryoda da senaryo 5'de olduğu gibi PV dizindeki panellerin %75'i 1000 w/m^2 ışıma yoğunluğu ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık değerlerinde çalışırken %25'i için ışıma yoğunluğu ve sıcaklık değerleri Şekil 46 ve 47'de verilmiştir. Senaryo 5'de olduğu gibi 10. ve 20. saniyelerde gölge hücrelerin ışıma yoğunluğu değerinin düşmesi sonucu PV dizinin çıkış gücünün düştüğü bunun sonucunda akünün deşarj olmaya başlayıp elektrik şebekesinden yüklere güç aktarıldığı görülmektedir. Senaryo

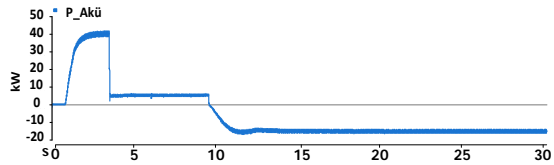
5'den farklı olarak yükün talebi de arttığı için elektrik şebekesinden talep edilen güç de artmıştır.



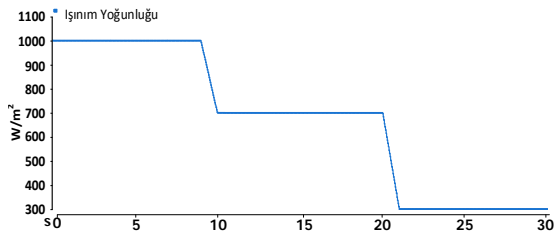
Şekil 43. Önerilen sistemin aktif güç grafiği



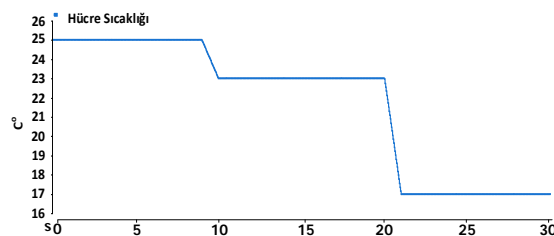
Şekil 44. PV dizinin aktif güç grafiği



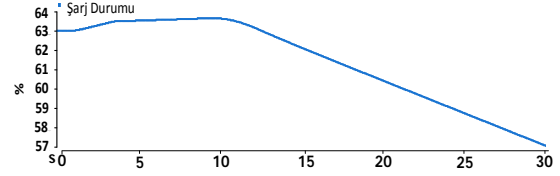
Şekil 45. Akünün aktif güç grafiği



Şekil 46. Gölgeleme panellerin ışınım yoğunluğu grafiği



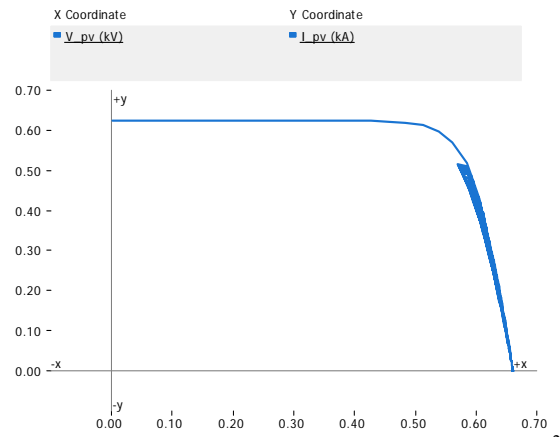
Şekil 47. Gölgeleme panellerin hücre sıcaklığı grafiği



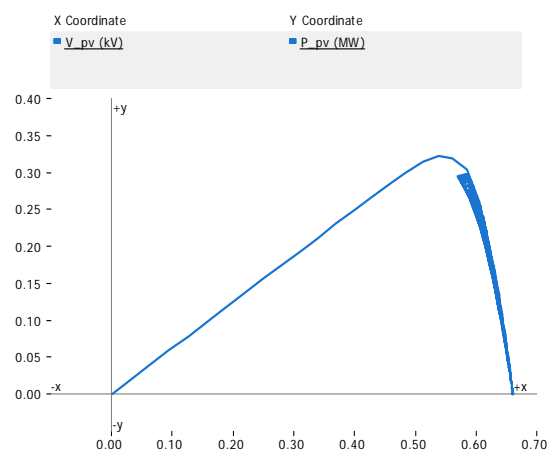
Şekil 48. Akünün şarj durumu grafiği

5.7. Gölgeleme Durumlarında PV Sistemin Karakteristiği

Şekil 49 ve 50 PV dizinin 1000 W/m² ve 25 °C'de çalışırken I-V ve P-V grafiklerini göstermektedir.

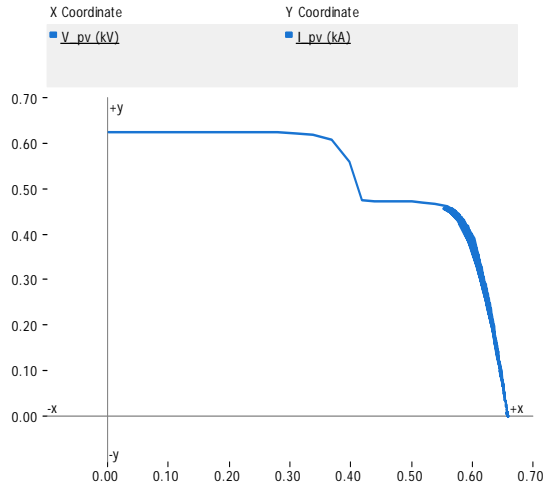


Şekil 49. PV dizinin I-V grafiği (1000 W/m² ışınım yoğunluğu ve 25 °C hücre sıcaklığında)

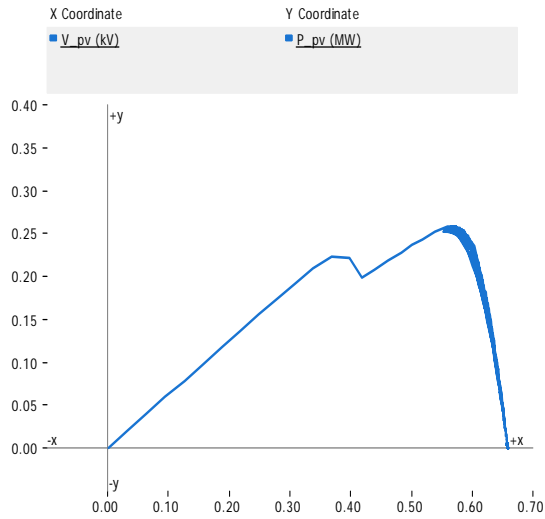


Şekil 50. PV dizinin P-V grafiği (1000 W/m² ışınım yoğunluğu ve 25 °C hücre sıcaklığında)

Şekil 51 ve 52 PV dizinin %75'i 1000 W/m² ve 25 °C'de, %25'i 700 W/m² ve 23 °C'de çalışırken I-V ve P-V grafiklerini göstermektedir.

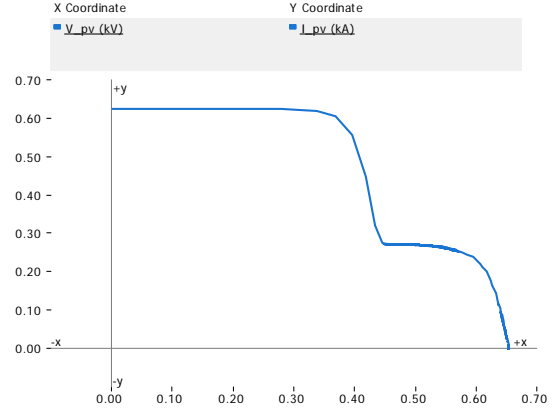


Şekil 51. PV dizinin I-V grafiği (%75'i 1000 W/m² ve 25 °C'de %25'i 700 W/m² ve 23 °C'de)

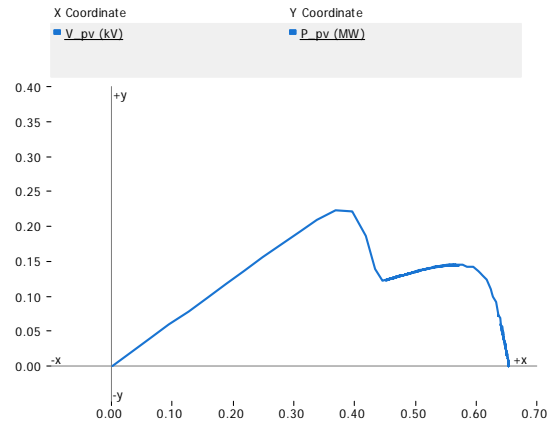


Şekil 52. PV dizinin P-V grafiği (%75'i 1000 W/m² ve 25 °C'de %25'i 700 W/m² ve 23 °C'de)

Şekil 51 ve 52 PV dizinin %75'i 1000 W/m² ve 25 °C'de, %25'i 300 W/m² ve 16 °C'de çalışırken I-V ve P-V grafiklerini göstermektedir.



Şekil 53. PV dizinin I-V grafiği (%75'i 1000 W/m² ve 25 °C'de %25'i 300 W/m² ve 16 °C'de)



Şekil 54. PV dizinin P-V grafiği (%75'i 1000 W/m² ve 25 °C'de %25'i 300 W/m² ve 16 °C'de)

Şekil 51-54'de kısmi gölgenleme durumundan dolayı grafiklerde iki adet tepe oluştuğu gözlenmektedir. Bu tepelerden biri LMPP, diğeri GMPP olarak adlandırılır. P-V grafikleri ile 5. ve 6. Senaryolardaki PV dizin aktif güç grafikleri (Şekil 38 ve Şekil 44) karşılaştırıldığında sistemin LMPP'de çalıştığı gözlenmektedir.

6. SONUÇ

Bu çalışmada PV, akü, lineer yük ve elektrik şebekesinden oluşan bir sistemin modellenmesi ve farklı gölgenleme senaryoları için performans

analizi gösterilmiştir. PV sistemin MPP izlemesi için P&O algoritması kullanılmış olup bu algoritmanın PV dizinin kısmi olarak gölgelendiği senaryolarda PV dizinin yerel maksimum güç noktalarında takılıp global maksimum güç noktasına ulaşmadığı gözlenmiştir. İleriki çalışmalar için 2. Başlıkta da bahsedilen literatürde son dönemde kısmi gölgeleme koşullarında MPPT için geliştirilmiş olan yöntemler uygulanarak bu çalışmada modellenen sistemin performansının artırılabilceği öngörülmektedir.

7. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. (Proje Numarası: 10587).

8. KAYNAKLAR

1. Mohapatra, A., Nayak, B., Das, P., Mohanty, K.B., 2017. A Review on MPPT Techniques of PV System Under Partial Shading Condition Renewable and Sustainable Energy Reviews, 80, 854-86
2. Ishaque, K., Salam, Z., 2013. A Review of Maximum Power Point Tracking Techniques of PV System for Uniform Insolation and Partial Shading Condition, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 19, 475-488.
3. Guichi, A., Talha, A., Berkouk, E.M., Mekhilef, S., Gassab, S., 2018. A New Method for Intermediate Power Point Tracking for PV Generator Under Partially Shaded Conditions in Hybrid System, Solar Energy, 170, 974-987.
4. Goud, J.S., Kalpana, R., Singh, B., 2018. A Hybrid Global Maximum Power Point Tracking Technique With Fast Convergence Speed for Partial-Shaded PV Systems, IEEE Transactions on Industry Applications, 54, 5367-5376.
5. Farzaneh, J., Keypour, R., Khanesar, M.A., 2018. A New Maximum Power Point Tracking Based on Modified Firefly Algorithm for PV System Under Partial Shading Conditions, Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy, Vol. 3.
6. Tang, R., 2017. Large-scale Photovoltaic System on Green Ship and its MPPT Controlling, Solar Energy, 157, 614-628.
7. Ramyar, A., Iman-Eini, H., Farhangi, S., 2017. Global Maximum Power Point Tracking Method for Photovoltaic Arrays under Partial Shading Conditions, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 64, 2855-2864.
8. Belhaouas, N., Cheikh, M.S.A., Agathoklis, P., Oularbi, M.R., Amrouche, B., Sedraoui, K., et al., 2017. PV Array Power Output Maximization Under Partial Shading Using New Shifted PV Array Arrangements, Applied Energy, 187, 326-337.
9. Wang, Y., Li, Y., Ruan, X., 2016. High-Accuracy and Fast-Speed MPPT Methods for PV String under Partially Shaded Conditions, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 63, 235-245.
10. Pati, A.K., Sahoo, N.C., 2016. A New Approach in Maximum Power Point Tracking for a Photovoltaic Array With Power Management System Using Fibonacci Search Algorithm Under Partial Shading Conditions, Energy Systems, 7, 145-172.
11. Ghasemi, M. A., Mohammadian Foroushani, H., Parniani, M., 2016. Partial Shading Detection and Smooth Maximum Power Point Tracking of PV Arrays Under PSC, IEEE Transactions on Power Electronics, 31, 6281-6292
12. Sabillon, C., Franco, J.F., Rider, M.J., Romero, R., 2018. Joint Optimal Operation of Photovoltaic Units and Electric Vehicles in Residential Networks With Storage Systems: A Dynamic Scheduling Method, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 103, 136-145.
13. Sani Hassan, A., Cipcigan, L., Jenkins, N., 2017. Optimal Battery Storage Operation for PV Systems with Tariff Incentives, Applied Energy, 203, 422-441.
14. Numbi, B.P., Malinga, S.J., 2017. Optimal Energy Cost and Economic Analysis of a Residential Grid-interactive Solar PV System-case of eThekweni Municipality in South Africa, Applied Energy, 186, 28-45.
15. Kumar, N., Hussain, I., Singh, B., Panigrahi, B.K., 2017. Single Sensor-Based MPPT of Partially Shaded PV System for Battery

- Charging by Using Cauchy and Gaussian Sine Cosine Optimization, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 32, 983-992.
16. Karimi, Y., Oraee, H., Golsorkhi, M.S., Guerrero, J.M., 2017. Decentralized Method for Load Sharing and Power Management in a PV/Battery Hybrid Source Islanded Microgrid, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 32, 3525-3535.
 17. Badawy M.O., Sozer Y., 2017. Power Flow Management of a Grid Tied PV-Battery System for Electric Vehicles Charging, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 53, 1347-1357.
 18. Mao, M., Zhou, L., Yang, Z., Zhang, Q., Zheng, C., Xie, B., Wan, Y., 2019. A Hybrid Intelligent GMPPT Algorithm for Partial Shading PV System. *Control Engineering Practice*, 83, 108-115.
 19. Liu, S.Y., Dougal, R.A., 2002. Dynamic Multiphysics Model for Solar Array, *Ieee Transactions on Energy Conversion*, 17, 285-294,
 20. Tremblay, O., Dessaint, L.A., Dekkiche, A.I., 2007. A Generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles, 2007 *Ieee Vehicle Power and Propulsion Conference*, 1-2, 284-289.

Effect of Bimodal and Monosized Grinding Media on Dry Grinding of Barite

Diler KATIRCIOĞLU BAYEL*¹

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

Geliş tarihi: 11.04.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Abstract

This study investigates the effects of the design of high-density zircon (ZrO₂) grinding media (1-3 mm) on dry grinding of barite (BaSO₄, d₅₀= 2.83 µm) in a vertical stirred media mill. Grinding experiments were carried out by using different proportions of finer grinding media (20 wt.%, 40 wt.% and 80 wt.%) and different size ratio of finer-coarser media (0.5 and 0.67). Besides, the surface areas (S_{bw}, m²/kg) of grinding media on grinding performance were investigated. If the best two experimental results are compared, it is found that the S_{bw} of the bimodal and monosized media are very close together. The experimental results were evaluated based on the product particle size (d₅₀, d₉₀), and the geometric standard deviation of barite particles (d₈₄/d₁₆). The findings showed that the finer grinding media alone was not very effective.

Keywords: Vertical stirred media mill, Dry grinding, Media size, Barite

Baritin Kuru Öğütülmesinde Karışık ve Tek Tip Öğütücü Ortamın Etkisi

Öz

Bu çalışma dikey karıştırmalı bilyalı değirmende baritin (BaSO₄, d₅₀= 2,83 µm) kuru öğütülmesinde yüksek yoğunluğa sahip zirkon (ZrO₂) (1-3 mm) öğütme ortamı tasarımının etkisini araştırmaktadır. Farklı miktarda ince bilya (%20, %40 ve %80) ve farklı ince-iri bilya oranları (0,5 ve 0,67) kullanılarak mikron-altı öğütme gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, öğütücü ortamın yüzey alanlarının (S_{bw}, m²/kg) öğütme performansına etkisi araştırılmıştır. En iyi deney sonuçları karşılaştırıldığında, karışık bilya boyut dağılımının yüzey alanı ile tek tip bilya boyut dağılımının yüzey alanı birbirine çok yakındır. Deneysel sonuçlar ürün boyutu (d₅₀, d₉₀) ve barit tanelerinin geometrik standart sapması (d₈₄/d₁₆) dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, tek başına ince boyutlu öğütücü ortamın çok fazla etkili olmadığını gösteriyor.

Anahtar Kelimeler: Dikey karıştırmalı bilyalı değirmen, Kuru öğütme, Bilya boyutu, Barit

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Diler KATIRCIOĞLU-BAYEL, dkatircioglu@ohu.edu.tr

1. INTRODUCTION

Grinding is one of the oldest production techniques ever used by humans and represents an extremely important area of research.

Nowadays, the importance of submicron particles and nanoparticles are increasing day by day. Barite is used as filler material in paint, paper, plastic and rubber, friction elements, glass and ceramics industries both as a cost reducing and functional filler. Due to the fact that it does not show chemical changes under heat and pressure, very low solubility in water and acids, with lack of magnetic properties, and cost-effective, the use in various industries has gradually increased. In the literature, there are many studies conducted and approved by the effect of the media size [1-8].

As stirrer speed increases, the possibility of media-particle collision increases in the main chamber. If the finer and coarser media are used in proper speeds, they are advantageous. When the finer media was used, the effects of media size and the product size distribution became finer [9]. This tendency continues up to a certain fine media size in proportion to the particle size. When the finer medias are used, the medias cannot catch the coarse particles. In addition, in the case of using finer medias, the reduction in the amount of energy released in collisions creates a negative effect on the breakage of coarse particles [9-12].

Mankosa et al. [9] indicated that as the finer media was used, the effects of media size and the product size distribution became finer, therefore less energy was utilized. Furthermore, Kwade et al. [2], Wang and Forssberg [13], Jankovic [14], and Mende et al. [15] also observed similar experimental results in their studies.

This experimental study investigated the performance of submicron grinding of barite by using bimodal and monosized grinding media. Grinding experiments were carried out on barite by

using different proportions of grinding media sizes. The experiments were implemented by finer to coarser grinding media size ratio (0.5 and 0.67) and different amounts of finer grinding media (20 wt.%, 40 wt.% and 80 wt.%).

The grinding results were interpreted by three parameters as product particle size (d_{50} , d_{90}), and the geometric standard deviation of barite particles (d_{84}/d_{16}).

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Material

Barite (BaSO_4 , $d_{50}=2.83\ \mu\text{m}$) powders that were obtained from Barit Maden Türk (Osmaniye, Turkey) were used for the experiments. The cumulative particle size distribution of feed barite is illustrated in Figure 1. Table 1 shows the chemical composition of the barite feed measured by X-ray fluorescence (XRF), while Table 2 shows the physical characteristics of the barite feed.

A pycnometer was used to determine the specific gravity of the barite powders and found it to be $4200\ \text{kg/m}^3$.

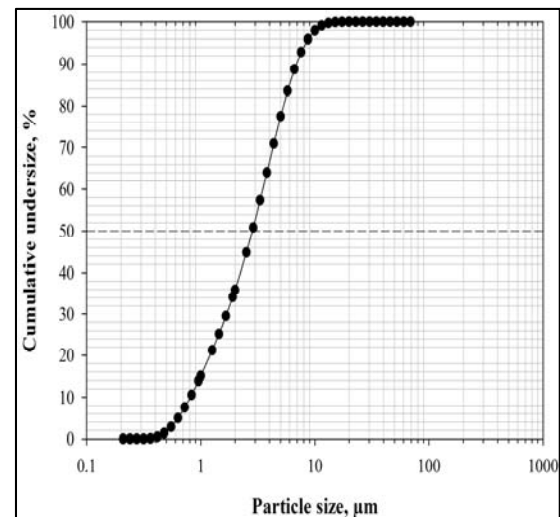


Figure 1. Cumulative particle size distribution of feed barite

Table 1. The chemical composition of the barite measured by XRF analysis (wt.%)

BaSO ₄	SrSO ₄	CaO	CaSO ₄	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	LOI (1050 C°)
91	1.75	0.50	0.75	2.50	0.45	3.05

Table 2. Physical characteristics of the barite feed

Specific Gravity (kg/m ³)	Mohs hardness	d ₁₆ (µm)	d ₅₀ (µm)	d ₈₄ (µm)	d ₉₀ (µm)
4200	3.0	1.08	2.83	6.2	7.14

2.2. Method

2.2.1. Vertical Stirred Media Mill

A vertical stirred media mill Standard-01 Model produced by Union Process type HD1 was used in grinding experiments (Figure 2). It contains a 750 ml grinding chamber was made of ceramic (Al₂O₃) for reducing the amount of wear on the mill from the materials.

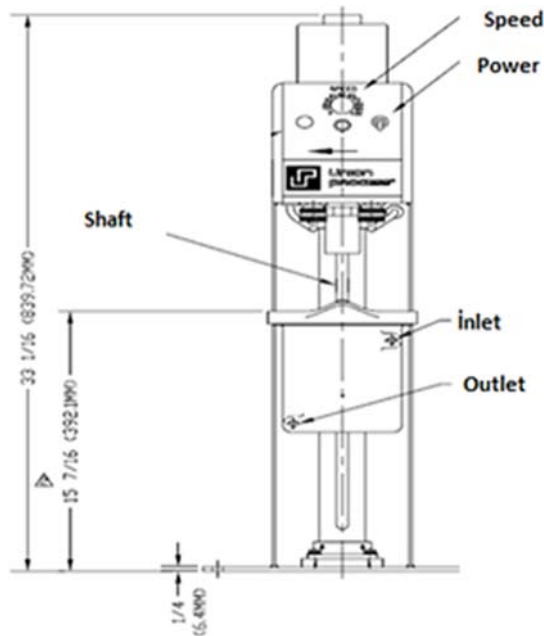


Figure 2. The schematic diagram of vertical stirred media mill

Furthermore the grinding chamber was also equipped with a water jacket for cooling purposes. The stirrer axis is fitted with colmonoy coated shaft and four colmonoy coated arms.

The high-density yttria stabilized zirconia (ZrO₂) grinding media that were utilized for the submicron grinding tests were purchased from Cenotec Co., Ltd., Korea. Table 3 shows some properties of grinding media.

Table 3. Properties of grinding media

Density (kg/m ³)	Bulk density (g/cm ³)	Hardness (Hv)	ZrO ₂ (%)	Y ₂ O ₃ (%)	Others (%)
6000	3.7	1200	93	5	2

2.2.2. The Grinding Conditions

The experimental conditions that were used in this study may be seen in Table 4. For example, B2 was carried out with a finer to coarser media size ratio of 0.67 by mixing 20 wt.% of finer (2 mm) grinding media into coarser media (3 mm). This study, considered the grinding media size of (3 mm) as coarser media, while grinding media of sizes 2 mm and 1 mm were considered as finer media. Different proportions of 20 wt.%, 40 wt.%, and 80 wt.% finer media were used.

The solid mass fraction, stirrer speed, dispersant concentration, grinding media loading and grinding time were fixed at 0.06, 600 rpm, 0.5 wt.%, 60% and 20 min, respectively.

Triethanolamine (TEA) was used as grinding additive. TEA has polar organic compound with amino, hydroxyl and other groups that has a strong adsorption. The density of this chemical is 1.126 g/cm³. The chemical additive concentration was kept constant at 0.5% of barite.

Table 4. Experimental conditions used in the different runs

Run number	Grinding media	Size ratio finer to coarser	Proportion of finer
	size (mm)	grinding media	grinding media (wt.%)
B1	3	0	0
B2	3+2	0.67	20
B3	3+2	0.67	40
B4	3+2	0.67	80
B5	2	1	100
B6	2+1	0.5	20
B7	2+1	0.5	40
B8	2+1	0.5	80
B9	1	1	100

2.2.4. Calculations

The particle size distributions of the feed and the ground products were measured by laser diffraction using HELOS (H3387, Sympatec, Germany). Each test was repeated three times and the values reported are a mean average.

In this study, the geometric standard deviation of barite particles was calculated by the following equation:

$$\sigma = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}} \tag{1}$$

Where d_{84} diameter for which 84% of the sample is finer than d_{84} , and d_{16} diameter for which 16% of the sample is finer than d_{16} [16].

Calculation of the surface area for monosized and bimodal grinding media were evaluated using Eq. 2. The surface area (m^2/kg) (S_{bw}) derived from Kotake et al. [17] is:

$$S_{bw} = \frac{6}{\rho} \sum_{i=1}^n \frac{f_i}{D_{bi}} \tag{2}$$

Where S_{bw} (m^2/kg) is the surface area for monosized and bimodal grinding media, D_{bi} is the

media diameters, f_i is the mass fraction for each media diameter, and ρ (kg/m^3) is the true density of grinding media.

2.2.5. Analysis

The X-ray fluorescence (XRF) analysis of the feed was realized using a ZSXminill X-ray Spectrophotometer. A Zeiss Evo LS 10 microscope was used to obtain the SEM pictures of the barite feed and the best result.

PANalytical Empyrean was used to recover X-ray diffraction (XRD) patterns and examine the crystal buildup of the feed and best result. Patterns in the diffraction angle range of $2\Theta = 5-70^\circ$ were enrolled by using Ni-filtered $CuK\alpha$ ($\lambda=0.15418$ nm) radiation with a measuring time of 8 s at each angle.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. The Effects of Bimodal and Monosized Media on the Particle Size of Barite

In Figure 3, the d_{50} , d_{90} and the geometric standard deviation (d_{84}/d_{16}) of barite particles are shown as a function of bimodal and monosized media.

When grinding experiments were carried out with coarser media (3 mm), the product particle size (d_{50} , d_{90}) and the geometric standard deviation of barite particles (d_{84}/d_{16}) were obtained as about 2.05 μm , 5.17 μm and 2.12, respectively (B1).

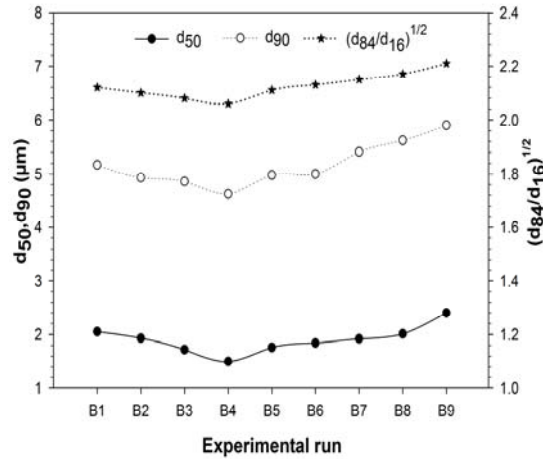


Figure 3. d_{50} , d_{90} and (d_{84}/d_{16}) as a function of bimodal and monosized media

When 20 wt.% of finer media of size (2 mm) was combined with 3 mm media, the product particle size (d_{50} , d_{90}) and the geometric standard deviation of barite particles (d_{84}/d_{16}) were obtained as about 1.93 μm , 4.93 μm and 2.09, respectively (B2). When the coarser media were mixed with higher amounts of finer media, the observed results were improved (B3 and B4). This clearly showed that addition of finer media improved the grinding performance [3].

By adding higher ratios of finer (2 mm) media to coarser media (3 mm), further improvements were obtained the grinding results (B4). The product particle size (d_{50} , d_{90}) and the geometric standard deviation of barite particles (d_{84}/d_{16}) were obtained as about 1.5 μm , 4.62 μm and 2.06, respectively. The product particle size (d_{50} , d_{90}) and the geometric standard deviation of barite particles (d_{84}/d_{16}) were obtained nearly 1.76 μm , 4.98 μm and 2.11, respectively in B5. However, when 20-40-80 wt.% of finer media of size 1 mm was

mixed 2 mm media, the product sizes increased (B6-7-8).

When grinding was carried out with only the finer media size of 1 mm, the mean particle size (d_{50}) was about 2.4 μm (B9).

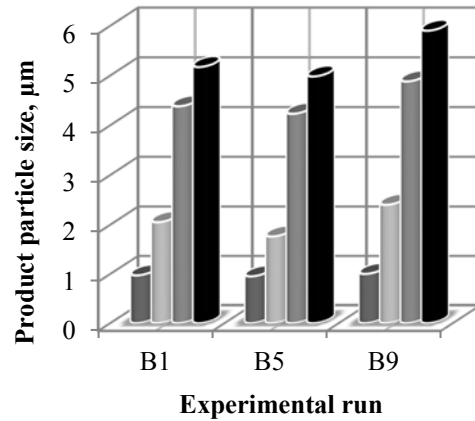


Figure 4. Effect of monosized grinding media on product particle size of barite

Figure 4. Effect of monosized grinding media on product particle size of barite

Figure 4 shows the effects of monosized media (1, 2 and 3 mm), (B1, B5 and B9) on the particle size distribution. B5 provided the best product particle size.

3.2. SEM Analysis

Secondary electron images of the feed and the best result of barite obtained from the scanning electron microscope (SEM) are seen in Figure 5. The particle size irregularities of the barite before grinding are seen in the Figure 5a.

When 80 wt.% of finer media of size (2 mm) was combined with 3 mm media, the positive effect of grinding on particle size was evident (Figure 5b).

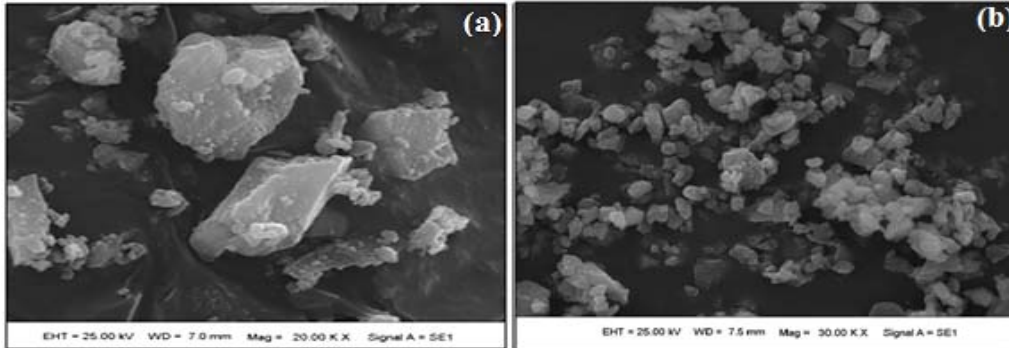


Figure 5. SEM images of barite: (a) feed and (b) the best result (B4)

3.3. XRD Analysis

The effects of grinding on structural properties of barite were researched by X-ray diffraction analysis (Figure 6). The diffraction peaks of $\{h k l\}$ values $\{101\}$, $\{111\}$, $\{021\}$, $\{210\}$, $\{121\}$, $\{211\}$, $\{002\}$ and $\{311\}$ demonstrated in the XRD patterns are characteristics of a typical orthorhombic structure of $BaSO_4$. As compared to the Joint Committee Powder Diffraction Standards (JCPDS), the main chemical component of the barite was $BaSO_4$. Reduction in diffracted peak intensity of the peaks was observed compared to the untreated sample that clearly indicates that amorphization has been effected during grinding. But, any change was not observed in the peak areas of ground sample.

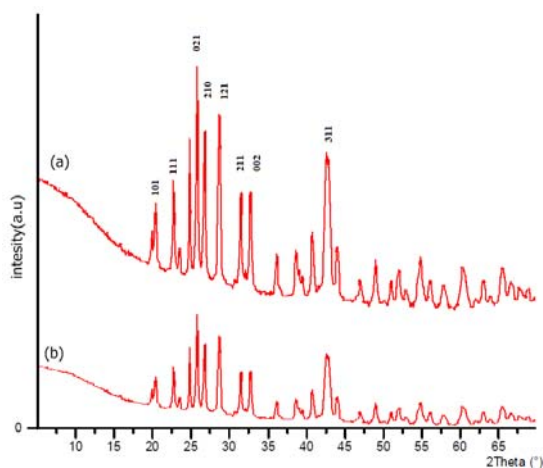


Figure 6. XRD patterns of barite: (a) feed; (b) the best result (B4)

3.4. The Effects of Surface Area of Grinding Media on the Particle Size of Barite

The most effective grinding in the media mill was achieved by an increased number of collisions between grinding media and particles. Figure 7 shows the experimental run versus surface area (S_{bw}). From the results, maximum surface area (S_{bw}) was obtained with experimental run B9. But when 1 mm grinding media was used at 600 rpm, the effects on particle size were very little. If the best two experimental results are compared (B4 and B5), it is found that the S_{bw} of the bimodal media (B4) and monosized media (B5) are very close together.

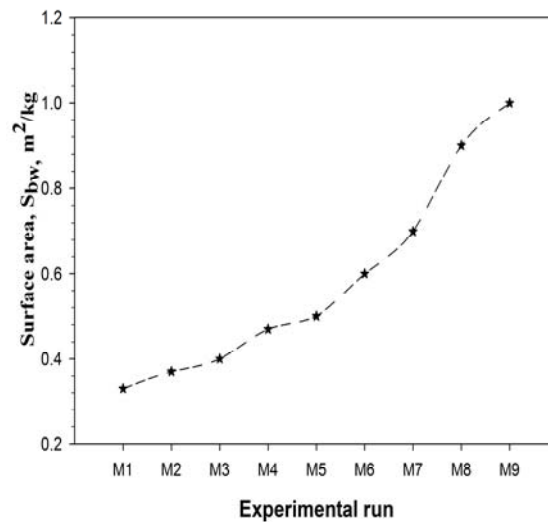


Figure 7. Surface area (S_{bw}) for monosized and bimodal grinding media

4. CONCLUSION

In this experimental study, the influence of monosized (1, 2 and 3 mm) and bimodal (1-3 mm) media size grinding design on dry grinding of barite were examined. The performance of different size ratio of finer-coarser media alone (0.5 and 0.67) were investigated. Experimental results show that the finer grinding media was not very effective. Much smaller product particles with finer grinding media can be obtained with a high stirrer speed. As seen from SEM images, the best result for the product particle sizes (d_{50} , d_{90}), and the geometric standard deviation of barite particles (d_{84}/d_{16}) were obtained with bimodal media 1.5 μm , 4.62 μm and 2.06, respectively (B4). If the best two experimental results are compared (B4 and B5), it is found that the S_{bw} of the bimodal media (B4) and monosized media (B5) are very close together. As an overview, proper selection of media size improves the grinding efficiency.

5. ACKNOWLEDGMENT

The author would like to thank Barit Maden Türk (Osmaniye, Turkey) for providing the sample.

6. REFERENCES

- Mankosa, M.J., Adel, G.T. and Yoon, R.H., 1989. Effect of Operating Parameters in Stirred Ball Mill Grinding of Coal, Powder Technology., 59(4), 255–260.
- Kwade, A., Blecher, L., Schwedes, J., 1996. Motion and Stress Intensity of Grinding Beads in a Stirred Media Mill: Part II. Stress Intensity and its Effect on Comminution, Powder Technology, 86, 69-76.
- Patel, C.M., Chakraborty, M., Murthy, Z.V.P., 2014. Enhancement of Stirred Media Mill Performance by a New Mixed Media Grinding Strategy, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 20, 2111-2118.
- Bel Fadhel, H., Frances, C., 2001. Wet Batch Grinding of Alumina Hydrate in a Stirred Bead Mill, Powder Technology, 119(2–3), 257–268.
- Wang, Y., Forssberg, E., 2007. Enhancement of Energy Efficiency for Mechanical Production of Fine and Ultra Fine Particles in Comminution, China Particuology, 5, 193–201.
- Kwade, A., Schwedes, J., 2002. Breaking Characteristics of Different Materials and their Effect on Stress Intensity and Stress Number in Stirred Media Mills, Powder Technology, 122, 109-121.
- Zheng, J., Harris, C.C., Somasundaran, P., 1997. The Effect of Additives on Stirred Media Milling of Limestone, Powder Technology, 91 (3), 173–179.
- Jankovic, A. and Sinclair, S., 2006. The Shape of Product Size Distributions in Stirred Mills, Minerals Engineering, 19, 1528-1536.
- Mankosa, M.J., Adel, G.T., Yoon, R.H., 1986. Effect of Media Size in Stirred Ball Mill Grinding of Coal, Powder Technology, 4, 75-82.
- Tüzün, M.A., 1994. A Study of Comminution in a Vertical Stirred Ball Mill, Ph.D. Dissertation, Chemical Eng. Dep., University of Natal.
- Zheng, J., Harris, C.C., Somasundaran, P., 1996. A Study on Grinding and Energy Input in Stirred Media Mills, Powder Technology, 86(2), 171–178.
- Wang, Y., Forssberg, E., Sachweh, J., 2004. Dry Fine Comminution in a Stirred Media Mill - MaxxMill, Int. J. Mineral Process., 74, 65-74.
- Wang, Y., Forssberg, E., 2000. Product Size Distribution in Stirred Media Mills, Minerals Engineering, 13(4), 459-465.
- Jankovic, A., 2003. Variables Affecting the Fine Grinding of Minerals Using Stirred Mills, Minerals Engineering, 16(4), 337–345.
- Mende, S., Stenger, F., Peukert, W., Schwedes, J., 2004. Production of Sub Micron Particles by Wet Comminution in Stirred Media Mills, Journal of Materials Science, 39, 5223–5226.
- Hickey, A., Giovagnoli, S., 2018. Pharmaceutical Powder and Particles, Edited by Springer, ISBN 978- 3-319-91219-6.
- Kotake, N., Matsumoto, K., Sekine, Y., Gunji, S., Kezuka, H., 2014. Effect of Poly-sized and

Effect of Bimodal and Monosized Grinding Media on Dry Grinding of Barite

Mono-sized Grinding Media on Fine Grinding of Limestone in a Bead Mill, *International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources*, 20, 147-153.

Endüstriyel Ham Madde Atıklarının Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği

Gül KARAKILÇIK¹, Sedat TÜRKMEN*²

¹Karayolları 4. Bölge Müdürlüğü, Ankara

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

Geliş tarihi: 22.03.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Öz

Son yıllarda ekonomik ve teknolojik gelişmelere paralel olarak, endüstriyel katı atıkların miktarı ve çeşidi giderek artmaktadır. Bu çalışmada, endüstriyel katı atıkların değerlendirilmesi, ham madde olarak yeniden kullanılması ve tekrar ekonomiye kazandırılması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, cam ham madde atığı (şlam) belli oranlarda kil malzemeyle karıştırılmış ve dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Çalışmada ayrıca uçucu külün, kil malzemeyle karıştırılması sonucu elde edilen özellikler özetlenmiştir.

Mersin İli, Akdeniz İlçesi, Sarıbrahimli Mahallesi bölgesinde bulunan Trakya Cam Fabrikası'na ait cam ham madde atığı (şlam) malzemesi, yine aynı bölgede yer alan ÇİMSA çimento ham maddesi ve Yumurtalık İsken Fabrikası'ndan çıkan uçucu kül malzemesi bu makalenin çalışma konusunu oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Cam ham madde atığı (şlam), Uçucu kül, Çimento ham maddesi, Toprak dolgu malzemesi

Usability of Industrial Raw Material Wastes as Filling Material

Abstract

In parallel with economic and technological developments in recent years, the amount and variety of industrial solid wastes are increasing. In this study, it is aimed to evaluate industrial solid wastes, to reuse them as raw materials and to gain economy again. For this purpose, glass raw material wastes were mixed with clay materials at certain ratios and evaluated as usability as filling material. In study, the characteristics obtained by mixing fly ash and clay material are also summarized.

Glass raw material waste material belonging to Trakya Cam Factory located in Mersin province, Akdeniz district, Sarıbrahimli neighbourhood area, ÇİMSA cement raw material located in the same region and fly ash material coming from the Yumurtalık Isken Factory constitute the study topic of this study.

Keywords: Glass raw material waste (şlam), Fly ash, Cement raw material, Earthfill material

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Sedat TÜRKMEN, sturkmen@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Sanayi ve üretim kuruluşlarında bir işlem sırası veya sonrasında meydana gelen katı atıklara endüstriyel katı atıklar adı verilir.

Bu atıkların üretildikleri yerlerden toplanması, geçici depolanması, taşınması ve yok edilmesi oldukça önemlidir. Geri kazanımı ve değerlendirilme imkanı olan atıkların çeşitli fiziksel veya kimyasal proseslerden geçirilerek yeniden ham maddeye dönüştürülerek tekrar üretim sürecine dahil edilmesi gerekmektedir. Doğal kaynaklar sonsuz olmadığı için yeniden kazanım doğanın dengesi için oldukça önemlidir.

Mersin ve civarında faaliyet gösteren cam fabrikalarından yılda 17.280.000 ton civarında atık malzeme (şlam) ortaya çıkmaktadır. Bu atık madde işletmeye her yıl taşıma, stoklama maliyeti getirmenin dışında çevresel problemler de oluşturmaktadır. Bu amaçla, Mersin ve civarındaki cam fabrikalarında kullanılan ham maddelerin zenginleştirilmesi sonucu ortaya çıkan atık malzemelerinin (şlam) yerel dolgu malzemeleriyle karıştırılarak, yine Mersin ve çevresinde faaliyet gösteren kimyasal üretim yapan, soda ve krom tesislerinin endüstriyel atıkları için yapılan atık barajlarının sedde dolgularında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bu çalışmanın amacı; şlam adı verilen, maden veya endüstriyel ham madde zenginleştirilmesi veya depolanması sonucu oluşan katı killi malzemenin, dolgu yapımı için sorunlu olan yerel dolgu malzemesi ile karıştırılarak uygun dolgu malzemesi elde etmektir. Bu amaçla gerekli arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılarak malzemenin kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Schmidt [1], İlker [2], Yetiş ve Demirkol [3], Şenol ve arkadaşları [4] Adana havzası ile ilgili yaptıkları çalışmalarda Adana-Mersin arasında Güvenç formasyonunun üzerinde çökelen Kuzgun formasyonunun yer yer karasal nitelikte yer yer ise sığ deniz ortamında çökeldiğini belirtmişlerdir.

Kavas ve arkadaşları [5] Cam Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması konusunda yaptıkları çalışmalarında, belirli tane boyutlarına kadar öğütülmüş cam atıklarının çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Sakatoğlu [6], Menekşe Köyü (Karaisalı) killerin Cami Madencilik A.Ş. atıkları ile karıştırılarak Tuğla Yapılması Olanaklarının Araştırılması, konusundaki yüksek lisans tezinde, Karaisalı İlçesi Menekşe yöresi killerin, yine yörede kurulu Cami A.Ş. Fabrikasının atıkları ile tuğla yapılabilirliğini araştırmıştır. Ünal ve Uygunoğlu [7]. Soma Termik Santral Atığı Uçucu Külünün İnşaat Sektöründe Değerlendirilmesi, Atanur [8] Uçucu Küllerin Agregat-Çimento Karışımlarında Portland Çimentosunun yerine kullanılması gibi çalışmalar yapmışlardır. Alkaya [9] uçucu küllerin zemin iyileştirmesinde kullanılması konusunda, Erdoğan [10] atık malzemelerin inşaat endüstrisinde kullanımı konularında araştırmalar yapmışlardır.

Çavuşoğlu [11] “Uçucu Küllerin Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılması: Örnek Bir Uygulama (Çayırhan)” isimli çalışmasında, yeraltı madencilik uygulamalarında, üretim yöntemine de bağlı olarak genellikle cevherin çıkarılmasıyla oluşan boşlukların dolgu malzemeleriyle doldurulmasından bahsetmiştir. Çuhadaroğlu [12], termik santrallerden çıkan uçucu küllerin tuğla üretiminde değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar yapmıştır.



Şekil 1. Çalışma sahasından genel bir görünüm

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Cam endüstrisinde kullanılan ham madde kuvarsit veya kuvars kumu olarak temin edilmektedir. Fabrikaya gelen ham madde kırma işlemine tabi tutularak 20 mm boyutuna getirilir. Öğütülen malzeme, cam kumu hazırlama tesisinde ıslak eleme işleminden sonra geriye kalan ince taneli ve kil içeren atık malzeme şlam olarak ayrılır.



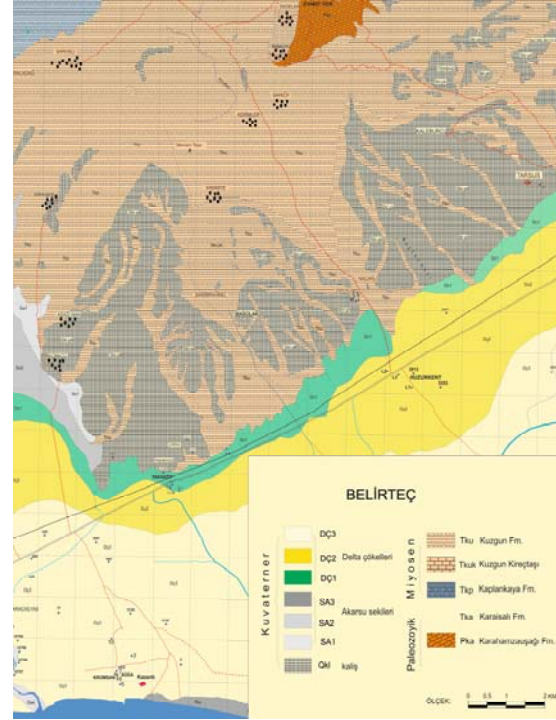
Şekil 2. Cam ham madde atığı (şlam).

Bu çalışma kapsamında, endüstriyel atık malzemelerinin dolgu malzemesi olarak kullanımın tespiti amacıyla Mersin organize sanayi bölgesindeki cam fabrikasından çıkan kuvarsit atığı şlam numunesi kullanılmıştır. Ayrıca Mersin-Sarıbrahımlı mevkiindeki çimento fabrikasının kullandığı ham madde ocakları çevresindeki kazı artığı malzemeler yine bu çalışma kapsamında değerlendirilerek ana materyal olarak kullanılmıştır. Katkı malzemesi olarak da İskender Termik Santrali'nden alınan uçucu kül kullanılmıştır. Araziden alınan numuneler laboratuvara getirilerek, gerekli indeks ve mühendislik özelliklerinin belirlenmesine yönelik zemin deneyleri yapılmıştır.

3.1.1. İnceleme Alanı Jeolojisi

İnceleme alanı ve çevresinde, temeli oluşturan Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı birimler üzerinde çökelmiş Senozoyik yaşlı tortul kayaçlar egemendir. Miyosen'in değişik dönemlerine ait bu tortul

kayaçlar değişik fasiyelerde oluştuğu için, litolojik olarak oldukça farklı yapıdadırlar. Yöredeki birimler; resifal kireçtaşı, kiltası-marn aralanması ve kumtaşı-kiltası birimleri ile bu birimlerin üzerine gelen Kuvaterner yaşlı kalıç ve güncel alüvyonlardan oluşur.



Şekil 3. Çalışma Alanı jeolojik haritası (Şenol ve arkadaşları [4]'den alınmıştır)

İnceleme alanı ve çevresinde, yeşilimsi, sarımsı beyaz, gri-siyah renk tonlarında gözlenen Kuzgun formasyonu resifal kireçtaşı, kumtaşı-konglomera, kiltası (şeyl)-silttaşı-marn gibi dört kaya biriminden oluşmuştur. Kuzgun formasyonu Güvenç formasyonu ile uyumlu olup üzerine geçişli olarak gelir. Kalınlığı yaklaşık 50-1500 metre arasında değişmekte olan Kuzgun formasyonu kıyı-sığ deniz ortamı koşullarında çökelmiştir. Formasyonun yaşı değişik araştırmacılar tarafından paleontolojik verilere dayanarak Tortoniyen-Messiniyen olarak verilmiştir [1-4]. Çalışma konusu olan çimento hammaddesi kuzgun formasyonuna ait marn, killi kireçtaşı ve kiltası litolojilerinden oluşmaktadır.

3.2. Metod

Bu çalışma, literatür taraması, arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere dört safhada gerçekleştirilmiştir. Arazi öncesi çalışmalarda, daha önce yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Arazi çalışmaları olarak, arazi üzerinde incelemeler yapılmış ve laboratuvar çalışmaları için, hem cam ham madde atığı (şlam)'dan hem de çimento ham maddesinden örselenmiş numuneler alınmıştır.

3.2.1. Arazi Çalışmaları

Bu çalışmada, genel olarak arazi incelemesi yapılmış ve endüstriyel atık alanları incelenmiştir. Arazi üzerinden birkaç noktadan farklı numune örnekleri alınmıştır. Alınan örnek yerlerine ait koordinat noktaları belirlenmiştir. Gerekli durumlarda fotoğraflar çekilmiştir.

3.2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Tüm numune örnekleri öncelikle saf olarak, sonra belli yüzdeler şeklinde karıştırılarak deneye tabi tutulmuştur. Deneyler Çukurova Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında yapılmıştır. Numuneler üzerinde; kesme kutusu deneyi, kompaksiyon deneyi, doğal birim hacim ağırlık testi, tane boyu (hidrometre ve elek) analizi, kıvam (Atterberg) limitleri deneyleri ve su içeriği tayini deneyleri yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Numunelerin İndeks Özellikleri

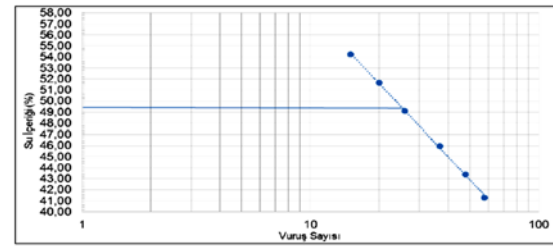
4.1.2. Özgül Ağırlık Deneyi

Çalışma sahasından alınan numuneler American Society of Testing Materials D 854-02 [13] standardına uygun olarak test edilerek her bir numuneye ait özgül ağırlık değeri tespit edilmiştir. Bu deney sonucunda özgül ağırlık; cam ham madde atığı (şlam) için 2,543, çimento ham maddesi için 2,583, cam ham madde atığı (şlam)-çimento ham maddesi %50 karışım için 2,516, çimento ham maddesi %5 kül karışımı için 2,7, çimento ham maddesi %10 kül karışımı için 2,68,

çimento ham maddesi %15 kül karışımı için 2,653 olarak bulunmuştur.

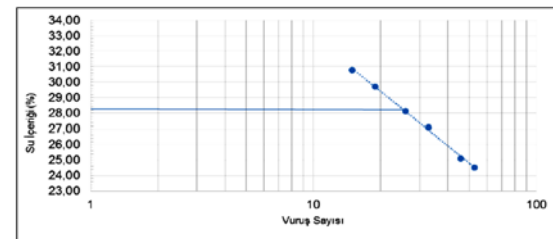
4.2.2. Kıvam (Atterberg) Limitleri Deneyi

Numuneler, American Society of Testing Materials ASTM D 4318-00 [14], standartında göre test edilerek kıvam limitleri belirlenmiştir. Çimento ham maddesi numunesinin likit limit (LL) değeri %49,50, plastik limit (PL) değeri %23,81, plastisite indisi (PI) değeri ise %25,69'dur. Casagrande plastisite grafiği kullanarak numunenin türü CL (Düşük-orta plastisiteli inorganik kil) olarak bulunmuştur.



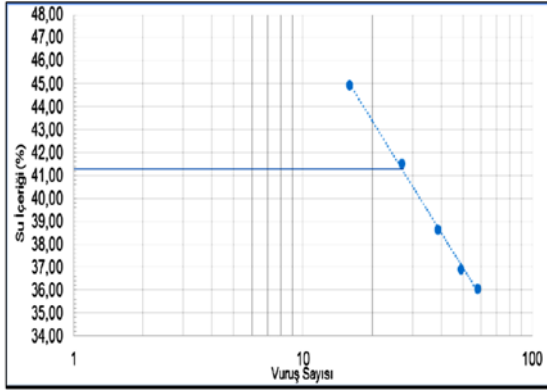
Şekil 4. Çimento ham madde pasasına ait likit limit (LL) değerinin bulunması

Cam ham madde atığı (şlam) numunesinin likit limit (LL) değeri %28,30, plastik limit (PL) değeri %19,61, plastisite indisi (PI) değeri ise %8,69'dur. Casagrande plastisite grafiği kullanarak numunenin türü CL (Düşük-orta plastisiteli inorganik kil) olarak bulunmuştur.



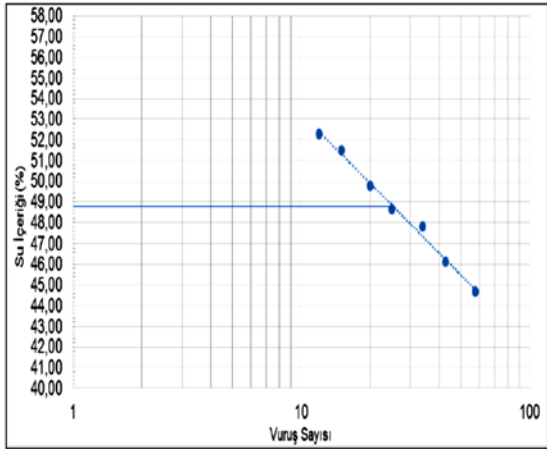
Şekil 5. Çimento ham madde pasası ait likit limit (LL) değerinin bulunması

Cam ham madde atığı (şlam)-%50 çimento ham maddesi numunesinin likit limit (LL) değeri %41,80, plastik limit (PL) değeri %20,22, plastisite indisi (PI) değeri ise %21,58'dir. Casagrande plastisite grafiği kullanılarak numunenin türü CL (orta plastisiteli inorganik kil) olarak bulunmuştur.



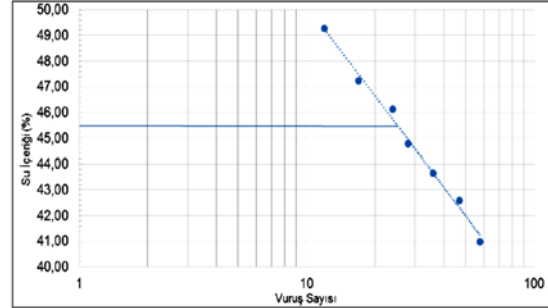
Şekil 6. Cam ham madde atığı (şlam)-%50 çimento ham madde pasası numunesine ait likit limit (LL) değerinin bulunması

Çimento ham maddesi-%5 kül karışımı numunesinin likit limit (LL) değeri %48,80, plastik limit (PL) değeri %25,96, plastisite indisi (PI) değeri ise %23,54'tür. Casagrande plastisite grafiği kullanılarak numunenin türü CL (orta plastisiteli inorganik kil) olarak bulunmuştur.



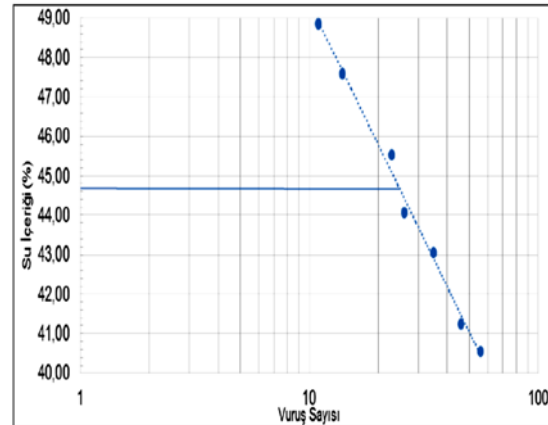
Şekil 7. Çimento ham madde pasası-%5 kül karışımı numunesine ait likit limit (LL) değerinin bulunması

Çimento ham maddesi-%10 kül karışımı numunesinin likit limit (LL) değeri %45,50, plastik limit (PL) değeri %25,57, plastisite indisi (PI) değeri ise %19,93'tür. Casagrande plastisite grafiği kullanılarak numunenin türü CL (orta plastisiteli inorganik kil) olarak bulunmuştur.



Şekil 8. Çimento ham madde pasası-%10 kül karışımı numunesine ait likit limit (LL) değerinin bulunması

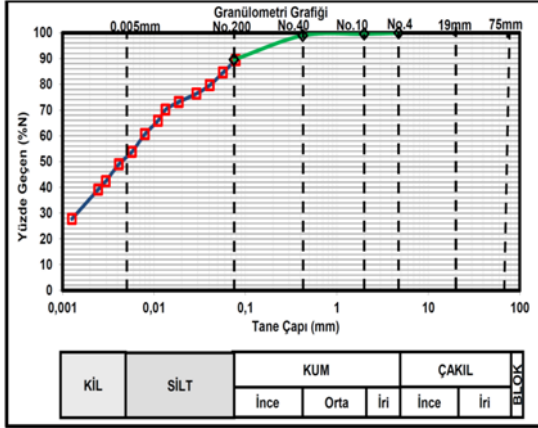
Çimento ham maddesi-%15 kül karışımı numunesinin likit limit (LL) değeri %44,65, plastik limit (PL) değeri %24,83, plastisite indisi (PI) değeri ise %19,82'dir. Casagrande plastisite grafiği kullanılarak numunenin türü CL (orta plastisiteli inorganik kil) olarak bulunmuştur.



Şekil 9. Çimento ham madde pasası-%15 Kül karışımı numunesine ait likit limit (LL) değerinin bulunması

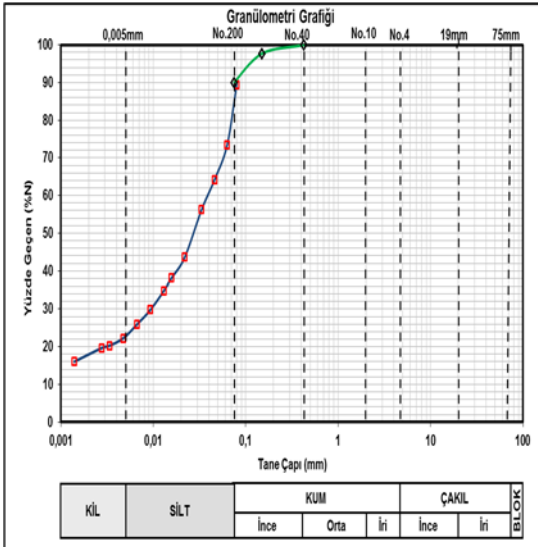
4.2.3. Tane Boyu Analizi Deneyi

Tane boyu analizleri American Society of Testing Materials ASTM D 422-63 [15] standartında yapılmıştır. Çimento ham maddesi numunesine ait tane boyu analizinin, hidrometre analizi sonucunda; kil %53,32, silt %36,17, elek analizi sonucunda; kum %10,29, çakıl %0,22 olarak bulunmuştur.



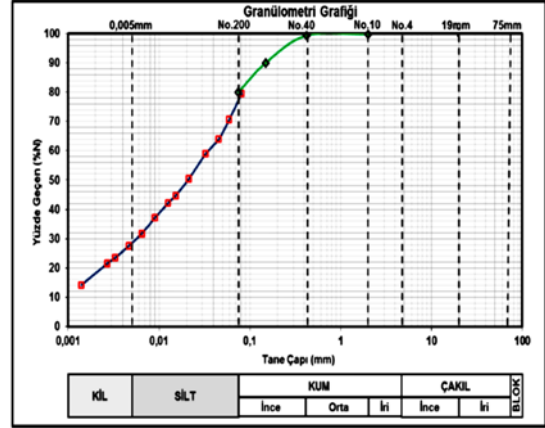
Şekil 10. Çimento ham madde pasası numunesine ait tane boyu dağılım grafiği

Cam ham madde atığı (şlam) numunesine ait tane boyu analizinin, hidrometre analizi sonucunda; kil %22,58, silt %67,42, elek analizi sonucunda; kum %9,99, çakıl %0,01 olarak bulunmuştur.



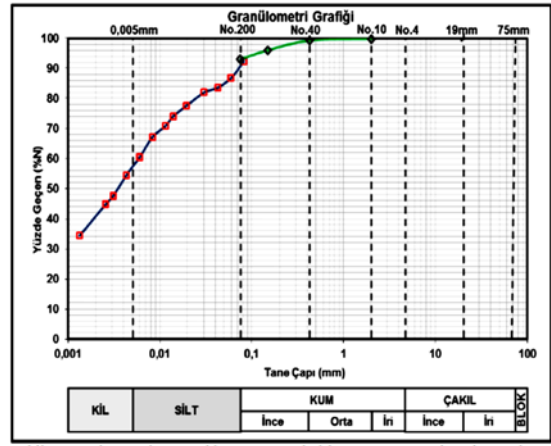
Şekil 11. Cam ham madde atığı (şlam) numunesine ait tane boyu dağılım grafiği

Cam ham madde atığı (şlam)-çimento ham maddesi %50 karışım numunesine ait tane boyu analizinin, hidrometre analizi sonucunda; kil %28,20, silt %57,8, elek analizi sonucunda; kum %13,92, çakıl %0,08 olarak bulunmuştur.



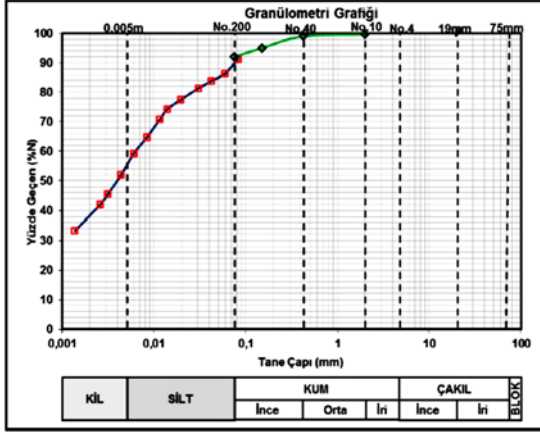
Şekil 12. Cam ham madde atığı (şlam)-çimento ham madde pasası %50 karışım numunesine ait tane boyu dağılım grafiği

Çimento ham maddesi-%5 kül karışım numunesine ait tane boyu analizinin, hidrometre analizi sonucunda; kil %56,38, silt %33,84, elek analizi sonucunda; kum %9,7, çakıl %0,08 olarak bulunmuştur.



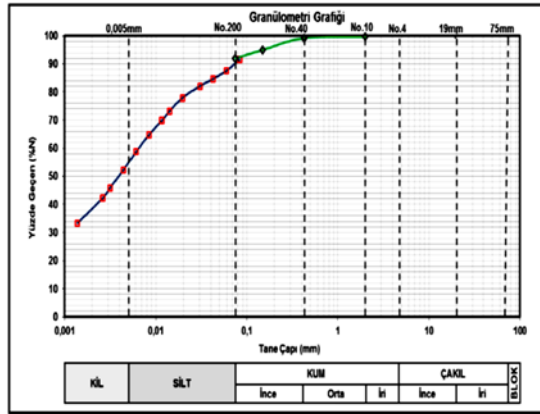
Şekil 13. Çimento ham madde pasası-%5 kül karışım numunesine ait tane boyu dağılım grafiği

Çimento ham maddesi-%10 kül karışım numunesine ait tane boyu analizinin, hidrometre analizi sonucunda; kil %56,37, silt %37,63, elek analizi sonucunda; kum %5,93, çakıl %0,07 olarak bulunmuştur.



Şekil 14. Çimento ham madde pasası-%10 kül karışım numunesine ait tane boyu dağılım grafiği

Çimento ham maddesi-%15 kül karışım numunesine ait tane boyu analizinin, hidrometre analizi sonucunda; kil %54,83, silt %37,67, elek analizi sonucunda; kum %7,44, çakıl %0,06 olarak bulunmuştur.

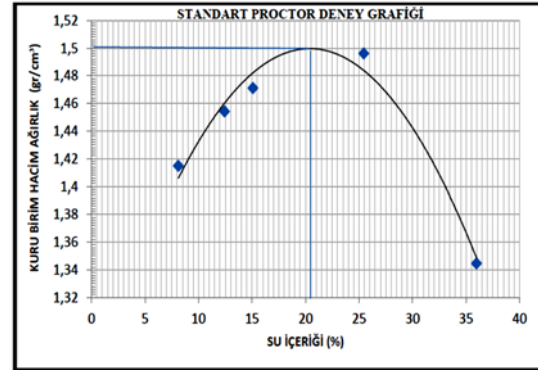


Şekil 15. Çimento ham madde pasası-%15 kül karışım numunesine ait tane boyu dağılım grafiği

4.2.4. Standart Proctor (kompaksiyon) Deneyi

Standart Proctor deneyi American Society of Testing Materials ASTM D 698-00a [16], standartına uygun kompaksiyon aleti ile gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler aşağıdaki gibidir.

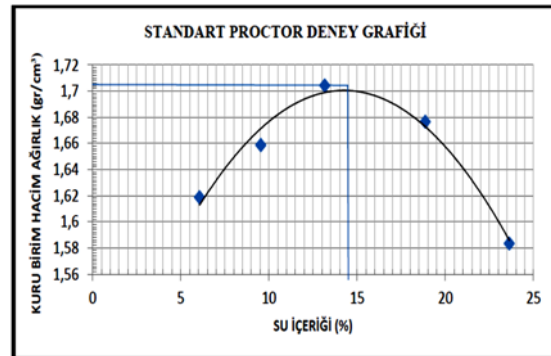
Çimento ham maddesi numunesine ait optimum su içeriği (W_{opt}) %20,5 olarak bulunmuştur. Optimum su içeriğine karşılık gelen maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri (γ_{kmax}) ise 1,507 g/cm³ olarak bulunmuştur.



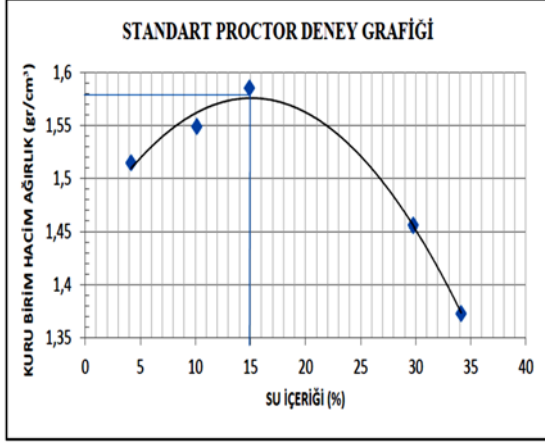
Şekil 16. Çimento ham madde pasası numunesi kompaksiyon eğrisi

Cam ham madde atığı (şlam) numunesine ait optimum su içeriği (W_{opt}) %14,5 olarak bulunmuştur. Optimum su içeriğine karşılık gelen maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri (γ_{kmax}) ise 1,715 gr/cm³ olarak bulunmuştur.

Cam ham madde atığı (şlam)-çimento ham maddesi %50 karışım numunesine ait optimum su içeriği (W_{opt}) %15 olarak bulunmuştur. Optimum su muhtevasına karşılık gelen en yüksek kuru birim hacim ağırlık değeri (γ_{kmax}) ise 1,578 g/cm³ olarak bulunmuştur.

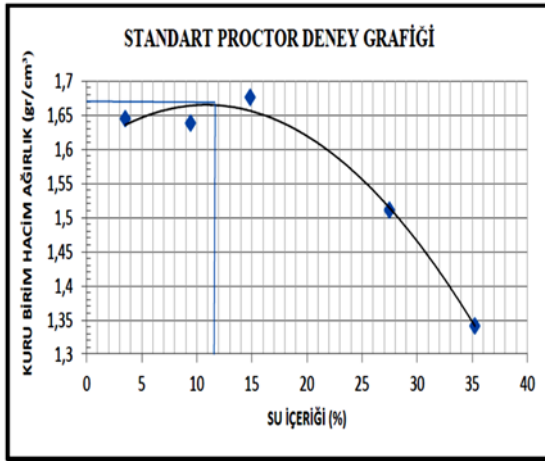


Şekil 17. Cam ham madde atığı (şlam) numunesi kompaksiyon eğrisi



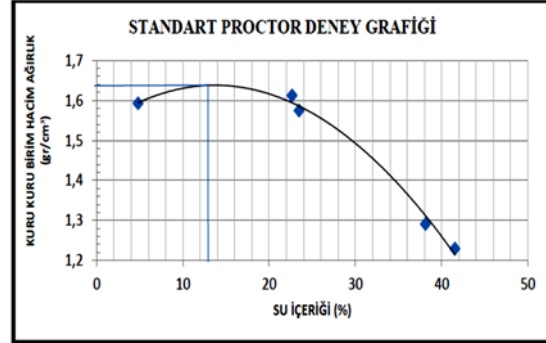
Şekil 18. Cam ham madde atığı (şlam)-çimento ham madde pasası %50 karışımı numunesi kompaksiyon eğrisi

Çimento ham maddesi-%5 kül karışımı numunesine ait optimum su içeriği (W_{opt}) %11,57 olarak bulunmuştur. Optimum su muhtevasına karşılık gelen en yüksek kuru birim hacim ağırlık değeri (γ_{kmax}) ise 1,67 g/cm³ olarak bulunmuştur.



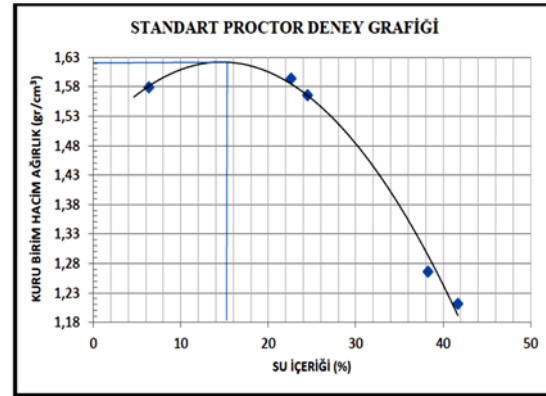
Şekil 19. Çimento ham madde pasası-%5 kül karışımı numunesi kompaksiyon eğrisi

Çimento ham maddesi-%10 kül karışımı numunesine ait optimum su içeriği (W_{opt}) %14 olarak bulunmuştur. Optimum su muhtevasına karşılık gelen en yüksek kuru birim hacim ağırlık değeri (γ_{kmax}) ise 1,638 g/cm³ olarak bulunmuştur.



Şekil 20. Çimento ham madde pasası-%10 kül karışımı numunesi kompaksiyon eğrisi

Çimento ham maddesi-%15 kül karışımı numunesine ait optimum su içeriği (W_{opt}) %14,95 olarak bulunmuştur. Optimum su muhtevasına karşılık gelen en yüksek kuru birim hacim ağırlık değeri (γ_{kmax}) ise 1,618 g/cm³ olarak bulunmuştur.

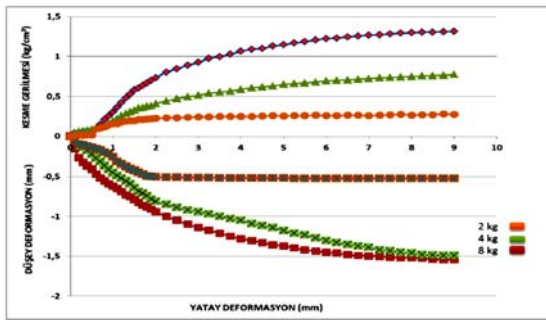


Şekil 21. Çimento ham madde pasası-%15 kül karışımı numunesi kompaksiyon eğrisi

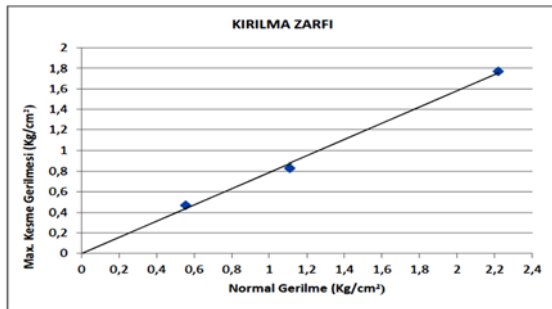
4.2.5. Kesme Kutusu Deneyi

Kesme kutusu deneyi American Society of Testing Materials ASTM D 3080-98, [17], standartlarındaki test düzeneğinde yapılmıştır. Zeminlerin kayma direnci üç temel parametreden oluşmaktadır. Bu parametreler; zemin tanelerinin birbirine kenetlenmesi, kohezyon ve sürtünme olarak sıralanabilir. Zeminlerin kohezyonsuz ya da kohezyonlu olması, yapılan kesme kutusu deneyinin konsolidasyon ve drenaj koşulları kayma direncine etki eden nedenler arasındadır.

Çimento ham maddesi örneği üzerinde yapılan kesme kutusu deneyinde 2 kg ($\sigma_n=0,556 \text{ kg/cm}^2$)'lık normal yük altında maksimum kesme gerilmesi $0,27 \text{ kg/cm}^2$, 4 kg ($\sigma_n=1,11 \text{ kg/cm}^2$)'lık normal yük altında maksimum kesme gerilmesi $0,77 \text{ kg/cm}^2$ ve 8 kg ($\sigma_n=2,22 \text{ kg/cm}^2$)'lık normal yük altında maksimum kesme gerilmesi $1,31 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuştur. Çimento ham maddesi numunesinin kesme kutusu deneyinden elde edilen sonuçlara göre kırılma zarfı grafiği çizilmiş kohezyon (c) $0,005 \text{ kg/cm}^2$ ve içsel sürtünme açısı (ϕ) $31,17^\circ$ olarak bulunmuştur.



Şekil 22. Çimento ham madde pasası numunesinin yatay-düşey deformasyon ve kesme gerilmesi grafiği

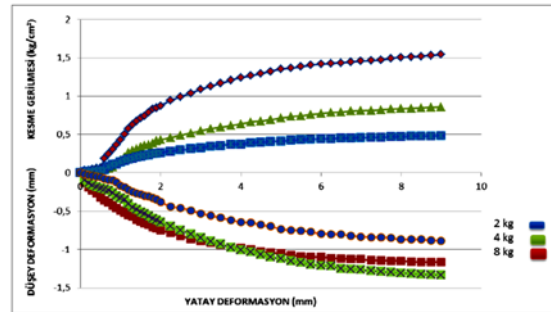


Şekil 23. Çimento ham madde pasası numunesinin kırılma zarfı grafiği

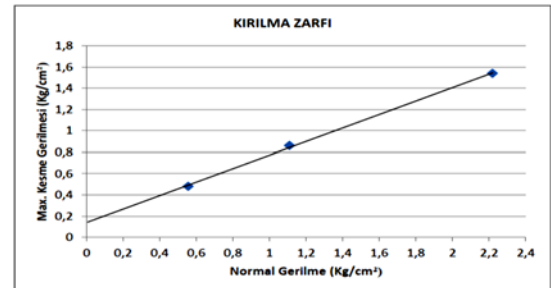
Cam ham madde atığı (şlam) örnekleri üzerinde yapılan kesme kutusu deneyinde 2 kg ($\sigma_n=0,556 \text{ kg/cm}^2$)'lık normal yük altında maksimum kesme gerilmesi $0,47 \text{ kg/cm}^2$, 4 kg ($\sigma_n=1,11 \text{ kg/cm}^2$)'lık normal yük altında maksimum kesme gerilmesi $0,83 \text{ kg/cm}^2$ ve 8 kg ($\sigma_n=2,22 \text{ kg/cm}^2$)'lık normal yük altında

maksimum kesme gerilmesi $1,77 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuştur. Cam ham madde atığı (şlam) numunesinin kesme kutusu deneyinden elde edilen sonuçlara göre kırılma zarfı grafiği çizilmiş kohezyon (c) $0,002 \text{ kg/cm}^2$ ve içsel sürtünme açısı (ϕ) $38,26^\circ$ olarak bulunmuştur.

Cam ham madde atığı (şlam)-çimento ham maddesi %50 karışım numunesi üzerinde yapılan kesme kutusu deneyinde 2 kg ($\sigma_n=0,556 \text{ kg/cm}^2$)'lık normal yük altında maksimum kesme gerilmesi $0,48 \text{ kg/cm}^2$, 4 kg ($\sigma_n=1,11 \text{ kg/cm}^2$)'lık normal yük altında maksimum kesme gerilmesi $0,86 \text{ kg/cm}^2$ ve 8 kg ($\sigma_n=2,22 \text{ kg/cm}^2$)'lık normal yük altında maksimum kesme gerilmesi $1,54 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuştur. Cam ham madde atığı (şlam)-çimento ham maddesi %50 karışım numunesinin kesme kutusu deneyinden elde edilen sonuçlara göre kırılma zarfı grafiği çizilmiş kohezyon (c) $0,14 \text{ kg/cm}^2$ ve içsel sürtünme açısı (ϕ) $32,35^\circ$ olarak bulunmuştur.

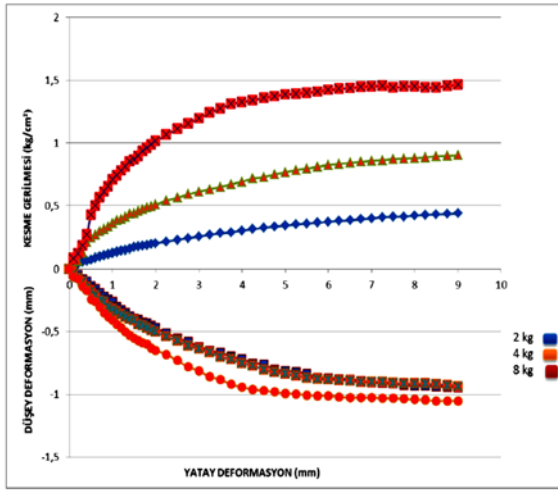


Şekil 24. Cam ham madde atığı (şlam) numunesinin yatay-düşey deformasyon ve kesme gerilmesi grafiği

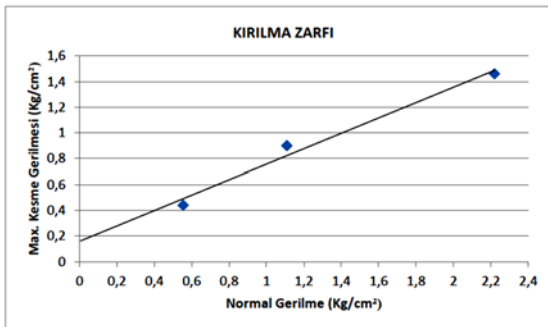


Şekil 25. Cam ham madde atığı (şlam) numunesinin kırılma zarfı grafiği

Çimento ham maddesi %5 kül karışım numunesi üzerinde yapılan kesme kutusu deneyinde 2 kg ($\sigma_n=0,556 \text{ kg/cm}^2$)'lık normal yük altında maksimum kesme gerilmesi $0,44 \text{ kg/cm}^2$, 4 kg ($\sigma_n=1,11 \text{ kg/cm}^2$)'lık normal yük altında maksimum kesme gerilmesi $0,9 \text{ kg/cm}^2$ ve 8 kg ($\sigma_n=2,22 \text{ kg/cm}^2$)'lık normal yük altında maksimum kesme gerilmesi $1,46 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuştur. Çimento ham maddesi %5 kül karışım numunesinin kesme kutusu deneyinden elde edilen sonuçlara göre kırılma zarfı grafiği çizilmiş kohezyon (c) $0,16 \text{ kg/cm}^2$ ve içsel sürtünme açısı (ϕ) $30,85^\circ$ olarak bulunmuştur.

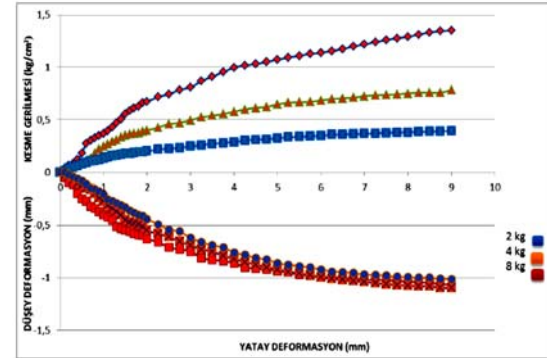


Şekil 26. Cam ham madde atığı (şlam)-çimento ham madde pasası %50 karışım numunesinin yatay-düşey deformasyon ve kesme gerilmesi grafiği

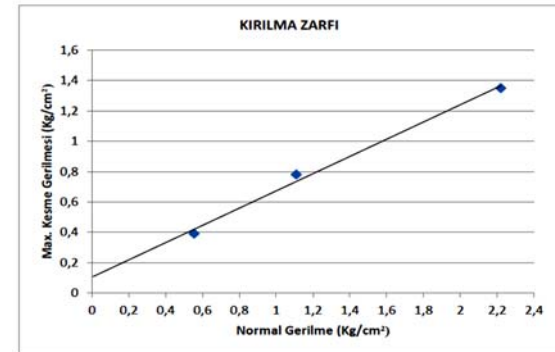


Şekil 27. Cam ham madde atığı (şlam)-çimento ham madde pasası %50 karışım numunesinin kırılma zarfı grafiği

Çimento ham maddesi %10 kül karışım numunesi üzerinde yapılan kesme kutusu deneyinde 2 kg ($\sigma_n=0,556 \text{ kg/cm}^2$) normal yük altında maksimum kesme gerilmesi $0,39 \text{ kg/cm}^2$, 4 kg ($\sigma_n=1,11 \text{ kg/cm}^2$)'lık normal yük altında maksimum kesme gerilmesi $0,78 \text{ kg/cm}^2$ ve 8 kg ($\sigma_n=2,22 \text{ kg/cm}^2$)'lık normal yük altında maksimum kesme gerilmesi $1,35 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuştur. Çimento ham maddesi %10 kül karışım numunesinin kesme kutusu deneyinden elde edilen sonuçlara göre kırılma zarfı grafiği çizilmiş kohezyon (c) $0,10 \text{ kg/cm}^2$ ve içsel sürtünme açısı (ϕ) $29,59^\circ$ olarak bulunmuştur.



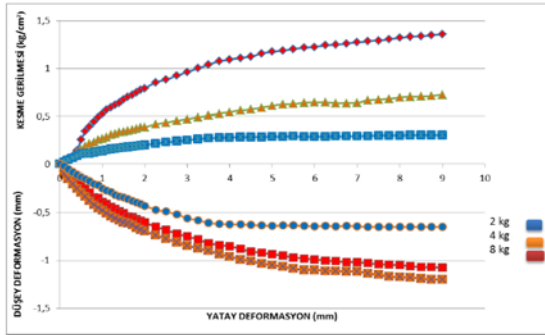
Şekil 28. Çimento ham madde pasası-%5 kül karışım numunesi yatay-düşey deformasyon ve kesme gerilmesi grafiği



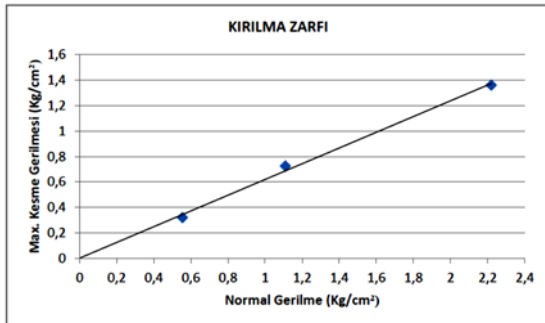
Şekil 29. Çimento ham madde pasası-%5 kül karışım numunesi kırılma zarfı grafiği

Çimento ham maddesi %15 kül karışım numunesi üzerinde yapılan kesme kutusu deneyinde 2 kg ($\sigma_n=0,556 \text{ kg/cm}^2$)'lık normal yük altında maksimum kesme gerilmesi $0,316 \text{ kg/cm}^2$, 4 kg

($\sigma_n=1,11 \text{ kg/cm}^2$)'lık normal yük altında maksimum kesme gerilmesi $0,725 \text{ kg/cm}^2$ ve 8 kg ($\sigma_n=2,22 \text{ kg/cm}^2$)'lık normal yük altında maksimum kesme gerilmesi $1,356 \text{ kg/cm}^2$ olarak bulunmuştur. Çimento ham maddesi %15 kül karışım numunesinin kesme kutusu deneyinden elde edilen sonuçlara göre kırılma zarfı grafiği çizilmiş kohezyon (c) $0,001 \text{ kg/cm}^2$ ve içsel sürtünme açısı (ϕ) $31,66^\circ$ olarak bulunmuştur.



Şekil 30. Çimento ham madde pasası-%10 kül karışım numunesi yatay-düşey deformasyon ve kesme gerilmesi grafiği



Şekil 31. Çimento ham madde pasası-%10 kül karışım numunesi kırılma zarfı grafiği

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Sanayideki gelişmelere paralel olarak, beraberinde birçok çevresel sorunlar da ortaya çıkmıştır. Bu sorunların önemli bir kolu da özellikle endüstri tesislerinde proses atıkları olarak ortaya çıkan katı atık maddelerdir. Günümüzde tüm gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde katı atıklar sosyal, ekonomik ve çevresel sorunların önemli kısmını oluşturmaktadır. Ortaya çıkan atıkların bir bölümü

tekrar kazanılabilir atıklar olup, çeşitli işlemlerle geri kullanıma sunulmalıdır.

