



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK MİMARLIK
FAKÜLTESİ
DERGİSİ

ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Cilt/Vol: 32

Sayı/Issue: 3

Eylül/September 2017

ISSN 1019-1011



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ



Çukurova University, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture

Sahibi

Mesut BAŞIBÜYÜK
Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanı

Editör

Özen KILIÇ

YAZI İNCELEME KURULU (Editorial Board)

Zekeriya TÜFEKÇİ (ÇÜ)	Ahmet Mahmut KILIÇ (ÇÜ)
Mustafa GÜVEN (ÇÜ)	Hüseyin AKILLI (ÇÜ)
Ahmet YÜCEER (ÇÜ)	Kadir AYDIN (ÇÜ)
Ulus ÇEVİK (ÇÜ)	F. Duygu SABAN ÖKESLİ (ÇÜ)
Rızvan EROL (ÇÜ)	R. Tuğrul OĞULATA (ÇÜ)
İsmail Hakkı ÇAĞATAY (ÇÜ)	Nil YAPICI (ÇÜ)
Ulvi Can ÜNLÜGENÇ (ÇÜ)	

Eylül 2017 Cilt 32 Sayı 3 Hakemleri

Beytullah TEMEL (ÇÜ)	Baki ÖZTÜRK (HÜ)
Rızvan EROL (ÇÜ)	A.Sermet ANAGÜN (EOÜ)
Hüseyin Kurtuluş ÖZCAN (İÜ)	Egemen ARAS (KTÜ)
Füsün DOBA KADEM (ÇÜ)	Ebru ÇORUH (GÜ)
Savaş ŞENER (MÜ)	Aydın ADILOĞLU (NKÜ)
Hüseyin AKILLI (ÇÜ)	M.Serdar GENÇ (EÜ)
Naki TÛTÛNCÛ (ÇÜ)	Adnan TAN (ÇÜ)
Resul ÇÖTELİ (FÜ)	Abdullah BAŞÇI (AÜ)
Arif ÖZBEK (ÇÜ)	Hüsamettin BULUT (HÜ)
Ahmet FERTELLİ (CÜ)	Mehmet BİLGİLİ (ÇÜ)
Murat HOŞÖZ (KÜ)	Selma DÜZYOL (SÜ)
Murat SOLAK (DÜ)	Mustafa YEĞİN (ÇÜ)
Demet IRKLI ERYILDIZ (OÜ)	Halime Ömür PAKSOY (ÇÜ)
Selin ARADAĞ ÇELEBİOĞLU (TOBBETÜ)	Mahmut ALTINER (ÇÜ)
Bünyamin DÖNMEZ (AÜ)	Tayfun ÇİÇEK (DEU)
Sema PALAMUTCU (PÜ)	Tolga ÇAN (ÇÜ)
Osman GÜNAYDIN (AÜ)	Tuba AKAR (MÜ)
Hülya YÜCEER (ABTÜ)	Fatma ARSLAN (İTÜ)
Mehmet YILDIRIM (ÇÜ)	Zeynep ZAIMOĞLU (ÇÜ)
Ali ÜNYAYAR (MÜ)	A.Bengü SÛNBÛL (BEÜ)
Alim GÛL (İTÜ)	Hüseyin VAPUR (ÇÜ)
Mustafa AKTAŞ (KÜ)	M.Uğraş CUMA (ÇÜ)
Aykut AKGÛN (KTÜ)	Taner KAVAS (AKÜ)
Nergis KILINÇ MİRDALI (ÇÜ)	Yakup KUTLU (İSTEÜ)
Hüseyin DEMİREL (KÜ)	Ramazan ÇOBAN (ÇÜ)

YAZIŞMA ADRESİ

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

Hakemli Bir Dergidir. Yılda Dört Sayı Basılır. / Refereed Journal. Published Quarterly.
Dergimiz TÜBİTAK ULAKBİM Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı Listesi'nde taranmaktadır.

AMAÇ ve KAPSAM

Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, yılda iki 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 semi-annually. 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

- Finite Element Modeling of Cyclic Behavior of a Reinforced Concrete Chimney Section.....1**
Betonarme Baca Kesitinin Tekrarlı Yükleme Altındaki Davranışının Sonlu Elemanlar Metodu ile Modellenmesi
Sami A. KILIÇ
- Antakya-Cilvegözü Karayolu Etrafındaki Tarım Arazilerinde ve Bitkilerdeki Ağır Metal Kirliliği.....9**
Heavy Metal Pollution in Agricultural Lands and Plants around Antakya–Cilvegözü Highway
Abdullah ÖZKAN
- Geri Dönüş Havalı İklimlendirme Sistemlerinde Enerji ve Ekserji Analizi.....19**
Energy and Exergy Analysis in Recirculating Air Conditioning Systems
Ali GÜNGÖR, İbrahim KARAÇAYLI, Erdoğan ŞİMŞEK ve Yücel CANLI
- Glukonik Asit ve Hidroklorik Asit ile Atık Alkali Pillerden Çinko ve Mangan Gideriminin İncelenmesi: Taguchi Deney Tasarımı31**
Investigation of Manganese and Zinc Removal with Gluconic Acid and Hydrochloric Acid from Waste Alkaline Batteries: Taguchi Experimental Design
Emine SAYILGAN ve Gözde KARACAN
- Investigation of Velocity Distribution and Turbulent Energy for the Different Tip Shaped Projectiles39**
Farklı Uç Şeklindeki Mermiler için Hız Dağılımı ve Türbülans Enerjisinin Araştırılması
Mehmet Hanifi DOĞRU
- Karides Atıklarından Elde Edilen Kitosan Biyopolimerinin Yünlü Kumaşların Antibakteriyel Özellikleri Üzerine Etkisi47**
Effect of Chitosan Biopolymer Obtained from Shrimp Wastes on Antibacterial Properties of Woolen Fabrics
Mahmut TAŞ, Emel Ceyhun SABİR ve Aygül KÜÇÜKGÜLMEZ

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Kayma Dalgası Hızı (Vs) Kullanılarak Erciş (Van) Yerleşim Alanının Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi55**
Evaluation of Liquefaction Potential of Erciş (Van) Settlement by using Shear Wave Velocity (Vs)
İsmail AKKAYA, Ali ÖZVAN, Mutluhan AKIN, Müge AKIN ve Uğur ÖVÜN
- Kent Geometrisine Bağlı Olarak Kentsel Isı Adası Etkisinin Belirlenmesi: Konya Örneği69**
Determination of the Urban Heat Island Effect Related to Urban Geometry The Example of Konya
Fatih CANAN
- Liquid, Gas Chlorine and On-site Generation in Drinking Water Facilities Design Consideration and Comparison of Operating Costs81**
İçme Suyu Tesislerinde Sıvı, Gaz Klorlama ve Yerinde Klor Üretimi Tasarım Esasları ve İşletme Maliyetlerinin Karşılaştırılması
Eprar ÖZEL ÇELİK, Ümmükişüm ÖZEL AKDEMİR ve Hakan ÇELİK
- Performance and Economic Analysis of a Variable Refrigerant Flow (VRF) System91**
Değişken Soğutucu Akışkan Debili Bir Sistemin Performans ve Ekonomik Analizi
Alper YILDIRIM, Ertaç HÜRDOĞAN ve Coşkun ÖZALP
- Süprem Örme Kumaşlarda Kalınlık, Hava Geçirgenliği ve Boncuklanma Özelliklerinin İncelenmesi103**
Investigation of Thickness, Air Permeability and Pilling Properties of Single Jersey Fabrics
Deniz Mutlu ALA, Gamze GÜLŞEN BAKICI ve Aşlı ABDULVAHİTOĞLU
- Tek ve İki Bina Etrafındaki Rüzgâr Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi111**
Numerical Analysis of Wind Effect Around Single and Two Buildings
Ahmet FERTELLİ ve Mehmet BALTA

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- The Technical Revisions Required to Prevent Electricity Theft.....121**
Elektrik Kaçırmaı Engellemek için Gerekli Olan Teknik Revizyonlar
Abdulkerim KARABİBER
- Türkiye'nin Altı Sigma Uygulama Haritası.....131**
Six Sigma Implementation Map of Turkey
Meryem ULUSKAN
- Farklı Kalsinasyon Sıcaklıklarında Elde Edilen Kostik Kalsine Manyezitlerin
Yüzey Alanlarının ve Porozitelerinin Belirlenmesi145**
*Determination of Surface Areas and Porosities of Caustic Calcined Magnesites Obtained at
Different Calcination Temperatures*
Mehmet TÜRKMEÑOĐLU, Nil YAPICI, Mesut ANIL ve Özen KILIÇ
- Faz Değiştirme ile Isı Depolamada Kullanılan Parafin-Grafit, Parafin-
Kanatçık ve Saf Parafinli Yapıların Performans Analizi155**
*Performance Analysis of Paraffin-Graphite, Paraffin-Fin, and Pure Paraffin Structures Used in
Phase Change Energy Storage*
Mohammad AZARİFAR, S. Kazım SÖMEK ve Nazlı DÖNMEZER
- Halep Minarelerinin Rekonstrüksiyonu için Alternatif Yaklaşım165**
Alternative Approach for Reconstruction of Aleppo Minarets
Abdullah BÜLBÜL, Salah HAJ İSMAİL ve Rukiye ÇETİN
- Malahit Cevherinin Perklorik Asit Çözeltilerindeki Çözünürlüğünün
İncelenmesi175**
Investigation of Dissolution of Malachite Ore in Perchloric Acid Solutions
Mehmet Kayra TANAYDIN ve Nizamettin DEMİRKIRAN

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Horzum Yaylasındaki Pb-Zn Madeninin Atıkları ve Drenaj Sularındaki Arsenik ve Ağır Metallerin İncelenmesi187**
Investigation of Arsenic and Heavy Metals in Mine Wastes and Drainage Waters at A Pb-Zn Mine at Horzum Plateau
Mesut BAŞIBÜYÜK ve Başak Deniz ERGÜN
- Killi Zeminlerde Permeabilite ve Efektif Gerilmenin Kompaksiyon Enerjisine Bağlı Olarak Değişimi197**
Changes of Permeability and Effective Stress Compacted Clayey Soils Depending on the Compaction Energy
Emre PINARCI, Meltem TAŞCI ve Hasan ÇETİN
- Feldispat Cevherinin Flotasyon ile Zenginleştirilmesinde Tane Boyutu Değişiminin Etkisi205**
The Effect of Particle Size Change on Enrichment of Feldspar Ore by Flotation
Fırat BURAT
- Süs Bitkisi Toprağında Arıtma Çamuru Stabilizasyonu217**
Stabilization of Sewage Sludge in Ornamental Plant Soil
Gülgün DEDE
- Stator Feedforward Voltage Estimation Based Sensorless Permanent Magnet Synchronous Generator Drive using Multi-Parameter Estimation Based on MRAS227**
MRAS Tabanlı Çoklu-Parametre Tahmini ile Güçlendirilmiş İleri Beslemeli Stator Gerilim Tahminine Dayanan Sensörsüz Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatör Kontrolü
Ömer Cihan KIVANÇ ve Salih Barış ÖZTÜRK
- A New Adaptive Particle Swarm Optimization Based on Self-Tuning of PID Controller for DC Motor System243**
Yeni Bir Adaptif Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Kullanarak DC Motor için Öz Ayarlamalı PID Kontrolör Tasarımı
Hussein ALRUIM ALHASAN ve Mahit GÜNEŞ

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

Kükürt ve Kül Giderimi Yapılmış Pirolitik Karbon Siyahı Katkılı MgO-C Refrakterlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi	251
<i>Investigation of Mechanical Properties of MgO-C Refractories Produced by Pyrolytic Carbon Black with Removal of Sulfur and Ash</i>	
Tuba BAHTLI, Veysel Murat BOSTANCI, Derya Yeşim HOPA, Şerife YALÇIN YASTI	

Finite Element Modeling of Cyclic Behavior of a Reinforced Concrete Chimney Section

Sami A. KILIÇ*¹

¹Boğaziçi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Geliş tarihi: 26.05.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Abstract

In this study, a numerical model was presented to simulate the experimental behavior obtained for a reinforced concrete chimney section. The purpose of the previous experimental investigation conducted for the chimney section was to evaluate the effect of large openings on the cyclic response in order to reveal the performance of such structures under seismic loads. A detailed finite element model of the chimney section was constructed and all of the reinforcements of the chimney were directly taken into account by line element representations. The volume of the concrete chimney shell was modeled with hexahedral elements. A bi-linear material model was used for the reinforcements. A crucial step in the finite element approach was to employ a constitutive material model that took the multi-axial state of stress and confinement effects in concrete into account. The Winfrith concrete material model of the commercial LS-Dyna structural code was chosen for the shell of the chimney section. Comparisons of the results of the finite element study with the experimental measurements showed a good agreement for the base moment-displacement response and crack formations around the opening regions of the chimney section.

Keywords: Reinforced concrete chimneys, Cyclic loading, Finite element model, Concrete material model

Betonarme Baca Kesitinin Tekrarlı Yükleme Altındaki Davranışının Sonlu Elemanlar Metodu ile Modellenmesi

Öz

Bu çalışmada, betonarme bir baca kesitinin deneysel davranışına benzer sonuç verebilecek bir sayısal model sunuldu. Daha önce yapılmış olan deneysel çalışmanın amacı, tekrarlı yüklere maruz kalan ve geniş açıklıkları olan baca tipi yapıların deprem yükleri altındaki performanslarını değerlendirebilme. Detaylı bir sonlu elemanlar modeli oluşturuldu ve bütün donatılar direkt olarak çubuk elemanlar ile

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Sami A. KILIÇ, skilic@boun.edu.tr

modellendi. Baca kesitinin beton cidarı hacim elemanları ile modellendi. Donatı malzemesi için bilineer bir malzeme modeli kullanıldı. Beton malzemenin çok-eksenli gerilmeler altındaki davranışını ve donatı sargılama etkisini modellemek çalışmada önemli bir adım teşkil etti. Baca kesitinin beton cidarını için ticari bir yapısal çözüm programı olan LS-Dyna'daki Winfrith modeli kullanıldı. Sonlu elemanlar analizinde elde edilen taban momenti-yer değiştirme sonuçları ve betonda oluşan çatlaklar daha önce elde edilen deneysel sonuçlarla karşılaştırıldı.

Anahtar Kelimeler: Betonarme bacalar, Tekrarlı yükleme, Sonlu elemanlar modeli, Beton malzeme modeli

1. INTRODUCTION

The 17 August 1999 Marmara earthquake in Turkey caused the spectacular collapse of a tall reinforced concrete chimney at the Tupras Refinery. The chimney behavior was investigated by various researchers [1,2]. The chimney had a single large opening at one-third of its height from the base. The presence of large openings combined with insufficient opening reinforcement detailing and provisions may significantly reduce the ductility of chimney structures. Experimental investigations play a crucial role in understanding the behavior of chimney sections subjected to load reversals.

The cyclic performance of a reinforced concrete chimney section with two large openings was investigated experimentally by Wilson at the University of Melbourne [3]. The purpose of the experimental investigation was to evaluate the seismic performance of chimney structures with large openings subjected to seismic loads. The analytical work presented in this report was coordinated with the work by Wilson [4]. The objective of the analytical study was to use the test results as a benchmark case such that the analytical methods serve as a tool for future parametric studies that take into account of different loading conditions, material properties, and geometry.

Figure 1 shows the general view of the test setup of the chimney section at the University of Melbourne. A detailed description of the test results was published by Wilson [4].

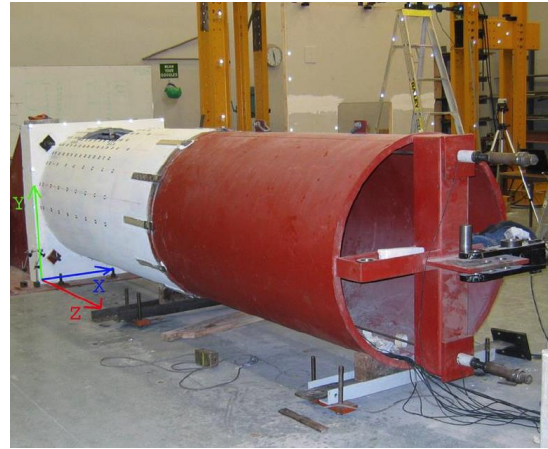


Figure 1. Cyclic loading test setup of the reinforced concrete chimney section at the University of Melbourne [3]

Figure 2 provides the dimensions of the structural components of the experimental setup. Figure 3 shows a close-up view of the two openings that are placed in a diametrically opposite configuration [3].

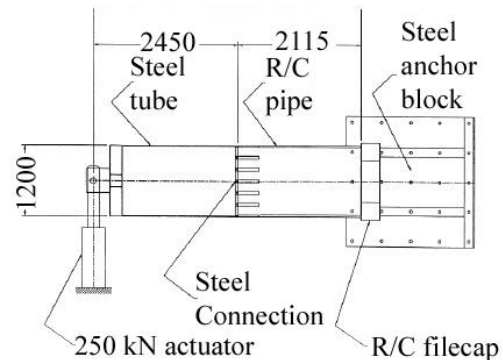


Figure 2. Dimensions of the structural components



Figure 3. Diametrically opposite large openings of the chimney section [3]

The chimney has a length of 4.6 m and a diameter of 1.2 m. The concrete shell has a constant thickness of 0.04 m along the length. There are two square-shaped openings of size 0.6 m by 0.6 m facing each other located at 0.3 m above the fixed base, as illustrated in Figure 4.

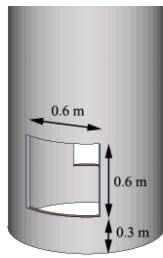


Figure 4. Dimensions of the openings

Figure 5 shows the 5.8 mm diameter rebars used for the longitudinal reinforcement. The rebars are explicitly modeled in LS-Dyna with 2-node line elements. Same diameter rebars were used as additional reinforcement around the openings in a configuration of 3 extra rebars on each side.

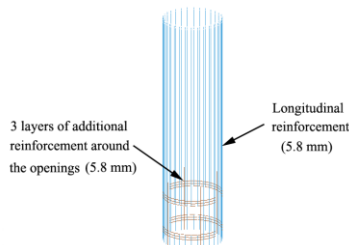


Figure 5. Opening reinforcements and longitudinal rebars of the chimney section

2. METHODOLOGY

In order to capture the nonlinear behavior of the test chimney, the commercial structural solver LS-Dyna was used [5]. LS-Dyna provides capabilities for modeling nonlinear material constitutive relationships, large strains and displacements, and forms the structural equilibrium in the deformed configuration.

The dynamic equation of motion is incorporated into the LS-Dyna program by using an explicit time-integration approach. A central-difference algorithm is used to implement the explicit time integration in LS-Dyna. Eq. 1 gives the formulation of motion in the explicit scheme. The internal and external force vectors in the right hand side of the equation include the damping effects. Using a diagonal mass matrix M simplifies the solution significantly for the unknown accelerations. Equilibrium is formed at time step n and the unknown displacements can be directly computed without the need of a solution for systems of equations.

$$M \cdot a_n = f_n^{ext} - f_n^{int} \quad (1)$$

f_n^{ext} = Vector of external structural forces,

f_n^{int} = Vector of internal structural forces,

M = Mass matrix,

a_n = Acceleration vector.

The advantage of the explicit scheme is the removal of a need for iterations in the analysis [6]. Therefore, complex nonlinear material models can be utilized in the dynamic analysis.

The finite-element results presented in this study are obtained by the explicit time integration scheme used in the LS-Dyna program. In order to model the pseudo-static nature of the chimney test, the loading applied in the finite element model of the chimney was 13.5 seconds in order to avoid significant inertial effects.

Figure 6 shows the imposed axial load at the top section of the chimney in the LS-Dyna analysis.

The axial load of 226 kN was applied in 3 seconds to minimize the dynamic effects.

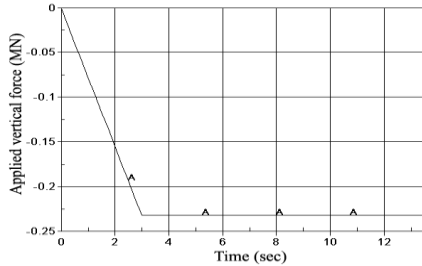


Figure 6. Time variation of the axial pre-stressing load for the chimney section

The cyclic loading applied at the top section of the chimney is shown in Figure 7. The duration of each push-pull cycle was 2 seconds. The imposed displacements for the last 3 cycles are 51, 68 and 85 mm, respectively. The loading ended at a time instance of 13.5 seconds when the imposed top lateral displacement reached 85 mm.

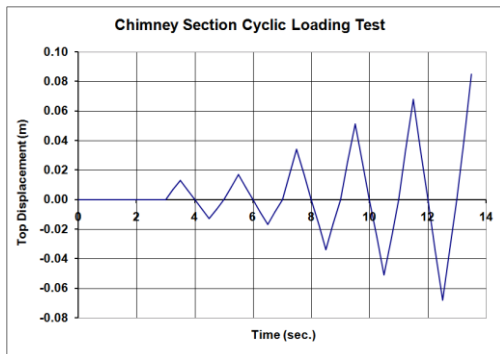


Figure 7. Dynamic loading function used for the imposed displacement-controlled cycles

Figure 8 illustrates the LS-Dyna finite element mesh used in this study. The concrete shell of the test chimney was modeled with two layers of hexahedral elements. Figure 9 shows the finite element mesh around the two opening regions.

The finite element mesh consisted of approximately 10,000 hexahedral elements representing the concrete shell, and 3,000 line elements representing the reinforcements. The cyclic loading was applied to the top nodes of the

chimney given in Figure 8. The line elements representing the reinforcements were placed at the middle of the shell thickness.

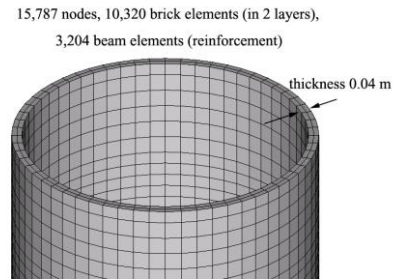


Figure 8. Finite element mesh at the top of the chimney section

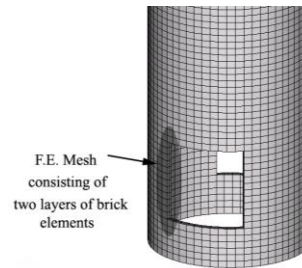


Figure 9. Finite element mesh around the opening regions

The concrete shell of the chimney had an unconfined compressive strength of 40 MPa. In order to simulate a realistic gravity loading on the chimney section, an axial force of 226 KN was applied on the chimney before it was subjected to the cyclic loading at the top section. The 30 counts of 5.8 mm diameter longitudinal reinforcements were reported to have a yield stress of 530 MPa, a stress of 580 MPa at 5% strain, and an ultimate stress of 600 MPa at 8% strain in the experimental study [4]. The longitudinal reinforcement ratio was 0.53%.

Additional reinforcements were provided around the openings in terms of 3 counts of 5.8 mm diameter rebars on each side of the opening at a distance of 0.10 m from the edge. The hoop reinforcement of the chimney consisted of 4.8 mm diameter rebars placed in with a center-to-center spacing of 80 mm. The hoop reinforcement ratio was 0.45%.

3. NONLINEAR MATERIAL MODELS USED IN THE STUDY

Figure 10 gives the stress-strain relationship for the rebar material used in the analysis. The material model exhibits a bi-linear response with a yield stress of 530 MPa and an ultimate stress of 600 MPa at 8% strain. The bi-linear model was chosen to be representative of the reinforcement used in the test because the small diameter rebars were not expected to exhibit a large yield plateau.

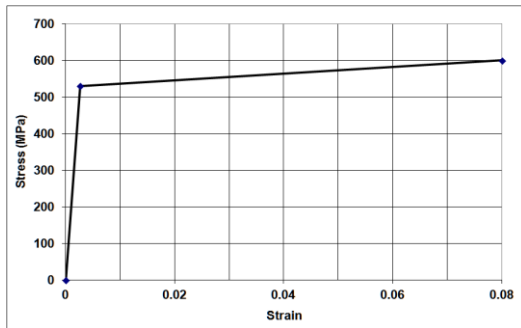


Figure 10. Bi-linear material model used for reinforcements

LS-Dyna offers various material models for analyzing concrete structures. The Winfrith concrete model was chosen for the analysis of the chimney due to its ability to represent the triaxial failure state of concrete [7-10]. This model was based on the yield criterion originally developed by Ottosen [11,12] and its mathematical form is given in Eq. 2. The model utilizes the first invariant of the stress tensor and the second invariant of the deviatoric stress tensor, given in Equations 3 and 4, respectively.

$$a \cdot \frac{J_2}{(f_c')^2} + \lambda(k_1, k_2) \cdot \frac{\sqrt{J_2}}{f_c'} + b \cdot \frac{I_1}{f_c'} = 1 \quad (2)$$

a= First model parameter,
 b= Second model parameter,
 f_c' = Unconfined compressive strength,
 k_1 = Third model parameter,
 k_2 = Fourth model parameter.

$$I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad (3)$$

σ_1 = First principal stress,
 σ_2 = Second principal stress,
 σ_3 = Third principal stress,
 I_1 = First invariant of the stress tensor.

$$J_2 = \frac{1}{6} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \quad (4)$$

J_2 = Second invariant of the deviatoric stress tensor.

In Eq. 2, a and b represent constants determined from experiments, λ is a parameter that varies depending on the axial stress state. Figure 11 shows the Ottosen failure surface constructed for visualization purposes by the author, using the principal stresses as the coordinate axes.

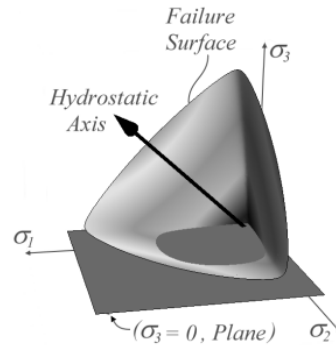


Figure 11. Ottosen failure surface visualization in the principal stress space

The Winfrith model can also incorporate crack formation in concrete based on a smeared-crack approach [9,10]. The cracks are assumed to be smeared out in a continuous fashion along planes perpendicular to the direction of principal tensile stresses.

Figure 12 shows the single hexahedral element model used in the calibration study of the Winfrith material in LS-Dyna. The bottom nodes of the element had hinge supports and the vertical loads were applied at the upper nodes. The unconfined compressive and the tensile strengths of the model were 20 MPa and 2 MPa, respectively. The numerical values used for the model parameters a , b , k_1 and k_2 were 1.276, 3.196, 11.74, 0.9801, respectively.

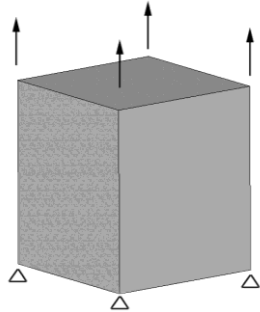


Figure 12. Boundary conditions and loads of the single element calibration study

Figure 13 shows the crack formation normal to the principal tensile stress obtained in the calibration study. Plots of element axial stresses are shown in Figure 14. The response under compressive loading is shown in Figure 14(a). When the element reached the compressive strength of 20 MPa, the axial stress stayed constant while plastic flow continued. The Winfrith model does not take the decay in compressive stresses after reaching the unconfined compressive strength.

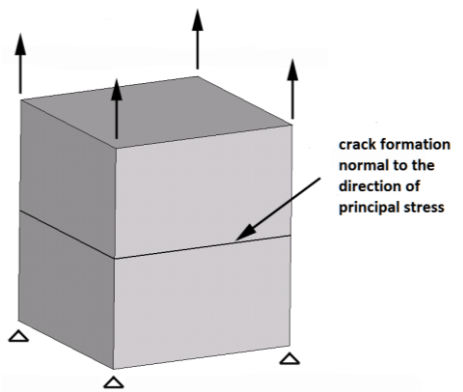
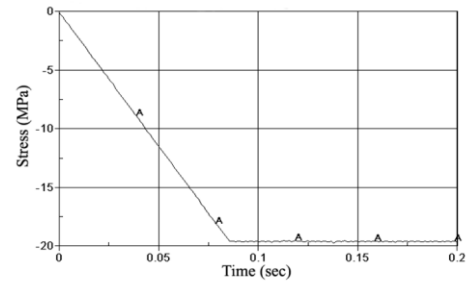


Figure 13. Horizontal crack formation in the single element calibration analysis

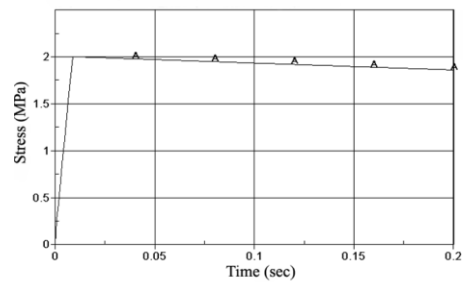
Figure 14(b) gives the response of the element under tensile loading. When the tensile strength of 2 MPa was reached, the element stress deteriorated. The element failed under tensile stresses and a crack normal to the principal stress direction formed.

Figure 14(c) illustrates the response of the brick element under cyclic loading. The first cycle

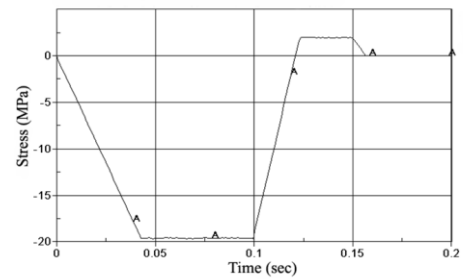
consisted of compressive loading, which was followed by tensile force application. The compressive strength was maintained at 20 MPa during the compressive loading. The tensile phase reached a peak stress level of 2 MPa, the crack shown in Figure 13 occurred, followed by a post-strength decay. After attaining the tensile failure state, the loading was changed to compression and the tensile crack was closed. This condition allowed the element to regain its compressive strength.



(a)



(b)



(c)

Figure 14. Single element calibration results for (a) unconfined compression, (b) unconfined tension, and (c) unconfined compression followed by tension

4. RESULTS OF THE FINITE ELEMENT STUDY

In the finite element study, the unconfined compressive and tensile strengths of concrete were input as 40 MPa and 4 MPa, respectively. The numerical values used for the concrete material model parameters a , b , k_1 and k_2 were 1.276, 3.196, 11.74, 0.9801, respectively. The steel material model is illustrated in Fig. 10.

The base moment versus tip displacement response of the chimney is given in Fig. 15. The finite element results obtained from the LS-Dyna analysis were compared with the experimental results reported by Wilson [4]. The analysis captured the failure envelope of the test results but showed a stiffer response in general.

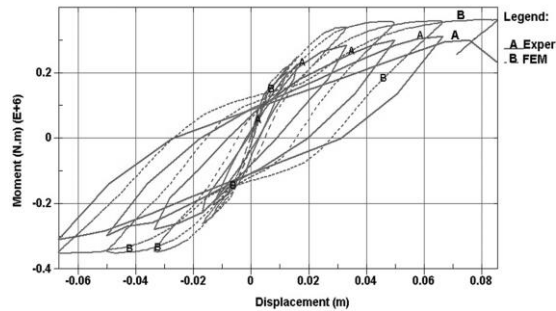


Figure 15. Base moment versus tip displacement comparison for the experimental and numerical studies

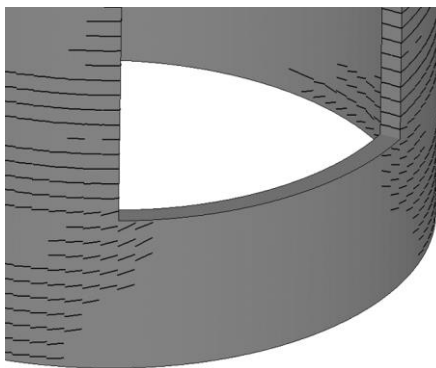


Figure 16. Horizontal crack formation and high strain localizations obtained in the finite element study



Figure 17. Crack formations around the opening regions observed during the test [3]

A close-up view around the two openings with the horizontal crack formations of the finite element study is given in Figure 16. The cracks observed in the experiment are shown in Figure 17 [3]. The horizontal cracks on the sides of the opening were in agreement with the crack formation pattern obtained in the numerical study.