Bu çalışma sonucunda kullanılan cam ham madde atığı (şlam), çimento ham maddesi ve çimento ham maddesine eklenen %5, %10 ve %15 uçucu kül katkı malzemeli numunelerin USCS zemin sınıflamasına göre CL zemin tipine sahip olduğu belirlenmiştir.

Numunelerin plastisite indislerine bakıldığında cam ham madde atığının düşük plastisite değerine sahip olduğu çimento ham maddesinin ise yüksek plastik özelliğe sahip olduğu saptanmıştır. Bu iki numunenin %50 karışımı ise yine plastik özellik göstermektedir. Cam ham madde atığının tek başına kuru dayanımının düşük olduğu ve dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği açısından zayıf bir malzeme olduğu saptanmıştır. Dayanımı düşük ve plastisitesi yüksek çimento ham maddesi ile cam ham madde atığının %50 karıştırıldığında dayanımının attığı görülmüştür. Ayrıca çimento ham maddesine katkı malzemesi olarak ilave edilen %5 oranındaki uçucu kül miktarının plastik limit değerinin artmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Fakat uçucu kül miktarının sırasıyla %10 ve %15 seviyesine çıkarılmasıyla plastik limit değerinin tekrar düştüğü, plastisitenin azaldığı görülmüştür.

Cam ham madde atığı (şlam) numunesinin Proktor deneyi sonuçlarına bakıldığında, en yüksek kuru birim hacim ağırlığı $1,715 \text{ g/cm}^3$, çimento ham maddesine ait en yüksek kuru birim hacim ağırlık değeri ise $1,507 \text{ g/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir. Bu iki numunenin %50 oranında karışımı sonucu en yüksek kuru birim hacim ağırlığı $1,578 \text{ g/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir. Çimento ham maddesine %5 oranında uçucu kül katkısı ilavesiyle en yüksek kuru birim hacim ağırlığı $1,670 \text{ g/cm}^3$ seviyesine çıkmıştır. Uçucu kül miktarının %10 ve %15 seviyelerine çıkarılmasıyla en yüksek kuru birim hacim ağırlığı sırasıyla $1,638 \text{ g/cm}^3$ ve $1,618 \text{ g/cm}^3$ seviyesine düşmüştür.

Cam ham madde atığı (şlam) numunesinin içsel sürtünme açısının yüksek ($\phi=38,26^\circ$), kohezyon değerinin ise düşük ($c=0,002 \text{ kg/cm}^2$) olduğu görülmektedir. Çimento ham maddesi numunesi

ise daha düşük içsel sürtünme açısı ($\phi=31,17^\circ$) ve düşük kohezyon ($c=0,005 \text{ kg/cm}^2$) değerine sahiptir. Bu iki numunenin %50 karışımı $0,14 \text{ kg/cm}^2$ kohezyon ve $32,35^\circ$ içsel sürtünme açısına sahiptir. Böylelikle bu karışımın kohezyon değerini artırdığı görülmüştür.

Çimento ham maddesi numunesine %5 oranında uçucu kül eklenmesiyle kohezyon değerinde önce bir artış ($0,16 \text{ kg/cm}^2$) görülmüş, daha sonra %10 ve %15 oranında eklenen uçucu külün kohezyon değerini düşürdüğü (sırasıyla $0,1 \text{ kg/cm}^2$ ve $0,001 \text{ kg/cm}^2$) görülmüştür. İçsel sürtünme açısı değerinin ise eklenen uçucu kül oranlarına göre önce düştüğü sonra yükseldiği görülmektedir.

Yapılan deneyler ve çalışmalar sonucunda, cam ham madde atığı (şlam) numunesinin çimento ham maddesi ile %50 oranında karışımı ile oluşan malzemenin, dolgu malzemesi olarak kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, çimento ham maddesi numunesine uçucu külün katkı malzemesi olarak katılabileceği ve %5 uçucu kül katkısıyla en yüksek mukavemet değerlerine ulaşılabileceği sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak Mersin civarında var olan sanayi tesislerinden ortaya çıkan endüstriyel atıkların ki bunlar çimento hammadde atığı, cam hammadde atığı (şlam) ve termik santrallerden ortaya çıkan uçucu küllerin belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen malzemenin yine bu bölgede oluşturulan atık baraj seddelerinde ve diğer mühendislik yapılarında uygun dolgu malzemesi olarak değerlendirilebileceği ortaya konmuştur.

6. KAYNAKLAR

1. Schmidt, G.C., 1961. Stratigraphic Nomenclature for the Adana Region Petroleum District VII. Petroleum Administration Bull, 6, 47-63.
2. İlker, S., 1975. Adana Baseni Kuzeybatısının Jeolojisi ve Petrol Olanakları, T.P.A.O. Ankara, 63 s, (Yayımlanmamış).
3. Yetiş, C., Demirkol, C., 1986. Adana Baseni Batı Kesiminin Detay Etüdü, MTA. Rapor No: 8037, 187 s., Ankara.
4. Şenol, M., Şahin, Ş., Duman, T., 1998. Adana-Mersin Dolayının Jeoloji Etüd Raporu, MTA Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü, Adana (yayımlanmamış).
5. Kavas, T., Çelik, M., Evcin, A., 2004. Cam Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Endüstriyel Ham Maddeler Sempozyumu, İzmir.
6. Sakatoğlu, S., 2002. Menekşe Köyü(Karaisalı) Killerinin Camiştir Madencilik A.Ş. Atıkları ile Karıştırılarak Tuğla Yapılması Olanaklarının Araştırılması, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Müh. Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana.
7. Ünal, O., Uygunoğlu, T., 2004. Soma Termik Santral Atığı Uçucu Külün İnşaat Sektöründe Değerlendirilmesi, Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler, Zonguldak, s.311.
8. Atanur, A., 1970. Türkiye’de Elde Edilen Uçucu Küllerin Menşeleri, Özellikleri ve Bu Uçucu Küllerin Agregat-Çimento Karışımlarında Portland Çimentosunun Bir Kısmını İkame Edebilmek İmkanlarının Araştırılması, Karayolları Gen. Müd. Araştırma Fen Heyeti Müd. Teknik Bülten Sayı 30. Ankara.
9. Alkaya, D., 2009. Uçucu Küllerin Zemin İyileştirmesinde Kullanılmasının İncelenmesi, Electronic Journal of Construction Technologies, 5 (1) 61-72.
10. Atanur, A., 1970. Türkiye’de Elde Edilen Uçucu Küllerin Menşeleri, Özellikleri ve Bu Uçucu Küllerin Agregat-Çimento Karışımlarında Portland Çimentosunun Bir Kısmını İkame Edebilmek İmkanlarının Araştırılması, Karayolları Gen. Müd. Araştırma Fen Heyeti Müd. Teknik Bülten Sayı 30. Ankara.
11. Çavuşoğlu, İ., 2008. Uçucu Küllerin Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılması: Örnek Bir Uygulama (Çayırhan), 47(3), 3-13.
12. Çuhadaroğlu, D., Kızılgut, S., Çolak, K., 2001. Çatalağzı Termik Santral Uçucu Küllerinden Tuğla Üretim Olanaklarının Araştırılması, Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi.
13. ASTM D 854-02, 2003. Standard Test Method for Specific Gravity of Soils, In: Annual Book

- of ASTM Standards, Volume 04.08, West Conshohocken, 93-99.
14. ASTM, D 4318-00, 2003. Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils, In: Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08, West Conshohocken, 582-595.
 15. ASTM D 422-63, 2003. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, In: Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08, West Conshohocken, 10-17.
 16. ASTM D 698-00a, 2003. Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort. Annual Book of ASTM Standards. American Society For Testing and Materials, 04.08, West Conshohocken, 78-87.
 17. ASTM D 3080-98, 1993. Standard Test Method for Direct Shear of Soils Under Consolidated Drained Conditions, In: Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08, Philadelphia, PA, 417-422.

Experimental Investigation of Stretchability and Bendability Characterization of AISI 1020 Steel

Funda KAHRAMAN^{*1}, Mustafa Kemal KÜLEKÇİ², Mehmet KÜÇÜK³

¹Tarsus Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Tarsus

²Tarsus Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Tarsus

³Tarsus Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Tarsus

Geliş tarihi: 04.02.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Abstract

In this study formability of AISI 1020 steel sheet with different thicknesses was investigated by limiting dome height test at room temperature. The influence of thickness on the stretchability, bendability characteristics and dome height for AISI 1020 steel sheets had been identified from experimental data. Increase in the thickness enhanced stretchability, bendability characteristics and dome height values. Results of experiments indicate that AISI 1020 steel sheets can be used to product components with manufacturing processes based on bending and stretching.

Keywords: Stretchability, Bendability, Formability, Dome height test

AISI 1020 Çeliğinin Gerilebilirlik ve Eğilebilirlik Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Öz

Bu çalışmada, farklı kalınlıklardaki AISI 1020 çelik sacın şekil verilebilirliği, oda sıcaklığında tepe yüksekliği testi kullanılarak araştırılmıştır. AISI 1020 çelik levhalarda kalınlığın; gerilebilirlik, eğilebilirlik karakteristikleri ve tepe yüksekliği üzerindeki etkileri deneysel verilerden tespit edilmiştir. Sac kalınlığındaki artış gerilebilirlik, eğilebilirlik karakteristikleri ve tepe yüksekliği değerleri üzerinde olumlu etki göstermiştir. Deney sonuçları, AISI 1020 çelik sacların gerdirme ve eğme esaslı imalat yöntemlerinde kullanılabilmesini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Gerilebilirlik, Eğilebilirlik, Şekillendirilebilirlik, Tepe yüksekliği testi

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Funda KAHRAMAN, fkahraman@tarsus.edu.tr

1. INTRODUCTION

Sheet metal formability is of great technological and economic interest. Formability is defined as the ability of the sheet metal to undergo the desired shape change without necking and tearing [1,2]. It is well known that metallic materials have different failure mechanisms during formability. Therefore it is essential to test these materials under various stress and strain states, such as 1) stretching, 2) bending, 3) stretch bending, 4) deep drawing and 5) flanging. Figure 1 shows stampings with different stress states [3].

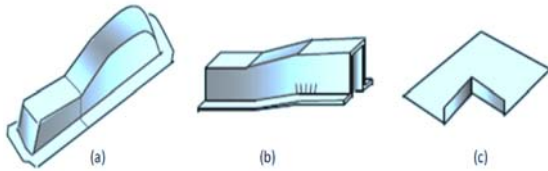


Figure 1. Shapes with different stress states: a) significant stretching, b) moderate stretching and bending, c) high hole expansion and tight bending [3]

Most sheet steels used in automotive and other manufacturing applications requires high ductility, strength and elasticity modulus [4-6]. Mechanical and chemical properties of sheet metal materials such as ultimate tensile strength, yield strength or hardness are not sufficient to account for their formability. Therefore new test methods are needed to identify formability limits to use the sheet metal materials effectively in manufacturing process. In recent years, among the new studies in which the sheet metal formability limits are determined, Forming Limit Diagram (FLD) test has been of concern. Theoretical and experimental FLD methods have been proposed by numerous researchers since 60's [6-14]. Forming Limit Diagrams (FLDs) consist of curves (forming limit curves) plotted in the plane of principal strains. Each curve identifies limit strains when a particular combination of material and process parameters is applied. Stretchability and bendability of sheet

metal is usually characterized by the forming limit diagram of the material. However, experimental determination of FLDs is associated with many difficulties.

There are many tests such as the limiting dome height (LDH) test, Swift cup test, Erichsen test and bend test, hydraulic bulge tests of formability for sheet materials. LDH test is a formability test designed for the sheet metal industry. It tests in or near plane strain. The limiting dome height test simulates the common failure strain states in sheet metal forming processes [2,15].

LDH test can be used for determination of the stretchability and bendability in the industrial applications. The height of the dome at maximum load (near failure) can be used as a measure of stretchability. Stretchability is the increase in length-of-line without fracture. Stretchability is measured by the dome height to dome diameter ratio. Higher this ratio indicates better stretchability. Bendability is often measured by the dome radius to sheet thickness ratio. Smaller this ratio indicates better bendability [3].

In this study the effect thickness on formability had been investigated using LDH test results. Formability of AISI 1020 sheet metal with different thickness had been identified using stretchability, bendability characteristics and dome height parameters obtained from LDH test results.

2. EXPERIMENTAL STUDY

Applications in industry require materials presenting both high strength and formability. In the present work, the stretchability and bendability characteristics and dome height parameter had been used to evaluate the formability of AISI 1020 low carbon steel sheet which is widely used in industry, especially in automotive industry. The chemical composition and mechanical properties of the studied material is given in Table 1.

Table 1. Chemical and mechanical properties of AISI 1020 steel

Chemical compositions (%)	C 0.18-0.23	Mn 0.30-0.60	P 0.040 max	S 0.050 max
Mechanical properties	Tensile strength 380-420 (MPa)	Yield strength 165-205(MPa)	Elongation (%) 15-25	Hardness 100-120 (HB)

The influence of thickness on the stretchability, bendability characteristics and dome height for AISI 1020 steel sheets had been investigated. In the experimental study LDH tests were performed on steel sheets that have thicknesses of 0.5 mm, 1 mm, 1.2 mm, 1.5 mm and 2 mm. Specimens were cut in dimensions of 200x200 mm and located into the die and punch system. Figure 2 shows test setup equipment of LDH test and upper and bottom images of tested/deformed sample. The experimental

studies were performed at the room temperature using a hydraulic press with a capacity of 60 kN. The speed of the spherical tip was selected as constant during the experiments. A spherical punch is used to deform the sheet while a lock fixture clamp prevents material flowing from outside to inside the die as seen in Figure 2. Measured maximum height of dome (H), dome radius (r) and diameter of dome (d) after failure had been given in Table 2 to assess stretchability and bendability.

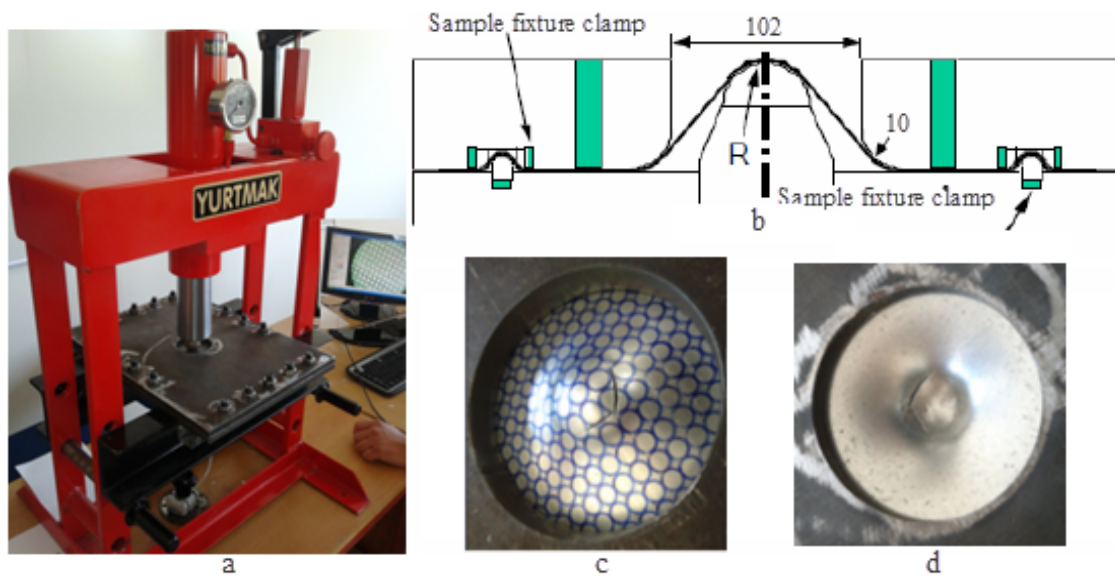
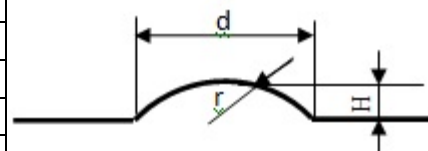


Figure 2. LDH test setup used in experiments. a) Hydraulic press, b) Schematic diagram of tool set up for LDH, Sample Upper (c) and bottom (d) Photograph after LDH test for AISI 1020 steel sheet

Table 2. Experimental results of LDH tests for different thickness of AISI 1020 steel

t (mm)	H (mm)	d (mm)	R (mm)	H/d	r/t
0.5	10	40	20	0.250	40
1	11.1	41.6	20.8	0.266	20.8
1.2	12.4	44.2	22.1	0.280	18.4
1.5	13.4	45	22.5	0.297	15
2	16.7	47	23.5	0.355	11.75



3. RESULTS AND DISCUSSION

In LDH tests the material is forced with a punch having a spherical tip as seen in Figure 2 until it is torn in. Formable sheets are required to be have a certain height of the dome depending on the thickness of the material.

In our study AISI 1020 low carbon steel sheet which is widely used in automotive industry. The most formable sheets are required to be have a certain height of the dome depending on the thickness of material.

The height of the dome at maximum load (near failure) is used as a measure of stretchability.

Stretchability is the increase in length-of-line without fracture. To evaluate it, limiting dome height is commonly used. Stretchability, which is defined as H/d and bendability, which is defined as R/t was computed by using experimental data given in Table 2. Figures 3 and 4 give stretchability and bendability characteristics of AISI 1020 steel sheet with different thickness, respectively. Higher H/d ratio implies better stretchability. Increasing values of thickness enhanced stretchability of the material as seen in Figure 3. Increasing the thickness of the sheet from 0.5 mm to 2 mm increased the stretchability 42%. In their study Li and Wu stated that increasing thickness of the metallic materials reduces fatigue strength and fatigue endurance limit [16].

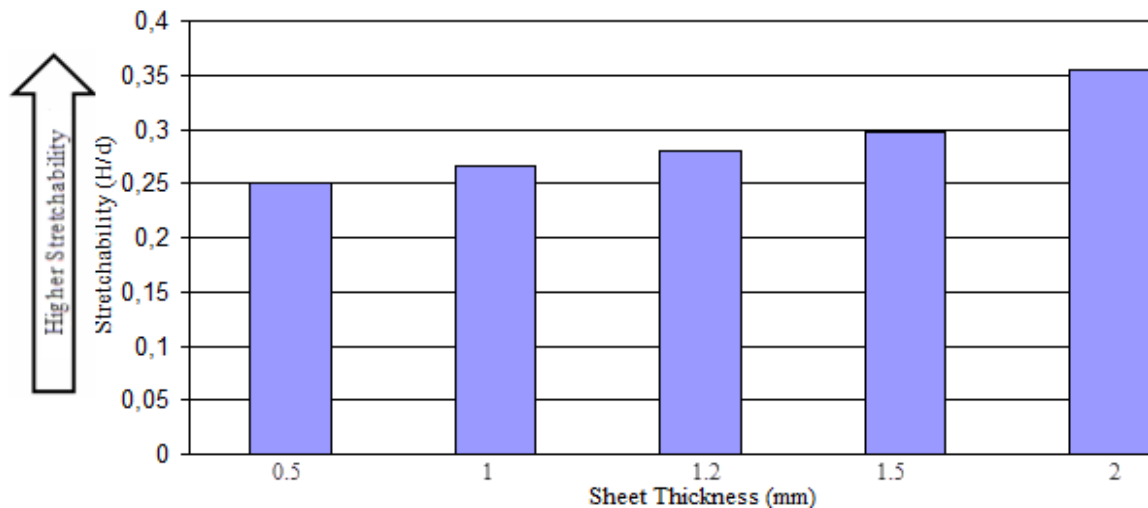


Figure 3. Stretchability of AISI 1020 steel with different thickness

Smaller r/t ratio implies better bendability. As seen in Figure 4 increasing values of thickness enhanced bendability of the material.

Increasing the thickness of the sheet from 0.5 mm to 2 mm increased the bendability 70.6%. As seen in Figure 5 increasing values of thickness enhanced the dome height of the material. Increasing the thickness of the sheet from 0.5 mm to 2 mm increased dome height 67%. The higher value of the height of the dome means the

ductility of the material. Same formability results had been found from stretchability, bendability and dome height for the studied material.

There is accordance between the results data of stretchability, bendability and dome height for studied materials. This accordance also confirms the validity of the study. Results of experiments indicate that AISI 1020 steel sheets can be used to product components with manufacturing processes based on bending and stretching.

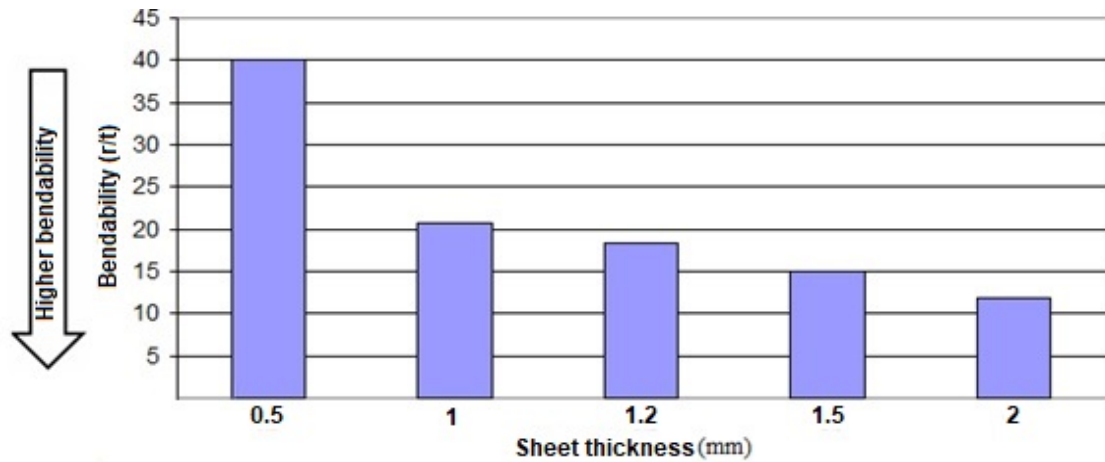


Figure 4. Bendability of AISI 1020 steel with different thickness

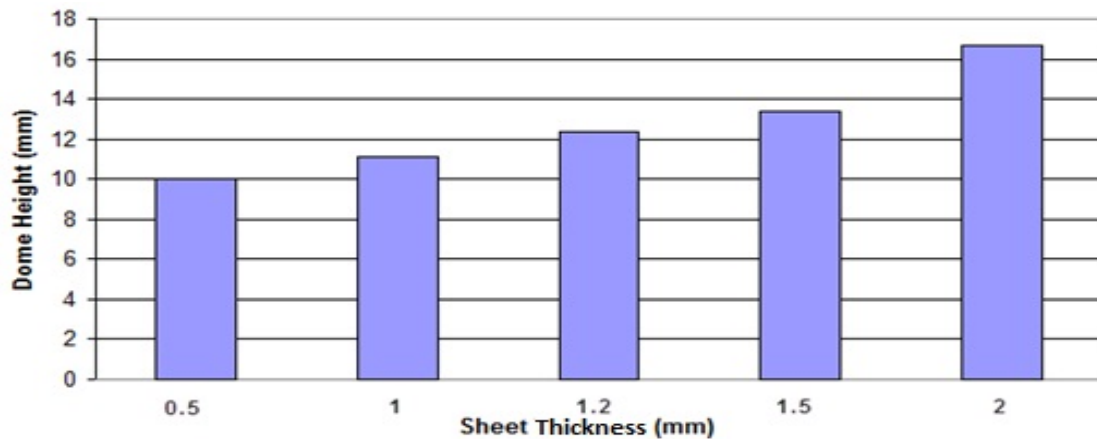


Figure 5. Comparison of dome height of AISI 1020 steel with different thickness

4. CONCLUSIONS

Formability of AISI 1020 steel sheets was investigated by LDH test at room temperature. Effect of sheet thickness on stretchability, bendability characteristics and dome height were discussed. The results are concluded as follows:

The thickness of the ductile materials affects the stretchability, bendability characteristics and dome height.

Increasing values of thickness from 0.5 to 2 mm enhances stretchability and bendability 42% and

70.6%, respectively of the AISI 1020. Higher dome height to dome diameter ratio indicates better stretchability. Increase in the thickness from 0.5 mm to 2 mm results in 67% increase in the dome height.

Smaller dome radius to sheet thickness ratio implies better bendability.

There is accordance between the results data of stretchability, bendability and dome height for studied material.

Stretchability, bendability and dome height properties can be used for evaluation of formability of metallic sheet materials.

AISI 1020 steel sheets can be used to product components with manufacturing processes based on bending and stretching.

5. REFERENCES

1. Oh, K.S., Oh, K.H., Jang, J. H., Kim, D. J., Han, K. S., 2011. Design and Analysis of New Test Method for Evaluation of Sheet Metal Formability. *J. Mater. Process. Technol.*, 211, 695-707.
2. Kalpakjian, S., Schmid, S., 2007. *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, 5th Press, New York.
3. Billur, M.S., Altan, T., 2012. Challenges in Forming Advanced High Strength Steels. *Proceedings of New Developments in Sheet Metal Forming*, 285-304.
4. Chen, M.H., Gao, L., Zuo, D.W., Wang, M., 2007. Application of the Forming Limit Stress Diagram to Forming Limit Prediction for the Multi-step Forming of Auto Panels. *J. Mater. Process. Technol.* 187, 173-177.
5. Moon, K.H.B., 2011. Forming Limit Diagram of Auto-body Steel Sheets for High-speed Sheet Metal Forming. *J. Mater. Process. Technol.* 211, 851-862.
6. Mkaddem, A., Bahloul, R., 2007. Experimental and Numerical Optimisation of the Sheet Products Geometry Using Response Surface Methodology. *J. Mater. Process. Technol.* 189, 441-449.
7. Kulekci, M.K.K., Kahraman F., Esme U., Buldum B., 2015. Cold Formability of AISI 1020 Steel Sheets. *Materials Testing*, 57(3), 200-204.
8. Narayanasamy, R., Narayanasamy, C.S., 2008. Forming Fracture and Wrinkling Limit Diagram for if Steel Sheets of Different Thickness. *Mater. & Design*, 29, 1467-1475.
9. Panich, S., Barlat, F., Uthaisangsuk, V., Suranuntchai, S., Jirathearanat, S., 2013. Experimental and Theoretical Formability Analysis Using Strain and Stress Based Forming Limit Diagram for Advanced High Strength Steels. *Mater. & Design*. 51, 756-766.
10. Samuel, M., 2004. Numerical and Experimental Investigations of Forming Limit Diagrams in Metal Sheets. *J. Mater. Process. Technol.*, 153, 424-431
11. Bong, H. J., Barlat, F., Lee, M. G., Ahn, D. C., 2012. The Forming Limit Diagram of Ferritic Stainless Steel Sheets, Experiments and Modeling. *Int. J. Mech. Sci.*, 64, 1-10.
12. Hecker, S.S., 1975. Simple Technique for Determining Forming Limit Curves. *Sheet Metal Industry*, 53, 671-675.
13. Keeler, S.P., 1965. Determination of Forming Limits in Automotive Stampings, *Sheet Metal Ind.*, 42, 683-91.
14. Narayanasamy, R., Narayanasamy C.S., 2006. Experimental Analysis and Evaluation of Forming Limit Diagram for Interstitial Free Steels. *Mater. & Design*, 28, 1490-1512.
15. Internet Reference, Shri Guru Gobind Singhji Institute of Engg & Technology Department of Production Engineering, <http://prod.sggs.ac.in>
16. Li, G., Wu, Y., 2010. A Study of the Thickness Effect in a Fatigue Design Using the Hot Spot Stress Method. Master of Science Thesis in the Master's Programme Structural Engineering and Building Performance Design. Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.

Garp Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü'ne ait Ömerler Yeraltı Ocağındaki Bantlı Konveyörlerin Verimlilik Analizi

Özer ÖREN¹, Şahin YUVKA¹, Cem ŞENSÖĞÜT*¹, İ. Göktay EDİZ¹

¹Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

Geliş tarihi: 19.02.2019

Kabul tarihi: 27.03.2019

Özet

Madencilik sektöründe kullanılan kazı, yükleme ve nakliye ekipmanlarının performansı, işletme performansını ve dolayısıyla da karlılığını doğrudan etkileyen bir konudur. Makine performansındaki düşüklüklerin temel nedenleri ise; üretim aşamasında makine ve makine dışı sebeplerden kaynaklanan zaman ve üretim kayıplarıdır. Söz konusu ekipmanların performansının artırılması, bu makineler için uygun performans göstergelerinin belirlenmesi ve bu göstergelerin sürekli ölçümü ve denetimi ile mümkündür. Bu çalışma kapsamında; Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Ömerler Yeraltı Ocağındaki bantlı konveyörlerin 5 aylık (Ocak - Mayıs) süreçteki performanslarının belirleyicisi olarak kabul edilen verim, verimlilik ve etkililik değerlerinin tespiti yapılmış ve bu üç değere bağlı olarak makine performansları belirlenmiştir. Buna göre; 5 aylık toplamda 1 no'lu bantlı konveyör %40,64 değeri ile en verimli, 4 no'lu bantlı konveyör 109,21 ton/saat değeri ile verimliliği en yüksek nakliye elemanı olarak belirlenmiştir. Etkililik değerlerine göre %35,46 değeri ile Ocak ayı en etkili çalışma dönemi olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nakliyat, Performans, Verim, Verimlilik, Yeraltı ocağı

The Productivity Analysis of Belt Conveyors in Ömerler Underground Mine of Western Lignite Corporation

Abstract

The performance of excavation, loading and transport equipment used in the mining sector directly affects the operating performance and therefore the profitability. The main reasons for the low machine performance are; time and production losses arising from machine and non-machine causes during the production phase. Improving the performance of such equipment is possible through the determination of suitable performance indicators for these machines and the continuous measurement and supervision of these indicators. In the scope of the present work; the efficiency, productivity and effectiveness values of the belt conveyors in the Ömerler underground mine of Western Lignite Corporation (WLC), which are considered as determinants of 5 months' (January - May) performance, were determined and the machine performances were identified according to these three values. Therefore, the belt conveyor no. 1 is the most efficient with the value of 40.64% and the belt conveyor no. 4 is determined as a transportation unit with the highest efficiency having a value of 109.21 tons/hour. According to the effectiveness values, January is the most effective working period with 35.46%.

Keywords: Transportation, Performance, Efficiency, Productivity, Effectiveness, Underground colliery

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Cem ŞENSÖĞÜT, cem.sensogut@dpu.edu.tr

1. GİRİŞ

Her işletme belirli misyon, amaç ve görevleri gerçekleştirmek için kurulmaktadır. İşletme yönetiminin temel sorumluluğu ise; bu misyon, amaç ve görevleri mümkün olduğunca başarılı şekilde gerçekleştirmektir. Bu bağlamda, bir işletmenin performansı, belirli bir zaman dilimi sonunda işletmenin amaç ya da hedeflerinin yerine getirilme derecesini gösteren çıktı ya da çalışma sonucu olarak tanımlanmakta olup bu çıktı veya sonuçlar nicel veya nitel olarak belirlenebilmektedir. Bu anlamda performans; işletme veya iş sistemi için belirlenmiş olan stratejik, taktiksel ve operasyonel amaçların gerçekleştirilebilmesi için gösterilen tüm çabaların değerlendirilmesi olarak ta tanımlanabilir. İşletme için hedeflere ulaşmada en iyi ya da en başarılı olanın ne olduğu ise yönetimin performans boyutlarına verdiği önem ve önceliğe bağlıdır. Bu bakımdan bütün işletmeler hedeflerine ulaşabilmek için işletme birim ve operasyon düzeyinde performansı ifade eden parametreleri ne olduğunu ve bu parametreleri sürekli ölçmek ve denetlemek zorundadır [1-3].

Günümüzde firmalar açısından performansın sürekli geliştirilmesi rekabet edebilir olmak için vazgeçilmez bir amaçtır. Bu noktada tüm firma ve birimler bazında performansın veya performansı ifade eden göstergelerin ölçümü ve denetimi önem kazanmaktadır. Çünkü ölçülemeyen bir şeyin geliştirilmesi de mümkün değildir. Performans ölçüm ve denetiminin önemini anlatan diğer konuları ise aşağıda belirtilen başlıklar altında şöyle sıralayabiliriz:

- İşletmenin devamlılığını sürdürebilmek için örgüt içerisinde performans ve verimlilik anlayışını yaratmak ve devam ettirebilmek,
- Yönetimin temel görevleri olan planlama, yöneltme, uygulatma ve kontrol etme işlevlerinin sağlıklı yerine getirilmesi için işletme performansına ait bilgilerin sürekli yönetime beslenmesi gerekmektedir. Böylece sisteme ne zaman, nerede müdahale edileceğini bilmek,
- İşletmenin mevcut ve potansiyel sorunlarını erken belirleyerek gelişme gerektiren alanları saptamak,

- Gerçekleştirilen etkinliklerin sonucunu değerlendirmek ve ilgili bilgilerin tüm düzeylere iletimini sağlamak,

Yapılan ölçümler ve bu ölçümlerin değerlendirilmesi sonucunda örgüt içerisindeki kişiler arasındaki iletişim sağlanmakta veya optimize edilmekte ve kişisel gelişim sağlanmaktadır. Ortaya çıkan kişisel gelişim örgütsel gelişime de katkı sağlamaktadır [2,3].

Yeraltı madencilığının temel üretim süreçlerini kazı, yükleme ve nakliyat olmak üzere üç ana başlık altında toplamak mümkündür. Dolayısıyla bu başlıklarda meydana gelebilecek herhangi bir aksaklık ya da verimsiz çalışma işletmenin performansını doğrudan etkilemektedir. Bu noktada nakliyat ünitelerinin performansını artırmak için performansı en sağlıklı şekilde ifade eden göstergelerin belirlenmesi, bu göstergelerin sürekli olarak ölçüm-denetimi ve sonrasındaki iyileştirme çalışmalarının hayata geçirilmesi önem kazanan konular olmaktadır.

Bu çalışmada; Garp Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü'ne ait Ömerler Yeraltı Ocağı'ndaki nakliye ünitelerinin performanslarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu performansın ölçütü olarak ise makinelerin verim, verimlilik ve etkililik değerleri dikkate alınmıştır.

2. PERFORMANS BOYUTLARI

Bir işletme açısından performans kavramı ve boyutları zamana bağlı olarak ciddi değişimler göstermektedir. Esasta bu değişimlerin temel sebebi yönetim anlayışlarının değişmesidir. Geleneksel yönetim anlayışında en düşük maliyette en yüksek karı ve üretimi elde etmek amaçlanırken, günümüz rekabetçi koşullarında müşteri doyumu, kalite, yenilik, ekip çalışması ve yaratıcılık gibi kavramlar önem kazanmıştır. Dolayısıyla günümüz yönetim anlayışında performans daha geniş boyutta incelenmekte ve ölçülmektedir. Örneğin klasik anlayışta performans kavramı verimlilik kavramı ile özdeş kabul edilmesine rağmen modern anlayışta verimlilik performansın sadece bir boyutu olarak kabul görmektedir. Genel olarak örgütsel bir sistemde performans kavramı 7 ayrı performans

boyutu ile tanımlanmaktadır. Bu boyutlar etkililik, verim, verimlilik, kalite, yenilik, çalışma yaşamının kalitesi ve karlılık olarak karşımıza çıkmaktadır [3].

Çalışma kapsamında, üretim kaynaklarının performanslarının belirlenmesinde ağırlık olarak kullanılan etkililik (etkinlik), verim ve verimlilik ölçütlerinden yararlanılmıştır. Buna göre etkililik; örgütlerin tanımlanmış amaçlarına ulaşmak amacıyla gerçekleştirdikleri etkinliklerin sonucunda bu amaca ulaşma derecesi olarak tanımlanmaktadır. Amaçların gerçekleşme düzeyini işletmenin çıktıları ile ilişkilendirerek belirler. Bundan dolayı etkililik işletme düzeyinde toplam performansı yansıtan en önemli performans boyutudur. Doğru işlerin yapılması olarak ta ifade edilen etkililik Eşitlik 1'deki gibi tanımlanır;

$$\text{Etkililik} = \frac{\text{Gerçekleşen Çıktı}}{\text{Beklenen Çıktı}} \quad (1)$$

Burada elde edilen etkililik değeri "1"den büyükse örgütler beklenenden daha etken, düşükse beklenenden daha düşük performansa sahiptir. Makul etkililik değeri "1"dir [3].

Kamu sektöründe etkililik kavramı, eldeki kaynakların en iyi şekilde kullanılarak kamu hizmetlerinin sunumunun yapılması olarak açıklanabilir. Kamu hizmetlerinin etkin olmasında başarılması gerekenler sırasıyla [4]:

- Girdilerin (çalışanlar, kaynaklar, vb.) azaltılarak aynı düzeyde hizmet sunumu sağlanması,
- Kamu hizmetlerinin sağlanması için ihtiyaç duyulan kaynakların maliyetinin düşürülmesi,
- Hizmetin niteliği ve niceliğinin artırılması gibi ek çıktıların aynı girdilerle yapılması,
- Çıktının oranını girdinin bir ünite maliyetine göre artırılması,
- Aynı girdilerle, daha fazla çıktıların elde edilmesi için farklı çıktılar arasındaki dengenin, ortak bir hedefi gerçekleştirmeyi bulacak bir yola göre değiştirilmesidir. Verim; ürün ve hizmet süreci içinde üretim kaynaklarının ne düzeyde ve nasıl kullanıldığını gösteren performans boyutudur.

Verim işletmenin çıktıları ile değil girdileri yani kaynak tüketimi ile ilgilidir. Amaçlara değil araçlara yöneliktir. Yani işlerin doğru yapılıp yapılmadığını belirler. Bir işletme etken olduğu halde verimli olmayabilir veya tam tersi bir durum da söz konusu olabilir.

$$\text{Verim} = \frac{\text{Tüketilen Girdi (kaynak)} \times 100}{\text{Potansiyel Girdi (kaynak)}} \quad (2)$$

Verim oranının "1" olması standart verim düzeyini, "1" den büyük olması ise standarttan daha yüksek verim düzeyini ifade eder [3]. Verimlilik; bir üretim sürecinin çıktısının ne kadar girdi (kaynak) kullanılarak elde edildiğini açıklar. Dolayısıyla en yüksek verimlilik, en düşük kaynak harcaması ile en yüksek sonuca ulaşmanın ifadesidir. Eğer herhangi bir üretim biriminde o birimde kullanılan malzeme, makine, iş gücü, enerji ve yönetim kaynaklarının bileşiminden daha önceki dönemlere göre daha fazla ve daha iyi ürün elde edilmişse o birimin verimliliği artmış olur. Verimliliğin en genel ifadesi Eşitlik 3'te verilmiştir.

$$\text{Verimlilik} = \frac{\text{Çıktı}}{\text{Girdi}} \quad (3)$$

Bu ifadeye göre verimlilik; aynı girdi ile daha çok çıktı sağlayarak, aynı çıktıyı daha az girdi ile sağlayarak veya çıktıyı girdi artışından daha yüksek düzeyde artırarak yükseltilir. Günümüzde verimlilik; "çıktı/girdi"nin yanında pek çok kaynağın etkileşimi göz önüne alınarak belirlenmektedir. Verimlilik artışı, işletme düzeyinde uzun vadede daha düşük maliyet ve daha yüksek karın bir göstergesi olmak ile beraber, üretim artışı her zaman verimlilik artışını ifade etmemektedir. Bununla beraber verimlilik analizleri ancak verim analizleri ile beraber yapılırsa anlamlı olmaktadır. Aksi takdirde yanlış yorumlar yapılabilmektedir [1,3].

3. ÜRETİM KAYNAKLARININ TEMEL PERFORMANS GÖSTERGELERİ

Üretim kaynaklarının performansının ölçümünde ağırlıklı olarak kullanılan 3 temel gösterge

etkililik, verimlilik ve verimdir. Bu göstergelerin sağlıklı olarak hesaplanabilmesi ve yorumlanabilmesi için iş etütleri ile yapılacak ölçümlerden elde edilecek verilere ihtiyaç duyulur. Bir üretim kaynağının veya bir makinenin etkililiği (E) kapasiteye bağlı olarak belirlenmekte olup Eşitlik 4 ve 5'teki gibi ifade edilir;

$$E = \frac{\text{Kullanılan kapasite}}{\text{Kuramsal (Kullanılabilir veya Planlanan kapasite)}} \quad (4)$$

Bir makinenin verimliliği (MV) ise girdi ve çıktıya bağlı olup aşağıdaki göstergeyle belirlenmektedir;

$$MV = \frac{\text{Üretimin fiziksel (parasal) değeri}}{\text{Kullanılan makinesaatleri (toplam makine giderleri)}} \quad (5)$$

Makine girdisi verim oran göstergelerini açıklamadan önce bu oranların hesaplanmasında kullanılacak kavramların açıklanması faydalı olacaktır. Buna göre;

Kuramsal makine süresi: Belli bir devre içinde bir makinenin ya da makine grubunun çalışabileceği en uzun süredir (Örneğin haftada 168 saat ya da günde 24 saat gibi).

Kullanılabilir makine süresi: Devam süresi içinde bir makinenin çalışabileceği süredir (Örneğin bir iş günü ya da iş haftası – hizmet dışı süreler + ek çalışma süresi).

Boş makine süresi: Makinenin üretim ya da diğer yan işlerin yapılmasına hazır olmasına karşın iş, malzeme, enerji ya da işçi yokluğundan dolayı çalıştırılmadığı süredir.

Makine hazırlık süresi: Değiştirmeler, ayar, kurma, sökme, temizlik vb. gibi nedenlerle makinenin geçici olarak kullanılmadığı sürelerdir.

Makine duruş süresi: Makinenin bozulma ve bakım gibi nedenlerle üretimde kullanılmadığı sürelerdir.

Makine çalışma süresi: Makinenin fiili olarak çalıştığı süredir [Kullanılabilir makine süresi– (Makine duruş süresi + Boş makine süresi + Makine hazırlık süresi)].

Standart makine çalışma süresi (standart zaman): Makinenin en uygun koşullarda üretime harcaması gereken süredir [5].

Açıklanan bu kavramlara göre makine verim oranları (MVO) Eşitlik 6 ve 7'deki gibi belirlenir;

$$MVO_1 = \frac{\text{Makine çalışma süresi}}{\text{Kullanılabilir makine süresi}} \quad (6)$$

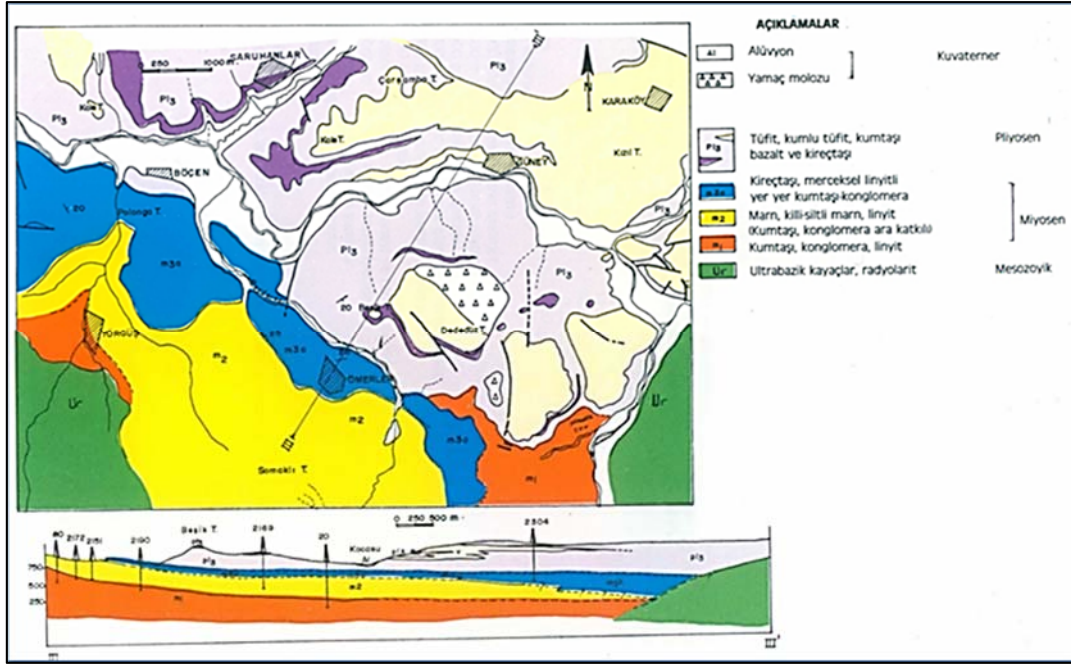
$$MVO_2 = \frac{\text{Standart makine çalışma süresi}}{\text{Makine çalışma süresi}} \quad (7)$$

4. GARP LİNYİTLERİ İŞLETMESİ MÜDÜRLÜĞÜ

Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ); Tunçbilek, Değirmisaz ve Soma linyit ocaklarının birleştirilmesiyle 01.01.1940 tarihinde Etibank'a bağlı olarak kurulmuş olup, 15.09.1957 tarihinden itibaren de 6974 sayılı kanunla kurulan Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ) içinde yer almıştır. Başlangıçta Balıkesir'de bulunan müessese merkezi 07.07.1941 tarihinde Tavşanlı'ya nakledilmiştir. GLİ Müdürlüğü, halen Kütahya ili Tavşanlı ve Domaniç ilçe sınırları içerisinde kalan IR 4364 no.lu imtiyaz sahasında açık ocak ve yeraltı işletmeleri olarak faaliyet göstermektedir. Programlanan 4.200.000 ton/yıl tüvenan linyit kömürü üretiminin yaklaşık %80'i açık ocaklardan, %20'si ise yeraltı işletmelerinden gerçekleştirilmektedir. Türkiye linyit rezervinin yaklaşık olarak %4,6'sı Tunçbilek'te bulunmaktadır. Yıllık toplam 50 milyon ton satılabilir linyit üretimi yapılan ülkemizde bu üretimin yaklaşık %7,5'ini Garp Linyitleri İşletmesi gerçekleştirmektedir [6].

4.1. Tunçbilek Linyit Havzasının Jeolojik Yapısı

Tunçbilek linyit havzası, neojen sedimanları içinde alt ve üst seri olmak üzere iki seri halinde bir oluşuma sahiptir. Tunçbilek serisi olarak adlandırılan alt seri, ofiolitik bir temel üzerinde diskordan olarak yer almakta olup esas kömür damarı bu seri içerisinde yer almaktadır. Geriye kalan üst seri Domaniç serisi ismini

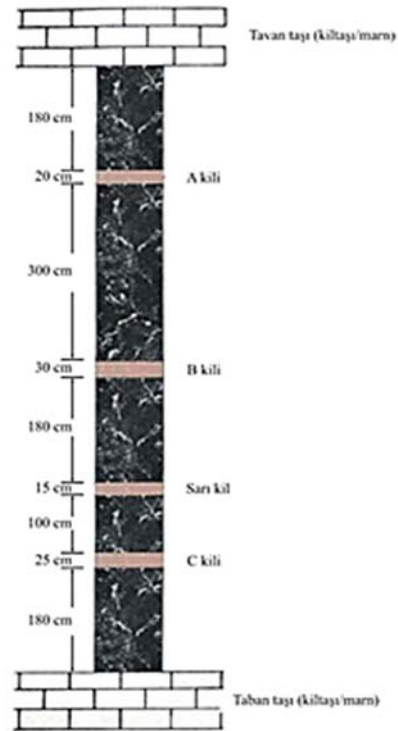


Şekil 1. Tunçbilek havzası jeolojik haritası

almakta ve yerleşim olarak Tunçbilek serisinin üzerinde konumlanmaktadır [7]. Tunçbilek bölgesine ait jeolojik harita Şekil 1'de gösterilmiştir [8].

Ana linyit damarının genel olarak yatımı 10° civarında ve kalınlığı 4-12 m arasında olup, damar içinde belirli kalınlıklarda tabaka ve adese şeklinde ara kesmeler mevcuttur. Bunların en önemlileri, yukarıdan aşağı olmak üzere A, B ve C killeri olarak adlandırılmakta olan ara kesmelerdir. Bu ara kesmelerden başka C kilinin 1 m kadar üzerinde "sarı kil" olarak isimlendirilen bir ara kesme daha bulunmaktadır. A kili tavan taşından itibaren 130-180 cm mesafede ve 15-20 cm kalınlıktadır.

Bu kil tabakasına her kesitte rastlanmamakla birlikte genellikle ya çok ince ya da arada kömür tabakası olmadan birleşmiş olarak rastlanmaktadır. B kili 25-30 cm kalınlıkta ve taban taşından yaklaşık 5 m yukarıda damarın ortasında yer almaktadır. C kili ise, 20-25 cm kalınlıkta ve taban taşından 180-200 cm yukarıdadır (Şekil 2) [9].



Şekil 2. Tunçbilek kömür damarı stratigrafisi

4.2. Ömerler Mekanize Yeraltı Ocağı

Ömerler-A sahası yeraltı kömür ocağındaki üretim, GLİ Yeraltı İstihsal Şube Müdürlüğü bünyesinde çalışan kendi personeliyle gerçekleştirilmektedir. Ömerler-A yeraltı ocağında şilt tipi tahkimatların kullanıldığı, arkadan blok göçertmeli tam mekanize uzun ayak üretim yöntemi ile kömür üretimi yapılmaktadır. Ömerler-A sahasının sınırları Şekil 3'de mor renkle gösterilmiştir [10].

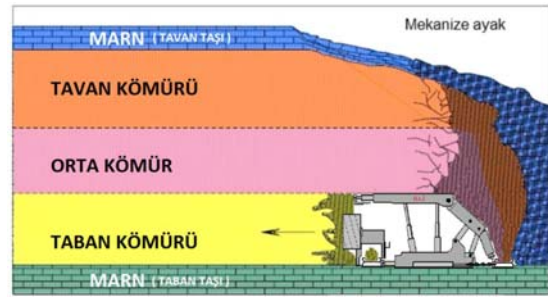


Şekil 3. Ömerler-A sahasına ait ocak sınırları

Çalışma sahası içindeki kalan kömür rezervi 18 milyon ton civarındadır. Kömür damarı kalınlığı 5-12 m arasında değişmekte olup, ortalama 8 m kalınlığa sahiptir. Yeraltı ocağında çalışılan en derin kısım +469 kotunda olup A1 panosu içerisinde. Örtü tabakası kalınlığı yaklaşık 330 m'dir. Uygulanan üretim yöntemi; geri dönüşlü, arkadan blok göçertmeli, tam mekanize uzun ayak yöntemidir. Kömür damarının kalınlığından dolayı tek katlı yöntem

uygulanmaktadır. Üretim yönteminin kesit görünümü Şekil 4'de verilmiştir.

Kömür damarının tabanından tavan (malzeme yolu) ve taban (kömür yolu) yolları sürülüp birbirine bağlanarak ayaklar oluşturulur. Ayak içi uzunlukları 90-110 m arasında olup oluşturulan panolar arasında 20 m topuk bırakılmıştır. Ayak üretimleri kömür damarının 3 m'lik kısmı arından, 5 m'lik kısmı ayak arkasından alınmaktadır. Halen A-2 panosunda üretim yapılmakta olup; A-1 ve A-6 panolarında hazırlık işleri devam etmektedir. Ana nakliyat yolları ve hazırlık bacalarında geçilen formasyonun durumuna göre püskürtme beton+çelik tahkimat veya sadece çelik tahkimat, ayaklarda ise mekanize tahkimat uygulanmaktadır [10].



Şekil 4. Ömerler-A sahasında uygulanan üretim yönteminin kesit görünümü

5. METOT

Çalışma kapsamında, GLİ'deki bantlı konveyör ünitelerinin performansının ölçütü olarak verim, verimlilik ve etkililik parametreleri kullanılmıştır. Bu göstergeler ise; makinelerin işletmeden temin edilen makine girdi ve çıktı değerleri yardımı ile belirlenmiştir. Makinelerin temel girdisi olarak zaman (saat) ve temel çıktısı olarak ise üretilen miktar (ton) dikkate alınmıştır. Her bir nakliye ünitesi için hem vardiya bazında hem de günlük ve aylık miktarda verim, verimlilik ve etkililik değerleri belirlenerek performans indeksi Eşitlik 8'de verilen formülasyonla hesaplanmıştır;

Performans indeksi=VerimxVerimlilikxEtkililik (8)

Burada her bir makine için "verimlilik" değeri (ton/saat); toplam (gerçekleşen) üretim değerinin

kullanılabilir makine çalışma süresine, “verim” değeri (%); makine fiili çalışma süresinin kullanılabilir makine süresine, “etkililik” değeri (%) ise; gerçekleşen üretim değerinin planlanan üretim değerine bölünmesi ile belirlenmiştir. Söz konusu göstergelere ait eşitlikler aşağıda verilmiştir (Eşitlik 9-11);

$$\text{Verim (\%)} = \frac{\text{Makine fiili çalışma süresi}}{\text{Kullanılabilir makine çalışma süresi}} \quad (9)$$

$$\text{Verimlilik} \left(\frac{\text{ton}}{\text{sa}} \right) = \frac{\text{Gerçekleşen üretim miktarı}}{\text{Kullanılabilir makine çalışma süresi}} \quad (10)$$

$$\text{Etkililik (\%)} = \frac{\text{Gerçekleşen üretim miktarı}}{\text{Planlanan üretim miktarı}} \quad (11)$$

Çalışma dâhilinde gerek üretim aşamasında kesintisiz faaliyet göstermesi gerekse de 5 aylık inceleme sürecinde sağlıklı veri akışının sadece

1, 2, 3 ve 4 no’lu bantlı konveyörlerden gerçekleşmesinden dolayı bahsi geçen bantlı konveyörlerin performansları ve bu performansın hesaplanmasında etkili olan gösterge değerleri dikkate alınmıştır. Bu aşamada monoray ve kulikar gibi nakliye ünitelerinin direk üretime dahil olmaması ve işletme yetkilileri ile yapılan ikili görüşmeler sonucunda üzerlerine düşen iş yükünü optimal şekilde gerçekleştirmesi ve ayrıca zincirli konveyörden düzenli veri alınamayışı gibi sebeplerden ötürü bu ünitelerin değerlendirilmeleri yapılmamıştır. Buna göre; planlanan aylık üretim miktarı 50.000 ton olan işletmenin günde 3, aylık ise 80 vardiya üzerinden çalıştığı kabulü ile her bir bant için vardiya başına 625 ton’luk bir üretime sahip olması gerektiği tespit edilmiş ve gösterge değerleri buna göre belirlenmiştir. Örnek olması açısından Ocak ayına ait gösterge girdi ve çıktı değerleri 1 no’lu bant için Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. 1 no’lu bantlı konveyör için 2018 Ocak ayına ait gösterge girdi ve çıktı hesaplamaları

	Toplam Üretim (ton)	Planlanan Üretim (ton)	Boş Makine Süresi (saat)		Makine Duruş Süresi (saat)					Makine Hazırlık Süresi (saat) Ayar, sökme, temizlik vb.	Fiili Çalışma Süresi (saat)	Kullanılabilir Makine Çalışma Süresi (saat)
			Enerji kesintisi	Üretime bağlı duraksamalar	Bakım	Yıllık bakım	Mekanik arıza	Elektrik arızası	Yangın, Göçük vb.			
01.01.2018	676	1875	-	16,1	-	-	-	-	-	-	8,05	24,15
02.01.2018	785	1875	-	11,82	-	-	-	-	-	-	10,97	22,78
03.01.2018	681	1875	-	9,77	-	-	-	-	-	-	12,38	22,15
04.01.2018	337	1875	-	15,23	-	-	-	-	-	-	8,1	23,33
05.01.2018	816	1875	-	8,63	-	-	-	-	-	-	11,73	20,37
06.01.2018	167	1875	-	102	-	-	-	-	-	-	9,3	19,5
07.01.2018	0	1875	-	24	-	-	-	-	-	-	0	24
08.01.2018	1073	1875	-	10,82	-	-	-	-	-	-	11,6	22,42
09.01.2018	1239	1875	-	9,7	-	-	-	-	-	-	12,15	21,85
10.01.2018	527	1875	-	9,6	-	-	-	-	-	-	12,68	22,28
11.01.2018	661	1875	-	7,02	-	-	-	-	-	-	10,83	17,85
12.01.2018	692	1875	-	14,68	-	-	-	-	-	-	8,27	22,95
13.01.2018	858	1875	-	9,63	-	-	-	-	-	-	12,63	22,27
14.01.2018	502	1875	-	12,45	-	-	-	-	-	-	10,95	23,4
15.01.2018	300	1875	-	11,75	-	-	-	-	-	-	11,37	23,12
16.01.2018	1118	1875	-	9,98	-	-	-	-	-	-	11,83	21,82
17.01.2018	505	1875	-	9,7	-	-	-	-	-	-	9,93	19,63
18.01.2018	75	1875	-	11,2	-	-	-	-	-	-	8,82	20,02
19.01.2018	0	1875	-	12,4	-	-	-	-	-	-	6,78	19,18
20.01.2018	0	1875	-	10,15	-	-	-	-	-	-	10,93	21,08
21.01.2018	148	1875	-	12,18	-	-	-	-	-	-	10,62	22,8
22.01.2018	556	1875	-	12,12	-	-	-	-	-	-	11,77	23,88
23.01.2018	778	1875	-	10,53	-	-	-	-	-	-	12	22,53
24.01.2018	526	1875	-	11,37	-	-	-	-	-	-	12,8	24,17
25.01.2018	1049	1875	-	9,08	-	-	-	-	-	-	12	21,08
26.01.2018	1263	1875	-	6,17	8	-	-	-	-	-	9,2	23,37
27.01.2018	572	1875	-	11,95	-	-	-	-	-	-	11,38	23,33
28.01.2018	1360	1875	-	12,95	-	-	-	-	-	-	11,35	24,3
29.01.2018	459	1875	-	12,23	-	-	-	-	-	-	11,28	23,52
30.01.2018	354	1875	-	13,07	-	-	-	-	-	-	13,75	26,82
31.01.2018	538	1875	-	13,07	-	-	-	-	-	-	11,35	24,42

Çizelge 1'de; 1 no'lu bantlı konveyör için işletmeden alınan verilerden hareketle boş makine süresi, makine hazırlık süresi, makine duruş süresi ve fiili çalışma saatleri ayrı ayrı belirlenmiş ve bu değerlerin aritmetik olarak toplanması suretiyle kullanılabilir makine çalışma süreleri günlük bazda hesaplanmıştır. Enerji kesintisi ve üretime bağlı olarak gerçekleşen duraksamalar boş makine süresi altında değerlendirilmiştir.

Önceki başlıklarda da belirtildiği üzere boş makine süresi; makinenin üretim ya da diğer yan işlerin yapılmasına hazır olmasına karşın iş, malzeme, enerji ya da işçi eksikliğinden kaynaklanan süreyi temsil etmektedir.

Çizelge 1'de 1 no'lu bantlı konveyörün Ocak ayı boyunca genellikle herhangi bir mekanik ya da elektrik arızasının olmadığı halde üretime bağlı duraksamalarındaki fazlalığı net bir şekilde gözükmektedir.

Üretime bağlı olarak gerçekleşen duraksamalar tespit edilirken çalışma kapsamında incelenen tüm bantlı konveyörlerin sürekli olarak kesintisiz bir şekilde çalışması gerektiği kabul edilmiştir. Bantların vardiya başlangıç ve bitiş süreleri içerisinde çalışıp durduğu ve tekrar çalışmaya başladığı zaman dilimleri dikkate alınarak üretime bağlı duraksamalar ve fiili çalışma süreleri bulunmuştur.

Değiştirmeler, ayar, kurma, sökme, temizlik vb. başlıklar makine hazırlık süresi içerisinde incelenmiş olup, bu ay içerisinde 1 no'lu bantlı konveyör için hazırlık süresinden kaynaklı herhangi bir zaman kaybı yaşanmamıştır.

Bakım, yıllık bakım, mekanik arıza, elektrik arızası, yangın, göçük vb. olumsuzlukların yaşandığı ve de bu nedenlerden ötürü makinenin çalışmadığı süreler makine duruş süresi olarak kategorize edilmiştir. Bu ayda sadece "26 Ocak" tarihinde 1 no'lu konveyörün bakım dolayısıyla tek vardiya yani 8 saat boyunca çalışmadığı görülmektedir.

5.1. Performans Göstergeleri ve Performansların Belirlenmesi

Ocak-Mayıs ayları arasında işletmeden temin edilen bilgiler doğrultusunda her bir bantlı konveyör için verim, verimlilik, etkililik ve buna bağlı olarak performans indeksi değerleri yukarıda bahsedilen ampirik eşitlikler aracılığıyla bulunmuş ve yorumlar bu değerler üzerinden yapılmıştır.

Her bir bantlı konveyör için günlük bazda hesaplanan gösterge değerleri ve performans indeksleri aylık olarak irdelenmiş ve sonuçta hem ay bazında hem de 5 aylık süreçte bantlar arasındaki farklar karşılaştırılmıştır.

Ayrıca söz konusu gösterge değerleri ideal verim, verimlilik, etkililik ve performans değerleri ile kıyaslamaya tabi tutulmuştur. İdeal değerler literatür ve katalog verilerinden hareketle belirlenmiş ve verim değerinin %80, verimlilik değerinin 1200 ton/saat, etkililik değerinin ise %100 olacağı düşünülerek karşılaştırmalar yapılmıştır.

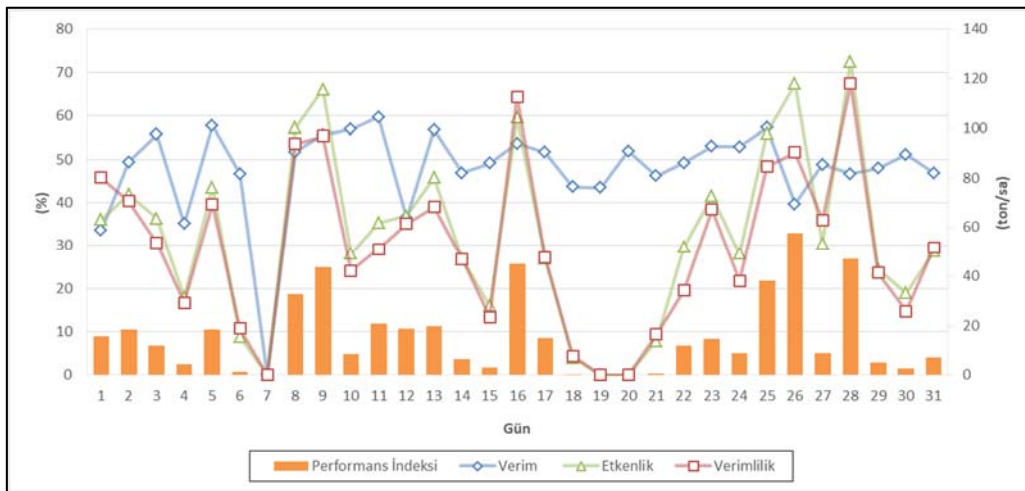
Veri kalabalığını azaltmak amacıyla örnek olması açısından sadece Ocak ayına ait 1 no'lu bantlı konveyöre ait performans göstergeleri ve performans değerleri Çizelge 2 ve Şekil 5'te verilmiştir.

Çizelge 2 ve Şekil 5 incelendiğinde, en yüksek verimle çalışılan gün "11 Ocak", verimliliği en yüksek olan gün ise "28 Ocak" olarak görülmektedir. Bu ay içerisinde yine "28 Ocak" tarihinde etkililik değerinin diğer günlere nazaran daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır.

Bu bağlamda verimlilik ve etkililik değerlerinin yüksek çıkmasının nedeni; söz konusu tarihte gerçekleştirilen üretim miktarının (1360 ton) diğer günlere kıyasla daha fazla gerçekleşmesidir. Konveyörden alınan performansın en yüksek olduğu gün ise "26 Ocak" tarihidir.

Çizelge 2. 1 no'lu bantlı konveyör Ocak ayı performans göstergeleri

Ocak'18	Verim (%)	Verimlilik (ton/saat)	Etkililik (%)	Performans (ton/saat)
1	33,50119	80,0927441	36,05333	15,618269
2	49,41932	70,5422732	41,86667	18,3924019
3	55,68121	53,4805543	36,32	11,741161
4	35,04301	29,2374278	17,97333	4,45193522
5	57,75205	69,4170132	43,52	18,4428211
6	46,63669	18,7901572	8,906667	1,34304547
7	0	0	0	0
8	51,75887	93,7130529	57,22667	32,836145
9	55,59204	96,8043466	66,08	43,6204964
10	56,87986	42,2054297	28,10667	8,59034343
11	59,6893	50,9082582	35,25333	20,920235
12	36,41591	61,3266301	36,90667	18,6045091
13	56,79579	68,2130808	45,76	19,6385841
14	46,87855	46,9248501	26,77333	6,41460161
15	49,11582	23,407225	16	3,1051827
16	53,6308	112,606394	59,62667	45,0950446
17	51,64357	47,409238	26,93333	15,0097407
18	43,62888	7,8125	4	0,47368421
19	43,40597	0	0	0
20	51,90342	0	0	0
21	46,12439	16,4862892	7,893333	0,78188944
22	49,20584	34,1997819	29,65333	11,9205625
23	52,94097	67,2207561	41,49333	14,561708
24	52,92375	38,0842737	28,05333	8,92533659
25	57,24558	84,4813896	55,94667	38,0833347
26	39,65935	90,308642	67,36	57,4912402
27	48,80461	62,8452381	30,50667	8,7143058
28	46,69983	117,872007	72,53333	47,1496258
29	47,91188	41,3603734	24,48	5,14844631
30	51,1345	25,8237154	18,88	2,5348147
31	46,88924	51,4165477	28,69333	7,0881493



Şekil 5. 1 no'lu bantlı konveyör Ocak ayı performans göstergeleri ve performansı

5.2. Bantların Aylık Performanslarının Karşılaştırılması

4 adet bantlı konveyörün her biri için 5 aylık süre boyunca performans göstergeleri ve performans değerleri Şekil 6-10 ve Çizelge 3-6'da verilmiştir. Buna göre; en fazla üretimin 18.615 ton ile Ocak ayında gerçekleştiği görülmektedir. Bu üretim miktarı ile orantılı olarak bantların performans değerleri de diğer aylara kıyasla artış göstermiştir.

Ocak 2018

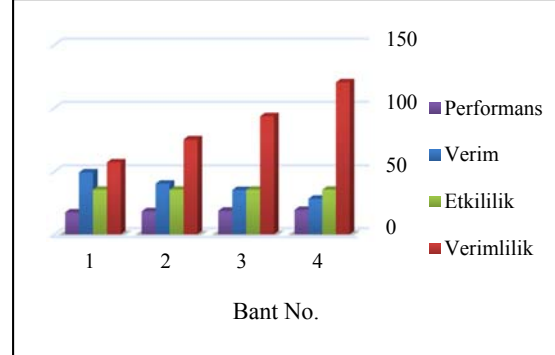
Bantların Ocak ayı kendi aralarındaki performansları incelendiğinde; 4 numaralı bantlı konveyörün 19,42 ton/saat değeri ile performansının diğer bantlara göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Bu performansın yakalanmasında özellikle bantların verimlilik göstergelerinin etkili olduğu gözükmektedir. Buradaki en büyük etkeninin daha az fiili çalışma süresi (168,3 saat) ile aynı miktarda üretimin (18.615 ton) gerçekleştirilmesi olduğu söylenebilir.

Verim değerleri açısından duruma bakıldığında; 1 numaralı bantın Ocak ayında diğer bantlara göre daha verimli çalıştığı buna karşın verimlilik değerinin diğer bantlar ile mukayese edildiğinde daha düşük olduğu gözle çarpılmaktadır.

Verim yüzdesinin 1. bant için üst seviyelerde çıkmasının nedeni; özellikle üretim süreci boyunca daha az zaman kaybı yaşaması ve diğer bantlara göre kesintisiz üretim periyoduna sahip olması olarak açıklanabilir.

Etkililik değeri toplam üretim ve planlanan üretimlerin sabit olması nedeni ile her bir bant için eşit değerler (%35,46) almıştır. Makine zaman kayıpları her bir bant için sırasıyla üretime bağlı duraksamalar (%51,78; %59,96; %64,93 ve %71,88) ve bakım (%1,15; %1,20; %1,24 ve %1,28) başlıklarında gerçekleşmiştir.

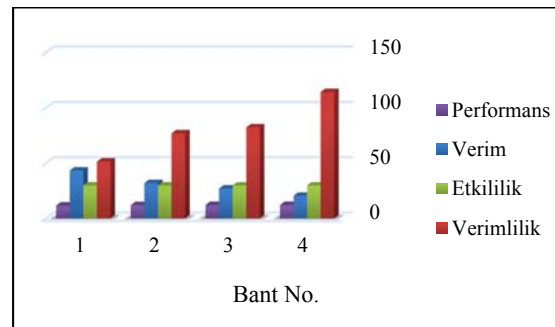


Şekil 6. Bantlı konveyörlerin Ocak ayı performans göstergeleri ve performansı

Şubat 2018

Ocak ayı ile kıyaslandığında bantlı konveyörlerin Şubat ayında performans göstergelerinde ve performans değerlerinde bir düşüş yaşandığı görülmektedir. Performans indeksi genel olarak tüm bantlarda birbirine yakın değerlerde seyretmiştir. Bantlar arasında 3 numaralı bant en yüksek performans değerine (12,22 ton/saat) sahipken, 1 numaralı bant en düşük değeri (%11,65 ton/sa) almıştır.

En yüksek verim %43,42 değeri ile 1 numaralı banda ait olup; verimlilik açısından 114,37 ton/saat ile 4 numaralı bant diğer bantlara oranla daha yüksek bir orana sahiptir. Makine zaman kayıpları her bir bant için sırasıyla üretime bağlı duraksamalar (%54,09; %65,50; %70,62 ve %77,26) ve bakım (%2,38; %2,46; %2,48 ve %2,46) başlıklarında gerçekleşmiştir.



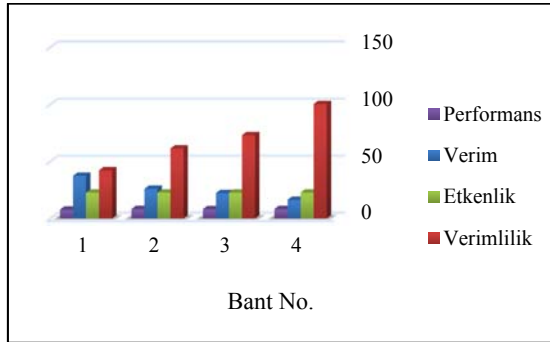
Şekil 7. Bantlı konveyörlerin Şubat ayı performans göstergeleri ve performansı

Mart 2018

Çalışma kapsamında incelemesi yapılan tüm aylarda özellikle performans indeksi değerlerinin bu ayda en düşük değerler aldığı görülmektedir. Bunun nedeni olarak yaşanan makine zaman kayıplarının direk üretime etki etmiş olması ve buna bağlı olarak diğer aylara göre çok daha düşük bir üretimin (11105 ton) gerçekleştirilmiş olması rahatça söylenebilmektedir.

Bu ay içerisinde verimi en yüksek olan nakliye ünitesi 1. bant (%37,46) olurken; 4. bant daha az fiili çalışma süresi ile aynı tonajlarda üretim gerçekleştirdiğinden dolayı en yüksek verimliliğe (100,38 ton/saat) sahip olmuştur. Makine zaman kayıpları her bir bant için sırasıyla üretime bağlı duraksamalar (%59,29; %70,57; %75,40 ve %78,83), mekanik arıza (%1,23; %1,15; %0 ve %2,18), elektrik arıza (%0,5; %0,19; %0,88 ve %1,05) ve ayar, sökme, temizlik vb. (%1,72; %2,35; %1,8 ve %1,8) başlıklarında gerçekleşmiştir.

Ayrıca 12 Mart tarihinde meydana gelen enerji kesintisi nedeniyle sadece 1. numaralı bant konveyörde yaklaşık olarak 10 dakika'lık bir üretim kaybı söz konusu olmuştur.



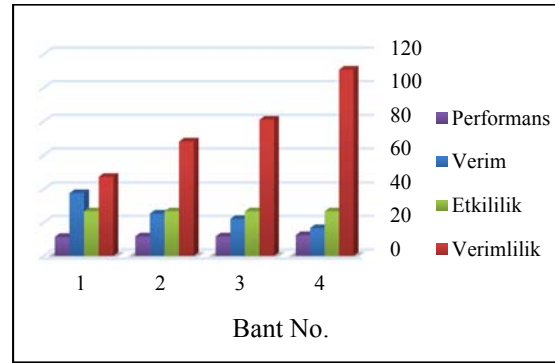
Şekil 8. Bantlı konveyörlerin Mart ayı performans göstergeleri ve performansı

Nisan 2018

Diğer aylardan farklı olarak 8 ve 9 Nisan günü ocakta meydana gelen talihsiz yangın olayı neticesinde üretim aksamış ve 8 Nisan günü son vardiya ile 9 Nisan günlerinde hiçbir bant

çalışmamıştır. Buna rağmen yangına kısa zamanda müdahale edilmiş ve daha ciddi boyutlara ulaşmasının önüne geçilebilmiştir. Bu ayda performans anlamında 4 numaralı bant diğer bantlara kıyasla yüksek bir değer (12,40 ton/saat) alırken; 1 numaralı bant en yüksek verime (%37,5) 4 numaralı bant yine en yüksek verimlilik (110,75 ton/saat) değerine sahip olmuştur. Makine zaman kayıpları her bir bant için sırasıyla üretime bağlı duraksamalar (%59,66; %71,26; %72,81 ve %78,58), mekanik arıza (%0; %0; %1,46 ve %0,97) ve yangın (%4,44; %4,52; %4,57 ve %4,71) başlıklarında gerçekleşmiştir.

Ayrıca 15 Nisan günü 1 numaralı bantta yapılan temizlik ve 4 numaralı banda ek yapılması gibi faaliyetlerden kaynaklı 21 dakika'lık bir zaman kaybı yaşanırken 3 Nisan günü 2 numaralı bantta 29 dakikalık bir elektrik arızası meydana gelmiştir.

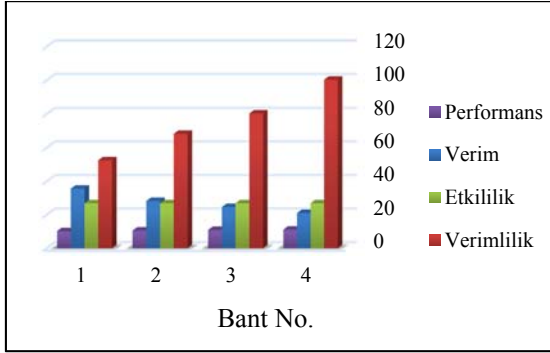


Şekil 9. Bantlı konveyörlerin Nisan ayı performans göstergeleri ve performansı

Mayıs 2018

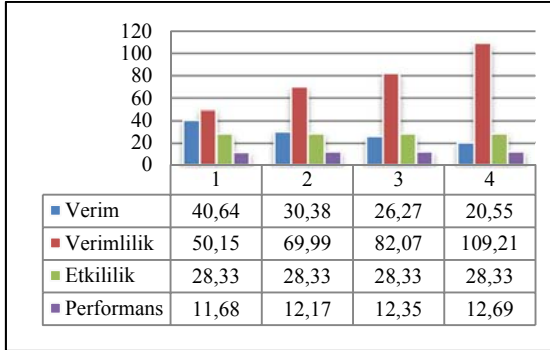
Değerlendirilmesi yapılan son ay olan Mayıs ayı içerisinde, bantlarda herhangi bir arıza veya aksaklığa rastlanılmamış olup; zaman kayıpları sadece üretime bağlı olarak meydana gelen duraksamalar (%55,69; %63,09; %66,84 ve %70,48), enerji kesintisi (%0,87; %0,91; %0,93 ve %0,94) ve periyodik bakım (%6,83; %7,09; %7,25 ve %7,33) nedenleri ile ortaya çıkmıştır. Bu ayda bantların performans indeksleri birbirine yakın olmasına rağmen 4 numaralı bant (11,11 ton/saat) diğer bantlara oranla daha yüksek bir performans sergilemiştir.

Önceki aylara paralel olarak verim olarak 1 numaralı bant en yüksek değeri (%35,55) alırken, verimlilik açısından 4 numaralı bant (100,32 ton/saat) diğer bantlar ele alındığında belirgin bir fark yaratmıştır.



Şekil 10. Bantlı konveyörlerin Mayıs ayı performans göstergeleri ve performansı

5 aylık toplamda tüm bantlı konveyörler için verim, verimlilik, etkililik ve performans indeksi değişimleri ise Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. 5 aylık toplamda bantların performans göstergeleri ve performansı

Önceki başlıklarda belirtildiği üzere ideal verimin %80; ideal verimliliğin 1200 ton/saat; ideal etkenliğin %100 ve performans indeksinin 960 ton/saat değerlerine göre bantların karşılaştırılmaları yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Buna göre; 5 aylık süreç sonrasında 1 numaralı bantlı konveyör en yüksek verim (%40,64) değerine sahip olan nakliye ünitesi olurken, standart verim değeri ile kıyaslandığında beklentilerin yarı yarıya karşılandığı rahatça

söylenilmektedir. Bantların verimliliği incelendiğinde; 4 numaralı bantlı konveyörün diğer bantlara oranla daha yüksek bir değer aldığı görülürken standart verimlilik değerinin oldukça altlarında kaldığı anlaşılmaktadır. 4 numaralı bantın verimlilik değerinin mevcut bantlara göre yüksek olmasındaki en büyük etkenin daha az çalışma süreleri ile aynı miktardaki üretimi gerçekleştirmesi olarak açıklamak mümkündür. Burada özellikle göze çarpan noktanın 1, 2 ve 3 numaralı bantlı konveyörlerin 4 numaralı bantlı konveyöre göre üretim haricinde geçirdikleri aktif çalışma sürelerinin fazla olmasıdır. Etkililik değeri irdelendiğinde; toplam üretim miktarı ile planlanan üretim miktarlarının sabit olması nedeniyle tüm bantlarda standart bir değer aldığı görülmektedir. İdeal etkililik değeri esas alındığında 5 aylık toplamda bantların bu değer çok gerisinde kaldığı görülebilmektedir. Buradaki esas etmenin söz konusu çalışma periyodunda bantların kömür üretiminden çok ayak ve pano hazırlık aşamalarında aktif bir rol alması olduğunu söylemek mümkündür. Son olarak performans indeksi değerlerine bakıldığında; bantların ideal indeks değerinin yaklaşık olarak sadece %1-2'sini karşıladığını görmekteyiz.

Söz konusu değerler maalesef ideale göre çok düşük değerler olmakla birlikte; özellikle katalog değerlerinin çok aşağısında bir verimlilik ile çalışılması ve çalışılan aktif süreç aralıklarında kömür üretim değerlerinin planlanan üretime kıyasla çok daha az gerçekleşmesi gibi nedenler bu sonuçların ortaya çıkmasına neden olmuştur.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ocak-Mayıs 2018 tarihleri arasında Garp Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü Ömerler mekanize yeraltı ocağında kullanılan nakliye ünitelerinin performanslarının incelendiği çalışma dâhilinde elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlara ait öneriler aşağıda sıralanmıştır:

- Söz konusu dönemde en fazla üretimin gerçekleştiği ay 18615 ton ile Ocak ayı olurken, 11105 ton ile Mart ayı üretim anlamında en düşük değeri almıştır. İşletme tarafından planlanan aylık üretim değeri olan

- 50000 ton göz önüne alındığında gerçekleştirilen üretimlerin oldukça az olduğu söylenebilmektedir.
- Performans göstergeleri olan verim, verimlilik ve etkililik değerleri incelendiğinde; bantlı konveyörlerin aylık değerleri özelinde %49,27'lik değeri ile 2 no'lu bantlı konveyörün en verimli, %16,44 değeri ile 4 no'lu bantlı konveyörün en verimsiz çalıştığı tespit edilmiştir. 5 aylık süreçte verim yönünden en etkin çalışmanın Ocak ayında (%38,26) gerçekleştiği belirlenirken, Nisan ayında verim değerinin (%25,35) en düşük olduğu görülmüştür. 5 aylık toplamda 1 no'lu bantlı konveyör ortalama olarak diğer bantlara oranla %40,64'lük verim değeri ile daha verimli çalışmıştır. İdeal verim değeri olarak belirlenen %80 değeri ile kıyaslandığında üretimin yarı yarıya verimli olduğunu ifade etmek mümkündür.
 - Verimlilik yönünden sonuçlara bakıldığında; bantlı konveyörlerin aylık değerler özelinde 120,25 ton/saat değeri ile 4 no'lu bantlı konveyörün en yüksek değeri; 42,31 ton/saat değeri ile de 2 no'lu bantlı konveyörün en düşük değeri aldığı görülmüştür. 5 aylık süreçte verimlilik yönünden en etkin çalışmanın 86,49 ton/saat ile Ocak ayında yapıldığı görülmektedir. 69,35 ton/saat'lik verimlilik değeri açısından Mart ayı diğer aylara göre daha düşük bir değer almıştır. 5 aylık toplamda 4 no'lu bantlı konveyör ortalama 109,21 ton/saat'lik verimliliği ile diğer bantların önüne geçerken, bu değer ideal verimlilik değeri olan 1200 ton/saat ile kıyaslandığında oldukça gerilerde kalmıştır.
 - Etkililik sonuçları aylık bazda her bant için gerçekleştirilen üretim ile planlanan üretim değerlerinin sabit olması nedeniyle bant özelinde değil sadece aylık etkililik değerleri üzerinden ele alınmıştır. Buna göre; %35,46 değeri ile en etken ay Ocak ayı olurken, %22,78 değeri ile Mart ayı etkenliği en düşük ay olarak tespit edilmiştir. 5 aylık toplamda tüm bantlar ortalama %28,33'lük bir etkenliğe sahip olurken, bu değer ideal değer olan %100'e göre maalesef büyük ölçüde düşük bir değerdir.
 - Yukarıda bahsedilen tüm performans göstergelerinin aritmetik olarak çarpımı ile performans indeksi değerleri belirlenmiştir. Buna göre; bantlı konveyörlerin aylık değerler özelinde 19,42 ton/saat değeri ile 4 no'lu bantlı konveyörün en yüksek performansına, buna karşın 7,8 ton/saat değeri ile 2 no'lu bantlı konveyörün en düşük performansına sahip olduğu görülmüştür. 5 aylık süreçte 18,45 ton/saat değeri ile Ocak ayının performansı en yüksek ay olduğu görülürken, 8,19 ton/saat performans değeri ile Mart ayının üretim performansının en kötü olduğu ay olarak karşımıza çıkmaktadır. 5 aylık toplamda ortalama olarak tüm bantların performans değerleri birbirine yakın olmasına rağmen 4 no'lu bantlı konveyör 12,69 ton/saat ile performansı en yüksek nakliye ünitesi olmuştur. İdeal performans değeri olan 960 ton/saat değeri ile mukayese edildiğinde tüm bantların performansının çok aşağılarda kaldığını söylemek mümkündür.
 - Çalışma süreci içerisinde incelenen bantlı konveyörlerin performans göstergeleri ve performans indeksi değerlerinin ideallerin çok altında olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak; 5 aylık periyotta kömür üretiminden ziyade ayak içi hazırlıkların yapılmış olması, özellikle projenin son üç ayında mekanik ve elektrik arızaların fazlalığı, 5 ayın genelinde üretime bağlı duraksamaların yüksek oranlarda olması, ocak içerisinde meydana gelen yangın ve bu nedenlere bağlı olarak fiili çalışma sürelerinin istenilen düzeyde gerçekleşmemesi gösterilebilir.
 - Ayrıca işletmeden temin edilen 2017 yılı verileri incelendiğinde ilk sırada makara ile ilgili problemlerden kaynaklar duraksamalar görülmektedir. Bu duraksama sebeplerini ek yapma, elektrik kesintisi, sinyal arızası ve gerdirme ve silgi ile ilgili problemler takip etmektedir. Makaraların ve tamburların sık sık kontrol edilmesi bu duraksamaları azaltacaktır.
 - Kesitlerin genişletilmesi diğer faydalarının yanı sıra nakliye ünitelerinin beraber kullanımında önemli kolaylıklar yaratacaktır.
 - Bant doğrultularının ve yatay eğimlerin düzeltilmesi, bant üzerindeki malzemelerin bant yollarına dökülmesini engelleyecek, bu da

- makara arızalarını ve bant konveyör kopmalarını azaltacaktır.
 - Bant yollarında yer alan malzemelerin düzgün bir şekilde istiflenmesi, acil durumlarda bant yollarının kullanımını kolaylaştıracaktır. Bu durum iş sağlığı ve güvenliği esasları dikkate alındığında oldukça önemli bir husustur.
 - Baş ve kuyruk tamburlarında bulunan koruyucu tertibatın yerinden çıkartılmaması ya da çıkartılan tertibatın mutlaka yerine tekrar takılması iş sağlığı ve güvenliği açısından oldukça önemlidir.
 - Enerji kablolarının, su ve basınçlı hava borularının bir düzen içerisinde nakliye sırasında nakliye ünitelerini engellemeyecek şekilde düzenlenmesi oldukça önem arz etmektedir.
 - Son olarak; iş sağlığı ve güvenliği konularının günümüzdeki önemi düşünüldüğünde özellikle risk faktörü açısından en tehlikeli iş kollarından biri olan yeraltı madenciliğinde gerekli önlemlerin alınması hayati bir durum arz etmektedir. Özellikle Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ)'nin bünyesinde faaliyet gösteren tek yeraltı ocağı olmasından dolayı Ömerler Yeraltı Ocağı'ndaki mevcut tüm risklerin ayrı ayrı değerlendirilmesi ve ileride yaşanması muhtemel kazaların önüne geçilebilmesi adına iş sağlığı ve güvenliği yönünden Üniversite-Sanayi iş birliğinin arttırılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.
2. Canitez, B., 2000. Performans Değerlendirme, Türk Psikoloji Bülteni, 16.
 3. Akal, Z., 2002. İşletmelerde Performans Ölçüm ve Denetimi-Çok Yönlü Performans Göstergeleri, Milli Produktivite Merkezi Yayınları, Ankara, 368.
 4. Zengin, C., Taşdöven, H., 2014. Emniyet Hizmetlerinde Verimlilik Etkililik ve Performans: Teorik ve Pratik Perspektifler, Güvenlik Sektöründe Stratejik Yönetim, Nobel Yayıncılık, Ankara.
 5. Önce, G., Aykul, H., Şensöğüt, C., Ören, Ö., 2007. Seyitömer Linyit İşletmeleri'nde Kullanılan Kazı Yükleme Ekipmanlarının Performanslarının İncelenmesi, I. Maden Makineleri Sempozyumu, 133-154, Kütahya.
 6. <http://www.gli.gov.tr>
 7. Çelik, R., 2005. GLİ Ömerler Mekanize Ocakta Yürüyen Tahkimatın Taşınmasının Geliştirilmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 145.
 8. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), 1993. Türkiye Linyit Envanteri, Ankara.
 9. Ören, Ö., 2006. Kütahya Bölgesi Linyitlerinin Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlıklarının Araştırılması, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya.
 10. Fişne, A., 2017. Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, Garp Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü, Ömerler-A Yeraltı Kömür Ocağı Havalandırma Sisteminin Değerlendirilmesi, 1-2.

7. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi aşamasında yardımlarını esirgemeyen başta Garp Linyitleri İşletmesi Müdürü Sayın Ercan İpek, Müdür yardımcıları Sayın Bekir Say, Sayın İsmail Bayram olmak üzere; Yeraltı İstihsal Şube Müdürlüğü bünyesinde yer alan Müdür Sayın Melih Duygun, Baş Mühendis Serdar Hasipek, Maden Mühendisi Ahmet Sancak ve diğer personele teşekkür eder, şükranlarımızı sunarız.

8. KAYNAKLAR

1. Barutçugil, İ., 2002. Performans Yönetimi, Kariyer Yayınları, İstanbul.

Gövdesi Dolu ve Dairesel Boşluklu Yalıtımsız Kompozit Döşeme Kirişlerinin Yangın Davranışının Deneysel İncelenmesi

Pınar SUNAR BÜKÜLMEZ*¹, Oğuz Cem ÇELİK²

¹*İstanbul Teknik Üniversitesi, Yapı Bilimleri Doktora Programı, Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul*

²*İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu, İstanbul*

Geliş tarihi: 15.01.2019

Kabul tarihi: 08.04.2019

Öz

Büyük açıklıklar geçebilen ve mimari davranış olarak diğer boşluklu kirişlere göre daha avantajlı olan dairesel gövde boşluklu kirişlerin üstün yapısal özelliklerine karşın yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerinde önemli ölçüde azalmalar olduğu bilinmektedir. Türkiye’de ilk kez dairesel gövde boşluklu kompozit kirişlerin yangın performanslarının tahminine yönelik bir deney modeli geliştirilmiş ve tam ölçeğe yakın deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, biri dolu ve diğeri gövdesi dairesel boşluklu IPE 140 profilinden üretilmiş kompozit kirişlerin varsayılan servis yükleri ve ISO 834 standart yangın eğrisi altındaki göçme davranışları incelenmiştir. Yangın sonrası çelik malzemenin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler ayrıca kaydedilmiştir. Sonuç olarak, yalıtımsız ve dolu gövdeli DK-R numunesi beklenildiği üzere yalıtımsız gövde boşluklu GBK-YS numunesine göre daha uzun süreli yangın dayanımı sağlamıştır. Böylece, gövde boşluklarının erken göçmelere neden olarak yangın dayanımı önemli düzeyde azalttığı, koruma olmaksızın yönetmeliklerde öngörülen dayanımlara ulaşamayacağı anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dolu gövdeli kiriş, Dairesel gövde boşluklu kiriş, Kompozit, Yangın deneyleri

Fire Testing and Behavior of Unprotected Solid and Cellular Steel-Concrete Composite I-Beams

Abstract

Cellular beams provide architects and engineers with lightweight structural solutions for spanning large areas. However, web cut-outs may lead to a significant decrease in mechanical properties at elevated temperatures.. An experimental model and near full-scale fire testing have been conducted for the first time in Turkey to better estimate fire performances of steel-concrete composite floor beams with and without circular web openings. Within the context of this experimental work, two composite beams made of IPE 140 rolled sections with solid and open webbed configurations and under assumed service loading are tested to failure following the ISO 834 fire conditions. Additionally, variations in mechanical properties of the materials used are determined after testing. As a result, unprotected solid webbed DK-R specimen provided a longer fire resistance than the unprotected cellular beam GBK-YS as expected. This reveals that web openings in composite beams have a pronounced impact on fire resistance of such

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Pınar Sunar Bükülmez, pınar.sunar@arc.bau.edu.tr

beams, leading to premature failures. Therefore, such beams may not reach the predetermined fire strengths without implementing an appropriate protection against fire.

Keywords: Solid webbed beam, Cellular beam, Composite, Fire tests

1. GİRİŞ

Büyük açıklıklar geçebilen, mimari ve davranış olarak diğer boşluklu kirişlere göre daha üstün özellikleri bulunan dairesele gövde boşluklu kirişlerin üstün yapısal özelliklerine karşın, yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerinde önemli ölçüde azalmalar olduğu bilinmektedir [1,2]. Bu tür kirişlerin yangın karşısında davranışlarının tam olarak bilinmemesi, alınacak pasif ve aktif önlemlerin bazen gereğinden fazla, bazen de yetersiz olmasına yol açmaktadır.

2001’de Amerika’da meydana gelen WTC İkiz Kuleler’deki göçmeler sonrasında çelik yapıların yüksek sıcaklıklar karşısındaki yapısal davranışlarının incelenmesi daha da önem kazanmış, bu kapsamda özellikle Amerika ve Avrupa’da yapılan deneyler artmıştır. Daha güncel olarak, 14 Haziran 2017’de Londra’da Grenfell Tower yangını ve doğurduğu sonuçlar özellikle çok katlı binalardaki yangın güvenliği konusunu her düzeyde tekrar gündeme getirmiştir. Çelik-betonarme kompozit döşeme-kiriş sistemlerinin yüksek sıcaklıklardaki davranışları üzerine birçok çalışma yapılmıştır [3-6]. Çalışmalar farklı ölçeklerde olmalarının yanı sıra, döşeme kirişlerinin dolu ve boşluklu olarak seçilmesine bağlı olarak değişiklikler göstermektedir.

Gövdesi boşluklu kirişlerin yangın performanslarıyla ilgili öncü çalışmalar Bailey [3] tarafından yapılmış, gövdesi boşluklu ve boşluksuz çelik kirişlerde ulaşılan sıcaklıklar üzerine yoğunlaşmıştır. Çalışma, yüklemeye yapılmadan gerçekleştirilen deneylerde gövdesi boşluklu ve dolu kirişlerde gövdenin boş ve dolu bölümlerinde meydana gelen sıcaklık farklarının analizi ile sınırlandırılmıştır.

Bihina ve arkadaşları [4] doğal yangın koşulları altında korunmamış kompozit gövde boşluklu

kirişlerin sıcaklık dağılımlarını, yerdeğiştirme ve şekil değiştirmelerini deneysel olarak incelemiştir. Kirişlerde göçme modu yanal gövde burkulmaları şeklinde olup kiriş merkezinde döşeme dönüşüne bağlı olarak dışa doğru eğilmeler ve yanal burkulmalar gözlenmiştir.

Bihina ve arkadaşları [5] tarafından yapılan dört tam ölçekli deney, farklı dairesele geometrilere sahip simetrik ve asimetrik kompozit boşluklu kirişlerin yüksek sıcaklıklardaki davranışlarını ölçmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Kirişlerde göçme, gövde burkulması ile birlikte boşluk üstü ve altı T kesit elemanlarında yırtılmalar olarak gözlenmiştir.

Selamet ve arkadaşları [6] ISO 834 yangın eğrisi altında çelik-betonarme kompozit kat döşemesi yangın deneyi yapılmıştır. Beton döşemenin membran davranışı incelenmiştir. Deney sonucunda döşemenin membran etkisi ile yangın boyunca taşıyıcılığı devam ettirdiği izlenmiştir. Buna bağlı olarak da ikincil çelik kirişlerin yalıtımsız kalabileceği belirtilmiştir.

Gövdesi dolu ve boşluklu, yalıtımsız kirişlerde yapılan bu deneysel çalışma ile kirişlerin yüksek sıcaklıklardaki performanslarının belirlenmesi ve göçme biçimlerinin karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Böylece literatürde oldukça sınırlı olan deneysel çalışmalara katkıda bulunmak hedeflenmiştir.

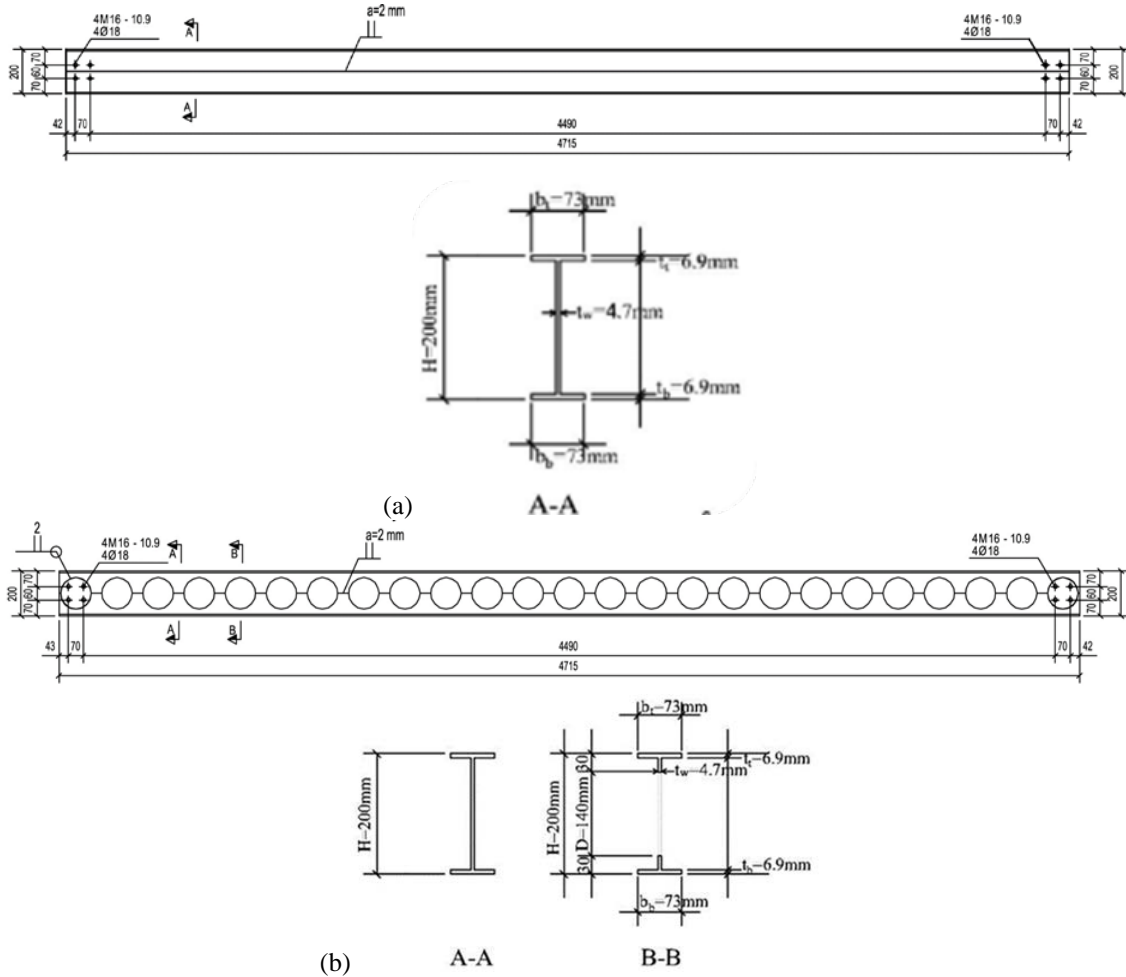
Çalışmada kullanılan dolu ve dairesele gövde boşluklu kompozit I-kirişler yüksek sıcaklıklarda farklı özellikteki kirişlerin göçme durumlarının incelenmesine olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Uygun yüklemeye değerleri kullanılmıştır. Numunelerin tasarımında ölçek faktörü oluşturulmamaya, olabildiğince gerçek boyutlara gidilmeye çalışılmıştır.

2. YANGIN DAYANIM DENEYLERİ

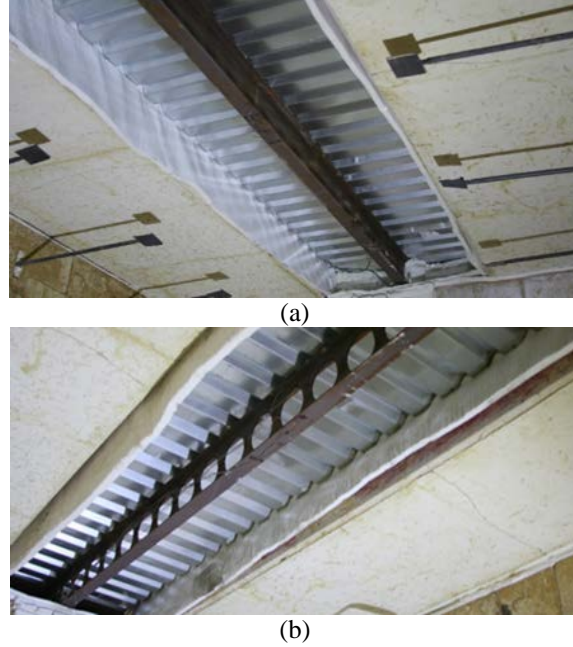
2.1. Deney Numuneleri

Deney düzeneğinde getirdiği rahatlıklar nedeniyle, pek çok çalışmada da olduğu gibi [7,8] deneyde kullanılacak kirişlerin tali kiriş olarak alınmasına karar verilmiştir. Kiriş açıklığı, fırın boyutları (4150 mm x 5155 mm x 3620 mm) gözönüne alınarak belirlenmiştir. Yüksek sıcaklıklarda değişik durumlar için yerdeğiştirmelerin ve göçme durumlarının izlenmesi/belirlenmesi amaçlanmaktadır. Deney için seçilen profil L= 4.715 m açıklık geçen IPE140 çelik hadde profili olup çelik kalitesi

S275JR olarak belirlenmiştir. Biri dolu gövdeli referans numunesi (DK-R), diğeri dairesel gövde boşluklu numune (GBK-YS) olmak üzere iki numune seçilmiştir. Aynı koşullarda denenmesi ve boşlukların etkisini tam olarak izleyebilmek amacıyla dolu gövdeli numune iki adet IPE 140'ın kesilip kaynaklanması ile aynı yüksekliğe getirilmiştir (Şekil 1a). Yalıtımsız gövde boşluklu numune Şekil 1b'de verilmiştir. Boşluk yüksekliği ve ardışık boşlukların arasında kalan dolu gövde parçaları olabildiğince olumsuz bir durumu yansıtmak üzere seçilmiştir. Boşluk yüksekliği/çelik kiriş yüksekliği oranı maksimuma oldukça yakın bir değer olan 0,70 alınmıştır.



Şekil 1. Numunelerin üretim çizimleri: (a) DK-R numunesinin üretim çizimleri, (b) GBK-YS numunesinin üretim çizimleri



Şekil 2. Deney öncesi numunelerin genel görünümü: (a) DK-R numunesinin görünümü, (b) GBK-YS numunesinin genel görünümü

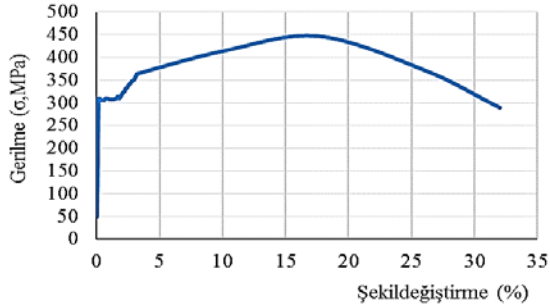
Kirişlerin üzerinde 38/151 tipinde, hadve sayısı $n=6$, kalınlığı $t=0,7$ mm olan galvanizli kompozit döşeme sacı ve $h_f= 7,8$ cm kalınlığında, $b_{eff}=1$ m genişliğinde, C25 kalitesinde beton ve Q188/188 hasır çelik donatı kullanılarak oluşturulan kompozit döşeme sistemi kullanılmıştır (Şekil 2). Kompozit sistemde kayma bağlantısı olarak $\varnothing 19/75$ mm ölçülerinde Nelson başlıklı saplama (shear stud) kullanılmıştır. TS EN 1363-1 (Yangına Dayanıklılık Deneyleri-Bölüm1: Genel Kurallar) [9] standardı uyarınca betonarme elemanlar ya da beton içeren yangın deneylerinde betonun deneye girmeden önce kuruma süresi en az 3 ay (90 gün) olarak belirtilmiştir. Bu kurala uyulmuş, numuneler deney gününe kadar uygun koşullarda kurumaya bırakılmıştır.

Yangın deneylerinde kullanılacak olan çelik profillerin mekanik özelliklerini belirleyebilmek amacıyla çekme/malzeme (kupon) deneyleri yapılmıştır. Çelik kirişler için TS EN ISO 6892-1 [10] standardına göre çekme numunesi boyutları belirlenmiştir.

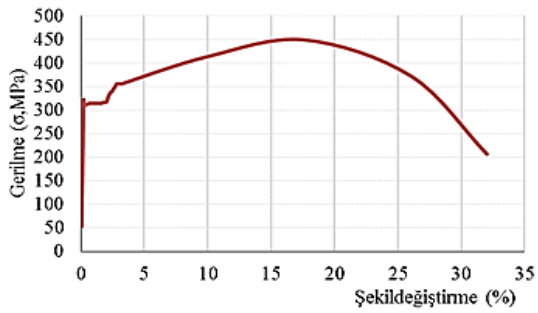


Şekil 3. IPE 140 çelik profil için çekme numunelerinin üzerine şekil değiştirme ölçerlerin (strain gauge) yerleştirilmesi.

Şekil değiştirmelerin ölçülmesinde numune üzerine ekstansometre ve yaprak tipinde TML-YFLA-10-3L akma sonrası okumalar da yapabilen şekil değiştirme ölçerler (strain gauges) yerleştirilmiştir (Şekil 3). Numunelerin akma ve kopma dayanımlarını tam olarak belirleyebilmek ve gerilme-şekil değiştirme eğrilerini elde edebilmek için yangın deneylerinde kullanılan hadde profillerinden toplam 6 adet çekme numunesi için malzeme deneyleri yapılmış, gerilme-şekil değiştirme eğrileri elde edilmiştir. Numunelerin çekme deney sonuçlarından elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrileri Şekil 4'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4. Kupon numunelerin çekme deneyi sonuçları: (a) DK-R numunesinin gerilme-şekildeğiştirme eğrisi, (b) GBK-YS numunesinin gerilme-şekildeğiştirme eğrisi

Çekme deneyleri sonucunda dolu gövdeli kiriş numunesi (DK-R) için çekme deneyi sonrası ortalama akma gerilme değeri $\sigma_A=313$ MPa, ortalama çekme dayanımı $\sigma_C=448$ MPa, ortalama kopma gerilmesi $\sigma_K=300$ MPa ve toplam uzama miktarı ortalama %31,1 olarak bulunmuştur. Yalıtımsız gövde boşluklu numune (GBK-YS) için elde edilen akma gerilmesi ortalaması $\sigma_A=314$ MPa, çekme dayanımı ortalaması $\sigma_C=450$ MPa, kopma gerilmesi ortalaması $\sigma_K=210$ MPa ve numunelerin toplam uzama miktarı ortalama %32,7 olarak belirlenmiştir.

2.2. Deney Düzenegi ve Mekanik Yükleme

Deneyler Türkiye'nin ilk akredite yangın deney laboratuvarı olan ve Kocaeli'nde yer alan Efectis Era Avrasya firmasının yangın fırını kullanılarak yapılmıştır. Fırın boyutları 4150 mm x 5155 mm x 3620 mm'dir (Şekil 5a). Fırın tasarımı

EN 1363-1'e (Yangına dayanıklılık deneyleri) [11] esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Fırın içerisinde her iki yan duvarda 7 adet olmak üzere toplam 14 brülör yer almaktadır (Şekil 5b). Brülörlerin güçleri 500 kW olup doğalgaz ile çalışmaktadır. Fırın duvarları taşıyıcı çelik iskelet ve yalıtımlı ateş tuğlası duvarlardan meydana gelmekte olup toplam kalınlığı 56 cm'dir. Numuneler fırın içerisine yatay olarak yerleştirilmiş, ısı kaybını önlemek amacıyla numune etrafında seramik yünü kullanılmıştır. Her bir numune ayrı ayrı denenmiştir.



(a)

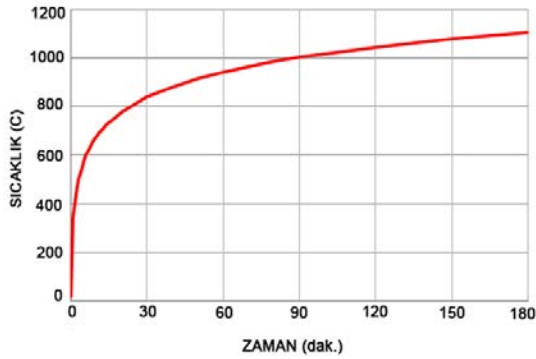


(b)

Şekil 5. Deney fırının görüntüleri: (a) Yandan görünüm, (b) İç görünüm

Gövdesi dolu ve boşluklu kompozit kirişlerin sıcaklık ve buna bağlı yerdeğiştirmeleri belirleneceği için önerilen çalışmada literatürde bu tip deneylerde olduğu gibi [12-16], standart yangın eğrilerinden olan selülozik standart yangın eğrisi

(ISO 834) [17] kullanılmıştır. Standart yangın eğrileri birçok yangın deneyinde kullanılmış olup yapı elemanlarının yangın etkisindeki davranışlarını analiz etmeye yönelik olan yangın eğrileridir. Deneyler sırasında ISO 834'e göre izlenen sıcaklık-zaman ilişkisi ve grafiği Şekil 6'da yer almaktadır.



Şekil 6. ISO 834 standart yangın eğrisi

Deney senaryosunda denenecek kirişlerin bir kütüphane binasının döşeme kirişleri olduğu kabul edilmiştir. TS 498 [18] standardında belirtildiği üzere kütüphane yapısı için yapıya etkiyen yük (kompozit döşeme ve kiriş sisteminin ağırlığına ek olarak), hareketli yükler $q=500 \text{ kg/m}^2$ ve mimari yük seçilen döşeme katmanlarına bağlı olarak yaklaşık $g=150 \text{ kg/m}^2$ 'dir. Böylece, bir kirişe etkiyen toplam yük $p=650 \text{ kg/m}^2$, diğer bir deyişle toplam 3,06 ton olarak hesaplanmıştır; kirişler taşıma gücüne göre artırılmış yükler dikkate alınarak hesaplanmış, öz ağırlık modelde dikkate alınmıştır. Laboratuvar ortamında yükleme hidrolik kriko ile olabildiği gibi metal diskler kullanılarak da yapılabilmektedir. Bu çalışmada, görsel durumu daha iyi yansıtabilmek amacıyla ve daha yayılı bir yükleme yapabilmek için yatayda yerleştirilmiş olan kiriş-döşeme sisteminde yayılı yük metal diskler kullanılarak sağlanmıştır.

Metal disk bloklarının her birinde 20 adet disk olup 200 kg yük sağlanabilmektedir. Bu disklerden 15 adet kullanılarak gerekli yayılı yük elde edilmiştir (Şekil 7). Yükleme protokolü TS EN 1363-1 [9] standardında belirtildiği üzere yapılmıştır. Yükleme, döşeme üzerinde mümkün olduğunca yerdeğiştirmeyi ölçen lineer cetvellerin

konumları dikkate alınarak, simetrik yapılmış ve deneyler başlamadan genel olarak yaklaşık 1 saat önce tamamlanmıştır.



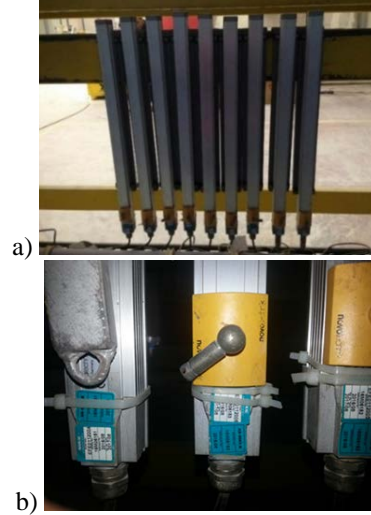
Şekil 7. Kiriş-döşeme sistemi üzerinde düşey yüklerin dağılımı.

2.3. Ölçüm Cihazları ve Numune Üzerine Yerleştirilmesi

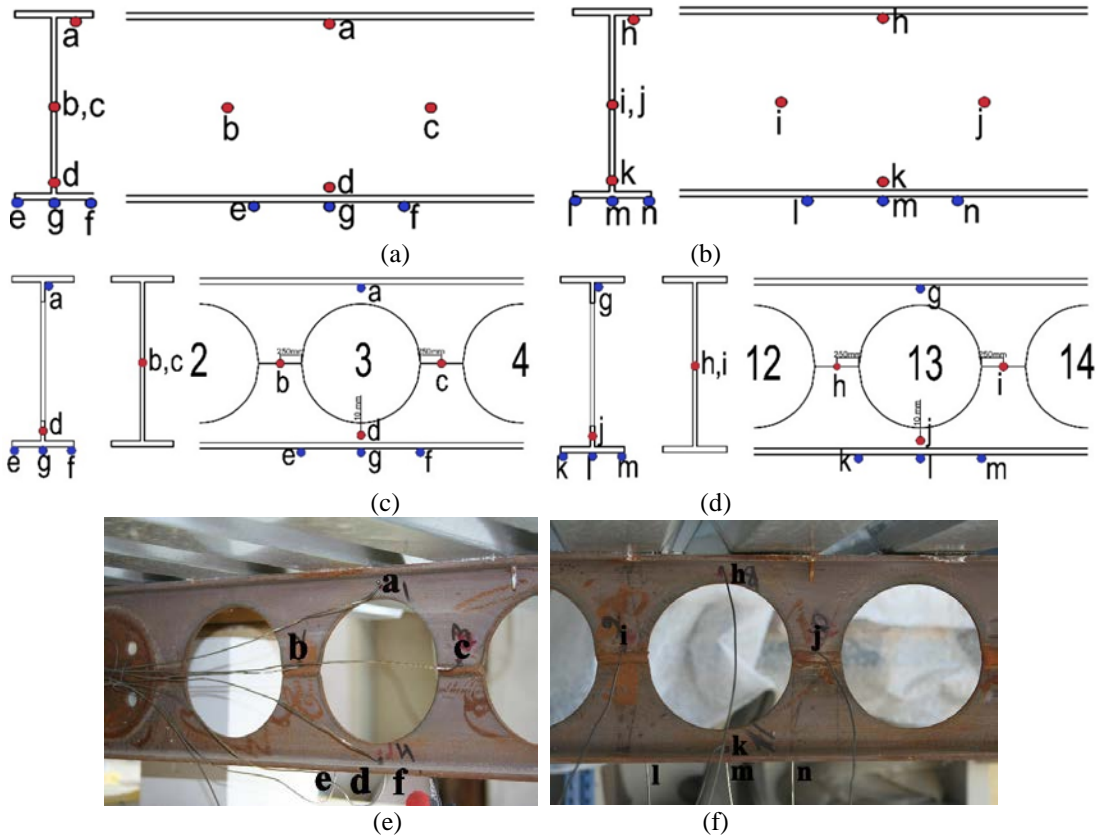
Deney fırını içerisindeki gazın ve gövdesi boşluklu çelik kirişlerin zamana bağlı sıcaklık değişimleri ısı çiftleri (thermocouples) kullanılarak ölçülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda kirişlerde meydana gelen değişimler yerdeğiştirme ölçerler (lineer cetveller) ile belirlenmiştir (Şekil 8 a, b). Deney fırını içerisindeki gazın ölçümü TS EN 1365-3 [19]'de belirtildiği gibi fırın tabanına ve duvarlarına yerleştirilmiş olan 8 adet plaka ısı çiftleri tarafından izlenmiştir.

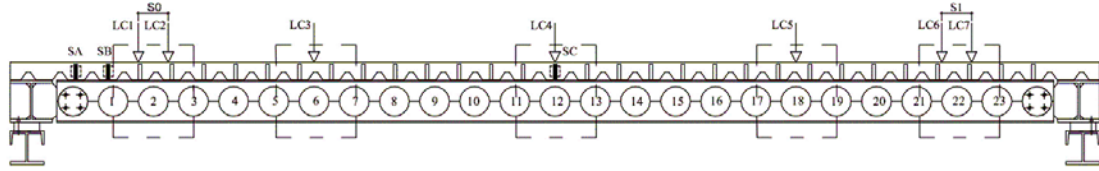
Gövdesi dolu ve boşluklu çelik kirişlerin zamana bağlı sıcaklık değişimleri ise $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar dayanıklı mineral izoleli K tipi ısı çiftleri kullanılarak izlenmiştir. Her deneyde ölçümleri doğru yapabilmesi için, bunlar inconel yalıtımlı, yalıtım sonrası teflon kaplı olarak seçilmiştir. Mineral izoleli ısı çiftlerinin çaplarının küçük olması ve fırın içerisinde bükülebilir olması ve kablo gibi dolaştırılabilme özelliği nedeniyle yangın deneylerinde sıkça kullanılmaktadır. Isıl çift sıcaklık ölçerler her kirişin mesnete yakın olan ve kiriş açıklığının orta noktasına denk gelen üst, alt başlık ve gövde kısımlarında kritik noktalara yerleştirilmiştir. Her bir kirişte 14 adet olmak üzere toplam 56 ısı çifti kullanılmıştır. Isıl çift sıcaklık ölçerlerin yerleşimleri daha iyi bir karşılaştırma yapabilmek için her iki deney düzeneğinde de aynıdır (Şekil 9 a, b, c, d, e, f).

Yüksek sıcaklıklarda meydana gelecek yerdeğiştirmeler ani ve önemli değerlere vardığından, deneyde kullanılan yerdeğiştirme ölçerler bu değerleri ve hızı belirleyebilmek amacıyla kullanılmıştır. Düşey yerdeğiştirmeler laboratuvar ortamında lineer cetvel ile ölçülmektedir. Her deneyde ölçümleri doğru yapabilmesi amacıyla hassaslıkla yerleştirilmiş 7 adet lineer cetvel kullanılmıştır. Lineer cetvellerin numune üzerindeki yerleşimleri (LC1, LC2, LC3, LC4, LC5, LC6, LC7) Şekil.9g üzerinde verilmiştir. Deneylerde TS EN 1365-3 [19], EN 1365-3 [20], standartlarında belirtildiği üzere yangın durumunda yükleme yapılmış bir kirişte meydana gelecek maksimum yerdeğiştirme, bir başka deyişle göçme sınırı L (açıklık)/20 olarak belirtilmiştir.



Şekil 8. Deneylerde kullanılan yerdeğiştirme ölçerler: (a) Yerdeğiştirme ölçerlerin görünümü, (b) Lineer cetvellerin magnetic okuyucu sensor bölümleri





(g)

Şekil 9. Isıl çiftlerin deney numuneleri üzerindeki yerleşimi: (Şekil 9 a, b, c, d, e, f). (a) Dolu gövdeli kirişte mesnete yakın bölgedeki ısı çiftlerinin yerleşimi, (b) Dolu gövdeli kirişte kiriş orta noktasında ısı çiftlerinin yerleşimi, (c) Gövdesi dairesel boşluklu kirişte mesnete yakın bölgedeki ısı çiftlerinin yerleşimi, (d) Gövdesi dairesel boşluklu kiriş orta noktasında ısı çiftlerinin yerleşimi, (e) Gövdesi dairesel boşluklu kirişlerde mesnete yakın bölgeye yerleştirilen ısı çiftlerinin görünümü, (f) Gövdesi dairesel boşluklu kirişlerde kiriş orta noktasına yerleştirilen ısı çiftlerinin görünümü, (g) Yerdeğiştirme ölçerlerinin yerleşimi (ön görünüş).

* Mavi renkli ısı çiftler üst ve alt başlığa yerleştirilen kırmızı renk ile gösterilenler ise gövdeye yerleştirilen ısı çiftleri ifade etmektedir.

3. DENEYSEL GÖZLEMLER VE DEĞERLENDİRMELER

3.1. Dolu Gövdeli (DK-R) ve Gövdesi Dairesel Boşluklu (GBK-YS) Numunelerinin Deney Sonuçları

Deney sonrası numuneler incelendiğinde dolu gövdeli kompozit kirişin (DK-R), aşırı deformasyonlara ulaşılmasına karşın, iki profilli birleştiren kaynak dikişi boyunca göçme, gövde burkulması ya da üst ve alt T elemanlarında yırtılmalar gözlenmemiştir. Kirişin, açıklığının orta noktasından (LC4 bölgesinden) düzlem dışına doğru burkularak, burulmalı bir deformasyonla göçtüğü tespit edilmiştir (Şekil 10,11). Bu göçme biçiminin, $L/20'$ ye ulaşılması sonrasında sıcaklığın artışına bağlı olarak kirişin aşırı yerdeğiştirme sonrasında yükün ortaya yığılması sonucu kirişin yanal burulmalı burkulma yaparak mesnetlerinden ayrılması ile gerçekleştiği izlenmiştir.



Şekil 10. Yanal burulmalı burkulma göçme modu

Kirişin mesnet noktalarında yer alan bulon deliklerinde ve bulonlarda herhangi bir sorun tespit edilmemiştir (Şekil 11). Kiriş ortasında LC4 ve ortaya yakın bölgelerde LC3, LC5'te döşeme içindeki bazı boyuna donatılarda kopmalar meydana gelmiştir. Kayma bağlantılarında herhangi bir ayrılma gözlenmemiştir. Betonarme döşeme ile trapez sac arasında tüm kiriş boyunca ve özellikle LC4 bölgesinde artan açılmalar izlenmiştir.

Çelik sacın kirişe mesnetlendiği noktalarda, özellikle mesnet bölgelerinde çukurlaşmalara rastlanması, bu bölgelerde mesnetlerin ezildiğini göstermektedir. Bu numunede gözlemlenen en önemli göçme modları olarak mesnet bölgelerinde betonarme döşeme ile trapez sac arasındaki ayrılmalar ve kirişte meydana gelen yanal burulmalı burkulma verilebilir (Şekil 10).



Şekil 11. Deney sonrası kirişin mesnet bölgesinin görünümü

Deney sonrasında gövdesi dairesel boşluklu numune (GBK-YS) incelendiğinde (Şekil 12), çelik kirişin her iki mesnet noktasına yakın olan bölgelerdeki gövde boşluklarının arasında kalan bölümlerde yerel burkulmalar meydana geldiği görülmüştür; bu tür bir hasar durumu önceki çalışmalarda da benzer şekilde izlenmiştir [1-3].

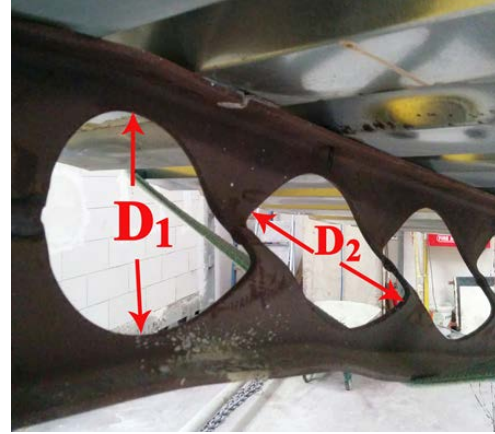


Şekil 12. Deney sonrası GBK-YS numunesinin genel görünümü

Kirişin mesnet noktalarından lineer cetvel 6 ve 7 (LC6 ve LC7) bölgesine denk gelen bölümde belirgin düzlem dışına doğru burkulmalar saptanmış olup aynı bölgede alt başlıkta da aşırı deformasyonlar olduğu belirlenmiştir (Şekil 13a).

LC6 ve LC7 bölgesinde trapez çelik levha ile beton arasında ayrılmalar olmadığı tespit edilmiştir. Bu da başlıklı saplamaların kompozit davranışı deneyin sonuna dek desteklediğini göstermektedir (Şekil 13a). Diğer mesnete yakın uçta LC1, LC2 ve LC3'ün konumlandığı bölgede mesnetten itibaren gövde burkulmaları görülmüştür (Şekil 13b). Mesnete yakın iki uçta da dairesel boşluklarda Vierendeel göçme mekanizmasına bağlı olarak daireden elipse doğru şekil değişikliği saptanmıştır. Daire boşluklarında deformasyona bağlı olarak en belirgin çap değişikliği LC6- LC7 bölgesinde gelişmiş olup kısa ve uzun çaplar sırasıyla $D_1=11$ cm ve $D_2=17$ cm olarak ölçülmüştür (Şekil 13a).

Kiriş açıklığının orta bölgesi LC4'de deplasman değeri yüksek ve kalıcı olmasına karşın, mesnet noktalarındaki gözlenen belirgin gövde burkulmaları, alt başlıklarda deformasyon ve daire boşluklarında Vierendeel etkisine bağlı şekil değişikliği beklendiği üzere kesme kuvvetlerinin görece daha düşük olması nedeniyle bu bölgede gözlenmemiştir.



(a)



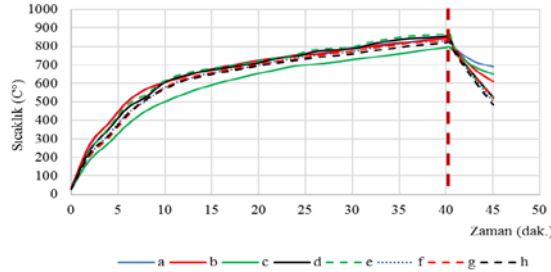
(b)

Şekil 13. GBK-YS numunesi deney sonuçları: (a) LC6 ve 7'de meydana gelen gövde burkulması ve Vierendeel göçme, (b) LC1 ve LC2 bölgelerinin görünümü

DK-R numunesinde yerdeğistirmeler kiriş açıklığının $L/20$ 'sine ulaştığı değerde $t=40$ dakika olarak kaydedilmiştir. Sıcaklık değerleri incelendiğinde en düşük sıcaklıklara mesnete yakın bölgede, gövde yüksekliğinin orta noktası olan c ($798,4$ °C) ve kiriş açıklığının orta bölgesinde üst başlığa yakın olan h ($821,5$ °C) noktalarında ulaşılmıştır.

Mesnete yakın olan bölgede yer alan e ($874,3$ °C) ve yine aynı bölgede alt başlığa yakın olan d

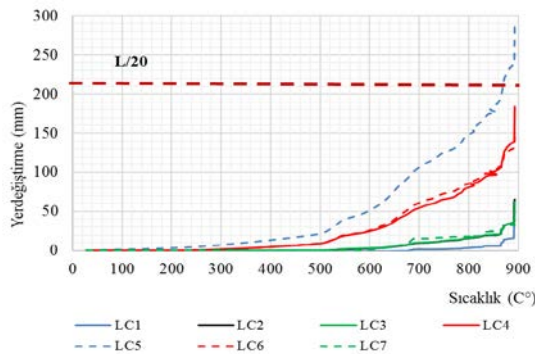
(858,3 °C) noktalarında en yüksek sıcaklık eğrileri elde edilmiştir (Şekil 14).



Şekil 14. DK-R numunesinin sıcaklık-zaman eğrisi

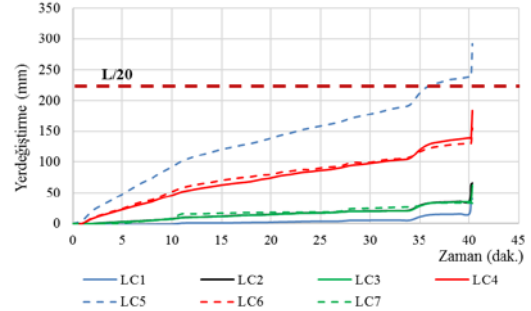
Lineer cetvellerden elde edilen yerdeğiştirmeler, sıcaklığa ve zamana bağlı olarak Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmektedir. Deney sırasında numune mesnetlerinden kurtulup kontrol dışı fırının içine düştüğü için deney sonrasında deformasyon ölçümü alınamamıştır. En yüksek yerdeğiştirme kiriş açıklığının dörtte birine yerleştirilmiş olan LC5'de ölçülmüştür. Bu noktada göçme değerine ($L/20$) karşı gelen $890,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de ve 40. dakikada $\delta_{\text{göçme}}=237,7\text{ mm}$ 'dir (Şekil 17). Deney, $892,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve 40,3 dakikada sonlandırıldığında en büyük yerdeğiştirme verisi LC5 bölgesinde $\delta_{\text{maks}} = 291,5\text{ mm}$ olarak kaydedilmiştir.

Yerdeğiştirme verileri incelendiğinde en yüksek değerin kiriş açıklığının orta noktasından mesnet noktasına doğru kaydığı ve yerdeğiştirmelerdeki artışların simetrik olarak yerleştirilen lineer cetvellerde düzensizlik gösterdiği görülmektedir (Şekil 15, Şekil 16).

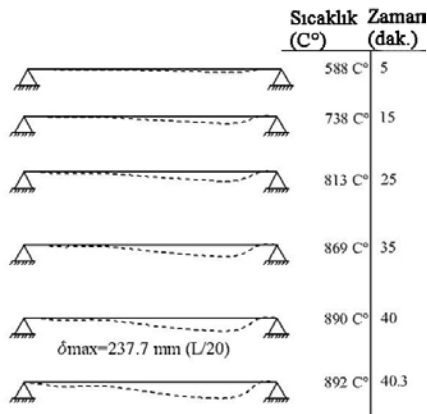


Şekil 15. DK-R numunesi yerdeğiştirme-sıcaklık eğrisi

Kirişin göçme noktasına ulaştıktan sonra sıcaklığın artışına bağlı olarak yüklerin mesnet noktasına doğru yığılmasının neden olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 16. DK-R numunesi yerdeğiştirme-zaman eğrisi



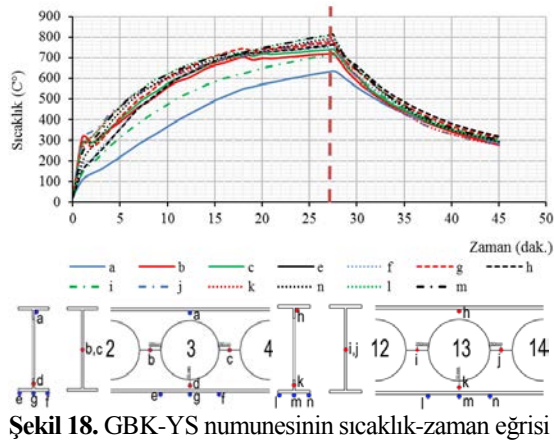
Şekil 17. DK-R numunesinin belirli zaman ve sıcaklık aralıklarındaki yerdeğiştirme verileri

GBK-YS numunesinde göçme, $t=24,5$ dakika'da maksimum düşey yerdeğiştirmenin standartlar tarafından belirtilmiş olan kiriş açıklığının $L/20$ 'sine ulaştığı değerde gerçekleşmiştir. $L/20$ değeri, TS EN 1365-3 ve EN 1363-3 standartlarında belirtildiği gibi kirişte meydana gelebilecek maksimum yerdeğiştirmeyi ifade etmektedir.

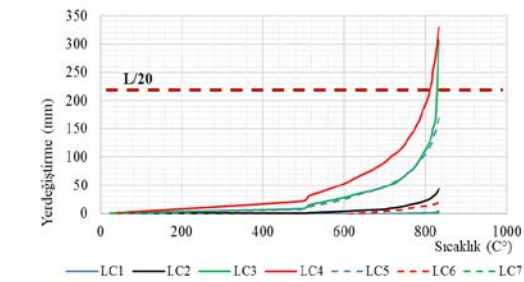
GBK-YS numunesinin sıcaklık değerleri incelendiğinde, en düşük sıcaklıklara LC1-LC2 ve LC6-LC7 bölgesinde üst başlığa yakın bölge a ($635,9\text{ }^{\circ}\text{C}$) h ($717,4\text{ }^{\circ}\text{C}$) ile LC1-2 bölgesi gövde ortasında b ($723,4\text{ }^{\circ}\text{C}$) noktasında, en yüksek sıcaklığa kiriş açıklığının ortasında alt başlığa

yerleştirilmiş olan m (808,1 °C), l (811,1 °C) ve n (811,2 °C) noktalarında ulaşıldığı görülmektedir.

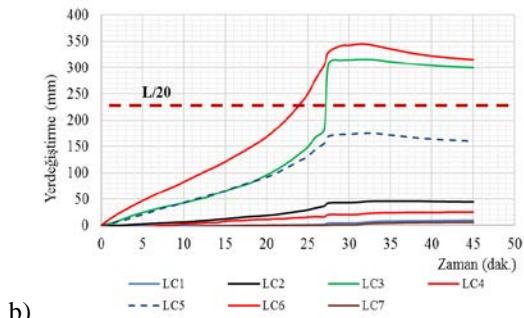
Betonarme döşemenin varlığı beklendiği üzere, üst başlıkta elde edilen sıcaklık verilerinin alt başlığa göre daha düşük düzeylerde kalmasına neden olmuştur (Şekil 18).



Şekil 18. GBK-YS numunesinin sıcaklık-zaman eğrisi



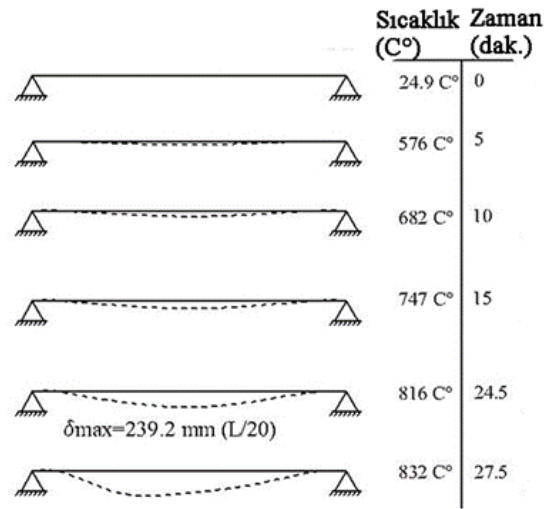
a)



b)

Şekil 19. GBK-YS numunesinin yerdeğiştirme grafikleri (a) GBK-YS numunesi yerdeğiştirme-sıcaklık eğrisi, (b) GBK-YS numunesi yerdeğiştirme-zaman eğrisi

GBK-YS numunesinde lineer cetvellerden elde edilen yerdeğiştirmeler, sıcaklığa ve zamana bağlı olarak Şekil 19a ve Şekil 19b'de verilmiştir. 500 °C sıcaklığa ulaşıldığında yerdeğiştirmelerde belirgin bir artış görülmektedir. En yüksek yerdeğiştirme kiriş açıklığının orta noktasında LC4'de ölçülmüştür. Bu noktada göçme değerine (L/20) karşı gelen sıcaklık 816 °C 24,5. dakika'da gerçekleşmiş ve göçme 239.2 mm'de oluşmuştur (Şekil 20). Deney, 832 °C ve 27,5. dakika'da sonlandırıldığında en büyük yerdeğiştirme verisi LC4 bölgesinde 329,3 mm olarak kaydedilmiştir.



Şekil 20. GBK-YS numunesinin belirli zaman ve sıcaklık aralıklarındaki yerdeğiştirme verileri

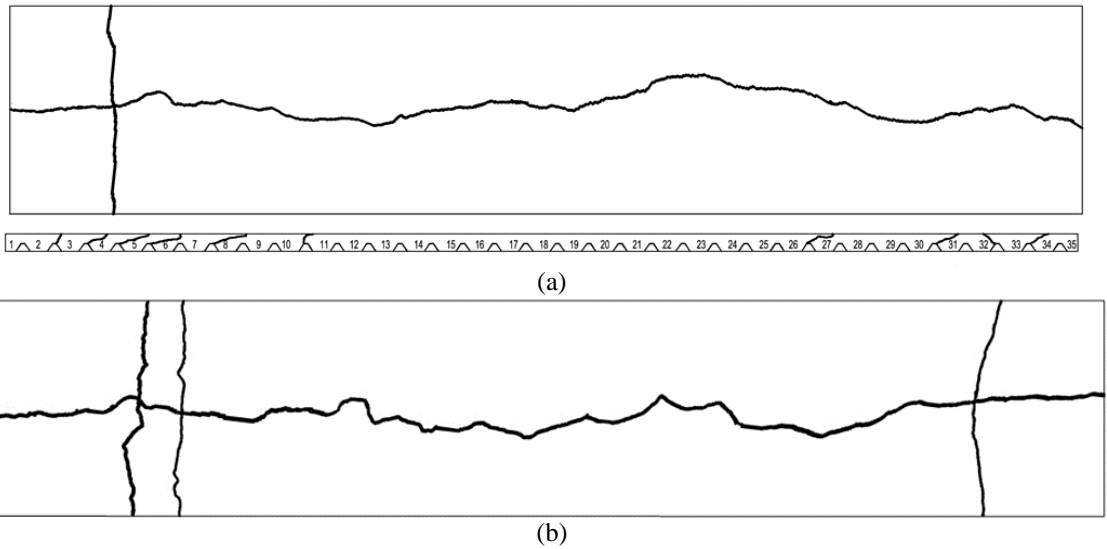
Kiriş açıklığında, dörtte birinde simetrik olarak yerleştirilen LC 3 ve LC5'de ölçülen yerdeğiştirmeler sırasıyla 307,1 mm ve 169 mm olarak LC4'den sonra en yüksek değerlerdir. LC2 ve LC6'da okunan değerler ise sırasıyla 42,3 mm ve 19,9 mm'dir. Mesnet noktalarına en yakın ve birbirlerine simetrik olarak konumlandırılan LC1 ve LC7'de deney sonunda en düşük değerler olan 4,57 mm ve 0,7 mm'ye ulaşılmıştır. Yerdeğiştirme verileri incelendiğinde, kiriş açıklığının orta noktasından mesnet noktalarına doğru gidildikçe yerdeğiştirme değerlerinde azalma olduğu görülmektedir.

3.2 Kompozit Döşeme Davranışı

Dolu ve gövdesi boşluklu numunelerin yangın deneyleri sonrası kompozit betonarme döşemede meydana gelen hasarlar incelendiğinde iki türden (boyuna ve enine) çatlak belirlenmiştir. Bu çatlaklar; kirişin üzerinde açıklık boyunca (kiriş eksenini üzerindeki başlıklı saplamaları izleyen), ikincisi kiriş eksenine dik olarak devam etmekte olan çatlaklardır (Şekil 21a, b). Kiriş eksenine dik çatlakların mesnete yakın bölgelerde kesme kuvvetinin yüksek olmasına bağlı olarak Vierendeel etkisi ile birlikte gövdede yerel burkulmaların artmasına bağlı olarak üst-katmandaki betonu çatlatarak enine çatlakların oluşmasına yol açtığı tespit edilmiştir. Kiriş eksenini

boyunca ilerleyen başlıklı saplamaları izleyerek devam eden çatlakların yanısıra DK-R numunesinin betonunda kesme kuvvetine bağlı beton kalınlığı boyunca ilerleyen eğik çatlaklar da gözlemlenmiştir.

Deney sonuçlarında her iki numunede de bazı noktalarda (özellikle iki yan yüzeyde) çelik sac ile döşeme arasında ayrılmalar görülmüştür. Bu ayrılmalar aderans kaybını göstermektedir. Beton ve çelik arasındaki ayrılmalar çeliğin pürüzsüz olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrılmaların mesnet bölgelerinde daha fazla olduğu, kiriş açıklığının ortasına doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir.



Şekil 21. Numunelerin deney sonrası beton çatlak haritaları (üstten görünüş): (a) DK-R numunesinin deney sonrası betonarme döşemesi, (b) GBK-YS numunesinin deney sonrası betonarme döşemesi

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE KARŞILAŞTIRMA

GBK-YS ve DK-R numunelerinin genel sıcaklık-zaman grafiği incelendiğinde GBK-YS numunesinin göçme anına kadar sıcaklık değerlerinde az bir fark gözlemlenmiştir. GBK-YS göçmeye 24,5 dakika'da 743,9 °C ile, DK-R

numunesi ise 40 dakika'da 836,7 °C ile ulaşmıştır (Şekil 22 a).

Gövde boşluklu GBK-YS ve dolu DK-R numunelerinden elde edilen sıcaklıklar karşılaştırıldığında, mesnet bölgesinde üst başlıkta göçme anında en yüksek sıcaklık dolu gövdeli DK-R numunesinde 847,6 °C olurken, gövde boşluklu numunede 611,6 °C'dir. Gövde

sıcaklıkları ise DK-R numunesinde 820,2 °C, GBK-YS numunesinde 721,3 °C'dir.

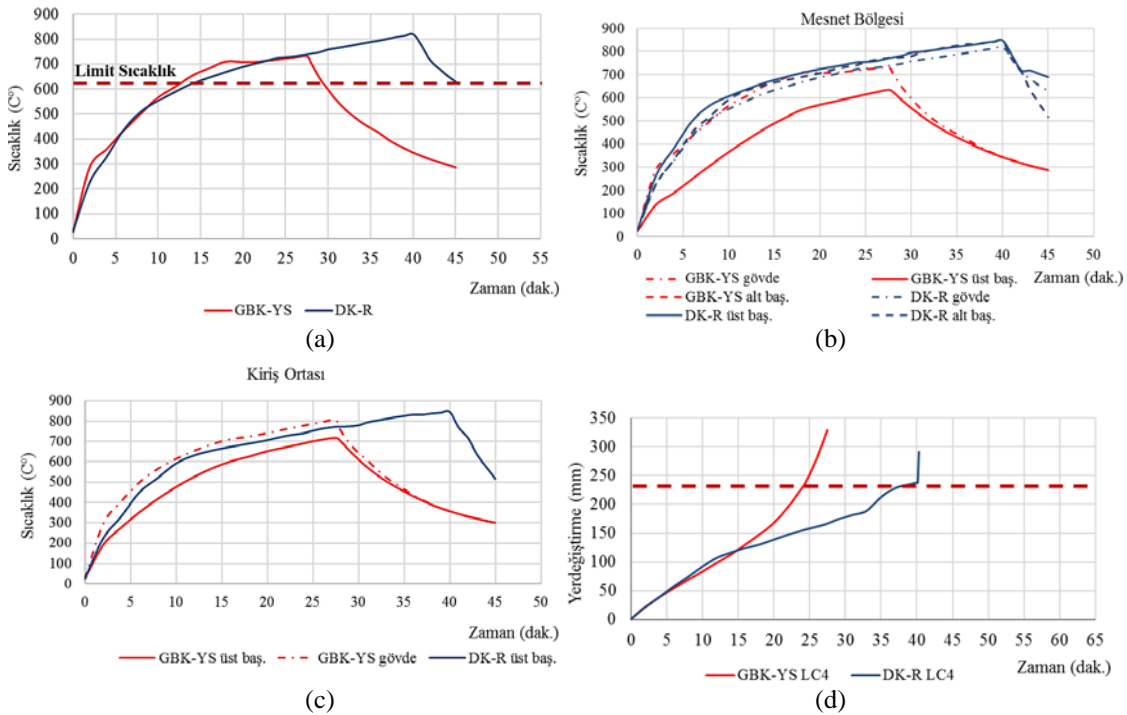
Aynı bölgede alt başlık sıcaklıkları dolu gövdeli numunede 846,7 °C ve boşluklu gövdeli numunede ise 750,7 °C'dir (Şekil 22 b).

Kiriş açıklığının orta bölgesinde üst başlık sıcaklıkları DK-R numunesinde 728,8 °C, GBK-YS numunesinde 695,9 °C olarak ölçülmüştür. Bu bölgede GBK-YS numunesinde gövde sıcaklığı 765,9 °C olarak kaydedilmiştir (Şekil 22c).

Dolu gövdeli yalıtımsız DK-R numunesi, gövde boşluklu ve yalıtımsız GBK-YS numunesine göre daha uzun süre yangına dayanım (40 dk)

göstermiştir. Numuneler karşılaştırıldığında en hızlı sıcaklık artışının yaşandığı numune gövde boşluklarına sahip olması nedeniyle GBK-YS'dir. GBK-YS numunesi kesit özellikleri nedeniyle 24,5 dakika'da göçme sınırına ulaşmıştır. Gövde boşluklu ve boşluksuz yalıtımsız numunelerde göçme sırasında meydana gelen yerdeğiştirmeler incelendiğinde ise en büyük yerdeğiştirme beklendiği üzere gövdesi boşluklu GBK-YS numunesinde 239,25 mm olarak elde edilmiştir. Dolu gövdeli DK-R numunesinde ölçülen yerdeğiştirme de 237,73 mm'dir (Şekil 22 d).

En hızlı ve en yüksek yerdeğiştirme sınırına varan dolayısıyla yangın dayanımı en düşük GBK-YS numunesi olmuştur.



Şekil 22. Yalıtımsız numunelerin deney sonuçlarının karşılaştırılması: (a) DK-R ve GBK-YS numunelerinin genel sıcaklık-zaman grafiği (b) Mesnet bölgesi DK-R ve GBK-YS numunelerinin gövde, alt ve üst başlık sıcaklık-zaman eğrisi, (c) DK-R ve GBK-YS numunelerinin kiriş ortası bölgesine ait gövde, alt ve üst başlık sıcaklık-zaman eğrisi, (d) Kiriş açıklığının ortasında (LC4) DK-R ve GBK-YS numunelerinin yerdeğiştirme-zaman eğrileri

Yangın deneyleri sonrasında yüksek sıcaklıklara maruz kalan numunelerin deney sonrası mekanik

özelliklerinde meydana gelen olası değişimleri belirleyebilmek amacıyla her iki numunenin çelik

profillerden alınan kupon numunelere çekme deneyi yapılmıştır. Çekme deneyi için profillerden oksijenli kesim yapılarak GBK-YS numunesinden 1, DK-R numunesinden 1, toplam 2 parça alınmıştır (Şekil 23a). Bu parçalar özellikle deformasyonun az olduğu bölgelerden alınarak çelik kirişler için TS EN ISO 6892-1 (Metalik Malzemeler-Çekme Deneyi-Bölüm 1: Ortam Sıcaklığında Deney Metodu) standardına göre çekme numunesi boyutları belirlenerek, üretimleri yapılmıştır (Şekil 23b).

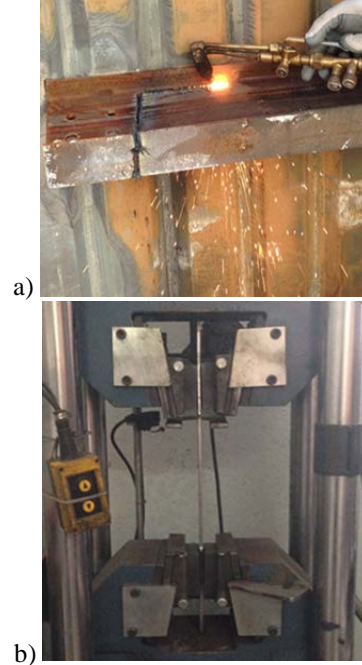
Deney sonrası kupon numune sonuçlarına bağlı olarak Çizelge 1 hazırlanmıştır.

Çizelge 1. Deney sonrası numunelerin mekanik özellikleri

	Akma Gerilmesi (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)
DK-R	332	479	28,1
GBKYS	307	416	11,4

Buna göre, GBK-YS numunesinde, deney sonrası öncesine göre, akma gerilmesinde en fazla %2 ve en az 0,8'lik bir azalma olduğu, çekme dayanımında ise %5 ile %7,5 arasında azalma ve kopma uzamasının da %65 azaldığı görülmektedir. DK-R numunesinin, deney öncesi ve sonrası verileri incelendiğinde, akma gerilmesinde en fazla %7 ile en az %5'lik bir artış olduğu, çekme dayanımında %6 ile %8 arasında artış ve kopma uzamasında ise %9,6'lık bir azalma olduğu kaydedilmiştir.

Kupon numunelerinin deney öncesi ve sonrası mekanik özellikleri incelendiğinde yangına maruz kalan korumasız GBK-YS numunesinin akma gerilmelerinde ve çekme dayanımlarında az da olsa bir azalma gözlenmiştir. DK-R numunesinin akma gerilmesinde ve çekme dayanımında önemsiz denebilecek artışlar kaydedilmiştir. Kopma uzamasındaki en büyük azalma %65'lik bir azalma ile GBK-YS numunesinde elde edilmiştir. Bu sınırlı deneysel çalışmada, yangın sonrasında çeliğin akma ve çekme dayanımında çok büyük değişikliğe neden olmadığı, buna karşın özellikle kopma uzamasında önemli azalmalara neden olabileceği sonucu çıkmaktadır.



Şekil 23. Yangın deneyleri sonrası çekme deneyleri: (a) DK-R numunesinden kupon numune alımı, (b) Çekme presi

5. SONUÇLAR

Gövdesi dolu ve dairesel boşluklu numunelerin sınırlı sayıdaki ve özelliklerdeki yangın deneylerinden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Gövdesi boşluklu GBK-YS ve iki profilin kaynaklanması ile oluşturulan dolu gövdeli DK-R numunesinde deney sonrası yapılan kapsamlı incelemelerde kaynak bölgelerinde herhangi bir sorun meydana gelmediği tespit edilmiştir.
- Sıcaklık verileri karşılaştırıldığında, göçme (L/20'de) sıcaklığına en hızlı (24,5 dk) ulaşan numunenin gövde boşluklu yalıtımsız GBK-YS numunesi olduğu görülmüştür.
- Yalıtımsız ve dolu gövdeli DK-R numunesi (41 dk) beklenildiği üzere yalıtımsız gövde boşluklu GBK-YS (24,5 dk) numunesine göre daha uzun süreli bir yangın dayanımı sağlamıştır. Böylece, gövde boşluklarının yangın dayanımı

önemli düzeyde azalttığı anlaşılmaktadır. Başka bir deyişle, bu tür kirişlerin koruma olmaksızın kullanımlarının mümkün olamayacağı ve yönetmeliklerde öngörülen dayanım değerlerine/sürelerine ulaşamayacağı anlaşılmaktadır.

- Numunelerin yerdeğiştirme oranları karşılaştırıldığında, göçme anında en büyük yerdeğiştirme, yüklerin sıcaklığa bağlı olarak kirişin orta bölgesine yığılması sonucu DK-R numunesinde 291,5 mm ile gerçekleşmiştir.
- DK-R numunesinde ana göçme modu yanal burulmalı burkulma iken GBK-YS numunesinde Vierendeel etkisiyle birlikte mesnet bölgesi civarında gövde burkulmaları öne çıkmaktadır.
- Çelik kompozit kiriş numunelerinin yangın deneyi öncesi ve sonrası mekanik özellikleri incelendiğinde en fazla değişimin (azalmanın) kopma uzamasında %20 ile yalıtımsız gövde boşluklu GBK-YS numunesinde olduğu tespit edilmiştir. Akma ve çekme dayanımlarındaki değişim ihmal edilecek kadar azdır.
- Numunelerin hiçbirinde bulon deliklerinde, bulonlarda ve üst başlık kayma bağlantı elemanlarında (studlarda) göçme gözlenmemiştir.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 315M285 numaralı proje kapsamında TÜBİTAK-1002- Hızlı Destek Programı ve İTÜ-BAP 3802 no'lu proje kapsamında İTÜ tarafından desteklenmiştir. Deney numunelerinin üretimi GALPAN tarafından gerçekleştirilmiştir.

7. KAYNAKLAR

1. Najdai, A., Vassart, O., Ali, F., Talamona, D., Allam, A., Hames, M., 2007. Performance of Cellular Composite Floor Beams at Elevated Temperatures, *Fire Safety Journal*, 42, 489- 497.
2. Najdai, A., Petrou, K., Han, S., Ali, F., 2016. Performance of Unprotected and Protected

Cellular Beams in Fire, *Journal of Construction and Building Materials*, 105, 579-588.

3. Bailey, C.G., 2004. Indicative Fire Tests to Investigate the Behaviour of Cellular Beams Protected with Intumescent Coatings, *Fire Safety Journal*, 39, 689-709.
4. Bihina, G., Zhao, B., Bouchair, A., 2012. Experimental and Numerical Investigation on the Behaviour of a Composite Floor Made of Cellular Beams in a Fire Situation, 7th International Conference on Structures in Fire, (295-304). Zurich Switzerland: ETH Zurich, June 6-8.
5. Bihina G., Zhao, B., Bouchair, A., 2013. Behaviour of Composite Steel-Concrete Cellular Beams in Fire, *Journal of Engineering Structures*, 56, 2217-2228.
6. Selamet, S., Yolaçan, T.F., 2017. Çelik-Betonarme Kompozit Kat Döşemesi Yangın Dayanım Deneyi, *İMO Teknik Dergi*, Temmuz, 8007-8022.
7. Nyugen, T.T., Tan, K.H., 2012. Testing of Composite Slab-Beam Systems at Elevated Temperatures, *Proceedings on the 7th International Conference on Structures in Fire*, Zurich, Switzerland, 6-8 June, 247- 256.
8. Vassart, O., Bailey, C.G., Bihina, G., Hawes, M., Nadjai, A., Peigneux, C., Simms, W.I., Franssen, J.M., 2010. Parametrical Study on The Behaviour of Steel and Composite Cellular Beams Under Fire Conditions. *Proceedings of the 6th International Conference on Structures in Fire (SIF'10)*, USA: Michigan State University.
9. TS EN 1363-1. 2013. Yangına Dayanıklılık Deneyleri- Bölüm 1- Genel Kurallar, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara.
10. TS EN ISO 6892-1. 2011. Metalik Malzemeler- Çekme Deneyi- Bölüm 1: Oda Sıcaklığında Deney Metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
11. EN 1363-1. 2012. Fire Resistance Tests-Part 1: General Requirements. CEN.
12. Li, Q.G., Guo, S.X., 2008. Experiment on Restrained Steel Beams Subjected to Heating and Cooling, *Journal of Constructional Steel Research*, 64, 268-274.

13. Kallerova, P., Wald, F., 2009. Fire Test on Experimental Building in Mokrsko, CTU in Prague.
14. Lawson, R.M., Hicks, S.J., 2011. Design of Composite Beams with Large Web Openings: In Accordance with Eurocodes and the U.K. National Annexes Technical Report (SCI P3559), Steel Construction Institute.
15. Sanghoon, H., Petrou, K., Naili, E.L., Nadjai, A., Ali, F., 2012. Behaviour of Protected Cellular Beams Having Different Opening Shapes in Fire Conditions, In M. Fontana, A. Frangi and M. Knobloch (Ed.), 7th International Conference on Structures in Fire, (75-83) Switzerland: ETH Zurich, June 6-8.
16. Wang, Y., Jia, L., Li, X., 2018. Investigation on Behavior of Castellated Composite Beams Under Fire, International Forum on Construction, Aviation and Environmental Engineering-Internet of Things, Guangzhou, China.
17. ISO 834-1. 2009. Fire-resistance Tests-Elements of Building Construction Part 1: General Requirements, International Organization for Standardization. Retrieved from <https://www.sis.se/api/document/preview/615580/>
18. TS 498. 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
19. TS EN 1365-3. 2003. Yangına Dayanıklılık Denepleri-Yük Taşıyıcı Elemanlar-Bölüm 3: Kirişler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
20. EN 1365-3. 1999. Fire Resistance Tests for Loadbearing Elements-Part 3: Beams, CEN.

Irreversibility Analysis of a Minibus Air-Conditioner for Different Condensation Pressures

İbrahim KARAÇAYLI*¹, Erdoğan ŞİMŞEK²

¹Ege University, Ege High Vocational School, Air Conditioning and Refrigeration Technology Program, İzmir

²Çukurova University, Adana High Vocational School, Air Conditioning and Refrigeration Technology Program, Adana

Geliş tarihi: 01.02.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Abstract

In this study, a minibus air conditioning (MAC) set using R134a was tested and evaluated in the Adana High Vocational School, Çukurova University. The condensation pressure was gradually increased from 650 kPa to 770 kPa. The indoor and outdoor temperatures were kept constant at 20 °C and 22 °C, respectively. The cooling capacity of the MAC is 6000 kcal/h at 35 °C ambient temperature. The MAC consists of four main elements; a compressor, a condenser, an expansion valve and an evaporator. The purpose of this study is to demonstrate how the irreversibility analysis is performed. For this aim, experiments were carried out for different condensation pressures at constant ambient temperature in order to determine the rates of the exergy transfer and the entropy generation within the all components and the MAC system. In addition to this, the rational exergy efficiency of the all components and the whole system were calculated. Increasing condensation pressure caused 8.3% increase in both the rate of entropy generation and the irreversibility rate for the whole system. Besides, the rational exergy efficiency of the whole system was approximately 24%.

Keywords: Exergy, Exergy destruction, Entropy generation, Irreversibility, Minibus air-conditioner

Farklı Yoğuşma Basınçları için Minibüs Klimasının Tersinmezlik Analizi

Öz

Bu çalışmada, R134a kullanılan bir minibüs klima seti Çukurova Üniversitesi Adana Meslek Yüksekokulunda test edildi ve değerlendirilmiştir. Yoğuşma basıncı kademeli olarak 650 kPa'dan 770 kPa'ya yükseltilmiştir. İç ve dış hava sıcaklıkları sırasıyla 20 °C ve 22 °C sıcaklıklarında sabit tutulmuştur. Minibüs klimasının 35 °C çevre sıcaklığındaki soğutma kapasitesi 6000 kcal/h'tır. Minibüs kliması dört ana elemandan meydana gelir; kompresör, yoğuşturucu, genişleme elemanı ve buharlaştırıcı. Bu çalışmanın amacı tersinmezlik analizinin nasıl yapıldığını göstermektir. Bu amaçla, minibüs klimasının tüm bileşenlerdeki ve minibüs klimasındaki ekserji transferi ve entropi üretim hızını saptamak amacıyla farklı buharlaşma basınçlarında ve sabit çevre sıcaklıklarında deneyler yapılmıştır. Buna ek olarak, tüm bileşenlerin ve tüm sistemin ekserji verimi hesaplanmıştır. Yoğuşma basıncının artması, hem sistemin

*Sorumlu yazar (Corresponding author): İbrahim KARAÇAYLI, ibrahim.karacayli@ege.edu.tr

entropi üretim hızının hem de tersinmezlik hızının %8,3 artmasına sebep olmuştur. Ayrıca tüm sistemin rasyonel ekserji verimi yaklaşık olarak %24'tür.

Anahtar Kelimeler: Ekserji, Ekserji yıkımı, Entropi üretimi, Tersinmezlik, Minibüs kliması

1. INTRODUCTION

In order to meet the short distance transportation needs of people in the city, it prefers public transport such as buses and minibuses. The need for public transport is increasing day by day and therefore the number of these vehicles is increasing rapidly. With growing numbers of vehicles, energy efficiency becomes more important in public transportation [1]. People spend a lot of time in buses or minibuses that have an important place in public transportation. For this reason, the comfort conditions in the vehicle must be made suitable. Minibus air conditioners are used in order to adapt the ambient air to the comfort conditions in the minibus [2].

Air conditioner located in in the public transport vehicles ensure cooling and dehumidifying of the humid and hot air in order to provide thermal comfort and an acceptable indoor air quality for passengers [3]. Efficient use of these air conditioners is extremely important in terms of energy consumption.

The first law of thermodynamics (or energy analysis) is a very common method in evaluating the performance of thermal systems [4]. However, examination of exergy analysis or irreversibility analysis reveals more realistic results than energy analysis. Exergy analysis finds out the magnitudes and locations of inefficiencies of the cycles [5]. This leads us to improve the efficiency of the system.

Liang and Kuehn [6] analyzed a water to water source heat pump system using R22 on the law of energy and mass conservations in order to evaluate the irreversibilities of the condenser, evaporator and reciprocating compressor. They concluded that an increment in the heat transfer coefficient for the condenser and evaporator units would significantly

reduce the irreversibility, despite an increase in pressure drop.

Sahin et al. [7] applied an exergy analysis to three different organic Rankine cycle models using different refrigerants at different condenser inlet pressure, turbine inlet temperature and turbine inlet pressure. They determined the exergy of the system and the irreversibility values of the components per unit mass for R600a, R290 and R152a fluids. They also demonstrated the effect of different fluids on the irreversibility values of the components by using MATLAB and EES software for exergy analysis of organic Rankine cycle.

Yataganbaba et al. [8] carried out irreversibility analysis to a two-evaporator vapor compression refrigeration cycle using R407C, R410A, R404A and R134a in order to investigate the effect of the evaporation and condensation temperatures on the exergy destruction of the system components. They emphasized that the exergy destruction rate of the components was affected by the changes in temperature of the evaporation and condensation.

Tosun et al. [9] performed an exergy analysis to improve the bus air conditioning system design. They evaluated exergy destructions and exergy efficiency of components and entire system for different air mixing rates and seasons. They determined the exergy destructions within the evaporator, the condenser and the expansion valve as 2.78, 2.61 and 0.99 kW, respectively and calculated the maximum exergy destruction value as 6.96 kW within the compressor unit.

In the present study, a MAC system was tested and evaluated exergetically in terms of its performance. The condensation pressure was gradually increased from 650 kPa to 770 kPa while the evaporation pressure increased from 210 kPa to 330 kPa. The indoor and outdoor temperatures were kept constant

at 20 °C and 22 °C, respectively. Thus, an irreversibility analysis was applied for different condensation and evaporation pressures in order to determine the rates of the exergy transfer and the entropy generation within the all components and the MAC system.

2. SYSTEM DESCRIPTION

The MAC system was installed in Çukurova University Adana High Vocational School. Schematic representation of the experimental set is shown in Figure 1.



Figure 1. The MAC set

The experimental set operates on a mechanical vapor compression cycle. This cycle is most commonly used cycle for refrigeration and air-conditioner applications. The vapor compression refrigeration cycle consists four main

elements as a compressor, a condenser, an expansion valve and an evaporator (Figure 2).

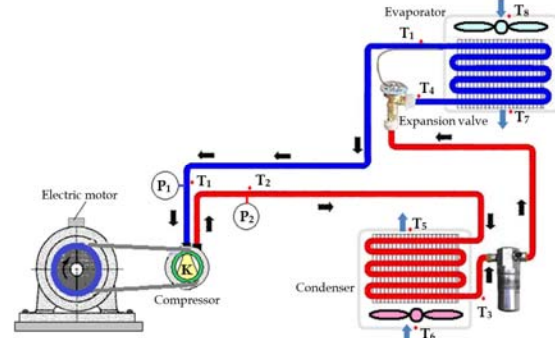


Figure 2. Schematic representation of MAC set

Refrigerant is compressed to condenser in a form of superheated vapor by compressor that driven by electric motor. The temperature of the refrigerant in superheated vapor state is higher than the ambient temperature. Refrigerant is cooled by heat rejection to the surroundings in condenser at high pressure and temperatures. Refrigerant leaves at high pressure as compressed liquid, then it is expanded to the evaporation pressure by passing through a throttle valve. The temperature of the refrigerant is lower than the temperature of the interior air of the minibus after expansion process. The refrigerant enters the evaporator as low quality saturated mixture and it evaporates by heat removal from interior air of the minibus. At the end of the evaporation process, the refrigerant is in superheated vapor phase and reenters the compressor, completing the cycle.

Technical specifications of the MAC were shown in Table 1.

Table 1. Technical specifications of the MAC set

Definition	Properties
Refrigerant	R134a
Amount of refrigerant	1.5 ± 0.05 kg
Cooling capacity	6000 kcal/h
Heating capacity	8650 kcal/h
Evaporator fan flow rate	1200 m ³ /h
Condenser fan flow rate	3100 m ³ /h
Type of expansion valve	Externally equalized TXV

3. THEORETICAL ANALYSIS

In order to investigate the irreversibility and the exergy efficiency of each components of the MAC, exergy and entropy balances were applied. The following assumptions were made in the calculations:

- All processes are steady state.
- The change of kinetic and potential energies of the entire system is zero.
- There are no chemical, magnetic and nuclear reactions.
- Heat transfer takes place only in the condenser and the evaporator units.
- The compression process on the compressor is adiabatic.
- There are no heat and work transfer in the expansion valve.
- The directions of the work done by the system and heat transfer and mass entry to the system are positive.
- The air is an ideal gas and has a constant specific heat.
- The atmospheric pressure is 101.3 kPa.

In the exergy balance, the difference between inlet and outlet exergy transfer rate by heat, work and mass equals to rate of the exergy destruction (Equation 1) [8, 10-12].

$$\dot{X}_{\text{heat,in}} + \dot{X}_{\text{mass,in}} - \dot{X}_{\text{work,out}} = \dot{X}_{\text{dest}} \quad (1)$$

The exergy transfer rate by heat, work and mass can be defined as follow (Equation 2-4):

$$\dot{X}_{\text{heat,in}} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \dot{Q}_{\text{in}} \quad (2)$$

$$\dot{X}_{\text{work,out}} = \dot{W}_{\text{out}} \quad (3)$$

$$\dot{X}_{\text{mass}} = \dot{m}(\epsilon_{\text{in}} - \epsilon_{\text{out}}) \quad (4)$$

The general exergy destruction rate can be obtained by substituting equations (2), (3) and (4) into the equation (1) (Equation 5).

$$\dot{X}_{\text{dest}} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}(\epsilon_{\text{in}} - \epsilon_{\text{out}}) \quad (5)$$

The flow exergy is evaluated as (Equation 2) [8, 10-12]:

$$\epsilon = (h - T_0s) - (h_0 - T_0s_0) \quad (6)$$

Alternatively, the total flow exergy of moist air can be also calculated by the following (Equation 7) [4, 8].

$$\epsilon_{\text{air}} = (c_{p,a} + \omega c_{p,v}) T_0 \left(\frac{T}{T_0} - 1 - \ln \frac{T}{T_0} \right) + (1 + \tilde{\omega}) R_a T_0 \ln \frac{P}{P_0} + R_a T_0 \left[(1 + \tilde{\omega}) \ln \frac{1 + \tilde{\omega}_0}{1 + \tilde{\omega}} + \tilde{\omega} \ln \frac{\tilde{\omega}}{\tilde{\omega}_0} \right] \quad (7)$$

where $\tilde{\omega} = 1.608\omega$

In the MAC system, an electrical work is transferred in the compressor unit in order to increase the pressure of the refrigerant. The amount of the rate of work is (Equation 8)

$$\dot{W}_{\text{comp}} = \dot{m}_{\text{ref}}(h_2 - h_1) \quad (8)$$

The amount of heat transfer in the condenser unit is described from the first law of thermodynamics for both refrigerant and air sides as follows (Equation 9):

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = \dot{m}_{\text{ref}}(h_2 - h_3) = (\dot{m}c_p)_{\text{air}}(T_5 - T_6) \quad (9)$$

For refrigerant and air sides, the amount of heat transfer in the evaporator unit is defined as (Equation 10):

$$\dot{Q}_{\text{evap}} = \dot{m}_{\text{ref}}(h_1 - h_4) = (\dot{m}c_p)_{\text{air}}(T_8 - T_7) \quad (10)$$

In the entropy balance, the difference between outlet and inlet entropy transfer rate by heat and mass equals to rate of the entropy generation [10, 11]. The entropy generation rate during any process is written as (Equation 11) [10-13]

$$\dot{S}_{\text{gen}} = \sum \dot{m}_{\text{out}}s_{\text{out}} - \sum \dot{m}_{\text{in}}s_{\text{in}} - \sum \frac{\dot{Q}_{\text{in}}}{T} \quad (11)$$

Table 2. The equations of the exergy destruction, the entropy generation, and the exergy efficiency for each components of MAC

Component	The Irreversibility Rate			The Rational Exergy Efficiency ψ (%)
	from The Exergy Destruction $\dot{i}=\dot{X}_{dest}$ (kW)	from the Entropy Generation $\dot{i}=T_0\dot{S}_{gen}$ (kW)		
Compressor	$\dot{m}_{ref}(\varepsilon_1-\varepsilon_2)+\dot{W}_{comp}$	$T_0\dot{m}_{ref}(s_2-s_1)$	$\frac{\varepsilon_2-\varepsilon_1}{h_2-h_1}$	
Condenser	$\dot{m}_{ref}(\varepsilon_2-\varepsilon_3)+\dot{m}_{air}(\varepsilon_6-\varepsilon_5)$	$T_0[\dot{m}_{ref}(s_3-s_2)+(\dot{m}c_p)_{air}\ln(T_5/T_6)]$	$\left(1-\frac{T_0}{T_{cond}}\right)\frac{h_2-h_3}{\varepsilon_2-\varepsilon_3}$	
	or $\dot{m}_{ref}(\varepsilon_2-\varepsilon_3)-\left(1-\frac{T_0}{T_{cond}}\right)\dot{Q}_{cond}$	or $T_0\dot{m}_{ref}[(s_3-s_2)+(h_2-h_3)/T_{cond}]$		
Expansion valve	$\dot{m}_{ref}(\varepsilon_3-\varepsilon_4)$	$T_0\dot{m}_{ref}(s_4-s_3)$	$\frac{\varepsilon_4}{\varepsilon_3}$	
Evaporator	$\dot{m}_{ref}(\varepsilon_4-\varepsilon_1)+\dot{m}_{air}(\varepsilon_8-\varepsilon_7)$	$T_0[\dot{m}_{ref}(s_1-s_4)+(\dot{m}c_p)_{air}\ln(T_7/T_8)]$	$\left(1-\frac{T_0}{T_{evap}}\right)\frac{h_4-h_1}{\varepsilon_4-\varepsilon_1}$	
	or $\dot{m}_{ref}(\varepsilon_4-\varepsilon_1)+\left(1-\frac{T_0}{T_{evap}}\right)\dot{Q}_{evap}$	or $T_0\dot{m}_{ref}[(s_1-s_4)-(h_1-h_4)/T_{evap}]$		
MAC system	$\dot{m}_{air}[(\varepsilon_6-\varepsilon_5)+(\varepsilon_8-\varepsilon_7)]+\dot{W}_{comp}$	$T_0(\dot{m}c_p)_{air}[\ln(T_5/T_6)+\ln(T_7/T_8)]$	$\left(1-\frac{T_0}{T_{evap}}\right)\frac{h_4-h_1}{h_2-h_1}$	
	or $\left(1-\frac{T_0}{T_{evap}}\right)\dot{Q}_{evap}-\left(1-\frac{T_0}{T_{cond}}\right)\dot{Q}_{cond}+\dot{W}_{comp}$	or $T_0\dot{m}_{ref}[(h_2-h_3)/T_{cond}-(h_1-h_4)/T_{evap}]$		

The specific entropy difference of an ideal gas under the constant specific heat is achieved as follow (Equation 12) [9]

$$s_{out}-s_{in}=c_{p,air} \ln \frac{T_{out}}{T_{in}}-R_{air} \ln \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (12)$$

The irreversibility rate and the exergy destruction rate are the similar and it is also obtained by multiplying the entropy generation rate with the temperature of the dead state (Equation 13).

$$\dot{I}=\dot{X}_{dest}=T_0 \dot{S}_{gen} \quad (13)$$

The rational exergy is the ratio of the desired exergy output to the consumed exergy input (Equation 14) [10, 15].

$$\psi=\frac{\dot{X}_{des,out}}{\dot{X}_{cons,in}} \quad (14)$$

The formulations of the irreversibility analysis and exergy efficiency are summarized in Table 2. In the calculations, the ideal gas constant of dry air and the specific heat of moist air are taken as $R_a=0.287 \text{ kJ/kgK}$ and $c_{p,air}=1.016 \text{ kJ/kgK}$, respectively [16]. The dead state properties for the refrigerant and the atmospheric air are shown in Table 3.

Table 3. The dead state properties

Properties	Air	Refrigerant
Pressure, P_o	101.3 kPa	101.3 kPa
Temperature, T_o	18 °C	18 °C
Specific enthalpy, h_o	34.74 kJ/kg	320.0 kJ/kg
Specific entropy, s_o	0.132 kJ/kgK	1.08 kJ/kgK

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

The condensation pressure was gradually increased from 650 kPa to 770 kPa while the evaporation pressure increased from 210 kPa to 330 kPa. For the MAC system represented in Figure 2, the experimental and calculated results for the condensation pressure of 700 kPa are summarized in Table 4.

Table 4. Experimental results of the MAC system

State	P (kPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)	ϵ (kJ/kg)	\dot{X} (kW)
1	315.0	2.5	302.0	0.933	24.74	1.626
2	700.0	58.4	347.0	1.020	44.47	2.923
3	700.0	25.5	137.1	0.327	36.34	2.388
4	315.0	1.95	137.1	0.332	34.90	2.293
5	101.3	29.2	51.37	0.184	1.490	1.179
6	101.3	21.3	43.30	0.158	0.990	0.784
7	101.3	12.1	23.91	0.089	1.689	1.044
8	101.3	20.8	24.06	0.086	2.713	1.676
0 (ref)	101.3	18.0	320.0	1.080	–	–
0 (air)	101.3	18.0	34.7	0.132	–	–

The effect of the condensation pressure on the specific flow exergy and the specific entropy of the cycle locations are indicated in Figures 3 and 4. As can be seen in Figure 3, the maximum flow exergy was obtained at the point 2 which is the inlet of the condenser unit (or exit of the compressor) and the minimum flow exergy was obtained at the point 1 which is the exit of the evaporator unit (or inlet of the compressor). It means that, the exergy flow is maximum where the temperature of the refrigerant is highest and the exergy flow is minimum where the temperature of the refrigerant is lowest. As the condensation pressure increased from 650 kPa to 770 kPa, the specific flow exergies of the points 1, 2, 3 and 4 increased by 24.3%, 9.22%, 0.26% and 1.63%, respectively.

Figure 4 shows, the minimum specific entropy was obtained at the point 3 and 4 which are the inlet and exit of the expansion valve, respectively (or exit of the condenser and inlet of the evaporator) and the maximum specific entropy was obtained at the point 2 which is the inlet of the condenser unit (or exit of the compressor). When the condensation pressure increased, the specific entropy of the point 1 decreased by 0.6%, on the other hand the specific entropy of the points 3 and 4 increased by 6.9% and 6.2%, respectively. The specific entropy of the point 2 remained almost constant.

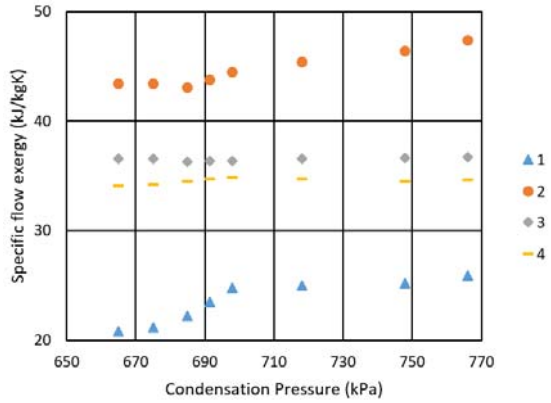


Figure 3. Variation of the specific flow exergy with different condensation pressures

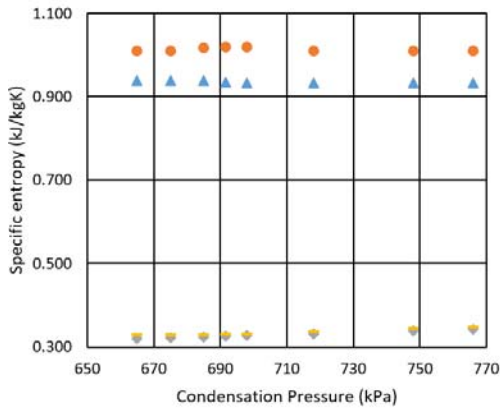


Figure 4. Variation of the specific entropy with different condensation pressures

The rate of the entropy generation within the compressor, the condenser, the expansion valve, the evaporator and the MAC system at the condensation pressure of 700 kPa are 0.00570, 0.00048, 0.00033, 0.00012 and 0.00663 kW/K, respectively. And the change of the entropy generation rate is illustrated in Figure 5. The entropy generation rate within the compressor unit and whole system are much higher than the other components. The rate of the entropy generation is the lowest within the evaporator. The rate of the entropy generation within the compressor, the condenser and the MAC system increased by 11.5%, 45.6% and 8.28%, respectively, when the condensation pressure increased. However, the rate of the entropy

generation within the expansion valve and the evaporator decreased by 16.0% and 38.6%.

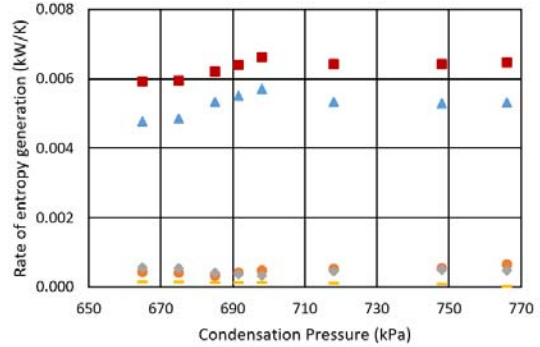


Figure 5. Variation of the entropy generation rate with different condensation pressures

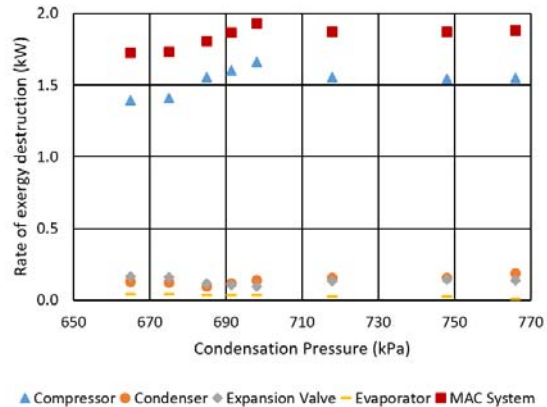


Figure 6. Variation of the irreversibility rate or the exergy destruction rate with different condensation pressures

Figure 6 indicates the effect of the condensation pressure on the irreversibility rate, in other words, the effect on the rate of the exergy destruction. The irreversibility rates of the compressor, the condenser, the expansion valve, the evaporator and the MAC system at the condensation pressure of 700 kPa are 1.6609, 0.1387, 0.0947, 0.0351 and 1.9294 kW, respectively. As the condensation pressure increased from 650 to 770 kPa, the irreversibility rate of the compressor, the condenser and the MAC system increased by 11.5%, 45.6%

and 8.28%, respectively, when the condensation pressure increased. Besides, the irreversibility rate of the expansion valve and the evaporator decreased by 16.0% and 38.6%. Figures 5 and 6 emphasize that in the components of the refrigeration cycle, the trend of the entropy generation rate and the trend of the exergy destruction rate are the same.

The variation of the rational exergy efficiency of the all components and whole system with the condensation pressure is shown in Figure 7. The rational exergy efficiency of the compressor, the condenser, the expansion valve, the evaporator and the MAC system at the condensation pressure of 700 kPa are 43.84%, 74.05%, 96.04%, 94.74% and 21.38%, respectively.

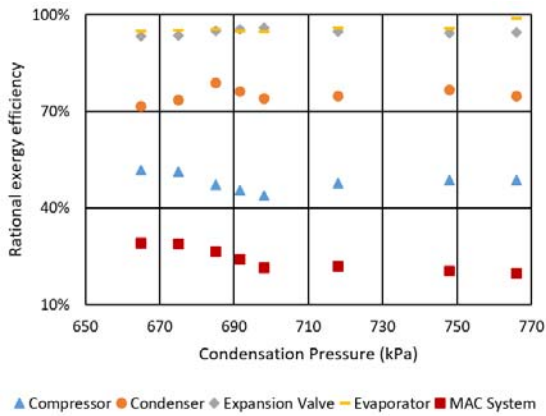


Figure 7. Variation of the rational exergy efficiency with different condensation pressures

Table 5. Experimental results of the MAC system

	Rate of energy transfer (kW)	Rate of entropy generation (kW/K)	Rate of exergy destruction (kW)	Exergy efficiency (%)
Compressor	2.96	0.00570	1.661	43.8%
Condenser	13.79	0.00048	0.139	74.0%
Exp. valve	0.00	0.00033	0.095	96.0%
Evaporator	10.84	0.00012	0.035	94.7%
MAC system	-	0.00663	1.929	21.4%

The calculation results of the rate of energy transfer, entropy generation and exergy destruction or irreversibility and exergy efficiency for the condensation pressure of 700 kPa are summarized in Table 5.

5. CONCLUSIONS

The condensation pressure was increased about 18.5% under the same indoor and outdoor conditions. The effect of the condenser pressure on the rate of irreversibility and on the exergy efficiency is investigated.

The following main concluding remarks may be listed from the main results of this study:

- The irreversibility analysis was explained in detail and the formulas to be used in the irreversibility analysis for the vapor compression refrigeration cycle were summarized in tabular form (in Table 2).
- The maximum flow exergy is obtained at the compressor output which is about 44.65 kJ/kg.
- The irreversibility rate of the whole system was approximately 1.8381 kW. The lowest irreversibility rate was about 0.0321 kW which was obtained in the evaporator.
- The rate of the entropy generation within the compressor and the MAC system increased by 11.5% and 8.28%, respectively, when the condensation pressure increased.
- The rational exergy efficiency of the evaporator and the expansion valve were the higher compared to other components and the efficiencies were approximately %96 and %95, respectively. The lowest rational exergy efficiency was about 48% which was obtained in the compressor.
- The rational exergy efficiency of the whole system was approximately 24%.
- For a further study, performing exergoeconomic (thermoeconomic) and enhanced (advanced) exergy analyses is recommended.

NOMENCLATURE

c	: Specific heat (kJ/kgK)
\dot{E}	: Energy rate (kW)
h	: Specific enthalpy (kJ/kg)
\dot{I}	: Irreversibility rate (kW)
\dot{m}	: Mass flow rate (kg/s)
P	: Absolute pressure (kPa)
\dot{Q}	: Heat transfer rate (kW)
R	: Ideal gas constant (kJ/kgK)
s	: Specific entropy (kJ/kgK)
\dot{S}	: Entropy transfer rate (kW/K)
T	: Temperature (°C or K)
\dot{W}	: Work transfer rate or power (kW)
\dot{X}	: Exergy rate (kW)

Greek symbols

ω	: Specific humidity (kg water vapor/kg dry air)
ϕ	: Relative humidity (%)
ε	: Flow exergy (kJ/kg)
ψ	: Rational exergy efficiency (%)

Subscripts

θ	: Dead state
$1, 2, \dots$: Cycle locations
a	: Dry air
air	: Moist (atmospheric) air
$comp$: Compressor
$cond$: Condenser or condensation
$cons$: Consumed
des	: Desired
$dest$: Destroyed
$evap$: Evaporator or evaporation
$expan$: Expansion valve
gen	: Generation
in	: Inlet
out	: Outlet
p	: Constant pressure
v	: Vapor

Abbreviations

COP	: Coefficient of performance
MAC	: Minibus air conditioning

6. REFERENCES

1. Bilgili, M., Çardak, E., Aktaş, A.E., 2017. Thermodynamic Analysis of Bus Air Conditioner Working with Refrigerant R600a, *European Mechanical Science*, 1(2), 69-75.
2. Simsek, E., Karacayli, I., Ilin, S. C., Bilgili, M., 2018. Minibüs Kliması Eğitim Setinin Tasarlanması ve Kurulması, 2nd International Vocational Science Symposium, 420-427, Antalya.
3. Yu, B.F., Hu, Z.B., Liu, M., Yang, H.L., Kong, Q.X., Liu, Y.H., 2009. Review of Research on Air-Conditioning Systems and Indoor Air Quality Control for Human Health, *International Journal of Refrigeration*, 32, 3–20.
4. Gungor, A., Karacayli, I., Simsek, E., Canli, Y., 2017. Geri Dönüş Havalı İklimlendirme Sistemlerinde Enerji ve Ekserji Analizi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 19-29.
5. Dincer, I., Rosen, M.A., 2007. *Exergy, Energy, Environment and Sustainable Development*, 1st ed., Elsevier, Oxford, UK.
6. Liang, H., Kuehn, T.H., 1991. Irreversibility Analysis of a Water to Water Mechanical Compression Heat Pump, *Energy*, 16(6), 883-896.
7. Sahin, R., Ata, S., Kahraman, A., 2018. Organik Rankine Çevriminde Farklı Tip Akışkanlarda Türbin Giriş Sıcaklığı ve Basıncının Sistem Bileşenlerindeki Tersinmezlik Değerlerine Etkisinin Belirlenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), 225-236.
8. Yataganbaba, A., Kilicarslan, A., Kurtbas, I., 2015. Irreversibility Analysis of a Two-Evaporator Vapour Compression Refrigeration System, *Int. J. Exergy*, 18(3), 340–355.
9. Tosun, E., Bilgili, M., Tuccar, G., Yasar, A., Aydın, K., 2016. Exergy Analysis of an Inter-City Bus Air-Conditioning System, *Int. J. Exergy*, 20(4), 445–464.
10. Hepbasli, A., Akdemir, O., 2004. Energy and Exergy Analysis of a Ground Source (Geothermal) Heat Pump System, *Energy Conversion and Management*, 45(5), 737-753.

11. Cengel, Y.A., Boles, M.A., 2015. An Engineering Approach, New York: McGraw-Hill Education.
12. Hepbasli, A., 2008. A Key Review on Exergetic Analysis and Assessment of Renewable Energy Resources for a Sustainable Future, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12(3), 593-661.
13. Salazar-Pereyra, M., Toledo-Velázquez, M., Eslava, G.T., Lugo-Leyte, R., Rosas, C.R., 2011. Energy and Exergy Analysis of Moist Air for Application in Power Plants, Energy and Power Engineering, 3, 376-381.
14. Türkakar, G., Okutucu-Özyurt, T., 2015. Entropy Generation Analysis and Dimensional Optimization of an Evaporator for Use in a Microscale Refrigeration Cycle, International Journal of Refrigeration, 56, 140-153.
15. Kotas, T.J., 1985. The Exergy Method of Thermal Plant Analysis, Anchor Brendon Ltd.
16. Qureshi, B.A., Zubair, S.M., 2003. Application of Exergy Analysis to Various Psychrometric Processes, International Journal of Energy Research, 27, 1079-1094.

Kelime Temsil Yöntemleri ile Kelime Benzerliklerinin İncelenmesi

Murat AYDOĞAN*¹, Ali KARCI²

¹Bingöl Üniversitesi, Genç Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Bingöl

²İnönü Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya

Geliş tarihi: 09.01.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Öz

Günümüzde büyük veri alanında meydana gelen gelişmelerle birlikte günlük işlenebilir durumda olan veri miktarı oldukça büyük boyutlara ulaşmıştır. Bu verilerin çok büyük bir kısmının metin (text) verilerinden oluşması, metin işleme alanında yapılan çalışmaları oldukça önemli ve popüler bir hale getirmiştir. Ancak bu alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde başta İngilizce olmak üzere birçok dünya diline yönelik çeşitli çalışmalar yapılırken, Türkçeye özgü yapılan çalışmaların istenilen sayıda olmadığı görülmüştür. Bu nedenle bu çalışma için, python ortamı kütüphanelerinden biri olan Beautiful Soup kütüphanesi kullanılarak Türkçe metinlerden oluşan büyük bir derlem oluşturulmuştur. Bu çalışmada, kelimeleri vektör uzayında her bir kelimenin bir vektörle temsil edildiği yeni bir yaklaşım olan Word2Vec modeli algoritmalarından CBOW ve Skip-Gram algoritmaları ile Glove modeli kullanılmıştır. Oluşturulan derlem üzerinde Word2Vec yöntemi ile Türkçe kelimelerden oluşan ve bu kelimeler arasındaki anlamsal ilişkileri tespit etmeye çalışan bir model geliştirilmiş ve diğer modeller ile başarımları ve eğitim süreleri kıyaslanmıştır. Ayrıca çalışmanın bir diğer katkısı ise modelin performansını artırmak için Türkçe için etkisiz kelimeler listesi oluşturulmasıdır. Geliştirilen bu model ile özellikle Türkçe metin sınıflandırma problemlerinde daha yüksek bir sınıflandırma başarımlarının yakalanması hedeflenmektedir. Bu çalışma kapsamında oluşturulan model analiz edilip yakın anlamlı kelimeler incelendiğinde oldukça başarılı performans gösterdiği tespit edilmiştir. Veriseti ve kelime vektörleri Türkçe çalışmalara katkı sağlamak için erişime açık olarak paylaşılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Doğal dil işleme, Kelime temsili, Word2Vec, GloVe

Investigation of Word Similarities with Word Embedding Methods

Abstract

Nowadays, the amount of data that can be processed daily has reached quite big dimensions with the developments in the big data. The fact that a large part of this data consists of text data has made the studies in the field of text processing very important and popular. However, when the studies in this area are examined, it has been observed that while various studies are carried out for many World languages, especially English, there are no desired number of studies conducted in Turkish. Therefore, a large corpus of Turkish texts was created using the Beautiful Soup library, one of the python environment libraries. In this study, CBOW and Skip-Gram algorithms from Word2Vec model algorithms and Glove model were used where each word is represented with a vector in the vector space. In this study, a model which consists of Word2Vec method and Turkish words and tries to detect the semantic relations between these

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Murat AYDOĞAN, maydogan@bingol.edu.tr

words has been developed and the performance and training times have been compared with other models. In addition, another contribution of this study to improve the performance of the model to create a list of stop words for Turkish. With this model, it is aimed to achieve a higher classification performance especially for Turkish text classification problems. After analyzing the model formed within the scope of this study, it was detected that it showed a very successful performance when close words were examined. The dataset and word vectors will be shared with the public to provide contributions to Turkish studies.

Keywords: Natural language processing, Word embedding, Word2Vec, GloVe

1. GİRİŞ

Günümüzde internet dünyasının yaygın kullanımına bağlı olarak yaşanan gelişmelerle birlikte üretilen veri miktarı hızla artmaktadır. “Büyük Veri” olarak adlandırılan bu büyük veri kümeleriyle ilgili olarak IBM’e göre bir günde yaklaşık 2,5 kentilyon veri üretilmektedir. Üretilen bu verinin çok büyük kısmını ise (%90-95) metin verileri oluşturmaktadır. Forbes verilerine göre 2 yıl içerisinde üretilen metin verileri 40 zettabayt boyutuna ulaşacaktır. Ayrıca Google her saniyede 40 binden fazla arama sonucunu işlerken bu durum yaklaşık olarak günde 3,5 milyar aramaya tekabül etmektedir [1].

Bu nedenle metin işleme çalışmaları son dönemde oldukça önemli hale gelmiş ve yapılan çalışmalar incelendiğinde oldukça popüler olmuştur. Metin işleme alanında şu alanlarda çok sayıda çalışmalar yapılmaktadır.

- Yazım yanlışlarının düzeltilmesi
- Bir metnin özetini çıkarma
- Metnin içerdiği bilgiyi çıkarma
- Bilgiye erişim
- Metni anlama
- Bilgisayarla sesli etkileşim
- Konuşmayı anlama (konuşmayı metne dönüştürme)
- Soru yanıt dizgeleri
- Doğal diller arası çeviri [2].

Bir derlem içerisindeki metinlerin nasıl temsil edileceği metin işleme çalışmalarının en kritik noktalarından biridir. En basit tanımıyla, metinlerin sayısal ifadelerle dönüştürülmesine kelime temsili (word embedding) denilmektedir.

Aynı metin farklı şekilde farklı sayısal değerlere dönüştürülebilmektedir [3].

Kelime temsil yöntemleri, Frekans Bazlı Temsil ve Tahmin Bazlı temsil olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Daha geleneksel yöntemler olarak tanımlanan Frekans bazlı kelime temsilleri, dokümanlar içerisinde bulunan kelimeler ve bu kelimelerin frekanslarının tespit edilmesi prensibine dayanmaktadır [4].

Frekans bazlı kelime temsiline dayalı olarak geliştirilmiş ve en çok tercih edilen yöntem Bag of Words metodudur. Bu yöntemde göre, doküman içerisindeki her cümle benzersiz (unique) kelimelere ayrılarak, benzersiz kelime boyutunda bir matrise dönüştürülür. Matrisin sütunları doküman içerisindeki kelimelerden oluşurken (N), satırları ise doküman sayısından meydana gelir (D). Sonuç olarak tüm derlem $D \times N$ boyutunda bir matris olarak temsil edilmiş olur [5]. Frekans bazlı temsil yöntemlerinden bir diğeri ise TF-IDF (Term Frequency—Inverse Document Frequency) yöntemidir. Term Frequency, bir doküman içerisinde geçen terim frekanslarını tespit etmek için kullanılır. Inverse Document Frequency yöntemi ise birden fazla dokümanda kelimenin geçme sayısını bularak bu kelimenin terim olup olmadığını bağlaç vb (stop words-etkisiz kelime-) olduğu anlamaya çalışır [6]. Bu çalışmada da oluşturulan modelin verimliliğini artırmak için Türkçe kelime stop words listesine ihtiyaç duyulmuş ancak bu konuda tatmin edici bir liste bulunmadığı için çalışmanın bir katkısı olarak Inverse Document Frequency yöntemi kullanılarak bir stop words (etkisiz kelimeler) listesi oluşturulmuş bununla ilgili bilgiler çalışmanın ilerleyen kısımlarında verilmiştir. Co-Occurrence

Matrix ise benzer kelimelerin cümle içerisinde birlikte geçme eğiliminde olması ilkesine dayanmaktadır. Bu yöntemde oluşturulan matrisin hem satırlarında hem sütunlarında benzersiz (unique) kelimeler yer almaktadır. Matrisin hücrelerini ise, satır ve sütunda yer alan kelimelerin birlikte geçme frekanslarını içermektedir [7].

Frekans bazlı yöntemlerin en önemli iki dezavantajı vardır. Birincisi, kullanılan yöntemlere göre satır ve/veya sütunlarda benzersiz kelimeler bulunduğu için kelime sayısı boyutunda matrisler meydana gelir ve bunların birçoğunun değeri 0 olacağından seyrek matris (sparse matrix) denilen durum ortaya çıkmaktadır. Bir diğer önemli dezavantajı ise, kelimeler arasındaki anlamsal yakınlıkların tespit edilememesi durumudur [8].

Kelime temsil yöntemlerinden bir diğeri olan tahmin bazlı kelime temsil yöntemi ailesinden olan Mikolov ve arkadaşları [9] tarafından 2013 yılında geliştirilmiş olan temelinde yapay sinir ağı ile kelimelerin eğitilmesi ilkesine dayanan Word2Vec modelidir. Bu model giriş olarak alınan kelimelere dayanarak hedef kelimeyi tahmin etme prensibine dayalıdır. Word2Vec modeli CBOW (Continuous Bag of Words) ve Skip-gram olarak adlandırılan iki farklı algoritmadan oluşmaktadır.

Tahmin bazlı bir kelime temsil yöntemi olan Word2Vec yöntemi, girdi (input) olarak büyük bir derlem içerisindeki benzersiz kelimeleri alır ve belirlenen bir temsil vektörü boyutunda matris oluşturulmaktadır. Word2Vec modeli her defasında dokümandaki bir cümleyi pencere (window) denilen bir yapı içerisinde kaydırarak taramakta ve penceredeki hedef kelimeye göre genellikle çok sayıda boyuttan oluşan bir vektörü çıktı olarak üretmektedir [10].

Word2Vec yönteminin genel olarak birbirine benzeyen CBOW (Continuous Bag of words) ve Skip-Gram olmak üzere iki tür alt yöntemi vardır. Bu iki modelin temel olarak farklılıkları ise girdi ve çıktılarını alma yöntemlerine dayanmaktadır [11].

Bu çalışmada, Türkçe içeriklerden oluşmuş bir derlem üzerinde Word2Vec yöntemi ile her bir

kelime için kelime vektörleri oluşturularak kelime benzerlikleri ve anlam benzerlikleri incelenmiş, ayrıca bulunan sonuçlar Glove yöntemi ile kıyaslanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kelime temsili (word embedding), kelimelerin harflerden vektör biçiminde sayılara dönüştürülmesi olarak açıklanabilir. Kelime temsil metotları ise bu dönüştürme işleminde tercih edilen tekniklerdir. Literatür incelendiğinde, özellikle sinir ağlarında son dönemlerde yaşanan gelişmelerle birlikte kelime temsili için metin işleme çalışmalarında en kritik noktalardan bir olduğu kabul edilmektedir [12].

Amasyalı ve arkadaşları [13] çalışmalarında Türkçe metin sınıflandırma için 6 Türkçe veri seti üzerinde temsil yöntemlerinin performanslarını karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında uyguladıkları kelime temsil metotları arasında en başarılı performansı n-gram yöntemi göstermiştir.

Arabacı ve arkadaşları [14] ise kelime temsil yöntemlerini kullanarak benzer cümle tespiti yapmışlardır. Çalışmada Word2Vec yöntemi ile birlikte Fisher kodlama kullanılmıştır. Çalışma sonunda bu teknikle en yüksek başarımlar elde edilmiştir.

Esen ve Özkan ise TBMM tutanaklarına göre kelime temsil yöntemleri ile parti bağdaşıklığı açısından analiz çalışması yapmışlardır. Bunun için siyasi metinler otomatik olarak analiz edilmiş ve buna göre parti bağdaşıklığı ölçülmüştür [15].

Amasyalı ve arkadaşları [16] çalışmalarında Türkçe duygu durum analizi için metinlerin kelime, anlamsal ve karakter tabanlı temsilleri karşılaştırmışlardır. Türkçe veri seti üzerinde yaptıkları çalışmalarında karakter tabanlı temsiller daha başarılı olmuştur.

Ayata ve arkadaşları ise Türkçe tweetlerinin içeriğine göre duygu analizi yapmışlardır. Kelimeler vektörleştirilerek temsil edilmiş, makine öğrenmesi algoritmaları ile sınıflandırma işlemi yapılmıştır [17].

Keleş ve Özel [18] ise çalışmalarında Türkçe doküman arasındaki benzerlikleri belirleyebilmek için çeşitli uzaklık ölçütlerinin performanslarını karşılaştırarak en uygun yöntemi belirlemeye çalışmışlardır. Çalışma sonunda kosinüs benzerliği yönteminin daha başarılı performans göstermiştir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde genellikle yapılan çalışmaların bir kısmında geleneksel kelime temsil yöntemlerinin kullanıldığı görülürken, sinir ağı temelli modern temsil yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalarda ise kullanılan veri setlerinin belli bir konseptten (TBMM tutanakları, siyasi metinler, olumlu-olumsuz müşteri/kullanıcı yorumları vs.) seçildiği görülmüştür.

Bu durumun kelimeler arasında ki anlamsal ilişkilerin tam olarak ortaya çıkarılmasında bir dezavantaj oluşturacağı düşünüldüğünden bu çalışmada, çeşitli konu başlıklarından seçilen metinlerle bilinen en büyük etiketsiz Türkçe veri seti oluşturulmuştur. Bu veri seti üzerinde kelime temsil çalışmaları yapılırken aynı zamanda kelime temsil yöntemlerinin de performansları değerlendirilmiştir. Bu veri seti ve kelime vektörleri Türkçe doğal dil işleme çalışmalarına katkı sunmak amacıyla araştırmacılarla paylaşılacaktır. Çalışmanın bir diğer katkısı ise ön işleme çalışmalarına fayda sağlamak amacıyla etkisiz kelimeler listesi oluşturulmuştur. Ayrıca, özellikle Word2Vec metodu ve sistematığı hakkında Türkçe kaynak eksikliği görüldüğünden bu konu da detaylı olarak anlatılmaya çalışılmıştır.

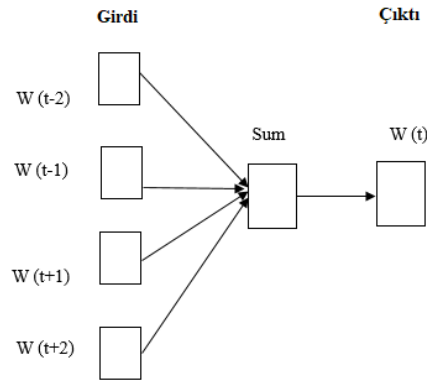
3. YÖNTEM

3.1. CBOW Model (Continuous Bag of Words)

CBOW modelinde pencere boyutu (window size) merkezinde olmayan kelimeler girdi olarak alınıp, merkezinde olan kelimeler çıktı olarak tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Bu işlem cümle bitimine kadar devam etmektedir [9].

Bu durum Şekil 1'de gösterilmeye çalışılmıştır. Burada $w(t)$ ile gösterilen değer, cümlelerin merkezinde bulunan ve tahmin edilmek istenen

çıktı değeri iken, $w(t-2)$ $w(t+2)$ ile gösterilen değerler ise tercih edilen pencere boyutuna göre (window_size) merkezde olmayan çıktı değerleridir.



Şekil 1. CBOW modelinin yapısı [9].

Şekil 1'de açıklanan CBOW modelinin uygulaması dünyaca ünlü yapay zekâ araştırmacılarından biri olan Andrew Ng'nin söylediği bir söz üzerinden açıklanmak istenirse

Örnek Cümle: “Yapay zekâ yeni elektriktir.”

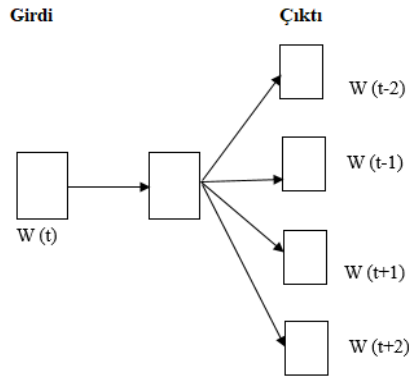
Bu cümleyi girdi olarak alan ve pencere boyutu=1 olan CBOW modeli şu şekilde çalışmaktadır. Önce “yapay” kelimesini pencerenin merkezine oturur, sonra sağındaki ve solundaki 1'er kelimeyi ayrı ayrı girdi olarak alıp (window_size=1) pencerenin merkezinde bulunan “yapay” kelimesinin ağı modeli ile tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Sonra pencere 1 sağa kaydırılarak, bu sefer de pencerenin merkezine “zeka” kelimesi gelmektedir. Çizelge 1'de cümlelerin adım adım CBOW modeline göre işlenmesi gösterilmiştir. Kırmızı renkle yazılmış kelimeler çıktıyı, mavi renkli kelimeler ise girdiyi ifade etmektedir.

Çizelge 1. CBOW modeli

	Cümle (window_size=1)				GİRDİ	ÇIKTI
1	Yapay	zeka	yeni	elektriktir	(zeka)	(yapay)
2	Yapay	zeka	yeni	elektriktir	(yapay) (yeni)	(zeka) (zeka)
3	Yapay	zeka	yeni	elektriktir	(zeka) (elektriktir)	(yeni) (yeni)
4	Yapay	zeka	yeni	elektriktir	(yeni)	(elektriktir)

3.2. Skip – Gram Model

Skip-Gram modelinde ise CBOW modelinin tersi şeklinde bir işleyişe sahiptir. Merkezdeki kelime girdi olarak alınıp merkezde olmayan kelimeler çıktı olarak tahmin edilmeye çalışılır. Bu işlem cümle bitene kadar devam eder. Bu durum Şekil 2’de gösterilmiştir [10].



Şekil 2. Skip – Gram modelinin yapısı [10]

CBOW modelinde uygulaması yapılan örnek cümle skip-gram modelinde uygulanması ise Şekil 3’teki gibi olmaktadır.

Şekil 3’te anlatılan skip-gram algoritmasının optimize edilecek hata fonksiyonu ise Eeşitlik 1’de gösterilmiştir. Bu denklemde pencere büyüklüğü m ile ifade edilmiştir. Denklem, derlem içerisindeki tüm kelimeler için t pozisyonundaki bir kelimenin solunda ve sağında bulunan m (pencere boyutu) kadar kelimenin tahmin edilmesine dayanmaktadır.

$$J = -\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \sum_{-m \leq j \leq m} \log P(w_{t+j} | w_t) \quad (1)$$

$t=1, \dots, T$ ile ifade edildiği gibi bu işlem derlem içerisindeki tüm kelimeler için yapılarak, her kelimenin etrafındaki kelimeleri yüksek olasılıkla tahmin edebilen vektörler oluşturulmaktadır. Olasılıkların hesaplandığı kısım ise Eşitlik 2 ile daha ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

$$P(w_{t+j} | w_t) = \frac{\exp(u_{w_{t+j}}^T v_{w_t})}{\sum_{w=1}^v \exp(u_w^T v_{w_t})} \quad (2)$$

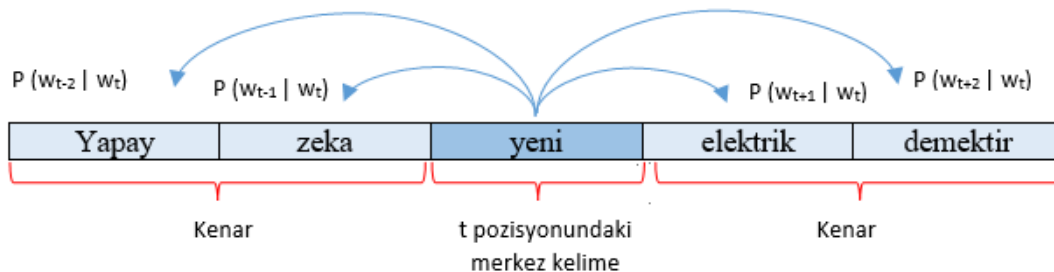
Burada dikkat edilmesi gereken husus büyüklüğü m olan bir pencere içerisindeki kelimenin tahmin edilmesi işlemi, her kelimenin biri söz konusu kelimenin merkezde yani w_t durumunda iken bir diğeri ise kelime pencere içerisinde kenar kelime durumunda yani w_{t+j} durumunda olmak üzere iki adet vektörünün olmasıdır. Her kelime için kenar kelimelere göre olasılıkların nasıl hesaplandığını gösteren 2 numaralı formülde v sembolü o kelimenin merkez kelime iken vektör değerini, u ise kelimenin pencere içerisinde kenar kelime durumundayken vektörel değerini ifade etmektedir.

Pencere boyutunun 2 olduğu bir olasılık hesaplama işlemi örneği aşağıdaki gibidir. Bölme işleminin paydasında ise, bu işlemin derlem içerisinde yer alan tüm kelimeler için yapılarak değerlerin toplandığı görülmektedir.

$$p(\text{yapay} | \text{yeni}) = \frac{\exp(u_{\text{yapay}}^T v_{\text{yeni}})}{\sum_{w=1}^v \exp(u_w^T v_{\text{yeni}})}$$

$$p(\text{zeka} | \text{yeni}) = \frac{\exp(u_{\text{zeka}}^T v_{\text{yeni}})}{\sum_{w=1}^v \exp(u_w^T v_{\text{yeni}})}$$

(1)



Şekil 3. Skip-Gram yönteminin uygulanması

Çizelge 2. Skip-Gram modeli

	Cümle (window_size=1)				GİRDİ	ÇIKTI
1	Yapay	zeka	yeni	elektriktir	(yapay)	(zeka)
2	Yapay	zeka	yeni	elektriktir	(zeka) (zeka)	(yapay) (yeni)
3	Yapay	zeka	yeni	elektriktir	(yeni) (yeni)	(zeka) (elektriktir)
4	Yapay	zeka	yeni	elektriktir	(elektriktir)	(yeni)

Çizelge 1 ve Çizelge 2 incelendiğinde Skip-Gram modelinin esasen CBOW modeli ile çok benzer olduğu daha öncede ifade edildiği gibi temel farklılığın kelimeleri girdi olarak alış şekillerinden kaynaklandığı net olarak ortaya çıkmaktadır.

3.3. GloVe

Glove, adını “Global Vectors for Word Representation” kelimelerinin baş harflerinden alan bir diğer kelime temsil yöntemidir. Doğal dil işleme alanında Word2Vec yönteminden sonra en çok kullanılan yöntemdir. Stanford üniversitesinde Pennington ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir [19].

Bir derlem üzerinde yakın anlamlı kelimelerin tespit edilmesinde Word2Vec yöntemine göre daha az başarılıdır. Glove, global kelime-kelime sayıları üzerinde eğitilen ve böylece istatistiklerin daha etkili olarak kullanılmasına olanak sağlayan bir yöntemdir. Glove modeli, analojik veri seti üzerinde %75 doğruluk oranına sahip bir kelime uzay modeli üretmektedir. Bu da Word2Vec yönteminin analoji tespitlerinde daha başarılı olduğunu göstermektedir. Glove yöntemine göre optimize edilecek hata fonksiyonu Eşitlik 3 ile gösterilmiştir.

$$J = \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^W f(P_{ij}) (u_i^T v_j - \log P_{ij})^2 \quad (3)$$

3 numaralı eşitliğe göre u ve v simgeleri global kelime-kelime sayıları ile oluşturulan matrisin satır ve sütun değerlerini göstermektedir. Eşitlik 3’te $f(P_{ij})$ tanımlanmış ağırlık fonksiyonudur. W ise oluşturulan sözlüğün boyutudur [19].

4. MATERYAL

Daha öncede bahsedildiği üzere metin işleme hatta daha üst kapsamıyla doğal dil işleme alanında yapılan çalışmalar, büyük veri kavramının ortaya çıkmasıyla hatta bu verilerin çok büyük bir kısmının metin (text) verilerinden oluşması nedeniyle çok büyük önem kazanmış ve son yıllarda oldukça popüler çalışma alanları haline gelmiştir. Ancak bu konuda Türkçe diline özgü yapılan çalışmaların sayısına bakıldığında sayılarının yetersiz olduğu görülmüştür. Bu nedenle Word2Vec yöntemiyle Türkçe içeriklerden oluşan veriler üzerinde bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada kullanılan Türkçe derlem (korpus) iki bölümden oluşmaktadır.

Hazırlanan korpusun ilk bölümü, internette faydalanarak bazı sorgularla veri çekmeye yarayan beautiful soup adlı bir python kütüphanesi ile oluşturulmuştur. Örneğin “teknoloji”, “eğitim”, “tarih”, “türkiye”, “ekonomi”, “spor”, “siyaset” gibi kelimeler ile sorgu yapılmıştır. Bu kısım internette edinildiği için bazı kelimelerde yazım hataları olabilmektedir.

Korpusun ikinci bölümü ise Türkiye Büyük Millet Meclisi tutanakları ve Wikipedia Türkçe makaleleri kullanılarak oluşturulmuştur. Bu bölümde ise, herhangi bir yazım hatası bulunmamaktadır. (3)

Bu çalışma kapsamında, toplamda 22.090.767 satırdan ve 10.562.752.820 adet token haline gelmiş kelimedenden oluşan yaklaşık 60 GB boyutunda bu alanda yapılmış çalışmalar içerisinde ki en büyük derlemlerden biri oluşturulmuştur.

4.1. Ön İşlem Çalışmaları

Metin dosyası içerisindeki metinler okunarak, nokta işareti referans alınarak metinler cümlelere bölünmüştür.

Cümlelerden harfler dışındaki tüm karakterler (sayılar, semboller, noktalama işaretleri) temizlenmiştir.

Cümleler ise, aralarındaki boşluklar dikkate alınarak kelimelere ayrılmıştır.

Tokenlara ayrılmış kelimeler, zemberek ortamı kullanılarak köklerine ayrılmıştır.

Kelimeler içerisinde stop words olarak bilinen etkisiz kelimeler elenmiştir. Ancak diğer diller için bu kelime listeleri daha önceden oluşturulmuşken Türkçeye özgü bu şekilde tatmin edici bir çalışma yapılmadığı için bu bölümde çalışmanın bir katkısı olarak etkisiz kelimeler listesi oluşturulmuştur.

Etkisiz kelimeler listesinin oluşturulmasında çalışma için hazırlanmış derlemin ikinci bölümü kullanılmıştır. Bunun nedeni derlemin bu bölümünün daha küçük olması ve hiçbir yazım hatasının bulunmamasıdır.

Etkisiz kelimeler listesinin oluşturulmasında ilk bölümde değinilen TF-IDF yöntemi kullanılmıştır [20].

Eşitlikte 4'te $tf_{i,j}$ ile terim sıklığı yani TF değeri hesaplanmaktadır. Bu değer eşitlikte de görüldüğü üzere $TF=kelimenin\ doküman\ da\ geçme$

$sayısı/dokümandaki\ kelime\ sayısı$ ile hesaplanmaktadır.

$$tf_{i,j} = \frac{n_{i,j}}{\sum_k n_{i,j}} \quad (4)$$

Eşitlik 5 kullanılarak IDF değeri hesaplanmıştır. $IDF = \log(\text{toplam doküman sayısı/kelimeyi içeren doküman sayısı})$

$$idf(w) = \log\left(\frac{N}{df_i}\right) \quad (5)$$

TF-IDF matrisinin ağırlıklarının oluşturulması için ise Eşitlik 6 kullanılmıştır.

$$w = tf * idf \quad (6)$$

Çizelge 3 yorumlanırsa, derlem içerisinde en yaygın kelimeler frekansları göz önüne alınarak hesaplanmıştır. TF-IDF değerleri tablodaki gibi hesaplandığında ağırlık değeri ne kadar 0'a yakınsa o kelimenin derlem içerisinde o kadar yaygın (common word) bir kelime olduğu anlaşılmaktadır. Bu da derlem içerisinde kelimenin çok spesifik bir kelime olmadığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle TF-IDF skoru 0 ile 0,1 aralığında olan kelimelerden etkisiz 250 kelime belirlenmiştir.

Daha önce de belirtildiği gibi bu çalışma için hazırlanan derlem içerisinde yaklaşık 10,5 milyar token kelime bulunmaktaydı. Etkisiz kelimeler listesinin oluşturulması ve uygulanması ile birlikte 848.908.720 adet kelime etkisiz kelimeler listesi içerisinde yer alan kelimelerden oluştuğu için model için hazırlanan derlem içerisinden elenerek temizlenmiştir.

Çizelge 3. TF-IDF ağırlık matrisleri

KELİME	TF	IDF	AĞIRLIK
'için'	126215/4742527= 0,026	$\log(387179 / 126215) = 0,486$	TF*IDF =0,012
'de'	98689/4742527= 0,020	$\log(387179 / 98689) = 0,593$	TF*IDF =0,011
'da'	68652/4742527= 0,014	$\log(387179 / 68652) = 0,751$	TF*IDF =0,010
'bu'	44037/4742527= 0,009	$\log(387179 / 44037) = 0,944$	TF*IDF =0,008
've'	26249/4742527= 0,005	$\log(387179 / 26249) = 1,168$	TF*IDF =0,005

4.2. Model Oluşturulması

Bu çalışmada daha öncede bahsedildiği gibi kelimelerin analizlerinin yapılmak üzere sayısallaştırılması maksadıyla Google tarafından Mikolov ve arkadaşları [9] tarafından geliştirilen Word2Vec yöntemi kullanılmıştır. Word2Vec yönteminde parametre seçimleri modelin performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Yöntemde kullanılan bazı parametreler ve açıklamaları ile bu çalışmada geliştirilen modelde tercih edilen parametre değerleri Çizelge 4'te

verilmiştir. Kullanılan parametre değerleri literatürde yapılan çalışmalar incelenerek ve kullanılan değerlerin sonunda elde edilen sonuçlar deneme yanılma ile gözlemlenerek en uygun değerler tercih edilmiştir [21].

Deneysel çalışmalarda, Python 3 programlama dili ve Anaconda ortamı ayrıca Microsoft Windows Server 2012 R2 işletim sistemi ile Intel Xeon E5-2630 2.20 CPU ve 64 GB bellek kullanılmıştır.

Çizelge 4. Word2Vec yönteminde kullanılan bazı parametreler

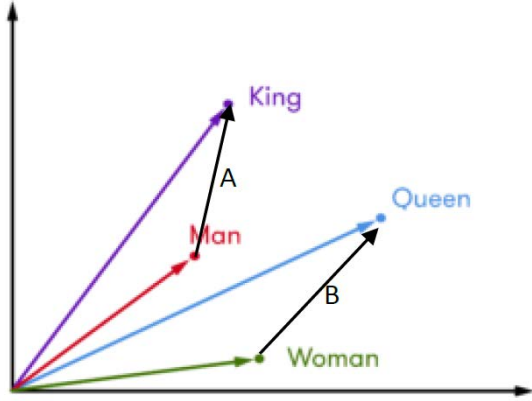
Parametre	Alabileceği Değer Aralığı	Açıklama	Kullanılan Değer
<i>sentences</i>	Model için oluşturulmuş, ön işlemden geçirilmiş kelimeler listesidir.	Modelin eğitilmesi için kullanılan veri kümesidir.	Derlem
<i>size</i>	Opsiyonel olarak integer değer alır.	Kelime vektörlerinin boyutudur.	300
<i>window</i>	Opsiyonel olarak integer değer alır.	Bir cümle içindeki mevcut ve tahmin edilen kelime arasındaki maksimum mesafedir.	10
<i>min_count</i>	Opsiyonel olarak integer değer alır.	Parametre değerinden daha düşük frekanstaki tüm kelimeler yok sayılır.	10
<i>workers</i>	Opsiyonel olarak integer değer alır.	Modeli eğitmek için çalışan thread sayısıdır. Çok çekirdekli makinelerle daha hızlı eğitim gerçekleşir.	10
<i>sg</i>	0 ve 1 değerlerini alır.	Skip-gram yöntemiyle eğitim için 1, CBOW yöntemi için 0 değeri kullanılır.	Çalışmada iki yöntemde kullanılmıştır.(0 ve 1)
<i>alpha</i>	Opsiyonel olarak float değer alır.	Başlangıç öğrenme oranıdır.	0,025

5. BULGULAR

Bu çalışmada, python programlama diline ait BeautifulSoup kütüphanesi kullanılarak oluşturulan derlem üzerinde ön işlem çalışmaları yapılarak Word2Vec modeli uygulanmıştır.

Şekil 4'te görüldüğü gibi Mikolov ve arkadaşlarına göre, "king" ve "man" kelimelerinin vektörleri arasındaki uzaklık "queen" ve "woman" kelimeleri arasındaki uzaklığa eşit olmalıdır. Başka bir deyişle A vektörü B vektörüne eşit olmalıdır denilebilir. Mikolov ve arkadaşları bu eşitliği şöyle tanımlamışlardır [11].

vector ("king") – vector ("man") \approx vector ("queen") – vector ("woman")
 Bu denklem Şekil 4'te görselleştirilmiştir. Ayrıca bu gösterim yorumlandığında "king" kelimesinin vektörel değerinden "man" kelimesi çıkarılıp "woman" kelimesi eklenirse "queen" kelimesinin cevap olarak alınması beklenmektedir.



Şekil 4. Mikolov tarafından tanımlanmış kelime vektörlerinin gösterimi [11]

Bu çalışmada Word2Vec modeline ait CBOW ve Skip-gram yöntemleri Türkçe metinler üzerinde kıyaslanarak modelin performansı incelenmiştir. Word2Vec modelinde kelime vektörleri arasındaki benzerlik genellikle kosinüs benzerliği kullanılarak tespit edilmektedir. Bu çalışmada kosinüs uzaklık formülü ile birlikte İbn-i Sina (Öklid) uzaklığı da kullanılarak uzaklık formüllerinin de yakın anlamlı kelimelerin tespitinde nasıl bir rol oynadığı incelenmiştir.

Çalışmada, oluşturulan Türkçe derlem üzerinde önışlem aşamalarının ardından Word2Vec modeli ile uygun parametreler kullanılarak eğitim süreci tamamlanmıştır. Eğitim işlemi bittikten sonra derlem içerisindeki her bir benzersiz kelime için kelime vektörleri oluşturulmuştur.

Kelimeler arasındaki benzerlik ve yakın anlamların incelenmesinde bu kelime vektörleri kullanılmıştır. Çizelge 5 incelendiğinde örneklerde verilen kelimelerin vektörel karşılığı bulunarak, bu değerlerin kelime listesinde yer alan diğer benzersiz kelimelerin vektörel değerleri arasındaki kosinüs

uzaklıkları incelenmiştir. Çizelge 5'te örnek kelimeler üzerinde bu kelimeye en yakın 5 kelime CBOW, Skip-Gram ve Glove yöntemlerine göre listelenmiştir.

İlk sütunda yakın anlamlı kelimelerin araştırıldığı kelime vektörü verilmiştir. Çizelge 5'te yer alan sonuçlar ilk olarak CBOW yöntemine göre incelendiğinde; "Pazartesi" kelimesi ile yakın anlamlı kelimelerin tespiti için pazartesi kelimesinin vektörüne en yakın vektörler sıralandığında listelenen kelimelerin Salı, Perşembe, Çarşamba şeklinde yine haftanın günlerinin bulunduğu görülmektedir. Yani bu durum modelin pazartesi kelimesini haftanın günlerinden biri olduğunu anladığı ve yakın anlamlı olarak haftanın diğer günlerini bulduğu şeklinde yorumlanabilir. Yine benzer şekilde "ocak" kelimesi ile yakın anlamlı kelimeler olarak yılın diğer ayları listelenmiş, "ankara" kelimesinde diğer önemli iller, "beş" kelimesinde diğer rakamlar benzer kelimeler olarak ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5'te yer alan son örnek incelendiğinde ise "mi" kelimesine benzer kelimeler sorgulanmış cevap olarak mu?, mudur? vb. soru ekleri bulunmuştur. Böylece modelin "mi" sözcüğünün bir soru eki olduğunu tespit ettiği ve bu model kullanılarak bazı gramer tabanlı işlemlerinde yapılabileceği görülmektedir. CBOW algoritmasına göre sonuçların başarılı olduğu görülmektedir.

Çizelge 5 Skip-Gram algoritmasına göre analiz edildiğinde ise, hemen hemen CBOW algoritması ile aynı sonuçlara ulaşılmıştır. Yakın anlamlı kelimelerin tespitinde bir diğer Word2Vec yöntemi olan Skip-Gram algoritmasının da başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir.

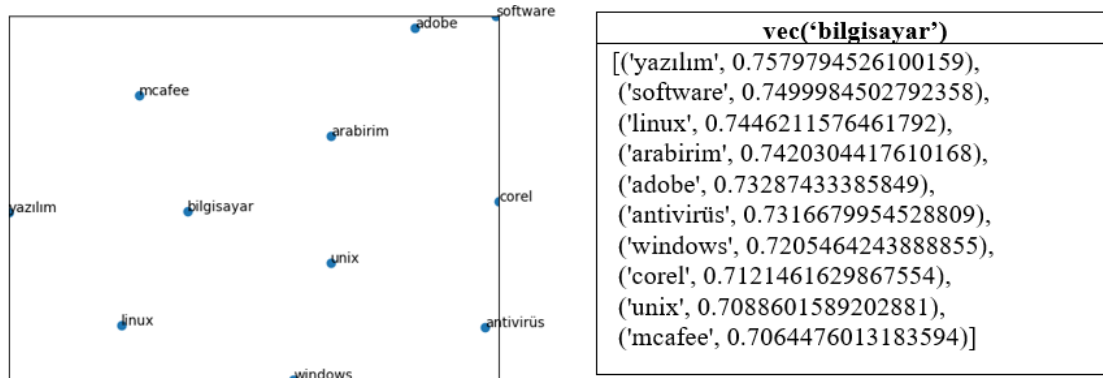
Çizelge 5 Glove yöntemine göre irdelendiğinde ise bu yöntemle de yakın anlamlı kelimelerin başarılı şekilde tespit edildiği ancak sıralanan 5 kelime içerisinde daha önce incelenen CBOW ve Skip-Gram algoritmalarında rastlanmayan bazı alakasız kelimelerinde listelendiği görülmektedir.

Çizelge 5. Word2Vec yöntemi ile eğitilen kelime benzerliklerinin incelenmesi

Kelime	CBOV	Skip-Gram	GLOVE
Vec (‘pazartesi’)	[('salı', 0,9630045294761658), (‘perşembe’, 0,9585877656936646), (‘çarşamba’, 0,9553182721138), (‘cuma’, 0,9538884162902832), (‘cumartesi’, 0,9386611580848694)]	[('perşembe’, 0,7971779108047485), (‘çarşamba’, 0,7718572616577148), (‘salı’, 0,7703690528869629), (‘cumartesi’, 0,7620112895965576), (‘cuma’, 0,6702909469604492)]	[('çarşamba’, 0,5897661447525024), (‘salı’, 0,5786328315734863), (‘perşembe’, 0,5526260137557983), (‘annem’, 0,4993872046470642), (‘cumartesi’, 0,4941185712814331)]
vec (‘ocak’)	[('ağustos’, 0,9286551475524902), (‘mart’, 0,9277894496917725), (‘mayıs’, 0,9231933355331421), (‘şubat’, 0,9167772531509399), (‘temmuz’, 0,9152134656906128)]	[('şubat’, 0,5146446824073792), (‘mart’, 0,4734412431716919), (‘kasım’, 0,4670507311820984), (‘ekim’, 0,43222731351852417), (‘eylül’, 0,42404061555862427)]	[('nisan’, 0,7427805662155151), (‘mayıs’, 0,7262980341911316), (‘kasım’, 0,7259864807128906), (‘ekim’, 0,7126656770706177), (‘şubat’, 0,6853300333023071)]
vec (‘ankara’)	[('izmir’, 0,7307801842689514), (‘bursa’, 0,6751932501792908), (‘istanbul’, 0,6552906036376953), (‘adana’, 0,6191496849060059), (‘antalya’, 0,5946915149688721)]	[('istanbul’, 0,5656736493110657), (‘izmir’, 0,5347393751144409), (‘antalya’, 0,5179589986801147), (‘bursa’, 0,5097886919975281), (‘erzurum’, 0,5054399967193604)]	[('istanbul’, 0,5705186128616333), (‘erzincan’, 0,5660161375999451), (tokyo, 0,5624301433563232), (‘büyükelçi’, 0,5579214692115784), (‘mmo,org,tr’, 0,539327502250671)]
vec (‘beş’)	[('üç’, 0,900638222694397), (‘sekiz’, 0,8753728866577148), (‘dört’, 0,8631222248077393), (‘yedi’, 0,8289333581924438), (‘dokuz’, 0,779234766960144)]	[('sekiz’, 0,826900839805603), (‘üç’, 0,8074360489845276), (‘elli’, 0,7847145795822144), (‘dört’, 0,7656667232513428), (‘say’, 0,7624074220657349)]	[('o’, 0,6285558342933655), (‘altı’, 0,6276718378067017), (‘yirmi’, 0,6216707229614258), (‘sekiz’, 0,5732786059379578), (‘üç’, 0,5651163458824158)]
vec (‘mi’)	[('mu’, 0,565196692943573), (‘mıdır’, 0,5488075613975525), (‘mi’, 0,5180516839027405), (‘ne’, 0,5127418041229248), (‘misin’, 0,4763811230659485)]	[('mi’, 0,7778604030609131), (‘yoksa’, 0,7676596641540527), (‘mıdır’, 0,7531024813652039), (‘mu’, 0,7458171844482422), (‘ne’, 0,7390531301498413)]	[('mu’, 0,7941142916679382), (‘peki’, 0,7562239766120911), (‘evet’, 0,7499561309814453), (‘ney’, 0,7311218976974487), (‘herhalde’, 0,719590425491333)]

CBOV algoritmasına göre “bilgisayar” kelimesi ile tespit edilen yakın anlamlı kelimelerin kosinüs

benzerliği kullanılarak tespit edilmesi ve 2 boyutlu gösterimi ise Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. Vektörün 2boyutlu düzlemde gösterimi

Word2Vec modeli kullanılarak vektörel değerler üzerinden bir kelime ile yakın anlamlı kelimeler tespit edilebildiği gibi bu yöntemde kelimelerin vektörel değerleri oluşturulduğu için kelimeler üzerinde bazı matematiksel işlemlerde yapılabilmektedir.

Çizelge 6 incelendiğinde, 1 numaralı eşitlikte Mikolov ve arkadaşlarının [9] çalışmalarında bahsettikleri eşitliğin Türkçe karşılığı denenmiştir. Buna göre, “kral” ve “erkek” kelimelerinin vektörlerinin arasındaki mesafenin, “kraliçe” ve “kadın” kelimelerinin vektörlerinin arasındaki

mesafeye eşit olması gerekmektedir. Yani “kraliçe” kelimesini elde edebilmek için “kadın” kelimesi eşitliğin diğer tarafına atıldığında (kral-erkek+kadın) oluşan eşitliğin vektörel karşılığının yaklaşık olarak “kraliçe” kelimesinin vektörel karşılığına eşit olmalıdır. 1 numaralı eşitlik incelendiğinde ise kral-erkek+kadın denkleminin sonucunda ortaya çıkan değere en yakın 5 değer sıralandığında CBOW ve Skip-Gram algoritmasına göre ilk sırada beklendiği üzere “kraliçe” kelimesi elde edilmiştir. Ancak Glove yönteminde bu sonuca ulaşamamıştır. 2 numaralı eşitlikte ise “amca” – “erkek” = “teyze” – “kadın” eşitliği sınanmış, bu nedenle “teyze” kelimesi yalnız bırakılmıştır. Bu eşitlikteki amaç ise eşitlikten elde edilen vektörel değerlerin karşılığının “teyze” veya “hala” kelimesinin değerine yaklaşık olmasıdır. Bu eşitlikte de CBOW ve Skip-Gram algoritmasına göre beklenen sonuca ulaşılarak ilk sırada “teyze” kelimesi elde edilmiştir. Ancak “hala” kelimesi daha arka sıralarda yer almıştır. Glove yönteminde ise “teyze” kelimesi son sırada yer almıştır. 3 numaralı eşitlikte ise “doktor” ve “erkek”

kelimeleri ile “hemşire” ve “kadın” kelimelerinin vektörel değerlerinin farklarının eşit olduğu düşünülerek daha önceki örneklerde olduğu gibi “hemşire” kelimesinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu örnekte ise CBOW algoritmasına göre beklenildiği gibi “hemşire” kelimesi cevap kelime vektörü olarak döndürülmüştür. Ancak Skip-Gram algoritmasına göre “hemşire” kelimesi ikinci sırada yer almıştır. Bu durum daha nadir geçen kelimelerin tespitinde kullanılabileceği şeklinde yorumlanabilir. 3 numaralı eşitlik Glove algoritmasına göre bakıldığında ise hem beklenen sonuçlara ulaşamadığı hem de elde edilen sonuçların alakalı kelimeler olmadığı görülmüştür.

Kelimelerin vektörleştirilerek üzerinde matematiksel işlemlerin yapılabilmesi ve elde edilen sayısal değer ile ilgili vektörün arasındaki mesafeye en yakın kelimenin vektörünün döndürüldüğü bu uygulamada Glove yönteminin Word2Vec algoritmalarına göre daha başarısız olduğu görülmektedir.

Çizelge 6. Word2Vec yöntemi ile eğitilen kelime benzerliklerinin incelenmesi

CBOW	Skip-Gram	GLOVE
1. vec (“kral”) - vec (“erkek”) + vec (“kadın”) = vec (cevap)		
[('kraliçe', 0,5058310031890869), ('prens', 0,4587770998477936), ('imparator', 0,4512189030647278), ('prens', 0,44870319962501526), ('hükümdar', 0,43795979022979736)]	[('kraliçe', 0,6649389863014221), ('prens', 0,6619410514831543), ('hükümdar', 0,6613924503326416), ('imparator', 0,6476287841796875), ('frigya', 0,6386576890945435)]	[('prens', 0,36667877435684204), ('prens', 0,3593514561653137), ('napolyon', 0,342054545879364), ('aleksandr', 0,3324899971485138), ('ferdinand', 0,31234925985336304)]
2. vec (“amca”) - vec (“erkek”) + vec (“kadın”) = vec (cevap)		
[('teyze', 0,6639469861984253), ('dayı', 0,5801525712013245), ('hala', 0,5743905305862427), ('abla', 0,5725879669189453), ('ağabey', 0,5711960792541504)]	[('teyze', 0,46290165185928345), ('enişte', 0,39535993337631226), ('dayı', 0,38905856013298035), ('anneanne', 0,38179734349250793), ('abla', 0,3774968683719635)]	[('oğul', 0,7785995602607727), ('dede', 0,7496525049209595), ('dayı', 0,743678092956543), ('baba', 0,7313336730003357), ('teyze', 0,7183244228363037)]
3. vec (“doktor”) - vec (“erkek”) + vec (“kadın”) = vec (cevap)		
[('hemşire', 0,7681228518486023), ('hekim', 0,7603170275688171), ('hasta', 0,7203007936477661), ('kardiolog', 0,682590901851654), ('hastabakıcı', 0,6806880235671997)]	[('hekim', 0,6817376017570496), ('hemşire', 0,6360365152359009), ('eczacı', 0,6312180161476135), ('hasta', 0,6196988821029663), ('bakıcı', 0,6053770184516907)]	[('adam', 0,37649837136268616), ('ameliyat', 0,37092214822769165), ('hasta', 0,33870816230773926), ('hanım', 0,3268465995788574), ('bleda', 0,3250676989555359)]

Çizelge 6’da bir önceki uygulamada Word2Vec algoritmaları daha başarılı oldukları için bu uygulamada Word2Vec yöntemine göre sonuçlar incelendiğinde beklenen sonuçlara ulaşıldığı,

özellikle Word2Vec yöntemi ile kelimelerin vektörel değerleri üzerinde matematiksel işlemlerin yapılabilmesi ve sonuçların oldukça başarılı performans gösterdiği görülmüştür.

vec("türkiye") - vec ("türk") + vec ("japon")	('japonya', 0,5943777561187744)
vec("türkiye") - vec ("ankara") + vec ("bakü")	('azerbaycan', 0,5270528793334961)
vec("türkiye") - vec ("osmanlı") + vec ("bizans")	('yunanistan', 0,5426459312438965)
vec("islam") - vec ("türkiye") + vec ("almanya")	('yahudi', 0,5666460990905762), ('musevi', 0,5661754012107849), ('hristiyan', 0,5618569254875183)
vec("lira") - vec ("almanya") + vec ("türkiye")	('euro', 0,5543266534805298), ('sterlin', 0,5256396532058716), ('dolar', 0,5223875641822815), ('avro', 0,4999542832374573),
vec("odtü") - vec("türkiye") + vec ("ingiltere")	('birmingham', 0,4685020446777344), ('nortwestern', 0,46640270948410034), ('massachussets', 0,46634599566459656), ('sussex', 0,4653938412666321),

Yine yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi ilk iki satırda ülke-millet ve ülke-başkent sorgulaması yapılmış ikisinde de beklenen sonuçlar ilk sırada dönmüştür. Özellikle "Türkiye-Osmanlı" kelimeleri ile "Yunanistan-Bizans" kelimeleri arasındaki bağlantının tespit edilebilmiş olması

heyecan vericidir. Ülke-din sorgulamasında ise, sonuç olarak Almanya'da en çok inanılan din olan Hristiyanlığın ilk sırada çıkması beklenmiş ancak bu kelime üçüncü sırada görülmüştür. Bu durumun da derlem içerisinde geçen kelimeler ile alakalı olduğunun bir örneğidir. Derlem zenginleştikçe sonuçların doğruluk oranı da artmaktadır.

Aşağıda yer alan tabloda ise, verilen ilk iki kelime arasındaki benzerlik nokta çarpımı ile tespit edilerek çıkan sonuç ile son kelime vektörü arasındaki farkın hangi kelimenin vektörüne denk geldiği incelenmiştir. Böylece ünlü bir futbolcu olan Ronaldo ve futbol kelimelerinin vektörleri arasındaki fark ile ressam kelimesi ve bir ressamın isminin (icracı-icra edilen iş) ortaya çıkması beklenmiştir. Sonuç olarak tabloda görüldüğü gibi "Zonaro" kelimesi dönmüştür. Zonaro kelimesi Google da araştırıldığında ise, wikipedia kayıtlarında 19. yy'da Osmanlı sarayında hizmet vermiş Türk ressam olarak tanınan İtalyan bir ressam olduğu bilgisi ile karşılaşmıştır [22]. Yani bizim bile bilmediğimiz bir bilgi model tarafından tespit edilmiştir.

Input: en yakın benzerlik bul ("ronaldo", "futbolcu", "ressam")
ronaldo ve futbolcu kelimeleri, zonaro ve ressam kelimeleri kadar ilişkilidir...
Output: 'zonaro'
Input: eslesmeyeni bul ("bursa", "karadeniz", "marmara", "akdeniz")
Output: 'bursa'

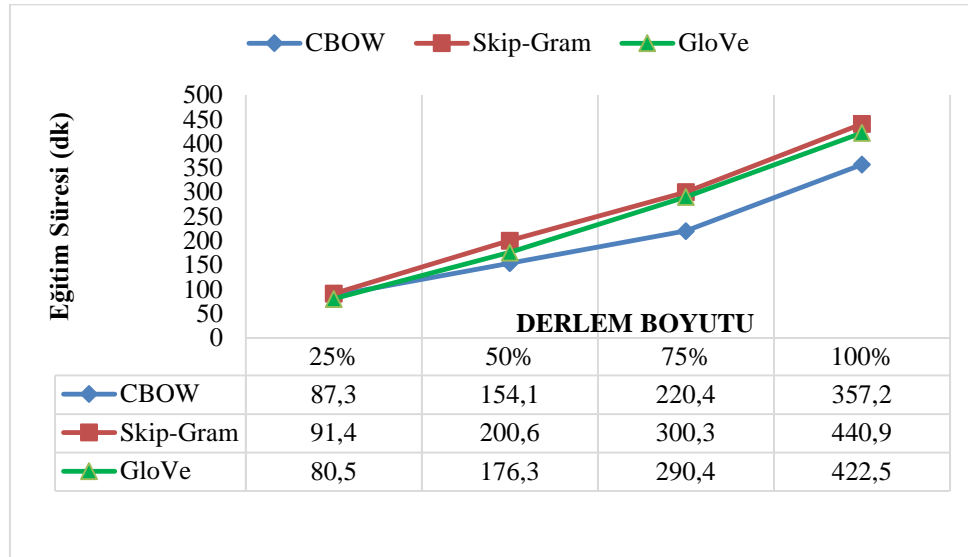
Bir diğer örnekte ise tanımlanan bir fonksiyon ile girdi (input) olarak verilen kelimelerin vektörleri incelenerek vektörler arasındaki en düşük değer en uzak mesafe bir başka deyişle anlam bakımından en uzak kelime olması beklenmiştir. Örnek olarak "Karadeniz, Akdeniz, Marmara ve Bursa" kelimeleri verilmiş model tarafından ilk 3 kelimenin deniz veya bölge isimleri olduğu, son kelimenin bu kelimeler ile aynı grupta yer

almadığı tespit edilmiştir. Çıktı olarak "Bursa" kelimesi dönmüştür.

Derlem oluşturulduktan sonra kelime vektörlerinin CBOW, Skip-Gram ve Glove yöntemlerine göre eğitim süreleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Derlem boyutunun %25, %50, %75 ve son olarak derlemin tamamı yani %100'lük kısmı eğitilerek eğitim süreleri incelenmiştir. Bu aşamada eğitim süreleri

ilk adımda CBOW algoritması 87,3 dk, Skip-Gram algoritması 91,4 dk ve GloVe yöntemi 80,5 dk olarak elde edilmiştir. Yani bu aşamada en hızlı yöntemin CBOW algoritması olduğu bu

algoritmayı GloVe ve Skip-Gram algoritmasının takip ettiği söylenebilir. Grafik incelendiğinde bu durum son adıma kadar doğrusal olarak bu sıralama ile devam ettiği şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 6. Kelime vektörlerinin eğitim süreleri

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, metin işleme çalışmalarının en önemli bölümlerinden biri olan kelimelerin temsil edilmesi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Yaklaşık 60GB boyutunda 10,5 milyar kelimedenden oluşan bir derlem oluşturularak bu alandaki en büyük çalışmalardan birisi yapılmıştır.

Çalışmanın katkılarından biri olan Türkçe diline özgü gereksiz kelimeler listesi TF-IDF yöntemiyle oluşturulmuş ve uygulamada kullanılmıştır. Bu işlem sonunda derlem içerisindeki kelimelerden önemli miktarda bir eleme yapılarak uygulamaya performans olarak katkı sağlanmıştır.

Oluşturulan derlem üzerinde, son dönemlerde geliştirilen en önemli iki model olan Word2Vec ve GloVe yöntemleri ile kelime vektörleri oluşturulmuştur. Bu iki modelin en büyük avantajı olan kelimelerin anlamsal olarak yakınlıklarının tespit edilmesi konusu analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda görülmüştür ki Word2Vec yöntemi

GloVe yöntemine göre anlamsal benzerliklerin tespiti konusunda daha iyi sonuçlar vermiştir. Özellikle “ $vec(kral) - vec(erkek) + vec(kadın) = vec(kraliçe)$ ” gibi bir denklem formatında vektörler üzerinde matematiksel işlemler yapılarak beklenen kelimenin model tarafından önerilmesi işlemlerinde Word2Vec yöntemi oldukça üstün bir başarı göstermiştir.

Çalışma kapsamında Word2Vec yönteminin iki temel algoritması olan CBOW ve Skip-Gram algoritmaları da analiz edilmiştir. Çalışmada kullanılan derlem büyük bir derlem olduğu için bu derlem üzerinde CBOW algoritması daha iyi bir performans göstermiştir. Derlemin daha küçük bir kısmı ile çalışmalar yapıldığında ise, Skip-Gram yönteminin daha başarılı olduğu görülmüştür. Yine derlem içerisinde sık geçen kelimelerin temsilinde CBOW, nadir geçen kelimelerin temsilinde ise, Skip-Gram algoritmasının daha başarılı olduğu görülmüştür. Yani tercih edilecek algoritmanın, üzerinde çalışılan derleme göre tercih edilmesi daha uygun olacaktır.

Çalışmanın son kısmında ise, Word2Vec modeli CBOW ve Skip-Gram algoritmaları ile Glove yöntemi eğitim süreleri bakımından analiz edilmiştir. Öncelikle derlemin tamamı daha sonra derlemin %75'lik kısmı ardından %50 ve son olarak %25'i modellere derlem (corpus) olarak verilmiş ve eğitim süreleri kıyaslanmıştır. Bu inceleme sonunda CBOW algoritmasının eğitim süresinin tüm adımlarda Skip-Gram ve Glove algoritmalarından daha hızlı olduğu görülmüştür.

Çalışma sonunda kelime vektörlerinin kullanılarak anlamsal olarak yakın kavramların tespit edilmesinde hem Word2Vec hem de Glove yöntemlerinin başarılı oldukları ancak hem hız hem de başarımları olarak Word2Vec yönteminin daha iyi olduğu görülmüştür. Oluşturulan kelime vektörlerinin, metin sınıflandırma problemlerde kullanılarak bu yöntemin sınıflandırma başarımını artıracağı düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

1. Kaytan, M., Hanbay, D., 2017. Effective Classification of Phishing Web Pages Based on New Rules by Using Extreme Learning Machines. *Anatolian Science-Bilgisayar Bilimleri Dergisi*, 2(1), 15-36.
2. Adalı, E., 2012. Doğal Dil İşleme. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 5, 2.
3. Amasyalı, M.F., Çetin, M., Akbulut, C., 2013. Metinlerin Anlamsal Uzaydaki Temsil Yöntemlerinin Sınıflandırma Performansına Etkileri, *Sigma*, 5, 8-14.
4. Polat, H., Körpe, M. 2018. TBMM Genel Kurul Tutanaklarından Yakın Anlamlı Kavramların Çıkarılması. *International Journal of Informatics Technologies*, 11, 3.
5. Sen, M.U., Erdogan, H., 2014. Learning Word Representations for Turkish. In *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 22nd 1742-1745. IEEE.
6. Gözükar, F., Özel, S.A., 2016. Türkçe ve İngilizce Yorumların Duygu Analizinde Doküman Vektörü Hesaplama Yöntemleri için Bir Deneysel İnceleme. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2), 464-482.
7. Güngör, O., Yıldız, E., 2017. Linguistic Features in Turkish Word Representations. In *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 25th 1-4. IEEE.
8. Şahin, G., 2017. Turkish Document Classification Based on Word2Vec and SVM Classifier. In *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 25th 1-4. IEEE.
9. Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., Dean, J., 2013. Efficient estimation of Word Representations in Vectorspace, arXiv:1301.3781.
10. Le, Q., Mikolov, T., 2014. Distributed representations of sentences and documents. *31th International Conference on Machine Learning, China*.
11. Mikolov T., Sutskever, I., Chen, K., 2013. 0010, Corrado, G., Dean, J., 2013. Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality, *AAAI Spring Symposium AI Technologies for Homeland Security 200591-98*, cs.CL, 3111-3119.
12. Şenel, L.K., Yücesoy, V., Koç, A., Çukur, T., 2018. Interpretability Analysis for Turkish Word Embeddings. In *2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) 1-4*. IEEE.
13. Amasyalı, M.F., Balcı, S., Mete, E., Varlı, E.N., 2012. Türkçe Metinlerin Sınıflandırılmasında Metin Temsil Yöntemlerinin Performans Karşılaştırılması *EMO Bilimsel Dergi*, 2(4), 95-104.
14. Arabacı, M.A., Esen, E., Atar, M.S., Yılmaz, E., Kaltaloğlu, B., 2018. Detecting Similar Sentences Using Word Embedding. In *2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference*.
15. Esen, E., Özkan, S., 2017. Analysis of Turkish Parliament Records in Terms of Party Coherence. In *2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) 1-4*. IEEE.
16. Amasyalı, M.F., Taşköprü, H., Çalışkan, K., 2018. Duygudurum Analizinde Kelimeler, Anlamlar, Karakterler Words, Meanings, Characters in Sentiment Analysis. In *2018*

- Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU).
17. Ayata, D., Saraclar, M., Ozgur, A., 2017. Turkish Tweet Sentiment Analysis with Word Embedding and Machine Learning. 1-4. 10.1109/SIU.2017.7960195.
 18. Keleş, M.K., Özel, S.A., 2017. Similarity Detection Between Turkish Text Documents With Distance Metrics. In 2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK) 316-321. IEEE.
 19. Pennington, J., Socher, R., Manning, C.D., 2008. GloVe:GlobalVectors for Word Representation, Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP), 1532-1543.
 20. Jones, S., Karen, 1972. A Statistical Interpretation of Term Specificity and its Application in Retrieval. Journal of Documentation, 28(1), 11-21.
 21. Rong, X., 2014. Word2Vec Parameter Learning Explained, arXiv:1411.2738.
 22. https://tr.wikipedia.org/wiki/Fausto_Zonaro, (15.05.2019 tarihinde erişildi)

Berdan ve Kazanlı (Mersin-Güney Türkiye) Sondajlarının Ostrakod Topluluğu

Ümit ŞAFAK*¹

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

Geliş tarihi: 01.03.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Öz

Araştırma, Tarsus ve Mersin yolu üzerindeki Berdan ve Kazanlı civarında yapılan 2 sondaj çalışması üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kil, marn, kumtaşı, silttaşı ve killi kireçtaşında yapılan 2 sondajda, Adana Baseni Neojen (Tortoniyen-Erken Pliyosen) birimlerinin stratigrafik ve ortamsal özellikleri çalışılmıştır. İstifin litolojisi ve mikropaleontolojik değerlendirme sonucunda Kuzgun formasyonunda Kazanlı sondajında epineritik koşullarla başlayan ortamsal özelliğin istifin üst seviyelerine doğru acısu özelliğine geçtiği görülmektedir. Berdan sondajında Kuzgun formasyonu alt seviyesinde neritik özellikli ostrakod cinsleri yanında planktonik foraminifer faunası bulunmuştur. Formasyon orta seviyesinde sığlaşma göstererek yer yer acısu koşullarına geçiş göstermektedir. Bu sondajda kesilen Handere formasyonunda ise neritik koşullar belirgindir. Çalışmadaki Kuzgun formasyonu denizel düzeyleri *Globoquadrina dehiscens*, *Globigerinoides trilobus trilobus*, *G. trilobus sacculifer*, *G. obliquus obliquus*, *G. obliquus extremus*, *Orbulina universa*, *Dentoglobigerina venezuelana* gibi planktonik foraminifer, *Cytheridea acuminata neapolitana*, *C. acuminata acuminata*, *Loxoconcha rhomboidea*, *L. turbida*, *Neomonocerotina moulana* gibi ostrakod türlerini içermektedir. Bu formasyonun acısu özelliği gösteren ostrakod türleri ise *Cyprideis seminulum*, *C. anatolica*, *C. torosa*, *C. pannonica*'dır. Berdan sondajında kesilen Handere Formasyonu içerisinde ise *Carinocythereis carinata*, *Urocythereis seminulum*, *Krithe monosteracensis* gibi neritik ortamda gözlenen ostrakod türleri bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kuzgun, Handere, Ostrakod, Neritik ortam, Acısu ortamı, Tarsus

The Ostracod Assemblage of the Berdan and Kazanlı (Mersin-S Turkey) Drillings

Abstract

The study was carried out on samples from 2 drillings in the vicinity of Berdan and Kazanlı on Tarsus and Mersin road. Stratigraphic and environmental characteristics of the Late Neogene (Tortonian-early Pliocene) units of Adana Basin were studied in 2 drillings made in clay, marl, sandstone, siltstone and clayey limestone. As a result of the lithological and micropaleontological analysis of the sequence, it is seen that the environmental feature, which starts with epineritic conditions in the Kazanlı drilling at Kuzgun Formation, passes into the brackish towards the upper levels of the sequence. In the Berdan drilling, planktonic foraminiferal fauna was found in the lower level of Kuzgun Formation along with neritic species of ostracod. The formation shows shallowness at the middle level and shows a transition to brackish conditions. In the Handere Formation which was cut during this drilling, the neritic conditions were significant. Marine horizons of the Kuzgun Formation include ostracod planktonic foraminifera such as *Globoquadrina dehiscens*, *Globigerinoides trilobus trilobus*, *G. trilobus sacculifer*, *G. obliquus obliquus*, *G. obliquus extremus*, *Orbulina universa*, *Globigerina venezuelana* and ostracod species such as

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Ümit ŞAFAK, usafak@cu.edu.tr

Cytheridea acuminata neapolitana, *Cytheridea acuminata acuminata*, *Loxoconcha rhomboidea*, *Loxoconcha turbida*, *Neomonoceratina mouliana*. The ostracod species of this formation indicating the brackish environment are *Cyprideis seminulum*, *Cyprideis anatolica*, *Cyprideis torosa*. In the Handere Formation, the ostracod species observed in the neritic environment such as *Carinocythereis carinata*, *Urocythereis seminulum*, *Krithe monosteracensis* have been determined.

Key words: Kuzgun, Handere, Ostracod, Neritic environment, Brackish environment, Tarsus

1. GİRİŞ

Araştırma Tarsus ve Mersin yöresindeki Berdan ve Kazanlı sondajlarının kil, marn, silt ve kumtaşı seviyelerinden elde edilen mikropaleontolojik veriler üzerinde yapılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası (Google Earth 2016).

Araştırma alanı ve civarında genel jeoloji, paleontoloji, petrol amaçlı çalışmalar yapılmıştır. [1,2] ile başlayan yöredeki bu çalışmalar [3-13,15] ile devam etmiştir.

Bu çalışmanın amacı, Adana Baseni'nin batı kesiminde, Geç Miyosen-Pliyosen yaş aralığında yüzeylenen Kuzgun ve Handere formasyonlarının stratigrafik ilişkileri ve ortam özellikleri yönünden karşılaştırılmalarını yapabilmektir. Bu amaç doğrultusunda Berdan ve Kazanlı yerleşim yerlerinde açılan iki sondaj kuyusunun kırıntılı yıkama örnekleri derlenmiş, mikropaleontolojik değerlendirilmesi yapılmıştır. Sondajda kesilen formasyonlardan alınan örneklerde tanımlanan fosil faunaya göre kronostratigrafik ve ortamsal yorum ortaya konulmuştur. Araştırmada iki sondaj (Kazanlı ve Berdan sondajları) incelenmiş, sondajlardan alınan 156 kırıntılı örnekteki ostrakod ve planktonik foraminifer türleri tanımlanmıştır.

Çalışmada ostrakodlardan 36 cins, 78 tür tanımlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada 1/25000 ölçekli Adana O₃₃b₁ ve O₃₃b₄ paftaları kullanılmıştır. Mikropaleontolojik inceleme için arazide bu iki sondajdan alınan kırıntılı yıkama örnekleri işleme tabi tutulmuştur. Bu işlem kırıntılı örnekten 100 gram alınıp, 24 saat %15'lik hidrojen peroksit (H₂O₂) eriyiği içerisinde bekletildikten sonra 60, 120, 230 meşlik eleklerden kurulu bir takımla tazyikli su altında yıkanıp ayrıldıktan sonra etüvde kurutulmuş ve elek numaralarına göre ayrı ayrı torbalara konmuştur. Yıkanan örnekler ayıklama tablasında işleme alınmış, tabla içerisinde bulunan mikrofosiller seçilmiştir. Mikrofosil tablasına seçilerek aktarılan bu türler ostrakodlara ağırlık verilerek tanımlanmıştır. 2 sondajdan tanımlanan ostrakod topluluğunda 40 cins, 78 tür bulunmuştur. Fosil cins ve tür ayrımı yapıldıktan sonra bu çalışmada tanımlanan ostrakod ve planktonik foraminiferlerden oluşan 2 adet levha (Levha 1 ve 2) oluşturulmuştur.

Ostrakod cins ve türlerinin tür tayinlerinde ve sistematik tanımlamalar için [16-23]'den yararlanılmıştır. Ostrakod sınıflamasında [24] sınıflaması esas alınmıştır. Tanımlanan cins ve türler sayılmış, ostrakodların yanal ve düşey yayılımları hesaplanmış ve sayısal bollukları belirlenmiştir. Bu dağılım tablosunda ostrakodların frekansını açıklayan simgeler kullanılmıştır. Çok nadir (1-2 kapak) frekanslar +, nadir (3-5 kapak) frekanslar □, yaygın (6-15 kapak) frekanslar ■, sık (16-25 kapak) frekanslar ○ ve çok sık (>25 kapak) frekanslar ● gibi sembollerle gösterilmiştir. İstatiksel ve göreceli değerlendirilen bu veriler baz alınarak, inceleme alanının paleoortam yorumu [16-18,25-27] ortam ve tuzluluk ölçütlerinden yararlanılarak yapılmıştır.

3. STRATİGRAFI

İnceleme alanında temel birimler Kretase yaşlı Ofiyolit kompleksi [2]'dir. Bu birimler üzerinde Neojen yaşlı Karaisalı, Güvenç, Kuzgun ve

Handere formasyonları uyumsuz olarak yer almaktadır. Araştırma Kuzgun ve Handere formasyonlarında sürdürülmüş olup, bu formasyonların özellikleri açıklanmıştır (Şekil 2).

YAŞ	FORMASYON	LİTOLOJİ	ORTAM	FOSİL İÇERİĞİ
PLİYO-KUVATERNER	KURANSA		Akarsu	
MESSİNYEN-ALT PLİYOSEN	HANDERE		Sığ denizel-Gösel-Akarsu	<i>Planorbis forgeri</i> <i>Orbulina universa</i> <i>Burtonia sublatissima sublatissima</i> <i>Aurila convexa</i> <i>Aurila albicans</i> <i>Neomonocerotina acupicta</i> <i>Neomonocerotina interiecta</i> <i>Cistacythereis pokomyi</i> <i>Carinocythereis carinata carinata</i>
			Sığ denizel	<i>Paragloborotalia obesa</i> <i>Orbulina universa</i> <i>Orbulina suturalis</i> <i>Globigerinoides obliquus obliquus</i> <i>Globigerinoides trilobus sacculifer</i> <i>Globigerinoides ruber</i> <i>Globobuccina dehiscens</i>
TORTONİYEN	KUZGUN		Akarsu	<i>Aurila convexa</i> <i>Aurila ulczyi</i> <i>Cytherea acuminata neapolitana</i> <i>Krithe monostercensis</i> <i>Ruggieria tetraptera tetraptera</i>
LANGİYEN-SERRAVALİYEN	GÜVENÇ		Derin denizel	
	CİNGÖZ		Açık-sığ denizel	
AKİTANİYEN-BURDIGALİYEN	KARASALI - KAPLANKAYA - GİLDİRLİ		Denizaltı Yelpezeleri	
			Resif kompleksi sığ denizel-	
OLİGOSEN	KARSANTI		Karasal	
		TEMEL	Alüvyon yelpazesi-Gösel	
				ÖLÇEKSİZ

Şekil 2. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti ([7] ve [14] den yararlanılarak hazırlanmıştır)

Kuzgun Formasyonu

İlk kez [2] tarafından adlandırılan ve 6 üyeye ayrılan birim, [4] tarafından aynı ad kullanılmış, çalışmacı iki üyeyi benimsemiştir. [6,7] tarafından Kuzgun, Salbaş Tüf ve Memişli üyelerine ayrılarak incelenmiştir. [7] Kuzgun formasyonunun örgülü nehir çökelleri ile sığ denizel çökellerden oluştuğunu; [28] formasyonun sığ deniz ortamında çökeldiğini vurgulamıştır. [15] genel olarak çakıltı, çakıllı kumtaşı, silttaşı, kiltası killi kireçtaşı ardalanması şeklinde gözlenen formasyonun sığ denizel özelliğinden bahsetmiş; [11]'da ise çökeltme ortamının resif karakterli olduğu kesimlerde ise bol fosilli, yeşilimsi renkli kiltası, açık renkli killi kireçtaşı ile iyi boyanma gösteren, sarımsı renkli kumtaşı litolojisinden oluştuğu açıklanmıştır.