5. SUMMARY AND CONCLUSIONS

A previous study at the University of Melbourne was conducted to investigate the experimental cyclic behavior of a reinforced concrete chimney section. The purpose of experimental study was to evaluate the seismic performance of chimney structures with large openings. In the current numerical study, a finite element model was constructed in order to match the results of the previous experimental study. The commercial structural analysis code LS-Dyna was used in the numerical study.

A bi-linear stress-strain model was used to model the behavior of reinforcement. The Winfrith concrete material of the LS-Dyna code was used for the concrete shell.

The displacement-controlled cyclic loading of the experiment was simulated in the LS-Dyna code by using an explicit time marching scheme. This approach made it possible to simulate complex material nonlinearity without the need to use an iterative approach. The longitudinal rebars and the

additional opening reinforcements were explicitly modeled in the finite element analysis.

The overall response of the chimney in terms of the base moment versus tip displacement was captured by the finite element results. The numerical response was stiffer compared to the experimental results. The crack formations obtained in the finite element results showed good agreement with the cracks observed in the experimental study.

With the validation of the numerical model, further investigations of the chimney section for various cyclic loading orientations were made possible.

6. ACKNOWLEDGMENTS

The partial support from the Boğaziçi University Research Fund through contract no. 07HT102 is gratefully acknowledged.

7. REFERENCES

1. Huang, W., Gould, P.L., Martinez, R., Johnson, G.S., 2004. Non-linear Analysis of a Collapsed Reinforced Concrete Chimney. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 33(4), 485-498.
2. Kilic, S.A., Sozen, M.A., 2003. Evaluation of Effect of August 17, 1999, Marmara Earthquake on Two Tall Reinforced Concrete Chimneys. *ACI Structural Journal*, 100(3), 357-364.
3. Wilson, J.L., 2003. Experimental Study to Investigate the Cyclic Behaviour of Reinforced Concrete Chimney Sections with Openings – Test #5. Research Report, Dept. of Civil & Environmental Engineering, University of Melbourne, Australia.
4. Wilson, J.L., 2009. The Cyclic Behaviour of Reinforced Concrete Sections with and without Openings. *Advances in Structural Engineering*, 12(3), 411-420.
5. Hallquist, J.O., 2006. LS-Dyna Theoretical Manual. Livermore Software Technology Corporation, Livermore, California, USA.
6. Bathe, K. J., 1996. Finite Element Procedures. Prentice Hall.
7. Broadhouse, B.J., Neilson, A.J., 1987. Modelling Reinforced Concrete Structures in DYNA3D. Proceedings of the DYNA3D User Group Conference, London, UK.
8. Broadhouse, B. J., 1992. DYNA3D Analysis of Cone Crack formation due to Heavy Dropped Loads on Reinforced Concrete Floors. Proceedings of the Structures under Shock and Impact Conference, WIT Press, Dorset, UK.
9. Broadhouse, B.J., Attwood, G.J., 1993. Finite Element Analysis of the Impact Response of Reinforced Concrete Structures Using DYNA3D. Proceedings of the Structural Mechanics in Reactor Technology Conference XII, Stuttgart, Germany.
10. Broadhouse, B.J., 1995. The Winfrith Concrete Model in LS-DYNA3D. Report No. SPD/D(95)363, Atomic Energy Authority, Winfrith Technology Centre, Dorset, UK.
11. Ottosen, N.S., 1977. A Failure Criterion for Concrete. *Journal of the Engineering Mechanics Division, American Society of Civil Engineers (ASCE)*, 103(em4), 527-535.
12. Ottosen, N.S., 1979. Constitutive Model for Short-time Loading of Concrete. *Journal of the Engineering Mechanics Division, American Society of Civil Engineers (ASCE)*, 105(em1), 127-141.

Antakya-Cilvegözü Karayolu Etrafındaki Tarım Arazilerinde ve Bitkilerdeki Ağır Metal Kirliliği

Abdullah ÖZKAN*¹

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, Hatay

Geliş tarihi: 17.02.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Öz

Bu çalışmada, Hatay İline bağlı Antakya-Cilvegözü uluslararası karayolu çevresindeki tarım arazilerinin ve bu arazilerde yetişen bitkilerin trafik ve tarımsal faaliyet kaynaklı ağır metal kirliliğini belirlemek, toprak ve bitkideki ağır metal miktarının karayoluna olan uzaklığı ile olası değişimini ortaya koymak amaçlanmıştır. Karayolunun trafik yoğunluğu dikkate alınarak 8 farklı örnekleme noktası belirlenmiştir. Karayolunun belirlenen her bir örnekleme noktasının sağ ve sol tarafından yola 25, 100, 500 m ve 1km uzaklıktan, 0-30 cm derinlikten toprak (N=64) ve alınan topraklarda yetiştirilen bitki (N=12) örnekleri alınmıştır. Alınan topraklardaki ağır metaller dietilen triamin pentaasetik asit (DTPA), bitkilerde ise yaş yakma yöntemiyle ekstrakte edilmiştir ve ölçümler induktif olarak eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Çalışma sonucunda toprak örneklerinde; Pb 0,130-0,780 mg/kg, Cd 0-0,265 mg/kg, Ni 0,370-3,97 mg/kg, Cr 0-0,120 mg/kg, Co 0-1,83 mg/kg, Al 0-0,700 mg/kg, Fe 1,45-22,8 mg/kg, Cu 0,385-5,43 mg/kg, Mn 1,96-27 mg/kg Zn 0-4,26 mg/kg ve bitki örneklerinde Pb 0-0,155 mg/kg, Cd 0-0,105 mg/kg, Ni 0,100-3,53 mg/kg, Cr 0,0 mg/kg, Co 0,0 mg/kg, Al 0,0 mg/kg, Fe 5,60-25,0 mg/kg, Cu 0,121-4,48 mg/kg, Mn 2,35-15,4 mg/kg, Zn 0,554-6,75 mg/kg aralığında bulunmuştur.

Yapılan bu çalışma sonucunda elde edilen toprak numunelerine ait veriler Türkiye ve Dünyada toprakta müsaade edilen ağır metal sınır değerleri ile karşılaştırıldığında; toprakta ağır metal birikiminin kabul edilebilir sınır değeri aşmadığı görülmüştür. Bitki örneklerine ait veriler incelendiğinde ağır metal birikiminin olduğu tespit edilmiştir, ancak Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) ve Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) bitkilerde müsaade ettiği ağır metal sınır değerleri ile karşılaştırıldığında ağır metal birikiminin kabul edilebilir sınır değeri aşmamış olduğu görülmüştür. Ayrıca mesafeye bağlı olarak karayolundan uzaklaştıkça bitki ve topraktaki ağır metal seviyelerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu durum toprakta ve de bitkide mevcut olan ağır metallerin karayolu kaynaklı olabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Toprak kirliliği, Ağır metal, DTPA yöntemi, ICP-OES

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Abdulah ÖZKAN, abdullah.ozkan@iste.edu.tr

Heavy Metal Pollution in Agricultural Lands and Plants around Antakya– Cilvegözü Highway

Abstract

The purpose of this study is to determine heavy metal pollution of the agricultural lands and the plants growing in these lands around Antakya-Cilvegözü international highway in Hatay province based on traffic and agricultural activities and also to reveal possible changes of the heavy metal amount in soil and plants with distance to highway. 8 different sampling points are determined considering traffic intensity of the road. Soil (N=64) and plant (N=12) samples are taken from 0-30 cm depth and 25, 100, 500 m away from both right and left side of the particular sampling points of the highway. Heavy metals in the soil are extracted with diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA) while wet burning method is applied for heavy metal extraction from plants. Measurements are made with Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) instrument.

According to the analyses, the result of soils Pb 0.130-0.780 mg/kg, Cd 0-0.265 mg/kg, Ni 0.370-3.97 mg/kg, Cr 0-0.120 mg/kg, Co 0-1.83 mg/kg, Al 0-0.700 mg/kg, Fe 1.45-22.8 mg/kg, Cu 0.385-5.43 mg/kg, Mn 1.96-27 mg/kg Zn 0-4.26 mg/kg and the result of plants Pb 0-0.155 mg/kg, Cd 0-0.105 mg/kg, Ni 0.100-3.53 mg/kg, Cr 0.0 mg/kg, Co 0.0 mg/kg, Al 0.0 mg/kg, Fe 5.60-25.0 mg/kg, Cu 0.121-4.48 mg/kg, Mn 2.35-15.4 mg/kg, Zn 0.554-6.75 mg/kg were found.

Results of the study shows that datas obtained from soil samples are within the permissible range compared to heavy metal limitations both in Turkey and the World. Heavy metal accumulation is observed in plant samples. However, compared to World Health Organization (WHO) and United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) limitations, it is seen that heavy metal accumulation is within the permissible range. Additionally, it is revealed that heavy metal concentration in soil and plants is decreasing depending on the distance away from highway. This shows that the heavy metal present in soil and plants should be originating from highway.

Keywords: Soil pollution, Heavy metal, DTPA method, ICP-OES

1. GİRİŞ

Tarım toprakları, ülkemizin ekonomik yönden gelişmesini ve insanlarımızın refahının sürekliliğini sağlayacak en önemli doğal kaynaklarımızdan birisidir. Tarım topraklarının bu önemi, üretilemeyen ve yenilenmesi nerdeyse mümkün olmayan tek kaynak olmasından ileri gelmektedir. Uzunca bir zamandan beri ülkemizde tarıma açılan yeni alan olmadığı göz önünde bulundurulduğunda ülkemizin tarıma açılacak yeni alanlarının artık tükenme noktasına geldiğini göstermektedir. Ayrıca nüfus artışı ve gelişen teknolojiye bağlı olarak artan insan ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için yoğun tarımsal faaliyetler

yapılmaktadır. Bunun sonucunda tarım alanlarımızda kirlenme tehdidi başlamış ve toprak kalitesinin her geçen gün daha da kötüye gittiği tespit edilmiştir.

Toprağın üzerindeki tarımsal ve endüstriyel faaliyetler sonucunda doğal yapısı tamamen veya kısmen yabancı maddeler tarafından kirlenir. Bu maddelerin pek çoğu toprağın bünyesinde belirli oranlarda ve çoğunlukla eser miktarlarda bulunur. Bu bakımdan kimyasal kirlilik denince ilk akla gelen kirleticiler ağır metallerdir [1]. Motorlu taşıtlar ve bilinçsizce yapılan tarım faaliyetleri ağır metal kirliliğinin önemli bir bölümünden sorumludur [2].

Ağır metaller yoğunluğu 5 g/cm³'den büyük olan metallerdir. Bu grupta kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, civa ve çinko dâhil olmak üzere 60'tan fazla metal yer almaktadır [3]. Motorlu taşıt trafiğinden kaynaklanan ağır metallere bakıldığında; kurşun (Pb), nikel (Ni), civa (Hg), kadmiyum (Cd), krom (Cr), demir (Fe), bakır (Cu), mangan (Mn) ve çinko (Zn) görülürken, tarımsal faaliyetlerden kaynaklı ağır metaller ise; Kadmiyum (Cd), krom (Cr), bakır (Cu) ve çinko (Zn)'dur.

Kurşun (Pb) benzine katılan Tetra Etil Kurşun (TEK)'dan, nikel (Ni) dizel yakıtından ve motor yağlarından kirletici olarak açığa çıkmaktadır. Kadmiyum (Cd) ve çinko (Zn) ise araç lastikleri, yağlar ve diğer araç donanımları ve fosforlu gübrelerden kaynaklanmaktadır [4,5]. Bakır, demir, mangan ve krom kirliliğinin ise motorlu taşıtların yanı sıra çeşitli tarımsal faaliyetlerden kaynaklandığı bilinmektedir [6].

Karayolundaki yoğun araç trafiği ve çevresinde gerçekleştirilen tarımsal faaliyetler, özellikle tarımsal ürünlerle insan sağlığını tehdit edecek sorunları beraberinde getirmektedir [6]. Bu yüzden ağır metallerin toplam miktarlarının belirlenmesi oldukça büyük öneme sahiptir. Hatta bitkiler tarafından alınabilir formda bulunan ağır metal miktarlarının ölçülmesi çevre kirliliği ve metallerin toksik etkilerinin tespiti açısından çok daha fazla önem arz etmektedir.

Bu çalışmayla, Hatay İli sınırları içerisinde yer alan Antakya-Cilvegözü uluslararası karayolu etrafındaki topraklar ve bu topraklarda yetişen bitkilerdeki ağır metal seviyesi incelenmiştir. Trafik ve tarımsal faaliyet kaynaklı ağır metal kirliliği belirlenmiş ve karayoluna uzaklığı ile olası değişimi ortaya konulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Özkan ve arkadaşları [7], Hatay havaalanı etrafındaki tarım arazilerinin ağır metal kirliliğini tespit etmek için 27 adet toprak örneğini

incelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda herhangi bir ağır metal kirliliğine rastlanılmamıştır. Ancak havaalanından uzaklaştıkça söz konusu ağır metal miktarlarının azaldığını tespit etmişler. Dolayısıyla toprakta mevcut olan ağır metallerin sebebinin havayolu trafiği kaynaklı olabileceğini ifade etmişler. Karaçağıl [8], İstanbul'un Anadolu yakası sahil şeridi yeşil alanlarının 202 farklı noktasından 404 adet toprak örneği alarak ağır metal kirliliğini tespit etmeye çalışmıştır. Aynı zamanda bu çalışmada pH, organik madde, kireç ve fosfor analizlerini de yapmıştır. Çalışma sonucunda 7 adet örnekte krom, 2 adet örnekte nikel ve 1 adet örnekte bakır miktarlarının yüksek, diğer örneklerin ise normal sınırlar içerisinde olduğunu tespit etmiştir.

Knezeviç ve arkadaşları [9], Polonya'nın farklı bölgelerinden almış oldukları toprak ve bitki örneklerini inceleyerek olası ağır metal kirliliğini tespit etmeye çalışmıştır. Çalışma sonucunda karayoluna yakın bölgelerden alınan örneklerdeki Pb, Ni, Zn ve Mn gibi ağır metal miktarlarının, karayoluna nispeten daha uzak bölgelerden alınan örneklerdekinden daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca Tao ve arkadaşları [10], Çin'in Shanghai ağır metal kirliliğini belirlemek için toprak örnekleri alarak Pb, Zn, Cu, Cr, Cd ve Ni analizleri yapmış ve sonuçların oldukça yüksek seviyede olduğunu tespit etmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmayla topraklardaki ağır metal kirliliğinin nedeninin trafik ve sanayi olduğunu belirtmişlerdir. Möller ve arkadaşları [11], Damascus Ghouta şehrinde trafiğin yoğun olduğu 22 farklı bölgeden 51 adet toprak örneği alarak Pb, Cu ve Zn analizleri yapmış ve bahsi geçen elementlerin miktarlarının çok yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun yanı sıra Sezgin ve arkadaşları [12], İstanbul'un Topkapı-Avcılar güzergâhı üzerindeki E-5 karayolunun 18 km' lik bölümünden 22 farklı noktadan almış oldukları toprak örneklerinde; Pb, Cu ve Zn seviyelerinin sınır değerlerinin çok üzerinde olduğunu tespit etmişlerdir. Benzer olarak Haktanır ve arkadaşları [13], Etimesgut-Ankara karayolunda Pb, Cd ve Cu ağır metallerinin kirliliği araştırılmışlardır. Yol boyunca uzanan toprakların üst 0-5 cm toprak

katında yüksek düzeyde Pb olduğunu bulmuşlardır. Ağır metal kirliliğinin yol kenarından uzaklaştıkça azaldığı 40 m'den sonra normal değerlere indiğini tespit etmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Çalışma Alanı

Türkiye'nin Ortadoğu'ya açılan en önemli uluslararası taşımacılık yolu olan Antakya-Cilvegözü uluslararası karayolu Hatay İli sınırları içerisinde yer almaktadır. 48,5 km uzunluğunda, rakımı (deniz seviyesinden yüksekliği) 301 metre, $36^{\circ} 14' 8,9808''$ ve $36^{\circ} 39' 47,6856''$ GPS koordinatlarına sahiptir.

3.2. Örnek Toplama

Antakya-Cilvegözü karayolunun belirlenen 8 farklı noktasının sağ ve sol tarafından yola 25, 100, 500 m ve 1 km uzaklıkta olacak şekilde, 0-30 cm derinlikten toplam 64 toprak ve 4 pamuk, 4 mısır ve 4 ayçiçeği bitkisi örneği alınmış ve plastik poşetlere konularak laboratuvara getirilmiştir.

3.3. Örneklerin Hazırlanması

Toprak örnekleri, açık havada kurutulduktan sonra, havanda dövülerek homojen hale getirilmiştir. Daha sonra analiz türüne uygun çaptaki paslanmaz çelik elekten geçirilmiştir.

Bitki örnekleri ise; iyice temizlendikten sonra etüv kullanılarak kurutulmuştur. Ardından öğütülerek homojenize edilmiştir [14].

3.4. Metot

Toprak örneklerindeki ağır metaller, DTPA çözeltisi [(1:2); (G:V)] ile ekstrakte edilmiş ve ICP-OES cihazı kullanılarak analiz edilmiştir [15]. Bitki örneklerindeki ağır metaller; nitrik asit: hidrojen peroksit ($\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{O}$) karışımı [(8:2) (V:V)] kullanılarak mikrodalga fırında yakılmış ve ICP-OES cihazıyla analiz edilmiştir.

Ayrıca toprak örneklerinde; kalsimetre yöntemiyle volümetrik olarak % kireç [16], modifiye edilmiş Walkley-Black metoduyla % organik madde [17], 1:2,5 (w/v) toprak: su süspansiyonunda kombine elektrotlu pH metre ile pH [18] ve Bouyoucos Hidrometre yöntemi ile bünye analizleri [19] gibi rutin fizikokimyasal analizler de yapılmıştır.

3.4. ICP-OES Optimizasyonu

Ağır metal analizleri ICP-OES cihazıyla yapılmıştır. Her bir ağır metal elementine ait korelasyon katsayısı (R^2), dedeksiyon limiti (LOD) ve tayin sınırı (LOQ) değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Ağır metallerin R^2 , LOD ve LOQ değerleri

Ağır Metal	Korelasyon Katsayısı (R^2)	LOD (mg/kg)	LOQ (mg/kg)
Fe	0,999	0,343	1,142
Zn	0,996	0,705	2,348
Cd	0,997	0,115	0,382
Cu	0,999	0,256	0,852
Co	0,999	0,202	0,673
Ni	0,999	0,118	0,393
Al	0,999	0,013	0,041
Mn	0,999	0,059	0,196
Pb	0,999	0,088	0,293
Cr	0,999	0,010	0,034

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Avrupa ülkeleri ağır metal sınır değerleri Çizelge 2, Türkiye Çevre ve Orman Genel Müdürlüğü'nün toprakta müsaade edilen ağır metal sınır değerleri Çizelge 3 ve WHO/FAO'nun bitkilerde müsaade ettiği ağır metal sınır değerleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 2. Avrupa ülkeleri ağır metal sınır değerleri (mg/kg) [20]

Ülke	Ülke Kalite Std.	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Belçika	Tarım Bak. 'lığı	1,5	70	90	20	120	300
Almanya	Biyotik Yönet. Tip II	1,5	100	100	50	150	400
İrlanda	Taslak	1,5	100	100	50	150	350
Hollanda	İkinci Sınıf Kompost	1	50	60	20	100	200
İspanya	A sınıfı	2	100	100	60	150	400
İsveç	Kalite Güvence Org.	1	100	100	50	100	300
İngiltere	TCA Kalite Etiketi	1,5	100	200	50	150	400

Çizelge 3. Türkiye ağır metal sınır değerleri (mg/kg) [21].

Ağır Metal	pH 5-6 (mg/kg kuru toprak)	pH>6 (mg/kg kuru toprak)
Pb	50	300
Cd	1	3
Ni	30	75
Cr	100	100
Co	80	80
Cu	50	140
Fe	4,5	4,5
Zn	150	300
Mn	70	70

Çizelge 4. FAO/WHO'nun bitkilerde kabul ettiği ağır metal sınır değerleri (mg/kg) [22]

Ağır Metal	Sınır Değer (mg/kg)
Pb	2
Cd	0,5
Ni	5
Cr	0,5
Cu	5
Fe	30
Zn	50

4.1. Toprak Örneklerinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Toplanan toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal analizlerinin sonuçlarına göre; pH 7,5 ile 8,6 arasında; kireç %15,0 ile %35,8 arasında ve organik madde %1,50 ile %4,31 arasında değişmektedir. Araştırmada kullanılan toprak örneklerinin çoğunluğu nötr ve hafif alkalin reaksiyonlu, büyük bir bölümü ise az kireçlidir.

Organik madde içerikleri genellikle yetersizdir. Toprak örneklerinin tekstürleri Kumlu Killi Tın'dan, Kumlu Kil'e kadar geniş bir varyasyona sahiptir.

4.2. Toprak Örneklerinin Ağır Metal İçerikleri

Analizi yapılan toprak ve bitki örneklerinin ağır metal içerikleri Çizelge 5 (a ve b) ve 6'da (standart sapmalarıyla) verilmiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışma sonucunda; toprak örneklerinin ağır metal içerikleri

Pb 0,130-0,780 mg/kg, Cd 0-0,265 mg/kg, Ni 0,370-3,97 mg/kg, Cr 0-0,120 mg/kg, Co 0-1,83 mg/kg, Al 0-0,700 mg/kg, Fe 1,45-22,8 mg/kg, Cu 0,385-5,43 mg/kg, Mn 1,96-27 mg/kg ve Zn 0-4,26 mg/kg, bitki örneklerinin ağır metal içerikleri de Pb 0-0,155 mg/kg, Cd 0-0,105 mg/kg, Ni 0,100-3,53 mg/kg, Cr 0,0 mg/kg, Co 0,0 mg/kg, Al 0,0 mg/kg, Fe 5,60-25,0 mg/kg, Cu 0,121-4,48 mg/kg, Mn 2,35-15,4 mg/kg, Zn 0,554-6,75 mg/kg olarak bulunmuştur.

Analizi yapılan toprak ve bitki örneklerinin ağır metal değerleri, müsaade edilen ağır metal sınır değerleri (Çizelge 2, 3 ve 4) ile karşılaştırıldığında genel olarak normal sınırlar içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Sadece topraktaki Fe elementinin sınır değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir. Ayrıca Fe elementi dışındaki diğer tüm elementlerin karayolundan uzaklaştıkça miktarlarında düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

Fakat bitki örneklerinde; Fe, Cu, Mn ve Zn değerlerinin rastgele değişkenlik gösterdiği, Pb, Cd ve Ni değerlerinin tıpkı toprak örneklerinde olduğu gibi karayolundan uzaklaştıkça azaldığı, Cr, Co ve Al'un ise hiç olmadığı tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışma topraktaki Fe, bitkideki Fe, Cu, Mn ve Zn varlığının tarımsal faaliyetler ve geriye kalan Pb, Cd, Ni gibi ağır metallerin var olma sebebinin karayolu trafiği olduğunu ortaya koymuştur.

Çizelge 5.a. Toprak örneklerinin ağır metal analiz sonuçları (mg/kg)

Örnek Bölgesi	Karayoluna Uzaklık	Pb	Cd	Ni	Cr	Co	Al	Fe	Cu	Mn	Zn
Bölge 1 (Karayolu sağ tarafı)	25 m	0,770±0,04	0,265±0,04	3,57±0,13	0,095±0,05	1,83±0,08	0,700±0,05	16,2±1,18	5,23±0,12	27,0±0,34	4,26±0,15
	100 m	0,740±0,01	0,250±0,03	3,50±0,15	-	1,76±0,11	0,652±0,06	17,3±0,48	5,20±0,21	25,2±0,77	4,03±0,11
	500 m	0,550±0,01	0,221±0,01	3,01±0,16	-	1,65±0,13	0,641±0,07	15,3±1,10	3,46±0,16	24,9±0,34	3,95±0,08
	1 km	0,480±0,03	0,192±0,05	3,05±0,11	-	1,60±0,11	0,603±0,11	15,6±0,19	4,05±0,19	23,5±0,17	4,01±0,13
Bölge 1 (Karayolu sol tarafı)	25 m	0,780±0,06	0,260±0,03	3,97±0,11	0,100±0,05	1,75±0,09	0,700±0,06	16,0±0,50	5,43±0,31	27,0±0,51	4,26±0,16
	100 m	0,750±0,01	0,240±0,05	3,65±0,09	-	1,71±0,13	0,695±0,05	18,5±0,38	5,10±0,18	25,2±0,64	4,11±0,06
	500 m	0,630±0,03	0,180±0,02	3,60±0,16	-	1,65±0,15	0,690±0,08	15,1±1,12	5,00±0,11	24,9±0,71	4,05±0,05
	1 km	0,550±0,02	0,180±0,03	3,59±0,13	-	1,58±0,16	0,700±0,08	13,6±0,35	4,45±0,21	23,0±0,65	3,96±0,08
Bölge 2 (Karayolu sağ tarafı)	25 m	0,552±0,01	0,030±0,01	0,600±0,05	-	-	-	5,47±0,11	1,88±0,02	2,87±0,18	0,148±0,03
	100 m	0,550±0,03	-	0,660±0,03	-	-	-	4,34±0,17	1,88±0,06	2,38±0,12	0,111±0,06
	500 m	0,451±0,05	-	0,530±0,05	-	-	-	5,38±0,25	1,57±0,09	2,01±0,16	0,101±0,05
	1 km	0,490±0,03	-	0,500±0,15	-	-	-	1,45±0,11	1,53±0,04	1,96±0,21	0,101±0,01
Bölge 2 (Karayolu sol tarafı)	25 m	0,581±0,01	0,220±0,01	1,30±0,16	-	0,780±0,08	0,450±0,09	9,15±0,16	3,14±0,21	16,1±0,13	3,01±0,07
	100 m	0,551±0,03	0,200±0,02	1,23±0,13	-	0,650±0,14	0,410±0,08	8,71±0,25	2,99±0,16	16,0±0,21	3,00±0,13
	500 m	0,500±0,02	0,175±0,05	1,15±0,13	-	0,640±0,09	0,350±0,01	10,1±0,13	3,05±0,21	15,5±0,16	2,91±0,11
	1 km	0,450±0,01	0,150±0,03	1,00±0,10	-	0,650±0,13	0,305±0,15	6,55±0,35	2,85±0,19	14,5±0,09	2,85±0,16
Bölge 3 (Karayolu sağ tarafı)	25 m	0,450±0,01	0,155±0,04	0,511±0,06	0,010±0,005	0,25±0,08	-	6,32±0,18	2,01±0,16	8,58±0,16	-
	100 m	0,510±0,01	0,150±0,06	0,505±0,05	-	0,21±0,05	-	3,83±0,08	1,50±0,15	7,92±0,27	-
	500 m	0,420±0,04	0,121±0,01	0,414±0,07	-	-	-	7,24±0,16	1,26±0,21	7,89±0,14	-
	1 km	0,380±0,03	0,112±0,03	0,370±0,11	-	-	-	5,61±0,19	1,25±0,19	7,51±0,17	-
Bölge 3 (Karayolu sol tarafı)	25 m	0,562±0,04	0,100±0,03	0,630±0,16	-	-	-	3,62±0,15	1,93±0,04	6,10±0,17	0,190±0,05
	100 m	0,560±0,02	0,080±0,01	0,600±0,06	-	-	-	3,43±0,25	1,86±0,03	4,51±0,13	0,160±0,03
	500 m	0,551±0,06	-	0,560±0,05	0,120±0,01	-	-	4,09±0,16	1,61±0,07	4,05±0,21	0,160±0,03
	1 km	0,510±0,03	-	0,510±0,13	0,116±0,05	-	-	3,29±0,21	1,56±0,05	3,86±0,18	0,110±0,01
Bölge 4 (Karayolu sağ tarafı)	25 m	0,182±0,03	0,085±0,01	1,23±0,15	-	-	0,080±0,03	5,47±0,21	1,87±0,09	13,5±0,10	-
	100 m	0,150±0,05	0,055±0,03	1,21±0,10	-	-	0,065±0,02	3,34±0,18	1,81±0,11	13,4±0,12	-
	500 m	0,131±0,01	0,065±0,01	1,15±0,05	-	-	0,060±0,01	5,68±0,25	1,65±0,08	13,1±0,16	-
	1 km	0,130±0,04	0,035±0,01	1,13±0,05	-	-	0,051±0,01	4,47±0,21	1,50±0,13	12,8±0,21	-
Bölge 4 (Karayolu sol tarafı)	25 m	0,411±0,03	-	1,21±0,15	-	-	-	5,03±0,10	1,15±0,03	13,8±0,13	0,750±0,06
	100 m	0,400±0,01	-	1,15±0,03	-	-	-	3,96±0,29	1,10±0,05	14,4±0,16	0,510±0,01
	500 m	0,300±0,02	-	1,14±0,01	-	-	-	4,42±0,36	1,03±0,04	12,1±0,11	0,440±0,03
	1 km	0,260±0,01	-	1,05±0,06	-	-	-	4,56±0,26	1,01±0,05	13,1±0,09	0,415±0,05

Çizelge 5.b. Toprak örneklerinin ağır metal analiz sonuçları (mg/kg)