Tip lokalitesi Adana Baseni'nde Kuzgun Köyü olan birim, bu çalışmada Berdan ve Kazanlı sondajlarının taban kesimindeki kiltası ve silttaşı düzeylerinde gözlenmiştir. Özellikle Berdan sondajında bu birimin üst kesimlerine doğru rastlanılan jips üzerindeki kil düzeyleri acısu karakterli ostrakod faunasını içermektedir. Kazanlı sondajının kil seviyesinde acısu karakterli, killi kireçtaşı seviyelerinde epineritik ortamı yansıtan ostrakod türleri gözlenmiştir.

Handere Formasyonu

İlk kez [2] tarafından adlandırılan bu formasyon, Adana Baseni'nde en üst birim olarak ayırtlanmıştır. [10]'ın Tarsus kuzeyinde yaptıkları çalışmada, formasyonun Adana Havzası Neojen istifinin daha derin bölümlerini kapsadığını, ilgili çalışmalarında Kuzgun formasyonunun sığ denizel-akarsu ortamında çökeltim gösterirken, Handere formasyonunun denizel ortam özelliği gösterdiğini belirtmişlerdir. Kuzgun formasyonunun Tortoniyen serileri üzerine Handere formasyonunun geçiş-karasal-sığ denizel nitelikli birimlerle geldiği [28] tarafından açıklanmıştır.

Adana Havzası Neojen istifinin daha sığ kesimlerinin incelendiği [29] çalışmasında da bu formasyonun sığ denizel özellikte olduğu; [30]

tarafından bu formasyonun taban seviyelerinde evaporitik oluşumların (Gökkuyu Alçıtaşı Üyesi) bulunduğu belirtilmiştir.

Tip lokalitesi Adana Baseni'nde Handere Köyü olan birim, bu çalışmada Berdan ve Kazanlı sondajlarının üst kesimindeki silttaşı, kiltası ve killi kireçtaşı düzeylerinde gözlenmiştir. Çalışmada birimde evaporit seviyesine rastlanmamıştır.

Yer yer batıyal ortama dek gözlenebilir ölçekte derin, genellikle neritik özellikte denizel karakterli ostrakod topluluğu içeren birim, Berdan sondajında 162 m gibi daha belirgin kalınlık sunmaktadır.

4. İNCELEME ALANI SONDAJ VERİLERİ

4.1. Kazanlı (Mersin) S1 Sondajı

1/25000 ölçekli Adana O₃₃b₄ paftasında, 36°49'17.46" K ve 34°45'42.62"D koordinatlarında yer alan bu sondaj 140 m derinlikli olup tabandan yukarı doğru Kuzgun formasyonu ile Kuvaterner kaliçi düzeyinden oluşmaktadır.

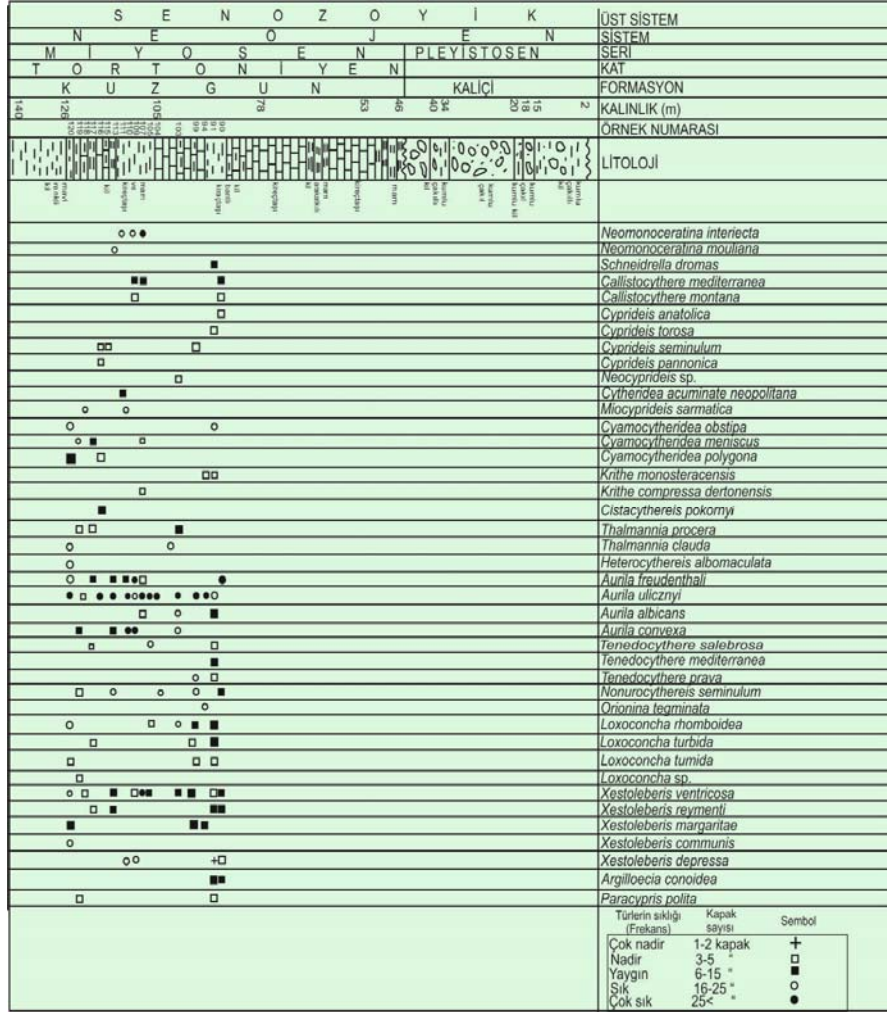
Sondajda yaklaşık 45 m'de Kaliçi birimi, 46-140 m'ler arasında Kuzgun formasyonu kesilmiştir.

İstifte Kuzgun formasyonu mavi renkli kil, marn ve kireçtaşı bantlı kil, marn arabantlı kireçtaşı, kireçtaşı ve marn düzeylerini içermektedir. Üzerinde uyumsuz olarak kumlu-çakıllı kil, kumlu kil ve çakıllı kum düzeylerinden oluşan kaliçi birimi yer almaktadır.

İstifin tabanında ölçülen Kuzgun formasyonunun kilden oluşan taban düzeylerinde *Cyprideis torosa*, *Cyamocytheridea obstipa*, *C. meniscus*, *C. polygona* gibi lagün; üzerindeki killi kireçtaşı seviyelerinde *Orbulina universa* gibi planktonik foraminifer yanında *Thalmannia procera*, *T. clauda*, *Heterocythereis albomaculata*, *A. convexa*, *Loxococoncha rhomboidea*, *Xestoleberis communis*;

orta-üst düzeylerinde *Neomonoceratina interiecta*, *Schneidrella dromas*, *Aurila freudenthali*, *Tenedocythere salebrosa*, *Xestoleberis ventricosa*, *Argilloecia conoidea*; sık ve çok sık frekansta

formasyonun tüm düzeylerinde tayin edilen *Aurila ulicznyi* gibi neritik ortam koşullarına uyumlu ostrakod türleri tanımlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Kazanlı (Mersin) sondajında ostrakod cins ve türlerinin dağılımı

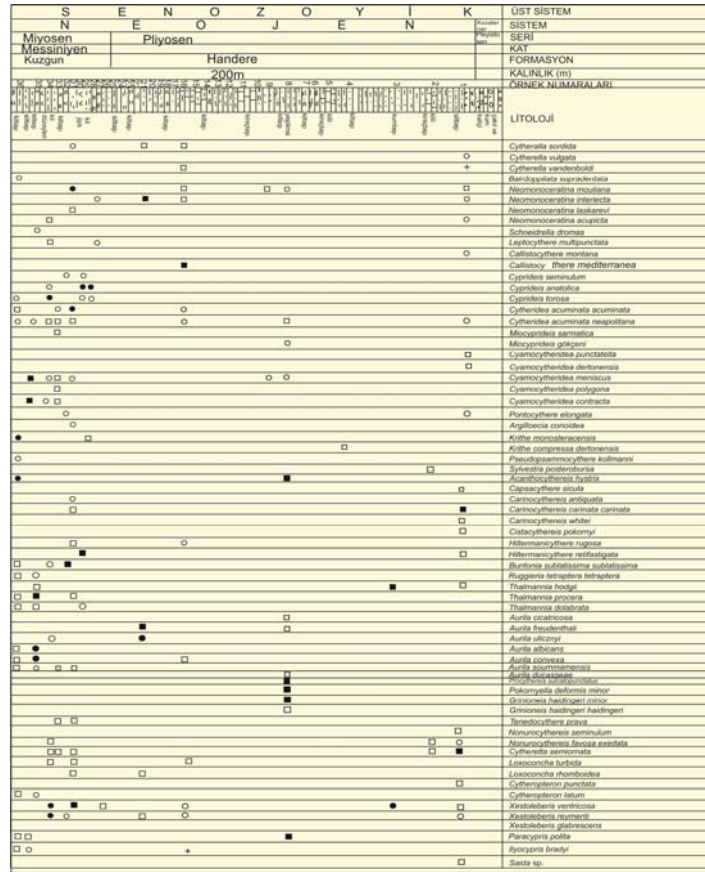
4.2. Berdan (Tarsus) S2 Sondajı

1/25000 ölçekli Adana O_{33b1} paftasında, 37°57'16.22" K ve 34°51'21.80"D koordinatlarında yer alan bu sondaj 200 m derinlikli olup tabandan yukarı doğru Kuzgun ve Handere formasyonları ile Kuvaterner yaşlı çakıl ve kum karışımı düzeylerden oluşmaktadır.

Sondajla ölçülen 40 m kalınlıklı Kuzgun birimi taban ve orta düzeylerinde kıltaşı, silttaşı ve üst seviyelere doğru jips ve kil litolojisine geçmektedir. Jips üzerindeki 28 nolu örneğin killi seviyeleri *Cyprideis seminulum*, *C. anatolica* ve *C. torosa* gibi acısu; altındaki kıltaşı, silttaşı seviyeleri ise *Neomonoceratina mouliana*, epineritik özellikli *Cytherella sordida*,

Carinocythereis antiquata, *Aurila soummamensis*, *A. convexa*, *Xestoleberis vetricosa* gibi, neritik ortam karakteri gösteren ostrakod cins ve türlerini içermektedir. Ayrıca istifte Handere formasyonu içerisindeki 1 nolu örnekte *Orbulina universa*; Kuzgun formasyonu içerisindeki 33 nolu örnekte *Orbulina suturalis*, *Globigerinoides trilobus trilobus*; 35 nolu örnekte *Orbulina universa*, *O. suturalis*, *Globoquadrina dehiscens*, *Globigerinoides trilobus trilobus*, *G. trilobus sacculifer*, *G. ruber*, *G. obliquus obliquus*, *G. obliquus extremus*, *Dentoglobigerina*

venezuelana, *Dentoglobigerina altispira*, *Catapsydrax dissimilis* gibi; 36 nolu örnekte *Orbulina universa*, *Globigerinoides trilobus trilobus*, *G. trilobus sacculifer*, *Globigerina venezuelana*, *G. obliquus obliquus*, *Paragloborotalia obesa* gibi planktonik foraminifer türleri tanımlanmıştır. Sondajın 40-145 m'ler arası, üst seviyelerindeki diğer birimi olan Handere Formasyonu silttaşı-kiltaş-killi kireçtaşı litolojisi ile baskın olup, istif yeşilimsi renkli kiltaş ve silttaş bantları ile sona ermektedir.



Şekil 4. Berdan (Tarsus) sondajında ostrakod cins ve türlerinin dağılımı

Formasyonun taban düzeylerinde *Cytherella sordida*, *Neomonoceratina interiecta*; orta kesimlerinde *Callistocythere mediterranea*, *Cytheridea acuminata acuminata*, *Costa edwardsii*, *Aurila freudenthali*, *Xestoleberis glabrescens*; üst kesimlerde *Cytheridea acuminata neapolitana*, *Cyamocytheridea*

punctatella, *C. dertonensis*, *Carinocythereis carinata carinata*, *Cistacythereis pokorny*, *Urocythereis seminulum*, *Cytheropteron punctatum* gibi neritik özellikli zengin ostrakod faunası tanımlanmıştır (Şekil 4) (Çizelge 1).

Çizelge 1. İnceleme alanı ostrakod cinslerinin yansıtıkları ortamlar [17]

OSTRACODA	GÖL	LAGÜN	LİTORAL	NERİTİK	
				EPİNERİTİK	İNFRANERİTİK
CYTHERELLA					
BAIRDOPPLATA					
NEOMONOCERATINA					
SCHNEIDERELLA					
LEPTOCYTHERE					
CALLISTOCYTHERE					
CYPRIDEIS					
NEOCYPRIDEIS					
CYTHERIDEA					
MIOCYPRIDEIS					
CYAMOCYTHERIDEA					
PONTOCYTHERE					
ARGILLOECIA					
KRITHE					
PSEUDOPSAMMOCYTHERE					
SYLVESTR					
ACANTHOCYTHEREIS					
CAPSACYTHERE					
CARINOCYTHEREIS					
CISTACYTHEREIS					
HILTERMANICYTHERE					
BUNTONIA					
RUGGIERIA					
KEIJELLA					
HETEROCYTHEREIS					
AURILA					
PROCYTHEREIS					
POKORNYELLA					
GRINIONEIS					
TENEDOCYTHERE					
UROCYTHEREIS					
ORIONINA					
CYTHERETTA					
LOXOCONCHA					
CYTHEROPTERON					
XESTOLEBERIS					
PARACYPRIS					
ILYOCYPRIS					
SAIDA					

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İnceleme alanı, Mersin il sınırları içerisindeki Kazanlı ile Tarsus İlçesi'ne bağlı Berdan yerleşim bölgesinde açılmış 2 sondajın bulunduğu kesimdir. Araştırma, Tarsus ve Mersin yolu üzerindeki Berdan ve Kazanlı civarında yapılan bu 2 sondaj çalışması üzerinde gerçekleştirilmiştir.

İncelenen ve killi-kireçli, siltli birimlere ağırlık verilerek irdelenen litolojilerden, Handere ve Kuzgun formasyonları ile Kaliçi biriminin varlığı gözlenmiştir. Bu birimler Adana Baseni'nde yer alan ve Tortoniyen-Pliyosen aş aralığında çökelmiş, geniş yayımlı birimlerdir. Bu çalışmada tanımlanan *Neomonoceratina interiecta*, *N. mouliana*, *Cytheridea acuminata neapolitana*, *Krithe monosteracensis*, *Aurila ulicznyi*, *Xestoleberis compressa* türlerinin kronostratigrafik düzeyleri ile Sissingh [18] ile Bonaduce ve arkadaşlarının [23] çalışmasındaki aynı türlerin Tortoniyen-Pliyosen düzeyleri *Cyamocytheridea polygona*, *C. meniscus* türlerinin stratigrafik düzeyleri ile Doruk [19] çalışmasındaki aynı türlerin Tortoniyen düzeyleri *Cyprideis torosa*, *C. seminulum*, *C. pannonica* türlerinin kronostratigrafik düzeyleri ile Bassiouni [20] çalışmasındaki aynı türlerin Üst Miyosen düzeyleri yakın benzerlik göstermektedir. Bu çalışmada Kuzgun ve Handere formasyonlarının denizel, sığ denizel, litoral özellik yanısıra lagüner karakterli fauna özelliği gösteren zengin bir mikrofosil topluluğuna sahip oldukları görülmüştür. 2 sondajın örneklerinin incelenmesi ile Kazanlı sondajında Kuzgun formasyonunun marn ve kireçtaşı bantlı kil ile kil bantlı kireçtaşları içerisinde bulunan;

Berdan sondajında kiltası-silttaşı ve jips alt-üst seviyesindeki kil düzeylerinden alınan yıkama örneklerinde zengin ostrakod cins ve türleri tanımlanmıştır.

Berdan sondajında ise Handere formasyonunun özellikle kiltası ve silttaşı seviyelerindeki yıkama örneklerinde zengin ostrakod cins ve türleri yer almaktadır. Kuzgun formasyonunun taban seviyelerindeki kil ve kilttaşları genellikle

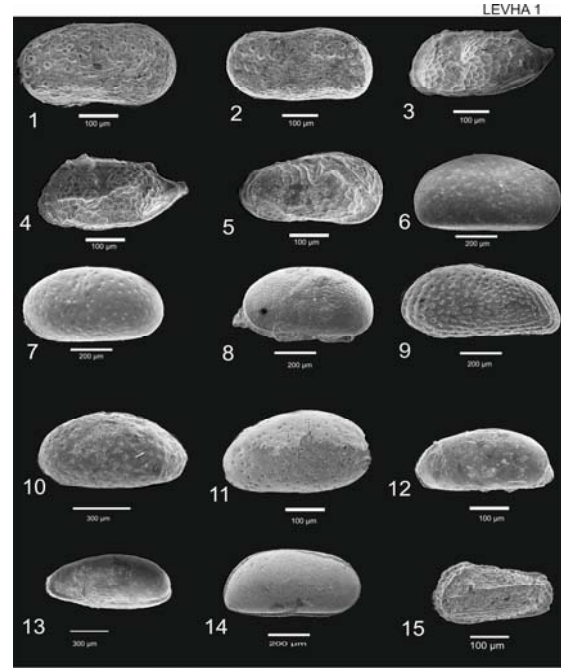
epineritik derinlikte ostrakod cinsleri ile birlikte *Globoquadrina dehiscens*, *Globigerinoides trilobus trilobus*, *G. trilobus sacculifer*, *G. ruber*, *G. obliquus obliquus*, *G. obliquus extremus*, *Dentoglobigerina venezuelana*, *Dentoglobigerina altispira*, *Catapsydrax dissimilis* gibi planktonik foraminifer faunası içermektedir. Ayrıca jips üzerindeki killi seviyeler de zaman zaman sığlaşmış, *Cyamocytheridea*, *Loxoconcha* gibi lagün-litoral nitelik kazanan ostrakod cinsleri *Neomonoceratina*, *Ruggeria*, *Thalmannia*, *Aurila*, *Pokorniyella*, *Tenedocythere*, *Urocythereis*, *Cytheretta* gibi genellikle epineritik karakterli cinsler yanında gözlenmiştir. Handere formasyonunda ise epineritik-infraneritik ve batiyal ortam özelliğine uyumlu *Cytherella*, *Neomonoceratina*, *Cytheridea*, *Cyamocytheridea*, *Pontocythere*, *Krithe*, *Aurila*, *Grinioneis*, *Cytheropteron*, *Xestoleberis*, *Paracypris* gibi ostrakod topluluğu bulunmuştur.

Kuzgun formasyonunun Tortoniyen içerisindeki zaman zaman *Ilyocypris*, *Loxoconcha* gibi ostrakod cinsleri ile belirginleşen lagüner karakterinin baskınlığı sonrasında, üzerinde yer alan Handere formasyonunun, *Orbulina universa* ile belirgin planktonik foraminifer faunası içermiş olmasına rağmen, alttaki birime göre daha derin bir deniz ortamında çökelmiş olduğunu göstermektedir.

Çalışmada *Bairdoppilata supradentata*, *Schneidrella dromas*, *Cyprideis anatolica*, *C. torosa*, *C. pannonica*, *Miocyprideis sarmatica*, *Cyamocytheridea polygona*, *C. contracta*, *Krithe monosteracensis*, *K. citae*, *Carinocythereis antiquata*, *Cistacythereis pokornyi*, *Buntonia sublatissima sublatissima*, *Ruggeria tetraptera tetraptera*, *Thalmannia procera*, *T. dolabrata*, *T. clauda*, *Aurila ulicznyi*, *A. albicans*, *A. convexa*, *A. soummamensis*, *Tenedocythere prava*, *T. salebrosa*, *T. mediterranea*, *Orionina tegminata*, *Loxoconcha tumida*, *L. turbida*, *L. rhomboidea*, *Xestoleberis margaritae*, *X. depressa*, *Paracypris polita*, *Ilyocypris bradyi* Kuzgun Formasyonu taban, orta ve üst seviyelerinde;

Cytherella vulgata, *Cyamocytheridea dertonensis*, *C. meniscus*, *Sylvestra posterobursa*, *Capsocythere*

sicula, *Thalmannia hodgii*, *Cytheropteron punctatum* Handere Formasyonu içerisinde belirlenmiş ostrakod türleridir.



Levha 1

Foto 1-2 *Cytherella sordida* (Müller)

1. Sağ kapak, yan görünüm, Berdan sondajı, 31 nolu örnek
2. Sol kapak, yan görünüm, Kazanlı sondajı, 94 nolu örnek

Foto 3-4. *Neomonoceratina mouliana* Sissingh

3. Kabuk, sol dış görünüm, Kazanlı sondajı, 113 nolu örnek
4. Kabuk, sol dış görünüm, Berdan sondajı, 31 nolu örnek

Foto 5. *Callistocythere montana* Doruk

5. Kabuk, sağ yan görünüm, Kazanlı sondajı, 90 nolu örnek

Foto 6. *Cyprideis torosa* (Jones)

6. Sağ kapak, yan görünüm, Kazanlı sondajı, 90 nolu örnek

Foto 7. *Cyprideis seminulum* (Reuss)

7. Sağ kapak, yan görünüm, Kazanlı sondajı, 116 nolu örnek

Foto 8. *Cyprideis pannonica* (Mehes)

8. Sol kapak, dış görünüm, Kazanlı sondajı, 116 nolu örnek

Foto 9. *Cytheridea acuminata acuminata* Bosquet

9. Sol kapak, yan görünüm, Berdan sondajı, 34 nolu örnek

Foto 10. *Cyamocytheridea obstipa* Doruk

10. Kabuk, sağ dış görünüm, Kazanlı sondajı, 126 nolu örnek

Foto 11. *Cyamocytheridea meniscus* Doruk

11. Sol kapak, yan görünüm, Kazanlı sondajı, 99 nolu örnek

Foto 12-13. *Pontocythere elongata* (Brady)

12. Kabuk, sol dış görünüm, Berdan sondajı, 33 nolu örnek

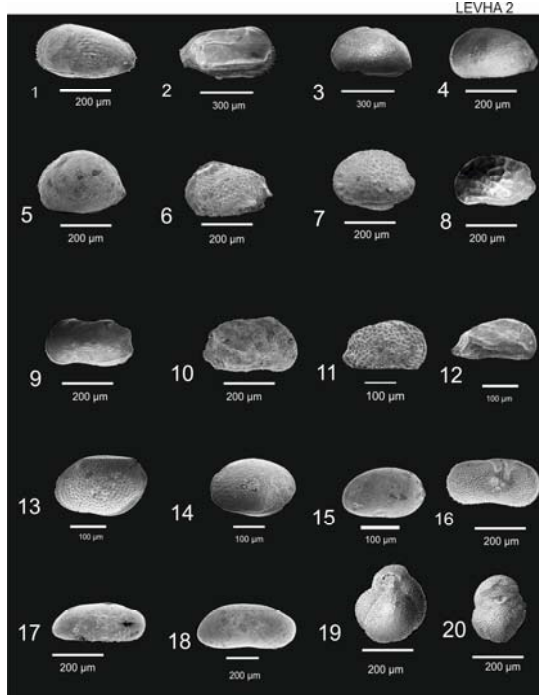
13. Kabuk, sol dış görünüm, Berdan sondajı, 1 nolu örnek

Foto 14. *Krithe citae* Oertli

14. Kabuk, sağ dış görünüm, Kazanlı sondajı, 105 nolu örnek

Foto 15. *Costa edwardsii* (Roemer)

15. Sağ kapak, yan görünüm, Berdan sondajı, 16 nolu örnek



Levha 2

Foto 1. *Thalmannia hodgii* (Brady)

1. Sol kapak, yan görünüm, Berdan Sondajı, 36 nolu örnek

Foto 2. *Ruggieria tetraptera tetraptera* Sequenza

2. Kabuk, sağ dış görünüm, Berdan Sondajı, 36 nolu örnek

Foto 3. *Aurila ducasseae* Moyes

3. Kabuk, sol dış görünüm, Berdan sondajı, 8 nolu örnek

Foto 4. *Aurila freudenthali* Sissingh

4. Sol kapak, yan görünüm, Berdan sondajı, 8 nolu örnek

Foto 5. *Aurila speyeri* (Brady)

5. Sol kapak, yan görünüm, Berdan sondajı, 36 nolu örnek

Foto 6. *Procythereis sulcatopunctatus* (Reuss)

6. Sol kapak, yan görünüm, Berdan sondajı, 8 nolu örnek

Foto 7. *Pokorniyella deformis minor* (Moyes)

7. Kabuk, sol dış görünüm, Berdan sondajı, 8 nolu örnek

Foto 8. *Tenedocythere salebrosa* Uliczny

8. Sol kapak, yan görünüm, Kazanlı sondajı, 116 nolu örnek

Foto 9. *Grinioneis haidingeri haidingeri* (Reuss)

9. Kabuk, sol dış görünüm, Berdan sondajı, 8 nolu örnek

Foto 10. *Grinioneis haidingeri minor* Ruggieri

10. Kabuk, sağ dış görünüm, Berdan sondajı, 8 nolu örnek

Foto 11. *Urocythereis favosa exedata* Uliczny

11. Sağ kapak, yan görünüm, Berdan sondajı, 2 nolu örnek

Foto 12. *Orionina tegminata* Doruk

12. Kabuk, sağ dış görünüm, Kazanlı sondajı, 94 nolu örnek

Foto 13. *Loxoconcha rhomboidea* (Fischer)

13. Kabuk, sol dış görünüm, Kazanlı sondajı, 91 nolu örnek

Foto 14. *Loxoconcha turbida* Müller

14. Kabuk, sol dış görünüm, Kazanlı sondajı, 91 nolu örnek

Foto 15. *Xestoleberis margaritae* Müller

15. Kabuk, sol dış görünüm, Kazanlı sondajı, 95 nolu örnek

Foto 16. *Ilyocypris bradyi* Sars

16. Sağ kapak, yan görünüm, Berdan sondajı, 16 nolu örnek

Foto 17-18. *Argilloecia conoidea* Sars

17. Sağ kapak, yan görünüm, Kazanlı sondajı, 91 nolu örnek
18. Sağ kapak, yan görünüm, Kazanlı sondajı, 90 nolu örnek
- Foto 19. *Globigerinoides obliquus extremus* Bolli & Bermudez**
19. Karından görünüm, Kazanlı sondajı, 111 nolu örnek
- Foto 20. *Globigerinoides obliquus obliquus* Bolli**
20. Karından görünüm, Kazanlı sondajı, 113 nolu örnek

6. KATKI BELİRTME

Bu çalışmanın SEM çekimleri FBA-2017-9897 nolu Ç.Ü. BAP projesi tarafından desteklenmiştir. Yazar araştırmanı sondaj verilerini sağlayan MES Jeofizik Araştırmalar Laboratuvar Sorumlusu Sayın Mehmet GÜZEL ve Sayın Dr. Muzaffer ŞENOL'a, araştırmanın çizim aşamalarında yardımcı olan Sayın Dr. Nusret NURLU'ya (Ç.Ü), ostrakod fotoğraflarının SEM çekimlerini gerçekleştiren Çukurova Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı (ÇÜMERLAB)'na, teşekkür eder.

7. KAYNAKLAR

1. Ternek, Z., 1957. Adana Havzasının Alt Miyosen (Burdigaliyen) Formasyonları; Bunların Diğer Formasyonlarla Olan Münasebetleri ve Petrol İmkanları. MTA Der., 49, 48-66.
2. Schmidt, G.C., 1961. Stratigraphic Nomenclature for the Adana Region Petroleum District., 7. Petroleum Administration Bull., 6, 47-63, Ankara.
3. Öztümer, E., Bizon, G., Bizon, J.J., Feinberg, H., 1974. Mut ve Adana Havzaları Tersiyer Biyostratigrafisi ve Mikropaleontoloji yenilikleri. Türkiye II-Petrol kong. Tebliğleri, 217-228.
4. İlker, S., 1975. Adana Baseni kuzeybatısının Jeoloji ve Petrol Olanakları, T. P. A. O. Arama arşiv No: 973, Ankara.
5. Tanar, Ü., 1985. Körlü (Tarsus-Mersin) Bölgesi "Karaisalı, Kuzgun, Memişli" Formasyonlarının Molluska Faunası, Jeoloji Müh. Dergisi, 24, 17-31, Adana.
6. Yetiş, C., Demirkol, C., Kerey, E., 1986. Adana Havzasının Kuzgun Formasyonunun (Üst Miyosen) Fasiyes ve Ortamsal Nitelikleri. T. J. K. Bülteni, 29. 81-96
7. Yetiş, C., Demirkol, C., 1986. Adana Baseni Batı Kesiminin Detay Jeolojik Etüdü, MTA Rapor No:8037, 187s., Ankara.
8. Yetiş, C., 1988. Yetiş, C., 1988. Reorganisation of the Tertiary Stratigraphy in the Adana Basin, Southern Turkey. Newsletter Stratigraphy, 20(1), 43-58.
9. Ünlügenç, U.C., Kelling, G., Williams, G.D., Demirkol, C., 1990. Aspects of Basin Evolution in the Neogene Adana Basin, SE Turkey, International Earth Sciens Congress on Aegean Regions (IESCA), 1-6 October, Edit: Savaşçın, M.Y. and Eronat, A.H., 353-369, İzmir.
10. Şafak, Ü., Nazik, A., 1994. Eshab-ı Kehf (Tarsus-Mersin) dolayı Neojen istifinin ortamsal yorumu, Ç.Ü. Yerbilimleri Dergisi, 15. Yıl Sempozyumu, 291-300, Adana.
11. Şafak, Ü., Ünlügenç, U.C., Şenol, M., 1996. İncirlik (Adana güneydoğusu) çevresinde yeralan Geç Miyosen resifinin stratigrafisi ve mikropaleontolojisi, T.J.K. Bülteni, 11, 138-153, Ankara.
12. Korkmaz, A., 2000. Huzurkent (Tarsus) Civarı Neojen İstifinin Mikropaleontolojik Özellikleri ve Ortamsal Yorumu, Ç.Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi, 146, 8 lev., Adana.
13. Öğrünç, G., 2001. Messiniyen Tuzluluk Krizi Srasındaki ve Sonrasındaki Çökellerin Stratigrafisi ve PaleoeKOlojisi. Bir Örnek: Adana Baseni, Ç.Ü. Fen Bilimleri Ens. Doktora Tezi, 218, 9lev., Adana.
14. Avşar, N., Nazik, A., Dinçer, F., Darbaş, G., 2006. Adana Havzası Kuzgun Formasyonunun Mikro Fosiller ile Ortamsal Yorumu, Hacettepe Yerbilimleri Dergisi, 27(1), 1-21.
15. Şafak, Ü., Heybeli, D., 2008. Huzurkent (Tarsus) Civarındaki Kuzgun Formasyonu'nun Ostrakod Toplulukları ve Ortamsal Özellikleri, Yerbilimleri (Geosound), Prof. Dr. Servet Yaman Özel Sayısı, Sayı 52, 225-247, Adana.
16. Morkhoven, F.P.T., 1962. Post Paleozoic Ostracoda, Elsevier edit., 1:1-244.

17. Morkhoven, F.P.T., 1963, Post Paleozoic Ostracoda, Elsevier edit., 2:1-478.
18. Sissingh, W., 1972, Late Cenozoic Ostracode of the South Aegean Island, Arc.Bull. Utrecht. Micropaleont., 6, 1-187.
19. Doruk, N., 1973. A Stereo-atlas of Ostracod Shells, Puhlised by the Department of Geology in the University of Leicester, Volume 1, Part 1, England.
20. Bassiouni, M.A., 1979. Brackische und Marine Ostrocoden (Cytherideinae, Hemicytherinae, Trachyleberidinae) aus dem Oligozoen und Neogen der Türkei, Geol. Jb. Reihe B, Heft 31, Hannover, 1-200.
21. Yassini, I., 1979. The Littoral System Ostracodes from the Bay of Bou-İsmail, Algiers, Algeria., National Iranian Oil Company, Revista Espanola de Micropaleontologia, XI(3), 353-416, Tehran, Iran.
22. Oertli H.J., 1985. Atlas des Ostracodes de France. Bulletin Centres Recherche Exploration Proceeding Elf-Aquitaine. Mémoire, 9, 257-335.
23. Bonaduce, G., Ruggieri, G., Russo, A., Bismuth, H., 1992. Late Miocene from the Ashtart 1 well (Gulf of Gabes, Tunisia), Bollettino della Societa Paleontologica Italiana, 31 (1), 3-93, 26 pls, Modena.
24. Hartmann, G., Puri, H., 1974, Summary of Neontological and Paleontological Classification of Ostracod. Mitt. Hamburg Zool. Mus. Inst., 20, 7-73
25. Stambolidis, E.A., 1985, Zur Kenntnis der Ostracoden des Evros Delta (Nord-Agaisches Meer) Griechenland, Mitt. Hamb. Zool. Mus. Inst., Band 82, 155-254.
26. Athersuch, J., Horne, D.J., Whittaker, J.E., 1989. Marine and Brackish Ostracods, Synopses of the British Fauna (N.S.), 43.
27. Remane, A., 1958. Die Biologie des Brackwassers. In: THIENEMANN, A: Die Binnengewässer, Einzeldarstellungen aus der Limnologie und ihren Nachbargebieten,
28. Ögrünç, G., Nazik, A., 1998. Yenice (Tarsus) kuzeyi (Adana Havzası) Üst Miyosen-Pliyosen istifinin ostrakod faunası. Türkiye Jeoloji Bülteni, 41 (1), 63-84.
29. Darbaş, G., Nazik, A., 2010. Micropaleontology and Paleocology of the Neogene Sediments in the Adana Basin (South of Turkey). Journal of Asian Earth Sciences. 39(3), 136-147.
30. Ögrünç, G., 1996. Yenice (Tarsus) Kuzeyi Neojen İstifinin Mikropaleontolojik İncelenmesi ve Ortamsal Özellikleri, Ç.Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi, 115s., Slev., Adana.

Porter'in Beş Kuvvet Modeli Temelinde Konut Sektöründeki Rekabeti Etkileyen Faktörlerin Analizi

Ali Şeref CENGİZ¹, Serkan AYDINLI^{*2}, Emel ORAL¹

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

²Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 11.01.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Öz

Konut sektörü hem Türkiye'de hem de dünyada rekabetin ekonomik, sosyal ve çevresel faktörlerden etkilendiği oldukça rekabetçi bir sektördür. Yatırımcıların sektörel rekabeti etkileyen faktörleri analiz etmeleri kaçınılmazdır. Beş Kuvvet Modeli, sektörel rekabetin analizinde en çok tercih edilen modellerden biridir. Bu çalışmada da Türkiye'deki konut sektöründeki rekabet koşulları Beş Güç Modeli aracılığıyla analiz edilmiş ve yatırımcıları yönlendirebilecek faktörler belirlenerek sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İnşaat endüstrisi, Porter beş kuvvet modeli, Konut sektörü, Rekabet

Analysis of Factors Affecting Competition in Housing Sector on the Basis of Porter's Five Force Models

Abstract

The housing sector is highly competitive both in Turkey and worldwide, where the competition is affected by the economic, social and environmental factors. It is inevitable for investors to analyze the factors affecting the sector based rivalry. Five Forces Model is one of the most preferred models in analyzing sector rivalry. Rivalry conditions in the housing sector in Turkey have been analyzed through the Five Forces Model during the current research and the factors that may guide the investors are determined and presented.

Keywords: Construction industry, Porter's five forces, Housing sector, Competition

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Serkan AYDINLI, saydinli@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Türkiye’de konut sektörü makro ekonomik göstergeler, devlet politikaları, müşterilerin sosyo-kültürel yapılarının yanı sıra yüklenici profilleri ve sayıları gibi etkenlere dayalı yoğun bir rekabetin olduğu bir sektördür. Yatırımcının sektörü rekabeti etkileyen tüm faktörleri göz önünde bulundurarak yatırıma başlaması şarttır. Fakat sektörel faktörlerin çokluğu rekabet analizinde bazı unsurların gözden kaçırılmasına neden olabilmektedir. Sistematik bir yaklaşım şarttır. Porter’in Beş Kuvvet Model’inin [1] sektörel rekabet unsurlarının belirlenmesinde sistematik bir yaklaşım sağlayan ve günümüzde sayısız çalışmada kullanılmış bir modeldir.

Porter’in Beş Kuvvet Modeli, rekabet stratejisinden kaynaklanan rekabet avantajına dayanmaktadır. Şirketlerin karlılığını etkileyen mikro çevredeki dış güçlerin değerlendirilmesi üzerine kuruludur [2]. Modelin altında yatan esas fikir, piyasanın çekiciliğinin ve genel karlılığının piyasa tarafından tanımlanabilmesidir [3]. Porter [1] bir firma için rekabet ortamının endüstrinin ekonomik yapısına dayandığını ve rekabetçi güçlere karşı savunma yaparak bu güçleri şirketin lehine şekillendirmenin strateji için önemli olduğunu bildirmiştir.

Rekabeti etkileyen beş kuvvet sırasıyla; mevcut rakipler, sektöre yeni girecek firmalar, ikame ürün ve hizmetler, tedarikçiler ve alıcılardır. Porter [1], bu kuvvetlerin gücünün endüstriden endüstriye değişebileceğini ve her endüstride farklı kuvvetlerin ön plana çıkarak rekabeti şekillendirebileceğini belirtmiştir.

Porter [4] [1] bu güçleri aşağıdaki gibi açıklar;

- Mevcut rakipler arasındaki rekabet kuvveti; fiyat indirimi, yeni ürün tanıtımları, reklam kampanyaları ve hizmet iyileştirmeleri olarak çeşitli rekabet biçimlerinden oluşmaktadır. Mevcut rakipler arasındaki yüksek rekabet endüstrideki karlılığı etkilemektedir.
- Tedarikçiler, mal ve hizmet fiyatlarını arttırarak veya ürün kalitesini düşürmek

suretiyle şirketleri tehdit eden bir risk oluşturabilmektedirler. Güçlü bir tedarikçi, bu iki unsuru kullanmak suretiyle endüstriyi etkileyerek daha fazla kar elde edebilmektedir.

- Alıcıların gücü, tedarikçilerin diğer yönü yani madalyonun öbür yüzüdür. Alıcılar, yüksek piyasa gücüne sahipse o zaman fiyatları aşağı çekebilir, daha kaliteli veya daha geniş hizmete ulaşabilirler. Dolayısıyla bu durum endüstrinin karlılığını azaltmaktadır.
- Bir piyasadaki rekabet, mevcut şirketler arasındaki ve sektöre yeni giren şirketlerin oluşturdukları olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Giriş engellerinin zayıf olması, piyasa yapısının değişebileceğini göstermektedir. Yeni girişlerin fazlalığı mevcut rekabet yoğunluğunun bir göstergesi olmaktadır.
- Piyasadaki tüm rakipler fiyat ve performans bakımından ikame ürün üretenlerle rekabet etmektedir. İkame ürün veya hizmetlerin fiyatlara bir üst sınır koyarak endüstrideki karlılığı sınırlandırmaktadır.

Mevcut çalışma kapsamında Porter’in Beş Kuvvet Modeli [1] temel alınarak konut yüklenicilerine yönelik bir anket uygulanmış ve Türkiye’de konut sektöründe rekabeti etkileyen unsurlar belirlenmiştir. Çalışma, sektörel analiz niteliğinde olup yükleniciler için faydalı veriler sağlamaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Harvard Ekonomi Okulu akademisyenlerinden Michael E. Porter 1970’lerin sonlarında Beş Kuvvet Modelini geliştirmiştir [1].

Porter’in Beş Kuvvet Modeli’nin inşaat sektöründe uygulamaları ile ilgili yapılmış önceki çalışmalar Çizelge 1’de özetlenmiştir.

Çizelge 1’de görüldüğü gibi, Birgönül ve Dikmen [5], Porter’in Beş Kuvvet analizini kullanarak Türk

inşaat endüstrisinde stratejik yönetim anlayışı ve rekabet avantajı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmayı Türk Müteahhitler Birliğine üye 60 adet inşaat şirketi ile yapılan anket çalışması ile gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar çalışmalarında, şirketlerin karlılık ve büyüklük açısından büyük farklılıklara sahip olduğunu, bu nedenle rekabet avantajı sağlamak için alt-pazar seçimini iyi yapmaları gerektiğini bildirmişlerdir. Ayrıca sektörün belirleyicilerinden birinin şirketler arasındaki rekabet, diğerinin ise giriş bariyerlerinin düşüklüğü nedeniyle pazara yeni giren şirketler olduğunu belirtmişlerdir. Diğer taraftan ikame ürünlerin ise sektörü yönlendiren bir kuvvet olmadığını vurgulamışlardır.

Acar ve Yazıcı [6], küçük konut yapım yüklenicilerinin iş çevresindeki rekabetleri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, yapım sonrası satılan yapılarda alıcıların pazarlık gücünün, ortalama kalitedeki ürün ve kabul edilebilir kar oranı dikkate alındığında kısmen düşük olduğunu belirtmişlerdir. Ancak yapım öncesi sözleşme ilişkisi içindeki alıcılar için ise bu gücün yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Yazarlar, tedarikçilerin yüksek pazarlık gücünün üreticiler üzerinde baskı oluşturduğunu ve bu şekilde endüstrideki kardan pay almaya çalıştıklarını bildirmişlerdir.

Ayrıca endüstri içindeki tedarikçilerin pazarlık gücünün göstergelerinden birinin sektördeki

sayılarıyla ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Bunlara ek olarak düşük sermaye yatırımları gereksinimi, kira gibi gelir getirici bir pazar oluşturması ve alt yüklenicilere sunduğu avantajlardan dolayı sektöre giriş çıkış bariyerlerinin düşük ve sektöre yeni girişlerin kolay olduğunu bildirmişlerdir. Sektördeki bu düşük bariyerlerin rekabet şiddetini artırıcı rol oynadığını ve büyük şirketlerin monopolistik davranışlar göstermesiyle de sektördeki mevcut rakipler arasında yoğun rekabetin oluştuğunu bildirmişlerdir.

Literatür bulgularına göre, özellikle tedarikçiler, alıcılar ve yeni girişlerin sektörde rekabeti yönlendiren başlıca etmenler olduğu görülmektedir. Çalışmalar incelendiğinde, tedarikçilerin pazarlık gücünün yüksek olduğu, bu durumun maliyet yönünden büyük önem arz ettiği görülmektedir. Sektörün göze çarpan bir diğer özelliği ise sektöre yeni girişlerde herhangi bir zorluğun bulunmadığıdır. İnşaat sektörü, gerek yasalar, gerekse rekabet ortamı açısından faaliyete geçmesi zor olmayan bir sektör konumundadır. Sektör için özellikle rekabette büyük önem arz eden etmenlerden biri ise alıcılardır. Literatürde alıcıların özellikle projelendirme safhasında büyük etkisinin olduğu görülmektedir.

Çalışma kapsamında tedarikçi ve alıcıların yanı sıra, Porter'ın diğer güçleri olan sektöre yeni giriş engelleri de ele alınmıştır.

Çizelge 1. İnşaat endüstrisinde Porter'ın Beş Kuvvet Modeline ilişkin önceki çalışmalar

Referans	Ülke	Materyal /Metod	Sonuç
Male ve Stocks [7]	İngiltere	Belirtilmemiş	Giriş engelleri yetersizdir. Alıcıların gücü yeterli ve ikame ürünler kilit rol oynamaktadır.
Betts ve Ofori [8]	İngiltere	Belirtilmemiş	Tedarikçilerin monopolistik gücünün yüksekliğinden rekabet artarak alıcılar üzerinde tehdit oluşturmaktadır. Büyük alım gücüne sahip alıcılar rekabet avantajı sağlamak ve ikame ürünlere rekabetçi üstünlük kazandırmaktadır.
Betts ve Ofori [9]	İngiltere	Belirtilmemiş	Stratejik planlama için beş kuvvet faydalıdır ve girişimciler için uygulanabilir metottür.
Langford ve Male [10]	İngiltere	Belirtilmemiş	Sektöre giriş bariyerlerinin düşük, proje ve teknolojik gereksinimler arttıkça pazardaki şirket sayısının azalmaktadır.

Çizelge 1'in devamı

Birgönül ve Dikmen [5]	Türkiye	60 Anket / Regresyon Analizi	Sektörün belirleyicilerinin, mevcut şirketler arasındaki rekabet ve giriş bariyerlerinin düşüklüğü nedeniyle pazara yeni giren şirketlerdir. İkame ürünlerin sektörü yönlendiren bir kuvvet değildir.
Kale ve Arditi [11]	Amerika	500 anket/ Regresyon Analizi	Rekabetçi kuvvetlerin endüstrideki şirketlerin performansı üzerinde önemli etkisi vardır. Şirketlerin rakiplerine üstünlükleri için bu yönde alternatifler geliştirebilirler.
Acar ve Yazıcı [6]	Türkiye	9 Şirket Verisi/ (multiple case study)	Alıcıların gücü, inşaat yapımı öncesinde yüksek ancak sonrasında kısmen düşüktür. Tedarikçilerin pazarlık gücü yüksek, endüstriye giriş bariyerleri düşük ve bu bariyerler rekabeti arttırmaktadır.
Kunhui [12]	Çin	Dept. of Investment & Construction/ Rekabet yoğunluk Modeli	Sektöre giriş bariyerleri düşüktür. Endüstrideki ürün farklılığı zayıf ve rekabet yoğunudur.
Ryf [13]	İsviçre	Şirket Verisi/ Monte-Carlo-Simulation	Sektöre giriş tehditlerinin düşüktür. Tedarikçilerin gücü yüksek ve rekabet yoğunudur.
Jørgensen [14]	Norveç	Şirket Verisi /Tanımlayıcı İstatistik	Sektördeki giriş engelleri ve tedarikçilerin gücü düşük, rekabet yoğunudur.
Qi ve ark. [15]	Çin	Belirtilmemiş	Endüstrideki mevcut rekabet ve tedarikçilerin gücü düşüktür. Alıcıların pazarlık gücü yüksek ve endüstriye yeni girişler az olmaktadır.
Ho, P. [16]	Hong Kong	Hong Kong SAR Govern./ Regresyon Analizi	Rekabetçi kuvvetler, düşük maliyet ve farklılaşma stratejisi uygulayan firmalarda çeşitlilik göstermektedir. Bu ise şirketlerin performansını önemli derecede etkilemektedir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Çalışmada istatistiksel analiz ve hesaplamalar yapabilmek için verilerin objektif olarak toplanmasında anket yöntemi kullanılmıştır.

Anketteki verilerinin ölçümünde daha önceki çalışmalarda kullanılması ve sonuçların karşılaştırılabilmesi için 5'li Likert ölçeğinden yararlanılmıştır.

Anketler, Türkiye inşaat endüstrisinde faaliyet gösteren yüklenici konumundaki özel yapı

inşaatları yapan şirket sahipleri ve şirket adına karar verme yetkisine sahip üst düzey yöneticilerine uygulanmıştır. Ayrıca anketler, nüfus yoğunluğuna göre, yüksek nüfuslu illerin %66'sını ve düşük nüfuslu illerin de %34' ünü kapsamasından dolayı ülke genelini yansıttığı düşünülmektedir. Bu anlamda geri dönüşü sağlanan 455 adet anket örneklem büyüklüğünü oluşturmuştur. Ankette alıcıların pazarlık gücü altı, tedarikçilerin pazarlık gücü beş, endüstrideki mevcut rekabet yedi ve endüstriye yeni girişler beş soruyla ölçülmüştür.

Çalışmada Porter [1]'in rekabet modeli temel alınmıştır. Bu modele göre; herhangi bir endüstri içerisinde organizasyonu etkileyen makro ve mikro

çevresel faktörler olarak iki rekabet tehdidi bulunmaktadır [17]. Araştırılan konu kapsamında konut alt sektöründeki rekabet ele alındığından, inşaat endüstrisinde konutların yerine geçecek ikame ürünlerin olmadığı açıktır. Bu nedenle çalışma kapsamında Porter'ın Beş Kuvvet Modelinde bulunan ikame ürün tehditleri dâhil edilmemiştir.

3.2. Metot

Çalışma kapsamında Likert ölçeği ile toplanan verilerin ortalama ve standart sapma değerleri yorumlanarak ülkemiz inşaat sektöründe yatırım kararını etkileyen faktörlerin analizi yapılmıştır. Analizlerde SPSS 24. Paket programı kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Örneklemin Normallik Dağılımları

Diğer istatistik analizlerde olduğu gibi, faktör analizinde de değişkenlerin normallik dağılıma uygun olması gerekmektedir. Bu doğrultuda araştırma için uygulanan 455 adet anketten elde edilen verilerin normallik dağılımları Çizelge 1' de verilmiştir. Normal dağılımın olup olmadığının esas belirleyicisi çarpıklık ve basıklık değerleridir. Bu değerler çarpıklık için ± 3 ve basıklık değerleri ise ± 10 olarak alınmıştır [18]. Çizelgedeki değerler verilerin bu sınırlar içinde kaldığını göstermektedir.

4.2. Güvenilirlik Analizi

Araştırmada rekabeti etkileyen faktörleri belirlemek amacıyla yöneltilen 23 soruya yer verilmiş ve bu sorular öncelikle güvenilirlik analizine tabi tutulmuşlardır. Anket sorularına verilen cevapların güvenilirliğinin ölçümü için Alfa (Cronbach's Alpha) [19] katsayısı kullanılmıştır. Alfa katsayısı 0 ile 1 arasında değerler almakta, değer 1'e yaklaştıkça ölçekte yer alan ifadelere verilen cevapların iç tutarlılığı yükselmektedir. Literatürde bu katsayının 0,50'den yüksek olmasının güvenilirlik açısından yeterli olduğu bildirilmiştir [20].

Anketteki sorulara ilişkin güvenilirlik analizi sonucunda Cronbach Alpha katsayısı 0,761 olarak hesaplanmıştır. Analizde ayrıca toplam madde istatistiklerine göre korelasyon değerleri (Corrected Item-Total Correlation) incelenmiş düşük katsayılı soru gözlenmemiştir. Sonuç olarak elde edilen katsayı değeri güvenilirliğin orta düzeyde olduğunu göstermiştir.

4.3. Açımlayıcı Faktör Analizi

Çalışmada verilerin normal dağılıma uygunluğundan dolayı faktör analizinde en yaygın kullanılan faktör çıkarma metodu Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis) ve faktör döndürme yöntemi olarak Varimax Rotasyonu kullanılmıştır.

Araştırılan konu kapsamında konut sektörü ele alındığından, inşaat endüstrisinde konutların yerine geçecek ikame ürünlerin olmadığı açıktır. Bu nedenle Porter'ın Beş kuvvet Modelinde bulunan ikame ürün tehditleri çalışma kapsamına dâhil edilmemiştir. Faktör yapısı dört olarak belirlenmiş ve kodlanarak Çizelge 3'te verilmiştir. Yapılan ilk analizde KMO değerinin 0,753 ile örneklem büyüklüğünün yeterli olduğu, Bartlett'in küresellik test (Bartlett's test of sphericity) değerinin ise $p < 0,05$ olmasından dolayı Temel Bileşenler Analizinin yapılması gerektiği belirlenmiştir. Faktörlere ait düşük yüklü maddeler dikkate alınarak tek tek çıkarılıp ve eklenmek suretiyle analiz tekrarlanmıştır. Tekrarlı analizler neticesinde, alıcıların pazarlık gücünü gösteren "ALC" kodlu faktörden "AL1" ve "AL6", tedarikçilerin pazarlık gücü olan "TDRK" faktöründen "TE1 ve "TE5", yeni giriş tehditlerini içeren "GRS" faktöründen "GI1", "GI2" ve "GI3" ve sektördeki mevcut rekabete ilişkin "RKBT" faktöründen ise "RE1" ve "RE7" kodlu maddeler analizden çıkarılmıştır.

Nihai analiz sonucunda ise KMO değerinin 0,705 ve Bartlett'in küresellik test değeri ise $p < 0,05$ olarak bulunmuştur. Faktörler ve bu faktörlere ait maddelerin yükleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 2. Verilerin normallik dağılımları

Değişken Kodu	Minimum Değer	Maximum Değer	Ortalama	Standart Sapma	Çarpıklık	Basıklık
AL1	1	5	4,47	0,804	-1,737	3,359
AL2	1	5	3,81	0,984	-0,519	-0,250
AL3	1	5	3,49	1,000	-0,184	-0,418
AL4	1	5	4,11	0,929	-0,957	0,637
AL5	1	5	4,28	0,819	-1,049	0,824
AL6	1	5	4,04	0,887	-0,543	-0,336
TE1	1	5	4,71	0,533	-1,799	2,836
TE2	1	5	4,47	0,828	-1,717	2,853
TE3	1	5	3,63	1,066	-0,426	-0,417
TE4	1	5	4,16	0,917	-0,844	-0,079
TE5	1	5	2,49	1,275	0,380	-0,933
RE1	1	5	4,31	1,010	-1,445	1,434
RE2	1	5	3,20	0,943	-0,001	0,063
RE3	1	5	3,33	1,068	-0,040	-0,585
RE4	1	5	4,29	0,857	-1,033	0,461
RE5	1	5	3,84	0,951	-0,513	-0,221
RE6	1	5	3,39	1,238	-0,336	-0,808
RE7	1	5	3,30	1,297	-0,239	-1,006
GI1	1	5	4,05	1,017	-0,883	0,174
GI2	1	5	2,73	1,410	0,236	-1,179
GI3	1	5	4,09	1,099	-1,104	0,435
GI4	1	5	2,54	0,990	0,209	-0,236
GI5	1	5	2,26	1,035	0,623	-0,024

Analiz sonucunda bu faktörlerin toplam varyansın %52'sini [21] açıkladığı görülmüştür. Çizelgede sırasıyla birinci faktörün endüstrideki rekabet ile toplam varyansın %21,42, alıcıların pazarlık

gücünün %12,17, tedarikçilerin pazarlık gücünün %10,65 ve endüstriye yeni girişlerin ise %8,20'sini açıkladığı görülmüştür.

Çizelge 3. Faktör analizinde kullanılan faktör ve madde kodları

Faktör Kodu	Tanımı	Maddeler
ALC	Alıcıların Pazarlık Gücü	AL1, AL2, AL3, AL4, AL5, AL6
TDRK	Tedarikçilerin Pazarlık Gücü	TE1, TE2, TE3, TE4, TE5
GRS	Yeni Giriş Tehditleri	GI1, GI2, GI3, GI4, GI5
RKBT	Mevcut Rekabet	RE1, RE2, RE3, RE4, RE5, RE6, RE7

Çizelge 4. Faktörler ve faktör yükleri

SORULAR	FAKTÖRLER			
	RKBT	ALC	TDRK	GRS
Rakip şirketlerin konut fiyatları üzerindeki etkileri güçlüdür	0,737			
Sektördeki mevcut şirketler arasında yoğun rekabet vardır	0,645			
Büyük ölçekli firmalar yatırım kararlarımızı etkilemektedir.	0,617			
Sektörde rakiplerimizin yatırımları ve satışları iyi durumdadır.	0,551			
Sektördeki yıllık büyüme iyi düzeydedir.	0,540			
Alıcıların sektörel bilgi düzeyi oldukça yüksektir.		0,754		
Alıcıların projelerle ilgili talepleri yıldan yıla artmaktadır.		0,701		
Konut alıcılarının pazarlık gücü oldukça yüksektir.		0,631		
Alıcılar için projelerde teknoloji kullanımı önemlidir.		0,607		
Malzeme fiyatları satıcıdan satıcıya değişkenlik göstermektedir.			0,730	
Büyük ölçekli tedarikçilerin malzeme fiyatlarını etkileme gücü vardır.			0,668	
Malzeme fiyatları enflasyon veya kurdaki hareketlilikten kaynaklı olarak fazla değişkendir.			0,667	
Sektöre yeni giren şirketlerin müşteri kazanması kolay olmaktadır				0,826
Sektöre yeni giren şirketler uzun süre ayakta kalabilmektedirler.				0,785

4.4. Porter'ın Beş Kuvvet Modeli Kapsamında Rekabeti Etkileyen Faktörler

Çalışma kapsamında yüklenicilere içinde buldukları yatırım ve rekabet ilişkisine ait ortamla ilgili sorular yöneltilmiştir. Porter'ın Beş Kuvvet Modelinde ifade ettiği faktörler ve alt maddeleri ankette ele alınmıştır. Çalışmanın bundan sonraki kısmında açımlayıcı faktör analizi sonuçlarına göre rekabeti etkileyen faktörlerin yorumlanmasına çalışılmıştır.

4.4.1. Alıcıların Pazarlık Gücü

Alıcılar, tüm sektörlerde rekabeti ve yatırımı yönlendiren kilit etmenlerden biridir. İnşaat sektöründe ise özellikle rekabet eden firmalar için kritik öneme sahiptir. Bu doğrultuda görüş ve potansiyellerinin firmalar tarafından dikkatle incelenmesi gereken önemli bir faktördür.

Açımlayıcı faktör analiz sonuçları incelendiğinde, alıcıların sektörel bilgi düzeylerinin yüksek olduğu, projelerle ilgili beklentilerinin arttığı görülmüştür. Diğer taraftan alıcıların konutlarda teknolojik ürün kullanılmasını istediği ve pazarlık güçlerinin de yüksek olduğu gözlenmiştir.

Alıcıların pazarlık gücüne ilişkin önceki çalışmalarda; Türk inşaat endüstrisinde işveren pozisyonundaki alıcıların rekabeti yönlendiren güçlü bir faktör olduğu [5], Hong Kong inşaat endüstrisinde ise çok güçlü etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır [16].

4.4.2. Tedarikçilerin Pazarlık Gücü

Tedarikçilerin sektör içindeki gücü özellikle ürün maliyeti açısından büyük önem arz etmektedir. Tedarikçilerin bölgede rakipsiz olmaları durumunda yüklenici firmaların ürün maliyeti artmakta, bu durum kârlılık ve rekabeti etkilemektedir.

Faktör yükleri dikkate alındığında tedarikçilerin sunduğu malzeme fiyatlarındaki değişim yüklenici açısından büyük öneme sahiptir. Kur ve enflasyondan kaynaklı hareketlerin malzeme fiyatlarını etkilediği dolayısıyla da sunulan malzeme fiyatları satıcılar arasında değişkenlik göstermektedir. Bunun yanı sıra büyük ölçekli malzeme tedarikçilerinin ise sektörü etkileyecek gücü olduğu gözlenmiştir. Birgönül ve Dikmen [5] de tedarikçilerin pazarlık gücünün; mevcut rekabet, alıcılar ve yeni giriş kuvvetlerine oranla

daha az etkili olmasına rağmen rekabeti etkileyen önemli kuvvetlerden biri olduğunu bildirmektedir.

4.4.3. Yeni Giriş Engelleri

İnşaat sektörü yeni girişlere en açık olan sektörlerden bir tanesidir. Analiz sonuçları incelendiğinde, ilgili yasal mevzuatların sektöre girişleri sınırlayan bir yapıda olmamasından dolayı sektöre girişlerde müşteri kazanmanın kolay olduğu ve bu şekilde şirketlerin uzun süre sektörde kaldıkları görülmektedir. Bu durum rekabete giren firma sayısını ve dolayısıyla rekabeti arttıran bir unsur olarak dikkat çekmektedir. Yeni girişler ile ilgili analiz sonucundaki bulgular, Birgönül ve Dikmen [5] ve Ho [16]'nın yapmış olduğu önceki çalışmalarla tutarlılık göstermektedir.

4.4.4. Rekabet

Porter'in Beş Kuvvet Modelinde rekabet, modelin bağımlı temel değişkenini temsil etmektedir. Endüstrideki mevcut rekabet, sektörün büyüme rakamları, yapılan satışlar ve rakip şirketlerin fiyatlar üstündeki etkisi ele alınarak analiz edilmiştir. Yapılan analiz neticesinde faktör yükleri yüksekte düşüğe doğru; rakip şirketlerin konut fiyatları üzerindeki etkisi, endüstrideki rekabet yoğunluğunun varlığı, büyük ölçekli şirketlerin yatırım kararlarına etkisi ve yıllık büyüme olarak sıralanmaktadır. Bu etkenler bir bütün olarak değerlendirildiğinde; sektörde talebin artması arzı arttırmaktadır. Dolayısıyla yatırımlar artmakta ve sektörün büyümesine katkı sağladığı gibi endüstrideki rekabetin yoğun yaşanmasına [6] ve konut fiyatları üzerinde etkiye sebep olmaktadır. Ülkemizde son yıllardaki konut satış istatistikleri incelendiğinde yıllar içinde bir artış eğilimi olduğu görülmektedir [22].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Türk inşaat endüstrisinde rekabeti etkileyen faktörler belirlenmiştir. Bu amaçla konut üretim sektöründe faaliyet gösteren yüklenici şirketlerden anket yoluyla veri toplanmış ve açımlayıcı faktör analizi yapılarak analiz sonuçları

yorumlanmıştır. Çalışmanın çatisını Porter'in Beş Kuvvet Modeli oluşturmaktadır.

Çalışma kapsamında alıcılar, tedarikçiler, sektöre giriş tehditleri ve mevcut rekabet faktörlerinin rekabete etki ettiği görülmektedir. Alıcıların projelerden beklentileri yeni konseptlerin ve teknolojinin gelişimiyle günden güne değişmekte bu durum sektördeki rekabeti etkilemektedir. Tedarikçiler sektörde önemli bir maliyet etkeni olarak göze çarpmaktadır. Tedarikçinin sektörde rakipsiz veya sektörü etkileyecek durumda olması gücünü arttırmakta ve yüklenicinin pazarlık gücünü azaltmaktadır. Dolayısıyla maliyeti düşürebilmek için uygulanacak olan tedarikçi stratejilerinin sektördeki mevcut rekabeti direkt olarak etkilediği görülmektedir. Sektöre yeni giriş engelleri faktörü sektör içi rekabeti direkt olarak etkileyen etmenlerden biridir. İnşaat sektöründe yeni girişlerde herhangi bir yasal engelin olmamasından dolayı rekabeti arttıran bir etmen olarak karşımıza çıkmıştır. Rekabet değişkeni incelendiğinde ise, sektörde yoğun bir rekabet ortamı olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durumun yatırım kararlarını da etkileyeceği bir gerçektir. Rekabette öne çıkabilmek için müşterilerin istek ve beklentilerini gerçekleştirmek ve maliyet unsurunu daha iyi yönetebilmek çok önemlidir.

Bu çalışmada, Türk inşaat sektöründe rekabet ortamının belirleyicilerinin, literatürde yaygın olarak kabul gören Porter'in Beş Kuvvet Modeli kapsamında değerlendirilmesi sağlanmıştır. Porter'in beş kuvvetinden biri olan ikame ürünlerin bulunmadığı bir sektör olan konut sektöründe, diğer faktör yapılarının Porter'in modeli ile örtüştüğü, faktör yapılarında herhangi bir değişimin yaşanmadığı görülmektedir. Bununla birlikte sektördeki rekabetin esas belirleyicilerinin alıcı ve tedarikçilerin gücü olduğu görülmektedir. Yüklenicilerin, özellikle alıcıların projelerle ilgili artan taleplerini karşılamak için projelerinde yeni gelişen teknolojileri takip etmeleri gerekmektedir. Bu anlamda çalışma, konut sektöründe rekabeti etkileyen faktörleri oluşturan bileşenlerin neler olduğunu ortaya koymaktadır.

Bulgular ışığında yapılan öneriler aşağıda sıralandığı gibidir;

İnşaat endüstrisinde faaliyet gösteren şirketlerin yatırım kararı safhasında çalışmada belirlenen faktörleri göz önünde bulundurması hata yapma olasılığını minimum düzeye indirgemelerine yardımcı olacaktır.

Tüm endüstrilerde rekabette avantaj sağlamanın bir numaralı kuralı maliyeti minimize etmektir. Çalışmada da tedarikçilerden malzeme temininde yaşanan fiyat dalgalanmalarının yatırım kararına etki ettiği görülmüştür. Bu bağlamda, sürekli olarak ekonomik analizler yapılması, bölgedeki tedarikçilerin rekabet durumunun analiz edilmesi ve gerektiği durumlarda malzeme alımlarının uzun vadeli sözleşmelerle yapılması rekabette öne geçebilmek için büyük önem arz etmektedir.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma FDK-2017-8304 numarası ile Çukurova Üniversitesi BAP birimi tarafından desteklenmiştir.

7. KAYNAKLAR

1. Porter, M., 1980. *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*. New York: Free Press, 10th ed.
2. Wheelen, T., Hunger, J., 2002. *Strategic Management Business Policy*. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall.
3. Slater, S.F., Olson, E.M., 2002. A Fresh Look at Industry and Market Analysis. *Business Horizons*, 45(1), 15-22.
4. Porter, E., 2008. The Five Competitive Forces that Shape Strategy. *Harvard Business Review*, January 2008.
5. Birgönül, M.T., Dikmen, İ., 2001. *Türk İnşaat Sektörünün Rekabet Analizi*, XVI. Türkiye İnşaat Mühendisliği Teknik Kongre ve Sergisi, Ankara.
6. Acar, E., Yazıcı, E.O., 2006. Competitive Micro Environment of Small Residential Contractors. *Proceedings of the 1st International CIB Student Chapters Postgraduate Conference: Built Environment and Information Technologies*, Andolsun, S., Temizsoy, A. & Uçar, M. (Eds.). March 16-18, Middle East Technical University, Ankara.
7. Male, S., Stocks, R., 1991. *Competitive Advantage in Construction*. Surrey, UK: Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford.
8. Betts, M., Ofori, G., 1992. Strategic Planning for Competitive Advantage. *Construction Management and Economics*, 10(6), 511-532.
9. Betts, M., Ofori, G., 1994. Strategic Planning for Competitive Advantage in Construction: The Institutions. *Construction Management and Economics*, 12(6), 203-217.
10. Langford, D., Male, S., 2001. *Strategic Management in Construction*. Oxford: Blackwell Science.
11. Kale, S., Arditi, D., 2003. Differentiation, Conformity and Construction Firm Performance. *Journal of Management in Engineering*, 19(2), 52-59.
12. Kunhui, Y.E., 2006. A Framework For Measuring the Intensity of Competition in General Contractor Market. *Technologies*, 1st International CIB Endorsed METU Postgraduate Conference Built Environment & Information. Ankara.
13. Ryf, C., 2011. *A Building Materials Industry Analysis: Valuation of Holcim Company*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Aarhus.
14. Jørgensen, R.H., 2014. *Veidekke-Constructing a Road to Success a Strategic and Financial Analysis*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Copenhagen Business School, Norwegian.
15. Qi, X.J., Sun, M.T., Chen, M., 2014. The Corporate's Credit Evaluation of Engineering Supervision Based on Porter's Five Forces Model. *Applied Mechanics and Materials*, 638-640, 2450-2454.
16. Ho, P.H., 2015. Analysis of Competitive Environments, Business Strategies, and Performance in Hong Kong's Construction Industry. *Journal of Management in Engineering*, 32, 2.
17. Mohapatra, S., 2012. IT and Porter's Competitive Forces Model and Strategies. In *Information Systems Theory*, Springer New York, 265-281.
18. Kline, R., 2005. *Principles and Practice of Structural Equation Modeling*. Newyork: The Guilford Press.

19. Cronbach, L.J., 1951. Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests. *Psychometrika*, 16, 297-334.
20. Tavşancıl, E., 2014. Tutumların Ölçülmesi ve SPSS ile Veri Analizi. (5. Baskı). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.
21. Merenda, P., 1997. A Guide to the Proper Use of Factor Analysis in the Conduct and Reporting of Research: Pitfalls to Avoid. *Measurement and Evaluation in Counseling and Development*, 30, 156-164.
22. TÜİK. 2018. Türkiye İstatistik Kurumu. <http://www.tuik.gov.tr> Erişim tarihi: 27.05.2018.

Eğik Çekme Yüğü Etkisindeki Tekil Kazığın Üç Boyutlu Sayısal Analizi

Buse EMİRLER^{*1}, Mustafa TOLUN², Abdulazim YILDIZ³

¹Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

²Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

³Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 11.01.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Özet

Bu çalışmada, eğik çekme yüğü etkisindeki tekil kazık davranışı sayısal olarak analiz edilmiştir. Kum zemine gömülü, L/D=8 gömülme oranındaki tekil bir kazık farklı yük açılarında ($\alpha=0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ ve 90°) çekmeye maruz bırakılmıştır. Sayısal analizler, sonlu eleman yöntemine dayalı Plaxis 3D bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Analizlerde; öncelikle, sonlu eleman sıklığının etkisi araştırılmıştır. Programın sunduğu beş farklı ağ sıklığında analizler gerçekleştirilmiş ve sıklığın kazık kapasitesi üzerinde etkisinin kalmadığı ince (fine) ağ sıklığında analizlerin yapılmasına karar verilmiştir. 90° çekme açısına sahip kazıkta yapılan sayısal analizden elde edilen sonuç, literatürde yer alan teorik bir yöntemle karşılaştırılmış ve sayısal analiz kazık kapasitesini tahminindeki başarısı araştırılmıştır. Sayısal analiz ve teorik yöntemle elde edilen sonuçların oldukça uyumlu olduğu görülmüş ve sonrasında yapılan parametrik çalışmada, yükün düşey eksenle yaptığı açının artmasıyla kazık kapasitesinin azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Eğik yük, Düşey kazık, Kum zemin, Sayısal analiz, Plaxis 3D

Three Dimensional Numerical Analysis of Single Pile under Inclined Uplift Load

Abstract

In this study, a single pile behaviour under inclined uplift load has been investigated, numerically. The single pile embedded in sand soil having the embedment ratio of 8 (L/D) has been exposed to the inclined load for different load angles ($\alpha=0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 60^\circ$, and 90°). Numerical analyses have been performed by using Plaxis 3D computer program based on finite element method. Firstly, the effect of mesh density of finite element has been studied in the analyses. Five different mesh densities are available in Plaxis 3D ranging from very coarse to very fine. In this study, the meshes of finite element have been chosen as fine where the effect of mesh density is ended on the uplift capacity of single pile. The result obtained from the

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Buse EMİRLER, bemirler@cu.edu.tr

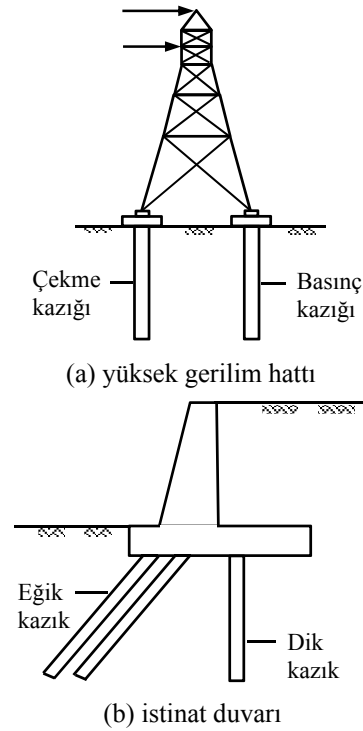
numerical analysis related to the single pile having the load angle of 90° has been compared with a theoretical method in the literature and thanks to this, the success of the numerical analysis in the prediction of the uplift capacity of single pile has been studied. It has been understood that the results obtained from numerical analysis and theoretical method are in a very good agreement and in the parametric study afterwards, it has been observed that the uplift capacity of single pile decreases with the increase of the load angle.

Keywords: Inclined load, Vertical pile, Sand soil, Numerical analysis, Plaxis 3D

1. GİRİŞ

Kazıklar, yapı yüklerini zeminin altındaki derin tabakalara taşımak amacıyla kullanılan yapı elemanlarıdır. Bu sebeple taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların her birinde, yapı yüklerinin kazıklar aracılığıyla temel zeminine güvenli bir şekilde aktarmasını sağlayacak rijitlik, kararlılık, dayanım ve süneklik bulunmalıdır. Kazığa etkiyen yükler düşey ve yatay olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Düşey yükler kazık eksenine paralel olarak etkirken, yatay yükler kazık eksenine dik olarak etkir. Üst yapıdan gelen yüklerin küçük olduğu durumlarda, yükler düşey kazıklarla güvenle taşınabilmektedir. Ancak, rıhtım ve dalgakıranların azıkları, köprü ayakları, petrol arama kuleleri, yüksek bacalar ve dayanma yapıları gibi yapıların temelleri oldukça yüksek mertebelerdeki yatay yük bileşenleri etkisinde kalabilmektedir. Bu yükler göz önüne alınmaksızın tasarlanıp inşa edilen düşey kazıkların, üst yapı yüklerini güvenli şekilde taşımaları olanaksızdır. Bu durumda yatay yükler göz önüne alınarak tasarlanan düşey kazıklarla veya bu kazıkların taşıma gücü açısından yetersiz kaldığı durumlarda ise eğik kazıklarla yüksek yatay taşıma gücü sağlanabilmektedir [1].

Kazıklar pratikte değişik problemlerde başarıyla kullanılabilir. Çekme kazıkları, uzun yapılarda doğabilecek momentlere karşı kullanılabilir. Su altında yapılan tesisler veya gömülü tanklar bu tip kazıkların kullanıldığı yerlere örnek olarak verilebilir. Yatay yüklü kazıklar, kazık eksenine dik uygulanan kuvvetlerin dengelenmesinde kullanılır. Kazık zemine eğik olarak yerleştirilmişse bu tip kazıklara eğik kazık denilir ve bu tip kazıklar aynı anda hem yatay hem de düşey yükleri taşıyabilirler (Şekil 1) [1].



Şekil 1. Farklı yüklere maruz kazıklı yapılar

Eğik çekme yüküne maruz kazıkların davranışını araştırmak için deneysel ve sayısal çalışmalar yapılmıştır. Chattopadhyay ve Pise [2], kum zemine gömülü düşey kazıkların çekme kapasitesini analitik bir yöntem kullanarak araştırmışlardır. Kazık boy-çap oranı, kazık sürtünme açısı ve içsel sürtünme açısı parametrelerinin çekme kapasitesinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirlemişlerdir. Ismael [3], kum zemine gömülü kazıkların eğik çekme davranışını arazi deneyleri ile araştırmıştır. 0° , 30° ve 60° açılara sahip yüklemeye deneylerinde, 1,5 m uzuluğunda ve 101 mm çapında

kazıklar kullanmıştır. Eğik yükleme deneyleri sonucunda hem düşey hem de yatay yönde göçme mekanizması oluşacağından, kazık kapasitesinin hesabında her iki doğrultudaki kapasitenin dikkate alınması gerektiğini vurgulamıştır. Yük açısının artmasıyla yatay kapasitenin arttığı, düşey kapasitenin ise azaldığı sonucuna ulaşmış ve elde ettiği sonuçları literatürdeki teorik bir yöntemle desteklemiştir. Veeresh ve Narasimha Rao [4], kil zemine gömülü eğik kazıkların çekme davranışını deneysel olarak incelemiştir. Kazık açısının artmasıyla çekme kapasitesinin azaldığını görmüşler ve bu azalmayı yüzey sürtünmesinde meydana gelen azalmayla ilişkilendirmişlerdir. Al-Shakarchi ve arkadaşları [5], kum zemine gömülü tekil eğik kazığın çekme yükü etkisindeki davranışını laboratuvar deneyleri yaparak araştırmışlardır. Eğik yükleme altında düşey ve eğik kazıkların çekme kapasitesi, çekme açısının artmasıyla artmış ve çekmenin yatay olduğu durumda kapasite maksimumuna ulaşmıştır. Ayrıca negatif yönlü eğik kazıkların çekme yükünün pozitif yönlü eğik kazıklardan daha fazla olduğunu görmüşlerdir. Mroueh ve Shahrour [6], eğik çekme yüküne maruz düşey kazıkların davranışında zemin-kazık ara yüzeyinin etkisini incelemiştir. Bu amaçla üç boyutlu sonlu elemanlar programı ile analizler yapmışlardır. Analiz sonuçlarına göre, yük açısı ve zemin-kazık ara yüzeyinin kazığın eksenel davranışını büyük oranda etkilediğini, kazığın yatay davranışının ise bu faktörlerden bağımsız olduğunu belirlemiştir. Mroueh ve Shahrour [7], eğik çekme yüküne maruz eğik kazıkların davranışını üç boyutlu sonlu elemanlar analizi ile incelemiştir. Analiz sonuçları, yük açısının kazığın yatay ve eksenel davranışını etkilediğini göstermiş ve çekme kapasitesinin hem kazığın düşey eksenle yaptığı açıdan hem de uygulanan yükün kazık eksenine yaptığı açıdan etkilendiğini ortaya koymuştur. Korkmaz [8], düşey ve eğik kazıklı iskele yapılarında zemin-yapı etkileşimini sayısal olarak analiz etmiştir. DLH 2008 esaslarına göre doğrusal olmayan statik analizler yapmış ve farklı zemin koşulları için yatay yük taşıma kapasiteleri ile maksimum yer değiştirmeleri incelemiştir. Sağlam zemine oturan düşey kazıklı iskelelerde yatay yer değiştirmelerin yüksek mertebelerde olduğunu

ancak kazık kesitlerinin daha çok zorlandığını, eğik kazıklı iskelelerde ise yatay yer değiştirmelerin düşük mertebelerde olsa bile gerilmeler açısından kazık kesitlerini aşırı zorlandığını görmüştür. Nazir ve Nasr [9], kum zemine gömülü eğik kazıkların çekme dayanımını etkileyen parametreleri araştırmışlardır. Kum sıkılığı, kazığın gömülme derinliği oranı ve açının etkisini laboratuvar model deney yaparak belirlemiştir. Sıkı ve orta sıkılıktaki kum zeminde eğik kazıkların çekme kapasitesinin açının artmasıyla arttığını, ancak maksimum değere ulaştıktan sonra kapasitenin azaldığını görmüşlerdir. Çekme kapasitesinin maksimum değerinin 20° de elde edildiğini ve bu değerinde çekme kapasitesinin düşey kazık kapasitesinden yaklaşık %21-31 daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Gevşek zeminde ise kazık açısının artmasıyla çekme kapasitesinde azalma olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Li ve arkadaşları [10], kum zemine gömülü tekil kazığın göçme zarfını sayısal olarak araştırmışlardır. Üç boyutlu çalışma ortamında yapılan analiz sonuçlarına göre düşey yükün artmasıyla kazığın yatay taşıma kapasitesi azalmıştır. Ayrıca, kazık başında eğilme momentinin varlığı yatay taşıma kapasitesini önemli oranda etkilemiş ve belirli bir düzlemdeki kapasite diyagramı eğik eliptik şekil oluşturmuştur. Reddy and Ayothiraman [11], hem çekme hem de yatay yüke maruz tekil kazığın davranışını deneysel olarak araştırmışlardır. Rijit ve flexible kazıkların davranışını üç farklı boy-çap oranı için incelemiştir. Bağımsız yüklemeye maruz kazıkların davranışının kombine yüklemeye maruz kazıkların davranışından önemli ölçüde farklı olduğunu görmüşlerdir. Kombine yüklemedeki yatay/çekme yük kapasitesinin önemli oranda arttığını, ancak bununla birlikte kazık başı dönmesi/deplasman değerinin de arttığını belirlemiştir. Jiang ve Li [12], yüzer tünellerde kullanılan eğik yüklemeye maruz düşey kazıkların davranışını sayısal analiz yaparak incelemiştir. Analizlerde, sonlu farklar yöntemine dayalı FLAC3D bilgisayar programını kullanmışlardır. Tekil kazığı; 0° , 30° , 45° , 60° ve 90° açılara sahip çekme yüklemesine maruz bırakmışlardır. Yükleme açısının 30° olduğu durumda maksimum kazık

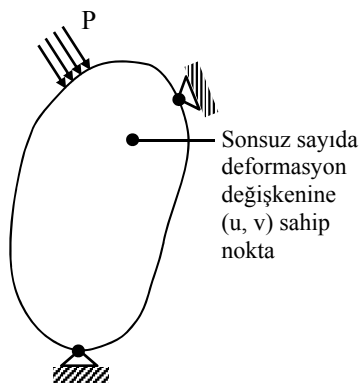
kapasitesine ulaşmışlar ve uygulamada kullanılmak üzere öneride bulunmuşlardır.

Bu çalışmada, kum zemine gömülü eğik çekme yüküne maruz tekil bir kazığın davranışı sayısal olarak incelenmiştir. Analizler, sonlu eleman yöntemine dayalı Plaxis 3D bilgisayar programı ile yapılmıştır. Yükün düşey eksenle yaptığı açının (α) kazık kapasitesine etkisi araştırılmıştır.

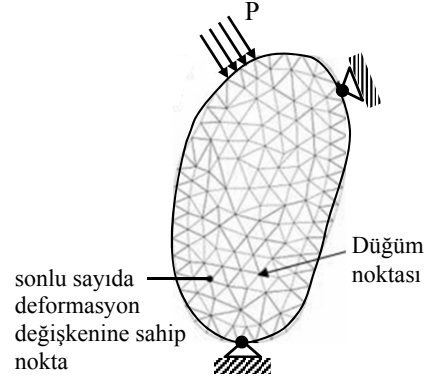
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Sayısal Analiz

Sonlu eleman yöntemi; dış etkilere maruz fiziksel bir sistemin davranışını idare eden diferansiyel denklemlerin yaklaşık sayısal çözümlerini elde etmek için kullanılan bilgisayar destekli bir hesaplama tekniğidir. Sonlu eleman yönteminin en önemli özelliği herhangi bir standart formülasyona uymayan problemleri oldukça başarılı bir şekilde çözümleyebilmesidir. Yöntemin ana fikri; Şekil 2’de görüldüğü gibi analiz edilecek problem geometrisini basit geometrik şekle sahip çok sayıda küçük elemanlara ayırmaktır. Sonlu eleman adı verilen bu küçük bölgelerin birleşimi sonlu eleman ağı (mesh) olarak adlandırılır. Sonlu eleman ağını oluşturan elemanlar birbirlerine elemanların kenarlarında yer alan düğüm noktaları (node) aracılığı ile bağlıdır. Analiz edilecek sürekli ortamın sonlu elemana ayrılması ile sonsuz sayıda serbestlik derecesine sahip sürekli fiziksel model ortamı sonlu sayıda serbestlik derecesine sahip ayrıklaştırılmış model ile temsil edilmektedir.



(a) Gerçek model (sürekli ortam)



(b) Analiz edilen model
(sonlu elemana ayrılmış ortam)

Şekil 2. Sonlu eleman yöntemi

Bir problemin sonlu eleman yöntemi ile analizi; deplasman yöntemi, kuvvet yöntemi ya da karma yöntemlerden birisi kullanılarak gerçekleştirilir. Geoteknik mühendisliğindeki problemlerin çoğunluğu deplasman yöntemi kullanılarak çözümlenmektedir. Deplasman yönteminde; bilinmeyen deplasman olup gerilme ve birim şekil değiştirmeler ikincil büyüklükler olarak deplasmanların tanımlanmasına bağlı olarak elde edilirler. Bilinmeyen büyüklük olan deplasmanların bir sonlu elemandaki değişimi interpolasyon fonksiyonları kullanılarak tanımlanmaktadır. İnterpolasyon fonksiyonları olarak genellikle polinomlar seçilmektedir. Bir sonlu eleman ve bu sonlu elemanı çevreleyen düğüm noktaları arasındaki ilişki Eşitlik 1 kullanılarak tanımlanmaktadır.

$$[k]_e \{u\}_e = \{f\}_e \quad (1)$$

Eşitlik 1’deki eleman deplasman vektörü $\{u\}_e$ bilinmeyen olup, uygulanan kuvvetler etkisinde düğüm noktalarının nasıl hareket edeceğini tanımlamaktadır. Eleman rijitlik matrisi $[k]_e$; eleman özellikleri, malzeme özellikleri ve eleman geometrisi kullanılarak elde edilir. Eleman yük vektörü $\{f\}_e$ ise eleman üzerinde etkili olan yükleri tanımlamaktadır. Her bir elemana ait rijitlik matrislerinin ve eleman yük vektörlerinin bir araya getirilip toplanması sonucu sisteme ait global rijitlik

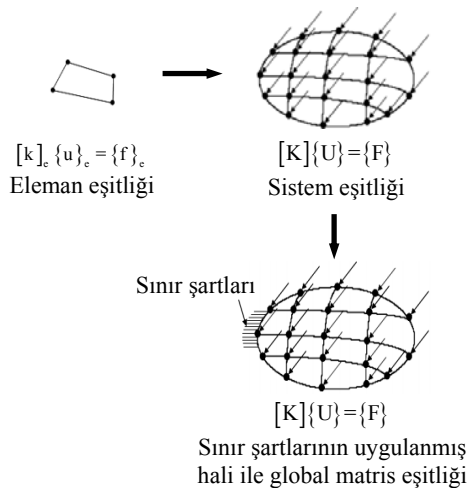
matrisi ve global yük vektörü elde edilmiş olur. Bu işlemin sonucunda fiziksel problemin davranışını idare eden diferansiyel denklem lineer bir denklem takımına indirgenir (Eşitlik 2).

$$[K]\{U\}=\{F\} \quad (2)$$

Bu eşitlikte yer alan;

[K]: sistem rijitlik matrisi,
{U}: deplasman vektörü,
{F}: sistem yük vektörüdür.

Şekil 3'te görüldüğü gibi model hareketinin engellendiği doğrultuları ifade eden sınır şartları problem geometrisine uygulanır. Bu işlem matematiksel olarak, global matris eşitliğinde düğüm noktasının hareketinin engellendiği doğrultulara karşılık gelen satır ve sütunların global matris eşitliklerinden çıkarılması yolu ile yapılmaktadır. Analiz aşamasında ise global matris eşitlikleri çözümlenerek her bir düğüm noktasındaki deplasmanlar elde edilir. Elde edilen düğüm noktası deplasmanları kullanılarak her bir sonlu elemandaki gerilmeler ve birim şekil değiştirmeler hesaplanır. Analizler sonucunda elde edilmiş olan büyük miktardaki veri değerlendirilerek tasarım amaçları için anlaşılır bir kullanıma dönüştürülür [13].



Şekil 3. Global matris eşitliklerinin elde edilmesi

Plaxis 3D, özellikle, temel yapılarının deformasyon analizlerinin gerçekleştirilmesi için geliştirilmiş üç boyutlu bir sonlu eleman programıdır. Yapısal elemanlar, yükleme koşulları ve malzeme özellikleri göz önüne alınarak, kum zemin içerisinde yer alan eğik çekme yüküne maruz kazık problemi Plaxis 3D programı kullanılarak modellenmiş ve analiz edilmiştir [14].

2.1.1. Kum Zemin

Analizlerde çalışma ortamının geometrik modeli, üç boyutlu ve ele alınan kazık problemine uygun olarak oluşturulmuştur. Geometrik modelin genişliği ve uzunluğu 700 mm, toplam zemin yüksekliği ise 300 mm'dir. Zemin modeli olarak Mohr-Coulomb (MC) tercih edilmiştir. Geoteknik mühendisliği problemlerinin analizinde zeminlerin davranışı; az sayıda model parametresine ihtiyaç duyulması, kohezyon ve içsel sürtünme açısı gibi basit fiziksel özellikler kullanılarak göçme kriteri tanımlama olanağının bulunması, geoteknik mühendislerinin gerekli model parametrelerine aşına olmaları ve zemin numuneleri üzerinde gerçekleştirilecek temel zemin mekaniği laboratuvar deneyleriyle bu parametrelerin kolaylıkla elde edilebiliyor olması gibi nedenler ile yaygın olarak Mohr-Coulomb malzeme modeli ile araştırılabilmektedir. Model zemin parametreleri, Brinkgreve ve arkadaşları [15] tarafından MC zemin modeli için önerilen eşitlikler kullanılarak belirlenmiştir (Eşitlik 3-8).

$$\gamma_{\text{unsat}} = 15 + 4,0 \text{ RD}/100 \quad [\text{kN}/\text{m}^3] \quad (3)$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 19 + 1,6 \text{ RD}/100 \quad [\text{kN}/\text{m}^3] \quad (4)$$

$$E_{\text{oad}} = 60000 \text{ RD}/100 \quad [\text{kN}/\text{m}^2] \quad (5)$$

$$E = \left[\frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} \right] E_{\text{oad}} \quad [\text{kN}/\text{m}^2] \quad (6)$$

$$\phi = 28 + 12,5 \text{ RD}/100 \quad [^\circ] \quad (7)$$

$$\psi = -2 + 12,5 \text{ RD}/100 \quad [^\circ] \quad (8)$$

Kum zemin sıklığının (RD) %30 olduğu durumda, eşitlikler kullanılarak hesaplanan MC model parametreleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Kum zemin için model parametreleri

	Kum zemin (RD=%30)
Malzeme modeli	MC
Drenaj tipi	Drenajlı
γ_{unsat} (N/mm ³)	$16,2 \times 10^{-6}$
γ_{sat} (N/mm ³)	$19,5 \times 10^{-6}$
$E_{\text{oad}}^{\text{ref}}$ (N/mm ²)	18
E (N/mm ²)	15
c (N/mm ²)	0
ϕ (°)	32
ψ (°)	2
ν	0,25

2.1.2. Model Kazık

Analizlerde model kazık, çizgisel eleman (embedded beam) olarak modellenmiştir. Eleman parametreleri olarak çelik malzemenin özellikleri kullanılmış ve girdi parametreleri Çizelge 2’de verilmiştir. Kazık, D=25 mm çapında ve H=400 mm boyunda modellenmiştir.

Çizelge 2. Model kazık için parametreler

	Değer
γ (N/mm ³)	77×10^{-6}
E (N/mm ²)	2×10^6

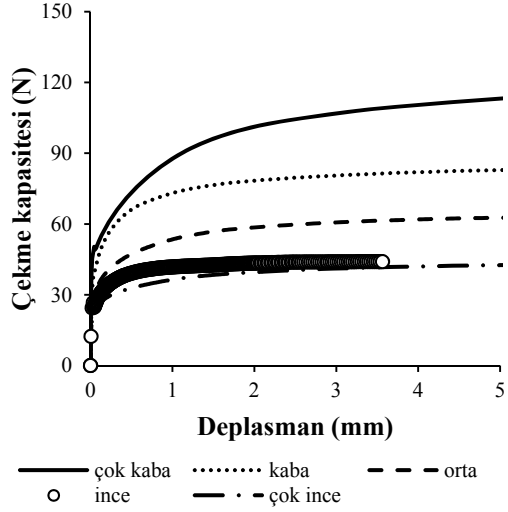
Çizelge 3. Farklı ağ sıklıkları (mesh) için analiz sonuçları

	Sonlu eleman ağının sıklığı				
	Çok kaba	Kaba	Orta	İnce	Çok ince
Eleman sayısı	1085	2628	11825	37370	106342
Düğüm sayısı	1886	4249	17503	53251	148571
Eleman boyutu (mm)	110,90	83,18	55,45	38,82	27,73
Çekme kapasitesi (N)	134,34	83,85	62,74	44,02	43,51

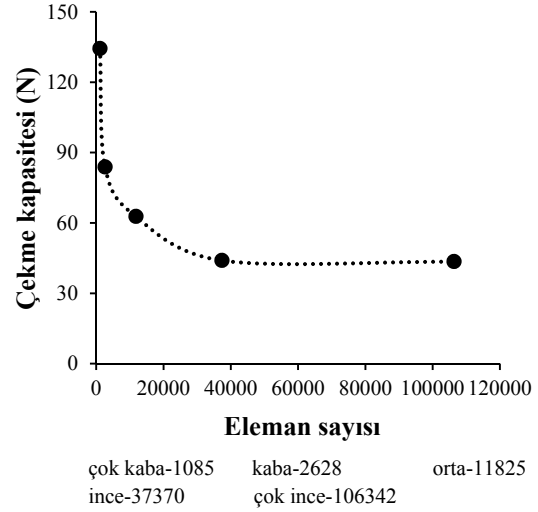
2.1.3. Sonlu Eleman Ağı

Plaxis 3D’de sonlu elemana ayırma işlemi otomatik olarak gerçekleştirilmekte, ayrıca istenilen bölgelerde ağ sıkılaştırması seçeneği sunulmaktadır. Analizlerde sonlu eleman ağı oluşturulurken, sonuçların etkilenmediği en uygun ağ yapısı (mesh) araştırılmıştır. Bu amaçla, farklı mesh durumları göz önüne alınarak bir seri analiz gerçekleştirilmiş ve çekme kapasitesi değerleri karşılaştırılmıştır. Kazık gömülme oranının L/D=8, zemin sıklığının RD=%30 ve yük açısının $\alpha=0^\circ$ olduğu durumda analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde; mevcut çok kaba (very coarse), kaba (coarse), orta (medium), ince (fine) ve çok ince (very fine) mesh seçenekleri kullanılmıştır. Analizlerden elde edilen sonuçlar toplu olarak Çizelge 3’te verilmiştir. Şekil 4’te farklı mesh durumları için çekme kapasitesi-deplasman eğrileri, Şekil 5’te ise çekme kapasitesi-eleman sayısı ilişkisi görülmektedir.

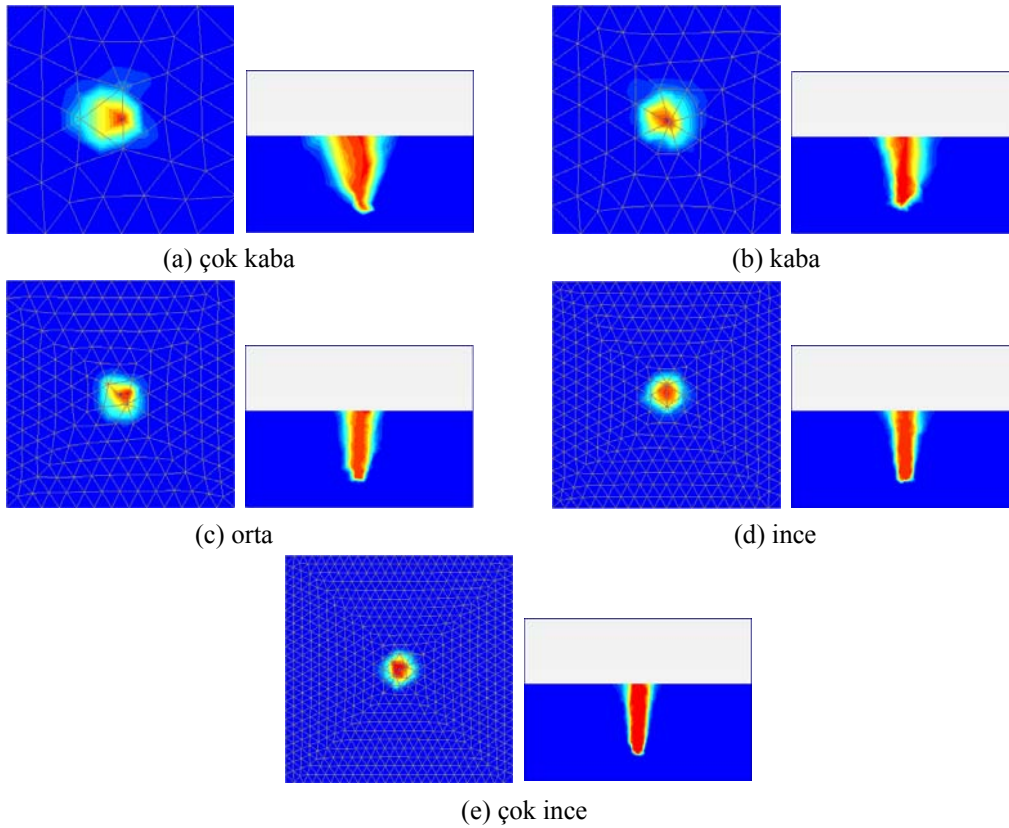
Çizelge 3’te ve Şekil 4, 5 ve 6’da çekme kapasitesinin ağ sıklığından etkilendiği görülmektedir. Çok kaba mesh kullanılması durumunda çekme kapasitesi değeri, çok ince mesh kullanılması durumuna göre yaklaşık 3 kat daha fazla çıkmıştır. Mesh analizlerinden, mesh etkisinin ince ve çok ince mesh durumlarında oldukça azaldığı görülmüş ve analizlerde çözüm süresi de dikkate alınarak sonlu eleman ağı ince (fine) mesh seçeneğiyle oluşturulmuştur. Ayrıca analizler sonucunda elde edilen deplasman dağılımları, düşey çekme yüküne maruz tekil bir kazığın göçme mekanizmasını başarılı bir şekilde yansıtmıştır (Şekil 6). Şekil 7’de problem modeli ve sonlu eleman ağı görülmektedir.



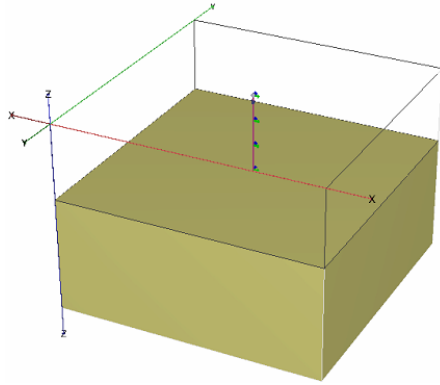
Şekil 4. Sonlu eleman sıklığının çekme kapasitesi-deplasman ilişkisine etkisi



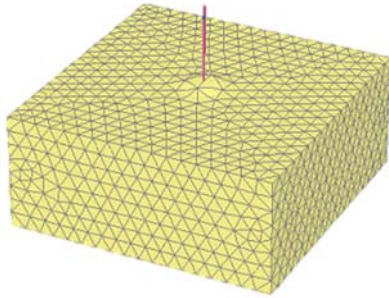
Şekil 5. Çekme kapasitesi-eleman sayısı ilişkisi



Şekil 6. Sonlu eleman sıklığının deplasman dağılımına etkisi



(a) problem modeli



(b) sonlu eleman ağı

Şekil 7. Üç boyutlu sayısal model

2.2. Teorik Yöntem

Broms [16] yatay açıyla çekilmiş düşey bir kazığın çekme kapasitesini aşağıdaki eşitliği kullanarak hesaplamıştır.

$$P_L = 0,5\gamma'DL^2K_p \quad (9)$$

Bu eşitlikte yer alan;

- P_L : Düşey kazığın yatay kapasitesi,
- γ' : Zeminin birim hacim ağırlığı,
- D : Kazık çapı,
- L : Kazık boyu,
- K_p : Pasif toprak basıncı katsayısı

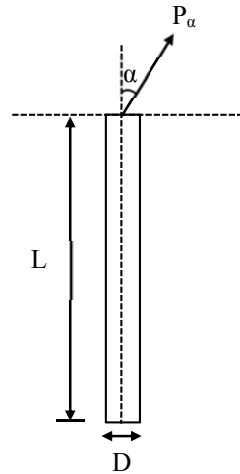
Eğik çekme yüküne maruz kazık probleminde kazık kapasitesi, hem yatay hem de düşey kapasitenin bir fonksiyonudur [17]. Düşey eksen doğrultusunda uygulanan yük, çekme kapasitesi doğuracak ve

meydana gelen göçme çekmeden kaynaklı olacaktır. Ancak uygulanan yük düşey eksenden saparsa yani yükün eğimi artarsa, yatay yönde bir kapasite oluşacak ve bu durum yatay yönde de göçme meydana gelmesine sebep olacaktır. Bu sebeple eğik yükleme problemlerinde her iki göçme durumu da dikkate alınmalıdır. Kazığın çekme ve yatay kapasitelerinin birbirinden bağımsız olduğu varsayımına göre, her iki kapasiteden kazığın toplam kapasitesine geçiş mümkün olabilmektedir [3].

Bu çalışmada, yatay yüke ($\alpha = 90^\circ$) maruz tekil kazık kapasitesinin hesabı için Broms [16] tarafından önerilen eşitlik kullanılarak sayısal analizin doğrulanması amaçlanmıştır. Sonrasında yapılan parametrik çalışmada, kazık kapasitesinin yük açısından ne şekilde etkilendiği incelenmiştir. Analizler sonucunda elde edilen kazık kapasitesinden düşey ve yatay doğrultudaki kazık kapasitelerine geçiş yapılmıştır.

2.3. Problemin Tanıtımı

Problemden araştırılan parametre Şekil 8'de gösterilmiştir. Çalışma boyunca; tek bir gömülme oranına sahip ($L/D=8$) tekil kazıkta, yükün düşey eksenle yaptığı açının (α) kazık kapasitesine etkisi incelenmiştir.



Şekil 8. Problemin gösterimi

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sayısal modelleme yapılan bu çalışmada, yükün düşey eksenle yaptığı açının (α) kazık kapasitesine etkisi araştırılmıştır. 90° çekme açısına sahip kazıkta yapılan sayısal analizden elde edilen sonuç, Broms [16] tarafından önerilen eşitlikle karşılaştırılmış ve sayısal analizin kazık kapasitesini tahminindeki başarısı araştırılmıştır. Sonuçlar; kazık kapasitesi-deplasman, kazık kapasitesi- α , zemin yüzeyinde ve kazık boyunca meydana gelen deplasman dağılımlarını içeren şekiller ile sunulmuştur. Analizler sonucunda elde edilen kazık kapasitesi değerleri, belirgin bir göçme yükünün olmaması nedeniyle, kazık çapının %10'u kadar oturmaya karşılık gelen yük değerleri olarak alınmıştır.

Sayısal analiz ve Broms [16] tarafından önerilen eşitlik kullanılarak elde edilen kazık kapasitesi sonuçları Çizelge 4'te sunulmuştur.

Çizelge 4. Sayısal analizin doğrulanması

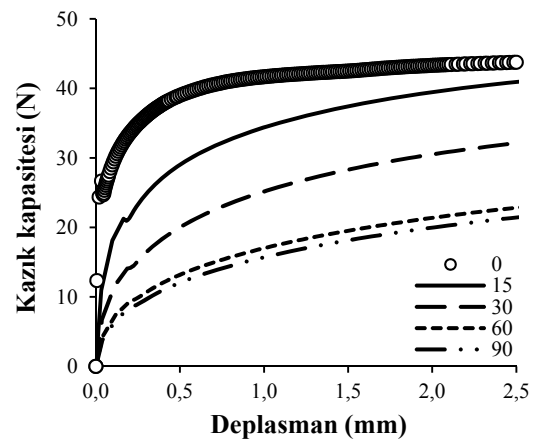
	Kazık kapasitesi (N)
Sayısal analiz	25,94
Broms [16]	26,36

Her iki yöntemle elde edilen sonuçların oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Aradaki yaklaşık %1,5'lik farkın makul olduğu kabul edilmiştir. Sonrasında yapılan parametrik çalışmada, uygulanan yükün düşey eksenle yaptığı açının artmasıyla kazık kapasitesinin azaldığı belirlenmiştir. Kazık kapasitesini oluşturan düşey ve yatay bileşenlerin değişimi Çizelge 5'te verilmiştir.

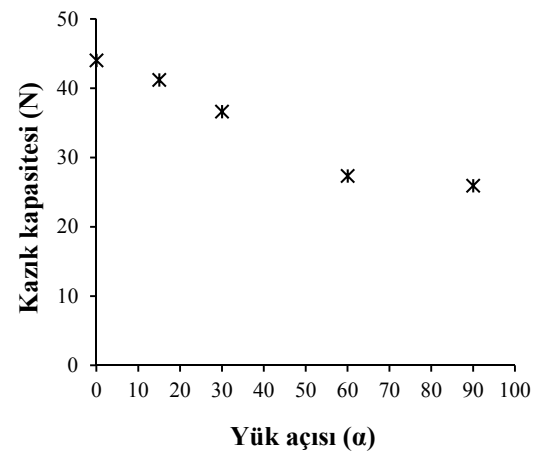
Çizelge 5. Sayısal analizler sonucunda elde edilen kazık kapasiteleri

Yük açısı (α)	Düşey kapasite (N)	Yatay kapasite (N)	Kazık kapasitesi (N)
0°	43,75	-	43,75
15°	39,81	10,67	41,21
30°	31,72	18,32	36,63
60°	13,67	23,68	27,34
90°	-	25,94	25,94

Yükün düşey eksenle yaptığı açının (α) artmasıyla, kazıkta meydana gelen düşey kapasite azalmışken yatay kapasite artmıştır. Şekil 9 ve 10'da, sırasıyla, sayısal analizlerden elde edilen kapasite-deplasman ve kapasite-yük açısı ilişkileri verilmiştir. Analiz sonuçlarından, kazık kapasitesinin eğik yükleme durumundan olumsuz etkilendiği görülmüştür. Düşey çekme açısındaki ($\alpha=0^\circ$) kazık kapasitesi, 60° çekme açısına maruz kazık kapasitesinden yaklaşık %60 daha fazla çıkmıştır.



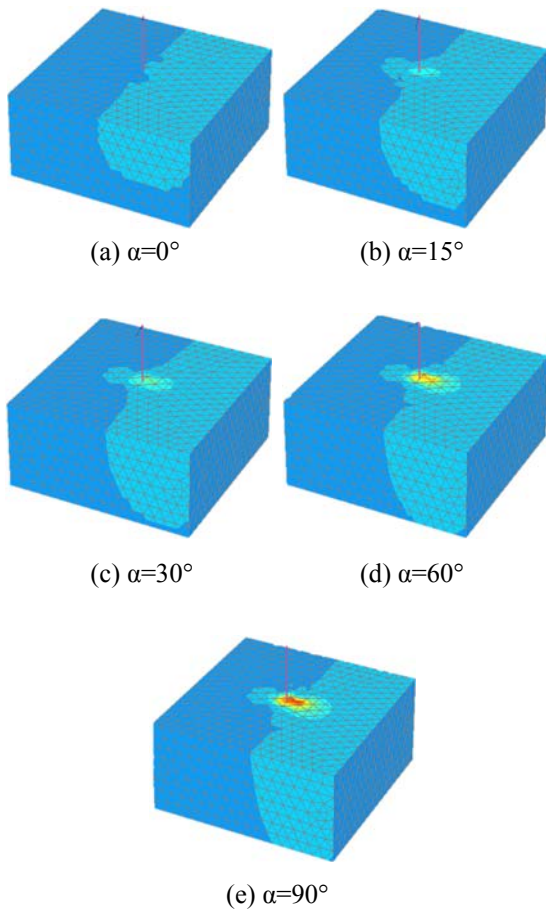
Şekil 9. Yük açısı (α)'nın kazık kapasitesi-deplasman ilişkisine etkisi



Şekil 10. Yük açısı (α)'nın kazık kapasitesine etkisi

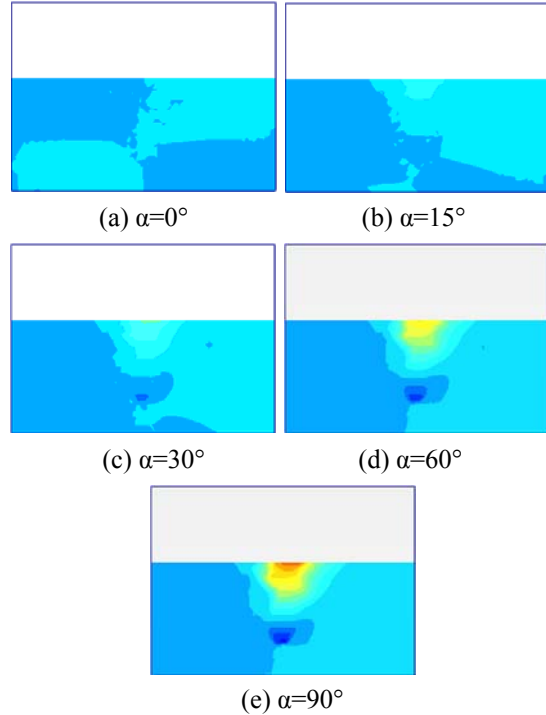
Şekil 11 ve 12'de yük açısının zemin yüzeyinde ve kazık boyunca meydana getirdiği yatay deplasman dağılımları verilmiştir.

Yük açısının artmasıyla zemin yüzeyinde meydana gelen deplasman yoğunluğu yük açısının verildiği doğrultudaki zemin bölgesini etkilemiş ve deplasmanların daha geniş bir alana yayılması söz konusu olmuştur. Yük açısının 0° olduğu durumda, zemin yüzeyinde meydana gelen yatay deplasmanlar çok azken, yük açısının artmasıyla birlikte zemin yüzeyinde meydana gelen yatay deplasmanların büyüklüğü ve yayıldığı alan artmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Yük açısı (α)'nın zemin yüzeyindeki yatay deplasman dağılımına etkisi

Şekil 12'de ise yük açısının artmasıyla kazık boyunca meydana gelen yatay deplasman yoğunluğu, yük açısının verildiği doğrultudaki zemin bölgesini etkilemiş ve o bölgedeki deplasman yoğunluğu artmıştır.



Şekil 12. Yük açısı (α)'nın kazık boyuncaki yatay deplasman dağılımına etkisi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, eğik çekme yüküne maruz kazık davranışı sayısal olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Çekme kapasitesinin ağ sıklığından etkilendiği görülmüştür. Çok kaba mesh kullanılması durumunda çekme kapasitesi değeri, çok ince mesh kullanılması durumuna göre yaklaşık 3 kat daha fazla çıkmıştır. Ayrıca analizler sonucunda elde edilen deplasman dağılımları, düşey çekme yüküne maruz tekil bir kazığın göçme mekanizmasını başarılı bir şekilde yansıtmıştır.
- 90° çekme açısına sahip kazıkta yapılan sayısal analizden elde edilen sonuç, Broms [16] tarafından önerilen eşitlik ile karşılaştırılmış ve sonuçlar uyumlu çıkmıştır.
- Yükün düşey eksenle yaptığı açının artmasıyla kazık kapasitesi azalmıştır.
- Yük açısının artmasıyla zemin yüzeyinde ve kazık boyunca meydana gelen deplasmanlar, yük

bileşenin arttığı doğrultudaki zemin bölgesini etkilemiştir. Açının artmasıyla, yatay doğrultuda meydana gelen deplasman yoğunluğu daha fazla olmuştur.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın birinci yazarı TÜBİTAK tarafından yurt içi doktora bursu ile desteklenmektedir. Birinci yazar, bu destek için TÜBİTAK'a teşekkürlerini sunmaktadır. Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: FBA-2017-8775).

6. KAYNAKLAR

1. Maviş, S., 2013. Düşey ve Eğik Kazıklı İskele Yapılarında Zemin-Kazık Etkileşiminin Detaylı ve Basitleştirilmiş Modeller ile İrdelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 90, İstanbul.
2. Chattopadhyay, B.C., Pise, P.J., 1986. Uplift Capacity of Piles in Sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, 112(9), 888-904.
3. Ismael, N.F., 1989. Field Tests on Bored Piles Subject to Axial and Oblique Pull. *Journal of Geotechnical Engineering*, 115(11), 1588-1598.
4. Veeresh, C., Narasimha Rao, S., 1996. Vertical Pullout Capacity of Model Batter Anchor Piles in Marine Clays. *Marine Georesources & Geotechnology*, 14(3), 205-215.
5. Al-Shakarchi, Y.J., Fattah, M.Y., Kashat, I.K., 2004. The Behaviour of Batter Piles under Uplift Loads. *International Conference on Geotechnical Engineering*, 105-114.
6. Mroueh, H., Shahrour, I., 2007. Response of Piles to Inclined Uplift Loads Influence of the Soil-Pile Interface. *European Journal of Computational Mechanics*, 16(3-4), 419-435.
7. Mroueh, H., Shahrour, I., 2009. Numerical Analysis of the Response of Battered Piles to Inclined Pullout Loads. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 33(10), 1277-1288.
8. Korkmaz, Ş., 2012. Düşey ve/veya Eğik Kazıklı İskele Yapılarında Zemin-Yapı Etkileşimi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 112, İstanbul.
9. Nazir, A., Nasr, A., 2013. Pullout Capacity of Batter Pile in Sand. *Journal of Advanced Research*, 4(2), 147-154.
10. Li, Z., Kotronis, P., Escoffier, S., 2014. Numerical Study of the 3D Failure Envelope of a Single Pile in Sand. *Computers and Geotechnics*, 62, 11-26.
11. Reddy, K.M., Ayothiraman, R., 2015. Experimental Studies on Behavior of Single Pile under Combined Uplift and Lateral Loading. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 141(7), 04015030.
12. Jiang, X., Li, K., 2016. Research on Pull-out Mechanical Characteristics of Pile Foundation in Submerged Floating Tunnel. *Procedia Engineering*, 166, 389-396.
13. Uncuoğlu, E., 2009. Kohezyonsuz Zeminlerdeki Kazıkların Yatay Yük ve Moment Etkisi Altındaki Davranışlarının Analizi. Çukurova Üniversitesi, Doktora Tezi, 277, Adana.
14. Plaxis 3D.AE.02, 2016. Plaxis bv, Delft, The Netherlands.
15. Brinkgreve, R.B.J., Engin, E., Engin, H.K., 2010. Validation of Empirical Formulas to Derive Model Parameters for Sands. *Numerical Methods in Geotechnical Engineering*, 137-142.
16. Broms, B.B., 1965. Discussion on, Piles in Cohesionless Soil Subject to Oblique Pull. *Journal of Soil Mechanics and Foundations*, 91(4), 199-205.
17. Poulos, H.G., Davis, E.H., 1980. *Pile Foundation Analysis and Design*. John Wiley and Sons, NY.

Universal Design Equations for Fractional Order PID Control of Plants with Time Delay

Mehmet Emir KÖKSAL*¹

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Matematik Bölümü, Samsun

Geliş tarihi: 01.04.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Universal Design Equations for Fractional Order PID Control of Plants with Time Delay

Abstract

Some all-purpose design equations are derived for designing fractional order controllers for integer order plants with time delay. The results combine many design techniques appearing in the literature. In addition to plotting the global stability boundaries, they can be used to achieve desired gain and phase margins with a flat phase response near the gain cross over frequency. So, robustness can also be guaranteed. Further, satisfactory output disturbance and high frequency noise rejections can be realizable. An example is treated to make connections with the already existing results in the literature, which proves the usability of the obtained design equations.

Keywords: Control design, PID control, Stability, Fractional order systems

Gerçek Zaman Gecikmeli Rasyonel Transfer Fonksiyonuna Sahip Sistemlerin Kontrolü için Kesirli Mertebeden Oransal-Entegral-Türevsel (PID) Bir Kontrol Edicinin Genel Tasarım Denklemleri

Öz

Herhangi bir gerçek zaman gecikmeli rasyonel transfer fonksiyonuna sahip sistemin kontrolü için kesirli mertebeden oransal-entegral-türevsel (PID) kontrol edicinin tasarımı için çok amaçlı tasarım denklemleri türetilmiştir. Sonuçlar literatürde mevcut birçok tasarım metodunu birleştirmektedir. Özellikle genel kararlılık sınırlarının çiziminde kullanılmakta, istenilen kazanç ve faz aralıklarının kazanç-kesim frekansında yatay bir faz karakteristiği ile birlikte tasarımını sağlamaktadır. Dolayısıyla dayanıklılık da garanti edilmektedir. Ayrıca, tatminkar çıkış bozulması karakteristiği ve yüksek frekans gürültü engellenmesi gerçekleştirilmesine imkan sağlamaktadır. Literatürde mevcut metodlarla ilişkileri göstermek için bir örnek ele alınmıştır, ki böylece elde edilen tasarım denklemlerinin faydası gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kontrol dizaynı, PID kontrol, Kararlılık, Kesirli mertebeden sistemler

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mehmet Emir KÖKSAL, mekoksal@omu.edu.tr

1. INTRODUCTION

Proportional–Integral–Derivative (PID) controllers are very commonly and successfully used in controlling many industrial plants suffered from load disturbance and high frequency noise interference. They are also efficient to realize robustly the required performance specifications in cases of nonlinearities and uncertainties in the plant components [1-3]. In parallel with the invention of the high-speed computers and numerical techniques, fractional order calculus and the fractional order controllers have gained importance in recent decades [4-7]. In particular, fractional order PID (FOPID) controllers, which are the generalization of the 3-parameter conventional PID controllers, are now widely used to meet the given design specifications including mainly the desired gain and phase margins [8]. With introducing the fractional integral order λ and the fractional derivative order μ in PID controllers, the obtained FOPID (or $PI^\lambda D^\mu$) controllers with 5-parameters will have more powerful and effective control on the integer order and fractional order plants with or without a constant delay.

Although some other integer order controllers (lead-lag compensator [9], CRONE [10], optimized-order [11], and many other controllers have been generalized to fractional orders, these are excluded in the content of this contribution.

Fractional order systems (FOSs) could model various real materials more adequately than integer order ones and thus provide an excellent modelling tool in describing many actual dynamical processes. It is intuitively true, as also argued in [3], that these fractional order models require the corresponding fractional order controllers to achieve excellent performance.

The most common technique to realize the FOPID controller is to replace, according to the Oustaloup and Matsuda methods [7,12], the fractional-order transfer function by an integer-order transfer function whose characteristics are close enough to the desired. This process is performed for

fractional order plants but not for the controllers in this presentation.

The special forms of $PI^\lambda D^\mu$ controllers such as PI^λ [8,9,13-15], PD^μ [16,17] controllers are used most of the time due to their design simplicities, though there are some derived alternatives $(PI)^\lambda$ [18], $(PD)^\mu$ [18], $PI^\lambda + P$ [19], and fractional lead-lag compensator (FLLC, [20]).

Although there are some genetic and evolutionary optimization algorithms [21], heuristic algorithms such as particle swarm [22, 23] and group hunting [24], designing fractional-order PID controllers in time domain [25-30] still has difficulties. Therefore, most studies are in the frequency domain using gain crossover frequency (ω_{gc}), gain margin (GM), phase crossover frequency (ω_{pc}), phase margin (PM) of the open-loop system [31].

Excluding many time domain specifications treated in the literature, unified controller parameter expressions are derived in this paper for the standard $PI^\lambda D^\mu$ controller structure to meet. Wang et al.'s frequency domain specifications (GM, PM, phase flatness PF) [32] in the stability region found by stability boundaries method [8, 15,33,34]. The results reduce to already existing ones present in the literature for some bench-mark examples.

The content follows in Section 2 by introducing the general FOPID control structure and the design requirements. The derivation of universal design equations and design method is presented in Section 3. An illustrative example and its simulation results are treated in Section 4. Finally, Section 5 includes conclusions.

2. $PI^\lambda D^\mu$ CONTROL STRUCTURE AND DESIGN SPECIFICATIONS

Denoting the plant and controller transfer functions by G_p and G_c , respectively, the block diagram of the control system is shown in Figure 1 where G_v is the transfer function of the virtual compensator

(it is also called gain-phase margin tester, GPMT [8,33]) inserted to achieve the desired GM and PM r, e, u, y represent reference, error, actuating, and output (controlled) signals, respectively. The additive output disturbance d at the beginning of the feedback path and the additive noise n at the input of the plant are not shown in the figure.

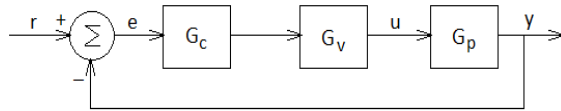


Figure 1. Block diagram of $PI^\lambda D^\mu$ control system structure

The transfer functions G_c, G_v, G_p are expressed as

$$G_c = K_p + \frac{K_i}{s^\lambda} + K_d s^\mu, \quad (1a)$$

$$G_v = A e^{-j\phi}, \quad (1b)$$

$$G_p = \frac{N_2(s^2) + sN_1(s^2)}{D_2(s^2) + sD_1(s^2)} e^{-s\theta}. \quad (1c)$$

G_c is obviously a $PI^\lambda D^\mu$ controller transfer function with proportional, integral, and derivative control coefficients $K_p, K_i, K_d,$ and $0, \lambda, \mu$ orders, respectively. In G_v, A represents the GM, and ϕ represents the PM specifications. G_p is assumed to be a rational function with numerator polynomial $N = N_2(s^2) + sN_1(s^2)$ where $N_2 (sN_1)$ represents its even (odd) part. $D = D_2(s^2) + sD_1(s^2)$ is defined similarly for the denominator polynomial. Finally, θ is the constant delay term in the plant transfer function.

It is straightforward to show that the control system output is expressed by (Equation 2) where the transfer functions G, S, T on the right side of the equality sign are due to reference input (r), output disturbance (d) and noise interference (n), respectively.

$$Y(s) = \frac{G_c G_v G_p}{1 + G_c G_v G_p} R(s) + \frac{1}{1 + G_c G_v G_p} D(s)$$

$$+ \frac{G_p}{1 + G_c G_v G_p} N(s) = G(s)R + S(s)D + T(s)N. \quad (2)$$

The aim of the $PI^\lambda D^\mu$ controller is to meet the following frequency domain specifications: GM [35], the Wang et al.[36]'s frequency domain specifications (PM, phase flatness PF) [18,36] (Equation 3a-3e).

- i) Phase cross over frequency ω_{pc} and Gain margin (GM) A :

$$\text{Arg}(G_c G_v G_p)|_{s=j\omega_{pc}} = -\pi, |G_c G_v G_p|_{s=j\omega_{pc}} = A \quad (3a)$$

- ii) Gain cross over frequency ω_{gc} and Phase margin (PM) ϕ :

$$|G_c G_v G_p|_{s=j\omega_{gc}} = 1, \text{Arg}(G_c G_v G_p)|_{s=j\omega_{gc}} = \phi - \pi \quad (3b)$$

- iii) Phase flatness (PF, iso-damping) ψ :

$$\frac{d\text{Arg}(G_c G_v G_p)|_{s=j\omega}}{d\omega} \Big|_{\omega=\omega_{gc}} = -\psi \quad (3c)$$

- iv) A good output disturbance rejection (ODR) B :

$$|S(j\omega) = \frac{1}{1 + G_c G_v G_p}| \leq B \text{ for all } \omega \leq \omega_s, |S(j\omega_s)| = B \quad (3d)$$

- v) High frequency noise rejection (HFNR) C :

$$|T(j\omega) = \frac{G_p}{1 + G_c G_v G_p}| \leq C \text{ for all } \omega \geq \omega_t, |T(j\omega)| = C \quad (3e)$$

Conditions i) and ii), that is, GM and PM have always served as important measures of robustness [35,37]. It is known that the phase margin is related to the damping of the system and therefore can also serve as a performance measure.

Condition iii) is related with the robustness to variations in the gain of the plant (see [38]); this condition forces the phase of the open-loop system to be flat (completely flat for $\psi=0$) at ω_{gc} and

hence to be almost constant within an interval around ω_{gc} . It means that the system is more robust to gain changes and the overshoot of the response is almost constant within a gain range (iso-damping property of the time response). In testing the 3rd, 4th, 5th conditions, the virtual gain of GPMT, that is G_v , should be taken to be identity since it is virtually inserted to satisfy the specified GM and PM requirements. The phase plot is horizontal at ω_{gc} for $\psi=0$, it gets away from -180° line by moving upward as ω increases for $\psi<0$ so the system is relatively more stable and robust, the approach to -180° becomes faster as ω increases for $\psi>>0$ so the system gets less robust.

3. DESIGN EQUATIONS AND DESIGN METHOD

The characteristic equation of the closed loop system obviously is $1+G_cG_vG_p=0$, or (Equation 4a and 4b)

$$1 + \frac{K_p s^\lambda + K_i + K_d s^{\lambda+\mu}}{s^\lambda} * A e^{-j\phi} \frac{N_2(s^2) + s N_1(s^2)}{D_2(s^2) + s D_1(s^2)} e^{-s\theta} = 0. \tag{4a}$$

Then, the characteristic polynomial becomes

$$s^\lambda [D_2(s^2) + s D_1(s^2)] + (K_p s^\lambda + K_i + K_d s^{\lambda+\mu}) * [N_2(s^2) + s N_1(s^2)] A e^{-s\theta - j\phi} = 0 \tag{4b}$$

Since the designed system should be stable for $A=1, \theta=0$, the roots of the characteristic equation must be in the stable region in the three-dimensional $K_p-K_i-K_d$ space. The borders of this region are defined by the stability boundaries. The stability boundaries are computed as in [8,15,33, 34] where stability regions are computed on two-dimensional K_p-K_i or K_i-K_d Cartesian plane; the stability boundaries are some curves or lines in this case. On the other hand, the stability boundaries in our three-dimensional case are surfaces separating the stable and unstable volumetric regions. For $A \geq 1, \theta \geq 0$, the boundaries separate the feasible stable regions with the desired $GM=20 \log A$ dB and $PM=\theta^\circ$.

The real, infinite, and imaginary (complex) root boundaries (RRB, IRB, CRB) are found by substituting $s = 0, \infty, j\omega$, in Equation 4a-4b; for $\lambda, \mu > 0, \deg D > \mu + \deg N$, the results are

$$\text{RRB: } K_i = 0 \tag{5a}$$

$$\text{IRB: It does not exist} \tag{5b}$$

$$\begin{aligned} & \omega^\lambda \left(\cos \frac{\pi}{2} \lambda + j \sin \frac{\pi}{2} \lambda \right) [D_2(-\omega^2) + j \omega D_1(-\omega^2)] \\ & * \left\{ K_p \omega^\lambda \left(\cos \frac{\pi}{2} \lambda + j \cos \frac{\pi}{2} \lambda \right) \right. \\ & \left. + K_i + K_d \omega^\mu \left(\cos \frac{\pi}{2} \mu + j \sin \frac{\pi}{2} \mu \right) \right\} \\ & * [N_2(-\omega^2) + j \omega N_1(-\omega^2)] \\ & * A [\cos(\omega\theta + \phi) - j \sin(\omega\theta + \phi)] = 0, \end{aligned} \tag{5c}$$

where deg stands for the degree.

Equating the real and imaginary parts of Equation 5c to zero and arranging the terms, we obtain CRB:

$$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_p \\ K_i \\ K_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\omega^\lambda D_2(-\omega^2) \cos \frac{\pi}{2} \lambda + \omega^{\lambda+1} D_1(-\omega^2) \sin \frac{\pi}{2} \lambda \\ -\omega^\lambda D_2(-\omega^2) \sin \frac{\pi}{2} \lambda - \omega^{\lambda+1} D_1(-\omega^2) \cos \frac{\pi}{2} \lambda \end{bmatrix} \tag{6}$$

where

$$\begin{aligned} C_{11} &= \omega^\lambda A \left[N_2 \cos \left(\frac{\pi}{2} \lambda - \omega\theta - \phi \right) - \omega N_1 \sin \left(\frac{\pi}{2} \lambda - \omega\theta - \phi \right) \right], \\ C_{21} &= \omega^\lambda A \left[N_2 \sin \left(\frac{\pi}{2} \lambda - \omega\theta - \phi \right) + \omega N_1 \cos \left(\frac{\pi}{2} \lambda - \omega\theta - \phi \right) \right], \\ C_{12} &= A [N_2 \cos(\omega\theta + \phi) + \omega N_1 \sin(\omega\theta + \phi)], \\ C_{22} &= A [-N_2 \sin(\omega\theta + \phi) + \omega N_1 \cos(\omega\theta + \phi)], \\ C_{13} &= \omega^{\lambda+\mu} A \begin{bmatrix} N_2 \cos \left\{ \frac{\pi}{2} (\lambda + \mu) - \omega\theta - \phi \right\} - \omega N_1 \\ \sin \left\{ \frac{\pi}{2} (\lambda + \mu) - \omega\theta - \phi \right\} \end{bmatrix}, \\ C_{23} &= \omega^{\lambda+\mu} A \begin{bmatrix} N_2 \sin \left\{ \frac{\pi}{2} (\lambda + \mu) - \omega\theta - \phi \right\} + \omega N_1 \\ \cos \left\{ \frac{\pi}{2} (\lambda + \mu) - \omega\theta - \phi \right\} \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

For a fixed set of design parameters λ, μ and design specifications A, ϕ , Equation 6 describes the parametric representation of the boundary for the stable permissible region (feasible volume, FV) of the design parameters K_p, K_i, K_d . And the specified PF, ODR, HFNR limitations can be chosen properly in this region.

For the desired phase flatness, gain cross over frequency ω_{gc} is computed first by using Equation 3b; the result is the solution of Equation 7a for ω .

$$\begin{aligned} &\omega^{2\lambda}K_p^2+K_i^2+\omega^{2\lambda+2\mu}K_d^2+2\omega^\lambda K_p K_i \cos \frac{\pi}{2} \lambda \\ &+2\omega^{2\lambda+\mu}K_p K_d \cos \frac{\pi}{2} \mu+2\omega^{\lambda+\mu}K_i K_d \cos \frac{\pi}{2} (\lambda+\mu) \\ &= \frac{\omega^{2\lambda}(D_2^2+\omega^2 D_1^2)}{A^2(N_2^2+\omega^2 N_1^2)}, \end{aligned} \tag{7a}$$

With the value of $\omega = \omega_{gc}$ found by this equation, Equation 3c yields

$$\begin{aligned} &\lambda \omega^{\lambda-1} K_p K_i \sin \frac{\pi}{2} \lambda + \mu \omega^{2\lambda+\mu-1} K_p K_d \sin \frac{\pi}{2} \mu + \\ &+ (\lambda + \mu) \omega^{\lambda+\mu-1} K_i K_d \sin \frac{\pi}{2} (\lambda + \mu) \\ &= \frac{\omega^{2\lambda}(D_2^2 + \omega^2 D_1^2)}{QA^2(N_2^2 + \omega^2 N_1^2)} \end{aligned} \tag{7b}$$

where all ω values are taken as ω_{gc} in this equation and in the following defining Q:

$$\begin{aligned} \frac{1}{Q} &= \theta - \psi + \frac{D_1 D_2 + 2\omega^2 (D_1 \dot{D}_2 - \dot{D}_1 D_2)}{D_2^2 + \omega^2 D_1^2} \\ &- \frac{N_1 N_2 + 2\omega^2 (N_1 \dot{N}_2 - \dot{N}_1 N_2)}{N_2^2 + \omega^2 N_1^2}. \end{aligned} \tag{7c}$$

Note that $\dot{N}_1 = dN_1(x)/dx|_{x=\omega^2}$, and similar formulas are valid for the remaining dotted variables. Equation 7b defines a surface in K_p - K_i - K_d coordinate system for a given set of values GM (A), PM (ϕ), PF (ψ) and with the value of $\omega = \omega_{gc}$ found from Equation 7a. So, K_p, K_i, K_d must

be chosen on the part remaining in the feasible region defined by Equation 6 of this surface.

Output disturbance rejection specification in Equation 3d yields

$$\frac{\omega^\lambda \sqrt{D_2^2 + \omega^2 D_1^2}}{f} \leq B, \tag{8a}$$

where

$$\begin{aligned} f^2(K_p, K_i, K_d, \omega) &= A^2(N_2^2 + \omega^2 N_1^2) \\ &* \left[(\omega^{2\lambda} K_p^2 + K_i^2 + \omega^{2\lambda+2\mu} K_d^2) + 2\omega^\lambda K_p K_i \cos \frac{\pi}{2} \lambda + \right. \\ &2\omega^{2\lambda+\mu} K_p K_d \cos \frac{\pi}{2} \mu + 2\omega^{\lambda+\mu} K_i K_d \cos \frac{\pi}{2} (\lambda + \mu) \left. \right] \\ &+ A(N_2 D_2 + \omega^2 N_1 D_1) \\ &* \left[2\omega^{2\lambda} K_p \cos(\omega\theta + \phi) + 2\omega^\lambda K_i \cos \left(\frac{\pi}{2} \lambda + \omega\theta + \phi \right) \right. \\ &+ 2\omega^{2\lambda+\mu} K_d \cos \left(\frac{\pi}{2} \mu - \omega\theta - \phi \right) \left. \right] \\ &+ \omega^{2\lambda} (D_2^2 + \omega^2 D_1^2) \end{aligned} \tag{8b}$$

for all values of $\omega \leq \omega_s$; where the value of ω_s is found from Equation 8a by using equality sign instead of the inequality sign appearing in this equation. For $\omega = \omega_s$ Equation 8b with the equality sign defines a surface which defines the boundary of the feasible volume for satisfying the required disturbance rejection specification (remember to replace A by 1 and ϕ by 0).

In a similar manner as the derivation of Equation 8b, high frequency noise rejection (HFNR) in Equation 3e yields

$$\frac{\omega^\lambda \sqrt{N_2^2 + \omega^2 N_1^2}}{f} \leq C \tag{9}$$

for all values of $\omega \geq \omega_t$, where the value of ω_t is found from Equation 9 by using equality sign instead of the inequality sign appearing in this equation. For $\omega = \omega_t$, Equation 9 with the equality sign defines a surface which defines the boundary of the feasible volume for satisfying the required HFNR specification.

Renote that when using Equations 7-9 A must be chosen to be 1 since it is a virtual gain.

4. EXAMPLE

Although all-purpose design formulas are derived for designing a general $PI^\lambda D^\mu$ controller, a PI^λ controller is designed to show the use of these formulas.

The FOMCON Toolbox developed by A. Tepljakov, et al. is managed for the simulations of this example [39,40].

The example is similar to one in [8]. $G_c = K_p + K_i/s^\lambda$ so that $K_d=0, \mu=0$; $G_p = Ke^{-s\theta}/(Ts^2+s)$, hence, $N_2=K, N_1=0, D_2=Ts^2, D_1=1$. Design requirements are given as $GM=6.02$ dB, $PM=30^\circ$, $PF=-0.1$ s, $ODR=-6.06$ dB, $HFNR=13.98$ dB which correspond to $A=2, \phi=\pi/3, \psi=-0.1, B=0.5, C=5$.

The feasible stability region is plotted in Figure 2. The phase flatness requirement is shown by the dotted graph. Choosing a point on this curve and approximately in the middle of the feasible region sets $K_p \cong 0.03, K_i \cong 0.03$.

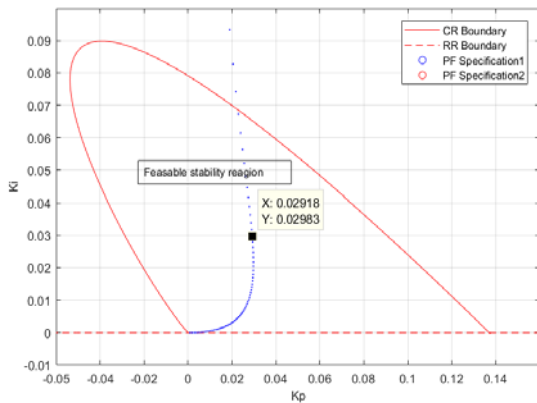


Figure 2. The stability region for the given example

The Bode plot with these values is shown in Figure 3 where the GM and PM appear to satisfy the design requirements: GM is increased from 1.1349 dB to $GM=17.2545$ dB > 6.02 dB and, PM

is increased from 6.7837° to $PM = 77.2545^\circ > 30^\circ$. Therefore, the controlled system's relative stability is much better than that of the system itself.

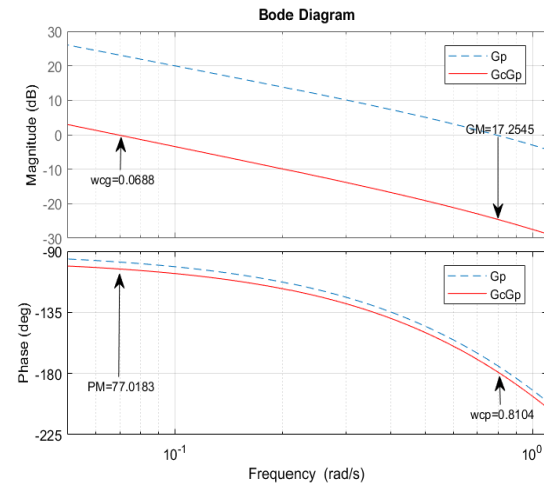


Figure 3. Bode plot of the open loop system

Time domain characteristics of the controlled system and the original plant are shown in Figure 4 as the step response. It is seen that the designed FOPI controller makes the unstable system (its step response is shown as $G_p * 0.3$ in the figure) stable by a rise time (FOPI+ G_p) quite smaller than P controlled response ($(P+G_p)$).

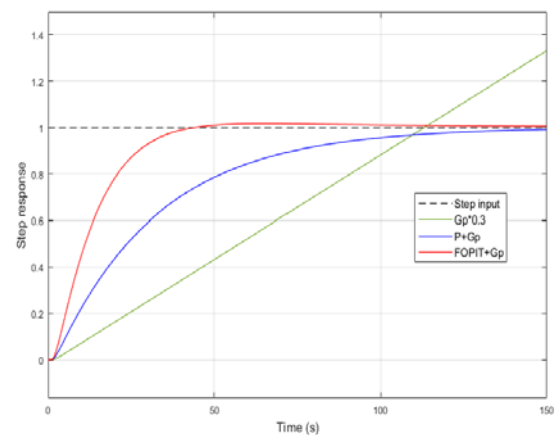


Figure 4. Step response characteristics

Output disturbance and noise rejections are also plotted in Figure 5. It is seen that the results are satisfactory when compared with the given design

specifications. In fact, Output disturbance rejection is smaller than $B=0.5$ for all $\omega \leq \omega_s=0.06$, and the noise rejection is smaller than $C=5$ for all $\omega > \omega_t=0.131$.

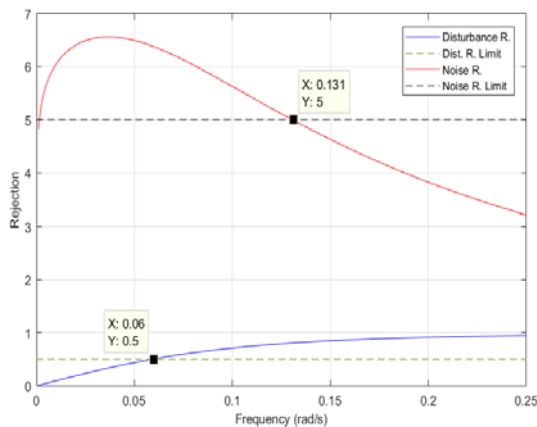


Figure 5. Output disturbance rejection and noise rejection

5. CONCLUSIONS

Some universal formulas are derived and interpreted for designing FOPID controllers for SISO integer order plants with a time delay. Three-dimensional stability boundary method is defined for designing a general $PI^\lambda D^\mu$ controller. The subspace of $K_p-K_i-K_d=R^3$ guaranteeing stability of the closed loop system together with the specified GM and PM is called the feasible region or volume; and the other requirements such as PF is defined as a 3- dimensional surface. So, the choice of design parameters on this surface remaining on its part in the feasible volume gives a satisfactory design. The success depends also one's skills of drawing 3-D graphics by using MATLAB. Some more 3-D bench-mark problems should be worked on to prove the efficiency of the proposed method as the future work.

6. REFERENCES

1. Astrom, K. J., Hagglund, T., 1995. PID Controllers: Theory, Design, and Tuning.
2. Ang, K. H., Chong, G., Li, Y., 2013. PID Control System Analysis, Design, and Technology, IEEE Trans. Control Syst. Technol. 13, 559–576.
3. Yamamoto, T., Takao, K., Yamada, T., 2009. Design of a Data-driven PID Controller, IEEE Trans. Control Syst. Technol. 17, 29-39.
4. Erenturk, K., 2013. Fractional-order $PI^\lambda D^\mu$ and Active Disturbance Rejection Control of Nonlinear Two-mass Drive System, IEEE Trans. Ind. Electron. 60, 3806-3813.
5. Yeroglu, C., Tan, N., 2011. Note on Fractional-order Proportional-Integral-Differential Controller Design, IET Control Theory Appl., 5, 1978-1989.
6. Monje, C.A., Vinagre, B.M., Feliuc, V., Chen, Y.Q., 2008. Tuning and Auto-tuning of Fractional Order Controllers for Industry Applications, Control Eng. Pract., 16, 798-812.
7. Chunna, Z., Xue, D., Chen, Y. Q., 2005. A Fractional Order PID Tuning Algorithm for a Class of Fractional Order Plants, IEEE Proc. of the Intern. Conf. Mechatronics & Automation, 216-221.
8. Cokmez, E., Atic, S., Peker, F., Kaya, I., 2018. Fractional-order PI Controller Design for Integrating Processes Based on Gain and Phase Margin Specifications, IFAC PapersOnLine, 51, 751-756.
9. Pullaguram, D., Mishra, S., Senroy, N., Mukherjee, M., 2018. Design and Tuning of Robust Fractional Order Controller for Autonomous Microgrid Vsc System, IEEE Transactions on Industry Applications, 54, 91-101.
10. Oustaloup, A., Cois, O., Lanusse, P., Melchior, P., Moreau, X., Sabatier, J., 2006. The Crone Approach: Theoretical Developments and Major Applications, IFAC Proc., 39, 324-354.
11. Vinagre, B.M., Feliu, V., 2007. Optimal Fractional Controllers for Rational Order Systems, IEEE Trans. Autom. Control 52, 2385-2389.
12. Krishna, B.T., 2011. Studies on Fractional Order Differentiators and Integrators: a Survey, Signal Processing, 91, 386-426.
13. John, D.A., Biswas, K., 2018. Analysis of Disturbance Rejection by PI^λ Controller Using Solid State Fractional Capacitor, IEEE Proc. of the International Symposiums of Circuits and Systems, 1-5.

14. Khurram, A., Rehman, H., Mukhopadhyay, S., 2018. Comparative Analysis of Integer-order and Fractional-order Proportional Integral Speed Controllers for Induction Motor Drive Systems, *Journal of Power Electronics*, 18, 723-735.
15. Dogruer, T., Tan, N., 2018. Design of PI Controller Using Optimization Method in Fractional Order Control Systems, *IFAC PapersOnLine*, 51, 841-846.
16. Raynaud, H.F., Zergainoh, A., 2000. State-space Representation for Fractional Order Controllers, *Automatica*, 36, 1017-1021.
17. Zagorowska, M., 2018. Analysis of Performance Indicators for Optimization of Noninteger-order Controllers, *Journal of Circuits, Systems and Computers*, 27.
18. Sathishkumar, P., 2018. Fractional Controller Tuning Expressions for a Universal Plant Structure, *IEEE Control Systems Letters*, 2, 345-350.
19. Ranjbaran, K., Tabatabaei, M., 2018. Tuning PI and Fractional Order PI Controllers With an Additional Fractional Order Pole, *Chemical Engineering Communications*, 205, 207-225.
20. Xue, D., Chen, Y.Q., 2002. A Comparative Introduction of four Fractional Order Controllers, *Proc. of the 4th World Congress on Intelligent Control and Automation*, 3228-3235.
21. Kumar, L., Narang, D., 2018. Tuning of Fractional Order $PI^{\lambda}D^{\mu}$ Controllers Using Evolutionary Optimization for Pid Tuned Synchronous Generator Excitation System, *IFAC-PapersOnLine*, 51, 859-864.
22. Dabiri, A., Moghaddam, B.P., Machado, J.A.T., 2018. Optimal Variable-order Fractional PID Controllers for Dynamical Systems, *Journal of Comp. Appl. Math* 339, 40-48.
23. Cao, J., Cao, B., 2006. Design of Fractional Order Controller Based on Particle Swarm Optimization, *IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, 1-6.
24. Ranjan, J., Nayak, B.S., 2018. Application of Group Hunting Search Optimized Cascade Pd-fractional Order PID Controller in Interconnected Thermal Power System, *Trends in Renewable Energy*, 4, 22-33.
25. Lu, K., Zhou, W., Zeng, G., Du, W., 2018. Design of PID Controller Based on a Self-adaptive State-space Predictive Functional Control Using Extremal Optimization Method, *Journal of the Franklin Institute*, 355, 2197-2220.
26. Shukla, M. K., Sharma, B. B., 2018. Control and Synchronization of a Class of Uncertain Fractional Order Chaotic Systems Via Adaptive Backstepping Control, *Asian Journal of Control*, 20, 707-720.
27. Ibraheem, L.K., Abdul-Adheem, W.R., 2016. On the Improved Nonlinear Tracking Differentiator Based Nonlinear Pid Controller Design, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 7, 234-241.
28. Li, L., 2018. Lebesgue-P NORM Convergence of Fractional-Order PID-Type Iterative Learning Control for Linear Systems, *Asian Journal of Control*, 20, 483-494.
29. Moradi, L., Mohammadi, F., Baleanu, D., 2018. A Hybrid Functions Numerical Scheme for Fractional Optimal Control Problems: Application to Nonanalytic Dynamic Systems, *Journal of Vibration and Control*, 22, 1-15.
30. Sharma, K.D., Sarkar, G., 2018. Stable Adaptive NSOF Domain FOPID Controller for a Class of Non-linear Systems, *IET Control Theory & Applications*.
31. De Keyser, R., Muresan, C.I., Ionescu, C.M., 2015. A Novel Auto-tuning Method for Fractional Order PI/PD Controllers, *ISA Transactions*, 62, 268-275.
32. Golnaraghi, F., Kuo, B.C., 2010. *Automatic Control Systems*, Wiley John Wiley & Sons, Inc.
33. Hamamci, S.E., 2007. An Algorithm for Stabilization of Fractional-Order Time Delay Systems Using Fractional-Order PID Controllers, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 52, 1964-1969.
34. Tan, N., Kaya, I., Yeroglu, C., Atherton, D.P., 2006. Computation of Stabilizing PI and PID Controllers Using the Stability Boundary Locus, *Energy Conversion and Management*, 47, 3045-3058.
35. Monje, A., Blas, M., Vinagre, V., Chen, Y.Q., 2008. Tuning and Auto-tuning of Fractional Order Controllers for Industry Applications, *Control Engineering Practice*, 16, 798-812.

36. Wang, C.Y., Luo, Y., Chen, Y.Q., 2009. Tuning Fractional Order Proportional Integral Controllers for Fractional Order Systems, Chinese Control and Decision Conference, 329-334.
37. Franklin, G., Powell, J., Naeini, A., 2006. Feedback Control Of Dynamic Systems, Addison-Wesley.
38. Chen, Y.Q., Moore, K.L., 2005. Relay Feedback Tuning of Robust PID Controllers With Iso-damping Property, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 35, 23–31.
39. Tepljakov, A., Petlenkov, E., Belikov, J., 2014. Closed-loop Identification of Fractional-order Models Using FOMCON Toolbox for MATLAB, Proc. of the 14th Biennial Baltic Electronics Conference, 213-216.
40. Tepljakov, A., 2012. FONCON: Fractional-order Modeling and Control.

Development of a Preliminary Blasting Design and Assessment of Environmental Impacts for a Quarry

Mehmet AKSOY*¹, Hakan AK¹, Adnan KONUK¹

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

Geliş tarihi: 02.04.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Abstract

The most commonly used excavation method in the mining, quarry and construction sectors is the drilling and blasting method. This method has many advantages as well as disadvantages in terms of environmental impacts. The most important adverse environmental effects caused by blasting can be said as vibration, air shock and dust emission. In order to minimize these environmental impacts, a proper blasting design plays an active role by taking the principles of controlled blasting into account. In this study, an appropriate pre-blasting design was performed to meet the production capacity increase in a quarry, and the environmental impacts of this design on the settlements and olive groves, which were determined as a critical structure near the quarry, were estimated. The risk of damage to critical structures is found to be low with assessment of the estimated peak particle velocity (PPV) values for the amount of charge per delay in the proposed blasting design model due to the fact that these values are well below the permissible threshold damage limits in the regulation. According to air shock and dust emission value analysis, the estimated values were found to be below the limit values given in the related regulations. As a result, it was determined that the proposed design model for the quarry is a suitable model in terms of its environmental impacts, but the design should be tested with the test shots in the field.

Keywords: Drilling and blasting, Blasting design, Ground vibration, Dust emission, Air shock

Bir Taş Ocağı için Ön Patlatma Tasarımı Geliştirilmesi ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi

Öz

Maden, taş ocağı ve inşaat sektörlerinde en yaygın olarak kullanılan kazı yöntemi delme-patlatma yöntemidir. Bu yöntemin birçok avantajı olduğu kadar çevresel etkileri açısından dezavantajları da olduğu bilinmektedir. Patlatmadan kaynaklanan olumsuz çevresel etkilerin en önemlileri titreşim, hava şoku ve toz emisyonu olarak sıralanabilir. Bu çevresel etkileri en aza indirmede, kontrollü patlatma ilkeleri gözetilerek uygun bir patlatma tasarımı yapılması etkin rol oynamaktadır. Bu çalışmada, bir taş ocağında üretim kapasitesi artışını karşılayacak uygun bir ön patlatma tasarımı yapılmış ve yapılan ön tasarımın

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mehmet AKSOY, maksoy@ogu.edu.tr

ocağın yakınında kritik yapı olarak belirlenen yerleşim yerlerine ve zeytinliklere olan çevresel etkileri tahmin edilmiştir. Önerilen patlatma tasarım modelindeki gecikme başına düşen şarj miktarı için tahmin edilen en yüksek parçacık hızı (PPV) değerlerinin, yönetmelikte izin verilen eşik hasar sınır değerlerinin oldukça altında olması nedeniyle, kritik yapılar üzerindeki hasar riskinin en az olacağı öngörülmüştür. Hava şoku ve toz emisyonu değerleri için yapılan analizlerde, tahmin edilen değerlerin ilgili yönetmenliklerde verilen sınır değerlerin altında kaldığı görülmüştür. Sonuç olarak, taş ocağı için önerilen tasarım modelinin, çevresel etkileri açısından uygun bir model olduğu, ancak tasarımın sahada yapılacak deneme atımlarıyla test edilmesi gerektiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Delme patlatma, Patlatma tasarımı, Yer sarsıntısı, Toz emisyonu, Hava şoku

1. INTRODUCTION

Drilling and blasting is widely used in mining, quarrying, construction sectors and other infrastructure works requiring excavation. Due to the increasing industrialization in the world and in our country, the need for raw material increases rapidly. Depending on this increasing demand, these activities where excavation with blasting is inevitable are approaching settlements.

One of the most important inputs of production costs in a quarry is the drilling and blasting costs. In addition, drilling and blasting directly affect the costs of post-excavation activities. For this reason, blasting designs should be done carefully in order to achieve the desired level of blasting results [1]. There are a number of parameters that have an impact on the safe and economical blasting design (Hoek and Bray [2], Atlas Powder [3], Tamrock [4], Bilgin [5], Olofsson [6], Konya and Walter [7], Singh [8]). In the literature, various researchers have proposed experimental approaches to design blasting according to operating conditions. The most widely used approaches can be listed as Langefors and Kihlstrom [9], Olofsson [6], Atlas Powder [3], Konya and Walter [7], Jimeno [10]. However, the powder factor and the appropriate burden, which are the most important parameters of a blasting design with these approaches, are difficult to determine precisely beforehand. Therefore, the blasting design developed prior to application in the field is considered as preliminary blasting design, and it is suggested that this preliminary design is tested by trial and error blasts in the field.

According to the results of the test blasts carried out, if necessary, the preliminary design is updated and the final design is obtained for the site.

Widely used drilling and blasting methods can cause environmental problems such as ground vibration, dust emission and air blast. People, livestock and structures in settlements close to excavation sites can be adversely affected by these environmental impacts of blasting. This situation may cause various disagreements and problems between the people of the region and the firm. Therefore, one of the most important results expected from a good blasting practice is that the shots should be safe and sensitive to environment. With the design to be made; minimizing the environmental impacts caused by blasting should be targeted. It is important to implement controlled blasting techniques to achieve this goal [11].

The aim of this study is to design an appropriate pre-blasting pattern to meet the production capacity increase in a quarry near the Cihatlı Village of Gemlik District of Bursa Province and also to estimate and assess the environmental impacts that will be caused by applying the developed pre-blasting design on the settlements and olive groves.

2. TEST SITE AND GEOLOGY

Test site is a quarry which is producing rock fill material in various sizes. The quarry's license limits on the plan view taken from Google Earth and the overview of the quarry are shown in Figure 1.



Figure 1. Satellite view and overview of the quarry

In the field study; it has been determined that there are settlements and olive groves at closer distances compared to the settlements, where they are at the risk of possible environmental impacts of blasting operations. In the Environmental Impact Assessment (EIA) report prepared for this quarry, the current production capacity is 72000 tons per year and it is planned to increase the capacity to 390000 tons per year.

The regional geological setting of Gemlik and adjacent areas is given in the study of Avşar [12] as “Geological structure in the environs of Gemlik is represented by basement rocks around the Quaternary deposits on which Gemlik settlement is located. The basement rocks in the area are composed of Triassic metabasic lava, metaspillite, radiolarite, chert with calc-schist and marble lenses; Early-Middle Jurassic micritic limestone; Middle Jurassic to Early Cretaceous meta-sandstone, metapelite, phyllite, slate, metashale, quartz-sericite schist, clayey schist, calc-schist and marble; Early Cretaceous recrystallized limestone; Early-Middle Eocene sandstone-siltstone and shale alternation with volcanic intercalations; and Quaternary alluvium, talus and beach sand

deposits”. The geological map of the region is shown in Figure 2 [12].

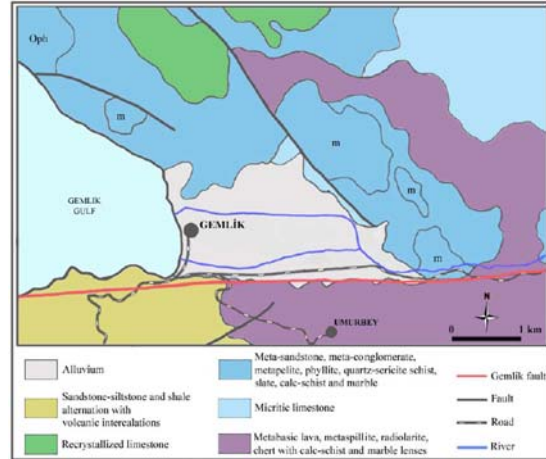


Figure 2. The geological map of the region [12]

In order to get an idea about the strength of the rock formation in the quarry, the Schmidt hammer test was carried out at three different points. As a result of the experiments, it was found that the uniaxial compressive strength of the limestone formation from Schmidt hammer test data is found to be between 40 and 75 MPa. Therefore, it is concluded that the excavation with blasting in this field is inevitable.

3. PRE-BLASTING DESIGN MODEL

The application of the principles of Controlled Bench Blasting is proposed to be used in the design in order to ensure the use of the energy released from the explosion of explosive material to break down rock material effectively by minimizing the energy forming the seismic wave and other environmental effects.

In design, ANFO was selected as the main explosive. However, in the case of water in the blasting holes, it is also proposed to use a primer-sensitive emulsion-type explosive. As a primer cartridge, a suitable dynamite with a length of twice the diameter was chosen. Each hole was intended to detonate separately with the usage of nonelectric detonators with millisecond delay as

initiating system, resulting in keeping the charge per delay at minimum level.

Two-row staggered pattern with sufficient delay between the rows will be used. The design conditions of the blasting pattern are given in Table 1. According to the conditions given in Table 1, the preliminary blasting design model parameters calculated using Olofsson [6] approach are given in Table 2.

Table 1. The design conditions of the blasting pattern

Parameter	Unit	Value
Bench Height (K)	m	12
Blasthole Diameter (D)	mm	89
Charge Concentration	kg/m	5.29
Main Explosive		ANFO
Hole Inclination	°	79
Correc. for Hole Inc. (R1)		0.98
Rock constant (C)		0.4
Correc. for Rock cons.		1

According to the pre-blasting design, the amount of explosive used per delay in each shot was determined as 57 kg. The planned production capacity is 390000 tons annually after the capacity increase. In the calculations; the density of limestone was taken as 2.6 ton/m³ and the assumption of the fact that the quarry will be operated in 10 months of a year and 24 days of a month is made. The amount of rock to be exploded in shot which is planned as one shot per week is found to be 9750 tons or 3750 m³.

Table 2. Preliminary blasting design model parameters

Parameter	Unit	Value
Maximum Burden (Bmax)	m	3.1
Subdrilling (U)	m	0.9
Hole depth (H)	m	13.2
Error in Drilling (E)	m	0.5
Practical Burden (B)	m	2.6
Practical Spacing (S)	m	3.2
Specific Drilling (b)	m/m ³	0.13
Height of Stemming (ho)	m	2.6
Height of Charge (h)	m	10.6
Primer (Dynamite)	kg	1
Charge Weight per Hole (Q)	kg	57
Specific Charge (q)	kg/m ³	0.57

In order to achieve the planned production quantity, the number of blasting holes required to be drilled is found to be 42 holes per shot. The representative plan and section views of the proposed pre design model for the site are shown in Figure 3.

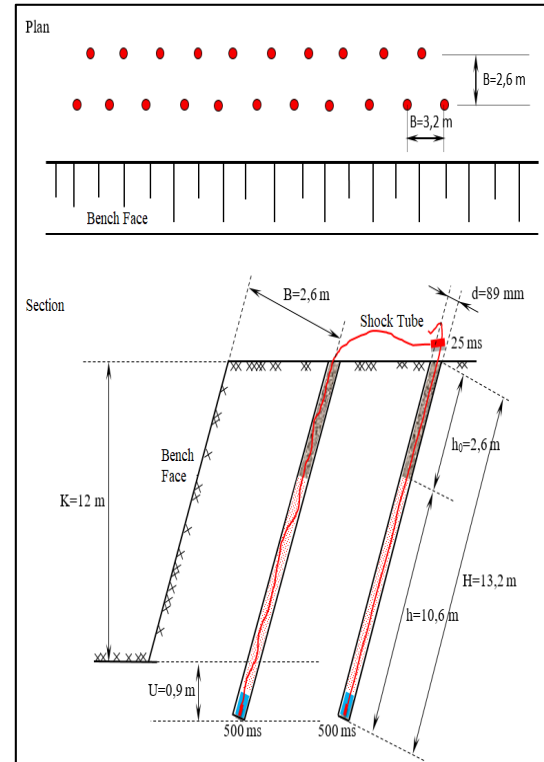


Figure 3. The representative plan and section views of the proposed pre design model

4. ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL IMPACTS AND RESULTS

During the field study carried out in the quarry, it was determined that there were two settlements in the immediate vicinity and olive groves in the west and southwest directions. These settlements and olive groves were determined as critical structures in terms of the environmental impact of blasting. The distances of these critical structures to the center of the operation permit area are measured on the map and are given in Table 3.

Table 3. The distances of critical structures to the quarry

Name	Distance (m)
Şahinyurdu 1	2050
Şahinyurdu 2	1980
Cihatlı 1	1350
Cihatlı 2	1250
Olive grove (W)	550
Olive grove (SW)	350

The effects of environmental impacts such as vibration, dust emission and air shock on the critical structures that could be induced by the proposed preliminary design model is investigated using the approaches accepted in the literature.

4.1. Ground Vibration

One of the important environmental impacts of blasting is the negative effects of ground vibrations on structures. The most commonly used concept in the estimation of blast-induced vibrations is the concept of Scaled-Distance (SD), which is generally defined by considering the distance from the blasting point and the amount of charge per delay. After determining the SD for each shot, univariate regression analysis is performed by using particle velocity values and SD values to find the parameters of an estimation equation [13]. Although various estimation equations are proposed by different researchers, the most common form of estimation equation is the given in Equation 1.

$$PPV = K \cdot SD^{-\beta} \quad (1)$$

PPV: peak particle velocity, m/s

K, β : field constants

SD: scaled distance (R/\sqrt{W}), m/kg^{1/2}

R: distance to blasting point, m

W: maximum charge per delay, kg

As a result of the analysis, field constants of vibration attenuation equation specific to this site are determined. After determining the field constants, the peak particle velocity (PPV) values that may occur at different distance and different charge (explosive) amounts for the field can be

estimated with the help of this equation. However, in the quarry where this research is carried out, there is no excavation due to various reasons. Therefore, vibration attenuation equation constants of this quarry could not be determined by this measurement method.

In the literature, it is recommended to use the field constants given in Table 4 in order to be used in the estimation of ground vibration of the sites where field constants are unknown due to various reasons [14].

Table 4. Field constants

	K	β
Lower bound	172	-1.6
Average	1140	-1.6
Upper bound	1725	-1.6
Common Bound	4316	-1.6

The field constants given as the upper bound in Table 4 are selected to predict PPVs in this study. This selection has been made because PPV values calculated with the upper bound constants are higher than the PPV values calculated with average and lower bound constants. Thus, a more conservative and safe prediction is provided. Using these field constants, PPV values were estimated for the site, using the distances given in Table 3 and the amount of charge per delay of 57 kg recommended in the blasting design model Table 5.

Table 5. Predicted PPV values

Name	Distance (R), m	PPV, mm/s
Şahinyurdu 1	2050	0.22
Şahinyurdu 2	1980	0.23
Cihatlı 1	1350	0.43
Cihatlı 2	1250	0.49
Olive grove (W)	550	1.81
Olive grove (SW)	350	3.72

These estimated PPV values are well below the permissible limit (5 mm/s) at the lowest frequency in Turkish regulation. Therefore; It is foreseen that blasting to be done in accordance with the proposed blasting design model will not have any negative effects on vibration and present any risk

of damage on settlements and olive groves surrounding the quarry. Furthermore, in the case of blasting getting close to settlements or growth of settlements, PPV values for different distances and different maximum charges per delay (calculated for different hole diameters) are estimated by using these field constants Table 6.

Table 6. PPV values for different distances and different maximum charges per delay

(D) (mm)	(W) (kg)	PPV, mm/s					
		Distance (R, m)					
		350	550	1250	1350	1980	2050
76	43	2.97	1.44	0.39	0.34	0.19	0.18
89	57	3.72	1.81	0.49	0.43	0.23	0.22
102	72	4.49	2.18	0.59	0.52	0.28	0.27
110	83	5.03	2.44	0.66	0.58	0.31	0.30
115	89	5.32	2.58	0.69	0.61	0.33	0.31
127	106	6.12	2.97	0.80	0.71	0.38	0.36

As it can be seen from Table 6, nearly all predicted PPV values are found to be below the allowed limit value except the values calculated for blastholes of 110 mm and higher in diameter at the distance of 350 m.

4.2. Dust Emission

Another significant environmental impact of blasting is the dust emission. According to the proposed pre-blasting design, 9750 tons of limestone are planned to be excavated at each shot. According to the Turkish Regulation on the Control of Industrial Air Pollution, it is projected that the dust emission mass flow rate will be 0.08 kg/ton in uncontrolled blasting and zero in controlled blasting (water application before blasting). In the case of uncontrolled blasting, the amount of dust emitted in each blast is calculated as 780 kg/blast by using Equation 2.

$$\text{Dust emission amount} = A_p \cdot 0.08 \quad (2)$$

A_p : Excavation amount planned in each blast, ton

80% of the dust resulted from blasting produces particles larger than 10 microns and precipitates and the rest is carried with the wind. In this case,

the amount of dust (PM10) less than 10 microns carried after blasting is 156 kg / blast.

According to meteorological observations of Gemlik Cihatlı Village, when the weather conditions and wind direction were taken into consideration, wind speed and the maximum height at which the dust emerged during blasting was accepted as 3.7 m/s and 40 m, respectively. Dust dispersion was calculated with the following Equation 3 using the box model [15].

$$P_k = M_k / u \cdot R \cdot H \quad (3)$$

P_k : Mass balance concentration, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

M_k : Mass input rate, $\mu\text{g}/\text{s}$

U : Wind speed, m/s

R : Distance, m

H : Height, m

Mass balance concentrations and 24-hour dust concentrations were calculated and given in Table 7 for the blasting.

Table 7. Mass balance concentrations and 24-hour dust concentrations

Name	Distance (m)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10/24 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Şahinyurdu 1	2050	143	6
Şahinyurdu 2	1980	148	6
Cihatlı 1	1350	217	9
Cihatlı 2	1250	234	10
Olive grove (W)	550	532	22
Olive grove (SW)	350	837	35

Air Quality Limit Values in the plant impact area given in the annex of the regulation on the Control of Industrial Air Pollution for Airborne Particulate Matter (PM10) is $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for 2018 and $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for 2019 and after, not allowing to exceed these values more than 35 times a year within a 24-hour period.

It is determined that the emission value of PM10 dust particles, which will be released as a result of blasting and being airborne, will be below $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ even for the nearest olive grove in case of uncontrolled blasting.

4.3. Air Blast

Another important environmental impact of blasting is the propagation of air shock induced by blasting as noise. Generalized Equation 4 is used in the estimation of overpressure (air blast) resulting from blasting [16].

$$SPL=20 \cdot \log \left[K \cdot \left(\frac{R}{W^{1/3}} \right)^{-\beta} / P_r \right] \quad (4)$$

SPL : Air blast, dB

P_r : Reference value of overpressure, 2.10⁻⁵ Pa

R: Distance, m

W: Max. charge per delay, kg

K, β: Field constants

R/(W)^{1/3} : Scaled distance, m/kg^{1/3}

The same field constants used in the prediction of ground vibrations are selected to predict the air blast values, and calculated air blast values for critical structures are given in Table 8.

Table 8. Calculated air blast values

Name	Distance, m	Air blast, dB
Şahinyurdu 1	2050	71.45
Şahinyurdu 2	1980	71.93
Cihathı 1	1350	77.26
Cihathı 2	1250	78.32

These values of air blast are found to be well below the limit (100 dB) stated in the related regulation.

5. CONCLUSIONS

In this study, a preliminary blasting design model is developed in order to meet the planned production capacity increase in a quarry and the environmental effects of this model in the field are investigated. Based on the data obtained during field observations, a preliminary blasting design model was proposed for use in blasting excavation activities.

The preliminary design models are generally tested on the field with test shots and then blasting results are carefully reviewed and designs are modified if

necessary. However, the proposed blasting design model could not be implemented in the field due to the expiration of blasting license period of the company. Therefore, the proposed model in this study could not be tested with test shots at the site.

The environmental impacts of this proposed blasting design in terms of vibration, air shock and dust emission have also been investigated. In the ground vibration assessment, PPV values for critical structures is predicted by using the upper limit field constants recommended for the areas where the vibration characteristic is unknown. It is found that the damage risk of vibrations to be induced by blasting to settlements and olive groves will be well below the permissible threshold damage limit values in the regulation. However, it should be kept in mind that real PPV values may occur lower or higher than estimates.

In the dust emission assessment, mass balance concentrations and 24-hour dust concentrations are estimated under the uncontrolled blasting conditions. In the estimations made, it can be seen that the predicted emission values of PM10 dust particles to be released as a result of blasting will be below permissible limit given in the related regulation. Therefore, if the proposed blasting model is used in the field as it is, dust emissions will not probably damage the human health, olive groves and agricultural areas.

In the air blast assessment, air blast values for critical structures are estimated. In terms of air blast to occur if the proposed model to be used in the quarry, it can be said that the air shock to be caused by the blasting will not exceed the limit values stated in the related regulation. For this reason, it can be concluded that the damage risk of air blast to critical structures will be very low.

As a result, it should be kept in mind that the proposed bench blasting design model for the blasting to be performed at the site is a preliminary design model. Therefore, in the light of the data to be obtained by carefully observing the shots in the field and monitoring with vibration monitors, it is suggested to review this design model and to make necessary corrections and modifications by taking

rock behaviors and environmental effects into account.

6. REFERENCES

1. Kılıç, A.M., 2015 Investigation of Blasting Parameters of Gaziantep-Şehit Kamil-Karpuzkaya Area Limestone Quarry and Determination of Post-Blast Particle Size Distribution, Çukurova University Journal of Faculty of Engineering and Architecture, 30(2), 217-216 (in Turkish).
2. Hoek, E., Bray, J.W., 1981. Rock Slope Engineering: Third Edition, the Institution of Mining and Metallurgy, Stephen Austin and Sons, 358, London.
3. Atlas Powder Co., 1987, Explosives and Rock Blasting, Atlas Powder Co., Dallas, 662s.
4. Tamrock, 1999. Rock Excavation Handbook, Sandvik Tamrock Corp.
5. Bilgin, H.A., 1986. Blasting Design and Problems in Open Pit Mines, METU Mining Engineering Department Seminar Notes 2, Ankara (in Turkish).
6. Olofsson, S., 1990, Applied Explosives Technology for Construction and Mining, Second Edition, Applex, Sweden.
7. Konya, J.A., Walter, E.J., 1990. Surface Blast Design, Prentice Hall, 292, New Jersey.
8. Singh, S.P., 1993. Prediction and Determination of Explosive Induced Damage, Rock Fragmentation by Blasting, Balkema, Rotterdam.
9. Langefors U., Kihlstrom B., 1978, The Modern Technique of Rock Blasting, Halsted Press a Division of John Wiley & Sons Inc., Third Edition, 438, New York.
10. Jimeno, C.L., Jimeno, E.L., Carcedo F.J.A., 1995. Drilling and Blasting of Rocks, A. A. Balkema, Rotterdam, Netherlands.
11. Aksoy, M., Kahriman, A., Özer, Ü., Karadoğan, A., Özdemir, K., 2007. The Analysis of Ground Vibrations Induced by Blasting at Çan Open Pit Mine, 5th Drilling and Blasting Symposium, Ankara, Turkey, 205-212.
12. Avşar, U., 2006. Evaluation of Alluvial Deposits in Gemlik Basin in Terms of Earthquake Codes. MSc Thesis, Middle East Technical University, 25-26, Ankara.
13. Hüdaverdi, T., 2015, Prediction of Blast Induced Ground Vibration Using Various Regression Models, Çukurova University Journal of Faculty of Engineering and Architecture 30(1), 141-150 (in Turkish).
14. Blasters Handbook, 2000, International Society of Explosives Engineers, 17th Edition, 600-602.
15. Berry, P., Pistocchi, A., 2003. A Multicriterial Geographical Approach for the Environmental Impact Assessment of Open-Pit Quarries, International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 17(4), 213-226.
16. Khandelwal, M., Singh, N., 2005. Prediction of Blast Induced Air Overpressure in Opencast Mine, Noise and Vibration Worldwide, 36(2), 7-16.

Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme İşleminde Ölçme Belirsizliği Hesapları ve Belirsizlik Bütçesi Tablosu

Anıl AKDOĞAN*¹, Ali Serdar VANLI¹

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Geliş tarihi: 20.03.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Öz

Günümüzde ölçüm sonuçlarına olan güven, ölçüm sonuçları ancak uluslararası izlenebilir olduğu sürece vardır. Uluslararası standartlar ölçüm belirsizliklerini ilgili kalite ihtiyaçlarının temel gereklilikleri olarak değerlendirmekte ve doğrulayabilmektedir. Bu çalışmada, alın frezeleme yöntemi ile elde edilmiş mamulün yüzey pürüzlülüğü ölçümü sırasında ilgili standartlara bağlı olarak ölçme belirsizliği hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Ölçme işlemine etkiyen en önemli hata faktörleri ile belirsizlik bütçesi tablosu oluşturulmuştur. Böylece, ölçme işlemine etki eden ve hataya sebep olan faktörlerin etkisini en az seviyeye indirmek mümkün olmakta ve ölçme işleminin doğruluğunun yüksek olduğu kanıtlanmaktadır. Bu uygulama için, hesaplanan birleşik ölçme belirsizliğinin müşteri beklentilerini karşıladığını görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ölçme belirsizliği, Birleşik standart belirsizlik, Yüzey pürüzlülüğü ölçme, Belirsizlik bütçesi tablosu

Measurement Uncertainty Calculations in Surface Roughness Measurement and Uncertainty Budget Table

Abstract

Today, confidence in measurements is valid only as long as they are internationally traceable. International standards evaluate and verify the measurement uncertainties as the essential requirements of the relevant quality requirements. In this study, measurement uncertainty calculation was done according to the related standards for surface roughness measurement of the product obtained by end milling. The uncertainty budget table was created with the effects of the most important error factors in measurement process. Thus, it is possible to minimize the effects of errors on measurement and reach high measurement accuracy. For this application, it was seen that the calculated combined measurement uncertainty meets the customer expectations.

Keywords: Measurement uncertainty, Combined standardized uncertainty, Surface roughness measurements, Uncertainty budget table

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Anıl AKDOĞAN, nomak@yildiz.edu.tr

1. GİRİŞ

Metroloji bilimi birçok üretim teknolojileri için hayatidir. Çünkü imalat teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak ulaşılabilen hassasiyet dereceleri ancak hassas ölçme yöntemleri ile doğrulanabilmektedir. Günümüzde ölçme teknikleri, imalat alanında ihtiyaç duyulan boyutsal ve geometrik ölçümlerin yanı sıra, sektördeki teknik test ve kalite kontrol uygulamalarına odaklanmaktadır. Ayrıca, ilgili standartlar ve birimler sistemlerinin kullanılması ile metrolojik uygulamalar amaçlanan ideal hedeflerine ulaşabilmektedir. Uluslararası standartlar ayrıca ölçüm cihazlarının kalibrasyonunu ve ölçüm belirsizliklerini ilgili kalite ihtiyaçlarının temel gereklilikleri olarak değerlendirmektedir.

Endüstriyel bir cihaz tarafından yapılan bir ölçümün dünya çapında tanınması bu ölçümün ancak bir ölçüm referans zinciri ile en yüksek hassasiyetli temel ölçüm standardına bağlanmasıyla mümkün olabilmektedir. Bunu yaparak, yapılan tüm ölçümlerin ulusal ve/veya uluslararası kabul görmesi sağlanır. Kalibrasyon ve doğrulama işlemleri ülkemizde de artık büyük önem kazanmıştır. İlgili standartta kalibrasyon, belirli koşullar altında bir ölçüm cihazı veya ölçüm sistemi tarafından elde edilen değerler ile ölçümün bunlara karşılık gelen değerleri arasında bir bağlantı kurma işlemi olarak tanımlanır. Kalibrasyon ile daha az hassas bir ölçüm cihazının veya standardın ölçümü, doğruluğu kabul edilmiş bir başka standart kullanılarak gerçekleştirilir [1]. Ulusal metroloji enstitüleri, sisteme referans zinciri ile bağlı olarak en üst düzeyde çalışmaktadır. Bu kurumlar, ölçümlerin hiyerarşik bir yapıda uluslararası olarak tanınmasını sağlamak için merkezi Paris'te bulunan Uluslararası Ölçü ve Ağırlıklar Merkezi (BIPM) ile de doğrudan bağlantılıdır.

Standartlar ölçüm referansı olarak kabul edilir. Metroloji ile ilgili temel standartlar, sonucun bozulmamış bir kalibrasyon zinciri aracılığıyla yapılan bir referansla ilişkili olabileceği bir ölçüm olarak tanımlanan izlenebilirliğin temelidir. Şekil 1 bu anlamda, atelye ortamında gerçekleştirilen herhangi bir ölçme işleminin uluslararası referans

zinciri ile izlenebilir olması için gerekli hiyerarşik oluşumu vermektedir.



Şekil 1. Kalibrasyon hiyerarşisi

Bu çalışmada talaşlı imalat proseslerinden alın frezeleme yöntemi ile elde edilmiş mamulün yüzey pürüzlülüğü ölçümü sırasında ilgili standarda bağlı olarak belirsizlik hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, belirlenmiş parametrelerle işlenen tek bir numunenin üzerinde, ölçme güvenilirliğini arttırmak amacıyla gerçekleştirilen tekrarlamalı ölçme işlemlerinin, ölçme belirsizliği değeri hesaplanmıştır. Amacımız, ölçme işlemine etki eden ve hataya sebep olan tüm faktörlerin etkisinin en az seviyeye indirmek ve ölçme işleminin yüksek güvenilirlikte olduğunun kanıtlanmasıdır.

2. ÖLÇME BELİRSİZLİĞİ

Uluslararası standartlara sahip birimler sistemi, BIPM tarafından hazırlanan Uluslararası Metroloji Terimleri Sözlüğü (VIM: Vocabulary of International Metrology), ISO tarafından hazırlanan Uluslararası Ölçme Belirsizliği Rehberi (GUM: Guide to the expression of uncertainty in measurement) standartları, ölçüm sonuçlarının güvenilirliğini arttırmaya yardımcı olmaktadır [2]. Bir ölçümün belirsizliği, ölçümün gerçek değerini de içeren değerler aralığını karakterize eden bir tahmindir. Ölçme belirsizliği tüm ölçüm alanları için önemli bir konudur. Çünkü tüm ölçüm işlemleri hata barındırır. Bir ölçümün hatası bilinmemektedir, çünkü kişi ölçülen miktarın gerçek değerini bilmeden hatayı bilemez. GUM, ölçümdeki belirsizliği değerlendirmek ve ifade etmek için genel kuralları tanımlar. Ölçüm belirsizliği genellikle birçok bileşeni içerir. Bu

bileşenlerin bazıları, seri ölçüm sonuçlarının istatistiksel dağılımına dayanarak tahmin edilebilir ve deneysel değerler ile karakterize edilebilir niteliktedir. Diğer bileşenlerin tahminleri yalnızca temel bilgilere veya deneyimlere dayanmaktadır. Bir ölçümün ölçülenin gerçek değerine en yakın sonuç olduğu, ancak ölçüm belirsizliğinin, ilgili uluslararası standartlara göre değerlendirilmesi ve raporlanmasıyla sağlanır. Geometrik Mamül Özellikleri (GPS: Geometrical Product Specifications) standartları dâhilindeki ISO Bu amaçla 14253-2:2011 “İş parçalarının ve ölçüm cihazlarının muayenesi, Bölüm 2: GPS ölçümündeki, ölçüm cihazlarının kalibrasyonu ve ürün doğrulamasında belirsizliğin tahmini için rehber” standardı kullanıcıların temel kaynağıdır. Ölçme hataları standartta 4 farklı hata tipiyle tanımlanmaktadır. Tüm hatalar doğalarında sistematik olarak oluşmaktadır. Hata sebebi gerekli değilse veya çözünürlük seviyesi yeterli değilse sistematik olmayan hata olarak kabul edilmektedirler. İlki, sistematik hatalar (+ veya -) boyut ve işaretlerle tanımlanır. İkincisi, rastlantısal ve sistematik hatalar, kontrol altında tutulamayan rastgele niceliklerin etkilerindedir. Rastlantısal hatalar, standart sapmalar ve dağılım eğrileri ile tanımlanmaktadır. Üçüncüsü, sürüklenme hataları, kontrol edilemeyen niceliklerin sistematik etkilerinden kaynaklanmaktadır. Genelde bir zaman etkisi ya da aşınma etkisi söz konusudur. Sürüklenme ünitenin zamanla yenilenmesi veya kullanım miktarı değişimiyle karakterize edilebilmektedir [3]. Dördüncüsü, çizgi dışı hatalar ise, ölçme işlemindeki tekrarlanmayan olaylardan ortaya çıkmaktadır. Bunlar için temel sebep yanlış okuma, yazma veya ekipman kullanımı vb. insan kaynaklı hata etkenleridir. Standartta göre, Tip-A belirsizlik bileşenleri tekrarlanan ölçümlerden elde edilen veriye gereksinim duymaktadırlar. Dağılımın standart sapması veya gerçek değer (Eşitlik 1).

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} \quad (1)$$

Ölçme işlemi standart sapması az sayıda tekrarlı ölçümlerle belirlenmeye çalışıldığı takdirde ya yanlış bir değeri ifade eder ya da çok küçük bir

değer bulunur. Bu sebeple bir güvenlik kat sayısı ile çarpılmalıdır.

Yine ilgili standarda göre, Tip-B belirsizlik değerlendirmesinde, standart sapma değerinin istatistiksel olmayan yöntemlerle sıklıkla önceki deneyimlerle sınırlandırılması veya kabaca tahmin edilmesi yöntemleri kullanılır. Deneyimle operatör hata limit değerlerinin değişme miktarı için önceki limit değerlerini anımsamakta veya fizik kurallarını kullanarak ve/veya mantık yürüterek bu değeri belirleyebilmektedir [3].

Literatürde her türlü ölçme işleminde ölçme belirsizliğinin hesaplandığı sayısız çalışma mevcuttur. Bunlardan içerisinde talaşlı imalat gören yüzeylerden özellikle R_a parametresinin de ölçme belirsizliğinin analiz edildiği çok yeni çalışmalarda göze çarpmaktadır [4,5,6].

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada talaşlı imalat proseslerinden alın frezeleme yöntemi ile elde edilmiş mamulün yüzey pürüzlülüğü ölçümü sırasında ilgili standarda bağlı olarak belirsizlik hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Frezelenen paslanmaz çelik malzeme AISI H13 takım çeliğidir. Frezeleme operasyonu işlem parametreleri Çizelge 1’de verilmektedir. Takım AlTiN kaplamalı ve 1.0 mm uç radiusuna sahiptir.

Çizelge 1. Frezeleme işlem parametreleri

Parametre Adı	Birim	Değeri
Kesme Hızı	m/dk	60
Kesme Derinliği	mm	0,70
İlerleme	mm/diş	0,1

3.2. Metod

Yüzey pürüzlülük ölçme işlemleri için seçilen metot temaslı tip muayenedir. TIME marka, 0.001 µm hassasiyetli, değme iğne uçlu yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı ile yüzey pürüzlülük parametresi R_a (Aritmetik Ortalama Yüzey Pürüzlülük Değeri) ölçümleri ilgili standartlar çerçevesinde gerçekleştirilmiştir [7,8]. Aritmetik

ortalama yüzey pürüzlülük parametresi R_a değeri aynı teknikle ve aynı şartlar altında tekrarlamalı olarak 10 kez ölçülmüştür. Ölçme işlemleri standardize sıcaklık ve bağıl nem koşullarına sahip bir ölçme odasında gerçekleştirilmiştir [9]. Ölçüm yapılan yüzeyin ve ölçme cihazı görüntüleri Şekil 2’de verilmektedir.



Şekil 2. Ölçümü yapılan yüzey ve ölçme cihazı

4. BELİRSİZLİK HESAPLARI

Bu çalışma ile ISO GUM rehberi referans alınarak ölçme belirsizliği hesabı gerçekleştirilmiş işleme etkileyen en önemli görülen hata faktörlerinin etki değerleri hesaplanmış ve Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Hesaplamaya katılan hata faktörleri

Hata Faktörü Adı	Değeri
Cihazın başlangıç hatası	0,02 µm
Kalibrasyon belirsizliği	0,03 µm
Ölçme kuvveti belirsizliği	0,005 µm
Sistem gürültüsü belirsizliği	0,005 µm
Tekrarlanabilirlik / Çözünürlük	0,01 µm

Aritmetik ortalama yüzey pürüzlülük parametresi R_a değerinin tekrarlamalı ölçüm sonuçlarının standart sapma değeri 0,0042 µm olarak hesaplanmıştır.

4.1. Belirsizlik Hesapları

Bu bölümde ölçme işlemleri belirsizlik hesapları verilmektedir.

4.1.1. Cihazın Başlangıç Hatası

Cihazın başlangıç hatası olarak cihazın referansın nominal değerinden yaptığı max. sapma, 0,02 µm, değeri alınmıştır (Normal Dağılım için $b=0,5$) (Eşitlik 2).

$$U_{ML}=0,02 \times b=0,01 \mu\text{m} \quad (2)$$

4.1.2. Kalibrasyon Belirsizliği

Cihazın kalibrasyonunda referans elemanının sertifikasından alınan bu değer 0,03 µm’dir (Eşitlik 3).

$$U_{MC}=0,03 \times b=0,015 \mu\text{m} \quad (3)$$

4.1.3. Ölçme Kuvveti Belirsizliği

Proben yüzeye uyguladığı kuvvetten doğan belirsizlik cihaz imalatçısından alınan değere göre 5 nm’dir (Eşitlik 4).

$$U_{MF}=0,005 \times 0,5=0,0025 \mu\text{m} \quad (4)$$

4.1.4. Sistem Gürültüsü Belirsizliği

Cihazın yarattığı elektriksel gürültünün ölçüm sonucuna etkisi 5 nm olarak alınmıştır (Normal Dağılım için $b=0,5$) (Eşitlik 5).

$$U_{MN}=0,005 \times 0,5=0,0025 \mu\text{m} \quad (5)$$

4.1.5. Tekrarlanabilirlik/Çözünürlük

Standartta göre tekrarlanabilirlik ve çözünürlük değerlerinden etkisi daha büyük olan belirsizlik hesabına dahil edilir. Çözünürlük değerinin belirsizlik değerine etkisi hesaplanırken cihazın en küçük ondalık değeri (d) olan 0,001 µm değeri kullanılır (Eşitlik 6).

$$U_{RR}=\frac{d}{2\sqrt{3}}=0,00028 \mu\text{m} \quad (6)$$

Tekrarlanabilirlik değerinin belirsizliğe etkisi, tekrarlamalı ölçüm sonuçlarının standart sapma değeri olan 0,0042 µm’dir. Bu durumda belirsizlik

hesabında tekrarlanabilirlik değerinin etkisi kullanılacaktır.

İlaveten, işlemler esnasında 0,3 °C'den az olan oda sıcaklığındaki değişim miktarı belirsizlik hesaplamalarında ihmal edilmiştir. Aynı şekilde bağıl nem değeri de toleranslar dahilinde tutulduğundan ihmal edilmiştir. Bu çalışmada işlemi en fazla etkileyen değerlere sahip olan 5 farklı etki faktörü belirsizlik bütçesi hesabına dahil edilmiştir. Birleşik standart belirsizlik değeri (U_C) için Eşitlik 7 kullanılarak yapılan hesaplama sonucunda 0,01884 μm değeri elde edilmiştir.

$$U_C = \sqrt{U_{ML}^2 + U_{MC}^2 + U_{MF}^2 + U_{MN}^2 + U_{RR}^2} \quad (7)$$

Güvenlik faktörü $k=2$ alınarak Eşitlik 8'e göre hesaplanan genişletilmiş belirsizlik değeri (U) 0,03768 μm bulunmuştur.

$$U = kxU_C \quad (8)$$

4.2. Belirsizlik Bütçesi Tablosu

Elde edilen hesaplamalara göre hazırlanan belirsizlik bütçesi tablosu Çizelge 3'de verilmektedir.

Çizelge 3. Belirsizlik bütçesi tablosu

Bileşen Adı	Değerlendirme Tipi	Dağılım Tipi	Sınır değer etkisi	Dağılım faktörü (b)	Belirsizlik bileşeni
Başlangıç Hatası	B	Normal	0,02	0,5	0,01
Kalibrasyon Belirsizliği	B	Normal	0,03	0,5	0,015
Ölçme Kuvveti	B	Normal	0,005	0,5	0,0025
Sistem Gürültüsü	B	Normal	0,005	0,5	0,0025
Tekrarlanabilirlik (n=10)	A	Normal			0,0042
Birleşik standart belirsizlik (U_C) (μm)					0,01884
Genişletilmiş belirsizlik ($k=2$) (μm)					0,03768

5. SONUÇLAR

Bu çalışma ile ISO GUM rehberi referans alınarak ölçme belirsizliği hesabı gerçekleştirilmiş işleme

etkiyen en önemli görülen hata faktörlerinin etkisi ile belirsizlik bütçesi tablosu oluşturulmuştur. Böylece ölçme işlemine etki eden ve hataya sebep olan tüm faktörlerin etkisinin en az seviyeye indirmek mümkün olmakta ve ölçme işleminin doğruluğunun yüksek olduğu kanıtlanmaktadır. Bu uygulama için ölçme belirsizliği hakkındaki müşteri beklentisi 0,04 μm olduğundan ölçme belirsizliğimizin müşteri beklentilerini karşıladığını yani sonuçlarımızın doğruluğunun talepleri sağlayacak şekilde yüksek olduğunu söyleyebiliriz. Ölçme sonuçlarımız ilgili standartların gereklerini karşıladığından güvenilirdir.

Bu çalışma aynı zamanda birleşik standart belirsizlik değeri hesaplamak ve belirsizlik bütçesi tablosu oluşturmak isteyen araştırmacı ve uygulayıcılar için incelemeye değerlidir. Bu çalışma aynı zamanda, metroloji ve kalite yönetimi alanlarında, endüstride gerçekleştirilen ölçme işlemlerinin güvenilirliğinin artırılması ve uluslararası kabul görmesi açısından izlenmesi gereken standardize yolları bir rehber niteliğinde açıkladığından önemlidir. Ölçme belirsizlik değeri müşteri talepleri doğrultusunda gerçekleşmeyen hiçbir ölçme işlemi kabul edilebilir değildir. Belirsizlik tahminleri müşterinin talepleri ve mevcut metrolojik unsurların kapasiteleri doğrultusunda ancak metrolojik hizmeti sunanla müşterisi tarafından birlikte tahmin edildiğinde gerçekçi değerlere ulaşabilmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. ISO 10012, 2003. Measurement Management Systems-Requirements for Measurement Processes and Measuring Equipment.
2. JCGM 200: 2008 International Vocabulary of Metrology-Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM).
3. ISO 14253-2, 2011. Geometrical Product Specifications (GPS)- Inspection by Measurement of Workpieces and Measuring Equipment Part 2: Guidance for the Estimation of Uncertainty in GPS Measurement, in Calibration of Measuring Equipment and in Product Verification.

4. Song, J., Renegar, T.B., Soons, J., Muralikrishnan, B., Villarrubia, J., Zheng, A., Vorburger, T.V., 2014. The Effect of Tip Size on the Measured Ra of Surface Roughness Specimens with Rectangular Profiles, *Precision Engineering*, 38(1), 217-220.
5. Leo Kumar, S.P., 2018. Experimental Investigations and Empirical Modeling for Optimization of Surface Roughness and Machining Time Parameters in Micro end Milling Using Genetic Algorithm, *Measurement*, 124, 386-394.
6. Leo Kumar, S.P., 2019. Measurement and Uncertainty Analysis of Surface Roughness and Material Removal Rate in Micro Turning Operation and Process Parameters Optimization, *Measurement*, 140, 538-547.
7. ISO 25178-601, 2010. Geometrical Product Specifications (GPS)-Surface Texture: Areal-Part 601: Nominal Characteristics of Contact (Stylus) Instruments.
8. ISO 25178-602, 2010. Geometrical Product Specifications (GPS)-Surface Texture: Areal-Part 602: Nominal Characteristics of Non-Contact (Confocal Chromatic Probe) Instruments.
9. ISO 1, 2016. Geometrical Product Specifications (GPS)-Standard Reference Temperature for the Specification of Geometrical and Dimensional Properties.

Farklı Yöntemler ile Üretilen MgO Takviyeli Alüminyum Kompozitlerde Mekanik Davranışların Karşılaştırılması

Muharrem PUL*¹

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

Geliş tarihi: 29.04.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Öz

Bu deneysel çalışmada vakumlu infiltrasyon, karıştırmalı döküm ve toz metalurjisi teknikleriyle üretilmiş olan MgO parçacık takviyeli alüminyum kompozitlerin mekanik davranışları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla daha önce üç farklı yöntemle üretilmiş olan; %5, %10 ve %15 MgO takviyeli alüminyum kompozitlerin ilk olarak porozite (gözenek) miktarları ölçülmüştür. Daha sonra sırasıyla sertlik ölçümleri, çapraz kırılma ve abrasif aşınma deneyleri yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre; kompozit yapı içerisindeki MgO takviye oranının artmasıyla porozite ve aşınma kayıpları artış göstermiştir. Ayrıca MgO takviye oranının artmasıyla sertlik değerleri artarken kırılma dayanımları azalmıştır. Üç farklı yöntemle üretilen kompozitler içerisinde en düşük mekanik performans toz metalurjisi tekniği ile üretilen kompozitlerde gözlenmiştir. Genel olarak en yüksek mekanik değerler karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilen kompozitlerden elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit, Alüminyum, MgO, Porozite, Mekanik özellik

Comparison of Mechanical Behavior of MgO Reinforced Aluminum Composites Produced by Different Methods

Abstract

In this experimental study, the mechanical behaviours of MgO particle reinforced aluminium composites produced by vacuum infiltration, blended casting and powder metallurgy techniques were compared. For this purpose, previously produced by three different methods; Porosity (porosity) amounts of 5%, 10% and 15% MgO reinforced aluminium composites were measured first. Then, respectively, hardness measurements, transverse rupture and abrasive wear tests were performed. According to the obtained test results; porosity and wear losses increased with increasing MgO reinforcement ratio in the composite structure. Furthermore, with the increase of MgO supplementation, hardness values increased and fracture strengths decreased. Among the composites produced with three different methods, the lowest mechanical performance was observed in the composites produced by powder metallurgy technique. Generally, the highest mechanical values were obtained from the composites produced by the stir casting method.

Keywords: Composite, Aluminium, MgO, Porosity, Mechanical property

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Muharrem PUL, mpul@kku.edu.tr

1. GİRİŞ

Endüstri alanındaki gelişmelerin büyük hızla devam ettiği çağımızda bütün üretim sektörlerinin temel elemanı kullandıkları malzemelerdir. Son yıllarda geleneksel malzemelere alternatif olan kompozitler üstün özellikleri sayesinde çok geniş kullanım sahası bulmaktadır. Metal matrisli ve parçacık takviyeli kompozitler de bunlardan bir çeşidi temsil etmektedir. Özellikle alüminyum gibi hafif metaller ve seramik esaslı takviye elemanları ile güçlendirilmiş kompozitler otomotiv savunma ulaştırma havacılık gibi pek çok endüstri dalında yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu tür kompozitler genellikle katı faz ve sıvı faz üretim yöntemleri ile üretilmekte olup; basınçlı, basınçsız ve vakumlu infiltrasyon, karıştırmalı döküm, basınçlı döküm, toz metalurjisi yöntemleri başlıca üretim çeşitlerini oluşturmaktadır. Bu alandaki gelişmeler ve yapılan bilimsel araştırmalar her geçen gün artmaktadır. Yukarıda bahsi geçen kompozit üretim yöntemleri uygulanarak yapılan çalışmalara ait literatür özetleri aşağıda verilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Pul yapmış olduğu çalışmada, alüminyum matris içerisine %5, %10, %15 oranlarında MgO takviye ederek vakumlu infiltrasyon yöntemi ile kompozitler üretmiştir. Kompozitlerin mikro yapılarını, mekanik özelliklerini ve işlenebilirlik davranışlarını incelemiştir. Kompozit yapı içerisindeki MgO takviye oranının artması homojeniteyi olumlu etkilerken, poroziteyi arttırmıştır. Yüksek takviye oranları kırılma dayanımı ve işlebilme kabiliyeti üzerinde olumsuz etki yapmıştır. Genel olarak en optimum sonuçlar %10 takviyeli kompozitten elde edilmiştir [1]. Aydın yaptığı çalışmada, alüminyum esaslı kompozitleri, %55 MgO takviye oranında ve sıvı alaşım içerisine ayrıca %5 Mg ekleyerek vakumlu infiltrasyon ile üretmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, hacimce %50-%55 MgO ilavesinin, alüminyum kompozitlerin üretiminde uygun olduğunu göstermiştir. %50-55 MgO takviye oranında, 700 °C-800 °C sıvı matris sıcaklık aralığında ve 300 mmHg-500 mmHg arasındaki vakum değerinde ve 3 dakikalık

infiltrasyon süresinin uygun olduğu rapor edilmiştir [2]. Acılar ve arkadaşları çalışmalarında, vakumlu infiltrasyon yöntemi ile üretilen Al-SiCp katkılı kompozitlerin kompakt karışımına Mg tozunun, sıvı metale Mg ilavesinin ve SiC oksidasyonunun tesirini incelemiştir. Kompozitlerde sertlik, yoğunluk, gözeneklilik ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Kompakta Mg tozu, sıvı metale Mg ilavesinin ve SiC oksidasyonunun infiltrasyonu olumlu etkilediğini, infiltrasyon mesafesini, kompozit yapının sertliğini ve yoğunluğunu arttırdığını ayrıca, poroziteninde azaldığını belirtmişlerdir [3]. Montoya ve arkadaşları çalışmalarında, basınçsız infiltrasyonla üretilen Al/SiC kompozit numunelerin parçacık boyutu dağılımının yüzey sertliğine etkisinin yanı sıra, silisyum karbür (SiCp) parçacıklarının kırılma tokluğunu araştırmışlardır. Sonuçta, tanecik boyutlu dağılımların doğrusal olarak yüzeyde sertlik gösterdiğini, mikro sertliklerin ve kırılma tokluğunun ise parabolik olarak değişen yoğunlukta olduğu ifade edilmiştir. Kompozit yüzeyindeki sertlik davranışına, matris malzemesinin sertliği ve SiC parçacıklarının birbirine çarpmasının neden olduğu belirtilmiştir [4]. Demir ve Altınok yaptıkları çalışmada, Al esaslı Al₂O₃/SiC parçacık takviyeli kompozitleri basınçlı infiltrasyon ile üretmişlerdir. Deneyler sonucunda, infiltrasyon sıcaklığının önemli bir parametre olduğunu ifade ederek, yükselen infiltrasyon sıcaklıklarında kompozit yapının yoğunluğunun ve kopma dayanımlarının arttığını tespit etmişlerdir. %13 takviye oranında, 800 °C sıvı metal sıcaklığında ve 3 MPa infiltrasyon basıncında 558 MPa kopma dayanımı elde edilmiştir [5]. Hashim ve arkadaşları çalışmalarında, A359 alüminyum matrisli SiC parçacık takviyeli kompozitleri karıştırmalı döküm yöntemiyle üretmiştir. A359 matris alaşımının SiC parçacıklarını ıslatmasında sıvı matris içerisine ilave edilen magnezyumun etkilerini araştırmıştır. Sonuçta, magnezyum alaşımını ıslatmada etkin rol oynadığını ve karıştırma işleminin, sıvı metalin döküm işlemine kadar aralıksız devam etmesinin gerekli olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, dökülen kompozit malzemenin soğuma hızının azaltılmasının ıslatmayı olumlu etkilediğini, SiC parçacık miktarının artmasının ise ıslatmayı olumsuz etkilediğini ifade etmişlerdir. [6]. Sur ve

arkadaşları yaptıkları çalışmada, 2014 alüminyum alaşımı matrisli ve 29, 45 ve 110 µm tanecik boyutlarında SiC takviyeli kompozitleri karıştırmalı döküm yöntemiyle elde etmişlerdir. Kompozitlerin üretim sürecinde artan tanecik boyutu ve azalan takviye elemanı ağırlık oranının karıştırmalı döküm üretim işlemini kolaylaştırdığını belirtmişlerdir. Azalan tanecik boyutu ve artan takviye ağırlık oranı ile kompozit yapının sertlik değeri artış göstermiştir. Fakat aynı durumda, gözenekliliğin ve takviye topraklanmasının arttığı ve homojen dağılımın azaldığı belirtilmiştir [7]. Davidson ve Regener çalışmalarında, toz metalurjisi yöntemi ile metal matrisli kompozitler üretmiştir. Matris malzemesi olarak, 45 µm tanecik boyutunda 6061 kalite alüminyum alaşımı ve takviye elemanı olarak ta bakır kaplamalı ve kaplamasız, 7–23 µm parçacık boyutunda SiC kullanmışlardır. Bakır kaplı ve kaplamasız SiCp takviyenin kompozitin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisini mukayese etmişlerdir. Parçacık boyutu 23 µmSiCp takviyeli kompozitlerde bakır kaplı SiCp takviyeli kompozitlerin daha iyi performans gösterdiğini, 7 µm boyutlarındaki kaplamasız SiCp takviyeli kompozitte ise çekme dayanımının daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir [8]. Günay yaptığı çalışmada, toz metalurjisi ile metal matrisli kompozitler üretmiştir. Matris malzemesi olarak ortalama 63 µm boyutlarında Alumix 231 (Al-Si alaşımı) tozu, takviye elemanı olarakta ortalama 20,1 µm tane boyutunda SiC parçacıkları kullanmıştır. Ağırlıkça %5, %10, %15 SiC takviye oranlarında üretilen kompozit numunelerin mikroyapı ve bazı mekanik özellikleri araştırılmıştır. Mikroyapı incelemelerinde parçacık dağılımının tüm numunelerde homojen olduğu ancak bir miktar gözenekliliğin olduğu ifade edilmiştir. En yüksek sertlik değeri %15 SiC takviyeli numunede elde edilmiştir. En yüksek çapraz kırılma dayanımı takviyesiz Alumix 231 alaşımından üretilen numunede ölçülürken, en düşük çapraz kırılma dayanımı %15 SiC takviyeli numuneden elde edilmiştir [9]. Yukarıda verilen çalışmaların dışında pek çok farklı araştırma yapılmış ve sonuçları akademik ortamda paylaşılmıştır [10-16].

Ancak yapılan literatür araştırmalarında metal matrisli parçacık takviyeli kompozitlerin üretim yöntemlerinin kıyaslandığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Makaleye konu olan bu çalışmada ise; daha önce üretilmiş ve her biri ayrı araştırma konusu olan üç farklı kompozit üretim yöntemi, aynı matris ve takviye malzemesi kullanılarak ve aynı deney parametreleri ile bazı mekanik özellikler yönünden mukayese edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu deneysel çalışmada kullanılan kompozit üretme yöntemlerinin hepsinde aynı özellikte matris malzemesi AA 1050 (ETİAL 5) kalite alüminyum ve aynı özellikte takviye elemanı MgO (magnezyum oksit) kullanılmıştır. Çizelge 1'de deney malzemelerine ait özellikler verilmektedir.

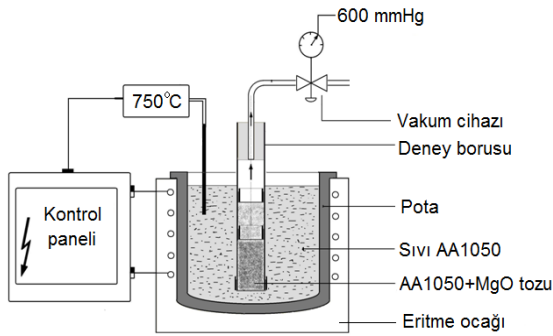
Çizelge 1. Deney malzemelerine ait teknik özellikler

AA 1050 (ETİAL 5)	
Cu %	0,05
Fe %	0,40
Si %	0,25
Zn %	0,05
Mn %	0,05
Ti %	0,04
Al %	99,5
Magnezyum oksit (Magnezya)	
MgO %	98
Fe %	0,6
SiO ₂ %	1,0
CaO %	0,4
Akma (Mpa)	20-35
Çekme (Mpa)	65-80
Uzama (%50)	38
Sertlik (Brinell)	20-21

3.1. Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri

Vakumlu İnfiltrasyon: Kompozit malzemelerin üretiminde; matris malzemesi olarak %99,5 saflığında 149-210 µm tane büyüklüğünde alüminyum tozu ve 105-149 µm tane boyutunda MgO tozu kullanılmıştır. İlk aşamada, belirlenmiş olan takviye hacim oranlarında hazırlanan

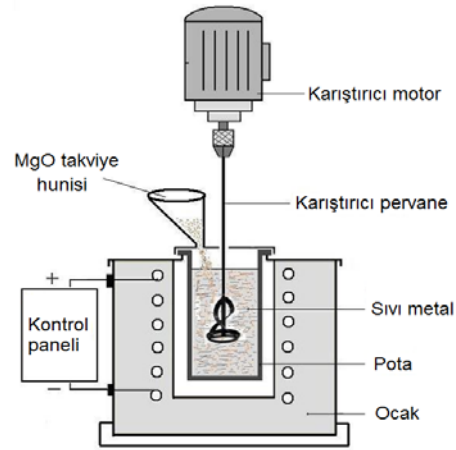
kompozit toz karışımlar vakum tüpleri içerisine yerleştirilmiştir. Aynı zamanda içerisinde matris elemanı alüminyum külçe malzemelerinin bulunduğu pota ertitme ocağı içerisinde ısıtılmaya başlanmıştır. Pota içerisindeki AA1070 matris malzemesi 750 °C sıcaklığa çıkıncaya kadar ısıtma işlemi devam etmiş ve alüminyumun sıvı hale gelmesi sağlanmıştır. Bu sırada deney borularının vakum tesisatına bağlanması tamamlanarak matris elemanı alüminyumun ertitildiği pota içerisine deney boruları daldırılarak, 10 dakika süre ile 600 mmHg vakum uygulaması yapılmıştır. Bu süreçte deney borusu içerisindeki Al-MgO parçacıkları arasına sıvı alüminyum vakumla infiltre edilerek istenilen kompozit numuneler üretilmiştir. Şekil 1’de infiltrasyon deney tertibatının şematik çizimi verilmiştir [17].



Şekil 1. Vakumlu infiltrasyon deney düzeneği [17]

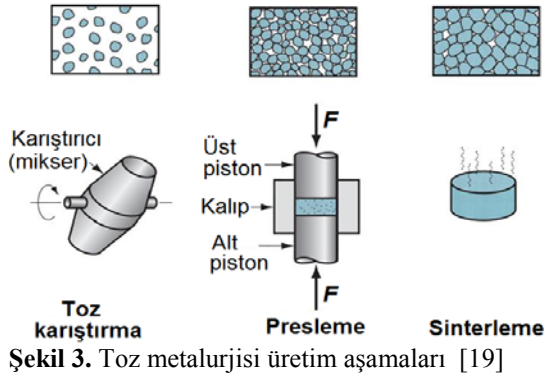
Karıştırmalı Döküm: Kompozit numunelerin üretiminde ilk olarak, AA1050 külçe matris malzemesi pota içerisine yerleştirilerek ertitme işlemi başlatılmıştır. Isıtma işlemi sıvı matris sıcaklığı 750 °C’ye çıkıncaya kadar devam ettirilmiştir. Bu arada matris ile takviye elemanı tozları arasındaki ıslatmayı kolaylaştırmak için %1,0 ağırlık oranında saf magnezyum pota içerisine ilave edilmiştir. Daha sonra karıştırıcı pervane sıvı metal AA1050 içerisine daldırılarak karıştırma işlemine başlanmıştır. Karıştırma hızı 400 rpm’ye çıkarılarak, karıştırma işlemi devam ederken, takviye oranı miktarlarına göre 149-210 µm boyutundaki MgO tozu, sıvı metal içerisine ilave edilmiştir. Sıvı metal içerisine ilave edilen MgO parçacıklarının homojen dağılımını sağlamak için, karıştırma işlemine 10 dakika

süreyle devam edilmiştir. Karıştırma tamamlandıktan hemen sonra, pota ocak içerisinden çıkarılarak, kompozit karışım daha önce hazırlanan kalıplar içerisine dökülerek oda sıcaklığına soğumaya bırakılmıştır. Aynı üretim işlemleri her MgO takviye oranı için uygulanmıştır. Şekil 2’de karıştırmalı döküm deney tertibatının şematik çizimi verilmiştir [18].



Şekil 2. Karıştırmalı döküm deney düzeneği [18]

Toz Metalurjisi: Toz metalurjisi deneylerinde de infiltrasyonda olduğu gibi 149-210 µm boyutunda AA1050 tozları ve 105-149 µm boyutunda MgO tozları kullanılmıştır. İlk olarak %5, %10 ve %20 MgO takviye oranlarına göre kompozit karışımlar hazırlanarak çelik bilyeli tamburlu tip karıştırıcıya konulmuştur. Karıştırma işlemi, 8 mm çapında zirkonya (ZrO₂) esaslı bilyeler 5/1 (bilye /toz) ağırlık oranı uygulanarak, 300 rpm hızda ve 2 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca karışım tozlarının tambur ve kalıp yüzeylerine sıvanmasını önlemek ve presleme kalıbında kaymayı kolaylaştırmak amacıyla toz karışımların içerisine %1,0 oranında toz çinko stearat yağlayıcı olarak ilave edilmiştir. Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra, kompozit karışımlar hidrolik preste 600 MPa basınç altında sıkıştırılarak deney numuneleri üretilmiştir. Üretilen kompozit numuneler 580 °C’de, argon atmosferi altında, 120 min süreyle sinterleme işlemine tabi tutularak kompozitlerin üretim süreci tamamlanmıştır. Şekil 3’te toz metalurjisi üretim aşamaları sembolik olarak gösterilmektedir.



2.2. Mekanik Deneyler

İlk aşamada Arşimet Presibi'ne göre önce numunelerin havadaki ağırlığı daha sonra da sudaki ağırlığı hassas terazi ile ölçülmüş ve (%) cinsinden teorik yoğunlukları belirlenmiştir. Daha sonra yapılacak mekanik ölçüm ve deneyler için üretilen kompozit malzemelerden deney standartlarına uygun olarak deney numuneleri hazırlanmıştır.

İlk olarak Brinell Yöntemi kullanılarak sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümleri EN ISO 4498 [20] ve TS EN ISO 6506-1 [21] 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 özellik belirleme deneylerinin ikinci aşamasında ASTM-B 528-05 [22] standardına göre çapraz kırılma (üç nokta eğme) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çapraz kırılma deneyleri, 0,05 kN/sn yükleme hızıyla ELE marka hidrolik preste gerçekleştirilmiştir.

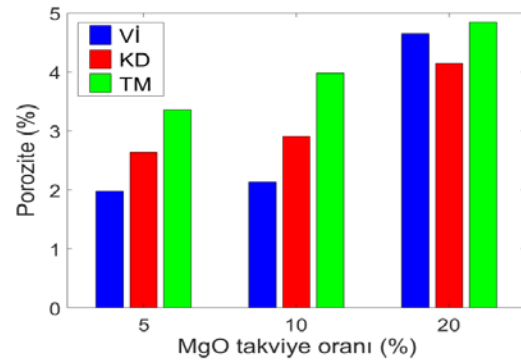
Üçüncü aşama deneyler, kompozit numunelerin aşınma davranışlarını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Aşınma deneyleri, pin-on-disk yöntemi ile 30 N yük uygulanarak yapılmıştır. Aşınma deneylerinde, 100 μm (149 mesh) aşındırıcı tane boyutuna sahip, Al_2O_3 zımpara kullanılmıştır. Her kompozit numune, $0,2 \text{ ms}^{-1}$

kayma hızında ve 60 saniye süre boyunca deney tabi tutularak aşınma kayıpları kaydedilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Porozite Oranlarının Değerlendirilmesi

Üç farklı takviye oranında üretilmiş olan kompozit malzemelerin Arşimet prensibine göre ölçülen porozite oranlarını gösteren grafik Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4 ve sonrasında gelecek olan Şekil 5, 6 ve 8 içerisindeki Vİ (Vakumlu İnfiltrasyon), KD (Karıştırmalı Döküm), TM (Toz Metalurjisi) terimlerinin kısaltması olarak kullanılmıştır.



Şekil 4. Vİ, KD ve TM ile üretilen kompozitlerin MgO takviye oranına göre porozite miktarı

Şekil 4'teki grafiğe bakıldığında ilk göze çarpan, MgO takviye miktarındaki artışa bağlı olarak kompozitlerdeki gözenek oranlarının da artmış olmasıdır. Bu durum parçacık takviyeli bu tür kompozit yapılarda genellikle meydana gelmektedir [1,4,7,23-27]. Parçacık takviyeli metal matrisli kompozitlerin üretimi sırasında karşılaşılan en önemli sorunlardan birisi matris malzemesinin seramik esaslı takviye parçacıklarını tam veya yeterli ıslatamamasıdır. Kompozit yapı içerisindeki ıslatma problemi genellikle beraberinde poroziteyi getirmektedir. Islatma olayı matris malzemesinin takviye parçacığının sarması ve bütünleşmesi anlamına geldiğinden, olamayan ıslatma matris malzemesi ile takviye parçacığı arasında boşluk oluşturan bir ara yüzey anlamına gelmektedir.

Porozite oranını etkileyen diğer husus ise kompozit yapı içerisindeki takviye elemanı topaklanmalarıdır. Takviye topaklanmalarının olduğu bölgelerde genellikle matris elemanı nüfuziyeti çok az olmakta veya olamamaktadır. Topaklanan takviye parçacıklarının kendi aralarında meydana getirdikleri boşluklar ciddi oranda poroziteye yol açmaktadır. Bu genel bilgilendirmeden sonra kompozit üretim yöntemleri yönünden porozite oranlarını değerlendirebiliriz.

Vakumlu infiltrasyonda diğer yöntemlere göre %5 ve %10 takviye değerlerinde porozitenin daha düşük olduğu Şekil 4'teki grafiklerden görülmektedir. Bunun sebebi olarak ilk etapta infiltrasyon yönteminin şekli ve parametrelerinin etkisi akla gelmektedir. Bu yöntemde infiltrasyon borusu içerisine doldurulmuş olan AA1070 ve MgO tozlarının hareketinin sınırlanması ve 750 °C'deki sıvı metalin akıcılık etkisiyle takviye ve matris partiküllerin arasına daha rahat nüfuz etmesi boşluk oranlarının daha az olmasında etkili olmuştur. Diğer etken ise sıvı metalin uygulanan vakumun yardımıyla güç kazanarak parçacıklar arasına daha rahat ulaşabilmesidir. Ancak MgO takviye oranının %20'ye çıkmasıyla porozite oranı ani bir artış göstermiştir. Takviye oranının artmasıyla boru içerisindeki kompakt AA1050+MgO tozları arasındaki boşluklarda, MgO tozlarının düzgün olmayan köşeli şekli nedeniyle dolayısıyla artış göstermiştir. İnfiltrasyon sürecinde uygulanan 500 mmHg vakum değerinde, sıvı metalin boşluklu yapının tamamına nüfuz edemediğini ve vakum değerinin bir miktar yetersiz kaldığı değerlendirilmektedir. Yapılan başka çalışmalarda benzer sonuçlara dikkat çekilmiştir [1,4].

Bir başka hususta VI yönteminde işlemin uygulanması sırasında vakum borusu içerisinde bulunan takviye elemanı MgO parçacıklarının bir kısmının vakumun itme etkisiyle yukarıya doğru sürüklenerek bazı bölgelerde yoğunlaşması ve takviye topaklanmalarına sebep olmasındadır. Bu durumda topaklanmaların olduğu yerlerde sıvı matris metalinin düşük nüfuziyeti ve yetersiz ıslatma meydana gelerek geniş porozite bölgeleri

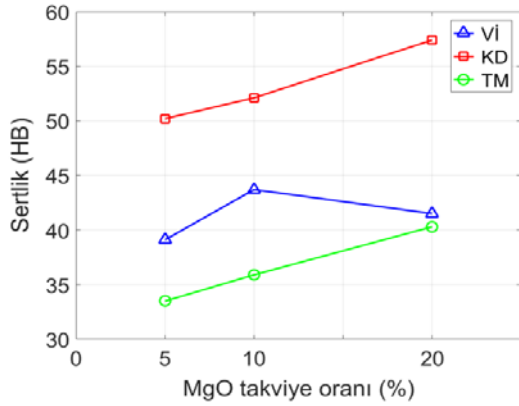
oluşturması muhtemeldir. Hal böyle olunca da kompozit yapı içerisinde homojen olmayan bir dağılım ve dengesiz mikroyapılar ortaya çıkabilmektedir. Bazen bu tür kompozit yapıların mekanik deneylerinde beklenmeyen sonuçlar ile karşılaşmaktadır.

Karıştırmalı döküm tekniğinde ise en çok şikayet edilen hususların başında yine ıslatma problemi gelmektedir [1,6]. Bu yöntemde her ne kadar takviye elemanı parçacıkları sıvı metal içerisine atılıyor olsa da karıştırma sırasında meydana gelen vorteks ve sıvı matris ile takviye parçacıkları arasındaki yoğunluk farkından dolayı meydana gelen takviye çökmesi nedeniyle hem kötü homojenite hem de takviye topaklanması meydana gelmektedir. Takviye topaklanması poroziteye önemli ölçüde olumsuz etki yapmaktadır [1,6,7,23,26,27].

Doğal olarak MgO takviye miktarının artmasıyla porozite oranları da artış göstermiştir. Bu konuda yapılan çalışmalarda sıvı metal içerisine ilave edilen takviye elemanı parçacığı boyutunun da etkili olduğu, parçacık boyutu küçüldükçe takviye elemanının sıvı metal içerisine karışmasının zorlaştığı görülmüştür. Diğer bir husus ise karıştırmalı döküm sırasında meydana gelen oksitlenmedir. Karıştırma sırasında pervanenin oluşturduğu vorteks ile sıvı metal içerisine sürekli hava girişi olmakta ve havanın içerisindeki oksijenin tesiri ile oksitlenme olayı gerçekleşmektedir. Karıştırmalı döküm yönteminde işlem sırasında argon, azot vb. inört gazlar kullanılarak havanın ortamdan uzaklaştırılması gerekmektedir. Böylece oksitlenme ortadan kaldırılabılır veya en aza indirilerek kompozit yapı içerisindeki porozite oranlarının düşürülebileceği değerlendirilmiştir.

3.2. Sertlik Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Üç farklı MgO takviye oranında üretilmiş olan alüminyum kompozit malzemelerin Brinell Yöntemine göre ölçülen sertlik miktarlarını gösteren grafik Şekil 5'te verilmiştir.



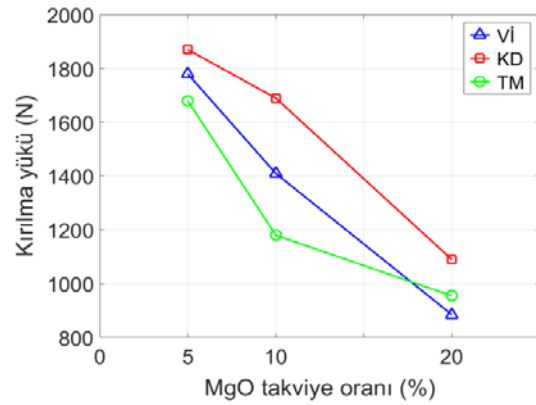
Şekil 5. VI, KD ve TM ile üretilen kompozitlerin MgO takviye oranına göre sertlikleri

Şekil 5'teki grafiğe bakıldığında ilk göze çarpan, MgO takviye miktarındaki artışa bağlı olarak kompozitlerdeki sertlik değerlerinin de artmış olmasıdır. Ancak vakumlu infiltrasyon (VI) yöntemi ile üretilen kompozitlerde bu durum farklıdır. Özellikle MgO takviye oranının %20'ye çıkmasıyla sertlik değerinin biraz daha yükselmesi beklenirken aksine azalmıştır. Normal şartlarda kompozit yapı içerisindeki sert faza sahip takviye elemanı miktarı arttıkça kompozit yapının genel olarak sertlik değerinin artış göstermesi beklenen ve literatürde yer alan bir sonuçtur ve diğer iki yöntemde de (KD ve TM) beklendiği gibi olmuştur [1,4,7,23,26,27]. VI yöntemiyle üretilen kompozit numunelerdeki yüksek porozite miktarının sertlik değerlerini doğrudan etkilediği söylenebilir. Başlık 3.1'de kompozit yapıların porozite miktarları değerlendirilirken bu hususa dikkat çekilmiştir. Boşluklu porozifmikroyapı ve bu yapıya bağlı olarak, sertlik ölçmelerinde kullanılan ölçüm probunun sık sık porozif bölgelere rastlaması ile sertlik değerleri düşük ölçülmüştür. Şekil 4'teki grafiğe bakıldığında VI yöntemiyle üretilmiş %20 MgO takviyeli kompozit numunenin yüksek porozite değeri görülmektedir. Dolayısıyla porozite ve sertlik değerleri arasındaki ilişki ortaya çıkmıştır. Grafikteki sertlik değerlerine göre, KD yönteminin diğer yöntemlere göre sertlik yönünden daha yüksek olduğu, en düşük sertlik değerlerinin de TM yöntemiyle elde edildiği sonucu çıkmıştır. Mekanik özellikleri yüksek olması istenen bu tür seramik parçacık takviyeli

alüminyum esaslı kompozit malzemelerde, sertlik yönünden en yüksek değerlerin karıştırılmalı döküm yöntemiyle elde edilebileceği ifade edilebilir.

3.3. Çapraz Kırılma Yükü

Mekanik özelliklerin belirlenmesinde ikinci aşama deneylerde çapraz kırılma (üç nokta eğme) deneyleri yapılmıştır. Üç farklı MgO takviye oranında üretilmiş olan kompozit numunelerin çapraz kırılma deneylerinden elde edilen kırılma yükü değerleri Şekil 6'daki grafiklerde verilmiştir.

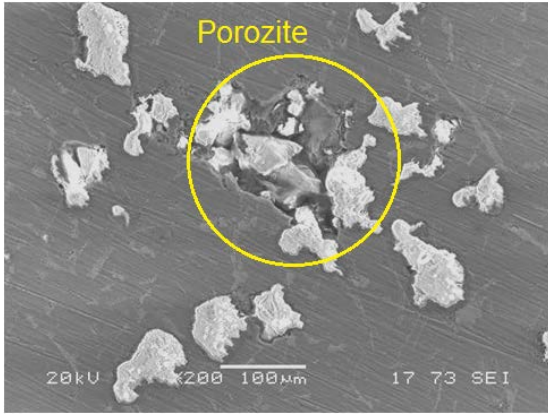


Şekil 6. VI, KD ve TM ile üretilen kompozitlerin MgO takviye oranına göre kırılma yükleri

Şekil 6'daki grafik incelendiğinde, MgO takviye miktarındaki artışa bağlı olarak her üç yöntemde de kırılma yükü (dayanımı) değerlerinin ciddi oranda düşmesidir. Bu durumu ilk olarak kompozit yapılarıdaki porozite miktarlarına atfetmek mümkündür ve literatürde benzer sonuçlar yer almaktadır [1,4,6,7,9,23,25-27]. Şekil 4'e bakıldığında; bütün takviye oranlarında en yüksek porozite değerleri TM yöntemiyle üretilmiş kompozitlerde ölçülmüştür. Şekil 6'da en düşük kırılma yükü değerleri yine TM yöntemiyle üretilmiş kompozitlerden elde edilmiştir. Kompozit yapı içerisindeki poroziteler (boşluk ve gözenekler) doğal olarak mekanik mukavemeti düşürmektedir. Ancak VI yönteminin %20 MgO takviye oranındaki yüksek porozite değeri, sertlik sonuçlarında olduğu gibi burada da etkisini göstermiş ve en düşük kırılma yükü değeri VI yöntemiyle üretilmiş %20 MgO takviyeli

kompozitte kaydedilmiştir. Dolayısıyla porozite değerleri ile kırılma yükü değerleri arasında doğrudan ilişki olduğu görülmektedir.

Kırılma yükü değerlerini etkileyen diğer husus MgO takviye elemanı parçacıklarının şeklidir. MgO parçacıklarının keskin köşeli yapısı kompozit yapı içerisinde doğal olarak çentik ve mikro çatlak tesiri yapmakta ve kırılma deneyleri sırasında kırılmanın başlamasında ve ilerlemesinde katkı sağlamaktadır. Şekil 7'deki SEM mikroskobu görüntüsünde kompozit yapı içerisindeki keskin köşeli MgO parçacıkları ve meydana gelen poroziteli bölge görülmektedir.



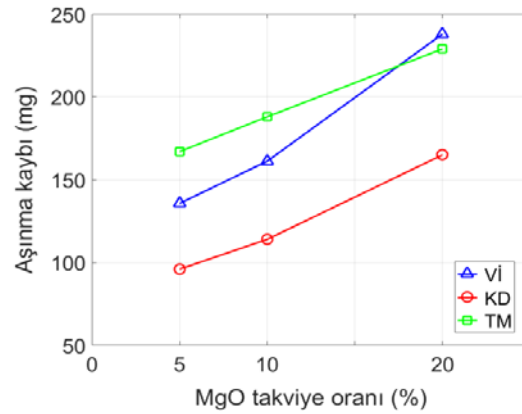
Şekil 7. Kompozit yapı içerisindeki MgO parçacıkları ve porozif bölge [18]

Yukarıdaki bahsedilen nedenlerin dışında bir başka husus ta kompozitlerin üretim yöntemleri arasındaki farklılıktır. KD ve Vİ yöntemleri sıvı faz üretim yöntemi içerisinde yer alırken TM yöntemi ise katı faz üretim yöntemidir. KD ve Vİ yöntemlerinde 750 °C'ye kadar ısıtılan sıvı metalin takviye elemanı olan MgO parçacıklarını ıslatması ve yüksek sıcaklığın tesiriyle matris takviye ara fazı, TM yöntemine göre biraz daha güçlü oluşabilmektedir. TM yönteminde her ne kadar sinterleme ısı işlemi yapılmış olsa da diğer iki yöntemde olduğu kadar sıcaklığın etkisi olamamakta, olan etki ise genellikle matris elemanı parçacıkları arasındaki bağlanmaya yardım etmektedir. Bu durumda ergime derecesi matris elemanına göre çok yüksek olan MgO takviye parçacıkları yeterince ıslatılmamakta ve

kompozit yapı içerisinde matris malzemesi alüminyumdan bağımsız hareket edebilmektedir. Dolayısıyla çapraz kırılma deneylerinde uygulanan yükün tesiri ile eğilen kompozit yapı içerisindeki MgO parçacıklarının yoğun olduğu bölgelerin mukavemeti ciddi seviyede azalmaktadır. Yapılan bu değerlendirmelerden sonra, kırılma dayanımı yönünden en iyi performansı KD kompozit üretim yöntemi, en düşük performansı ise TM kompozit üretiminin sergilediği anlaşılmaktadır.

3.4. Aşınma Kayıpları

Yapılan deneysel çalışmanın son aşamasında üç farklı MgO takviye oranında üretilmiş olan kompozit numunelerin abrasif aşınma performanslarını belirlemek üzere yapılan deneylerden elde edilen aşınma kaybı değerlerini gösteren grafikler Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Vİ, KD ve TM ile üretilen kompozitlerin MgO takviye oranına göre aşınma kayıpları

Şekil 8'deki grafik incelendiğinde, genel olarak MgO takviye miktarındaki artışa bağlı olarak aşınma kaybı değerlerinde artış meydana gelmiştir. Literatürde benzer sonuçlar yer almaktadır [25-27]. Bunun en önemli sebebi artan takviye oranlarıyla birlikte porozite miktarlarının da artması ve kompozit yapının tokluk miktarının düşmesidir. Aşınma deneylerinde kompozit yapı içerisindeki porozite boşlukları aşındırıcı zımpara taneciklerinin işini kolaylaştırmıştır. Çok sert fazdaki Al₂O₃ aşındırıcı tanecikleri kompozit

yapıdaki gözeneklere girerek daha rahat talaş kaldırmış ve aşınma miktarlarını arttırmıştır. [25,26]. Kompozit numunelerdeki yüksek porozite miktarının aşınma kayıplarını doğrudan etkilediği söylenebilir.

Abrasif aşınma deneylerinde en yüksek performansı KD yöntemiyle üretilmiş kompozitler gösterirken, en düşük performans TM yöntemiyle üretilen kompozitlerden elde edilmiştir. Kompozit numunelerin aşınma ve çapraz kırılma deney sonuçları birbirini desteklemektedir. Çünkü, her iki mekanik deney sonuçlarını etkileyen temel unsur kompozit yapılarıdaki porozite miktarlarıdır.

4. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

Vİ, KD ve TM kompozit üretim yöntemlerinin hepsinde kompozit yapı içerisindeki MgO takviye miktarının artmasıyla porozite (gözenek) miktarları yükselmiştir. En düşük porozite miktarı Vİ yöntemiyle üretilen alüminyum kompozitte elde edilmiştir.

Sertlik değerleri MgO takviye miktarının artmasıyla genel olarak yükselmiştir. Bu durum Vİ yönteminin özelliğinden kaynaklanan durum sebebiyle sadece %20 MgO takviyeli kompozitte farklılık göstermiştir. En yüksek sertlik değeri KD numunede ölçülürken en düşük sertlik TM kompozit numuneden elde edilmiştir.

Vİ, KD ve TM kompozit üretim yöntemlerinin tümünde üretilen kompozit malzemeler içerisindeki MgO takviye miktarının artmasıyla kırılma yükü (dayanımı) kayda değer miktarda azalmıştır. En yüksek kırılma yükü KD numunede ölçülürken en düşük kırılma yükü TM kompozit numuneden kaydedilmiştir.

Kompozitlerin aşınma kayıpları MgO takviye miktarının artmasıyla genel olarak artmıştır. En az aşınma kaybı KD kompozit numuneden ölçülürken en fazla kayıp TM numuneden meydana gelmiştir.

Üç farklı yöntemle fakat aynı takviye elmanı ve takviye oranlarıyla üretilen kompozitlerin mekanik deney sonuçlarını, yapılarındaki porozite miktarlarının önemli derecede etkilediği genel sonucuna varılmıştır.

Yapılan bu değerlendirmeler sonucunda üç farklı yöntemle üretilen kompozit malzemelerin mekanik performanslarını toplu halde gösterim Çizelge 2'de verilmiştir. Tabloya göre en yüksek mekanik performans KD yönteminden elde edilirken en düşük performansı TM yöntemi sergilemiştir.

Çizelge 2. Mekanik performans karşılaştırma çizelgesi

Yöntem	En Az Porozite	En Fazla Sertlik	En Yüksek Kırılma Yükü	En Az Aşınma Kaybı
Vİ				
KD				
TM				
Yöntem	En Fazla Porozite	En Az Sertlik	En Düşük Kırılma Yükü	En Fazla Aşınma Kaybı
Vİ				
KD				
TM				

5. KAYNAKLAR

1. Pul, M., 2010. Al Matrisli MgO Takviyeli Kompozitlerin İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretilmesi ve İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
2. Aydın, H., 2005. MgO Parçacık Takviyeli Alüminyum Matris Kompozit Malzemelerin Geliştirilmesi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
3. Acılar, M., 2002. Al/SiC Kompozitlerin Vakum İnfiltrasyon Yöntemi ile Üretimi ve Aşınma Davranışlarının Araştırılması, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
4. Montoya-Dávila, M., Pech-Canul, M.A., Pech-Canul, M.I., 2007. Effect of bi-andtrimodal Size Distribution on the Superficial Hardness

- of Al/SiCp Composites Prepared by Pressureless Infiltration, Powder Technology, 176, 66-71.
5. Demir, A., Altinkok, N., 2004. Effect of Gaspressure Infiltration on Microstructure and Bending Strenght of Porous Al₂O₃/SiC-Reinforced Aluminium Matrix Composites, Composites Scienceand Technology, 64, 2067-2074.
 6. Hashim, J., Looney, L., Hashmi, M.S.J., 2001. The Enhancement of Wettability of SiC particles in Cast Alüminium Matrix Composites, Journal of Materials Processing Technology, 119, 329-335.
 7. Sur, G., Şahin, Y., Gökkaya, H., 2005. Ergimiş Metal Karıştırma ve Basınçlı Döküm Yöntemi ile Alüminyum Esaslı Tanecik Takviyeli Kompozitlerin Üretimi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 20(2), 233-238.
 8. Davidson, A.M., Regener, D., 2000. A Comparison of Aluminium-based Metal-matrix Compositesrein Forced with Coatedandun Coated Particulate Siliconcarbide, Composites Scienceand Technology, 60, 865-869.
 9. Günay, M., 2009. Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilmiş Al-Si/SiCp Kompozitlerin Mekanik ve İşlenebilirlik Özelliklerinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
 10. Hanumanth, G.S., Irons, G.A., 1993. Particle Incorporation by Melt Stirring for the Production of Metal-matrix Composites, Journal of MaterialsScience, 28(9), 2459-2465.
 11. Hashim, J., Looneyand, L., Hashmi, M.S.J., 2002. Particle Distribution in Cast Metal Matrix Composites-Part I, Journal of Materials Processing Technology, 123, 251-257.
 12. Tham, L.M., Gupta, M., Cheng, L., 1999. Influence of Processing Parameters During Disintegrated Melt Deposition Processing on Near Net Shape Synthesis of Aluminium Based Metal Matrix Composites, Materials Scienceand Technology, 15, 1139-1146.
 13. Kok, M., 2005. Production and Mechanical Properties of Al₂O₃ Particle-reinforced 2024 Aluminium Alloy Composites, Journal of Materials Processing Technology, 161, 381-387.
 14. Naher, S., Brabazon, D., Looney, L., 2005. Development and Assessment of a New Quick Quench Stir Caster Design for the Production of Metal Matrix Composites, Journal of Materials Processing Technology, 166(3), 430-439.
 15. Bindumadhavan, P.N., Chia T.K., Chandrasekaran, M., Heng Keng Wah, Loh N.L., Prabhakar, O., 2001. Effect of Particleporosity Clusters on Tribological Behavior of Cast Aluminum Alloy A356-SiCp Metal Matrix Composites, Materials Scienceand Engineering A, 315, 217-226.
 16. Balasivanandha Prabu, S., Karunamoorthy, L., Kathiresan, S., Mohan, B., 2006. Influence of Stirring Speed and Stirring Time on Distribution of Particles in Cast Metal Matrix Composite, Journal of Materials Processing Technology, 171, 268-273.
 17. Pul, M., 2013. Evaluation of the Relationship Between the Cutting Force Components of Al/MgO Composites Produced by Infiltration, Arab J Sci Eng. 38, 1179-1189.
 18. Pul, M., 2013. The Effect of MgO Ratio on Surface Roughness in Al-MgO Composites Materialsand Manufacturing Processes, 28, 963-968.
 19. <http://web.hitit.edu.tr/dosyalar/materiyaller/eminderin@hititedutr240520183C0N2X3Z.pdf>
 20. TS EN ISO 4498, 2011. Sinterlenmiş Metal Malzemeler (Sert Metaller Hariç)-Görünen Sertliğin ve Mikrosertliğin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
 21. TS EN ISO 6506-1, 2007. Metalik Malzemeler-Brinell Sertlik Deneyi-Bölüm 1: Deney Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
 22. ASTM B528-05, 2008. Standard Test Method for Transverse Rupture Strength of Metal Powder Specimens, ASTM International, USA.
 23. Pul, M., 2013. The Effect of MgO Ratio on Surface Roughness in Al-MgO Composites, Materials and Manufacturing Processes, 28, 963-968.
 24. Pul, M., 2018. Investigation of Effects of MgO Ratio on the Surface Quality and Tool Wear in Turning Al-MgO Composites, Proc I Mech E Part B: Journal of Engineering Manufacture, 232(12), 2122-2131.

25. Pul, M., 2019. Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen B_4C+TiB_2 Takviyeli Al 2024 Esaslı Kompozitlerde Takviye Miktarının Mekanik Özelliklere Etkisi, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi,11(1), 87-98.
26. Baydaroğlu, V., Pul, M., 2018. Effect of Reinforcement Ratios on Mechanical Properties and Wear Behavior of $B_4C + SiC$ Reinforced AA 7075 Composites, TURKEYTRIB'18 2nd International Conference on Tribology, 18-20 April, 80-91, İstanbul.
27. Pul, M., 2019. Alüminyum 7075 Matrisli Kompozitlerde SiC , B_4C ve TiB_2 Takviye Elemanlarının Mekanik Özelliklere Etkilerinin Karşılaştırılması, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7, 180-193.

Katı Nem Alıcı Bir Rotorun Farklı Çalışma Şartları için Modellenmesi

Kamil Neyfel ÇERÇİ¹, Ertaç HÜRDOĞAN*¹, Osman KARA¹

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği
Bölümü, Osmaniye

Geliş tarihi: 18.04.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Öz

İklimlendirme sistemleri, yaz ve kış şartlarında mahaller içerisinde istenilen konfor şartlarının elde edilebilmesi için havanın nemini, sıcaklığını ve hava kalitesini kontrol edebilen sistemlerdir. İklimlendirme sistemlerinde ve son zamanlarda kurutma sistemlerinde, havanın neminin alınabilmesi için katı nem alıcı rotorun kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Bu sebeple çoğu araştırmacı nem alıcı rotorların tasarımı, modellenmesi ve optimizasyonu üzerine farklı çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Katı nem alıcı rotorda, ısı ve kütle transferi birlikte gerçekleştiğinden prosesi matematiksel olarak modellemek çok zor bir işlemdir. Bu zorluğun giderilmesi üzerine Jurinak [8] basit bir model geliştirmiş ve bu model çoğu araştırmacı tarafından kullanılmaktadır. Fakat bu model sınırlı çalışma koşulları (özellikle yüksek hava debisi) için kullanılabilir bir yapıya sahiptir. Bu çalışmada, Jurinak'ın modeli baz alınarak, düşük hava ihtiyacının olduğu uygulamalarda, farklı çalışma şartları altında kullanılabilir katı nem alıcı bir rotor için bir model geliştirilmiş ve elde edilen sonuçlar ile üretici verileri kıyaslanarak modelin kullanılabilirliği test edilmiştir. Çalışma sonunda, geliştirilen model ile elde edilen sonuçların, üretici verileri ile iyi bir uyum içinde olduğu ve modelin farklı çalışma şartları için kullanımının uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Nem alma, Katı nem alıcı, Rotor, Modelleme

Modeling of a Solid Desiccant Wheel for Different Operating Conditions

Abstract

Air conditioning systems are the systems that can control humidity, temperature and air quality of the air in order to obtain the desired comfort conditions under summer and winter conditions. The usage of solid desiccant wheel to remove the moisture from the air is becoming more common in air conditioning systems and recently in drying systems. For this reason, most researchers have carried out different studies on the design, modeling and optimization of solid desiccant wheels. In the desiccant wheels, it is very difficult to model the process mathematically because heat and mass transfer realize simultaneously. Jurinak [8] developed a simple model to overcome this difficulty and this model is used by many researchers. However, this model has a structure that can be used for limited working conditions (especially high air flow rate). In this study, based on Jurinak's model, a model was developed for a solid desiccant wheel which can be used under different working conditions in applications where low air flow rate is required. The results of the model have been tested by comparing with the manufacturer data. At the end of the study, it is found that the results obtained from the developed model were in good agreement with the manufacturer's data and the model was suitable for using at different working conditions.

Keywords: Dehumidification, Solid desiccant, Wheel, Modelling

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ertaç HÜRDOĞAN, ehurdogan@osmaniye.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji tüketiminin önemli bir miktarını, binaların hem ısıtma hem de soğutmasında kullanılan iklimlendirme prosesleri oluşturmaktadır [1]. İklimlendirme sistemleri, bir ortamın konfor şartlarının elde edilmesinde kullanılan sistemlerdir [2]. İnsanoğlunun yaz şartlarında istenilen konfor şartlarını elde etmek için kullandığı metotların en eskilerinden birisi de evaporatif soğutma sistemleridir. Evaporatif soğutma sisteminde temel prensip, ortamın duyulur ısını gizli ısıya dönüştürerek ortamın sıcaklığını düşürmektir [3]. Özellikle sıcak ve nemli bölgelerde konut, ticari yada ofis binalarında ısı konforun sağlanması için, evaporatif soğutma tekniklerinin kullanımı elektriksel güç tüketimini arttırmakta ve bu durum da sistemin kullanımının yeteri kadar efektif olmadığını göstermektedir [2,4]. Sıcak ve nemli iklimlerde nem almalı (desisif) soğutma sistemlerinin kullanımı evaporatif soğutma sistemlerine kıyasla daha uygun bir seçenek olarak önerilmektedir [4]. Nem alıcı materyaller katı ve sıvı olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar [5-7]. Nem almalı soğutma sistemlerinde katı nem alıcı rotor (teker) kullanımının gün geçtikçe popülerliği artmaktadır. Bu sistemlerde, çevre havası ve nem alıcıların yüzeyi arasında meydana gelen su buharı basıncı farkından dolayı nem alıcı madde su buharını absorbe etmektedir [1]. Nem alıcı rotorların iklimlendirme sistemlerinde yaygın olarak kullanılmasından dolayı çoğu araştırmacı nem alıcı rotorların tasarımı, modellenmesi ve optimizasyonu üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Jurinak [8] ve Howe [9], nem alıcı rotorun çıkış şartlarını tanımlayan basit bir model geliştirmişlerdir. Bu modelde, silika-jel için iki karakteristik potansiyel (F_1 ve F_2) ve verimlilik faktörleri (η_1 ve η_2) kullanılarak nem alıcı rotorun proses kanalından çıkan havanın sıcaklık ve mutlak nem değerleri bulunabilmektedir. White ve arkadaşları [10], süper adsorbent polimer ve zeolite'den oluşan iki yeni nem alıcı rotorun performansını kıyaslamışlardır. Yazarlar düşük rejenerasyon sıcaklıklarında süper adsorbent polimer malzemesinden yapılan nem alıcı rotorun daha fazla nem çekme kapasitesine sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Stabat ve Marchio [11],

nem alıcı rotorun davranışını belirlemek için bir model geliştirmişlerdir. Yazarlar geliştirdikleri modelin, çalışma koşulları içerisinde ekipmanın karakterize edilebilmesi, doğruluk ve ölçülebilirliğin kolaylaştırılması gibi birçok kriteri karşıladığını belirtmişlerdir. Çalışma sonunda, modelden elde ettikleri tahmini sonuçları deneysel ve üretici veriler ile kıyaslamışlar ve modelin kullanılabilirliğini göstermişlerdir. Panaras ve arkadaşları [12], Jurinak tarafından geliştirilen modeli baz alarak, nem alıcı rotorun modellenmesi için farklı yaklaşımlar kullanmışlardır. Çalışmada 6 dev./saat rotor hızında, 600, 1000 ve 1200 m³/saat olacak şekilde üç farklı debi için verimlilik faktörleri (η_1 ve η_2) belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar, deneysel veriler ve üretici verileri ile kıyaslanmıştır. Joudi ve Dhaidan [13] ısıtma ve nem almalı soğutma sistemlerin performansını Bağdat'da yer alan bir bina için değerlendirmişlerdir. Yazarlar farklı çalışma koşulları ve tasarımların sistemin ve ekipmanlarının performansı üzerine etkisini değerlendirmek için bir bilgisayar simülasyonu geliştirmişlerdir. Çalışmada nem almalı rotorun modellenmesinde Jurinak'ın çalışması baz alınmıştır. Sonuç olarak yapılan simülasyon çalışmasında ortam sıcaklığı, rejenerasyon sıcaklığı, ısı değiştiricisi etkinliği, ve evaporatif soğutma etkinliğinin sistem performansına önemli etkisi olduğu görülmüştür. Nia ve arkadaşları [14], iklimlendirme ve havalandırma sistemleri için kullanılan nem alıcı rotorun modellenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Simülasyon çalışmasında, MATLAB Simulink yazılımından faydalanmışlardır. Bu çalışmada, sayısal metot kullanılarak adyabatik nem alıcı rotorun performansı ve optimum rotor hızı belirlenmiştir. Beccali ve arkadaşları [15] katı nem alıcı rotorun performansını değerlendirebilmek için basit bir model geliştirmişlerdir. Modelin oluşumunda üretici verilerinden faydalanmışlardır. Sonuç olarak araştırmacılar geliştirmiş oldukları modelin basit ve üç farklı nem alıcı rotorun performansının belirlenmesi için uygun olduğundan bahsetmişlerdir.

Katı nem alıcı rotorda, ısı ve kütle transferi birlikte gerçekleştiğinden prosesi matematiksel olarak modellemek çok zor bir işlemdir. Bu zorluğun

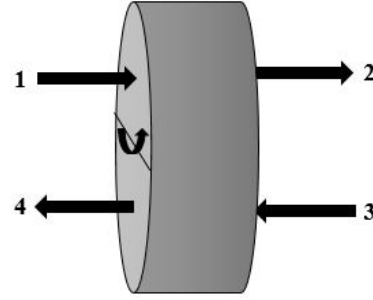
giderilmesi üzerine Jurinak [8] basit bir model geliştirmiş ve literatürde birçok bilim adamı bu modelin kullanımı ve geliştirilmesi üzerine çalışmalar yürütmüşlerdir. İlgili çalışmalar, Jurinak'ın önerdiği verimlilik faktörleri, rotorun nem alma kapasitesine [13,16] ve çalışma debisine [12] göre sabit değerler alınarak gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla kullanılan veya geliştirilen modellerin geçerliliği sadece çalışılan parametreler ve şartlar için uygundur. Ayrıca bu çalışmaların çoğunda oluşturulan modellerin geçerliliği sadece, ele alınan nem alıcı rotorların yüksek hava debisi ile çalışması durumunda kullanımıyla sınırlıdır.

Bu çalışmada, düşük hava ihtiyacının ($\leq 600 \text{ m}^3/\text{saat}$) olduğu uygulamalarda kullanılabilir katı nem alıcı bir rotorun, farklı debi ve rejenerasyon sıcaklıkları çalışma şartları altında proses kanalından çıkan havanın sıcaklık ve mutlak nem değerlerinin hesaplanabilmesi için Jurinak'ın modeli baz alınarak bir model geliştirilmiştir. Burada, Jurinak'ın verimlilik faktörleri, hacimsel debinin (\dot{V}) ve karakteristik potansiyellerin (F_1 ve F_2) bir fonksiyonu olarak modellenmiştir. Böylece farklı çalışma şartları için verimlilik faktörü belirlenebilmekte ve katı nem alıcı rotorun proses kanalından çıkan havanın şartları hesaplanabilmektedir. Bu modelin geliştirilmesinde üretici verilerinden [17] faydalanılmış ve analizlerde MATLAB yazılımı kullanılmıştır.

2. MODELLEME ÇALIŞMASI

Şekil 1'de model çalışmalarında ele alınan katı nem alıcı rotorun şematik resmi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, katı nem alıcı rotorların kullanıldığı sistemlerde iki hava kanalı bulunmaktadır. Bunlardan birisi taze havanın sistemde dolaştığı proses kanalı (1→2), diğeri ise rejenerasyon kanalıdır (3→4). Katı nem alıcı rotor proses kanalındaki taze havanın neminin uzaklaştırılması amacıyla kullanılmaktadır. Nem alıcı rotora 1 noktasından giren nemli hava, rotordan geçerken nemi düşürülmekte ve 2 noktasında kuru ve daha sıcak olacak şekilde rotordan çıkmaktadır. Aynı anda belli bir debiye sahip sıcak hava (rejenerasyon havası) 3

noktasından ters yönden katı nem alıcı rotora gönderilmekte ve proses kanalındaki havadan çekilen nemi üzerine alarak 4 noktasında sistemden uzaklaşmaktadır [18].



Şekil 1. Katı nem alıcı rotorun şematik diyagramı;
1: proses giriş, 2: proses çıkış,
3: rejenerasyon giriş, 4: rejenerasyon çıkış

Nem alıcı rotorda proses kanalından çıkan havanın (Şekil 1, 2 noktası) sıcaklık (T_2) ve mutlak nemini (W_2) belirleyebilmek için Jurinak tarafından basit bir yaklaşım geliştirilmiştir [8]. Bu yaklaşıma göre, nem alıcı rotorda proses kanalından çıkan havanın şartlarını belirleyebilmek için verimlilik faktörleri (η_{F1} ve η_{F2}) ile birlikte mutlak nem ve sıcaklığa bağlı olarak oluşturulan F_1 ve F_2 karakteristik potansiyellerinin bilinmesi gerekmektedir. Silica-jel ve hava-su buharının karakteristik potansiyelleri olarak ifade edilen F_1 ve F_2 değerlerini belirleyebilmek için sıcaklık ve mutlak neme bağlı olarak bir eğri uydurulmuştur. Elde edilen F_1 ve F_2 karakteristik potansiyelleri ve η_{F1} ve η_{F2} verimlilik faktörleri kullanılarak T_2 ve W_2 hesaplanabilmektedir. Jurinak'ın yaklaşımında kullanılan değişkenlere ait Eşitlik 1-4'de verilmiştir [8,12]:

$$F_{1,i} = \frac{-2865}{(T_i + 273,15)^{1,49}} + 4,344 \cdot \left(\frac{W_i}{1000}\right)^{0,8624} \quad (1)$$

$$F_{2,i} = \frac{(T_i + 273,15)^{1,49}}{6360} - 1,127 \cdot \left(\frac{W_i}{1000}\right)^{0,07969} \quad (2)$$

$$\eta_{F1} = \frac{F_{1,2} - F_{1,1}}{F_{1,3} - F_{1,1}} \quad (3)$$

$$\eta_{F2} = \frac{F_{2,2} - F_{2,1}}{F_{2,3} - F_{2,1}} \quad (4)$$

Burada, $F_{1,1}$ ve $F_{2,1}$ nem alıcı rotora proses kanalından giren havanın (1 noktası) karakteristik potansiyelleridir. $F_{1,2}$ ve $F_{2,2}$ nem alıcı rotorda proses kanalından çıkan havanın (2 noktası) karakteristik potansiyelleridir. $F_{1,3}$ ve $F_{2,3}$ nem alıcı rotora rejenerasyon kanalından giren havanın (3 noktası) karakteristik potansiyelleridir. η_{F1} ve η_{F2} nem alıcı rotorun verimlilik faktörleridir. Literatürde Jurinak'ın yaklaşımı kullanılarak yapılan çalışmalarda, η_{F1} ve η_{F2} nem alıcı rotorun verimlilik faktörlerine belirli debiler için sabit değerler verilerek (değişken debiler için uygun değil) çözümlenmeler yapılmıştır [12,13,16].

Bu çalışmada değişken debi, proses ve rejenerasyon giriş havası sıcaklık ve mutlak nem değerleri göz önünde bulundurularak, η_{F1} ve η_{F2} verimlilik faktörleri için eşitlikler geliştirilmiştir. Çalışmada nem alıcı rotorun proses havası ve rejenerasyon havasının debileri eşit ve rotor üzerinde aynı kesit alandan geçtiği (R/P=1) kabul edilmiştir. Eşitlikler geliştirilirken değişken debi ve rejenerasyon sıcaklıklarında çalışılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilecek η_{F1} ve η_{F2} eşitliklerinin üretici verilerine daha iyi yakınsaması için, hesaplamalar, proses kanalına giren hava sıcaklığının iki farklı aralıkta olması durumu için ayrı ayrı yapılmıştır. Bu aralıkların birincisi (düşük sıcaklıklar, DS) kurutma uygulamaları ve kış iklim şartları düşünülerek 5-20 °C, ikincisi ise (yüksek sıcaklıklar, YS) yaz şartları düşünülerek 25-40 °C arasında olacak şekilde belirlenmiştir. Çizelge 1'de eşitliklerin üretilmesinde kullanılan çalışma koşulları verilmiştir.

Çizelge 1. Nem alıcı rotorun çalışma koşulları

Parametre	Birim	Çalışma Koşulları
Hacimsel Debi (\dot{V})	m ³ /saat	150,300,450,600
Rejenerasyon Giriş Sıcaklığı (T_3)	°C	70,80,90
Rejenerasyon Giriş Mutlak Nemi (W_3)	g _{su} /kg _{kh}	4-25
Proses Giriş Sıcaklığı-DS (T_{1-DS})	°C	5-20
Proses Giriş Sıcaklığı-YS (T_{1-YS})	°C	25-40
Proses Giriş Mutlak Nemi (W_1)	g _{su} /kg _{kh}	5-25
Rotor Hızı	dev/saat	12

Çalışmada ayrıca eşitlikler üretilirken, proses ve rejenerasyon kanalından giren havanın sıcaklık ve mutlak nem değerlerinin de etkisini hesaba katmak için karakteristik potansiyel farklarından (ΔF_1 , ΔF_2) faydalanılmıştır. ΔF_1 ve ΔF_2 aşağıdaki Eşitlik 5 ve 6 kullanılarak belirlenmiştir.

$$\Delta F_1 = F_{1,3} - F_{1,1} \quad (5)$$

$$\Delta F_2 = F_{2,3} - F_{2,1} \quad (6)$$

Bu çalışma kapsamında geliştirilen modelin kullanılabilirliğini test etmek için doğruluk kriterleri olan Ortalama Hata Karekökü (Root Mean Square Error, RMSE) ve Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error, MAE) değerlerine bakılmıştır. Doğruluk kriterlerinin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler [19] Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Doğruluk kriterlerinin eşitlikleri [19]

Doğruluk Kriteri	Eşitlik	Parametreler
RMSE	$\sqrt{\frac{(S_1 - G_1)^2 + \dots + (S_n - G_n)^2}{n}}$	S: Sayısal Değer G: Gerçek Değer n: Veri Sayısı
MAE	$\frac{ S_1 - G_1 + \dots + S_n - G_n }{n}$	S: Sayısal Değer G: Gerçek Değer n: Veri Sayısı

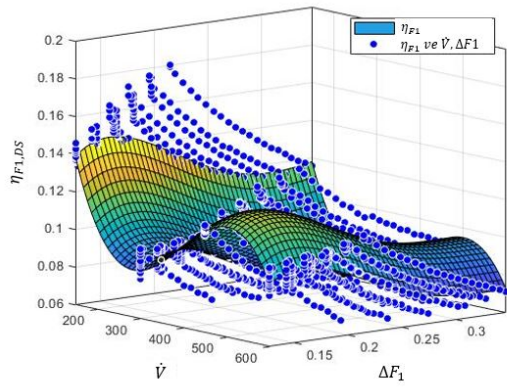
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, katı nem alıcı bir rotorun farklı debi ve rejenerasyon sıcaklıkları için proses kanalındaki T_2 ve W_2 değerlerinin basit bir şekilde hesaplanabilmesi ve farklı çalışmalarda kullanılabilmesi için Jurinak'ın modeli [8] baz alınarak bir model geliştirilmiştir. Jurinak'ın modelinde nem alıcı rotorda T_2 ve W_2 değerlerinin bilinmesi için η_{F1} ve η_{F2} verimlilik faktörleri kullanılmaktadır. Literatürde bu faktörler genelde çalışılan aralıklar için sabit değerler almaktadır. Bu çalışmada η_{F1} ve η_{F2} verimlilik faktörleri, değişken debi ve rejenerasyon sıcaklıklarında (T_3), proses ve rejenerasyon kanalından farklı giriş şartları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Katı nem alıcı rotorun çıkışındaki havanın model ile hesaplanan şartlarının, üretici verilerine daha

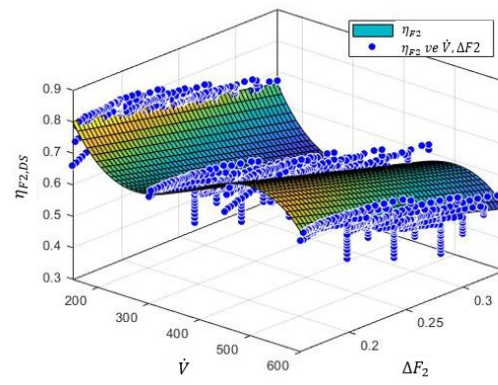
yakın doğrulukta olabilmesi için, proses kanalına giren havanın iki farklı sıcaklık aralığında (5-20 °C ve 25-40°C) olma durumu değerlendirilerek model oluşturulmuştur.

Şekil 2-a, b, c ve d’de sırasıyla nem alıcı rotora giren havanın düşük ve yüksek sıcaklıklar aralığında olma durumunda üretici verileri ve Eşitlik 3 ve 4 kullanılarak hesaplanan η_{F1} ve η_{F2} verimlilik faktörlerinin debi (\dot{V}) ve karakteristik

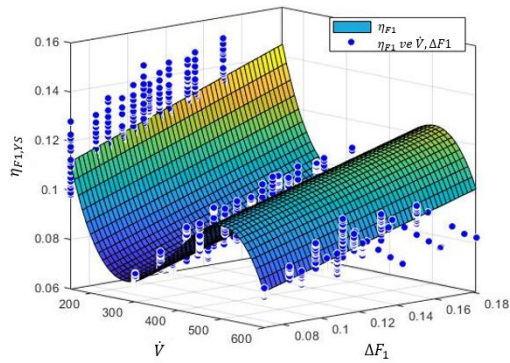
potansiyel farklar (ΔF_1 ve ΔF_2) ile değişimleri gösterilmiştir. Bu veriler kullanılarak DS ve YS için η_{F1} ve η_{F2} polinomsal eşitlikleri, debi ve karakteristik potansiyel farkların fonksiyonu olarak üretilmiştir (Eşitlik 7-10). Düşük sıcaklıklar için üretilen verimlilik faktörleri ($\eta_{F1,DS}$ ve $\eta_{F2,DS}$) Eşitlik 7 ve 8’de, yüksek sıcaklıklar için üretilen verimlilik faktörleri ($\eta_{F1,YS}$ ve $\eta_{F2,YS}$) ise Eşitlik 9 ve 10’da verilmiştir. Eşitliklerdeki sabit katsayılar Çizelge 3’de yer almaktadır.