Örnek Bölgesi	Karayoluna Uzaklık	Pb	Cd	Ni	Cr	Co	Al	Fe	Cu	Mn	Zn
Bölge 5 (Karayolu sağ tarafı)	25 m	0,450±0,01	0,155±0,04	0,511±0,06	0,010±0,005	0,25±0,08	-	6,32±0,18	2,01±0,16	8,58±0,16	-
	100 m	0,510±0,01	0,150±0,06	0,505±0,05	-	0,21±0,05	-	3,83±0,08	1,50±0,15	7,92±0,27	-
	500 m	0,420±0,04	0,121±0,01	0,414±0,07	-	-	-	7,24±0,16	1,26±0,21	7,89±0,14	-
	1 km	0,380±0,03	0,112±0,03	0,370±0,11	-	-	-	5,61±0,19	1,25±0,19	7,51±0,17	-
Bölge 5 (Karayolu sol tarafı)	25 m	0,480±0,02	0,155±0,04	0,485±0,06	-	0,21±0,05	-	4,56±0,31	2,10±0,19	8,16±0,15	-
	100 m	0,400±0,06	0,150±0,06	0,415±0,10	-	0,20±0,08	-	3,76±0,16	1,85±0,13	8,00±0,13	-
	500 m	0,350±0,01	0,121±0,01	0,385±0,03	-	0,06±0,01	-	5,21±0,33	1,35±0,10	7,91±0,16	-
	1 km	0,400±0,02	0,112±0,03	0,370±0,05	-	-	-	4,76±0,16	1,30±0,12	7,65±0,08	-
Bölge 6 (Karayolu sağ tarafı)	25 m	0,261±0,03	-	1,75±0,15	-	-	-	15,3±0,30	0,730±0,06	5,65±0,10	-
	100 m	0,255±0,01	-	1,73±0,10	-	-	-	16,2±0,26	0,640±0,11	5,16±0,15	-
	500 m	0,232±0,03	-	1,65±0,15	-	-	-	16,3±0,21	0,460±0,11	5,16±0,11	-
	1 km	0,201±0,05	-	1,63±0,19	-	-	-	17,6±0,43	0,385±0,10	5,05±0,05	-
Bölge 6 (Karayolu sol tarafı)	25 m	0,301±0,03	-	1,65±0,15	-	-	-	13,6±0,61	0,390±0,05	6,35±0,15	-
	100 m	0,250±0,06	-	1,76±0,11	-	-	-	13,3±0,45	0,650±0,09	5,15±0,21	-
	500 m	0,212±0,03	-	1,70±0,16	-	-	-	12,5±0,36	0,510±0,07	5,00±0,16	-
	1 km	0,181±0,04	-	1,65±0,09	-	-	-	13,5±0,35	0,430±0,04	5,00±0,11	-
Bölge 7 (Karayolu sağ tarafı)	25 m	0,182±0,03	0,085±0,01	1,23±0,15	-	-	0,080±0,03	5,47±0,21	1,87±0,09	13,5±0,10	-
	100 m	0,150±0,05	0,055±0,03	1,21±0,10	-	-	0,065±0,02	3,34±0,18	1,81±0,11	13,4±0,12	-
	500 m	0,131±0,01	0,065±0,01	1,15±0,05	-	-	0,060±0,01	5,68±0,25	1,65±0,08	13,1±0,16	-
	1 km	0,130±0,04	0,035±0,01	1,13±0,05	-	-	0,051±0,01	4,47±0,21	1,50±0,13	12,8±0,21	-
Bölge 7 (Karayolu sol tarafı)	25 m	0,202±0,02	0,090±0,01	1,30±0,18	-	-	0,110±0,03	3,06±0,18	1,50±0,13	15,6±0,41	-
	100 m	0,190±0,02	0,060±0,03	1,25±0,15	-	-	0,100±0,03	2,51±0,17	1,94±0,14	14,5±0,35	-
	500 m	0,151±0,06	-	1,05±0,13	-	-	0,080±0,03	2,34±0,13	1,84±0,11	13,2±0,91	-
	1 km	0,130±0,05	-	1,08±0,01	-	-	0,050±0,01	3,48±0,21	1,61±0,08	12,9±0,61	-
Bölge 8 (Karayolu sağ tarafı)	25 m	0,751±0,05	0,161±0,01	2,83±0,25	0,010±0,001	0,681±0,07	0,651±0,01	22,8±0,61	4,14±0,08	17,3±0,11	1,40±0,01
	100 m	0,732±0,06	0,153±0,03	2,80±0,11	0,010±0,005	0,655±0,05	0,645±0,03	19,8±0,44	4,10±0,05	17,0±0,10	1,35±0,03
	500 m	0,685±0,03	0,150±0,01	2,75±0,23	-	0,650±0,05	0,640±0,03	18,4±0,53	3,95±0,03	17,0±0,13	1,33±0,03
	1 km	0,655±0,03	0,149±0,01	2,75±0,13	-	0,556±0,05	0,640±0,01	17,6±0,49	3,94±0,04	16,9±0,11	1,25±0,01
Bölge 8 (Karayolu sol tarafı)	25 m	0,651±0,03	0,150±0,01	2,83±0,25	-	0,680±0,07	0,680±0,05	20,1±0,65	4,23±0,07	17,3±0,29	1,35±0,06
	100 m	0,640±0,06	0,140±0,03	2,80±0,11	-	0,650±0,05	0,610±0,05	19,2±0,53	4,01±0,21	16,5±0,18	1,21±0,11
	500 m	0,600±0,04	0,150±0,01	2,75±0,23	-	0,640±0,06	0,510±0,08	18,8±0,73	3,93±0,18	15,4±0,31	1,20±0,05
	1 km	0,555±0,05	0,100±0,05	2,75±0,13	-	0,560±0,05	0,500±0,09	17,7±0,65	3,85±0,16	14,0±0,43	1,05±0,08

Çizelge 6. Bitki örneklerinin ağır metal analiz sonuçları (mg/kg)

Örnek Adı	Karayoluna Uzaklık	Pb	Cd	Ni	Cr	Co	Al	Fe	Cu	Mn	Zn
Pamuk	25 m	0,155±0,10	0,105±0,01	3,53±0,15	-	-	-	25,0±0,42	4,03±0,20	15,35±0,20	0,554±0,05
	100 m	0,155±0,08	0,095±0,04	2,73±0,10	-	-	-	16,4±0,34	3,93±0,15	13,55±0,15	0,680±0,07
	500 m	0,141±0,07	0,065±0,01	2,85±0,13	-	-	-	18,2±0,35	3,85±0,13	15,40±0,31	0,645±0,03
	1 km	0,132±0,13	0,055±0,01	1,77±0,05	-	-	-	19,4±0,49	3,77±0,15	14,00±0,43	0,570±0,05
Mısır	25 m	0,150±0,07	0,085±0,01	1,75±0,15	-	-	-	22,1±0,45	3,53±0,15	15,30±0,20	6,75±0,25
	100 m	0,145±0,05	0,055±0,05	1,73±0,10	-	-	-	17,2±0,30	2,73±0,10	11,35±0,15	6,45±0,23
	500 m	0,131±0,04	0,065±0,05	2,01±0,15	-	-	-	18,8±0,73	2,45±0,13	14,40±0,31	6,65±0,20
	1 km	0,115±0,06	0,045±0,09	1,70±0,10	-	-	-	17,0±0,50	2,77±0,05	13,05±0,23	6,70±0,15
Ayçiçeği	25 m	0,155±0,04	0,095±0,01	0,850±0,03	-	-	-	14,8±0,41	4,48±0,13	2,35±0,20	4,35±0,03
	100 m	0,150±0,06	0,095±0,03	0,870±0,05	-	-	-	10,8±0,44	4,33±0,10	3,15±0,10	5,68±0,25
	500 m	0,121±0,01	0,085±0,06	0,950±0,15	-	-	-	11,4±0,53	3,85±0,13	5,10±0,30	3,45±0,20
	1 km	0,112±0,03	0,080±0,04	0,830±0,10	-	-	-	5,60±0,49	3,82±0,15	4,00±0,23	3,90±0,14

Yukarıdaki bilgiler ışığında analizi yapılan Antakya-Cilvegözü Karayolu etrafındaki tarım arazilerinin ve bu topraklarda yetişen bitkilerin şuan için önlem gerektiren herhangi bir ağır metal kirliliğine sahip olmadığı görülmektedir. Fe elementi miktarının sınır değerinin biraz üzerinde olması, bitkiler için gerekli bir besin elementi olduğu göz önünde bulundurulduğunda herhangi bir sorun teşkil etmediği kabul edilmektedir. Ancak belirli zaman aralıklarında bu tarz çalışmaların tekrar edilerek ağır metal birikiminin zamanla olası değişimi incelenmeli ve gerektiğinde önlemler alınmalıdır.

5. KAYNAKLAR

1. Mater, B., 1998. Toprak Coğrafyası. İstanbul: Çantay Kitabevi.
2. İlkılıç, C., Behcet, R., 2006. Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerindeki Etkisi. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 5(1): 66-72.
3. Haktanır, K., Arcak, S., 1998. Çevre Kirliliği. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, Ankara. Yayın No: 1503.
4. Li, X., Liu, P.S., 2001. Heavy Metal Contamination of Urban Soils and Street Dusts in Hong Kong. Applied Geochemistry 16: 1361-1368.
5. Karataş, M., Güler, E., Dursun, Ş., Özdemir, C., Argun, M.E., 2007. Konya Ana Tahliye Kanalının Çengilli Bölgesi Tarım Topraklarında ve Buğdayda Cu, Cr, Ni ve Pb

Derişimlerinin Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Dergisi, Sayı 29, 91- 99.

6. Zincirlioğlu, N., 2013. Investigation of the Heavy Metal Contents of Some Agricultural Lands in the Region of Manisa-Akhisar. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 50 (3), 333-339.
7. Özkan, A., Sungur, Ş., Özkan, V., Birses, H., 2017. Heavy Metal Pollution Around International Hatay Airport. Natural and Engineering Sciences an International Journal. Volume 2, No 1, 18-24.
8. Karaçağıl, D., 2013. İstanbul'da Belirlenmiş Sahil Şeritlerinde Toprak Kalitesi ve Ağır Metal Kirliliği, adlı Yüksek Lisans Tezi. Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Programı, İstanbul.
9. Knezevic, M., Stankovic, D., Krstic, B., Nikolic, M. S., Dragica, V., 2009. Concentrations of Heavy Metals in Soil and Leaves of Plant Species Paulownia Elongata S.Y.Hu and Paulownia Fortunei Hemsl. African Journal of Biotechnology. 8 (20): 5422-5429.
10. Tao, S.G., Lou, C.Z., Yuan, X.S., Li, W., Ju, Z., Wen, H.L., 2007. Characteristics of Heavy Metal Pollution in Soil and Dust of Urban Parks in Shanghai. Environmental Science, 53: 250-330.
11. Möller, A., Müler, H.W., Abdullah, A., Abdelgawad, G., Uterman, J., 2004. Urban Soil

- Pollution in Damascus Ghovta. *Geoderma*, 124: 63-71.
12. Sezgin, N., Ozcan, H.K., Demir, G., Nemlioglu, S., Bayat, C., 2003. Determination of Heavy Metal Concentrations in Street Dusts in Istanbul E-5 Highway. *Environment International*, 29: 973-985.
 13. Haktanır, K., Arcak, S., Erpul, G., 1995. Yol Kenarlarındaki Topraklarda Trafikten Kaynaklanan Ağır Metallerin Birikimi. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 19: 423-431.
 14. Kacar, B., Katkat, V., Öztürk, Ş., 2013. *Vegetable Physiology*. Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim ve Danışmanlık Ltd. Şti. Ankara. Türkiye.
 15. Lindsay, W.L., Norwell, W.A., 1978. Development of DTPA Soil Test Zinc Iron, Manganese and Copper. *Soil Science Society of American Journal*, 42, 421-428.
 16. Loeppert, R.H., Hallmark, C.T., Koshy, M.M., 1996. Routine Procedure for Rapid Determination of Soil Carbonates. *Soil Science Society of American Journal*, 48, 1030-1033.
 17. Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1982. Total carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In *Methods of Soil Analysis*, 2nd edn, Edited by: Page, A.L. 539-579. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy. Part 2.
 18. Demiralay, İ., 1993. Toprak Fiziksel Analizleri. Atatürk Üniversitesi. Yayın. No: 143. Erzurum. 90-95.
 19. Gee, G.W., Hortage, K.H., 1986. Particle- Size Analysis. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods* Second Edition. Agronomy No: 9, 383-441.
 20. Öztürk, M., Bildik, B., 2005. Hayvan Çiftliklerinde Kompost Üretimi. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
 21. Anonim, 2005. Resmi Gazete. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği. Sayı: 25831, Tarih: 31.05.2005.
 22. FAO/WHO Codex Alimentarius International Food Standards Codex Stan-179, 2003. Codex Alimentarius commission.

Geri Dönüş Havalı İklimlendirme Sistemlerinde Enerji ve Ekserji Analizi

Ali GÜNGÖR¹, İbrahim KARAÇAYLI^{*2}, Erdoğan ŞİMŞEK³, Yücel CANLI²

¹Ege Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir

²Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, İklimlendirme ve Soğutma Teknolojisi, İzmir

³Çukurova Üniversitesi, Adana Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 02.06.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Öz

Termodinamiğin birinci yasası iklimlendirme sistemlerinin tasarımında sıkça kullanılan bir kuraldır. Enerji korunumu yasası olarak da bilinen bu yasa, bütün ısı sistemlerin analizinde tercih edilmektedir. Ancak ısı sistemlerin tasarımı, performans değerlendirilmesi ve optimizasyonu için ekserji analizi metodu, enerji analizi yaklaşımına nazaran daha doğru bir yöntemdir. Ekserji ya da kullanılabilirlik, belirli bir halde ve belirli bir miktardaki enerjinin elde edilmek istenen yararlı işe dönüşebilme potansiyelidir. Bu çalışmada, öncelikle, sürekli akışlı açık sistemler için enerji ve ekserji konusu genel hatlarıyla ele alınacaktır. Daha sonra, ısıtma modundaki geri dönüş havalı iklimlendirme santrali için enerji ve ekserji analizine yer verilmiştir. Böylece bu sistemde gerçekleşen enerji transferleriyle kullanılan enerjinin ne kadarının yararlı işe dönüştürülebileceği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji analizi, Ekserji, Ekserji analizi, Geri dönüş havalı iklimlendirme sistemi

Energy and Exergy Analysis in Recirculating Air Conditioning Systems

Abstract

The first law of thermodynamics is frequently used as a rule to design of the air conditioning systems. The first law of thermodynamics, that is also known as the conservation of energy principle, is preferred in analysis of all thermal systems. Nevertheless, exergy analysis method is a more useful procedure compared to energy analysis approach for the design, performance evaluation and optimization of thermal systems. Exergy or availability is the useful work potential of a given amount of energy at some specified state. In this study, firstly, subject of energy and exergy is examined in general terms for steady-flow open systems. Then, energy and exergy analysis procedures will be explained for recirculating central air conditioning in heating mode. Thus, the rate of energy transfer taking place in and how much energy is converted into the beneficial work in this system are investigated.

Keywords: Energy analysis, Exergy, Exergy analysis, Recirculating air conditioning system

*Sorumlu yazar (Corresponding author): İbrahim KARAÇAYLI, ibrahim.karacayli@ege.edu.tr

1. GİRİŞ

Isı pompaları, klima sistemleri, merkezi santraller gibi bütün ısı makinaların tasarımında termodinamiğin birinci yasası kullanılmaktadır. Ayrıca ısı sistemlerinin performansının değerlendirilmesinde, termodinamiğin birinci yasasının başka bir deyişle enerjinin korunumu ilkesinin uygulanması oldukça yaygındır [1]. Termodinamiğin birinci yasası veya kısaca birinci yasa, enerjinin değişik biçimleri arasında dönüşebileceğini ancak toplam enerjinin değişmeyeceğini ifade eder [1,2]. Enerjinin korunumu ilkesinin bir ifadesi olan bu yasa, enerjinin var veya yok edilemeyeceğini ancak bir biçimden diğerine dönüşebileceğini vurgular [2]. Enerji, genellikle iş ya da iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır [3].

Isıl sistemlerin enerji analizi veya diğer adıyla birinci yasa analizi, sistem içindeki enerji transferleriyle enerjinin değişik biçimler arasındaki dönüşümünü nicelik olarak ortaya koymaktadır. Bu sistemlerin tasarımının yanı sıra ısı performanslarının değerlendirilmesinde de bu yöntem sıkça tercih edilmektedir [1]. Ancak enerji analizinde sistemin sahip olduğu enerjinin ne kadarının yararlı işe dönüşeceği hakkında bilgi vermez. Ayrıca birinci yasa analizi, enerji geçiş yönleri hakkında da bilgi vermez, hal değişimlerini sadece niteliksel olarak değerlendirir [2]. Bununla birlikte birinci yasa, hal değişimlerinin doğal yönüne ve hal değişiminin tersinmezliklerine bağlı olarak sistemlerin veriminin kuramsal sınırı hakkında bilgi vermez.

Termodinamiğin ikinci yasası, hal değişimlerinin veya enerji transferlerinin enerjinin niteliğinin azaldığı veya entropinin arttığı yönde kendiliğinden gerçekleşebileceğini savunur. İkinci yasanın kullanımı, sadece hal değişimlerinin yönünü belirlemekle sınırlı değildir. Termodinamiğin ikinci yasası, entropi üretimi ve atık enerjiye sebep olan tersinmezliklerle ilgilenir [4]. Enerjinin sadece niceliğiyle ilgilenen birinci yasanın aksine ikinci yasa, enerjinin hem niceliğiyle hem niteliğiyle ilgilenmektedir. İkinci yasa, enerjinin niteliğini ve bir hal değişimi

sırasında bu niteliğin nasıl azaldığını hesaplamak için somut yöntemler ortaya koyar.

Ekserji, termodinamiğin birinci ve ikinci yasasına dayanır. Fakat enerji gibi bir biçimden diğerine dönüşmez [4]. Başka bir deyişle ekserji, belirli bir haldeki sistemde var olan enerjinin iş potansiyelidir. Diğer bir deyişle ekserji, sistemden elde edilebilecek en fazla yararlı iştir. Aynı şekilde enerji, hal değişimleri esnasında korunurken ekserji, hal değişimleri süresince tüketilmektedir [1,2,4]. Ekserji, iş yapan bir sistemin sahip olduğu enerjinin kullanılabilir enerji miktarını açığa çıkardığından ısı sistemlerinin analizi ve optimizasyonu için ekserji analizi, enerji analizine göre daha uygundur [4].

Bir sistemin enerjisinin işe dönüşebilme potansiyelini ifade eden ekserji, bir termodinamik sistemin çevresiyle olan sıcaklık farkının artmasıyla artar. Bir sistem, termodinamik dengeden uzaklaştıkça sistemin enerjisinin iş yapabilme potansiyeli artar, termodinamik dengede ise iş yapabilme potansiyeli sıfır olur [4]. İki hal değişimi arasında sistem tarafından yapılan en çok iş, hal değişiminin tersinir olması durumunda gerçekleşir. Bu nedenle sistemden elde edilebilecek en çok iş belirlenirken hal değişimindeki tersinmezlikler dikkate alınmaz [2].

Isıtma, soğutma ve havalandırma işlemleri çevre sıcaklıklarına yakın sıcaklıklarda gerçekleştiği için bu işlemler, düşük kaliteli enerji kaynaklarına ihtiyaç duyarlar. Ancak bu düşük kaliteli enerji ihtiyaçları, elektrik enerjisi gibi yüksek kaliteli enerji (yüksek ekserjili) kaynaklar ile karşılanır [4]. İklimlendirilen ortamlarda, ısıtma ve soğutma işleminin gerçekleştirilmesinde taze hava girişinin sağlanması için enerji taşıyıcı akışkan olarak kullanılan iç ortam şartlarındaki havanın bir kısmı dışarı atıldığından, enerjinin bir kısmı dışarı atılmaktadır [5]. Günümüzde ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde tüketilen enerjinin toplam enerji tüketimindeki payı, yaklaşık olarak %50 değerindedir [3]. Bu durum da enerjinin daha etkin ve verimli kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir [4]. Enerjinin verimli kullanılabilmesi için enerji analizinin yanı sıra ekserji analizlerine de ihtiyaç duyulmaktadır.

Isıtma, soğutma ve havalandırma ihtiyaçlarının karşılanması için tercih edilen bir yöntem de merkezi iklimlendirme santralleridir. Bu santraller, karışım odası, ısıtma, nemlendirme, soğutma ve nem alma ve son ısıtma ünitelerinden meydana gelir. Karışım odaları, iklimlendirilen ortamların taze hava ihtiyaçlarının karşılanması işleminin ekonomik geçmesine yardımcı olmaktadır. Kış sezonunda özgül nemi ve sıcaklığı düşük olan havanın hem ısıtılması hem de nemlendirilmesi, yazın ise özgül nemi ve sıcaklığı yüksek olan havanın soğutulması neminin uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu nedenle kış sezonunda ön ısıtma, nemlendirme ve son ısıtma üniteleri devrede iken yaz sezonunda ise sadece soğutma ünitesi çalıştırılmaktadır. Ön ısıtma işlemi, nemlendirme işlemine destek olmak için gerçekleştirilir. Çünkü sıcaklığı yükselen havanın nem alabilme kapasitesi artmaktadır. Son ısıtma işlemi ise mahale gönderilecek havanın istenilen sıcaklık şartına getirilmesi amacıyla kullanılır. Yaz sezonunda devreye alınan soğutma ünitesi, aynı zamanda özgül nemi yüksek olan havanın neminin alınmasına da yardımcı olmaktadır [2,6,7].

Bu çalışmada nemlendirme işlemi olarak buhar jeneratöründe elde edilen havanın kuru termometre sıcaklığından yüksek sıcaklığa sahip su buharı ile nemlendirme işlemi yapılmıştır. İklimlendirme santralinde yapılan deneyler esnasında soğutma ünitesi devre dışı bırakılarak ön ısıtıcı, buhar jeneratörü ve son ısıtıcı çalıştırılmıştır. Taze hava ihtiyacının karşılanması için mahalden dönen kullanılmış hava ile dış ortamdan çekilen düşük sıcaklıktaki taze hava, belli bir oranda karıştırılmıştır. Bu sistemdeki karışım odası, ön ısıtma ve nemlendirme ve son ısıtma hücreleri için enerji geçişleri ile akış ekserjileri hesaplanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde, ısı sistemlerinin ekserji analizleriyle ilgili çok fazla çalışmalar yer almaktadır. Bunlardan sadece birkaçına aşağıda değinilebilmiştir.

Bilgili ve arkadaşları [8], evsel tip bir split klimanın performansını farklı atmosfer hava sıcaklıklarına göre enerji ve ekserji analizi ile

değerlendirmek için bir deneysel düzenek hazırlamışlardır. Yaptıkları deneysel sistemde, elektrikli ısıtıcılar ile kondenser serpantini girişinde atmosfer hava sıcaklığı değerleri kademeli bir şekilde artırılmıştır. Böylece bu klima sisteminin soğutma etkinliğini (COP), tüm sistem ve her bir eleman için (kompresör, kondenser, kılcal boru ve evaporatör) entropi üretimini, ekserji yok oluşunu ve ekserji verimi değerlerini elde etmişlerdir.

Mosaffa ve arkadaşları [9], gizli ısı termal depolama ile buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin kombinasyonunu içeren iklimlendirme sisteminin ileri ekserji analizini yapmışlardır. Bu analizi ekserji yıkımının endojen veya ekzojen ve önlenemez veya önlenebilir kısımlarına bölünmesine dayandırmışlardır.

Özek [10], yüksek lisans tezi kapsamında, geri dönüş havalı konfor amaçlı iklimlendirme sisteminin laboratuvar şartlarında deneysel olarak enerji ve ekserji analizini yapmıştır. Deneyleri, farklı dış hava, kuru termometre sıcaklıkları, dış hava ve dönüş havası, hacim debisi oranı ve dış havanın bağıl nemi için tekrarlamıştır. Geliştirdikleri bilgisayar programı yardımıyla soğutucu serpantin kapasitesi, yok olan ekserji ve ekserji verimi değerlerini hesaplayarak farklı sistem parametrelerine göre ısı transferinin değişim aralıklarını, soğutucu serpantinde yok olan ekserji miktarını ve ekserji veriminin alt ve üst limitlerini belirlemeyi amaçlamışlardır.

Yücer ve Hepbaşlı [11], ısıtma merkezindeki geleneksel kazan ve odada bulunan fan coil ünitesi ile bir eğitim binasının ısıtılmasının ekserjetik değerlendirmesini yapmışlardır. Isı kaybı hesapları enerji ve ekserji analizi yöntemiyle yapılmış ve enerji ve ekserji akımları, ön tasarım araçları kullanılarak optimize edilmiş bina tasarımı için elde edilmiştir. Enerji ve ekserji kayıpları, sistem performansını hesaplamak için belirlenmiştir.

Derbentli [12], son yıllarda ekserji alanında gerçekleştirilen çalışmaları gözden geçirerek yapılan çözümlenmeleri, uygulanan yöntemleri ve gelişmeleri değerlendirmiştir. İklimlendirme sistemlerinin tasarımında ve değerlendirmesinde

kullanılmaya başlan termoekonomi adı verilen bir bilim dalı geliştiğini vurgulamıştır.

Sakulpipatsin ve arkadaşları [13], bir bina ve iklimlendirme sisteminin ekserji çözümlemesi için bir yöntem önermişlerdir. Yöntem, binanın ısı kazanç ve kayıplarını hesapladıktan sonra bu değerleri kullanarak ekserji giriş-çıkışlarını bulmakta ve ekserji bilançosunu yapmaktadır. Yöntem Hollanda'da bir ofis binasına uygulanmış, binanın soğutulması ve ısıtılması için ekserji verimleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Çalışmada ayrıca binadan dışarı olan ekserji akışı ele alınmıştır. Bu yöntemle değişik ısıtma – soğutma sistemlerinin karşılaştırmasını yapmak ve bu yolla sistem optimizasyonuna gitmek mümkün görünmektedir.

Pu ve arkadaşları [14], kümülatif ekserji yaklaşımlarını iki farklı durum için iklimlendirme sistemlerini değerlendirmek için uygulamışlardır. İlk durumda, direkt gaz yakıtlı, hava ve su soğutmalı chiller ve ısı pompası ile havayı soğutan iklimlendirme sistemleri olmak üzere üç farklı iklimlendirme sistemini ele almışlardır. İkinci durumda ise santrifüjlü su soğutucu, vidalı su soğutucu, hava soğutmalı su soğutucu ve direkt gaz yakıtlı olmak üzere dört farklı iklimlendirme sistemini ele almışlardır.

Wei ve Zmeureanu [15], bir ofis binası için değişken hava debili (VAV) iklimlendirme sisteminin iki farklı çalışma koşulu için ekserji çözümlemesini yapmışlardır. Sistemin tümü, elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Çalışmada, önce iklimlendirme sisteminin enerji ve ekserjiye dayalı matematiksel modelleri oluşturulmuş, yıllık bazda sistemin etkinlik katsayıları (COP) ve ekserji verimleri hesaplanmıştır. Elektrik yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması durumunda, ekserji veriminin artacağı vurgulanmıştır.

Chengqin, ve arkadaşları [16], nemli havanın ekserjisini veren bağıntıları yeniden ortaya koyduktan sonra, ekserjinin çevre haline (referans haline) göre değişimini incelemiştir; Wepfer, Gaggioli ve Obert' in sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Çalışmada, bir iklimlendirme sisteminin

elemanları sınıflandırılarak her bir grup için ekserji verimi ayrı ayrı tanımlanmıştır. Bu çalışmada, ayrıca ekserjinin ısı, mekanik ve kimyasal olarak üç bileşeni tanımlanmış ve değişik buharlaşmalı soğutma (evaporative cooling) yöntemlerinin ekserji çözümlemesi yapılmıştır.

3. MATERYAL VE METOD

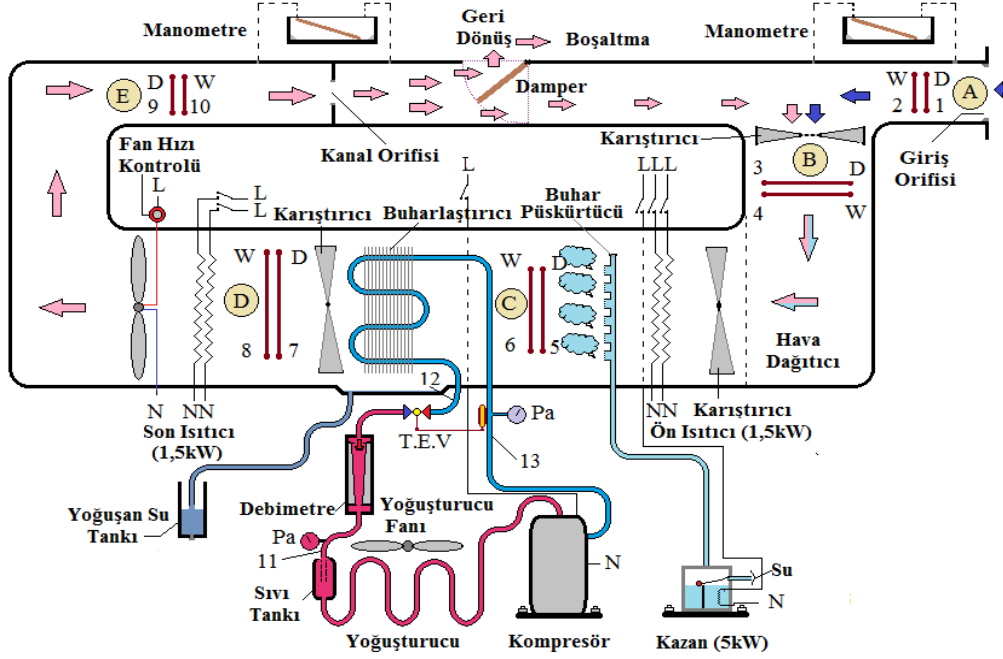
Bu çalışmada, enerji ve ekserji analizinin yapılması için ısıtma modunda çalışan geri dönüş havalı iklimlendirme sistemi kullanılmıştır (Şekil 1). Bu sistemde, dışarıdan alınan taze hava ile mahalden dönen kullanılmış hava karışım odasında adyabatik olarak karıştırılarak ön ısıtma işleminin yapılacağı bölüme gönderilir. Ön ısıtma işleminden sonra buhar jeneratöründe üretilen sıcak buhar ile nemlendirme işlemi gerçekleştirilir. Daha sonra da hava mahale gönderilmek istenen sıcaklığa ulaşmaya kadar son ısıtma ünitesinde ısıtılır. Şekil 1'de deneysel verilerin toplandığı geri dönüş havalı iklimlendirme cihazı, şematik olarak gösterilmiştir.

Şekil 1'de gösterilen geri dönüş havalı iklimlendirme santraline dış ortam havası (taze hava) A noktasından gelir ve E noktasındaki mahalden dönen hava (kullanılmış hava) ile B noktasındaki karışım odasında belirli oranlarda karışır. Karışım odasından çıkan hava, B ile C arasında yer alan ön ısıtma ve nemlendirme hücresinden geçer. Daha sonra C ile D arasında soğutma ünitesi yer almaktadır. Hava, D ile E arasında bulunan son ısıtma ünitesinden geçerek istenilen şartlara getirilmiş olur. E noktasındaki hava mahale üflenen hava olup mahaldeki ısı ve nem kayıplarını karşılayacak özellikte olmalıdır.

3.1. Ekserji Analizi

Enerji kaynaklarının doğru ve verimli kullanımları termodinamiğin 1. ve 2. yasalarıyla belirlenir. Enerji, ısı bir sisteme yakıtla girer ve maliyeti ürün içinde hesaplanır. Termodinamiğin 1. yasası gereği enerji yok edilemez.

Soğutma ünitesinden elde edilen 1 kJ enerji ile 1 kJ elektrik enerjisi veren bir güç tesisinin verdikleri enerjilerin kullanılabilirliği, ekonomikliği



Şekil 1. Geri dönüş havalı iklimlendirme santrali

ve kalitesi aynı değildir. Ekserji, enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasını sağlar. Aynı zamanda Termodinamiğin 1. yasasının da anlaşılmasına yardımcı olur [3].

Bir sistemden elde edilebilecek en çok iş, sistem belirli bir başlangıç halinden, tersinir bir hal değişimiyle çevrenin bulunduğu hale (ölü hal) getirilirse elde edilir. Bu değer, sistemin verilen başlangıç halinde, yararlı iş potansiyelini veya iş yapma olanağını göstermektedir ve kullanılabilirlik diye adlandırılır. Kullanılabilirlik bir ısı makinesinin gerçek bir uygulamada yapabileceği iş değildir, bir sistemin termodinamiğin yasalarına ters düşmeden yapabileceği işin üst sınırıdır [2]. Verilen bir halde, sistemin enerjisinin kullanılabilirliği, sistemin özelliklerinin yanı sıra, çevre koşullarına, başka bir deyişle ölü hale bağlıdır [2].

3.2. Açık Sistemlerin Ekserjisi

Açık sistemlerde, sistem çevresiyle ısı, iş ve kütle etkileşiminde bulunur. Sürekli akışlı açık sistemlerde, madde akışının ekserjisi, akışın

olmadığı kapalı sistemin ekserjisiyle akış işi ile ilgili ekserjinin toplamına eşittir. Bu durumda madde akışının ekserjisi,

$$\dot{E}_{x_{akış}} = (H - H_o) - T_o(S - S_o) + \frac{mV^2}{2} + mgz \quad (1)$$

$$\text{veya } e_{x_{akış}} = (h - h_o) - T_o(s - s_o) + \frac{V^2}{2} + gz \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir. Burada V , açık sistemin hızı; H , entalpi; S , entropi ve z referans düzlemiyle olan düşey yükseklik farkını ifade etmektedir. "o" alt indisi ise çevre ortam (ölü hal) özelliklerini belirtiyor.

T_o sıcaklığındaki çevre ortamdaki Q ısı enerjisinin ekserjisi;

$$\dot{E}_{x_Q} = Q \cdot \left(1 - \frac{T_o}{T}\right) \quad (3)$$

şeklinde hesaplanır. Sistemin sıcaklığı, çevre ortamın sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta olması durumunda, ekserji ve ısı transferi, aynı yönde olur. Fakat sistemin çevre ortamın

sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta olması durumunda ise ekserji ve ısı transferi, ters yönde olur.