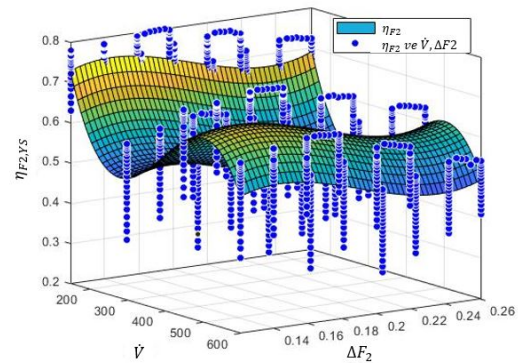
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2. Düşük (a ve b) ve yüksek (c ve d) sıcaklık için verimlilik faktörlerinin debi ve karakteristik potansiyel farkları ile değişimi

$$\eta_{F1,DS} = a_1 + a_2 \cdot \dot{V} + a_3 \cdot \Delta F_1 + a_4 \cdot \dot{V}^2 + a_5 \cdot \dot{V} \cdot \Delta F_1 + a_6 \cdot \Delta F_1^2 + a_7 \cdot \dot{V}^3 + a_8 \cdot \dot{V}^2 \cdot \Delta F_1 + a_9 \cdot \dot{V} \cdot \Delta F_1^2 + a_{10} \cdot \Delta F_1^3 + a_{11} \cdot \dot{V}^3 \cdot \Delta F_1 + a_{12} \cdot \dot{V}^2 \cdot \Delta F_1^2 + a_{13} \cdot \dot{V} \cdot \Delta F_1^3 + a_{14} \cdot \Delta F_1^4 \quad (7)$$

$$\eta_{F2,DS} = b_1 + b_2 \cdot \dot{V} + b_3 \cdot \Delta F_2 + b_4 \cdot \dot{V}^2 + b_5 \cdot \dot{V} \cdot \Delta F_2 + b_6 \cdot \dot{V}^3 + b_7 \cdot \dot{V}^2 \cdot \Delta F_2 \quad (8)$$

$$\eta_{F1,YS} = c1 + c2 \cdot \dot{V} + c3 \cdot \Delta F_1 + c4 \cdot \dot{V}^2 + c5 \cdot \dot{V} \cdot \Delta F_1 + c6 \cdot \dot{V}^3 + c7 \cdot \dot{V}^2 \cdot \Delta F_1 \quad (9)$$

$$\eta_{F2,YS} = d1 + d2 \cdot \dot{V} + d3 \cdot \Delta F_2 + d4 \cdot \dot{V}^2 + d5 \cdot \dot{V} \cdot \Delta F_2 + d6 \cdot \Delta F_2^2 + d7 \cdot \dot{V}^3 + d8 \cdot \dot{V}^2 \cdot \Delta F_2 + d9 \cdot \dot{V} \cdot \Delta F_2^2 + d10 \cdot \Delta F_2^3 \quad (10)$$

Çizelge 3. Polinomsal eşitliklerdeki sabit katsayı değerleri

Eşitlik 7	a1=0,03235, a2=-0,002886, a3=6,734, a4=8,204×10 ⁻⁶ , a5=0,0004009, a6=-41,55, a7=-6,929×10 ⁻⁰⁹ , a8=-5,047×10 ⁻⁰⁶ , a9=0,006358, a10=101,8, a11=4,071×10 ⁻⁰⁹ , a12=7,24×10 ⁻⁰⁷ , a13=-0,01002, a14=-87,73,
Eşitlik 8	b1=1,744, b2=-0,00882, b3=-0,4722, b4=2,556×10 ⁻⁰⁵ , b5=-0,002296, b6=-2,227×10 ⁻⁰⁸ , b7=2,299×10 ⁻⁰⁶
Eşitlik 9	c1=0,3118, c2=-0,002328, c3=0,3697, c4=6,545×10 ⁻⁰⁶ , c5=-0,0005717, c6=-5,618×10 ⁻⁰⁹ , c7=6,065×10 ⁻⁰⁷
Eşitlik 10	d1=0,7327, d2=-0,01225, d3=20,69, d4=3,406×10 ⁻⁰⁵ , d5=-0,0001866, d6=-115,6, d7=-2,902×10 ⁻⁰⁸ , d8= 3,445×10 ⁻⁰⁷ , d9=-0,0004209, d10=203,2

Çizelge 4’de sırasıyla düşük ve yüksek sıcaklıklarda η_{F1} ve η_{F2} verimlilik faktörlerinin hesaplanması için geliştirilen modellerin doğruluk kriterleri olan RMSE ve MAE sonuçları verilmiştir. RMSE ve MAE değerlerinin düşük olması verimlilik faktörlerini hesaplayan bu eşitliklerin kullanılabilirliğini göstermektedir.

Çizelge 4. DS ve YS için elde edilen verimlilik faktörlerinin (η_{F1} ve η_{F2}) RMSE değerleri

Parametre	RMSE	MAE
$\eta_{F1,DS}$	0,004721	0,008668
$\eta_{F2,DS}$	0,007660	0,025885
$\eta_{F1,YS}$	0,001447	0,004611
$\eta_{F2,YS}$	0,071010	0,057195

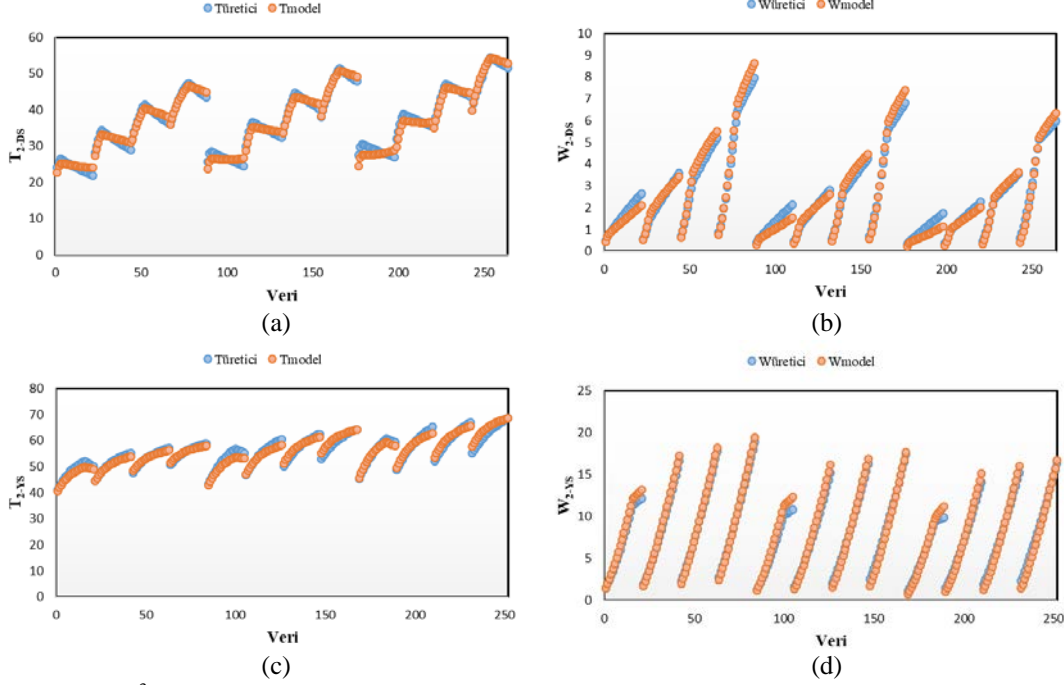
Çalışma kapsamında son olarak geliştirilen modelden elde edilen sonuçlar ile üretici verileri kıyaslanmıştır. Şekil 3,4,5 ve 6’da sırasıyla 150, 300, 450 ve 600 m³/saat debide farklı giriş şartlarına göre, geliştirilen model (sayısal çözümlene) ve üretici verileri ile elde edilen proses havası çıkış sıcaklık (T_{2-DS} , T_{2-YS}) ve mutlak nem değerleri (W_{2-DS} , W_{2-YS}) verilmiştir. Toplamda model ve üretici verileri ile elde edilen 2067 sıcaklık çıktı verisi ve 2067 mutlak nem çıktı verisi kıyaslanmıştır. Şekillerden de görüldüğü gibi

aynı giriş şartlarında model ile elde edilen veriler, üretici verileri ile iyi bir uyum içerisindedir. Şekil 7’de, tüm debiler için sırasıyla düşük (a ve b) ve yüksek (c ve d) sıcaklık şartlarında nem alıcı rotordan çıkan havanın geliştirilen model ve üretici verileri ile elde edilen sıcaklık ve mutlak nem değerlerinin kıyaslaması yapılmıştır. Katı nem alıcı rotora giren havanın, düşük sıcaklık aralığında olma durumu için elde edilen eşitliklerin, yüksek sıcaklık aralığında olma durumu için elde edilen eşitliklere kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

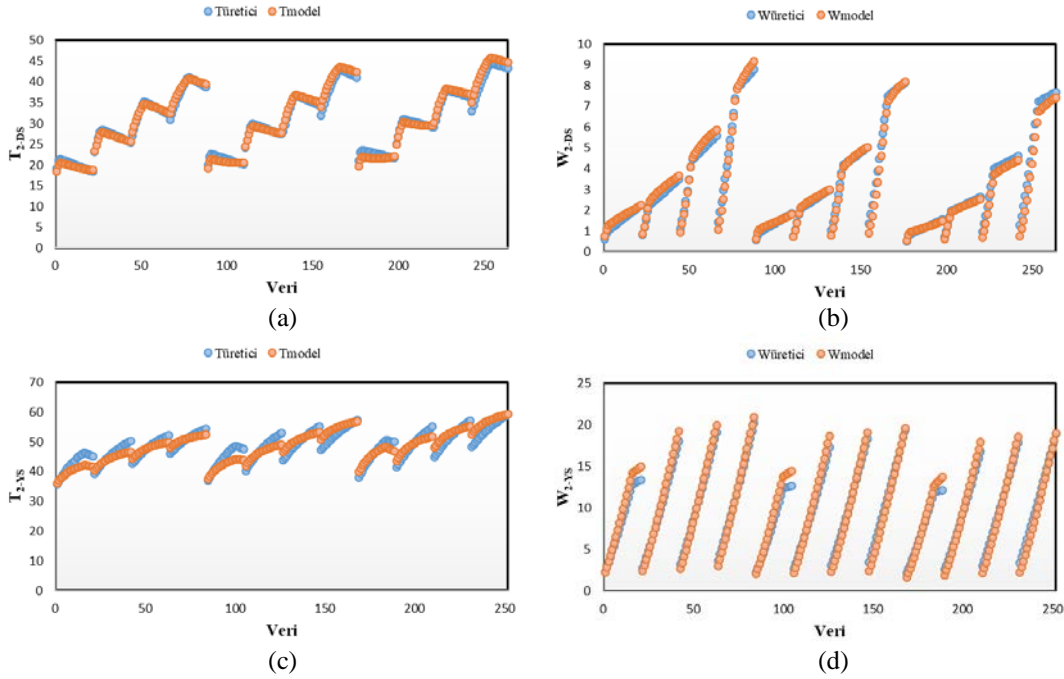
Çizelge 5’de DS ve YS için hesaplanan T_2 ve W_2 değerlerinin doğruluk kriterleri olan RMSE ve MAE sonuçları verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi oluşturulan modelin doğruluk kriterleri düşük değerler almıştır. Bu durum geliştirilen modelin, her iki sıcaklık aralığı için kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5. DS ve YS için model ile elde edilen T_2 ve W_2 değerlerinin doğruluk kriterleri

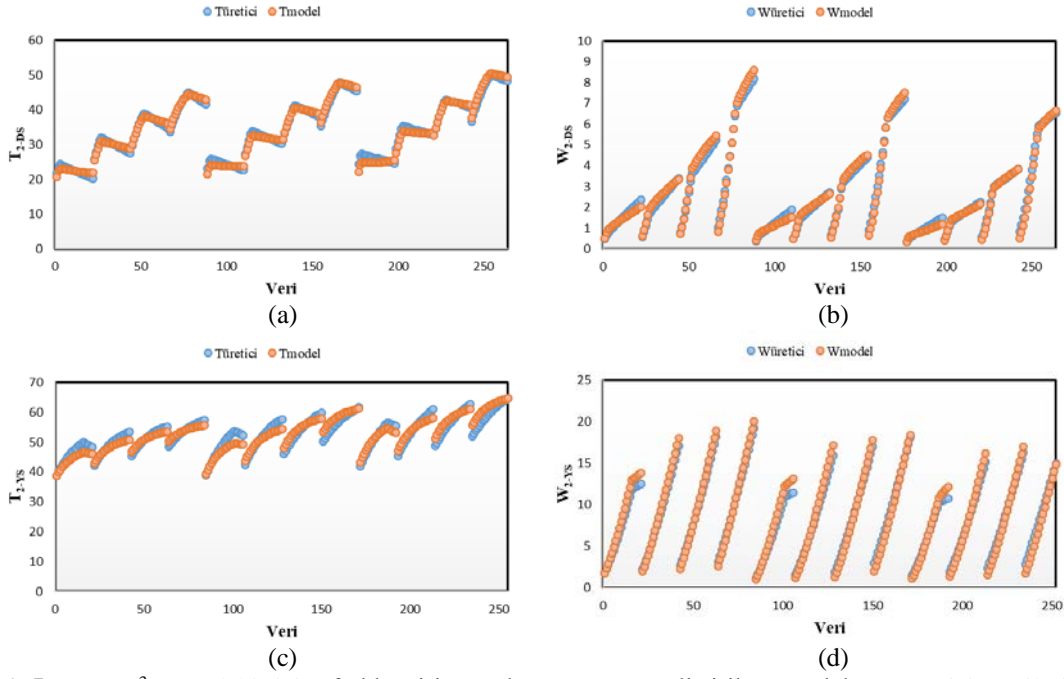
Parametre	RMSE	MAE
T_{2-DS}	0,9246	0,7350
W_{2-DS}	0,2388	0,1828
T_{2-YS}	1,8934	1,5509
W_{2-YS}	0,6441	0,5220



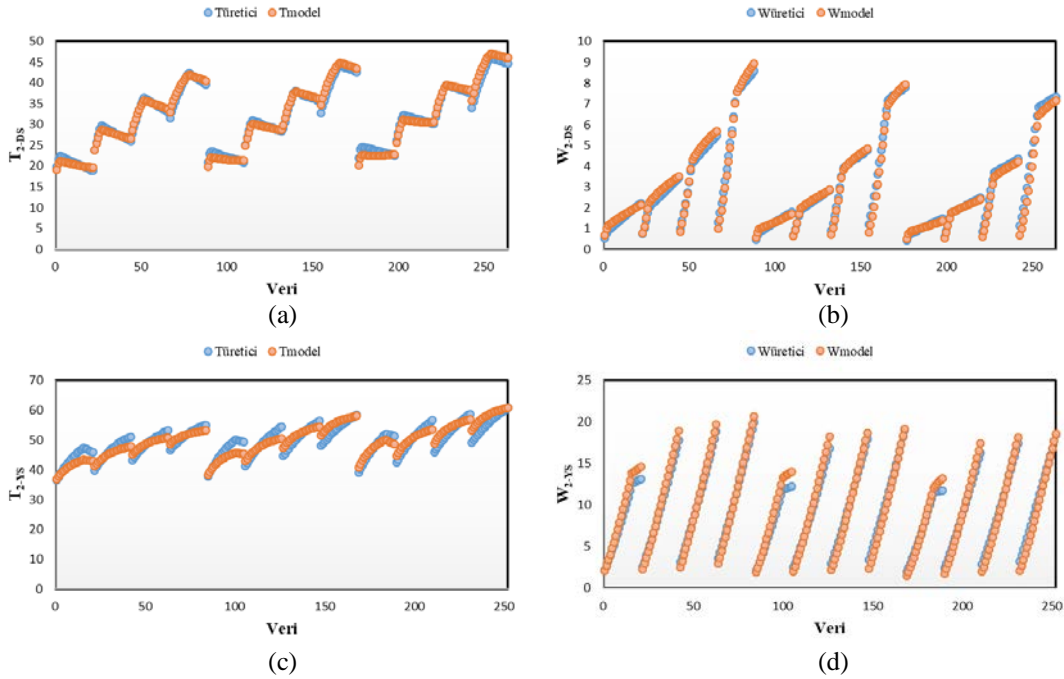
Şekil 3. 150 m³/saat debi için farklı giriş şartlarına göre, geliştirilen model ve üretici verilerinin karşılaştırılması



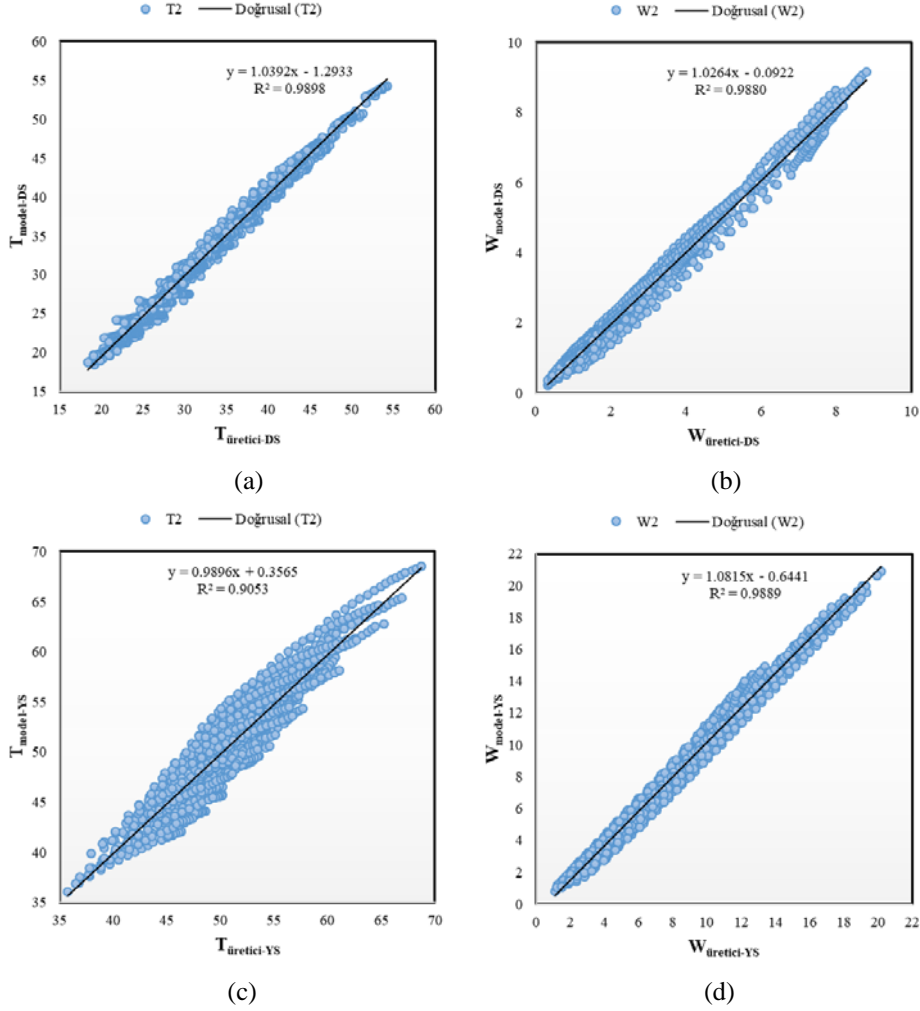
Şekil 4. 300 m³/saat debi için farklı giriş şartlarına göre, geliştirilen model ve üretici verilerinin karşılaştırılması



Şekil 5. 450 m³/saat debi için farklı giriş şartlarına göre, geliştirilen model ve üretici verilerinin karşılaştırılması



Şekil 6. 600 m³/saat debi için farklı giriş şartlarına göre, geliştirilen model ve üretici verilerinin karşılaştırılması



Şekil 7. Farklı debi ve giriş şartları için geliştirilen model ve üretici verilerinden elde edilen T_2 ve W_2 değerlerinin kıyaslanması

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, katı nem alıcı bir rotorun farklı debi ve rejenerasyon sıcaklıklarında çalışma durumu için bir model geliştirilmiştir. Jurinak'ın modeli [8] baz alınarak geliştirilen model ile proses kanalından çıkan havanın sıcaklık ve mutlak nem değerleri hesaplanabilmektedir. Çalışma sonunda:

- Nem alıcı rotora proses ve rejenerasyon havasından giren havanın şartlarına ve farklı debilere göre verimlilik faktörleri (η_1 ve η_2) için eşitlikler üretilmiştir. Düşük ve yüksek

sıcaklıklarda elde edilen verimlilik faktörlerinin doğruluk kriterleri olan RMSE ve MAE değerleri sırasıyla $RMSE_{\eta_{F1-DS}}=0,004721$ ve $MAE_{\eta_{F1-DS}}=0,008668$, $RMSE_{\eta_{F2-DS}}=0,007660$ ve $MAE_{\eta_{F2-DS}}=0,025885$, $RMSE_{\eta_{F1-YS}}=0,001447$ ve $MAE_{\eta_{F1-YS}}=0,004611$, $RMSE_{\eta_{F2-YS}}=0,071010$ ve $MAE_{\eta_{F2-YS}}=0,057195$ olarak elde edilmiştir.

- Oluşturulan verimlilik faktör eşitlikleri kullanılarak geliştirilen model ile proses kanalından çıkan havanın sıcaklık (T_2) ve mutlak nemi (W_2) sayısal olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ile üretici verileri

kiyaslandığında izlenen trendlerin birbirine uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

- Geliştirilen modelden elde edilen T_2 ve W_2 değerlerinin doğruluk kriterleri sırasıyla $RMSE_{T-DS}=0,9246$ ve $MAE_{T-DS}=0,7350$, $RMSE_{W-DS}=0,2388$ ve $MAE_{W-DS}=0,1828$, $RMSE_{T-YS}=1,8934$ ve $MAE_{T-YS}=1,5509$, $RMSE_{W-YS}=0,6441$ ve $MAE_{W-YS}=0,5220$ olarak elde edilmiştir.
- Sonuç olarak, yapılan bu çalışmayla geliştirilen modelin, farklı giriş havası şartlarında çalışan bir nem alıcı rotorun çıkış şartlarının belirlenebilmesi için kullanılabilirliğinin uygun olduğu görülmüştür.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (OKÜBAP) tarafından OKÜBAP-2018-PT3-015 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı OKÜBAP'a teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Uçkan, I., Yılmaz, T., Hürdoğan, E., Büyükalaca, O., 2015. Development of an Artificial Neural Network Model for the Prediction of the Performance of a Silica-gel Desiccant Wheel, *International Journal of Green Energy*, 12, 1159-1168.
2. Cejudo, J.M., Moreno, R., Carrilo, A., 2002. Physical and Neural Network Models of a Silica-Gel Desiccant Wheel, *Energy and Buildings*, 34, 837-844.
3. İdiz, A., Koçak, Y.C., Akdemir, Ö., Güngör, A., 2017. İklimlendirme Sistemlerinde Evaporatif Soğutma Uygulamaları, 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi (TESKON), İzmir, Türkiye.
4. Parmar, H., Hindoliya, D.A., 2011. Artificial Neural Network Based Modelling of Desiccant Wheel, *Energy and Buildings*, 43, 3505-3513.
5. Qiu, G.Q., Riffat, S.B., 2010. Experimental Investigation of a Novel Air Dehumidifier Using Liquid Desiccant, *International Journal of Green Energy*, 7, 174-80.
6. Yutong, L., Hongxing, Y., 2010. Experimental Study of an Open-Cycle Solar Collector/Regenerator Using Liquid Desiccant for Air Conditioning, *International Journal of Green Energy*, 7, 273-88.
7. Li, H., Dai, Y.J., Li, Y., La, D., and Wang, R.Z. 2011. Experimental Investigation on a One-Rotor-Two-Stage Desiccant Cooling/Heating System Driven by Solar Air Collectors, *Applied Thermal Engineering*, 31, 3677-83.
8. Jurinak, J.J., 1982. Open-cycle Solid Desiccant Cooling-Component Models and System Simulation, Ph.D. Thesis, University of Wisconsin, Madison.
9. Howe, R., Rotary Desiccant Dehumidifier, 1983. TRNLIB-Libraries of User-Written TRNSYS Components, Solar Energy Laboratory, <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/trnlib/dessi.htm>.
10. White, S.D., Goldsworthy, M., Reece, R., Spillmann, T., Gorur, A., Lee, D.Y., 2011. Characterization of Desiccant Wheels with Alternative Materials at Low Regeneration Temperatures, *International Journal of Refrigeration*, 34, 1786-1791.
11. Stabat, P., Marchio, D., 2008. Heat-and-Mass Transfers Modelled for Rotary Desiccant Dehumidifiers, *Applied Energy*, 85, 128-142.
12. Panaras, G., Mathioulakis, E., Belessiotis, V., Kyriakis, N., 2010. Experimental Validation of a Simplified Approach for a Desiccant Wheel Model, *Energy and Buildings*, 42, 1719-1725.
13. Joudi, K.A., Dhaidan, N.S., 2001. Application of Solar Assisted Heating and Desiccant Cooling Systems for a Domestic Building, *Energy Conversion and Management*, 42, 995-1022.
14. Nia, F.E., Paassen, D.V., Saidi, M.H., 2006. Modeling and Simulation of Desiccant Wheel for Air Conditioning, *Energy and Building*, 38, 1230-9.
15. Beccali, M., Butera, F., Guanella, R., Adhikari, R.S., 2003. Simplified Models for the Performance Evaluation of Desiccant Wheel Dehumidification, *International Journal of Energy Research*, 27, 17-29.

- 16.** Sheridan, J.C., Mitchell, J.W., 1985. A Hybrid Solar Desiccant Cooling System, *Solar Energy*, 34(2), 187-193.
- 17.** NovelAire 2012. Desiccant Wheel Simulation Program Version 2012. <https://www.novelaire.com>, (Erişim tarihi 10.02.19).
- 18.** Hürdoğan, E., Büyükalaca, O., Yılmaz, T., Uçkan, İ., 2011. Nem Almalı Bir İklimlendirme Sisteminin Analizi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, Türkiye.
- 19.** Das, M., Akpınar, E.K., 2018. Investigation of Pear Drying Performance by Different Methods and Regression of Convective Heat Transfer Coefficient with Support Vector Machine, *Applied Sciences*, 1-16.

Sera Mikro-İklim Şartlarının Dinamik Modellenmesi

Gökhan ARSLAN*¹, Sinan DÖLEK¹

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Mersin

Geliş tarihi: 17.01.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

Öz

Seracılığın her gün daha çok önem kazandığı ülkemizde sera içi mikro-iklim koşullarının tespit edilmesi ürün kalitesini artırmak amacıyla kurulan iklimlendirme sistemlerinin etkinliği açısından önemlidir. Saatlik meteoroloji verilerinin kullanıldığı dinamik bir matematik model oluşturularak Mersin ili Silifke ilçesinde yer alan bir seranın kışın en soğuk günleri olan 15-18 Ocak tarihlerinde mikro-iklim değerleri (iç ortam sıcaklık ve bağıl nem, toprak sıcaklığı) ısıtma olması ve olmaması durumuna göre tespit edilmiştir. 15 Ocak günü dış ortam ortalama sıcaklığı 10,8 °C iken sera içini 15 °C sıcaklığa çıkarmak için 0,796 kWh/m²gün ısıtma yüküne ihtiyaç duyulmuştur. 18 Ocak günü ise dış ortam ortalama sıcaklığı 5,3 °C iken 1,67 kWh/m²gün ısıtma yüküne ihtiyaç duyulmuştur. İdeal mikro iklim şartları ile kıyaslandığında ısıtma, havalandırma ve nemlendirme yapılması gereken zaman dilimleri ortaya konmuştur. Toprak yüzey sıcaklığının iç ortam sıcaklığına etkisinin yansırı bitki transpirasyonunun sera içi nem oranı değişiminde çok etkili olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sera, Isı ve kütle denklemleri, Toprak sıcaklığı, Bitki transpirasyonu

Dynamic Modeling of Greenhouse Micro-Climate Conditions

Abstract

Determination of micro-climatic conditions in the greenhouse in our country where greenhouse is becoming more important day by day is important for the effectiveness of air-conditioning systems used to improve plant quality. By setting a dynamic mathematical model using hourly meteorology data, micro-climatic parameters (greenhouse dry-bulb temperature and relative humidity ratio, ground surface temperature) were determined by the presence and absence of heating load on the coldest days of winter, 15-18 January, in a greenhouse in the Silifke district of Mersin province. On January 15, the average temperature of the outdoor environment was 10.8°C and the heating load of 0.796 kWh/m²day was needed to increase the temperature inside the greenhouse to 15°C. On 18 January, the average outdoor temperature was 5.3 °C and the heating load of 1.67 kWh/m²day was needed. Compared to ideal microclimate conditions, the time periods for heating, ventilation and humidification of the greenhouse were determined. The effect of soil surface temperature on the inside temperature has been demonstrated. Plant transpiration has been found to be very effective in the change of greenhouse humidity.

Keywords: Greenhouse, Heat and mass balance equations, Ground temperature, Plant transpiration

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Gökhan ARSLAN, garslan@mersin.edu.tr

1. GİRİŞ

Doğal yetiştirme şartlarının bitki gelişimi için yeterli olmadığı durumlarda bitkinin yetiştirilmesi için uygun mikro-iklim şartlarını sağlamak amacıyla ışığı geçiren malzemeler ile kaplanan alanlara sera denir. Sera mikro-iklimi sıcaklık, bağıl nem, ışınım, karbondioksit (CO₂) ve hava hareketi etmenlerinden oluşur. Seradaki mikro-iklim kalitesini etkileyen en önemli etmenler ise dış ortam sıcaklığı, güneş ışınımı, toprak sıcaklığı ve rüzgâr hızıdır. Kış aylarında ısıtılmayan seralarda oluşan en önemli sorun sera sıcaklığının düşmesi ve hava nem taşıma kapasitesinin düşerek sera içi bağıl nemin artmasıdır. Zabeltitz [1] günlük ortalama dış ortam sıcaklığının 12 °C'nin altına düşmesi durumunda seraların ısıtılması gerektiğini belirtmiştir. Yıl boyunca en uygun düzeyde bitki gelişimi için uygun koşulların sağlanması için iklimlendirme sistemlerinin dış ortam iklim etmenlerine göre uygun seçilmesi gerekir. İklimlendirme sistemlerinin enerji maliyeti göz önüne alındığında sera içi mikro-iklim şartlarının hassas tahmin edilmesi önemli bir konudur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Öztürk [2] sera mikro-ikliminin fiziksel modellenmesiyle ilgili bilimsel çalışmaların 1970'li yıllarda başladığını belirtmektedir. Kimball [3] seraya ait sıcaklıklar ve buhar basıncını tahmin edebilmek için ısı ışınım, duyulur, gizli ve iletim ısı akılarının matematik modelini oluşturmuş ve iteratif sayısal çözüm yöntemiyle denklemleri çözmüştür. Toprak katmanı, bitki yüzeyi, sera iç ortamı, örtü yüzeyi ve evaporatif soğutucu için ayrı enerji dengesi oluşturmuştur. Benzer bir dinamik model Fitz-Rodríguez ve arkadaşları [4] tarafından geliştirilmiştir. Bir önceki modelden farklı olarak örtü malzemesinin ısı depolamasının ihmal edildiği çalışmada sera içi genel kütle dengesi oluşturulmuştur ve mutlak nem miktarı da hesaplanmıştır. Reyas-Rosas ve arkadaşları [5] tabanı polipropilen mulç ile kaplı, doğal havalandırmalı bir sera için dinamik model oluşturmuştur. Bitki sıcaklığının ampirik bağıntıyla elde edildiği bu model ile sera iç sıcaklığı, örtü malzemesi sıcaklığı, mulç sıcaklığı ve toprak altı üç

katman sıcaklıkları elde edilmiştir. Konu ile ilgili literatürde bu çalışmalara benzer çok sayıda model bulunmaktadır. Sethi ve arkadaşları [6] sera mikro-ikliminin kontrolü için geliştirilen ısı modeller ile ilgili kapsamlı bir literatür araştırması yapmışlardır. Buna göre ısı modeller herhangi bir ısıtma veya ısı depolama sistemi içermeyen bağımsız model, aktif veya pasif ısıtma/ısı depolama sistemi içeren bağımlı model ve aktif soğutma sistemi içeren bağımlı model olarak üçe ayrılmıştır. Herhangi bir ısıtma veya ısı depolama sistemi içermeyen bağımsız modellerin statik ve dinamik olarak incelendiği belirtilmiştir. Statik modellemede aylık ve yıllık ortalama meteoroloji verileri kullanılmaktadır. Enerji ihtiyacı toplam ısı kaybından hesaplanmaktadır. Sethi ve arkadaşları [6] bu yöntemde ortalama değerlerin kullanılmasına bağlı olarak hata payının yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Dinamik modellerde ise saatlik meteoroloji verileri kullanılır. Dinamik modeller sera içi anlık değişimleri hesaba kattığından, statik modelleme yaklaşımına göre daha karmaşıktır. Sethi ve arkadaşları [6] bu yöntemin hata payının düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Baytorun ve arkadaşları [7] günlük ortalama sıcaklık verilerinin kullanıldığı yaklaşımın sıcaklığın yüksek olduğu dönemlerde ve serada sıcaklığın düşük tutulduğu koşullarda hatalı sonuçlara yol açtığını, bu nedenle ısı gereksiniminin saatlik değerlere göre belirlenmesinin daha sağlıklı olacağını belirtmişlerdir. Ayrıca Kaya ve Baytorun [8] saatlik veriler kullanılarak elde edilen sera ısıtma yükünün ortalama veriler kullanılarak elde edilene göre düşük çıktığını ve Mersin ilinde yer alan bir seranın ısıtma yükünün yıl içerisinde 0-0,95 kWh/m²gün değerleri arasında değiştiği belirlemişlerdir.

Verlodt [9] serada bitkilerin dondan zarar görmemesi için sera içi sıcaklığın 0 °C'nin üzerinde olması gerektiğini belirtmektedir. Ayrıca ısıtma yapılmayan seralar için, dış ortamda istenilen günlük ortalama sıcaklık 12–22 °C aralığındadır. 12 °C'den daha düşük sıcaklıklarda seraların ısıtılması gerekir. 22 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda ise sera içi serinletme yapılması

gerekmektedir. Seranın yer aldığı bölgede günlük toplam güneş ışınımı 1 kWh/m²gün'den az olamamak üzere 2,3 kWh/m²gün olmalıdır. Toprak sıcaklığı için en düşük değer 15 °C'dir ve bağıl nem %70–90 aralığında olmalıdır.

Literatür araştırması göstermektedir ki, başarılı bir modelin oluşturulabilmesi için hassas bir şekilde hesaplanması gereken parametreler;

- Anlık güneş ışınımı,
- Toplam ısı geçiş katsayısı,
- Bitki transpirasyonu,
- Toprakla olan ısı alış-verişi şeklinde sıralanabilir.

2.1. Anlık Güneş Işınımı

Seranın ısı gereksinimi bölgenin dış ortam sıcaklığı, bağıl nemi, rüzgâr hızı ve güneş ışınımı değerlerine ve seranın donanımına bağlıdır. Ölçüm kolaylığı açısından birçok meteoroloji istasyonunda sıcaklık, nem ve rüzgâr hızı verileri alınırken, güneş ışınımı ölçümleri daha az sayıda istasyonda yapılmaktadır. Literatürde bu konu ile ilgili çokça meteoroloji verilerine göre anlık güneş ışınımını tahmin eden modeller vardır. Özellikle seraların anlık ışınım ölçümü yapılmayan veya az sayıda veri olan kırsal kesimde yer almasından ötürü bu çalışma kapsamında meteoroloji verilerine göre güneş ışınımını tahmin eden model kullanılmıştır. Zhang ve Huang [10] yatay düzleme gelen anlık güneş ışınımını tahmin etmek için kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı ve bulut kapallılığını kullanan bir bağıntı geliştirmişlerdir (Eşitlik 1).

$$I = [I_0 \sin(\omega) \{c_0 + c_1(CC) + c_2(CC)^2 + c_3(T_{o,i} - T_{o,i-3}) + c_4(RH_o) + c_5V_r\} + d] / k \quad (1)$$

Bu modelde dış ortam sıcaklığı olarak anlık değeri ile üç saat önceki değeri arasındaki fark ($T_{o,i} - T_{o,i-3}$) kullanılmıştır. c_0 , c_1 , c_2 , c_3 , c_4 , c_5 , d ve k model sabitleridir. Yaman ve Arslan [11] Türkiye'nin 12 bölgesi için bu modelin katsayılarını yeniden düzenlemişlerdir. Mersin-Silifke bölgesine ait korelasyon katsayıları $c_0 = 0,6848$, $c_1 = 0,0042$, $c_2 = -0,0032$, $c_3 = 0,0097$, $c_4 = -0,0021$, $c_5 = -0,0016$, $d = -1,649$, $k = 0,843$ olarak verilmiştir.

Sera çevresinde genelde gölgelemeler olmakta ve yan yüzeylere gelen ışınım ihmal edilmektedir. Bu çalışma kapsamında ise seranın güney cephesinin tamamen açık olduğu kabul edilmiştir. Bu nedenle yatay düzleme gelen ışınımın yanı sıra düşey düzleme gelen ışınımında hesaplanması gerekmektedir. Eğik yüzeylere gelen güneş ışınımı yatay düzleme gelen anlık ışınımın yayılı bileşeni kullanılarak hesaplanmıştır. Bunun için öncelikle saatlik berraklık indeksi bulunmuştur (Eşitlik 2 ve 3).

$$k_t = \frac{I}{I_{ext}} \quad (2)$$

$$I_{ext} = I_0 \left(1 + 0,034 \cos \left[\frac{360n}{365} \right] \right) \cos(\theta_z) \quad (3)$$

Erbs ve arkadaşları [12] saatlik berraklık indeksine bağlı olarak yayılı güneş ışınım miktarını hesaplayacak basit bir bağıntı geliştirmişlerdir (Eşitlik 4).

$$\begin{aligned} \frac{I_y}{I} &= 1 - 0,09k_t & k_t &\leq 0,22 \\ \frac{I_y}{I} &= 0,9511 - 0,1604k_t + 4,388k_t^2 & & \\ &- 16,638k_t^3 + 12,336k_t^4 & 0,22 < k_t \leq 0,8 \\ \frac{I_y}{I} &= 0,165 & k_t &> 0,8 \end{aligned} \quad (4)$$

Atmosfer dışında eğik düzleme gelen güneş ışınımının yatay düzleme gelen ışınım oranı, direkt güneş ışınımı için yeryüzünde de aynı kaldığı kabul edilmiştir. Buna göre eğik düzleme gelen direkt güneş ışınımı geometrik faktör ile bulunur. θ güneş geliş açısı olup güneş ışınlarının eğik düzlemin normali ile yaptığı açıdır. θ_z ise zenith açısı olup yatay düzlemin normali ile direkt güneş ışınlarının (güneş-yer doğrultusunun) yaptığı açıdır (Eşitlik 5-7).

$$R_d = \frac{I_{de}}{I_d} = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_z)} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \cos(\theta) &= \sin(\delta) \sin(\varphi) \cos(s) \\ &- \cos(\gamma_{yüzey}) \sin(\delta) \cos(\varphi) \sin(s) \\ &+ \cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(\omega) \cos(s) \\ &+ \cos(\delta) \sin(\varphi) \sin(s) \cos(\omega) \cos(\gamma_{yüzey}) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & +\sin(\gamma_{\text{yüzey}})\cos(\delta)\sin(\omega)\sin(s) \\ \cos(\theta_z) & =\cos(\varphi)\cos(\delta)\cos(\omega)+\sin(\varphi)\sin(\delta) \end{aligned} \quad (7)$$

Eğik düzleme gelen güneş ışınımı hesaplanırken isotropik gökyüzü kabulü yapılmıştır. Buna göre anlık yayılı ışınım ile yansıyan ışınım (albedo) değerleri eğim açısından bağımsız şekilde hesaplanmıştır (Eşitlik 8).

$$I_e=I_{de}+I_y\left(\frac{1+\cos(s)}{2}\right)+I_{p_{yer}}\left(\frac{1-\cos(s)}{2}\right) \quad (8)$$

2.2. Toplam Isı Geçiş Katsayısı

Sera örtü malzemesinden çevreye olan kayıpların belirlenmesi için örtü malzemesinin ısı özelliklerine ek olarak iç ve dış ortam ısı taşınım katsayılarının hassas bir şekilde belirlenmesi gerekir. Dış ortam ısı taşınım katsayısı için birçok araştırmacı rüzgâr hızına bağlı bağıntılar geliştirmiştir. En yaygın kullanılan bağıntılardan biri McAdams [13] tarafından geliştirilmiştir. Bu bağıntı sadece taşınım etkisine göre oluşturulmuştur (Eşitlik 9).

$$h_o=5,7+3,8V_r \quad (9)$$

ASHRAE Temel el kitabında [14] cam gibi yüzeyler için yüzey pürüzlülüğünün yanı sıra gökyüzüne, toprağa ve çevreye olan ışınım etkisini içeren bir bağıntı verilmiştir. Daha güncel olması açısından bu çalışma kapsamında Eşitlik 10'da verilen bağıntı kullanılmıştır.

$$h_o=8,23+3,33V_r-0,036V_r^2 \quad (10)$$

İç ortam ısı taşınım katsayısı, ASHRAE el kitabına [15] göre düşey yüzeyler için $h_i=3,076$ W/m²K, yatay yüzeyler için ise $h_i=4,04$ W/m²K alınmıştır. İç ortam ısı taşınım katsayısını saatlik hava değişim oranına (ACH) göre elde eden bağıntılarda literatürde yer almıştır. Fisher ve Pedersen [16] 3-12 ACH hava değişim aralığı için duvar, tavan ve zemin için geçerli bağıntılar geliştirmiştir (Eşitlik 11-13).

$$h_i=3,873+0,082(ACH)^{0,98}(\text{zemin}) \quad (11)$$

$$h_i=2,234+4,099(ACH)^{0,503}(\text{tavan}) \quad (12)$$

$$h_i=1,208+1,012(ACH)^{0,604}(\text{duvar}) \quad (13)$$

3-12 ACH aralığında duvar ısı taşınım katsayısı 3,2-5,8 W/m²K aralığında, tavan ısı taşınım katsayısı 9,4-16,5 W/m²K aralığında ve zemin ısı taşınım katsayısı 4,1-4,8 W/m²K aralığında değişmektedir. Sera iklimlendirmesinde hava değişim oranının etkisini de matematik modelde göstermek için Eşitlik 11, 12, 13'de verilen bağıntılar tercih edilmiştir. Buna göre toplam ısı geçiş katsayısı Eşitlik 14'e göre hesaplanmıştır.

$$\frac{1}{UA}=\frac{1}{h_iA}+\frac{L_0}{k_0A}+\frac{1}{h_oA} \quad (14)$$

Eşitlik 14 duvar ve tavan için ısı taşınım katsayıları ile yüzey alanları değiştiği için ayrı ayrı yazılması gerekmektedir.

2.3. Bitki Transpirasyonu

Seralarda evapotranspirasyon bitki transpirasyonu ve topraktan buharlaşma ile gerçekleşir. Belirli bir sıcaklıktaki bitki, yaprağındaki stomalar aracılığıyla bünyesindeki suyu ortam havasına aktarır. Bitkilerin bu tür fizyolojik işlemlerinin tanımlanması çok karmaşıktır. Fitz-Rodríguez ve arkadaşları [4] bitki transpirasyonunun seraya ulaşan güneş ışınımı ile doğru orantılı kabul ederek farklı boylarda bitkiler için bağıntı geliştirmiştir. Bu bağıntı, referans bitki transpirasyon miktarı 0.103 g/m²s olacak şekilde oluşturulmuştur (Eşitlik 15).

$$\dot{E}_T=\begin{cases} 0,0003\tau_c\dot{Q}_{\text{rad}}+0,0021, & \text{Büyük bitki} \\ 0,00006\tau_c\dot{Q}_{\text{rad}}+0,0004, & \text{Küçük bitki} \end{cases} \quad (15)$$

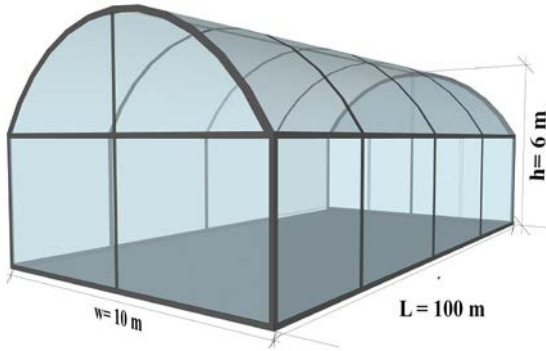
Bu çalışma kapsamında serada büyük bitki bulunduğu kabul edilmiştir. Bitki transpirasyonu bitki yüzey alanı ile doğru orantılıdır ve toplam bitki yüzey alanı 250 m² alınmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışma kapsamında seracılığın son yıllarda artış gösterdiği Mersin İli Silifke İlçesi'nde yer alan

(enlem=36,4°, boylam=33,9°, rakım=15 m) bir sera incelenmiştir. Şekil 1’de genel görünümü verilen sera 1000 m²’lik bir alan üzerine, direkli tünel sera modeli olarak inşa edilmiştir.



Şekil 1. Seranın genel görünümü

Sera IR katkı maddesine sahip PE plastik ile kaplanmıştır. Örtü malzemesinin özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Sera örtü malzemesi özellikleri

Özellikler	Çift katlı polietilen, IR Katkılı
Kalınlık	0,01 m
Isıl İletkenlik	0,06 W/mK
Yoğunluk	300 kg/m ³
Isıl Emilim ve Yayılım	%90
Özgül ısı	1220 J/kgK
Güneş geçirgenliği	%76
Güneş Yansımaları	%6
Görünür Geçirgenlik	%82
Görünür Yansıma	%13

Bu çalışma kapsamında, seranın bulunduğu bölgede yer alan meteoroloji istasyonunda 2012 yılında kaydedilmiş saatlik kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, bulut kapallığı, rüzgâr hızı ve yönü ile 1 metre derinlikte günlük ortalama toprak sıcaklığı verileri kullanılmıştır.

3.2. Matematik Model

Bu çalışma kapsamında seranın iç ortam sıcaklığı, nem miktarı ve toprak sıcaklığını tahmin etmek için enerji ve kütle denklilikleri oluşturulmuştur. Aylık ortalama verilerin kullanıldığı statik çözümlerden farklı olarak saatlik meteoroloji verilerinin kullanıldığı, sera içi zamana bağlı değişimleri hesaba katan dinamik yaklaşım ortaya konmuştur. Matematik model saatlik veri girdileri, dış ortam kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, bulut kapallığı, yüzeylere gelen ışınım, rüzgâr hızı ve yönüdür. Ayrıca, 1 metre derinlikte günlük ortalama toprak sıcaklığı da kullanılmıştır. Sera iç ortam iklim şartlarını belirlemek için oluşturulan matematik modelde yapılan başlıca kabuller;

- Sera içi sıcaklık homojen dağılımlıdır.
- Sera içinde yoğuşma olmamaktadır.
- Sera açıklıklarından çıkan hava ortalama sera sıcaklığındadır.
- Seraya giren hava dış ortam sıcaklığındadır.
- Toprak yüzeyinde meydana gelen buharlaşma ihmal edilmiştir.
- Örtü malzemesinde enerji depolanmamaktadır.

3.2.1. Sera İç Ortam Havası İçin Enerji Dengesi

Örtü malzemesi ve toprak zemin ile çevrili sera iç ortam havası, çevre ($\dot{Q}_{\text{kayıp}}$) ve toprak ile ısı alış-verişindedir ($\dot{Q}_{\text{a-toprak}}$). Örtü malzemesinden seraya ulaşan güneş ışınımının belli bir kısmı hava tarafından soğurulmaktadır ($\alpha_a \tau_c \dot{Q}_{\text{rad}}$). Doğal olarak havalandırılan seranın sızıntılarda dâhil çevre ile hava değişimi sonucu ısı alış-verişi olmaktadır (\dot{Q}_{hava}). Bitki transpirasyonu sonucu ortama ısı aktarımı olmaktadır (\dot{Q}_{eva}). Sera sıcaklığını istenilen değere getirmek için gerekli olan ısıtma yükü de ($\dot{Q}_{\text{ısıtma}}$) enerji dengesinde belirtilmiştir. Eğer ısıtma yapılmayacaksa bu değer sıfır alınmaktadır (Eşitlik 16-21).

$$\rho_a c_{pa} V_a \frac{dT_a}{dt} = \alpha_a \tau_c \dot{Q}_{\text{rad}} - \dot{Q}_{\text{kayıp}} - \dot{Q}_{\text{hava}} - \dot{Q}_{\text{a-toprak}} - \dot{Q}_{\text{eva}} + \dot{Q}_{\text{ısıtma}} \quad (16)$$

$$\dot{Q}_{rad}=(A_{dik}I_{dik}+A_{yat}I) \quad (17)$$

$$\dot{Q}_{kayıp}=[(UA)_{duvar}+(UA)_{tavan}](T_a-T_o) \quad (18)$$

$$\dot{Q}_{a,toprak}=A_{toprak}h_{toprak}(T_a-T_t) \quad (19)$$

$$\dot{Q}_{hava}=\rho_a c_{pa} \frac{ACH \times V_a}{3600} (T_a-T_o) + h_{fg} \frac{ACH \times V_a}{3600} (W_a-W_o) \quad (20)$$

$$\dot{Q}_{eva}=h_{fg} \dot{E}_T A_{bitki} \quad (21)$$

Sera içi soğurma oranı (α_a) için Kıyan ve arkadaşları [17] ile Singh ve arkadaşları [18] yapmış oldukları kabuller kullanılmıştır ve 0,36 alınmıştır. Örtü malzemesi ışık geçirgenliği (τ_c) ise 0,76 alınmıştır [2].

3.2.2. Sera İç Ortam Havaşı için Kütle Dengesi

Sera içi nem oranı bitki gelişimi için önemli bir iklim parametresidir. Havalandırma, evapotranspirasyon ve yoğunlaşma hava nemini etkilemektedir. Yoğuşmanın ihmal edildiği bu matematik model için kütle dengesi oluşturulmuştur (Eşitlik 22).

$$\rho_a V_a \frac{dW_a}{dt} = \dot{E}_T A_{bitki} - \rho_a \frac{ACH \times V_a}{3600} (W_a - W_o) \quad (22)$$

3.2.3. Toprak için Enerji Dengesi

Toprak enerji depoladığı için gün içerisinde sera iklim şartlarına etki etmektedir. Toprak yüzeyi ile sera iç havası arasında taşınım ile ısı geçişi gerçekleşir ($\dot{Q}_{a-toprak}$). Sera içine giren güneş ışınımının belli bir kısmı toprak yüzeyine düşer. Bu güneş ışınımının bir kısmı toprak tarafından soğurulur ($\alpha_{toprak} \dot{Q}_{rad}$). Meteoroloji istasyonunda bir yıl boyunca ölçülen 1 metre derinlikteki günlük ortalama toprak sıcaklığı kullanılarak Xing [19] tarafından geliştirilen bağıntı ile toprak derinliği boyunca sıcaklık değişimi incelenmiştir (Eşitlik 23).

$$T(z, t_{gün}) = T_{t,ort} - \Delta T_{t,ort} e^{-z \sqrt{\frac{\pi}{a_t \tau}}} \cos \left(\frac{2\pi}{\tau} (t_{gün} - \theta_{gün}) - z \sqrt{\frac{\pi}{a_t \tau}} \right) \quad (23)$$

Buna göre gün içerisinde 1 metre derinlik boyunca sıcaklık değişiminin doğrusal olduğu tespit edilmiş ve toprak için enerji dengesi oluşturulmuştur. Bu yaklaşımda toprak ısı yayılım katsayısı (α_t) $9,72 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ve ısı iletim katsayısı (k_{toprak}) 10 W/mK olarak alınmıştır (Eşitlik 24 ve 25).

$$\rho_{toprak} c_{ptoprak} V_{toprak} \frac{dT_t}{dt} = \alpha_{toprak} \tau_c \dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{toprak, iletim} + \dot{Q}_{a-toprak} \quad (24)$$

$$\dot{Q}_{toprak, iletim} = -k_{toprak} A_{toprak} \frac{T_{z=1m} - T_t}{L_t} \quad (25)$$

Toprak ısıtım soğurma oranı (α_{toprak}) Fitz-Rodríguez ve arkadaşları [4] yapmış olduğu çalışmada olduğu gibi 0,7 alınmıştır.

3.2.4. Çözüm Yöntemi

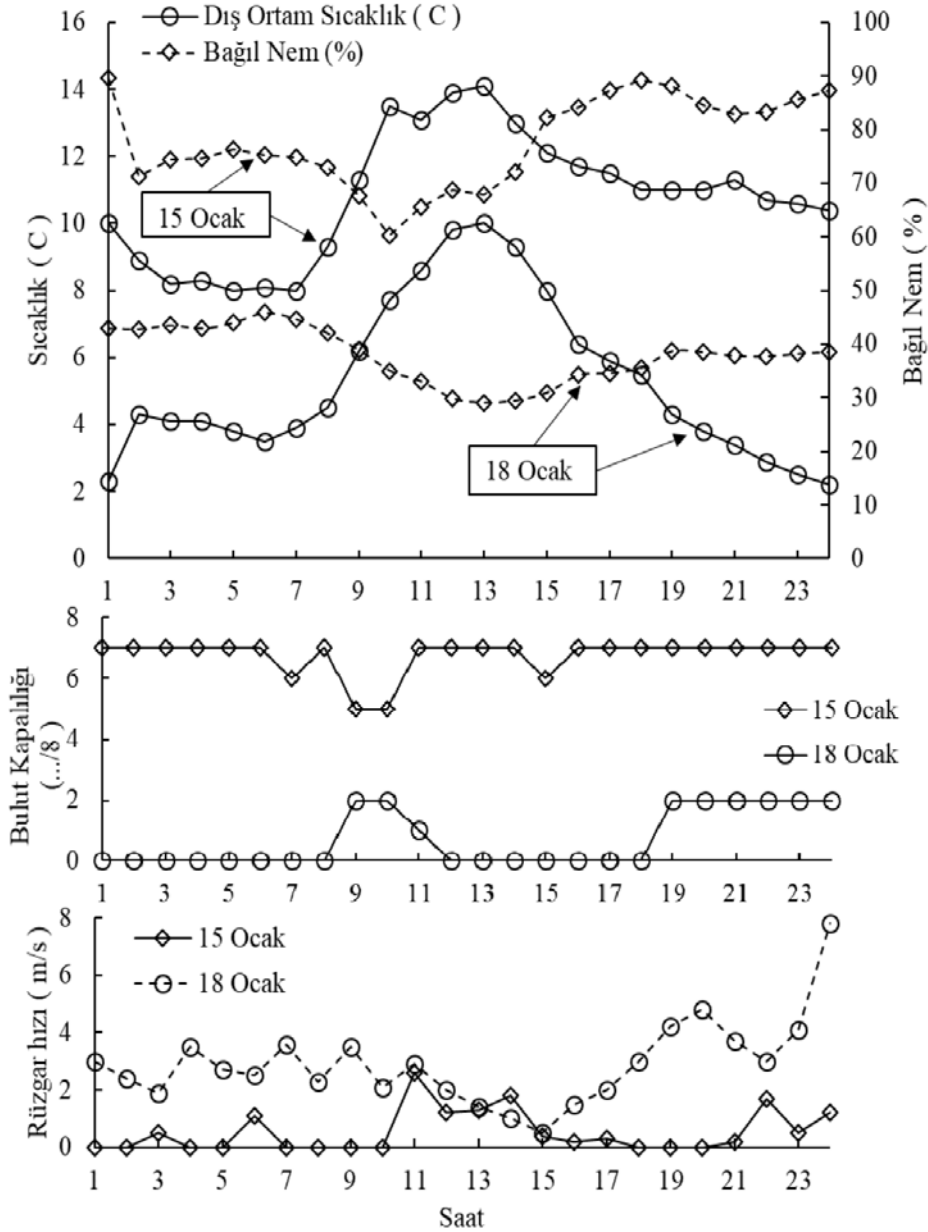
Sera iç ortam mikro iklim şartlarını belirlemek için oluşturulan matematik modelin sayısal çözümü Euler yaklaşımına göre yapılmıştır. Diferansiyel denklemler ileri sonlu fark yöntemi kullanılarak ayrıştırılmış ve Matlab® programında hazırlanan kod ile eş zamanlı çözülmüştür. Stabil çözüm elde edebilmek için zaman dilimi 1 saniye seçilmiştir.

İlk önce ısıtma yapılmadan ($\dot{Q}_{ısıtma}$) sera içi mikro iklim şartları belirlenmiştir. Daha sonra aynı şartlar altında sera içi sıcaklığı $15 \text{ }^\circ\text{C}$ yapmak için gerekli olan ısı yükü belirlenmiştir. Güneş ışınımı etkisi ile sera içi sıcaklık $15 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üstünde olduğu zamanlarda ısıtma yapılmamıştır.

4. BULGULAR

Matematik model, kışın en soğuk dönemi olan Ocak ayı içerisinde farklı meteorolojik değerlere sahip 15 Ocak ve 18 Ocak için çözdürülmüştür. Devlet Meteoroloji İstasyonundan alınan verilere göre 15 Ocak gününün ortalama dış sıcaklığı $10,8 \text{ }^\circ\text{C}$, bağıl nemi %78 ve 18 Ocak için sırasıyla $5,3 \text{ }^\circ\text{C}$, %38 ölçülmüştür. Şekil 2'de bu tarihlere ait saatlik dış ortam kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, bulut kapalılığı ve rüzgâr hızı verilmiştir. 15 Ocakta

gökyüzü tamamen bulutla kapalı iken ortalama rüzgâr hızı 0,5 m/s'dir. 18 Ocakta ise tamamen açık bir gökyüzü vardır ve ortalama rüzgâr hızı 2,9 m/s'dir (Şekil 2).

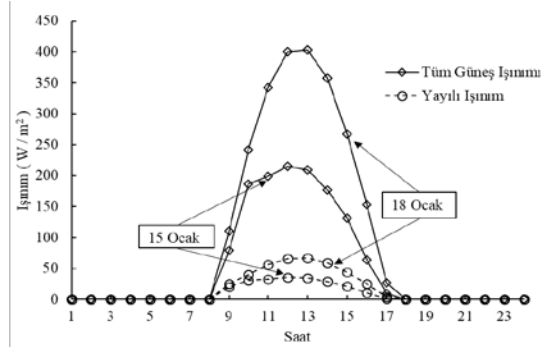


Şekil 2. 15 ve 18 Ocak günlerine ait saatlik meteoroloji verileri

Şekil 3'te Zhang ve Huang [10] modeline göre tahmin edilen saatlik güneş ışınımı ve hesaplanan yayılı ışınım değerleri verilmiştir. Bulut

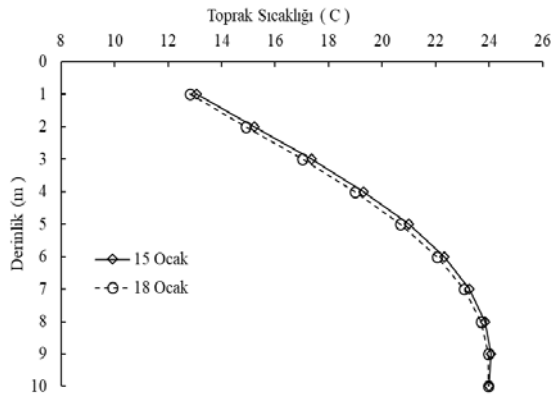
kapalılığının yoğun olduğu 15 Ocak günü ışınım değerlerinin az olduğu tespit edilmiştir. Günlük yatay düzleme gelen toplam ışınım 15 Ocak için

1,27 kWh/m²gün, 18 Ocak için 2,3 kWh/m²gün olarak hesaplanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Zhang ve Huang [10] modeline göre tahmin edilen anlık tüm güneş ışınımı ve hesaplanan yayılı ışınım değerleri

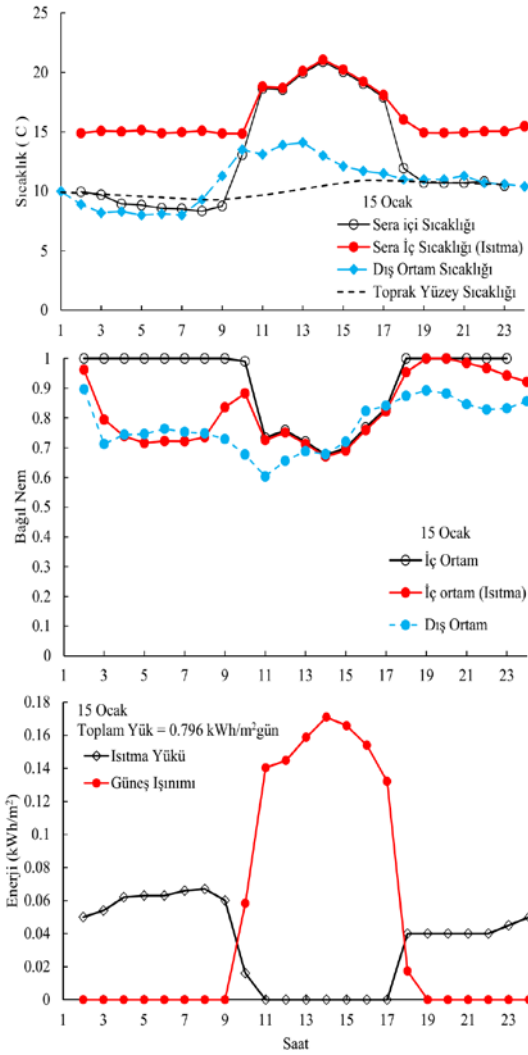
Devlet Meteoroloji İstasyonundan alınan 1 metre derinlikte toprak sıcaklık değerleri 15 Ocak için 13,3 °C ve 18 Ocak için 13,2 °C'dir. Xing [19] modeli kullanılarak toprak derinliği boyunca sıcaklık değişimi elde edilmiştir ve Şekil 4'te verilmiştir. Yaklaşık 8-9 metreye kadar sıcaklığın doğrusal bir şekilde arttığı ve sonrasında değişmediği tespit edilmiştir.



Şekil 4. Toprak sıcaklığının derinlik ile değişimi

Şekil 5'te 15 Ocak için serada ısıtmanın yapılması ve yapılmaması durumlarına göre matematik modelden elde edilen sera içi ortam ve toprak sıcaklıkları verilmiştir. Toprak yüzey sıcaklığının gün boyunca çok fazla değişmediği gözlemlenmiştir. Gün doğumu ile birlikte sera

ortam sıcaklığının arttığı ve yaklaşık 20-22 °C'ye ulaşmıştır.



Şekil 5. Dinamik modelden elde edilen sera içi sıcaklık ve nem değerleri (15 Ocak)

ısıtmanın yapılması durumunda sera içi sıcaklığı 15 °C olarak alınmıştır. Bu değer üstünde, 11:00-17:00 saatleri aralığında, ısıtma yükü sıfır olarak hesaplanmıştır. Havalandırma ve istenmeyen açıklıklardan olan hava değişimi 1 ACH olarak alınmıştır ve bu değer tüm gün sabit olduğu kabul edilmiştir. Isıtmanın yapılmadığı ve güneş ışınımının olmadığı koşullarda toprak sıcaklığının etkisi ile iç

ortam sıcaklığının dış ortam sıcaklığına göre biraz yüksek olduğu görülmüştür. Isıtmanın yapılması durumunda gün doğumundan önceki ısıtma yükünün gün doğumundan sonraki değerlerden büyük olduğu görülmektedir. Gün batımından sonra gerekli olan ısıtma yükündeki azalma toprağın ısı depolamasına bağlıdır.

Yapılan hesaplamalarda sera içi sıcaklığının minimum 15 °C'de tutulmak istenmesi durumunda ısı gereksinimi 0,796 kWh/m²gün olarak hesaplanmıştır. Şekil 5'te ayrıca sera ve dış ortam bağıl nem değerleri verilmiştir. Isıtmanın yapılmadığı ve güneş ışınımının olmadığı koşullarda serada bağıl nemin doyma noktasına ulaştığı belirlenmiştir.

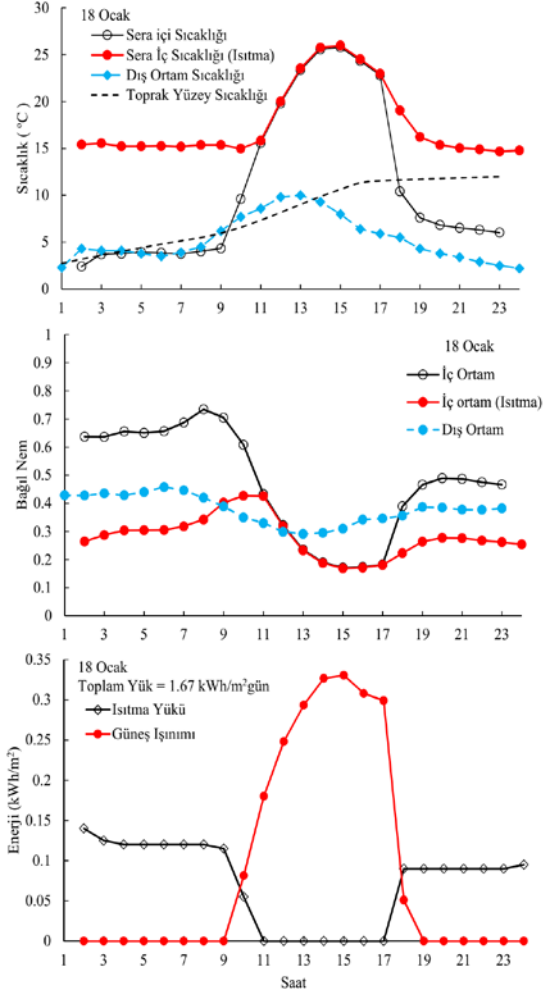
Fitz-Rodríguez ve arkadaşları [4] bitki transpirasyon modeline göre güneş ışınımının olmadığı koşullarda da bitkilerde transpirasyon gerçekleşmektedir.

15 Ocak gününde toplam bitki yüzey alanının 250 m² alındığı modelde bitki transpirasyonu ile sera nem oranı doyma noktasına gelmiştir. Isıtma olması durumunda artan sera sıcaklığına bağlı olarak havanın su tutma kapasitesi artmış ve sera içi bağıl nem değeri dış ortam değerlerine yakın çıkmıştır.

Şekil 6'da 18 Ocak gününe ait sera sıcaklık değerleri verilmiştir. 15 Ocaktan farklı olarak güneş ışınımının yüksek olmasından ötürü gün doğumundan batımına kadar sera içerisinde ortam sıcaklığının arttığı ve yaklaşık 24-26 °C olduğu tespit edilmiştir.

Güneş ışınımının yüksek olmasına bağlı olarak toprak yüzey sıcaklığı 10 °C'nin üstüne çıkmıştır. Bu durumda ısıtılmayan serada gün batımından sonra sera içi sıcaklığı dış ortam hava sıcaklığının yaklaşık 3 °C üstünde olduğu anlaşılmıştır.

Isıtılmayan serada sıcaklığı minimum 15 °C'de tutmak için 1,67 kWh/m²gün enerjiye ihtiyaç duyulduğu hesaplanmıştır. Anlık ısıtma yükü ihtiyacı incelendiğinde gün batımından sonra depolanan enerjinin etkisi ile ısıtma yükünde düşme meydana gelmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Dinamik modelden elde edilen sera içi sıcaklık ve nem değerleri (18 Ocak)

Şekil 6'da ayrıca 18 Ocak günü için serada ısıtma olması ve olmaması durumlarına göre sera içi ve dış ortam bağıl nem değerleri verilmiştir. Isıtılmayan serada bir önceki sonuçlara benzer olarak güneş ışınımının olmadığı vakitlerde sera içi sıcaklık dış ortama yakın iken, bağıl nem dış ortama göre yüksektir. Ancak dış ortam bağıl nemi %40 seviyesinde olduğu için bitki transpirasyonu sonucu nem miktarındaki artış doyma noktasına ulaşmamıştır. Isıtılan serada sıcaklık 15 °C'de tutulduğunda serada bağıl nem miktarında düşüş olmuştur. Bu zaman aralıklarında nemlendirme ihtiyacı oluşmuştur.

5. DEĞERLENDİRME

Mersin İli Silifke İlçesi'nde yer alan bir sera için dinamik yaklaşım ile matematik model oluşturulmuştur. Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait meteoroloji istasyonundan alınan kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı ve yönü, bulut kapalılığı ve 1 metre derinlikte toprak sıcaklığı verileri kullanılarak sera içi ortam sıcaklığı, toprak yüzey sıcaklığı, nem oranı saatlik olarak tespit edilmiştir. Yatay ve dik yüzeylere gelen toplam ışınım değerleri hesaplanmıştır.

Hem 15 Ocak hem de 18 Ocak günlerinde dış sıcaklık geceleri 12 °C'nin altında olduğu için ısıtma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Serada sıcaklığı minimum 15°C'de tutabilmek için gerekli olan ısı yükü anlık olarak hesaplanarak 15 Ocak için 0,796 kWh/m²gün, 18 Ocak için 1,67 kWh/m²gün bulunmuştur.

15 Ocak gününde hesaplanan sera içi sıcaklık maksimum 22°C olduğu için havalandırmaya ihtiyaç duyulmamıştır. Ancak 18 Ocak günü saat 13.⁰⁰-15.⁰⁰ arası sıcaklık 22 °C'nin üzerine yükseldiğinden serada havalandırma ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

15 Ocak günü ısıtılmayan serada nem oranı gece doyma noktasına ulaştığından havalandırma yapılarak nem oranı aşağıya çekilmelidir. Bu sayede sera içi yoğunlaşmanın önüne geçilecektir. Gündüz sera içi nem oranı %60-70 aralığında değiştiğinden serada havanın nemlendirilmesine gerek yoktur.

Isıtılan serada nem oranı düşmüştür. 18 Ocak günü ise hem gece hem de gündüz sera içi nem oranı %70'in altında olduğundan serada havanın nemlendirmesi gerekmektedir. Isıtmanın olması durumunda daha fazla nemlendirmeye ihtiyaç duyulacaktır.

15 Ocak günü yatay düzleme gelen toplam güneş ışınımı 1,27 kWh/m²gün iken 18 Ocakta bu değer 2,30 kWh/m²gün olmuştur.

Sonuç olarak sera içi mikro-iklim şartlarının belirlenmesi birçok parametrenin ölçümüne

bağlıdır. Bu çalışma ile bitki transpirasyonunun iç ortam nem miktarının belirlenmesinde etkili olduğu ortaya konmuştur. Toprak enerji depolama özelliğinden ötürü doğrudan sera içi sıcaklığı etkilemektedir. Anlık ısıtma yükü değişimi incelendiğinde ise bu yükün oluşumunda baskın olan parametrenin sera içi ile dış ortam arasında sıcaklık farkından dolayı oluşan ısı geçişi olduğu anlaşılmaktadır.

Semboller

A	: Alan (m ²)
ACH	: Hava değişim katsayısı (1/h)
A _{bitki}	: Bitki yüzey alanı (m ²)
A _{dik}	: Sera düşey yüzey alanı (m ²)
A _{toprak}	: Toprak yüzey alanı (m ²)
A _{yat}	: Sera yatay yüzey alanı (m ²)
CC	: Bulut kapalılığı
C _{pa}	: Hava özgül ısı (J/kgK)
C _{ptoprak}	: Toprak özgül ısı (j/kgK)
Ė _T	: Bitki transpirasyonu (gr/m ² s)
h _{fg}	: Su gizli ısı (j/kg)
h _i	: İç ortam ısı taşınım katsayısı (W/m ² K)
h _o	: Dış ortam ısı taşınım katsayısı (W/m ² K)
h _{toprak}	: Toprak yüzey ısı taşınım katsayısı (W/m ² K)
I	: Yatay düzleme gelen anlık ışınım (W/m ²)
I _d	: Yatay düzleme gelen anlık direkt ışınım (W/m ²)
I _{de}	: Eğik düzleme gelen anlık direkt ışınım (W/m ²)
I _{dik}	: Dik yüzeye gelen ışınım (W/m ²)
I _e	: Eğik düzleme gelen anlık ışınım (W/m ²)
I _{ext}	: Atmosfer dışı yatay düzleme gelen anlık ışınım (W/m ²)
I _o	: Işınım sabiti (1355 W/m ²)
I _y	: Yatay düzleme gelen anlık yayılı ışınım (W/m ²)
k _ö	: Örtü malzemesi ısı iletim katsayısı (W/mK)
k _{toprak}	: Toprak ısı iletim katsayısı (W/mK)
k _t	: Saatlik berraklık indeksi
L _ö	: Örtü malzemesi kalınlığı (m)
L _t	: Toprak kalınlığı (m)
n	: Gün sayısı
Q _{a-toprak}	: Sera iç havası ile toprak ısı alışverişi (W)

\dot{Q}_{eva}	: Evapotranspirasyon ısısı (W)
\dot{Q}_{hava}	: Havalandırma ile olan ısı kaybı (W)
$\dot{Q}_{kayıp}$: Sera iletim ve taşınım ısı kaybı (W)
\dot{Q}_{rad}	: Sera dış yüzeyin gelen toplam ışınlam (W)
$\dot{Q}_{ısıtma}$: Isı yükü (W)
$\dot{Q}_{toprak,iletim}$: Toprakta iletimle olan ısı geçişi (W)
R_d	: Işınlam geometrik faktörü
RH	: Bağıl nem (%)
RH_o	: Dış ortam Bağıl nemi (%)
s	: Yüzey eğimi (°)
T	: Sıcaklık (°C)
T_a	: Sera iç sıcaklığı (°C)
$t_{gün}$: Gün sayısı
T_o	: Dış ortam kuru termometre sıcaklığı (°C)
$T_{o,i}$: i saatinde dış ortam kuru termometre sıcaklığı (°C)
$T_{o,i-3}$: (i-3) saatinde dış ortam kuru termometre sıcaklığı (°C)
T_t	: Toprak yüzey sıcaklığı (°C)
$T_{t,ort}$: Yıllık ortalama toprak sıcaklığı (z=1m) (°C)
UA	: Toplam ısı geçiş katsayısı (W/K)
V_r	: Rüzgâr hızı (m/s)
W_a	: Sera içi nem miktarı (kg/kg kuru hava)
W_o	: Dış ortam nem miktarı (kg/kg kuru hava)
z	: Derinlik (m)
α_a	: Hava ışınlam soğurma oranı (0,36)
α_{toprak}	: Toprak ışınlam soğurma oranı (0,7)
α_t	: Toprak ısı yayılım katsayısı (m ² /s)
$\gamma_{yüzey}$: Yüzey azimut açısı (°)
δ	: Denklasyon açısı (°)
$\Delta T_{t,ort}$: Ortalama sıcaklık genliği (°C)
θ	: Güneş geliş açısı (°)
$\theta_{gün}$: En düşük sıcaklığın olduğu gün
θ_z	: Zenith açısı (°)
φ	: Enlem (°)
ω	: Saat açısı (°)
ρ_a	: Sera içi hava yoğunluğu (kg/m ³)
ρ_{yer}	: Yeryüzü ışınlam yansıtma oranı
ρ_{toprak}	: Toprak yoğunluğu (kg/m ³)
τ	: Zaman sabiti, 365
τ_c	: Örtü malzemesi ışık geçirgenliği (0,76)
V_a	: Sera iç hacmi (m ³)
V_{toprak}	: Toprak hacmi (m ³)

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi tarafından 2018-1-TP2-2904 no'lu proje ile desteklenmiştir.

7. KAYNAKLAR

1. Zabeltitz, Chr. Von., 2011. Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates: Climate Conditions, Design, Construction, Maintenance, Climate Control, Springer Heidelberg Dordrecht London New York.
2. Öztürk, H. H., 2008. Sera İklimlendirme Tekniği, Hasad Yayıncılık.
3. Kimball, B.A., 1973. Simulation of the Energy Balance of a Greenhouse, Agric. Meteorol., 11, 243-260.
4. Fitz-Rodríguez, E., Kubota, C., Giacomelli, G.A., Tignor, M.E., Wilson, S.B., McMahon, M., 2010. Dynamic Modeling and Simulation of Greenhouse Environments Under Several Scenarios: a Web-based Application. Computers and Electronics in Agriculture, 70, 105-116
5. Reyes-Rosas A., Molina-Aiz, F.D., Valera, D.L., López A., Khamkure, S., 2017. Development of a Single Energy Balance Model for Prediction of Temperatures Inside a Naturally Ventilated Greenhouse With Polypropylene Soil Mulch. Computers and Electronics in Agriculture, 142, 9-28.
6. Sethi, V.P., Sumathy, K., Lee, C., Pal, D.S., 2013. Thermal Modeling Aspects of Solar Greenhouse Micro Climate Control: A Review on Heating Technologies. Solar Energy, 96, 56-82.
7. Baytorun, A. N., Zaimoğlu, Z., Akyüz, A., Üstün, S., Çaylı, A., 2018. Comparison of Greenhouse Fuel Consumption Calculated Using Different Methods with Actual Fuel Consumption. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 6(7), 850-857.
8. Kaya, B., Baytorun, A.N., 2017. Calculation of Greenhouse Heating Energy Requirements Under Mersin (Turkey) Climatic Conditions with Different Technical Approaches. Acta

- Hortic. 1170, 531-538. doi: 10.17660/Acta Hort. 2017.1170.66
9. Verloot, H., 1990. In Protected Cultivation in The Mediterranean Climate. Greenhouses in Cyprus, FAO.
 10. Zhang, Q.Y., Huang, Y.J., 2002. Development of Typical Year Weather Files for Chinese Locations, ASHRAE Transactions, 108, 1063-1075.
 11. Yaman, K., Arslan, G., 2018. The impact of Hourly Solar Radiation Model on Building Energy Analysis in Different Climatic Regions of Turkey. Build Simul, 11, 483-495.
 12. Erbs, D.G., Klein, S.A., Duffie, J.A., 1982. Estimation of the Diffuseradiation Fraction for Hourly, Daily and Monthly-average Global Radiation, Solar Energy, 28(4), 293-302.
 13. McAdams, W.H., 1954. Heat Transmission, New York, McHraw-Hill.
 14. ASHRAE Handbook: Fundamentals, 1989. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Atlanta, GA.
 15. ASHRAE Handbook: Fundamentals, 1985. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Atlanta, GA.
 16. Fisher, D.E., Pedersen, C.O., 1997. Convective Heat Transfer in Building Energy and Thermal Load Calculations. ASHRAE Transactions, 103, Pt. 2.
 17. Kıyan, M., Bingöl, E., Melikoglu, M., Albostan, A., 2013. Modelling and Simulation of a Hybrid Solar Heating System for Greenhouse Applications Using Matlab/Simulink. Energy Conversion and Management, 72, 147-155.
 18. Singh, R.D., Tiwari, G.N., 2010. Energy Conservation in the Greenhouse System: A Steady State Analysis. Energy, 35(6), 2367-2373.
 19. Xing, L., 2014. Estimations of Undisturbed Ground Temperatures using Numerical and Analytical Modeling. Ph.D. Diss. Oklahoma State University, Stillwater, OK.

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi Yazım Kuralları

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi mühendislik bilimlerindeki güncel bilimsel ve teknik gelişmeleri araştırmacılara ve mühendislere ulaştırmayı hedeflemektedir. Tüm mühendislik alanları ile ilgili teorik/deneysel ve uygulamaya yönelik çalışmalar Dergi'nin ilgi alanındadır. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi daha önce başka hiçbir yerde yayımlanmamış, özgün ve güncel bilimsel araştırma ve uygulamaları içeren makale ve kısa bildirimleri ile Dergi'de daha önce yayımlanmış makalelerle ilgili tartışmaları kabul etmektedir. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilmemektedir. Makaleler Türkçe veya İngilizce olabilir. Dergi'ye gönderilen yazılar yayınlansın veya yayınlanmasın iade edilmez. Makaleleri yayınlama yetkisi dergi yayın kuruluna aittir.

Makalenin tamamı bilgisayar ortamında hazırlanmalı baskıya hazır biçimde iki adet (birisinde yazar adları ve adresleri olmamak üzere) **Dergi web sayfasında verilen örnek şablona uygun hazırlanmış olarak elektronik ortamda veya e-posta ekinde gönderilmelidir.**

Makale, A4 (210x297 mm) boyutlu kağıda, Windows uyumlu Word ortamında, Times New Roman font kullanılarak, birer aralıkla yazılmalı, ana başlıklar 12 Punto (koyu), yazar adları 12 Punto (koyu), alt başlıklar ve metin 10 punto olmalıdır.

Çizimler ve çizelgelerle birlikte, makaleler 15 sayfadan, kısa bildirimler 4 sayfadan daha uzun olmamalıdır. **Makale Türkçe ise: Türkçe Başlık, İngilizce Başlık, Öz, Anahtar Kelimeler, Abstract** (İngilizce öz), **Keywords, Metin, Semboller** (gerekliyse), **Teşekkür** (gerekliyse) ve **Kaynaklar**,

Makale İngilizce ise: İngilizce Başlık, Türkçe Başlık, Abstract, Keywords, Öz (Türkçe öz), **Anahtar Kelimeler, Text, Notations** (gerekliyse), **Acknowledgments** (gerekliyse) ve **References** sırası içinde düzenlenmelidir.

Başlık kısa ve açık olmalı, içeriği yansıtılabilmelidir. **Öz** (ve **Abstract**) çalışmanın amacını, kapsamını, yöntemini ve ulaşılan sonuçları kısaca tanımlamalı ve 150 kelimeyi aşmamalıdır. En az üç, en fazla beş tane anahtar kelime verilmelidir. Başlık, Öz ve İngilizce başlıklı Abstract birinci sayfaya sığdırılmalı ve ana metin ikinci sayfadan başlatılmalıdır. **Metin** yalnız bir dil ve anlatımla yazılmalı, makale Türkçe ise Türkçe, makale İngilizce ise İngilizce yazım kurallarına uygun olmalıdır.

Bölüm ve alt bölüm başlıkları numaralanmalıdır. Denklemler numaralanmalı ve bu numaralar satır sonunda parantez içinde gösterilmelidir. Yazılarda yalnızca SI birimleri kullanılmalıdır. Semboller uluslararası kullanıma uygun seçilmeli; her bir sembol ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalıdır. Teşekkür olabildiğince kısa olmalı, çalışmaya katkısı ve desteği bulunan kişi ve kuruluşlar belirtilmelidir. Çizelgeler, çizimler ve fotoğraflar metin içine yerleştirilmeli, her birine numara ve başlık verilmeli ve başlıklar çizim ve fotoğrafların altına, çizelgelerin üstüne yazılmalıdır.

Kaynaklar metinde köşeli parantez içinde numaralanmalı ve kaynaklar listesinde metin içinde veriliş sırasına uygun biçimde belirtilmelidir. Etik kuralları gereğince, alıntılar tırnak içinde verilmeli ve bir referans numarası ile kaynak belirtilmelidir. Kaynaklarda şu bilgiler verilmelidir: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, makalenin (bildirinin veya kitabın) tam başlığı; **Makale ise:**, derginin adı, cilt, sayı, başlama ve bitiş sayfaları, yıl. **Kitap ise:** cilt numarası, varsa editörü, yayımlandığı yer, yayımlandığı yıl. **Bildiri ise:** konferansın adı, yapıldığı yer, yıl. **Elektronik ortamdan alınmış ise:** Bildiri sadece CD/DVD'de yayınlanmış ise: Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, bildirinin adı, konferansın adı (CD/DVD), yapıldığı yer, yıl. "Konferansın adından hemen sonra parantez içerisinde CD/DVD olduğu belirtilecektir." **Tez ise:** Yazarın soyadı, adının baş harfi, tezin adı, derecesi, sunulduğu kurum, yıl. **Rapor ise:** Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, raporun adı, türü, numarası, kuruluşun adı, yayımlandığı yer, yıl. **Web Sitesi ise:** Yazar(lar) belli ise; yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl. **Kurum/Kuruluşlara ait ise:** Kurum adı, yazının başlığı, web adresi (<http://www.xxxxx.xxx.xxx>), gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl. **Elektronik kitap/rapor ise:** Yazar(lar)ın soyadı, adının baş harfi veya kitap/raporu yayımlayan kurum veya kuruluşun adı, gün, ay, yıl olarak alıntı tarihi, varsa yayımlandığı yıl.

Dergi İletişim Adresleri

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergi Yayın Kurulu Başkanlığı 01330 ADANA

E-posta: mmfdergi@cu.edu.tr
Tel: (322) 3387050

cu.mmfdergi@gmail.com
Faks: (322) 3386126