Çevre ortamdaki daha düşük sıcaklıktaki sistemin ekserjisi, sistem sıcaklığı, çevre sıcaklığına yaklaştıkça sifıra gider, çevre sıcaklığına eşit olunca da sifır olur. Sonlu sıcaklık farkında, ısı geçişi, tersinmezdir ve entropi üretimine yol açar. Entropi üretimi de ekserjinin yok edilmesi anlamına gelir.

İşle birlikte gerçekleşen ekserji transferi, sistem tarafından yapılan veya sistem üzerinde yapılan yararlı işe eşittir. Bu nedenle, işle birlikte gerçekleşen ekserji geçişi, hal değişimi esnasında hacim değişikliği geçiren kapalı sistem dışında işin kendisine eşittir. Hareketli sınır işi olarak tanımlanan hacim değişikliğine yol açan hal değişimlerinde yapılan iş, atmosfer basıncını alt etmek için veya atmosfer basıncı tarafından yapılan iş olduğu için başka bir sisteme aktarılamaz ve başka bir amaç için kullanılamaz. Bu nedenle gerçek iş ile çevre işi arasındaki farka, yararlı iş denir.

$$\dot{E}_{xW} = W_y = W - P_o(V_2 - V_1) \quad (4)$$

şeklinde hesaplanır.

3.3. Termodinamik Denklik Bağlıları

Sistemlerin kütle, enerji, entropi ve ekserji gibi değerlerinin denge denklik bağıntıları en genel olarak aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$(\text{Giren} + \text{Üretilen}) - (\text{Çıkan} - \text{Tüketilen}) = \text{Birikme} \quad (5)$$

Burada, giren ve çıkan terimleri, sırasıyla sistem sınırlarından sisteme giren ve sistemden ayrılan miktarı; üretilen ve tüketilen terimleri ise sırasıyla sistem sınırları içinde hal değişimi boyunca açığa çıkan veya harcanan miktarını ifade eder. Birikme terimi ise hal değişimi sonunda sistem sınırındaki miktar bazında değişimi ifade eder. Kütle ve enerji, hal değişimi boyunca üretilip tüketilemeyeceği için üretilen ve tüketilen terimleri, kütle ve enerji dengesi denkleminde yer almaz. Entropi için bu denklik yazılacak olursa hal

değişimi sırasında entropi üretilirken tüketilemeyeceği için “üretilen terimi” yer alır fakat “tüketilen terimi” yer almaz.

Ekserji için denklik yazıldığında ekserji üretilmediği için “üretilen terimi” yer almaz. Gerçek hal değişimleri için giren ekserji (\dot{E}_{xg}), çıkan ekserjiden ($\dot{E}_{xç}$) daima fazladır. Bu denksizlik, ekserji yok oluşu, hal değişimindeki tersinmezliklerden kaynaklanmaktadır. Tersinmezliklerin hiçbir ekserjisi yoktur ve bu yüzden, doğrudan hiçbir çevresel etkisi yoktur [3].

Korunum yasasına göre değişime uğrayan enerji, sadece form değiştirir. Buna karşın ne üretilebilir ne de tüketilebilir. Ekserji ise, hal değişimi boyunca tersinmezlikler nedeniyle sistem sınırları içinde tüketilir; ancak üretilemez ve bu nedenle korunamayan bir yasayla karşı karşıya kalır. Sonuç olarak genel ekserji dengesi birim zaman için aşağıda verildiği gibi ifade edilebilir.

$$\dot{E}_{xgiren} - \dot{E}_{xçikan} = \dot{E}_{xyok} \quad (6)$$

Burada $\dot{E}_{xgiren} - \dot{E}_{xçikan}$ ısı, iş ve kütle transferi ile net enerji geçiştir. \dot{E}_{xyok} olan ekserji yok oluşudur.

İkinci yasa verimi veya ekserji verimi, gerçek hal değişimlerinin tersinir hal değişimlerine ne kadar yaklaşıldığını belirtmek için kullanılır. Bu tanımlamaya göre bir hal değişiminin ekserji verimi, kullanılabilirliğin tümüyle yok edildiği durumda 0; kullanılabilirliğin tümüyle korunması durumunda 1 olacaktır [2]. En genel haliyle ekserji verimi ise aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\psi = \frac{\text{Sistemden elde edilen ekserji}}{\text{Sisteme sağlanan ekserji}} \quad (7)$$
$$\psi = 1 - \frac{\text{Yok edilen ekserji}}{\text{Sisteme sağlanan ekserji}}$$

Ekserji verimi hesaplanırken ilk olarak hal değişimi sırasında kullanılabilirliği (ekserjinin) veya iş yapma potansiyelinin ne kadarının tüketildiğini bulmak gerekir.

3.4. İklimlendirme Sistemlerinin Enerji ve Ekserji Analizi

İklimlendirme sistemlerinin analizinin dayandığı temel denklemler; (1) süreklilik denklemi (kütle dengesi), (2) termodinamiğin birinci yasası (enerji dengesi) ve (3) termodinamiğin ikinci yasası (ekserji dengesi)'dir.

İklimlendirme sistemlerinde kullanılan havanın kuru hava ve su buharı bileşenlerinden oluştuğu ve bu bileşenlerin ideal gaz gibi davrandığı kabul edilir. Daimi akışta kuru hava ve su buharının kütle dengeleri sırasıyla aşağıdaki gibi yazılır.

$$\sum_g (\dot{m}_h)_g = \sum_{\phi} (\dot{m}_h)_{\phi} \quad (8)$$

$$\text{ve} \quad \sum_g (\dot{m}_h \omega)_g = \sum_{\phi} (\dot{m}_h \omega)_{\phi} \quad (9)$$

Burada \dot{m}_h , \dot{m}_s ve ω sırasıyla kuru havanın su buharının kütle ve havanın özgül nemidir. g ve ϕ indisleri giren ve çıkan büyüklükleri ifade ediyor.

Enerji dengesi; kinetik, potansiyel enerji ve iş etkileşimi ihmal edilerek aşağıdaki gibi yazılır.

$$\dot{Q}_{\text{giren}} + \sum_g (\dot{m} h)_g = \dot{Q}_{\text{çıkan}} + \sum_{\phi} (\dot{m} h)_{\phi} \quad (10)$$

T_o sıcaklığındaki çevre ortamla Q miktarda ısı transferinin gerçekleştiği sistem için ekserji dengesi; kinetik, potansiyel enerji ve iş etkileşimi ihmal edilerek aşağıdaki gibi yazılır.

$$\sum_g (\dot{E}_{xQ})_g + \sum_g (\dot{E}_x)_g - \sum_{\phi} (\dot{E}_{xQ})_{\phi} - \sum_{\phi} (\dot{E}_x)_{\phi} = \dot{E}_{x\text{yok olan}} \quad (11)$$

veya

$$\sum_g \left[Q \left(1 - \frac{T_o}{T} \right) \right]_g + \sum_g [(h-h_o) - T_o(s-s_o)]_g - \sum_{\phi} \left[Q \left(1 - \frac{T_o}{T} \right) \right]_{\phi} - \sum_{\phi} [(h-h_o) - T_o(s-s_o)]_{\phi} = \dot{E}_{x\text{yok olan}} \quad (12)$$

Kuru hava ve su buharı karışımı olan atmosfer havası, yaklaşık ideal gaz olarak davrandığı kabul edilerek 1 kg kuru havanın içinde bulunan nemin toplam akış ekserjisi, aşağıdaki eşitlikten bulunur [17].

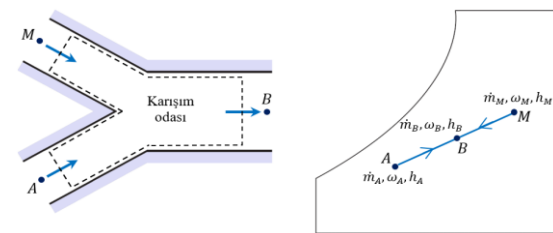
$$e_x = (c_{p,h} + \omega c_{p,s}) T_o \left(\frac{T}{T_o} - 1 - \ln \frac{T}{T_o} \right) + (1 + 1,608\omega) R_h T_o \ln \frac{P}{P_o} + R_h T_o \left[(1 + 1,608\omega) \ln \left(\frac{1 + 1,608\omega_o}{1 + 1,608\omega} \right) + 1,608\omega \ln \frac{\omega}{\omega_o} \right] \quad (13)$$

Burada $c_{p,h}$, $c_{p,s}$ sırasıyla kuru hava ve su buharının özgül ısılarını; ω özgül nemini; R_h kuru havanın ideal gaz sabitini ve ω_o ise ölü halde bulunan havanın özgül nemini ifade ediyor.

4. PSİKROMETRİK İŞLEMLER İÇİN ÖRNEK ANALİZ

İklimlendirme işlemlerinden adyabatik karışma, ısıtma ve nemlendirme ve soğutma ve nem alma işlemleri ayrı ayrı incelenerek analizleri yapılacaktır. Yapılacak hesaplamalarda kuru havanın ideal gaz sabiti $R_h = 0,287$ kJ/kgK, özgül ısılar $c_{p,h} = 1,005$ kJ/kgK ve $c_{p,s} = 1,872$ kJ/kgK alınacaktır [18].

4.1. Adyabatik Karışma İşlemi



Şekil 2. Adyabatik karışma işleminin psikrometrik diyagramda gösterimi

Farklı özelliklerdeki en az iki havanın karıştırılarak yeni özelliklerdeki havanın elde edilmesi işlemi, karışma odasında gerçekleşir. İklimlendirme sistemlerinde, mahal içinde bulunan kullanılmış hava ile dış ortamdan alınan taze hava karıştırılarak koşullandırılıp mahale gönderilir.

Böylece dış hava kullanılarak mahalın havası tazelenir, mahal içindeki hava kullanılarak da enerji tasarrufu sağlanmış olunur. Şekil 2’de şematik olarak iki havanın karışım odasında adyabatik olarak karıştırılması ve bu işlemin psikometrik diyagramda çizimi verilmiştir.

Kuru havanın kütle dengesi (süreklilik denklemi):

$$\dot{m}_{h,A} + \dot{m}_{h,M} = \dot{m}_{h,B} \quad (14)$$

Su buharının kütle dengesi (süreklilik denklemi):

$$\omega_A \dot{m}_{h,A} + \omega_M \dot{m}_{h,M} = \omega_B (\dot{m}_{h,A} + \dot{m}_{h,M}) \quad (15)$$

Enerji dengesi (termodinamiğin birinci yasası):

$$\dot{m}_{h,A} h_A + \dot{m}_{h,M} h_M = \dot{m}_{h,B} h_B \quad (16)$$

Ekserji dengesi (termodinamiğin ikinci yasası):

$$\dot{E}_{X_A} + \dot{E}_{X_M} - \dot{E}_{X_B} = \dot{E}_{x_{yok\ olan}} \quad (17)$$

Enerji verimi (birinci yasa verimi):

$$\eta = \frac{\dot{m}_{h,B} h_B}{\dot{m}_{h,A} h_A + \dot{m}_{h,M} h_M} \quad (18)$$

Ekserji verimi (ikinci yasa verimi) [19]:

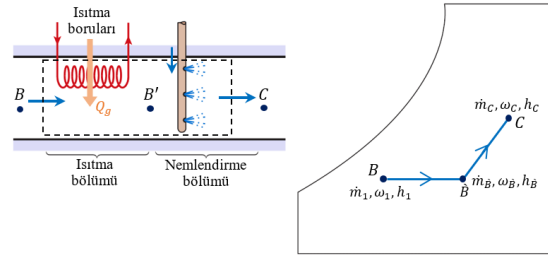
$$\psi = \frac{\dot{E}_{X_B}}{\dot{E}_{X_A} + \dot{E}_{X_M}} = 1 - \frac{\dot{E}_{x_{yok\ olan}}}{\dot{E}_{X_A} + \dot{E}_{X_M}} \quad (19)$$

şeklinde hesaplanır.

4.2. Isıtma ve Nemlendirme İşlemi

Kış şartlarında özgül nemi ve sıcaklığı düşük olan dış havayı, konfor şartlarına getirmek için hem ısıtıp hem de nemlendirmek gerekmektedir. Isıtma işlemi, içinden elektrik akımı geçen direnç telleriyle yapılabileceği gibi, hava içinden sıcak akışkan geçirilerek de sağlanabilir. Burada ısıtma işlemi, havanın nem alabilme kapasitesinin arttırılması için gerçekleştirilir. Sıcak akışkan,

uygulamalarda farklı şekillerde sağlanmaktadır. Nemlendirme işleminde ise su veya su buharı ile nemlendirme yapılabilir. Şekil 3’te şematik olarak havanın ısıtıp nemlendirilmesi işlemi ve bu işlemin psikometrik diyagramda çizimi verilmiştir.



Şekil 3. Isıtma ve nemlendirme işleminin psikometrik diyagramda gösterimi

Kuru havanın kütle dengesi (süreklilik denklemi):

$$\dot{m}_{h,B} = \dot{m}_{h,C} = \dot{m}_h \quad (20)$$

Su buharının kütle dengesi (süreklilik denklemi):

$$\omega_B \dot{m}_h + \dot{m}_w = \omega_C \dot{m}_h \quad (21)$$

Enerji dengesi (termodinamiğin birinci yasası):

$$Q_g + \dot{m}_h h_B + \dot{m}_w h_w = \dot{m}_h h_C \quad (22)$$

Ekserji dengesi (termodinamiğin ikinci yasası):

$$Q_g \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) + \dot{E}_{X_B} + \dot{E}_{X_w} - \dot{E}_{X_C} = \dot{E}_{x_{yok\ olan}} \quad (23)$$

Enerji verimi (birinci yasa verimi):

$$\eta = \frac{\dot{m}_h h_C}{Q_g + \dot{m}_h h_B + \dot{m}_w h_w} \quad (24)$$

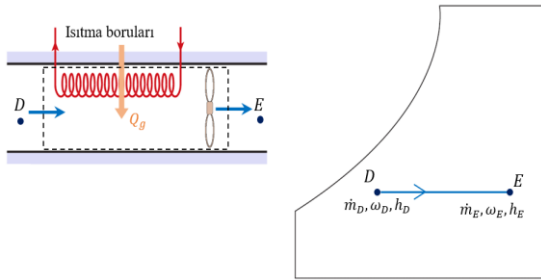
Ekserji verimi (ikinci yasa verimi) [19]:

$$\psi = \frac{\dot{E}_{X_C}}{Q_g \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) + \dot{E}_{X_B} + \dot{E}_{X_w}} \quad (25)$$

şeklinde hesaplanır.

4.3. Son Isıtma İşlemi

İklimlendirme santrallerinde, mahaldeki ısı kaybını karşılamak için mahale üflenen havayı istenen sıcaklığına ulaştırmak için yapılan ısıtma işlemidir. Şekil 4'te şematik olarak havanın son ısıtma işlemi ve bu işlemin psikometrik diyagramda çizimi verilmiştir.



Şekil 4. Son ısıtma işleminin psikometrik diyagramda gösterimi

Kuru havanın kütle dengesi (süreklilik denklemi):

$$\dot{m}_{h,D} = \dot{m}_{h,E} = \dot{m}_h \quad (26)$$

Su buharının kütle dengesi (süreklilik denklemi):

$$\omega_D \dot{m}_h = \omega_E \dot{m}_h \rightarrow \omega_D = \omega_E = \omega \quad (27)$$

Enerji dengesi (termodinamiğin birinci yasası):

$$Q_g + \dot{m}_h h_D = \dot{m}_h h_E \quad (28)$$

Ekserji dengesi (termodinamiğin ikinci yasası):

$$Q_g \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) + \dot{E}x_D - \dot{E}x_E = \dot{E}x_{\text{yok olan}} \quad (29)$$

Enerji verimi (birinci yasa verimi):

$$\eta = \frac{\dot{m}_h h_E}{Q_g + \dot{m}_h h_D} \quad (30)$$

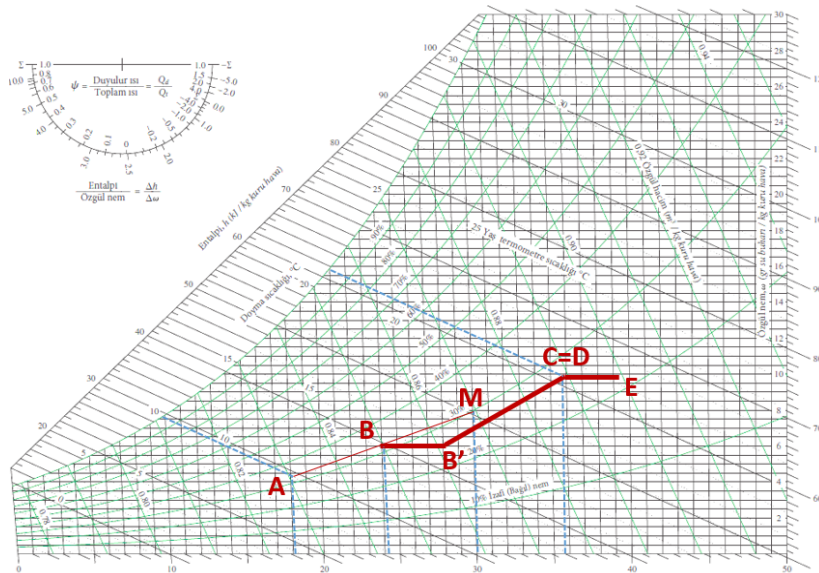
Ekserji verimi (ikinci yasa verimi) [19]:

$$\psi = \frac{\dot{E}x_E}{Q_g \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) + \dot{E}x_D} \quad (31)$$

şeklinde hesaplanır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Laboratuvar ortamındaki mahalin sıcaklığı 30°C ve %30 izafi nem değerinde sabit tutulmak isteniyor. Bu şartların sağlanması için gerçekleştirilecek iklimlendirme işleminin psikometrik diyagramda çizimi Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Geri dönüş havalı iklimlendirme santrali

Karışım havası kullanılarak ısıtılan mahalde elde edilmek istenen (M noktası) şartlar ile iklimlendirme santralinin karışım odasındaki karışım havasının (B noktası), ısıtma ve nemlendirme çıkışındaki havanın (C noktası) ve son ısıtma çıkışındaki mahale üflenen havanın (E noktası) kuru ve yaş termometre sıcaklıkları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Isıtma amacıyla çalışan klima santralinde kaydedilen karışım, ısıtma, nemlendirme ve son ısıtma işlemleri sonrasındaki hava sıcaklıkları

	Kuru	Yaş
	Termometre Sıcaklıkları (°C)	
Dış Ortam	18,1	9,7
İç Ortam	30,0	18,0
B noktası	24,3	14,3
C noktası	35,8	21,3
E noktası	39,2	22,3

%48 taze haval ı klima santralinde mahale üflenen hava debisi 0,245 kg/s’dir. Bu santral Çizelge 2’de belirtilen şartlarda ısıtma modunda çalıştırılmıştır.

Çizelge 2. Ger i dönüş haval ı iklimlendirme santralinin çalışma koşulları

	Anma Gücü (kW)	Akım (A)	Voltaj (V)
Ön ısıtıcı	1,0	4,8	220
Buhar Jeneratörü	1,0	4,4	220
Son Isıtıcı	0,5	2,4	220
Fan Motoru	–	0,7	220

Ön ısıtıcıda ısıtıcı serpantin 1,056 kW değerinde ısı verdiğinde havadaki entalpi değişimi 0,85 kW değerinde olmaktadır. Son ısıtma işlemi sırasında ısıtıcı serpantininden aktarılan enerji 0,528 kW ve fan motorunun havaya aktardığı enerji 0,154 kW’tır. Mahale üflenen havaya hem son ısıtıcı serpantinlerinden hem de fan motorundan ısı

transferi gerçekleştiği için bu iki değerin toplamı alınmalıdır, böylece son ısıtma işleminden sonra gerçekleşen toplam ısı transferi 0,682 kW olarak bulunmuştur. Bu bölümde havadaki entalpi değişimi ise 0,855 kW olarak hesaplanmıştır.

Karışım odasındaki karışma işlemi adyabatik kabul edildiğinden ve bu işlem için ısı alış verişi olmadığından enerji geçişi 0 kW olarak alınmıştır.

Mahal havasından geri dönen dönüş havasının ekserjisi 232,03 W, karışım havasının ekserjisi 30,38 W, ön ısıtma ve nemlendirme işlemi sonunda ekserjisi 227,37 W ve son ısıtma işleminde ise ekserji 280,65 W’a yükselmiştir.

6. SONUÇ

Bu çalışmada, bir iklimlendirme sisteminin tasarımının yalnızca enerjinin korunumu, sistemdeki enerji değişimi ve enerji geçişinin gerçekleşme analizlerine dayandırılmaması gerekliliği vurgulanmaktadır. Sistemin optimizasyonu, mutlaka ekserji analizinin yapılmasının enerjinin etkin bir şekilde kullanılması açısından zorunlu olduğu gösterilmiştir.

Kullanılan iklimlendirme sisteminin enerji ve özellikle ekserji analizini yapabilmek için bu konudaki yayınlar incelenmiştir. Bunun yanı sıra sürekli akışlı, durgun ve açık sistemler için termodinamiğin birinci yasası ve termodinamiğin ikinci yasasına göre analizlerin nasıl yapıldığı detaylı olarak gösterilmiştir. Daha sonra da havanın kuru termometre sıcaklığından daha yüksek sıcaklıktaki buhar ile nemlendirme işleminin yer aldığı ısıtma amaçlı çalıştırılan iklimlendirme sistemi için enerji ve ekserji denklemleri uygulanmıştır.

Yapılan ekserji analizine göre şartlandırılan havanın sıcaklığı yükseldikçe, dış ortam havasıyla olan sıcaklık farkı arttığı için ekserji değeri artmaktadır. Böylece dış çevre şartlarına yakın sıcaklıklarda ısıtma yapılan iklimlendirme sistemlerinin düşük kaliteli enerjiye ihtiyaç duyduğu ortaya çıkmıştır. Bunun yanı sıra faydalı

enerjinin nerelerde ve nasıl kullanıldığı tespit edilmiştir.

7. KAYNAKLAR

1. Karaçaylı, İ., Güngör A., Canlı, Y., 2016. İklimlendirme Sistemlerinde Ekserji Analizi ve Örnek Bir Uygulama, 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016), Adana.
2. Çengel, Y.A., Boles, M.A., 1996. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Türkiye, İstanbul: Literatür Yayıncılık.
3. Özgener, L., Hepbaşlı, A., 2013. HVAC Sistemlerinde Ekserji Analizinin Gerekliliği ve Uygulamaları, VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir.
4. Razmara, M., Maasoumy, M., Shahbakhti, M., Robinett III, R.D., 2015. Optimal Exergy Control of Building HVAC System, Applied Energy, 555-564.
5. Yelmen, B., Öztekin, S., Çakır, T.M., İklimlendirmede Enerji Tasarrufu Tedbirleri, Makine Mühendisleri Odası, İzmir.
6. Karaçaylı, İ., 2016. Bireysel İklimlendirme Sistemleri, Derleme Ders Notu, İzmir.
7. Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Çoşkun, S., Kaynaklı, Ö., Yamankaradeniz, N., 2008. İklimlendirme Esasları ve Uygulamaları, Bursa: Dora Yayıncılık.
8. Bilgili, M., Şimşek, E., Karaçaylı, İ., 2016. Bir Split Klimanın Farklı Atmosfer Hava Sıcaklıklarında Enerji ve Ekserji Analizi, 1st International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences, Afyonkarahisar.
9. Mosaffa, A., Garousi Farshi, L., Infante Ferreira, C., Rosen, M., 2014. Advanced Exergy Analysis of an Air Conditioning System Incorporating Thermal Energy Storage, Energy, cilt: 77, 945-952.
10. Özek, E., 2013. Tekrar Dolaşımli İklimlendirme Sistemlerinin Enerji ve Ekserji Analizi, Çorum: Yüksek Lisans Tezi.
11. Yücer, C.T., Hepbaşlı, A., 2011. Thermodynamic Analysis of a Building using Exergy Analysis Method, Energy and Buildings, cilt 43, no. 2-3, 536-542.
12. Derbentli, T., 2011. İklimlendirme Sistemlerinde Ekserji Çözümlemesi, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
13. Sakulpipatsin, P., Itard, L.C.M., van der Kooi, H.J., Boelman E.C., Luscuere, P.G., 2010. An Exergy Application for Analysis of Buildings and HVAC Systems, Energy and Buildings, cilt 42, no. 1, 90-99.
14. Pu, J., Liu, G., Feng, X., 2010. Application of the Cumulative Exergy Approach to Different Air Conditioning Systems, Energy and Buildings, cilt: 42, 1999-2004.
15. Wei, Z., Zmeureanu, R., 2009. Exergy Analysis of Variable Air Volume Systems for an Office Building, Energy Conversion and Management, cilt: 50, no. 2, 387-392.
16. Chengqin, R., Nianping, L., Guangfa, T., 2002. Principles of Exergy Analysis in HVAC and Evaluation of Evaporative Cooling Schemes, Building and Environment, cilt: 37, no. 11, 1045-1055.
17. Hepbaşlı, A., 2003. Ekserji Ders Notları, İzmir: Ege Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü.
18. Qureshi, B.A., Zubair, S.M., 2003. Application of Exergy Analysis to Various Psychrometric Processes, International Journal of Energy Research, no. 27, 1079-1094.
19. Dincer, İ., Rosen, M.A., 2015. Exergy Analysis of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning, USA: Elsevier Inc.

Glukonik Asit ve Hidroklorik Asit ile Atık Alkali Pillerden Çinko ve Mangan Gideriminin İncelenmesi: Taguchi Deney Tasarımı

Emine SAYILGAN*¹, Gözde KARACAN¹

¹*Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Isparta*

Geliş tarihi: 07.06.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Öz

Bu çalışmada, atık alkali pillerden glukonik asit ve hidroklorik asit ile çinko ve mangan elementlerinin solüsyona alınabilirliği incelenmiş ve Taguchi deneysel tasarımı ile oluşturulan deney düzeneği ile sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Taguchi deney tasarım şartlarına göre 3 farklı değişken ile 3 farklı konsantrasyonda (3*3) çalışılmıştır. İki farklı Taguchi deneysel tasarımı oluşturulmuştur. Birinci Taguchi deneysel tasarımında değişken olarak glukonik asit, sıcaklık, deney süresi seçilmiştir. İkinci Taguchi deneysel tasarımında ise değişken olarak glukonik asit, hidroklorik asit ve deney süresi seçilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, asit olarak sadece glukonik asitin kullanıldığı deneysel çalışmalarda, yüksek glukonik asit konsantrasyonlarında mangan gideriminin daha iyi olduğu; bununla birlikte glukonik asit ve hidroklorik asitin birlikte kullanıldığı durumlarda düşük konsantrasyonda glukonik asit ve düşük konsantrasyonlarda hidroklorik asit ile daha iyi giderimler elde edildiği görülmüştür. Tüm deneysel çalışmalarda etkili bir çinko giderimi elde edilememiştir.

Anahtar Kelimeler: Çinko, Glukonik asit, Hidroklorik asit, Mangan, Taguchi yöntemi

Investigation of Manganese and Zinc Removal with Gluconic Acid and Hydrochloric Acid from Waste Alkaline Batteries: Taguchi Experimental Design

Abstract

In this study, the leaching of zinc and manganese from waste alkaline battery powders with gluconic acid and hydrochloric acid was investigated. The results were evaluated statistically with Taguchi experimental design. Taguchi experimental design conditions was conducted at 3 different concentrations (3*3) with 3 different variables. Two different Taguchi experimental designs were created. In the first Taguchi experimental design, gluconic acid, temperature, reaction time were chosen as variables. In the second Taguchi experimental design, gluconic acid, hydrochloric acid and reaction time were selected as variables. Experimental studies have shown that manganese removal is better at high concentrations of gluconic acid in experimental studies where only gluconic acid is used as the acid; while the lower concentration of gluconic acid and hydrochloric acid was sufficient when being used in combination. There was no effective zinc removal was achieved in all experimental runs.

Keywords: Zinc, Gluconic acid, Hydrochloric acid, Manganese, Taguchi method

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Emine SAYILGAN, eminesayilgan@sdu.edu.tr

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle beraber piller yaşamımıza girmiştir ve kullanıldıktan sonra önemli oranda tehlikeli atık olarak çıkmaktadır. Alkali piller yüksek metal içerikleri sebebiyle doğrudan çevreye atıldıklarında, ciddi tehlike yaratmaktadırlar.

EBRA (Avrupa Birliği Pil Geri Dönüşüm Birliği) üyeleri tarafından sırasıyla 2011 ve 2012 yıllarında toplam 25.529 ton ve 26.660 ton alkali, çinko-karbon ve çinko-hava pil geri kazanılmıştır [1]. Ülkemizde 03.03.2005 yılında revize edilen Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği kapsamında, atık pil ve akümülatörlerin çevreye zarar verecek şekilde kullanımları ve doğrudan veya dolaylı olarak alıcı ortama verilmesi yasaklanmıştır. Bu bakımdan bu atıkların içerdiği metallerin geri kazanılması gerekmektedir. Atıklardan ve/veya cevherlerden metal geri kazanımında kullanılan başlıca yöntemler pirometalurjik ve hidrometalurjik yöntemler olarak sınıflandırılabilir. Bu iki yöntemden hidrometalurjik yöntemler, düşük enerji tüketimi, yüksek metal seçiciliği sebebiyle tercih edilmektedir.

Atık alkali piller yüksek oranda çinko ve mangan içeriğine sahiptirler. Alkali pil tozunda çinko genellikle ZnO halinde, mangan ise MnO, Mn₂O₃ ve Mn₃O₄ halinde bulunmaktadır. ZnO ve MnO, inorganik asitler ile halihazırda çözünebilir iken; Mn₂O₃ ve Mn₃O₄'in solüsyona alınabilmeleri için inorganik asitler ile birlikte organik asitlere de ihtiyaç duyulmaktadır [2].

Literatür çalışmaları sonucunda, atık pillerden glukonik asit ile çinko ve mangan giderimi üzerine yapılmış bir çalışma ile karşılaşılmamıştır. Bu bakımdan bu makale ile literatüre yeni bir katkı sağlanmıştır. Bu makale kapsamında glukonik asit ve hidroklorik asit ile çinko ve mangan elementlerinin solüsyona alınabilirliği incelenmiş ve Taguchi yöntemi ile oluşturulan deney düzeneği ile sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatür çalışmaları sonucunda atık pillerden çinko ve mangan metallere geri kazanımı ve/veya giderimi üzerine çalışılmış yayınlar mevcuttur. Glukonik asit ile metal gideriminin olduğu başka yayınlar mevcut olmasına rağmen, glukonik asit ile atık pillerden çinko ve mangan gideriminin incelenmesi, literatüre yeni bir katkı sağlamıştır. Literatürde glukonik asit ile yapılan çalışmalar araştırıldığında, Aspergillus niger mantarları tarafından üretilen sitrik ve glukonik asitlerin metallerle kirlenmiş toprakların ıslahı için kullanım potansiyeline sahip oldukları bilinmektedir. Bu asitler, ortamın pH'ını düşürmekte (pH 3,5) ve şelatlaştırıcı madde gibi davranarak metal giderimi sağlamaktadır [3]. Veglio ve arkadaşları [4] tarafından glukonik asit gibi organik asitler ile daha etkili ve çevresel açıdan daha zararsız alternatif teknolojik yöntemlerin geliştirilebileceği belirtilmiştir.

Yapılan literatür çalışmalarında, atık pil tozlarının hidrometalurjik yöntemlerle geri kazanılmasında kimyasal olarak sülfürik asit [5], hidroklorik asit [6], amonyak [7], sodyum hidroksit [8], amonyum asetatın sulu çözeltileri [9] ve askorbik asit, okzalik asit, sitrik asit ile birlikte hidroklorik asit ve nitrik asit [10] kullanılmıştır.

Taner ve arkadaşları [11]'nin yapmış olduğu çalışmada, çinko ve manganın çözünme verimi sırasıyla %83,59 ve %52,47 olarak bulunmuştur. 600 dev/dk karıştırma hızında, 2 M asetik asit derişiminde, -53 µm tane boyutunda, 60°C liç sıcaklığında ve 240 dakikalık liç süresinde en yüksek Zn ve Mn çözünme verimi elde edilmiştir [11].

Maryam-Sagedhi ve arkadaşları [12]'nin yapmış olduğu çalışmalar sonucunda mikrodalga ve ultrasonla liç sonrasında, konsantre NaOH kullanıldığı durumlara göre daha kısa reaksiyon süresinde iki kat daha fazla çinkonun solüsyona alınabildiği görülmüştür [12].

Belardi ve arkadaşları [13] atık alkali ve çinko-karbon pillerden çinko ve mangan gideriminde termal yöntem uygulamışlardır. 1000 °C'de 30

dakika deney süresi sonunda yaklaşık olarak %100 çinko ve %63 mangan geri kazanmışlardır. Bu makalede deneysel çalışmalarda araştırılan faktörlerin çinko ve mangan giderimi ile ilgili ilişkisini belirlemek üzere Taguchi deney tasarımı kullanılmıştır. Taguchi deney tasarımında en iyi faktör/seviye kombinasyonu ile uygun yanıtlar alınırken, deney sayısı ile birlikte zaman ve maliyet tasarrufu sağlanmaktadır. Çok değişkenli deneyleri az sayıda deneme ile gerçekleştirmek üzere ortogonal dizilerden yararlanılmaktadır [14]. Taguchi Deney Tasarımı metodunda kalite karakteristiklerinin ölçülmesinde ve değerlendirilmesinde kullanılan ölçüt, ölçülmek istenen sinyalin (S), gürültü faktörüne (N) oranıdır [15].

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Karakterizasyon Çalışmaları

Ön çalışmalar kapsamında atık alkali piller toplanarak laboratuvara getirilmiştir. Atık piller çeker ocakta, manuel olarak kırılmış ve 105 °C'de 24 saat kurutulmuş, 425 µm elekten geçirilmiş ve Taguchi deney tasarımında belirtilen liç şartlarında kullanılmıştır. Atık alkali pil tozlarının çinko ve mangan içerikleri ön çalışmalarımız kapsamında XRF cihazı ile tespit edilmiştir. XRF analizi sonucu, deneysel çalışmalarda kullanılan alkali pil tozunun yaklaşık olarak %0,06 Si, %1,48 K, %53,01 Mn, %0,05 Fe, %2,56 Zn, %0,009 Cl ve %0,49 Ti içerdiği tespit edilmiştir. Bu sebeple, yüksek konsantrasyonda çinko ve mangan içeriği sebebiyle, atık alkali pil tozundan çinko ve mangan elementlerinin giderimi hedeflenmiştir [10]. Ayrıca, deneysel çalışmalarda kullanılan pil tozları kral solüsyonu ile 3 saat 40 °C'de karıştırma işlemi sonrasında da Hach Dr 5000 spektrofotometresi ile çinko ve mangan konsantrasyonları ölçülerek her iki karakterizasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Kral solüsyonu 3:1 oranında HCl:HNO₃ solüsyonu kullanılarak hazırlanmıştır.

3.2. Taguchi Deney Tasarımı Çalışmaları

Çinko ve mangan giderim deneyleri, Taguchi deney tasarımına göre belirlenen şartlarda orbital

inkübatörde yürütülmüştür. Taguchi deney tasarımına göre glukonik asit, sıcaklık ve deney süresinin araştırıldığı deney şartları Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Çinko ve mangan giderimi deneylerinde uygulanan Taguchi deney tasarımına göre belirlenen deney şartları

Faktörler	Birim	Seviyeler		
		1	2	3
Glukonik asit konsantrasyonu	g/L	5	10	15
Sıcaklık (T)	°C	20	50	80
Deney Süresi	dk	60	180	300

Çizelge 1'de gösterilen Taguchi deney tasarım şartlarına göre 3 farklı değişken ile 3 farklı konsantrasyonda (3*3) çalışılmıştır. Test edilen değişkenlerden A; glukonik asit konsantrasyonunu, B; sıcaklığı, C; deney süresini belirtmektedir. Her bir faktör için gösterilen 1, 2 ve 3 değerleri ise sırasıyla, o çalışma şartlarındaki en düşük doz (ve/veya sıcaklık, deney süresi), orta doz (ve/veya sıcaklık, deney süresi) ve en yüksek dozu ve/veya sıcaklık, deney süresi) temsil etmektedir.

Çizelge 2'de ise Taguchi deney tasarımına göre glukonik asit, hidroklorik asit ve deney süresinin araştırıldığı deney şartları gösterilmiştir.

Çizelge 2. Çinko ve mangan giderimi deneylerinde uygulanan Taguchi deney tasarımına göre belirlenen deney şartları

Faktörler	Birim	Seviyeler		
		1	2	3
Glukonik asit konsantrasyonu	g/L	2	4	6
HCl konsantrasyonu	M	0,5	1	1,5
Deney Süresi	dk	60	180	300

Çizelge 2'de test edilen değişkenlerden A; glukonik asit konsantrasyonunu, B; hidroklorik asit konsantrasyonunu, C; deney süresini belirtmektedir. Her bir faktör için gösterilen 1, 2 ve 3 değerleri ise sırasıyla, o çalışma şartlarındaki en düşük doz (ve/veya sıcaklık, deney süresi), orta doz (ve/veya sıcaklık, deney süresi) ve en yüksek

dozu ve/veya sıcaklık, deney süresi) temsil etmektedir. Örneğin, 1 nolu deneyde, 2 g/L glukonik asit konsantrasyonunda, 0,5 M HCl konsantrasyonunda 60 dakika deney süresinde çalışılmıştır.

Taguchi deney tasarımına göre yürütülen deneysel çalışma verileri Minitab 14 programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu makale kapsamında istatistiksel analizde değerlendirilen sinyal/gürültü (S/N) oranı olarak “en büyük daha iyidir” performans istatistiği kullanılmıştır. “En büyük daha iyidir” performans istatistiğine göre S/N oranının belirlendiği eşitlik aşağıda verilmiştir.

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

Burada:

n: ortogonal dizisindeki deney sayısı

y_i: ölçülen kalite parametresi

Taguchi deney tasarımında belirlenen deney şartlarında, örneğin 1 nolu test için; 50 mL'lik eppendorf tüplerine 5 g/L atık alkali pil tozunda, 5 g/L glukonik asit eklenerek 20 °C'de 60 dakika orbital inkübatörde 150 rpm'de karıştırılmıştır (Çizelge 1). Deney süresi sonunda solüsyon, 5000 rpm'de 10 dakika santrifüj edilerek (Rotofix 32), katı-sıvı ayrımı yapılmış ve sıvı kısım seyreltik HNO₃ ile pH 2 civarına getirilerek Hach Dr 5000 cihazında çinko ve mangan konsantrasyonları ölçülmüştür.

3.3. Analitik Çalışmalar

Mangan konsantrasyonu periodate oksidasyon metoduna (metod 8034) göre; çinko konsantrasyonu ise zinkon metoduna (metod 8009) göre Hach DR 5000 cihazı ile ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan kimyasallar, HNO₃ (Merck), HCl (Merck), glukonik asit analitik saflıktadır.

Deneysel veriler Minitab 14 programı kullanılarak incelenmiş ve grafikler oluşturulmuştur. Ölçümler ve deneyler ikili olarak yapılmıştır. Daha sonra her iki deney sonuçları ve ölçümlerin ortalaması alınarak Taguchi deney tasarımında, deney sonucu

olarak elde ettiğimiz ortalama değerler kullanılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Karakterizasyon Sonuçları

Daha önce yapılmış olan çalışmada elde edilen XRF sonuçlarına göre [10], kullanılan alkali pil tozunun Mn içeriği %53, Zn içeriği ise %2,5 olarak tespit edilmiştir. Kral solüsyonu ile yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, Hach DR 5000 cihazında yapılan ölçümlerde de, mangan ve çinko ölçümleri yapılmış olmasına rağmen, XRF sonuçlarından çok daha düşük konsantrasyonda ölçümler yapılmıştır. Bunun sebebi olarak, solüsyona geçen metal konsantrasyonunun düşük olması veya ölçüm hassasiyetinin daha düşük olabileceği düşünülmektedir. Bu bakımdan, giderim sonuçları XRF analizinden elde edilen karakterizasyonlar dikkate alınarak yapılmıştır.

4.2. Taguchi Deney Tasarımı Sonuçları

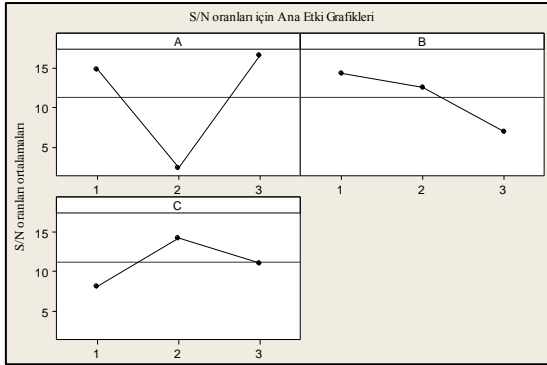
Glukonik asit, sıcaklık ve deney süresi faktörlerinin mangan giderimine olan etkilerini belirlemek amacıyla Taguchi deney dizaynı dikkate alınarak yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. Glukonik asit, sıcaklık ve deney süresi faktörlerinin incelendiği şartlarda elde edilen mangan konsantrasyonları

Test No	A	B	C	Deney sonrası Mn Kons. (mg/L)
1	1	1	1	5,55
2	1	2	2	4,95
3	1	3	3	6,15
4	2	1	2	4,87
5	2	2	3	1,5
6	2	3	1	0,3
7	3	1	3	5,1
8	3	2	1	10,2
9	3	3	2	5,86

Çizelge 3'e göre yapılan deneysel çalışmalarda 8 nolu deney şartlarında solüsyona alınan Mn konsantrasyonunun en yüksek olduğu bulunmuştur. 8 nolu deney şartlarında glukonik asit konsantrasyonunun (A) en yüksek dozda kullanıldığı, deney süresinin ise en düşük olarak seçildiği (C) görülmektedir. Bu sonuçlar, test edilen deney şartlarında, glukonik asit konsantrasyonunun mangan gideriminde daha etkili olduğunu göstermektedir. İlk üç test gözönüne alınarak yapılan değerlendirmelerde ise glukonik asit konsantrasyonunun sabit tutulduğu durumlarda, artan sıcaklık ve artan reaksiyon süresi ile giderimin önemli bir şekilde değişmediği gözlenmektedir. Taguchi tasarımına göre oluşturulan Çizelge 3'de belirtilen deneysel şartlarda Mn giderimi ile deneysel faktörler arasında elde edilen R^2 değeri %74,8, standart sapma değeri ise 9,271 olarak bulunmuştur.

Çizelge 3 dikkate alınarak araştırılan faktörler (A:glukonik asit, B: sıcaklık, C: deney süresi) dikkate alınarak elde edilen mangan giderimleri üzerine S/N oranları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Glukonik asit (A), sıcaklık (B) ve deney süresi (C) faktörlerinin incelendiği şartlarda elde edilen mangan giderimi üzerine elde edilen S/N oranları

Şekil 1'de gösterilen en yüksek S/N oranları dikkate alınarak, glukonik asit konsantrasyonunun üçüncü seviyesi olan 15 g/L (A3), sıcaklığın birinci seviyesi olan 20 °C (B1), deney süresinin ikinci seviyesi olan 180 dak (C2) değerlerinde bu deneysel şartlarda optimum değerler elde edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, mangan gideriminde organik asit olarak sadece glukonik asitin kullanıldığı deneysel çalışmalarda sıcaklık faktörünün giderim üzerine çok etkili olmadığı görüldüğünden, sıcaklık faktörü yerine inorganik asit olan hidroklorik asit araştırılarak da deneyler yürütülmüştür. Çizelge 4'de, glukonik asit (A), hidroklorik asit (B) ve deney süresi (C) faktörlerinin incelendiği şartlarda elde edilen Mn konsantrasyonları gösterilmiştir.

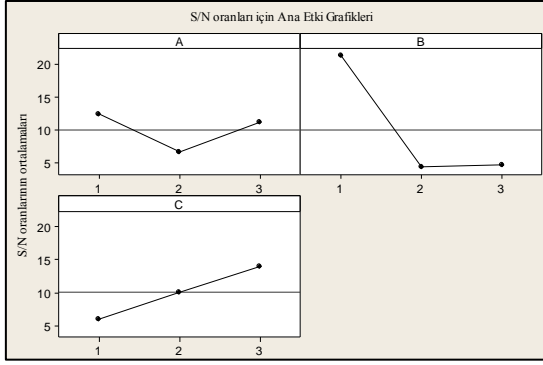
Çizelge 4. Glukonik asit, hidroklorik asit ve deney süresi faktörlerinin incelendiği şartlarda elde edilen mangan konsantrasyonları

Test No	A	B	C	Deney sonrası Mn Kons. (mg/L)
1	1	1	1	30,0
2	1	2	2	0,9
3	1	3	3	2,7
4	2	1	2	6,0
5	2	2	3	5,4
6	2	3	1	0,3
7	3	1	3	8,7
8	3	2	1	0,9
9	3	3	2	6,0

Çizelge 4'e göre yapılan deneysel çalışmalarda 1 nolu deney şartlarında solüsyona alınan Mn konsantrasyonunun en yüksek olduğu bulunmuştur. 1 nolu deney şartlarında araştırılan glukonik asit ve hidroklorik asit konsantrasyonlarının mangan gideriminde etkin olduğu, her iki asitin konsantrasyonunun arttığı deneysel şartlarda ise girişim olabileceği sebebiyle giderimin azaldığı sonucuna varılabilir. Taguchi tasarımına göre oluşturulan Çizelge 4'de belirtilen deneysel şartlarda Mn giderimi ile deneysel faktörler arasında elde edilen R^2 değeri %60, standart sapma değeri ise 15,49 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4 dikkate alınarak araştırılan faktörler (A:glukonik asit, B: hidroklorik asit, C: deney

süresi) dikkate alınarak elde edilen mangan giderimleri üzerine S/N oranları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Glukonik asit (A), hidroklorik asit (B) ve deney süresi (C) faktörlerinin incelendiği şartlarda elde edilen mangan giderimi üzerine elde edilen S/N oranları

Şekil 2'de gösterilen en yüksek S/N oranları dikkate alınarak, glukonik asit konsantrasyonunun birinci seviyesi olan 2 g/L (A1), hidroklorik asit konsantrasyonunun birinci seviyesi olan 0,5 g/L (B1), deney süresinin üçüncü seviyesi olan 300 dak (C3) değerlerinde bu deneysel şartlarda optimum değerler elde edilmiştir.

Biswas ve arkadaşları [2]'nin yapmış oldukları çalışmada 2M H₂SO₄, 20 g/L glukoz ile 300 rpm'de 1 saat deney süresi sonunda %100 Mn ve Zn giderimi elde etmişlerdir. Bu makale kapsamında yapılan çalışmada ise, 0,5-1,5 M hidroklorik asit ile birlikte 2-6 g/L glukonik asit konsantrasyonunda çalışılmış olduğundan, daha düşük mangan giderimleri elde edilmiştir.

Yapılan tüm deneysel çalışmalar sonucunda Hach DR 5000 cihazı ile, solüsyondaki çinko konsantrasyonu da ölçülmüştür. Bununla birlikte sadece 1 ve 2 nolu deneylerde çinko konsantrasyonları ölçülebilmştir. Bu sebeple çinko giderimleri çizelge ve şekillerde gösterilmemiştir. Çizelge 3'de belirtilen Taguchi dizaynında 1. ve 2. deney şartlarında elde edilen çinko konsantrasyonları sırasıyla 14,7 mg/L ve 2,7 mg/L olarak elde edilmiştir. Diğer deney şartlarında çinko konsantrasyonunun

ölçülememesinin sebebi, atık alkali pil tozunda, çinko içeriğinin %2,5 gibi düşük konsantrasyonda olması ve ölçüm yönteminin hassas olmamasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu makalede Taguchi deney tasarımına göre dizayn edilen deneysel şartlarda, atık alkali pil tozlarından çinko ve mangan giderimi araştırılmıştır. Makalenin ilk kısmında, Taguchi deney tasarımında değişken olarak, glukonik asit, sıcaklık ve deney süresi araştırılmış, ikinci kısmında ise Taguchi deney tasarımında parametre olarak glukonik asit, hidroklorik asit ve deney süresi seçilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, asit olarak sadece glukonik asitin kullanıldığı deneysel çalışmalarda, yüksek glukonik asit konsantrasyonlarında mangan gideriminin daha iyi olduğu; bununla birlikte glukonik asit ve hidroklorik asitin birlikte kullanıldığı durumlarda düşük konsantrasyonda glukonik asit ve düşük konsantrasyonlarda hidroklorik asit ile daha iyi giderimler elde edildiği görülmüştür. Bu durum, her iki asitin yüksek konsantrasyonlarda girişime sebep vermesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Tüm deneysel çalışmalarda etkili bir çinko giderimi elde edilememiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, glukonik asit ile etkili bir şekilde çinko ve mangan giderimi sağlanamadığı görülmektedir. Daha sonra bu konuda yapılacak olan çalışmalar kapsamında daha yüksek asit konsantrasyonunda ve/veya farklı asitler ile çalışılabilir ya da deney süresi artırılabilir.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Tübitak 2209-A Öğrenci Projesi (Proje Yürütücüsü: Gözde Karacan, 2017 yılı) tarafından desteklenmiştir. Destekleri için Tübitak'a teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

1. EBRA, 2012. European Battery Recycling Association. <http://www.ebrarecycling.org> (Erişim tarihi: 10.03.2017).

2. Biswas, R.K., Karmakar, A.K., Kumar, S.L., Hossain, M.N., 2015. Recovery of Manganese and Zinc from Waste Zn-C Cell Powder: Characterization and Leaching. *Waste Management*, v. 46, 529-535.
3. Kocaer, F.O., Başkaya, H.S., 2003. Metallerle Kirlenmiş Toprakların Temizlenmesinde Uygulanan Teknolojiler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, v.8(1), 121-131.
4. Vegliò, F., Passariello, B., Barbaro, M., Plescia, P., Marabini, A.M., 1998. Drum Leaching Tests in Iron Removal from Quartz using Oxalic and Sulphuric Acids. *International Journal of Mineral Processing*, v.54, 183-200.
5. Gega, J., Walkowiak, W., 2011. Leaching of Zinc and Manganese from used up Zinc-carbon Batteries using Aqueous Sulfuric Acid Solutions. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, v.46, 155-162.
6. 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. *Journal of Hazardous Materials*, v.171, 838- 844.
7. Senanayake, G., Shin, S.M., Senaputra, A., Winn, A., Pugaev, D., Avraamides, J., Shon, J.S., Kim, D.J., 2010. Comparative Leaching of spent zinc-manganese- Carbon Batteries using Sulfur Dioxide in Ammoniacal and Sulfuric Acid Solutions. *Hydrometallurgy*, v.105, 36- 41.
8. 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*, v.96, 349-353.
9. Demirkıran, N., 2015. Examination of the use of Ammonium Acetate as Lixiviant in Recovery of Zinc from Waste Batteries and Kinetic Analysis. *Environmental Engineering and Management Journal*, v.14, 51-56.
10. Sayılğan, E., Kukrer, T., Yigit, N.O., Civelekoglu, G., Kitis, M., 2010. Acidic Leaching and Precipitation of Zinc and Manganese from Spent Battery Powder using Various Reductants. *Journal of Hazardous Materials*, v.173, 137- 143.
11. Taner, H.A., Ağacayak, T., Aras, A. 2016. Leaching of Zinc and Manganese from Spent Zinc-carbon Batteries in Acetic Acid Solution. *SUJEST*, v.4, n.3, 231-236.
12. Maryam-Sadeghi, S., 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 Management*, v.60, 696-705.
13. Belardi, G., Lavecchia, R., Medici, F., Piga, L., 2012. Thermal Treatment for Recovery of Manganese and Zinc from Zinc-carbon and Alkaline Spent Batteries. *Waste Management*, v.32, 1945-1951.
14. Aytaç, A., İlivan, M., Öztürk, U., 2016. Taguchi ve Klasik Deneysel Tasarım Yöntemlerinin Karşılaştırılması: İnce film Kaplamaların Aşınma Davranışı. *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 87-96.
15. Özyanar, F., Yılmaz, Z., Karagözoğlu, B., 2017. Taguchi Metodu Kullanılarak Gerçek Tekstil Atıksuyunun Artımında Elektrokoagülasyon Prosesinin Optimizasyonu. Erişim tarihi: 15/06/2017. Link: https://www.researchgate.net/profile/Zinnur_Yilmaz/publication/311915920_

Investigation of Velocity Distribution and Turbulent Energy for the Different Tip Shaped Projectiles

Mehmet Hanifi DOĞRU*¹

¹Gaziantep Üniversitesi, Aeronautics and Aerospace Faculty, Pilotage Department, Gaziantep

Geliş tarihi: 15.03.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Abstract

Velocity distribution on the projectile is a critical specification in terms of the range and perforation concept of the projectile. The shape of the projectile affects the amount of perforation energy. In this study, velocity distribution and turbulence energy are investigated for the projectiles on different tip shapes by using Solidworks Flow Simulation. Three different projectile nose shapes are examined in this study (sharpen, semi-rounded and rounded). Initial velocity is accepted to be 500 m/s for all situations. It is determined that the velocity is less affected on the sharpen type projectile where the penetration becomes easier. At the end of this study, velocity and pressure distribution on the penetrators in different tip geometries are obtained. The maximum velocity decrease at the tip of penetrator is found to be as 57.5% for the rounded type projectile. When the results are investigated, it is clear that velocity loss is about 22.2% in sharp type projectile.

Keywords: Velocity distribution, Turbulent energy, Projectile, Flow simulation, Tip geometry

Farklı Uç Şeklindeki Mermiler için Hız Dağılımı ve Türbülans Enerjisinin Araştırılması

Öz

Mermi üzerindeki hız dağılımı, merminin menzili ve delip geçme konsepti açısından kritik bir spesifikasyondur. Merminin şekli, delinme enerjisinin miktarını etkilemektedir. Bu çalışmada Solidworks akış simülasyon programı kullanılarak, farklı uç şekillerindeki mermiler için hız dağılımı ve türbülans enerjisi araştırılmıştır. Bu çalışmada üç farklı mermi uç şekli incelenmiştir. (Keskin, Yarı yuvarlatılmış, Yuvarlatılmış). Başlangıç hızı tüm durumlar için 500 m/s olarak kabul edilmiştir. Delip geçmenin daha kolay hale geldiği keskin uçlu mermilerin hızdan daha az etkilendiği tespit edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda farklı uç geometrilerine sahip mermiler üzerindeki hız ve basınç dağılımı elde edilmiştir. Mermi ucundaki en fazla hız düşüşü yuvarlatılmış mermi için %57,5 olarak bulunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, hız kaybının keskin tipli mermilerde ve yaklaşık %22,2 olarak bulunduğu açıkça görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hız dağılımı, Türbülans enerjisi, Mermi, Akış simülasyonu, Uç geometrisi

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Mehmet Hanifi DOĞRU, mhdogru@gantep.edu.tr

1. INTRODUCTION

In this section, literature is investigated about analysis with Solidworks Flow Simulation and velocity of the projectile. The projectile shape is a very critical specification in terms of the penetration and range of the bullet. So, in this study, three different projectile tip shapes are analyzed. The literature survey is performed according to this aim. Investigated studies are given below.

The effect of varying the angle of attack on the airfoil and flat shape louvers were investigated by Noh et al. [1]. Airfoil louvers were based on the symmetrical 4 digit NACA airfoil shape and it had 10 mm maximum thickness. CFD analysis was administered by using the built-in Solidworks Flow Simulation to visualize the air flow behavior across the louvers at the angles of attack of 25°, 35°, and 45°. The results revealed that the pressure drop is more prevalent in flat louvers as compared to airfoil louvers.

Arsena et al. [2] investigated how the wind gust affects variation drag resistance to advancing caused by the pantograph and how they affect the supply of electricity required for vehicle movement. EP3 pantograph was modeled geometrically. Solidworks Flow Simulation was used to analyze the effects caused by gusts of wind. Point values for angles were considered in the range of [0°, 180°] and speeds from 0 m/s to 30 m/s.

Experimental validation and numerical simulation were applied to study the turbulent flow around a small incurved Savonius wind rotor by Driss et al. [3]. Solidworks Flow Simulation was utilized to present the local characteristics in different transverse and longitudinal planes. Navier-Stokes equations were used for the numerical models and standard k- ϵ turbulence model was used. These equations were solved by a finite volume discretization method. Experimental results were manipulated on an open wind tunnel equipped with a small incurved Savonius wind rotor to validate the numerical method.

An acting coordinate method for a multi-domain technique was introduced by Jiang et al. [4] to simulate unsteady flows with moving boundary. The suggested method was used for the flow within the ballistic range. At the end of the study, an interaction between blast wave and shock wave were numerically captured with the prediction of the flying speed of the projectile.

Penetration of a high-speed projectile (>1000 m/s) was investigated in term of the perforation a vessel filled with toxic liquid by Lecysyn et al. [5]. The decay of projectile velocity and projectile-target interactions were examined with the initial conditions of the target.

A projectile, which is supersonic spinning, is affected by boundary layer separation in during the flight time concept was investigated by Rausch et al. [6] and Srivastava [7]. Flight stability of spinning penetrator was examined in terms of the flow separation of the supersonic boundary layer. A standard 155 mm bullet was used for this analysis. The micro-vanes were affixed at the projectile shoulder to investigate the separation control on the aerodynamic characteristics of the projectile. Aerodynamic data and characteristics of the boundary layer structures were discussed and compared by Ma et al. [8].

Induced shock flow concept was investigated using supersonic projectile moving in tubes by Jiang et al. [9]. Euler equations were applied to solve the problem with moving boundary conditions. Numerical work on shock wave flows generated by supersonic projectiles discharging from shock tubes into the ambient air was reported. The interaction of the bow shock wave with the precursor shock wave was emphasized.

An artificial neural network based diagnostic methodology is developed for gas turbine path analysis by Capata [10].

At the end of the literature survey, it is seen that projectile tip geometry is a critical specification in terms of the velocity distribution, pressure distribution and turbulent energy. But when the literature is researched, it is determined that there

is less study about velocity distribution and turbulence energy in the literature. So, this study is concentrated on the investigation of velocity distribution and turbulent energy for the different tip shaped projectile.

2. METHODOLOGY

In this study, velocity distribution and turbulence energy of projectile are investigated according to tip geometry of bullet. Three different nose shapes are used to perform the study (sharpen, semi-rounded, and rounded shape). 50 caliber real projectile geometry is used. Initial velocity is accepted as 500 m/s. Solidworks Flow Simulation tool is utilized to execute this work. Dimensions of flow domain are set as +x=12 cm, -x=9 cm, +y=5 cm, -y= 5cm, +z=5 cm and -z=5 cm. External flow is selected to perform the analysis. At the end of the study, velocity distribution, turbulent energy, pressure and mach number are obtained for each case.

Solidworks Flow Simulation is able to consider both laminar and turbulent flows. When the Reynolds number exceeds a certain critical value the flow transitions smoothly to turbulent. To predict turbulent flows, the Favre-averaged Navier-Stokes equations are used, where time-averaged effects of the flow turbulence on the flow parameters are considered, whereas the large-scale, time-dependent phenomena are taken into account directly.

The modified *k-ε* turbulence model with damping functions proposed by Lam and Bremhorst [11] describes laminar, turbulent, and transitional flows of homogeneous fluids consisting of the following turbulence conservation laws as given in equation 1-6.

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial \rho k u_i}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon + \mu_t P_B \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \rho \varepsilon u_i}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \left(\tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + C_B \mu_t P_B \right) - f_2 C_{\varepsilon 2} \quad (2)$$

$$\tau_{ij} = S_{ij} \quad (3)$$

$$\tau_{ij}^R = \mu_t S_{ij} - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (4)$$

$$S_{ij} = \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \quad (5)$$

$$P_B = - \frac{g_i}{\sigma_B \rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} \quad (6)$$

The unstructured mesh method is selected for meshing operation. Mesh number is obtained as 120000 elements according to unstructured mesh method. Mesh validation is performed to obtain realistic results.

2.1. Validation of Mesh Number Accuracy

Mesh number is controlled to validate the accuracy of meshing. Mesh indecency is also investigated on the 60000, 120000 and 240000 number of mesh for various downstream of the projectile.

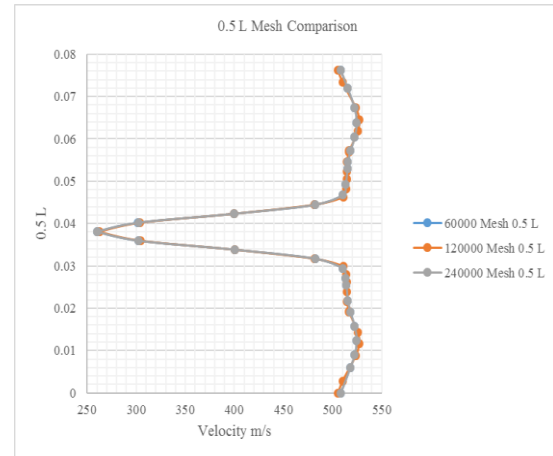


Figure 1. Mesh comparison for 0.5 L

When the Figure 1, Figure 2 and Figure 3 are investigated, it is seen that clearly curves on the figures, which are 60000, 120000 and 240000 mesh number curves, are nearly overlapped. So, It is seen that this study is performed as mesh independence. This mesh independence is shown in Figure 1 for 0.5 L, Figure 2 for L and Figure 3 for 1.5 L.

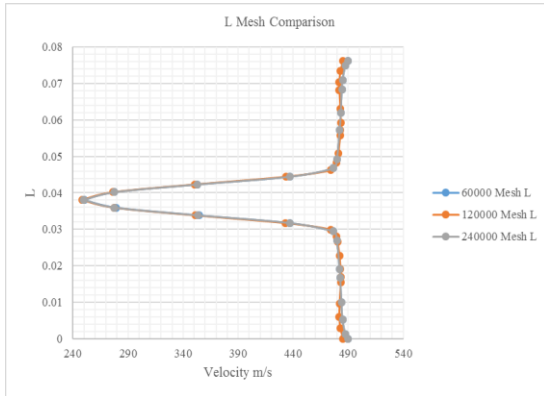


Figure 2. Mesh comparison for L

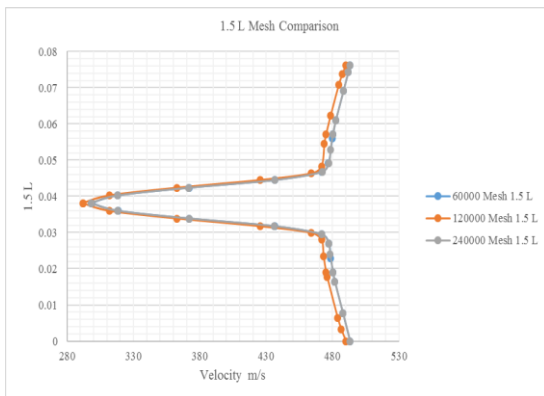


Figure 3. Mesh comparison for 1.5 L

2.1. Case 1

Sharpen type projectile is investigated in the case one as shown in Figure 4. The diameter of the bottom is 13.2 mm, tip round is 1 mm, and length is 61 mm for the sharpen type projectile. At the end of the analysis, pressure is obtained as maximum 144.383 kPa on the tip of the penetrator as shown Figure 4.

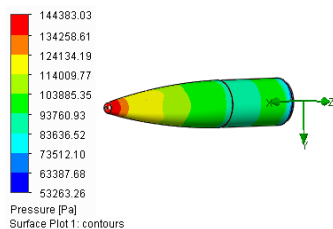


Figure 4. Pressure distribution of sharpen projectile

Velocity distribution is obtained as maximum 490.95 m/s as shown Figure 5. When Figure 2 is investigated, it is clearly seen that velocity value is zero behind the bullet due to the geometry of projectile has edged. The velocity of projectile decreases because of the small flat plane form of the projectile. The velocity value at the tip of the bullet is decreased approximately 22.2%.

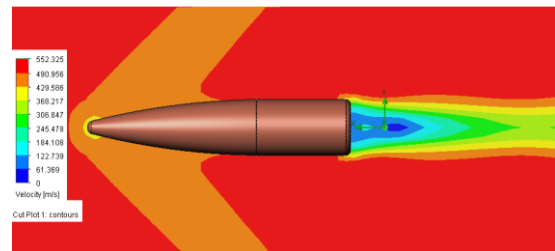


Figure 5. Velocity distribution of sharpen projectile

The amount of energy per unit mass, which is called as turbulent energy, is obtained maximum 5846 J/kg for the sharpen type projectile as shown in Figure 6.

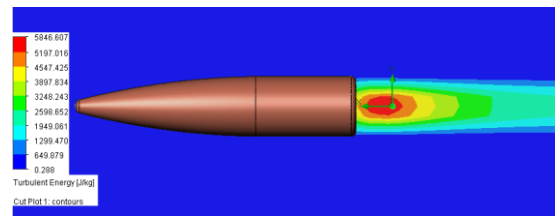


Figure 6. Turbulent energy of sharpen projectile

Mach number is found as maximum 1.68 as shown in Figure 7. Mach number is found as 1.31 at the tip of the projectile. At the tip of the projectile, the flow is found as supersonic due to mach number is between 1.2 and 5 values.

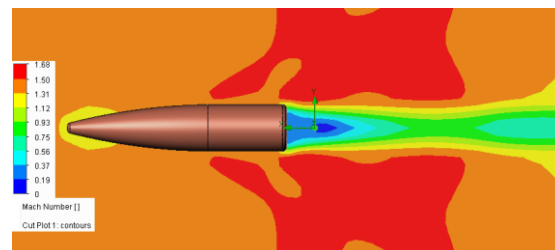


Figure 7. Mach number of sharpen projectile

2.2. Case 2

Semi-rounded type projectile is investigated in the case two as shown in Figure 8. At the end of the analysis, pressure is obtained as maximum 259.834 kPa on the tip of the penetrator as shown Figure 8. Diameter of the bottom is 13.2 mm, tip round is 3.3 mm, and length is 42 mm for the semi-rounded type projectile.

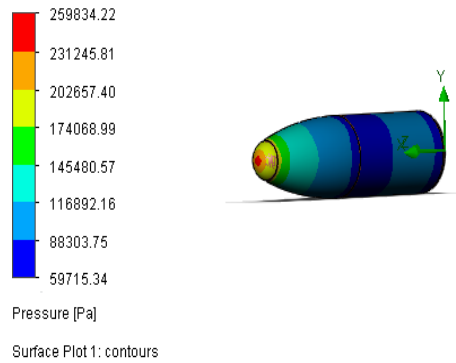


Figure 8. Pressure distribution of semi-rounded projectile

Velocity distribution is obtained as maximum 467.07 m/s as shown Figure 6. When Figure 9 is investigated, it is seen that velocity value is smaller than case 1 at the stagnation point due to rounded area increase on the semi-rounded type of projectile. Velocity value at the tip of the bullet is decreased nearly 45.6%.

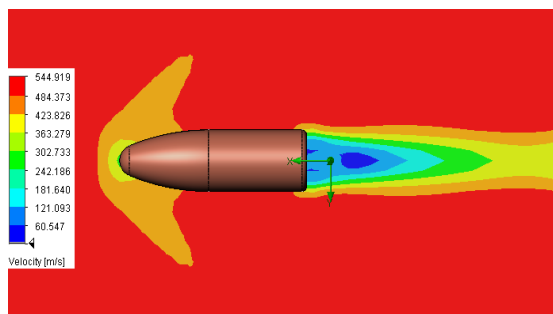


Figure 9. Velocity distribution of semi-rounded projectile

Turbulent energy is obtained maximum 6400 J/kg for the semi-rounded type projectile as shown in Figure 10.

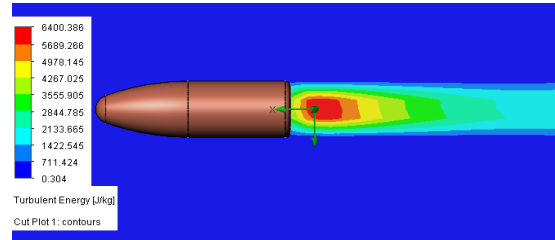


Figure 10. Turbulent energy of semi-rounded projectile

Mach number is found as maximum 1.65 as shown in Figure 11. Mach number is found as 0.92 at the tip of the projectile. At the tip of the projectile, the flow is found as transonic due to mach number is between 0.8 and 1.2 values.

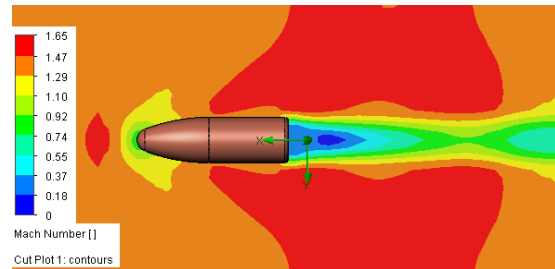


Figure 11. Mach number of semi-rounded projectile

2.3. Case 3

Rounded type projectile is investigated in the case three as shown in Figure 12. At the end of the analysis, pressure is obtained as maximum 302.185 kPa on the tip of the penetrator as shown Figure 12. The diameter of the bottom is 13.2 mm, tip round is 5.33 mm, and length is 33 mm for the rounded type projectile.

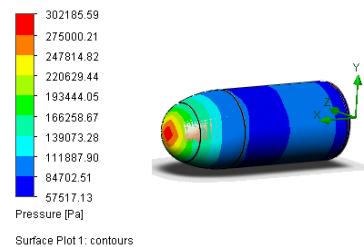


Figure 12. Pressure distribution of rounded projectile

Velocity distribution is obtained as maximum 487.01 m/s as shown Figure 13. When Figure 13 is investigated, it is seen that clearly velocity value of rounded type projectile is the smallest in all cases. Velocity value at the tip of the bullet is decreased nearly 57.5%. Separation point has also approached the center of the penetrator.

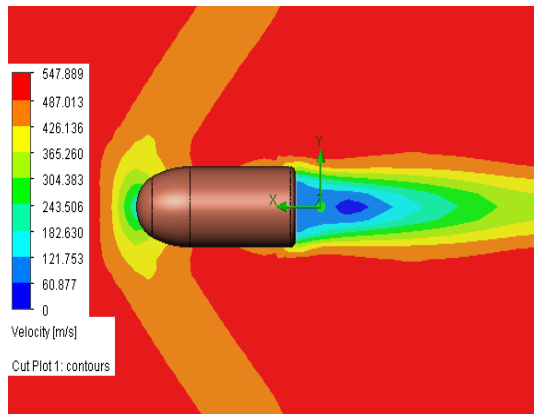


Figure 13. Velocity distribution of rounded projectile

Turbulent energy is obtained maximum 6670 J/kg for the semi-rounded type projectile as shown in Figure 14.

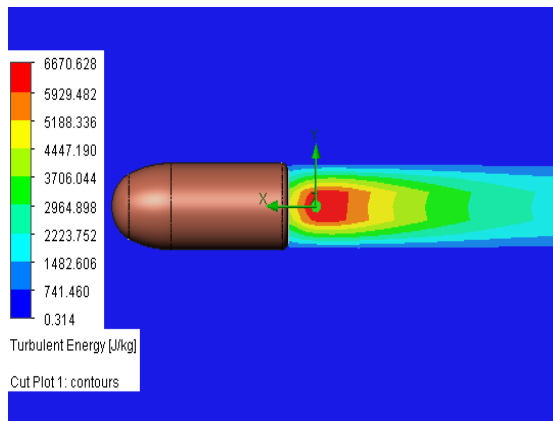


Figure 14. Turbulent energy of rounded projectile

Mach number is found as maximum 1.67 as shown in Figure 15. Mach number is found as 0.74 at the tip of the projectile. The maximum decrease of mach number is obtained on the rounded type projectile due to the tip of the projectile is curved

fully. At the tip of the projectile, the flow is found as sonic due to mach number is smaller than 0.8 value.

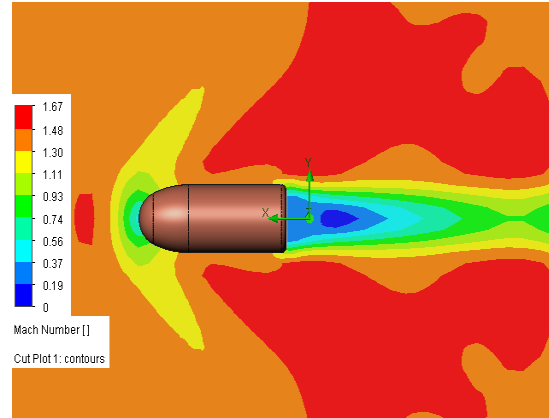


Figure 15. Mach number of rounded projectile

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

In order to better comparison of different shape projectile, it is given dimensionless velocity distribution along to cross-sectional direction (x-axis) at the various location downstream of the projectile (y-axis) as shown Figure 16, Figure 17 and Figure 18.

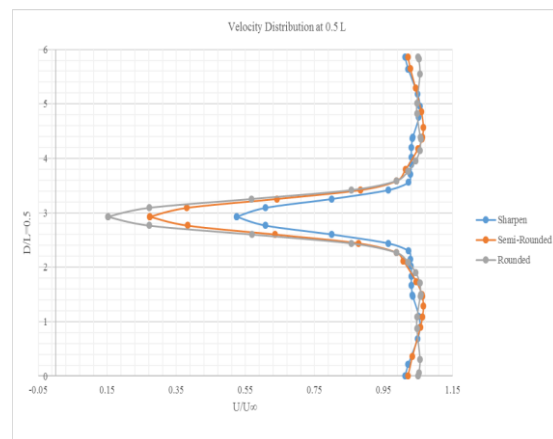


Figure 16. Velocity distribution at 0.5 L

There is no significant effect of tip shape of the projectile on the backtrace width. However, the tip shape of the projectile is influential at different cross-sections in the backtrace.

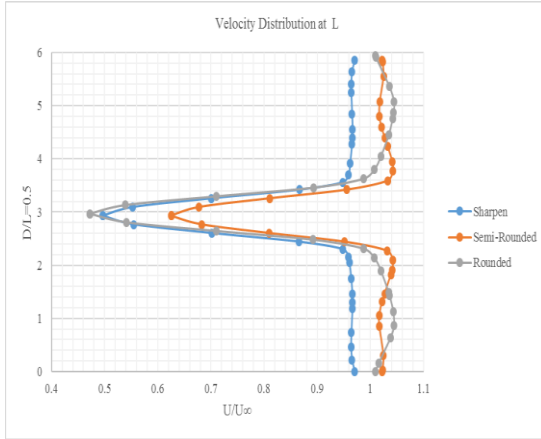


Figure 17. Velocity distribution at L

The lowest velocity profile is obtained for the rounded type of projectile at $D/L=0.5$ on the backtrace. The velocity values behind the rounded projectile are much higher in terms of values in the x-axis than in other projectiles.

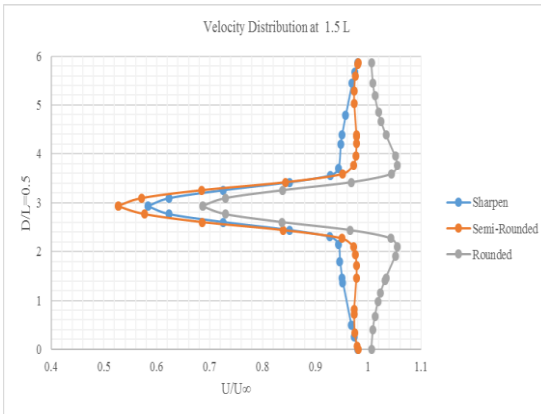


Figure 18. Velocity distribution at 1.5 L

There was no significant difference between the values of $D/L = 0.5, 1$ and 1.5 measured in the distribution of velocity profiles formed behind the sharpen type of projectile.

In this study, different tip shapes of projectile are examined in terms of the velocity distribution and turbulent energy. Three different nose shapes of the projectile are investigated. Velocity loss is given in Table 1 according to the projectile geometry.

Table 1. Numerical results of the study

Projectile Type	Pressure (kpa)	Tip Velocity (m/s)	Mach Number	Velocity Loss (%)
Sharpen	144.38	389.00	1.31	22.2
Semi-rounded	259.38	267.50	0.92	46.5
Rounded	302.19	212.50	0.74	57.5

- The decrease of velocity value at the tip of the bullet is obtained nearly 22.2% on the sharpen type projectile.
- The decrease of velocity value at the tip of the penetrator is found nearly 45.6% on the semi-rounded type projectile.
- The decrease of velocity value at the tip of the projectile is found nearly 57.5% on the rounded type projectile.

Velocity is less affected on the sharpen type projectile, because of the sharpen tip geometry. Therefore, perforation occurs also easily with sharpen tip projectile. It is possible to understand sharpen type projectile has a long flying range. Because the decrease of the velocity is less on sharpen type projectile.

4. CONCLUSIONS

At the end of the study, velocity and pressure distribution on the penetrator, which has different tip geometry, is obtained. When the results are investigated, it is seen that clearly sharpen type projectile is less affected in terms of the velocity loss according to others due to the small flat area on the tip of the projectile. When the cross-sectional area, which is tip area of the projectile, is increased it is seen that pressure increase on the tip of penetrator because of the bigger area. At the end of the study, it is obtained that if projectile has sharpen tip, it has less pressure and less turbulent energy behind the projectile. When the tip area of the projectile is also increased, mach number is also decreased on the tip of the projectile. There is less study on the aerodynamic performance of projectile in the literature. Therefore, this study

will be an important reference for the future studies on the projectile aerodynamics.

5. REFERENCES

1. Noh M.H.M., Rashid H., Hamid A.H.A., Iskandar M.F., 2012. Comparison of Numerical Investigation on Airfoil and Flat Louvers on the Air Duct Intake, *Procedia Engineering*, 41:1761-1768.
2. Arsene S., Sebesan I., Popa G., 2015. The Influence of Wind on the Pantograph Placed on The Railway Vehicles Bodywork, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 186: 1087-1094.
3. Driss Z., Mlayeh O., Driss D., Maaloul M., Abid M.S., 2014. Numerical Simulation and Experimental Validation of the Turbulent Flow Around a Small Incurved Savonius Wind Rotor, *Energy*, 74:506-517.
4. Jiang Z., Takayama K., Chen Y., 1995. Dispersion Conditions for Non-Oscillatory Shock Capturing Schemes and Its Applications, *Comput. Fluid Dyn., J*, 2:137-150.
5. Lecysyn N., Dandrieux A., Heymes F., Slangen P., Munier L., Lapebie E., Gallic C.L., Dusserre G., 2008. Preliminary Study of Ballistic Impact on an Industrial Tank: Projectile Velocity Decay, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 21: 627-634.
6. Rausch J., Roberts B., 1975. Reaction Control System Aerodynamic Interaction Effects on Space Shuttle Orbiter, *Journal of Spacecraft and Rockets*, 12:660-666.
7. Srivastava B., 1998. Aerodynamic Performance of Supersonic Missile Body-and Wing Tip-Mounted Lateral Jets, *Journal of Spacecraft and Rockets*, 35: 278-286.
8. Ma J., Chen Z-h., Huang Z-g., Gao J-g., Zhao Q., 2016. Investigation on the Flow Control of Micro-Vanes on a Supersonic Spinning Projectile, *Defence Technology*, 12:227-233.
9. Jiang, Z., Huang, Y., Takayama, K., 2004. Shocked Flows Induced by Supersonic Projectiles Moving in Tubes, *Computers & fluids*, 33:953-966.
10. Capata R., 2016. An Artificial Neural Network-Based Diagnostic Methodology for Gas Turbine Path Analysis-Part II: Case Study, *Energy, Ecology and Environment* 1:351-359.
11. Lam, C.K.G., Bremhorst, K.A., 1981. Modified Form of Model for Predicting Wall Turbulence, *ASME Journal of Fluids Engineering*, 103:456-460.

Karides Atıklarından Elde Edilen Kitosan Biyopolimerinin Yünlü Kumaşların Antibakteriyel Özellikleri Üzerine Etkisi

Mahmut TAŞ¹, Emel Ceyhun SABİR^{*1}, Aygül KÜÇÜKGÜLMEZ²

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

²Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 12.05.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Öz

Bu çalışmada Türkiye’de avcılığı yapılan derin su pembe karidesi (*Parapenaeous longirostris*) kabuklarından kimyasal yöntem kullanılarak kitosan biyopolimeri elde edilmiştir. Üretilen kitosanın biyopolimeri antibakteriyel özellikler kazandırmak için 3 farklı konsantrasyonda dokunmuş yünlü kumaşlara daldırma metodu ile uygulanmıştır. AATCC-100 standardına göre yünlü kumaşa gerçekleştirilen antibakteriyel aktivite testinin sonuçlarına göre kitosan biyopolimeri uygulanmış kumaşa *K.pneumoniae* ve *S.aureus* bakterilerine karşı %99’un üzerinde aktivite elde edilmiştir. Sonuçlar, Türkiye’de değerlendirilemeyen ve atık olarak ayrılan karides kabuklarının tekstilde de kullanılabilecek antibakteriyel polimere dönüştürülmesi ile kullanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Karides atıkları, Teknik tekstiller, Antibakteriyel tekstil yapıları, Kitosan

Effect of Chitosan Biopolymer Obtained from Shrimp Wastes on Antibacterial Properties of Woolen Fabrics

Abstract

In this study, chitosan biopolymers were obtained by chemical method from the deep water pink shrimp (*Parapenaeous longirostris*) shells in Turkey. The biopolymer of the produced chitosan was applied by immersion in woven woven fabrics at 3 different concentrations to give antibacterial properties. According to the results of the antibacterial activity test performed on the woolen fabric according to the AATCC-100 standard, over 99% of the activity against bacterial strains of *K.pneumoniae* and *S.aureus* was obtained in the fabric subjected to chitosan biopolymerization. The results show that shrimp shells, which can not be assessed in Turkey and separated as waste, can be used by converting them into antibacterial polymers that can also be used on textiles.

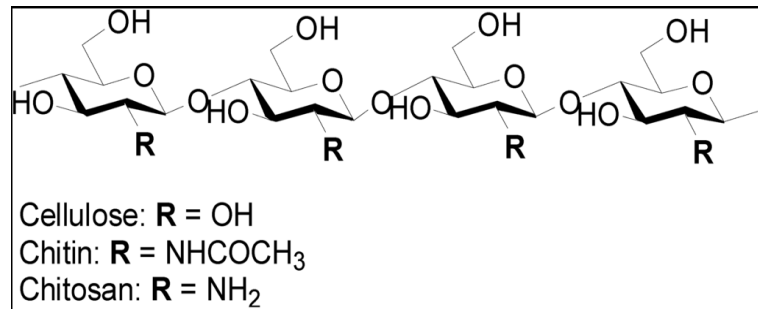
Keywords: Shrimp wastes, Technical textiles, Antibacterial textiles, Chitosan

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Emel Ceyhun SABİR, emelc@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Teknik tekstillerin en önemli konularından biri olan antibakteriyel tekstil yapıları hastaneler, medikal tekstil ürünleri, iç giyim mamülleri gibi geniş kullanım alanları ve birçok yöntem ile üretilebilmeleri ile dikkat çekmektedir. Antibakteriyellik özelliği tekstil yapılarına bitim işlemleri, antibakteriyel hammadden seçimi, tekstil yapısına katılan metalik filamentler ve tekstil yapısının üzerine uygulanan nano-mikro antibakteriyel malzemeler ile kazandırılabilir. Fakat bu durumda bitim işlemlerinin kalıcı olmaması, uygulanan nanomateryallerin toksisitesi, metal filamentlerin tekstil yapısının rijiditesini ve dolayısıyla konfor özelliklerini bozması gibi problemler ortaya çıkmaktadır. Kitosan, genel olarak deniz kabuklarından üretilen kitinin deasetillenmiş türevi olarak bilinmektedir [1]. Deasetilasyon kitin yapısında bulunan asetil gruplarının indirgenmesi işlemidir ve deasetilasyon derecesi de kitin zincir

yapısında bulunan asetil gruplarının yüzde kaçının indirgendiğini ifade eder [2]. Sahip olduğu biyobozunurluk, antibakteriyellik, antimantarlık, biyoyumluluk gibi özellikleri ve atık malzemelerden üretilmesi kitosanı tekstil ve birçok diğer sektör için önemli bir biyopolimer haline getirmiştir. Kitosan biyopolimerinin kimyasal yapısı selüloza çok benzemektedir. Selüloz ile kitosan biopolimeri arasındaki tek fark selüloz yapısında bulunan -OH fonksiyonel gruplardan birinin yerine -NH₂ fonksiyonel grubunun bulunmasıdır. Bu durum kitosan biyopolimerinin zincir yapısını polikasyonik olmasını sağlar ve kitosanın birçok üstün özelliği bu polikasyonik yapıdan ileri gelmektedir. Bu avantajın yanısıra zincir yapısında hem -OH hem -NH gruplarının bulunması ve bu grupların farklı şekillerde modifiye edilebiliyor olması da kitosanın kullanımını öne çıkaran bir durumdur. Kitin ve kitosan biyopolimeri ile selüloza ait kimyasal yapıların gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Selüloz, Kitin ve Kitosanın kimyasal yapısı

Kitosan biyopolimeri; lif, nanoparçacık, mikro parçacık gibi formlarda tekstil malzemelerine antibakteriyellik kazandırmak, boyanabilirliği ve haslıkları artırmak, keçeleşme, çekme gibi sorunları azaltmak için tekstil malzemelerine bitim işlem maddesi olarak, fulard yoluyla uygulanabilmektedir. Literatürde kitosanın konvansiyonel tekstil yapılarına antibakteriyellik kazandırmak amacıyla kullanıldığı birçok çalışmaya rastlanmaktadır. Shin ve arkadaşları (1999) polipropilen dokusuz yüzey yapılarına antibakteriyel özellikler kazandırmak için kitosan oligomerlerini uygulamışlardır. Kitosanın %0.01

uygulanmasında dahi %90'ın üzerinde antibakteriyel etki gösterdiği tespit edilmiştir [3].

Erra ve arkadaşları (1999) kitosan uygulanmış yünlü kumaşların çekmezlik özellikleri test etmişlerdir. Uygulama sonucunda yünlü kumaşların çekme problemlerinin kitosan ile iyileştirilebildiği görülmüştür [4]. Hu ve arkadaşları (2002) tarafından grafting metodu ile kitosan polimer zincirleri polyester liflerine bağlanmıştır. Çalışmada üretilen yapıların patojenik bakterilere karşı aktiviteleri ölçülmüş ve yüksek aktivite gözlemlenmiştir [5]. Öktem (2003) pamuk ve pamuk/polyester kumaşlara kitosan

uygulamış ve çeşitli özelliklerini test etmiştir. Kitosan uygulanan kumaşların yüksek antibakteriyel özellik gösterdiği görülmüştür [6]. Khaled ve arkadaşları (2005) pamuk kumaşa kitosan uygulamış ve farklı çapraz bağlayıcılardaki antibakteriyel özelliklerini araştırmışlardır. Çalışma sonunda kitosanın konvansiyonel pamuklu kumaşa yüksek antibakteriyel özelliği %0,25 konsantrasyonda dahi sağladığı görülmüştür [6].

Deng ve arkadaşları (2006) tarafından keten kumaşlara kitosan uygulanmış, buruşma ve antibakteriyel özellikleri test edilmiştir. Çalışmada kitosanın yüksek antibakteriyellik yanısıra buruşmazlık özelliği sağladığı görülmüştür. Bu çalışmada kitosanın tekstilde birçok amaçla kullanılabilceği gösterilmiştir [7]. Tseng ve arkadaşları (2009) Poliamid tekstil yüzeylerine açık air plasma yöntemiyle radikaller oluşturarak graft edilmiş ve oluşturulan yüzeylerin antimikrobiyal özellikleri test edilmiştir. Çalışma sonunda kitosan oligomerine göre polimer graft etmenin daha etkin antibakteriyel sonuçlar oluşturduğu görülmüştür [8]. Higazy ve arkadaşları (2010) jüt tekstil ambalajların antimikrobiyal özelliklerini geliştirmek amacıyla kitosanı metal kompleksler ile birlikte uygulamıştır. Elde edilen yapıların antimikrobiyal ve antifungal özelliklerinin ikisini de taşıdığı gözlemlenmiştir [9]. Gebeish ve arkadaşları (2011) pamuk kumaşlara ucuz ve kalıcı antibakteriyel etki sağlamak amacıyla kitosan polimerini kullanmışlardır. Kumaşların en az 10 yıkamaya dayanıklı olacak şekilde antibakteriyel özellik kazandırıldığı görülmüştür [10]. Bu çalışmada, kitosan biyopolimerinin karides kabuklarından üretimi ve yünlü kumaşlara farklı oranlarda uygulanması ile antibakteriyel özelliklerin üzerine etkisinin araştırılması hedeflenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Kitosan biyopolimerinin üretimi için derin su pembe karidesi (*Parapenaeous longirostris*) kabukları kullanılmıştır. Üretim prosesinde kullanılan Sodyum hidroksit, Hidroklorik asit ve

Hidrojen peroksit Sigma Aldrich (USA) firmasından, kitosan biyopolimerinin çözündürülmesi için kullanılan asetik asit Merck (USA) firmasından, karides kabuklarından elde edilen kitosanın özelliklerini kıyaslamak amacı ile kullanılan yüksek deasetilasyon derecesine sahip kitosan (%75-85) Sigma Aldrich'den temin edilmiştir. Üretilen kitosanın uygulanacağı tekstil yüzeyi Yünsa A.Ş. (Türkiye) firmasından temin edilmiş olup %100 yün liflerinden üretilmiş dokuma kumaştır. Çalışmada biyopolimer uygulanmamış yünlü kumaş referans kumaş olarak kullanılmıştır.

2.2. Metod

2.2.1. Kitosan Biyopolimerinin Üretimi

Kitosan biyopolimerinin üretimi için Küçükgülmez ve arkadaşlarının uyguladığı kimyasal yöntem kullanılmıştır[11]. Bu amaçla Ege bölgesinde bulunan su ürünleri işleme fabrikasından derin su pembe karidesi (*Parapenaeous longirostris*) işleme atıkları temin edilmiş ve laboratuvarında sadece kabuk kısımları ayrılmıştır. Üretim, deproteinizasyon, deminerilizasyon, dekolorizasyon ve deasetilasyon olmak üzere 4 aşamada gerçekleştirilmiştir.

2.2.2. Kitosanın Karakterizasyonu

Çalışmada karides kabuklarından elde edilen kitosanın nem içeriği etüvde 105 °C'de, ham kül içeriği ise yakma fırınında 530 °C'de sabit ağırlığa ulaşana kadar yakılarak tespit edilmiştir. Deasetilasyon derecesi % olarak potentiometrik titrasyon yöntemiyle belirlenmiştir [12]. Molekül ağırlığı Wang ve arkadaşlarının uyguladığı yöntemle göre yapılmıştır [13]. Viskozite ölçümü için asetik asit çözeltisi (%1'lik) içerisinde %1'lik kitosan solüsyonu hazırlanmıştır. Çözünmeyen materyallerin uzaklaştırılması için kitosan çözeltisi filtre kâğıdından geçirilmiş ve viskozite ölçümleri otomatik viskozimetre yardımıyla ölçülmüştür. Su ve yağ tutma kapasitesini belirlemede Wang ve Kinsella (1976)'nın uyguladığı yöntem kullanılmıştır [14].

2.2.3. Yünlü Kumaşa Kitosan Biyopolimerinin Uygulanması

Öncelikle karides kabuklarından üretilen ve ticari kitosan biyopolimeri %0,25, %0,75, %1,25 şeklinde 3 farklı konsantrasyonda %1'lik asetik asit karışımında çözündürülerek kitosan biyopolimeri içeren ve kumaşlara uygulamada kullanılacak olan çözeltiler elde edilmiştir. Ardından uygulama yapılacak tekstil yüzeyleri

alkol ile yıkanmış ve safsızlıkların giderilmesi sağlanmıştır. Yıkama sonrası tekstil numuneleri oda sıcaklığında kurutulmuş ve daha sonra hazırlanan çözeltilere daldırılarak etüv ortamında 95 °C sıcaklıkta kurutulmuştur. Üzerinde asit kalıntısı kalmaması için kuru numuneler 0,1 N Sodyumhidroksit çözeltisinden geçirilmiş ve saf su ile yıkamaya tabi tutulmuştur. Kumaşın çözeltiye daldırılması ve elde edilen numunenin görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Yünlü kumaşın Kitosan çözeltisine daldırılması ve elde edilen numune parçalarının görünüm

2.2.3. Antibakteriyel Aktivite Testi

Kitosan uygulanmış kumaş parçalarının antibakteriyel aktivitelerinin tespitinde AATCC-100 standardı kullanılmıştır. Bu standarda göre *K.pneumoniae* ve *S.aureus* bakterileri kullanılmış ve antibakteriyel aktivite testinde karides kabuklarından üretilen ve ticari olarak temin edilen kitosanın uygulandığı kumaşlar kullanılmıştır. Bu test için numune kumaştan dairesel olarak 3,8 mm çapında örnekler hazırlanmış ve ilgili standarda göre deney gerçekleştirilmiştir. Sonuçların yorumlanması referans kumaş ile ticari ve üretilen kitosan uygulanmış kumaşlarda inhibe olmamış bakterilerin sayılması ile sağlanmıştır.

deasetilasyon derecesi, molekül ağırlığı, viskozite, su ve yağ tutma kapasitesi; Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Üretilen kitosan biyopolimerinin ölçülen özellikleri

Ölçülen Fizikokimyasal Özellik	Değer
Nem (%)	1,52±0,04
Ham kül (%)	0,18±0,07
Deasetilasyon Derecesi (%)	93,70±2,20
Molekül Ağırlığı (kDa)	2,15±0,04
Viskozite (Cp)	150,00±43,58
Su Tutma Kapasitesi (%)	654,16±23,32
Yağ Tutma Kapasitesi (%)	692,30±30,12

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Kitosan Biyopolimerinin Karakterizasyonu

Karides kabuklarından elde edilen kitosanın fizikokimyasal özellikleri; nem, ham kül,

Bu çalışmada, potentiometrik titrasyon yöntemiyle belirlenen deasetilasyon derecesi %93,70 olarak tespit edilmiştir. Kitosanın deasetilasyon

derecesinin yüksek olması nedeni ile viskozite ve molekül ağırlığı, su ve yağ tutma kapasiteleri düşük bulunmuştur. Benzer şekilde Jeon ve arkadaşları (2001) kitosanın bu özelliklerinin deasetilasyon süresi ile yakından ilişkili olduğunu ve kitosanın kısa deasetilasyon süresinde en yüksek viskoziteye sahip olduğunu bildirmişlerdir [15].

Kitosanın tüm bu fizikokimyasal özellikleri; kullanılan kabuklu türüne, kitosanın elde edilme yöntemine, deasetilasyon süresi, sıcaklık, NaOH konsantrasyonu gibi üretim parametrelerine göre oldukça değişkenlik gösterebilmektedir.

3.2. Üretilen Kumaş Numunelerine ait Antibakteriyel Aktivite Sonuçları

Karides kabuklarından elde edilen ve ticari olarak temin edilen kitosanın *K.phenomenia* ve *S.aureus* bakterilerine karşı antibakteriyel aktivite test sonuçlarının görsel durumu Şekil 3’de verilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde; ticari ve üretilen kitosanın referans kumaş ile kıyaslandığında her iki bakteri için de %99 ve üzeri şekilde oldukça yüksek antibakteriyel aktivite gösterdiği tespit edilmiştir. Bu çalışmada karides kabuklarından üretilen kitosan biyopolimerinin hem *K.pneumoniae* hemde *S.aureus*’a karşı ticari olarak temin edilen kitosana göre antibakteriyel etkisinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Kitosanın özelliklerinden deasetilasyon derecesi, molekül ağırlığı ve viskozitesi antibakteriyel aktivite açısından oldukça önem arz etmektedir. Karides kabuklarından üretilen kitosanın ticari kitosana göre daha yüksek deasetilasyon derecesine sahip olması antibakteriyel aktivite sonuçlarında daha yüksek çıkmasına neden olmuştur. Tsai ve arkadaşları (2002)’de deasetilasyon derecesinin arttıkça antimikrobiyal aktivitenin arttığını bildirmişlerdir [16]. Yün lifinin genel olarak antimikrobiyal etki göstermediği bilinmektedir. Elde edilen sonuçlar yün lifinden üretilen dokuma kumaşların antibakteriyel etki kazanmasını ve buna bağlı olarak farklı kullanım alanlarına hitap etmesini sağlayacak veriler içermektedir.

4. TEŞEKKÜR


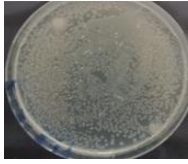
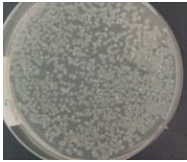
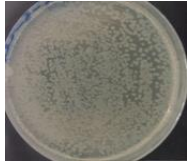
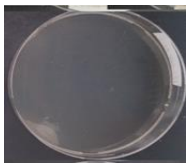
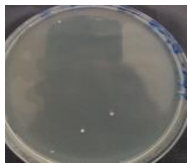
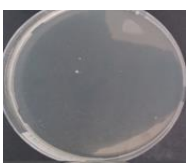
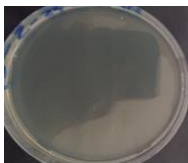



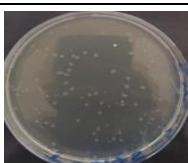



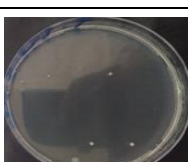
Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmektedir (Proje kodu: FBA-2017-7350).

Açıklama: Bu çalışmanın bir kısmı; “*Investigation Of Antibacterial Activity Of Chitosan Threatened Wool Fabrics, 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016) 26-28 October 2016, Adana/Turkey*” adıyla uluslararası bir kongrede sunulmuş olup bildirinin özeti, kongre özet kitapçığında yer almıştır.

5. KAYNAKLAR

1. Abdou, E.S., K.S.A., Nagy, M.Z., 2008. Elsabee, Extraction and Characterization of Chitin and Chitosan from Local Sources. *Bioresource Technology*, 99(5): p. 1359-1367.
2. Wu, J.Y., 2008. Research on Mechanism of Deacetylation of Chitin. *Rare Metal Materials and Engineering*, 37: 718-722.
3. Shin, Y., Yoo, D.I., Min, K., 1999. Antimicrobial Finishing of Polypropylene Nonwoven Fabric by Treatment with Chitosan Oligomer. *Journal of Applied Polymer Science*, 74(12): 2911-2916.
4. Erra, P., Molina, R., Jovic, D.M., Julia, R., Cuesta, A., Tascon, J.M.D., 1999. Shrinkage Properties of Wool Treated with Low Temperature Plasma and Chitosan Biopolymer. *Textile Research Journal*, 69(11): 811-815.
5. Hu, S.G., C.H. Jou, M.C., 2002. Yang, Surface Grafting of Polyester Fiber with Chitosan and the Antibacterial Activity of Pathogenic Bacteria. *Journal of Applied Polymer Science*, 86(12): 2977-2983.
6. Oktem, T., 2003. Surface Treatment of Cotton Fabrics with Chitosan. *Coloration Technology*, 119(4): 241-246.
7. El-Tahlawy, K.F., El-bendary A., Elhendawy, A.G., Hudson, S.M., 2005. The Antimicrobial Activity of Cotton Fabrics Treated With Different Crosslinking Agents and Chitosan. *Carbohydrate Polymers*, 60(4): 421-430.
8. Tseng, H-J., Hsu, S., Wu, M-W., Hsueh, T-H., Tu, P-C., 2009. Nylon Textiles Grafted with Chitosan by Open Air Plasma and their

- Antimicrobial Effect. *Fibers and Polymers*, 10(1): 53-59.
9. Higazy, A., Hashem, M., Shafei, A.E., Hady, M.A., 2010. Development of Antimicrobial Jute Packaging using Chitosan and Chitosan-metal Complex. *Carbohydrate Polymers*, 79(4): 867-874.
 10. Hebeish, A., Abdel-Mohdyet, F.A., Fouda, M.M.G., Elsaid, Z., Essam, S., Tammam, G.H., Dreesc, E.A., 2011. Green Synthesis of Easy Care and Antimicrobial Cotton Fabrics. *Carbohydrate Polymers*, 86(4): 1684-1691.
 11. Kucukgulmez, A., Celik, M., Yanar, Y., Sen, D., Polat, H., Kadak, E., 2011. Physicochemical Characterization of Chitosan Extracted from *Metapenaeus Stebbingi* Shells. *Food Chemistry*, 126(3): 1144-1148.
 12. Tolaimate, A.J., Desbrières, M., Rhazi Alagui A., Vincendon, M., Vottero, P., 2000. On the Influence of Deacetylation Process on the Physicochemical Characteristics of Chitosan from Squid Chitin. *Polymer*, 41(7): 2463-2469.
 13. Wang, Q.Z., Chen, X.G., Liu, N.S., Wang, X.C., Liu, S.X., Meng, H., Liu, C.G., 2006. Protonation Constants of Chitosan with Different Molecular Weight and Degree of Deacetylation. *Carbohydrate Polymers*, 65(2): 194-201.
 14. Wang, J.C., Kinsella, J.E., 1976. Functional Properties of Novel Proteins: Alfalfa Leaf Protein. *Journal of Food Science*, 41(2): 236.
 15. Jeon, Y.J., Park, P.J., Kim, S.K., 2001. Antimicrobial Effect of Chitooligosaccharides Produced by Bioreactor. *Carbohydrate Polymers*, 44(1): 71-76.
 16. Tsai, G.J., Su, W.H., Chen, H.C., Pan, C.L., 2002. Antimicrobial Activity of Shrimp Chitin and Chitosan from Different Treatments and Applications of Fish Preservation. *Fisheries Science*, 68(1): 170-177.

Deney Numunesi	Bakteriler	
	<i>K.pneumoniae</i>	<i>S.aureus</i>
Referans kumaş		
Asetik Asit Uygulanmış Kumaş		
%0,25 konsantrasyonda kitosan uygulanmış kumaş (Karides kabuklarından üretilen)		
%0,75 konsantrasyonda kitosan uygulanmış kumaş (Karides kabuklarından üretilen)		
%1,25 konsantrasyonda kitosan uygulanmış kumaş (Karides kabuklarından üretilen)		
%0,25 konsantrasyonda kitosan uygulanmış kumaş (Ticari olarak temin edilen)		
%0,75 konsantrasyonda kitosan uygulanmış kumaş (Ticari olarak temin edilen)		
%1,25 konsantrasyonda kitosan uygulanmış kumaş (Ticari olarak temin edilen)		

Şekil 3. K. Pneumoniae ve S.Aureus bakterilerine karşı antibakteriyel aktivite testi sonuçları

Kayma Dalgası Hızı (Vs) Kullanılarak Erciş (Van) Yerleşim Alanının Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi

İsmail AKKAYA^{*1}, Ali ÖZVAN², Mutluhan AKIN³, Müge AKIN⁴, Uğur ÖVÜN²

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Van

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Van

³Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Nevşehir

⁴Abdullah Gül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri

Geliş tarihi: 14.04.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Öz

Van İli, Erciş İlçesi yerleşim alanı ve çevresi Kuvaterner yaşlı güncel çökeller üzerinde yeralan, yeraltı suyu seviyesi sığ, çevresinde tarihsel ve aletsel dönemde büyük deprem üretmiş aktif fayların yer aldığı, 23 Ekim 2011 Van (Mw=7,1) depremi sonrasında belli kesimlerinde sıvılaşma olayının gerçekleştiği önemli bir yerleşim yeridir. Tüm bu veriler, Erciş ve yakın çevresi için olası büyük bir depremde sıvılaşma ve yanal yayılma türü yüzey deformasyonlarının meydana gelebileceğini işaret etmektedir. Bu nedenle çalışmada, Kayma dalga hızları (Vs) kullanılarak Erciş yerleşim alanı ve çevresinin üç farklı deprem senaryosu için sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, Erciş merkezinin yoğun olarak üzerinde bulunduğu eski göl çökellerinin sıvılaşma potansiyelinin “düşük-orta” olduğu belirlenmiştir. İnceleme alanının Van Gölü’ne yakın kıyı kesimleri ile inceleme alanının batısında sıvılaşma potansiyelinin diğer kesimlere göre daha yüksek olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca, Erciş yerleşim alanında 23 Ekim 2011 Van depremi sonrasında arazide gözlenen yanal yayılmalar ve sıvılaşmaların bu çalışmada ön görülen senaryolardaki sınırlarla örtüştüğü belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Erciş, Deprem, Sıvılaşma, Kayma dalga hızı (Vs)

*Sorumlu yazar (Corresponding author): İsmail AKKAYA, iakkaya@yyu.edu.tr

Evaluation of Liquefaction Potential of Erciş (Van) Settlement by using Shear Wave Velocity (Vs)

Abstract

The Erciş district of Van province and its vicinity settles on Quaternary alluvial deposits with shallow groundwater level and is surrounded by a number of active faults caused destructive earthquakes both at historical and instrumental period as well as liquefaction was also observed at certain locations of the settlement after the 23 October 2011 Van (Mw=7.1) earthquake. Eventually, all these data point out that a possible destructing earthquake around Erciş district may be followed by liquefaction and lateral spreading type ground deformations. Therefore, liquefaction analyses were executed for the Erciş settlement area considering three different earthquake scenarios using Vs wave velocities. Liquefaction analyses indicate that the liquefaction potential of old lacustrine deposits where the Erciş settlement is densely populated on is found to be “low-moderate”. On the other hand, the liquefaction potential of the coastal region of the Lake Van as well as the western side of settlement is higher than the rest. Furthermore, the liquefaction and lateral spreading locations around Erciş settlement observed after the 23 October 2011 Van earthquake strongly coincide with the boundaries defined by the scenarios in this study.

Keywords: Erciş, Earthquake, Liquefaction, Shear wave velocity (Vs)

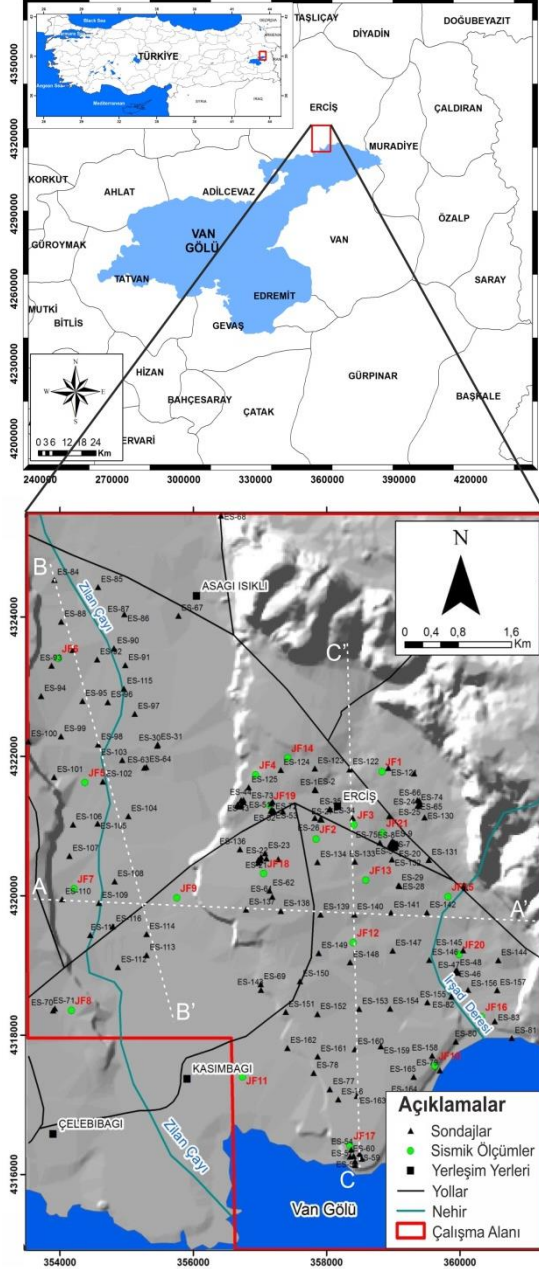
1. GİRİŞ

Depremler sırasında meydana gelen can ve mal kayıplarında yapı kalitesinin yanı sıra, zemin özelliklerine bağlı olarak gelişen yüzey deformasyonlarının (sıvılaşma, yanal yayılma vb.) da önemli bir rolü bulunmaktadır. Sıvılaşma, gevşek kumlu, siltli zeminlerin ve sığ yeraltı suyunun bulunduğu alanlarda deprem sonucunda meydana gelmektedir. Sıvılaşma sırasında deprem dalgalarına bağlı olarak zemini oluşturan taneler arasındaki boşluk suyu basıncı artmaktadır. Boşluk suyu basıncının toplam gerilmeye eşit olduğu anda taneler arasındaki sürtünme kuvveti, diğer bir ifadeyle efektif gerilme sıfıra ulaşmaktadır. Böylece temel zeminde taşıma gücü ve ani oturma sorunları meydana gelmekte ve yapılarda devrilme gibi önemli yapısal sorunlar olabilmektedir. Büyüklüğü 5'ten fazla olan depremler sonucu sıvılaşma meydana gelebilmektedir. Sıvılaşmaya bağlı hasarların önlenmesi için dinamik yükler altındaki zeminlerin sıvılaşma potansiyellerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Sıvılaşma olgusu, özellikle 1964 yılında Nigata (Japonya) ve yine 1964 yılındaki Alaska (ABD)

depremlerinin ardından bilim insanlarının ilgisini çekmeye başlamış ve bu konudaki çalışmalarla ağırlık verilmiştir. Literatürde sıvılaşma ile ilgili gerek laboratuvar analizleri gerekse saha testleri olan standart penetrasyon testi (SPT), konik penetrasyon testi (CPT) ve kayma dalga hızı (Vs) verileri kullanılarak yapılan pek çok araştırma mevcuttur [1-21]. Bununla birlikte sıvılaşma potansiyeli araştırmalarında ilk olarak Seed ve Idriss [1] tarafından ifade edilen SPT-N ve Vs dalga hızı arasında geliştirilen deneysel bağıntılar yardımıyla da analizler yapılabilmektedir [22-24].

Birçok parametreye bağlı olmakla birlikte Vs, zeminin boşluk oranına, gerilme durumuna, efektif basıncına ve bağıl sıklığına bağlı olarak değişen önemli bir fiziksel parametredir. Ayrıca Vs, depremin yer tepkisi ve yapı-zemin ilişkisi için gerekli olan kayma modülü ile doğrudan ilişkilidir. Vs dalga hızı hem sahada hemde laboratuvarında numuneler üzerinde belirlenebilmesinden dolayı karşılaştırma imkanı olan kolay ve hızlı bir yöntemdir. Özellikle SPT ve CPT ölçümleri yapılamayan ortamlarda da kolaylıkla elde edilebilen Vs verilerine dayalı sıvılaşma analizleri de son yıllarda sıklıkla kullanılmaktadır [25,28,9,10,16-19].



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Bu çalışmada Vs dalga hız değerlerinden yararlanılarak Erciş (Van) yerleşim alanı ve çevresinin sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Erciş yerleşim alanı Van Gölü'nün kuzey kesiminde, gevşek alüvyon üzerinde yer alan düz bir ova

üzerine kurulmuş, Van ilinin nüfusu en fazla olan ilçesidir (Şekil 1). 23 Ekim 2011 Van ($M_w=7.1$) depremi sonrasında can kaybının ve hasarın en fazla olduğu yerleşim birimi olan Erciş yerleşim alanı ve civarı ile Van Gölü doğusunda bir çok alanda sıvılaşma ve yanal yayılma bu deprem sırasında meydana gelmiştir [29-31]. Erciş yerleşim alanı yeraltı suyu seviyesi yüzeye yakın geçirimli birimlerden oluşan Kuvaterner yaşlı göl ve akarsu çökelleri üzerine kuruludur [32,33]. Bununla birlikte Erciş yerleşim alanı ve çevresinde hem tarihsel hemde aletsel dönemde büyük deprem üretmiş Erciş-Kocapınar, Çaldıran ve Van fay zonlarının bulunması bölgenin depremselliğini de ortaya koymaktadır. Bu veriler ışığında, Erciş ve yakın çevresi için olası büyük bir depremde sıvılaşma ve yanal yayılma türü yüzey deformasyonlarının meydana gelmesi kaçınılmazdır.

Kayma dalga hızı (V_s), geleneksel sismik kırılma yönteminin yanı sıra, aktif ve pasif kaynaklı yüzey dalgası yöntemleri kullanılarak her türlü arazi koşulunda ve laboratuvarında hızlı ve kolay bir biçimde ölçülebilmektedir. Bu özellikleri açısından sıvılaşma hesaplamalarında yaygın olarak kullanılan standart penetrasyon testi (SPT) ve konik penetrasyon testi (CPT) gibi sondaj tabanlı yöntemlere üstünlük sağlayan V_s dalga hızları kullanılarak, Erciş yerleşim alanı ve çevresinin üç farklı deprem senaryosu için sıvılaşma analizleri yapılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

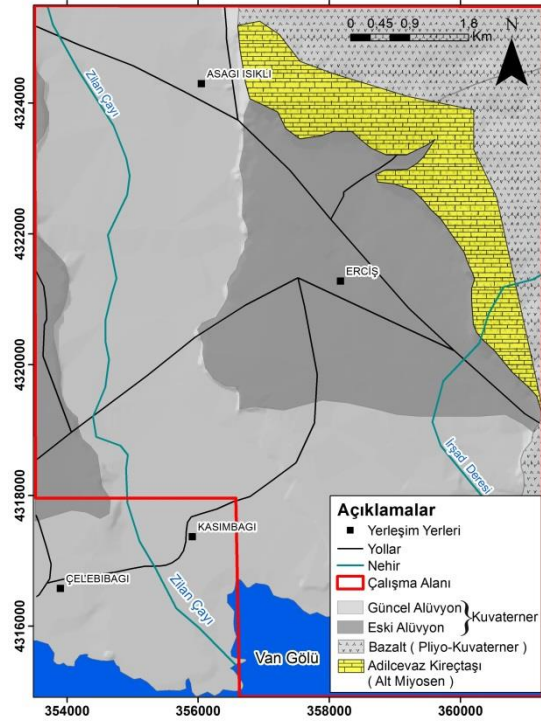
Van Gölü Havzası genel olarak farklı yaşta birçok kaya grubunun yüzeylendiği, Bitlis Masifine ait metamorfik kayalar, Üst Kretase yaşlı ofiyolitler ve Van formasyonu olarak adlandırılan Oligosen-Miyosen yaşlı denizel çökellerden oluşmaktadır [32,34,35] (Şekil 2). Van Gölü havzasının kuzey-kuzeybatı kesimlerinde yer alan ve Miyosen'den günümüze farklı dönemlerde aktivite göstermiş olan Nemrut, Süphan, Etrüsk ve Tendürek volkanlarına ait lavlar ve volkanoklastik ürünler bölgede geniş yayılım sunmaktadır [36-38]. Ayrıca havzada gözlenen bu volkanik birimler üzerine çökelmiş göl ve akarsu ürünleri de yüzeylenmektedir.

Çalışma alanında yaşlıdan gence doğru Alt Miyosen yaşlı kireçtaşları, Pliyosen-Pleyistosen yaşlı volkanikler ile Kuvaterner-Holosen yaşlı alüvyonlar ve eski göl çökelleri bulunmaktadır (Şekil 2). Erciş yerleşim alanı ve çevresinin büyük bir kesimi Holosen yaşlı farklı tane boyutlarında, gevşek, düşük dayanımlı göl ve akarsu çökellerinden oluşmaktadır. Akarsu ve delta çökelleri ise çoğunlukla ince-iri çakıl ve iri kum boyutundaki kırıntılardan oluşmaktadır [32]. Yerleşim alanındaki birimlerin büyük bir çoğunluğunu temsil eden gölsel çökeller Van Gölü seviye değişimlerine bağlı olarak oluşmuştur [39]. Göl çökelleri daha çok ince kum silt boyutundaki malzemeden oluşmakla birlikte, yer yer kısmen derin seviyeleri temsil eden killi tabakalar da içermektedir.

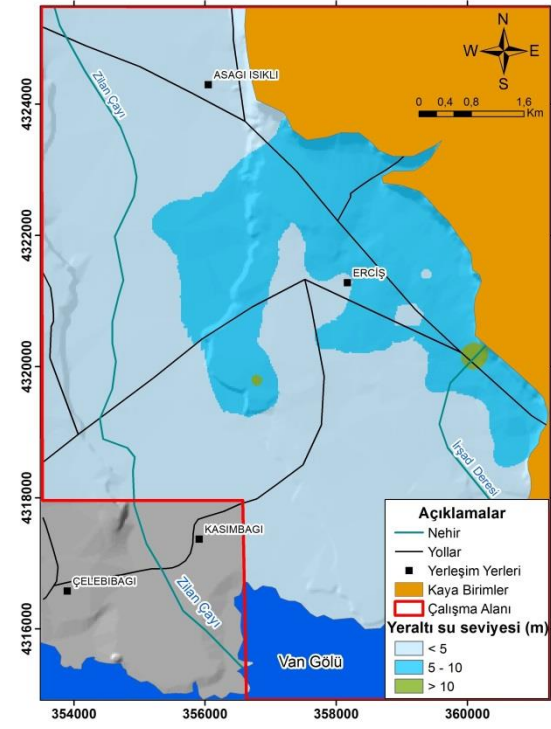
5 m'den daha sığ seviyelerdedir [33,40,41] (Şekil 3).

3. BÖLGENİN TEKTONİK YAPISI VE DEPREMSELLİĞİ

Çarpışma tektoniği sonucu Doğu Anadolu'da kuzey-güney yönlü sıkışmaya bağlı güncel rejim ile birlikte, doğu-batı doğrultulu ters faylar, bindirmeler ve kıvrımlar, kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu sağ yönlü ve kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu sol yönlü doğrultu atımlı faylar ile kuzey-güney doğrultulu normal fay ve açılma çatlakları gelişmiştir [42-46]. Bölgede halen devam eden sismik aktivite tüm bu yapıların etkinliğini ve aktifliğini desteklemektedir.



Şekil 2. Erciş yerleşim alanı ve civarının jeolojisi (MTA [35]'dan değiştirilerek alınmıştır)

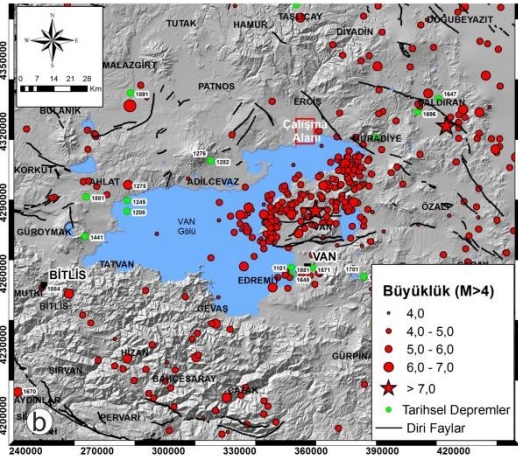
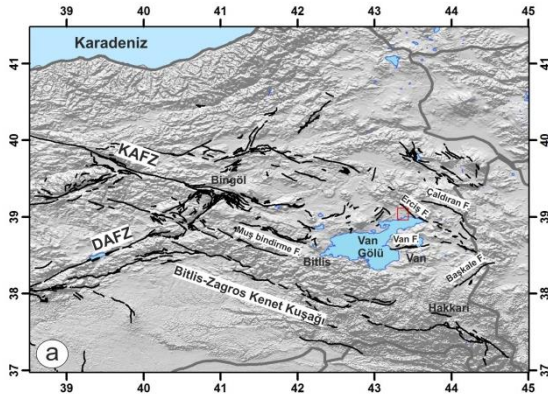


Şekil 3. Çalışma alanının yeraltısuyu seviyesi haritası

İnceleme alanındaki yeraltısuyu seviyesi eski göl çökellerinde genel olarak 5 m'den sonra gözlenirken, Van Gölü kıyı kesimlerinde, güncel alüvyon çökellerde ve Zilan Çayı civarında

Van Gölü ve çevresi büyük deprem üretebilecek farklı nitelikte (doğrultu atımlı, normal ve ters fay) fay sistemlerini içermektedir [46-49]. Bunlar, Çaldıran fay zonu, Erciş-Kocapınar-Muradiye fay

zonu, Bitlis Kenet Kuşağı, Süphan fayı, Malazgirt fayı, Başkale fay zonu, Van fay zonu, Özalp fay zonu, Gevaş fay zonu, Gürpınar fayı, Çakırbey fayı, Alaköy fayı, Everek fayı ve Erçek fayı gibi faylardır [46,50] (Şekil 4). Bunun yanı sıra, son dönemde Van Gölü'nde Paleo Van Projesi kapsamında yapılan derin sismik çalışmalarla ortaya konulan göl içerisindeki faylarda bölgenin önemli tektonik unsurları olarak belirlenmiştir [51-53].



Şekil 4. (a) Çalışma alanı ve çevresindeki önemli tektonik unsurlar (MTA diri fay haritasından değiştirilerek) (b) Van Gölü havzasında aletsel ve tarihsel dönemde (1900-2017) meydana gelen depremler (M>4,0)

Van Gölü havzası ve çevresindeki bu faylar bölgenin tektoniğinin ve depremselliğinin önemini

ortaya koymaktadır. Bölgede hem tarihsel hemde aletsel dönemde önemli depremler meydana gelmiştir. Tarihsel dönemdeki 1646, 1715 Hoşap, 1880 Ahlat depremleri [54] ile aletsel dönemdeki 1903 Malazgirt (Ms 6,3), 1941 Erciş (Ms 5,9), 1945 Van (Ms 5,8), 1966 Varto (Ms 6,8), 1976 Çaldıran (Ms 7,3), 2011 Van (Mw 7,1) ve 2011 Van (Mw 5,6) bölgede meydana gelen önemli depremlerdir [55,56].

Çalışma alanı olan Erciş yerleşim alanı ve çevresi de bu tektonik unsurların etki alanı içerisinde kalmaktadır. Özellikle Erciş-Kocapınar fayı, Çaldıran fayı ve Van fayı inceleme alanını etkileyebilecek önemli fay zonlarıdır. Bu faylar büyük deprem üretme potansiyeline sahip oldukları için çalışma kapsamındaki analizlerde senaryo depremler için kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan deprem verileri için KOERİ [57] ve AFAD [58] deprem kataloglarından faydalanılmıştır.

4. SIVILAŞMA ANALİZLERİ

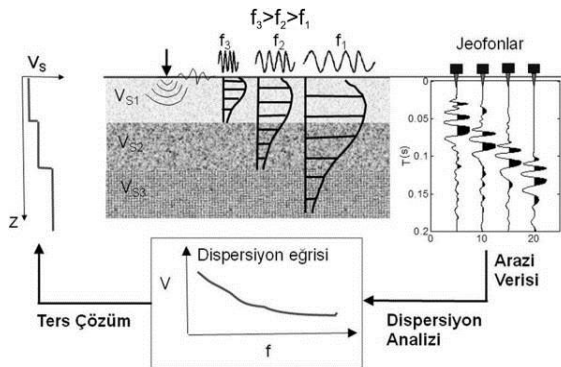
Sivilaşma analizleri gerek laboratuvar verilerinden gerek sondaj tabanlı SPT ve CPT değerlerinden gerekse jeofizik yöntemlerle belirlenen Vs dalga hızları kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Vs dalga hızı her türlü arazi koşulunda ve laboratuvar ortamında uygulanabilir olması nedeniyle sondaj tabanlı yöntemlere üstünlük sağlamaktadır. Bu üstünlük gözetilerek çalışmada Vs tabanlı sivilaşma analizleri gerçekleştirilmiştir.

Vs dalga hızı belirlemede geleneksel kırılma yönteminin yanı sıra yüzey dalgası yöntemleri de son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Sismik yöntemler yüksek doğruluk ve ayırım gücü, araştırma derinliğinin fazla olması gibi nedenlerden dolayı mühendislik çalışmalarında en sık kullanılan jeofizik yöntemlerdendir. Çalışmada kullanılan yüzey dalgalarının çok-kanallı analizi (MASW) yöntemi, aktif kaynak kullanılarak oluşturulan yüzey dalgalarının dispersif özelliğinden yararlanarak yeraltı hakkında bilgi edinmeyi amaçlayan ve sığ derinliklerin araştırılmasında kullanılan bir sismik yöntemdir [59]. Bu yöntem ile zeminin derinliklerine doğru Vs hız yapısı elde edilmektedir. MASW yöntemi

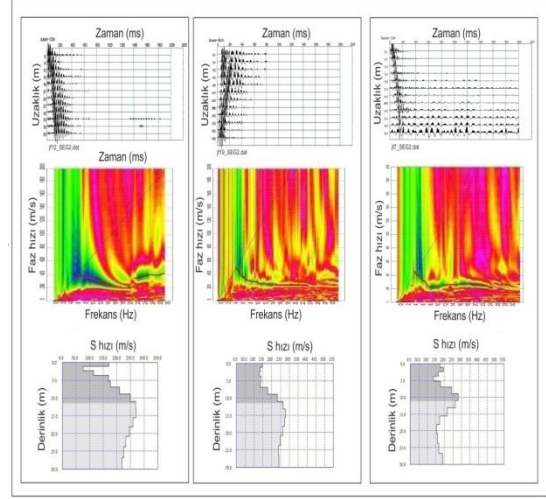
güvenilir sonuçlar üreten, ölçü alımı ve veri-işlem aşaması kolay olan bir sismik yöntemdir. Ölçü alımında ofset mesafesi, jeofon aralığı ve serim boyu parametrelerinin seçimi, yakın ve uzak alan etkilerini, araştırma derinliğini ve dispersiyon eğrisinin elde edilmesinde çözünürlüğü etkileyen temel unsurlardır. Bu nedenle, ölçü alımında ofset ve serim uzunluğu seçimine dikkat edilmesi gerekir [60,61].

MASW yönteminde veri işlemi temel üç adımda gerçekleştirilir. Yapay kaynak ve belirli sayıda alıcılara veri toplama ilk adımdır. İkinci adım arazi verisinden dispersiyon eğrisinin oluşturulmasıdır. Dispersiyon eğrisinin belirlenmesinde farklı sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Frekans-dalga sayısı (f-k) ve kesme zamanı-yavaşlık (τ -p) dönüşümü, faz kayması veya uzaysal özilişki (SPAC) yaygın kullanılan sayısal yöntemlerdir [62,63]. Üçüncü ve son adımı ise dispersiyon eğrisinin ters çözümüyle ortamın S dalga hız yapısının belirlenmesi oluşturur (Şekil 5).

Çalışma alanında ölçü alımında 12 kanallı sismik cihaz ve 4,5 Hz düşey jeofonlar kullanılarak veri toplanmıştır. Sismik dalgaları oluşturmak amacıyla, enerji kaynağı olarak balyoz kullanılmıştır. Jeofon aralıkları 3 m, örnekleme aralığı 1ms, kayıt uzunluğu ise 2s olarak seçilmiştir. Çizelge 1’de çalışma alanında gerçekleştirilen sismik ölçü yerlerine ilişkin bilgiler, Şekil 6’da ise çalışma alanında elde edilen MASW veri örnekleri yer almaktadır.



Şekil 5. MASW yönteminde ölçü alım düzeni ve temel işlem adımları [69]



Şekil 6. Çalışma alanında elde edilen MASW veri örnekleri

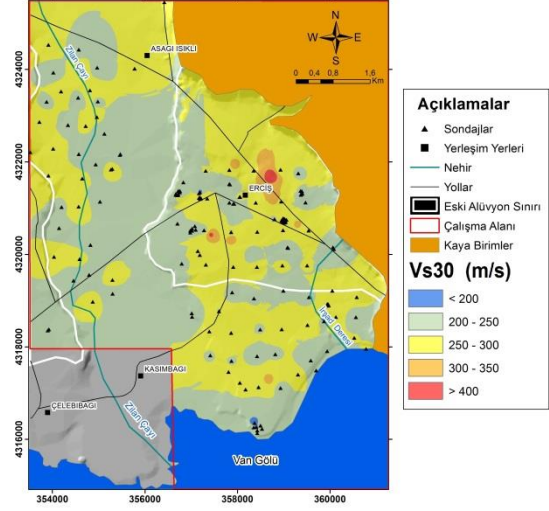
Çizelge 1. Erciş yerleşim alanında yapılan sismik ölçüm noktaları

Ölçüm Noktaları	Koordinat		Ölçüm Noktaları	Koordinat	
	X	Y		X	Y
JF-1	358834	4321780	JF-12	358403	4319327
JF-2	357845	4320814	JF-13	358589	4320226
JF-3	358412	4321020	JF-14	357419	4321976
JF-4	356938	4321736	JF-15	359824	4319987
JF-5	354377	4321624	JF-16	360328	4318263
JF-6	353979	4323405	JF-17	358353	4316416
JF-7	354213	4320100	JF-18	357059	4320320
JF-8	354174	4318355	JF-19	357154	4321295
JF-9	355755	4319970	JF-20	359992	4319155
JF-10	359625	4317561	JF-21	358840	4320901
JF-11	356741	4317401			

V_s tabanlı sıvılaştırma analizi

Sıvılaştırma için temel şartlardan bir tanesi deprem gibi dinamik kuvvetlerin sıvılaştırılabilir zeminlere etki etmesidir. Bu etkide depremi oluşturan faylanma mekanizması, depremin uzaklığı, süresi, periyodu ve ivmesi son derece önemlidir. Dolayısıyla dinamik kuvvetlerle sıvılaştırılabilir zeminlerin incelenmesinde sismik dalgaların özellikle makaslama dalga hızının (V_s) kullanımı kaçınılmazdır. Çünkü birimlerin yaşı, bağıl sıklığı, gerilme durumu, efektif basınç ve zemin boşluk oranı parametreleri V_s hızını etkilenmektedir [25,27,28,9,10,16,17,18,19].

Erciş yerleşim alanının Vs tabanlı sıvılaşma analizleri için 21 noktada sismik kırılma ve yüzey dalgası ölçümleri alınarak Vs hız değişimleri belirlenmiştir (Çizelge 1). Ayrıca, ölçülen Vs hızlarıyla uyumu ve çalışma alanındaki Kuvaterner yaşlı alüvyon birimlerle anlamlı sonuçları vermesi bakımından Akın ve arkadaşları [24] tarafından önerilen SPT-Vs ilişkisi kullanılarak çalışma alanı içindeki 165 sondaj noktası için de Vs hızları hesaplanmıştır (Çizelge 2). Hem sismik verilerden hem de çalışma alanındaki sondaj verilerindeki SPT-Vs ilişkileri kullanılarak elde edilen Vs hızlarından 30 metre derinlik için V_{s30} hızları belirlenerek haritalanmıştır (Şekil 7). İnceleme alanındaki V_{s30} hızları genel olarak güncel çökellerin olduğu alanlarda 200 m/s ile 250 m/s arasında, eski göl çökellerinin olduğu alanlarda ise 250 m/s ile 300 m/s arasında değişmektedir.



Şekil 7. İnceleme alanının V_{s30} hız dağılım haritası

Çizelge 2. Erciş yerleşim alanında yapılan ve SPT-Vs ilişkileriyle V_{s30} hızlarını belirlemek için kullanılan sondaj noktaları

Sondaj No	Enlem	Boylam	Vs30	Sondaj No	Enlem	Boylam	Vs30	Sondaj No	Enlem	Boylam	Vs30	Sondaj No	Enlem	Boylam	Vs30	Sondaj No	Enlem	Boylam	Vs30
ES-1	357838	4321511	248	ES-34	358058	4321236	274	ES-67	355779	4324017	275	ES-100	353523	4322211	268	ES-133	358427	4320486	289
ES-2	357826	4321522	252	ES-35	358047	4321239	271	ES-68	356419	4325453	269	ES-101	353914	4321701	278	ES-134	357865	4320478	260
ES-3	358992	4320777	267	ES-36	356669	4321287	268	ES-69	357014	4318726	263	ES-102	354647	4321637	273	ES-135	357278	4320522	235
ES-4	359014	4320764	266	ES-37	356688	4321280	270	ES-70	353901	4318353	265	ES-103	354937	4321945	256	ES-136	356704	4320663	260
ES-5	359029	4320754	263	ES-38	356714	4321278	273	ES-71	353925	4318379	267	ES-104	355029	4321138	248	ES-137	356795	4319798	259
ES-6	359059	4320749	262	ES-39	356723	4321301	263	ES-72	357191	4321344	189	ES-105	354567	4321032	291	ES-138	357317	4319777	269
ES-7	358954	4320732	280	ES-40	356667	4321305	264	ES-73	357170	4321320	263	ES-106	354200	4321020	264	ES-139	357912	4319726	289
ES-8	358967	4320752	279	ES-41	356718	4321362	263	ES-74	359374	4321294	276	ES-107	354147	4320567	256	ES-140	358420	4319727	274
ES-9	358985	4320775	291	ES-42	356756	4321341	266	ES-75	358801	4320760	252	ES-108	354824	4320202	258	ES-141	358970	4319757	272
ES-10	358969	4320717	270	ES-43	356757	4321372	265	ES-76	358178	4317074	273	ES-109	354589	4319896	278	ES-142	359508	4319756	272
ES-11	358985	4320738	282	ES-44	356721	4321371	272	ES-77	358051	4317219	272	ES-110	354037	4319947	281	ES-143	357019	4318647	232
ES-12	359003	4320760	299	ES-45	359941	4318919	280	ES-78	357808	4317454	273	ES-111	354458	4319433	258	ES-144	360580	4319072	276
ES-13	358992	4320702	285	ES-46	359946	4318889	286	ES-79	359702	4317488	258	ES-112	354874	4318973	282	ES-145	360051	4319213	275
ES-14	359006	4320722	296	ES-47	359972	4318891	286	ES-80	359940	4317906	257	ES-113	355303	4319146	239	ES-146	359545	4319074	254
ES-15	359018	4320747	276	ES-48	359957	4318926	279	ES-81	360781	4317956	269	ES-114	355300	4319447	288	ES-147	358993	4319210	263
ES-16	359009	4320692	294	ES-49	357169	4321219	298	ES-82	359872	4318550	264	ES-115	354962	4322970	272	ES-148	358356	4319044	266
ES-17	359021	4320713	278	ES-50	357201	4321200	298	ES-83	360527	4318194	269	ES-116	354796	4319557	246	ES-149	357885	4319174	247
ES-18	359036	4320737	275	ES-51	357211	4321216	298	ES-84	353917	4324531	279	ES-117	356980	4320512	266	ES-150	357603	4318769	262
ES-19	359025	4320683	291	ES-52	357178	4321232	298	ES-85	354573	4324427	259	ES-118	356980	4320471	266	ES-151	357392	4318330	278
ES-20	359042	4320703	275	ES-53	357192	4321214	298	ES-86	354969	4324036	250	ES-119	357015	4320509	272	ES-152	357865	4318298	271
ES-21	357020	4320555	264	ES-54	358372	4316353	201	ES-87	354670	4323997	285	ES-120	359316	4321752	255	ES-153	358492	4318374	266
ES-22	357099	4320532	263	ES-55	358409	4316261	201	ES-88	354023	4323932	259	ES-121	358931	4321831	267	ES-154	358956	4318376	289
ES-23	357079	4320608	247	ES-56	358498	4316294	262	ES-89	354190	4323523	279	ES-122	358350	4321809	303	ES-155	359515	4318468	270
ES-24	359376	4321288	257	ES-57	358429	4316189	266	ES-90	354812	4323548	287	ES-123	357826	4321823	264	ES-156	360127	4318645	269
ES-25	359406	4321313	259	ES-58	358532	4316223	270	ES-91	354983	4323306	266	ES-124	357315	4321804	270	ES-157	360560	4318641	254
ES-26	357928	4321091	261	ES-59	358430	4316130	271	ES-92	354559	4323387	259	ES-125	356833	4321555	254	ES-158	359586	4317703	253
ES-27	357910	4321092	243	ES-60	358354	4316255	276	ES-93	353875	4323299	264	ES-126	357348	4321207	267	ES-159	358818	4317838	264
ES-28	359096	4320136	246	ES-61	357188	4319984	273	ES-94	353719	4322862	281	ES-127	357827	4321115	266	ES-160	358426	4317796	248
ES-29	359082	4320147	252	ES-62	357145	4320071	275	ES-95	354339	4322794	259	ES-128	358396	4321116	281	ES-161	357871	4317693	265
ES-30	355460	4322150	254	ES-63	355267	4321835	272	ES-96	354721	4322775	274	ES-129	358946	4321140	274	ES-162	357414	4317813	265
ES-31	355468	4322168	252	ES-64	355297	4321846	278	ES-97	355126	4322607	251	ES-130	359472	4321121	252	ES-163	358457	4317124	267
ES-32	360084	4320111	264	ES-65	359367	4321371	267	ES-98	354573	4322167	262	ES-131	359538	4320512	282	ES-164	358931	4317107	254
ES-33	360064	4320151	244	ES-66	359394	4321364	268	ES-99	354018	4322284	280	ES-132	358984	4320520	272	ES-165	359309	4317398	275

Sıvılaşma analizleri için Vs dalga hızlarının kullanımını amaçlayan bu çalışmada, Seed ve Idriss [1] tarafından genel ifadesi verilen ve Idriss ve Boulanger [14] tarafından yeniden düzenlenen güvenlik faktörü analizleri kullanılmıştır. Ayrıca, Uyanık ve Taktak [18] tarafından önerilen ve Seed ve Idriss [1]'den farklı olarak depremin etkin

periyodunun ve Vs hızının kullanıldığı tekrarlı gerilim oranı kullanılmıştır.

Hem SPT hem de Vs tabanlı sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde güvenlik faktörü kullanılmaktadır. Sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörü Devrimsel Dayanım Oranının (CRR, DDO),

Devirsel Gerilme Oranı (CSR, DGO) ile oranlanması sonucu belirlenmektedir.

Bu çalışmada, V_s tabanlı sıvılaşma analizlerinde Uyanık [17] ve Uyanık ve Taktak [18] çalışmalarında önerilen Kayma Gerilme Oranı (KGO) ve Kayma Direnç Oranı (KDO) terimleri kullanılmıştır. Uyanık [17] çalışmasında KGO ile CSR arasında doğrusal bir ilişki olduğunu ifade etmiştir.

$$FS_{V_s} = \frac{CRR_{V_s}}{CSR_{V_s}} = \frac{KDO}{KGO} \quad (1)$$

Eşitlikten elde edilen sonuçlara göre; $FS \leq 1$ ise sıvılaşma gözlenir, $1 < FS \leq 1.2$ ise potansiyel sıvılaşma ve $FS > 1.2$ ise sıvılaşmaz olarak yorumlanır [64,14].

Kayma Direnç Oranı (KDO), fiziksel olarak zeminin doğal direncidir ve V_s hızlarının fonksiyonu olarak sıvılaşma durumunun belirlenmesinde kullanılır [9,10,65,17,18].

$$KDO = \left[a \left(\frac{V_{s_c}}{100} \right)^2 + b \left(\frac{1}{V_{s_{max}} - V_{s_c}} - \frac{1}{V_{s_{max}}} \right) \right] MSF \quad (2)$$

bu ifadede; V_{s_c} düzeltilmiş V_s hızı, $V_{s_{max}}$, sıvılaşmanın oluşabileceği düzeltilmiş V_s üst sınırı, a ve b regresyon parametreleri, MSF ise deprem büyüklüğü etki faktörüdür.

Youd ve arkadaşları [73] ve Andrus ve Stokoe [10] 2 eşitlikteki regresyon parametreleri için $a=0,022$, $b=2,8$ katsayılarını ve $V_{s_{max}} = 215$ m/s üst sınır değerini önerirken, Uyanık [16,17] çalışmalarında bu değerleri $a = 0,025$, $b=4$ ve $V_{s_{max}} = 250$ m/s olarak önermiştir. Ayrıca, Uyanık ve Taktak [18] çalışmasında $V_{s_{max}}$ değerinin zemin incelik içeriğine göre 220 ile 250 m/s arasında değişeceğini ifade etmiştir.

Magnitüd skala faktörü için,

$$MSF = \left(\frac{M_w}{7,5} \right)^n \quad (n = -2,56 \quad Mw > 7,5 \quad \text{ve} \quad (3) \\ n = -3,3 \quad Mw \leq 7,5)$$

bağıntısı kullanılmaktadır [65]. Burada; M_w moment büyüklüğünü, n ise üstel sabiti temsil etmektedir. 3 ifadesindeki üstel sabit değerleri Andrus ve Stokoe [9,10] tarafından önerilmiştir.

KDO hesaplamasında kullanılan V_{s_c} düzeltilmiş kayma dalga hızı

$$V_{s_c} = V_s \left(\frac{Pa}{\sigma'_{v_0}} \right)^{0,25}$$

ile ifade edilir [9,10,17,19]. Burada; V_{s_c} efektif gerilme ile düzeltilmiş V_s 'i (m/s); Pa atmosferik basıncı (100 kPa), σ'_{v_0} ise efektif düşey gerilmeyi (kPa) ifade etmektedir.

Kayma Gerilme Oranı (KGO), Seed ve Idriss [1] tarafından önerilen Devirsel Gerilme Oranı (CSR) ifadesine benzer olarak V_s kullanılarak tanımlanmaktadır. KGO, dinamik düşey gerilme ve efektif gerilmeden yararlanarak depremin zeminde oluşturacağı tekrarlı gerilmelerin belirlenmesinde kullanılır [16,17,19].

$$KGO = \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_{vs}}{\sigma'_{vs}} \right) r_d \quad (4)$$

$$\sigma_{vs} = 0,25 T \sum_{i=1}^n \gamma_i V_{s_i}$$

$$\sigma'_{vs} = \sigma_{vs} - u = 0,25 T \left(\sum_{i=1}^n \gamma_i V_{s_i} - V_{s_n} (\gamma_{sa} - \gamma_d) \right)$$

$$r_d = 1 - 0,00765 z \quad z \leq 9,15 \text{ m}$$

$$r_d = 1,174 - 0,0267 z \quad 9,15 < z \leq 23 \text{ m}$$

$$r_d = 0,744 - 0,008 z \quad 23 < z \leq 30 \text{ m}$$

burada; a_{max} maksimum ivme (g), g yerçekimi ivmesi, σ_{vs} incelenen tabaka derinliğindeki toplam düşey gerilme (kN/m^2), σ'_{vs} efektif gerilme (kN/m^2), r_d ise kayma gerilmesi azaltma katsayısı, T deprem periyodu (s), γ birim hacim ağırlık (gr/cm^3), γ_{sa} suya doymun birim hacim ağırlık (gr/cm^3), n sıvılaşabilir tabaka sayısı, z ise araştırma derinliğidir [19].

5. ÇALIŞMA ALANIN SIVILAŞMA DEĞERLENDİRMESİ

Sismik ölçümlerden elde edilen V_s hızının hassasiyeti, en büyük yer ivmesinin iyi belirlenmesi, zeminin özellikleri ve deprem büyüklüğü gibi parametreler V_s tabanlı güvenlik faktörü sivilaşma analizlerinin doğruluğunu kontrol etmektedir. Bu önemli parametreler sivilaşma analizinin doğruluğunu ve hesaplamaların hassasiyetini de doğrudan etkilemektedir.

Sivilaşmaya neden olabilecek ve zemine etkileyen dinamik kuvvet deprem kuvvetidir. Dolayısıyla, depremin zeminde oluşturacağı kayma gerilme oranının belirlenmesinde V_s , depremin periyodu ve ivmesi daha fazla etkilidir. Bundan dolayı çalışmada sivilaşma analizlerinde kullanılan senaryo depremler için bölgede hem aletsel hem de tarihsel dönemde büyük depremler üretmiş olan ve ileriki tarihlerde de benzer büyüklüklerde depremleri oluşturma potansiyeline sahip olan diri faylardan Erciş-Kocapınar, Çaldıran ve Van faylarında meydana gelmiş en büyük depremler kullanılmıştır. Bu analizler neticesinde çalışma alanını etkileyebilecek bu üç diri fay için büyüklük (M), uzaklık (R) ve ivme hesaplamaları yapılmıştır (Çizelge 3). Çalışma alanı ve çevresindeki depremler KOERI deprem verileri kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışma alanını etkileyebilecek 3 diri fayda meydana gelmiş en büyük depremler belirlendikten sonra Kadıroğlu ve Kartal [66] tarafından önerilen büyüklük dönüşüm bağıntıları kullanılarak her bir deprem moment büyüklüğü (M_w) cinsinden ifade edilmiştir (Çizelge 3). Analizler sonucu elde edilen büyüklük ve uzaklık parametreleri kullanılarak Graizer and Kalkan [67] tarafından önerilen "Ground motion prediction model" ile ivme hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen bu veriler V_s tabanlı sivilaşma analizlerinde senaryo depremler olarak kullanılmıştır.

Hesaplanan kayma dalga hızına bağlı V_{s30} dağılımı ve V_s hızlarına bağlı olarak elde edilen güvenlik faktörü sivilaşma potansiyeli haritaları ArcMap10

Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımı ile oluşturulmuştur. Haritaların CBS tabanlı ArcMap 10 yazılımında hazırlanması sırasında "Inverse Distance Weighting" istatistiksel yönteminden faydalanılmıştır.

Çizelge 3. Çalışma alanı çevresinde sivilaşma oluşturabilecek diri faylar ve sivilaşma analizlerinde kullanılan senaryo deprem parametreleri

	Oluş Tarihi	M_s	M_w	R (km)	a_{max} (g)
Erciş Fayı	1941	5,9	6	11	0,53
Çaldıran Fayı	1976	7,3	7,1	32	0,28
Van Fayı	2011	-	7,1	38	0,29

V_s , zemin türü, yeraltısuyu ve deprem senaryoları kullanılarak inceleme alanında ilk 20 m'deki birimler sivilaşma potansiyeli açısından değerlendirilmiştir. V_s tabanlı hazırlanan sivilaşma potansiyeli haritalarında (Şekil 8a, b ve c) görüldüğü gibi Erciş'in batı kesimlerindeki güncel alüvyonlarda, Zilan Çayı ve İrşat Deresi ile Van Gölü'nün kıyı kesimlerinde her üç deprem senaryosunda da sivilaşma potansiyeli yüksek olarak belirlenmiştir. İnceleme alanının doğu ve kuzey kesimlerinde ise sivilaşma potansiyelinin düşük olduğu ortaya konmuştur (Şekil 8a,b ve c).

Ayrıca, çalışma alanında sismik ölçümler ve sondaj verileri (SPT- V_s ilişkisi ile) kullanılarak elde edilen V_s hızlarının yaklaşık kuzey-güney ve doğu-batı doğrultulu derinlik değişimini gösteren kesitleri incelendiğinde (Şekil 9), Erciş yerleşim alanı ve civarında, yer yer değişkenlik göstermekle beraber yüzeyden itibaren yaklaşık 1 ila 5 m aralığında düşük V_s hız değerlerinin (< 200 m/s) olduğu belirlenmiştir. Bu değerler ile V_s tabanlı sivilaşma sonuçları karşılaştırıldığında özellikle yüzeye yakın kesimlerde elde edilen düşük hızlı ($V_s < 200$ m/s) seviyelerin yüksek sivilaşma potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.

özellikle Erciş-Patnos yolundan Van Gölü'ne yaklaştıkça ve akarsulara yakın bölgelerde sıvılaşma türü yüzey deformasyonlarının meydana gelebileceği söylenebilir. Özellikle 1976'da 7.3 ve 1941'de 5.9 büyüklüğündeki deprem ile hareket eden Çaldıran fayı ve Erciş-Kocapınar fayı üzerindeki gerilmenin arttığı düşünüldüğünde bölgedeki yıkıcı deprem riskinin yaklaştığı söylenebilir.

2011 Van depremleri sonrasında çalışma alanının doğusunda yeralan bazalt birimler üzerine konutlar inşa edilmiştir. Bununla birlikte, ova içerisinde depremler sonrası hasar görmüş yapıların yerine yenileri inşa edilmiştir. Bu yapılarda olası büyük depremlerde sıvılaşmaya bağlı hasarların oluşabileceği göz önünde tutulmalıdır. Bu araştırmanın bölgesel kapsamlı bir çalışma olduğu düşünülerek, Erciş'te yeni yapılacak yapılara yönelik zemin araştırmalarında sıvılaşma potansiyeli detaylı olarak değerlendirilmeli ve sıvılaşma potansiyelinin bulunduğu alanlarda zemin iyileştirme çalışmaları uygulanmalıdır.

7. KATKI BELİRTME

Bu çalışma, 2014-HIZ-MİM167 ve 2015-FBE-YL271 numaralı projeler ile Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından desteklenmiştir.

8. KAYNAKLAR

1. Seed, H.B., Idriss, I.M., 1971. Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 97,1249-1273.
2. Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe., S., Yasuda, S., Sato, H., 1982. Microzonation for Soil Liquefaction Potential using Simplified Methods. *Proceedings of the 3rd international conference on microzonation*, Seattle, 3, 1310–1330.
3. Dobry, R., Ladd, R.S., Yokel, F.Y., Chung, R.M., Powell, D., 1982. Prediction of Pore Water Pressure Buildup and Liquefaction of Sands During Earthquakes by the Cyclic Strain Method. *NBS Building Science Series* 138, National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD, 152.
4. Tokimatsu, K., Yoshimi, Y., 1983. Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT N-Value and Fine Content, *Soils and Foundations*, 23,4, 56-74.
5. Seed, H.B., Tokimatsu, L.F., Harder, L.F., Chung, R. M., 1985. Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations, *J. Geotech. Eng.-ASCE*, 111, 1425–1445.
6. Kramer, S.L., 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics.
7. Ishihara, K., 1996. *Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics*. The Oxford Engineering Science Series, Oxford.
8. Robertson, P.K., Wride, C.E., 1998. Evaluating Cyclic Liquefaction Potential using the Cone Penetration Test. *Can Geotech J.*, 35, 3, 442–459.
9. Andrus, R.D., Stokoe II, K.H., 1997. Liquefaction Resistance Based on Shear Wave Velocity. *NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*, Technical Report NCEER-97-0022, T.L.Youd and I.M. Idriss, (Eds.), Held (1996), Salt Lake City, UT, Buffalo, NY, 89-128.
10. Andrus, R.D., Stokoe II, K.H., 2000. Liquefaction Resistance of Soils from Shear-Wave Velocity. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, (ASCE) 126, 1015-1025.
11. Cetin, K.O., Seed, R.B., Der Kiureghian, A., Tokimatsu, K., Harder, L.F., Kayen, R.E., Moss, R.E.S., 2004. Standard Penetration Test-Based Probabilistic and Deterministic Assessment of Seismic Soil Liquefaction Potential, *J. Geotechnical and Geoenvironmental Eng.*, ASCE 130(12), 1314–340.
12. Sönmez, H., Gökçeoğlu, C., 2005. A Liquefaction Severity Index Suggested for Engineering Practice. *Environmental Geology*, 48, 81–91.
13. Idriss I.M., Boulanger, R.W., 2006. Semi-Empirical Procedures for Evaluating Liquefaction Potential During Earthquakes.

- Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 26, 115-130.
14. Idriss, I.M., Boulanger, R.W., 2008. Soil Liquefaction During Earthquakes. Monograph MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, 261.
 15. Idriss, I.M., Boulanger, R.W., 2010. SPT-Based Liquefaction Triggering Procedures, Report No. UCD/CGM-10/02, Department of Civil & Environmental Engineering College of Engineering University of California, 259.
 16. Uyanık, O., 2002. Kayma Dalga Hızına Bağlı Potansiyel Sıvılaşma Analiz Yöntemi, Doktora Tezi, DEÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 200.
 17. Uyanık, O., 2006. Sıvılaşır yada Sıvılaşmaz Zeminlerin Yinelemeli Gerilme Oranına Bir Seçenek, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 8, 2, 79-91.
 18. Uyanık, O., Taktak, A.G., 2009. Kayma Dalga Hızı ve Etkin Titreşim Periyodundan Sıvılaşma Çözümlemesi için Yeni Bir Yöntem, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13,1, 74-81.
 19. Uyanık, O., İkinci, B., Uyanık, N.A., 2013. Liquefaction Analysis from Seismic Velocities and Determination of Lagoon Limits Kumluca/Antalya Example, Journal of Applied Geophysics, 95, 90-103.
 20. Duman, E.S., İkizler, S.B., 2014. Assessment of Liquefaction Potential of Erzincan Province and its Vicinity, Turkey, Nat Hazards, 73, 1863-1887.
 21. Pekkan, E., Tun, M., Guney, Y., Mutlu, S., 2015. Integrated Seismic Risk Analysis using Simple Weighting Method: the Case of Residential Eskişehir, Turkey, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 15, 1123-1133.
 22. Hasançebi, N., Ulusay, R., 2007. Empirical Correlations Between Shear Wave Velocity and Penetration Resistance for Ground Shaking Assessments. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 66, 203-213.
 23. Dikmen, U., 2009. Statistical Correlations of Shear Wave Velocity and Penetration Resistance for Soils. Journal of Geophysics and Engineering, 6, 61-72.
 24. Akin, K.M., Kramer, S.L., Topal, T., 2011. Empirical Correlations of Shear Wave Velocity (Vs) and Penetration Resistance (SPT-N) for Different Soils in an Earthquake-prone area (Erbaa-Turkey). Eng. Geol., 119,(1-2),1-17.
 25. Dobry, R., Powell, D.J., Yokel, F.Y., Ladd, R.S., 1981a. Geotechnical Aspect. Liquefaction Potential of Saturated Sand – The Stiffness Method. Proceeding of the Seventh World Conference on Earthquake Engineering Istanbul, Turkey.
 26. Dobry, R., Stokoe, K.H.II, Ladd, R.S., Youd, T.L., 1981b. Liquefaction Susceptibility from S-Wave Velocity. Proceedings, In Situ Tests to Evaluate Liquefaction Susceptibility, ASCE National Convention, held 1981, St. Louis, MO.
 27. Seed, H.B., Idriss, I.M., Arango, I., 1983. Evaluation of Liquefaction Potential, using Field Performance Data, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 109, 458-482.
 28. Tokimatsu, K., Uchida, A., 1990. Correlation between Liquefaction Resistance and Shear Wave Velocity, Soils And Foundations, 30, 2, 33-42.
 29. Akin, M., Özvan, A., Akin, M., Topal, T., 2013. Evaluation of Liquefaction in Karasu River Floodplain after the October 23, 2011, Van (Turkey) Earthquake. Natural Hazards, 69, 1551-1575.
 30. Aydan, Ö., Ulusay, R., Kumsar, H., Konagai, K., 2012. Site Investigation and Engineering Evaluation of the Van Earthquakes of October 23 and November 9, 2011. Japan Society of Civil Engineers. Technical Report, 143.
 31. Aydan, Ö., Ulusay, R., Kumsar, H., 2013. Seismic, Ground Motion and Geotechnical Characteristics of the 2011 Van-Erciş, and Van-Edremit Earthquakes of Turkey, and Assessment of Geotechnical Damages. Bulletin of Engineering Geology and Environment.
 32. Acarlar, M., Bilgin, A.Z., Elibol, E., Erkan, T., Gedik, İ., Guner, E., Hakyemez, Y., Şen, A.M., Uğuz, M.F., Umut, M., 1991. Van Gölü Doğusu ve Kuzeyinin Jeolojisi, MTA Rapor No. 9469, Ankara, 94 (yayımlanmamış).
 33. Özvan, A., Şengül, M.A., Tapan, M., 2008. Van Gölü Havzası Neojen Çökellerinin Jeoteknik Özelliklerine Bir Bakış: Erciş Yerleşkesi. Geosound, 52, 297-310.

34. Yılmaz, Y., Dilek, Y., Işık, H., 1981. Gevaş (Van) Ofiyolitinin Jeolojisi ve Sinkinematik bir Makaslama Zonu. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 24: 37-44.
35. MTA, 2007. Van İlinin Yer Bilim Verileri, Ankara.
36. Özdemir, Y., Güleç, N., 2014. Geological and Geochemical Evolution of the Quaternary Süphan Stratovolcano, Eastern Anatolia, Turkey: Evidence for the Lithosphere-Asthenosphere Interaction in Postcollisional Volcanism. *J Petrol*, 55,37–62
37. Özdemir, Y., Akkaya, İ., Oyan, V., Kelfoun, K., 2016. A Debris Avalanche at Süphan Stratovolcano (Turkey) and Implications for Hazard Evaluation. *Bulletin of Volcanology*, 78(9).
38. Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V.A., Chugaev, A.V., Sharkov, E.V., 2016. Magmatic evolution of the Early Pliocene Etrüsk stratovolcano, Eastern Anatolia collision zone, Turkey. *Lithos*, 256-257, 88-108.
39. Degens, E.T., Wong, H.K., Kempe, S., Kurtmann, F., 1984. A Geological Study of Lake Van, Eastern Turkey. *Geol. Rundsch*, 73, 2, 701-734.
40. Akın, M., Akın, M.K., Akkaya, İ., Özvan, A., Şengül, M.A., 2015a. Erciş (Van) Yerleşim Alanındaki Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi, No: 2014-HİZ-MİM167 Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı, 46.
41. Akın, M., Akın, M.K., Akkaya, İ., Özvan, A., Şengül, M.A., 2015b. Erciş (Van) Yerleşim Alanındaki Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, 3-5 Eylül 2015, KTÜ, Trabzon. 208-215.
42. Şengör, A.M.C., Kidd, W.S.F., 1979. Post-Collisional Tectonics of the Turkish–Iranian Plateau and a Comparison with Tibet; *Tectonophys.* 55, 361–376.
43. Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan Evolution of Turkey: a Plate Tectonic Approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
44. Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., 1986. Doğu Anadolu’da Neotektonik Dönemdeki Jeolojik Evrim ve Havza Modelleri. *MTA Dergisi*, 107, 73-94.
45. Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey-a Synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3–30.
46. Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., Kuloshvili, S., 2001. Neotectonics of East Anotolian Plateau Transition From Thrusting to Strike-Slip Faulting. *Geodinamica Acta*, 14, 177-195.
47. Örçen, S., Tolluoğlu, A.Ü., Köse, O., Yakupoğlu, T., Çiftçi, Y., Işık, A., Selçuk, L., Üner, S., Özkaymak, Ç., Akkaya, İ., Özvan, A., Sağlam, A., Baykal, M., Özdemir, Y., Üner, T., Karaoğlu, Ö., Yeşilova, Ç., Oyan, V., 2004. Van Şehri Kentleşme Alanında Yüzeyleyen Pliyo-Kuvaterenr Çökellerinde Sedimentolojik Özelliklerin ve Aktif Tektonizmanın Depremselliğe Yönelik İncelenmesi. TÜBİTAK Proje Raporu, Proje No. YDABAG 101Y100 (VAP 10).
48. Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Bozkurt, E., Dirik, K., Topal, T., Alan, H., Çağlan, D., 2011. 23 Ekim 2011 Tabanlı- Van Depreminin Sismik Jeomorfolojisi ve Doğu Anadolu’daki Aktif Tektonik Yapılarla İlişkisi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 35,2, 175–199.
49. Akkaya, İ., Özvan, A., Tapan, M., Şengül, M. A., 2015. Determining the Site Effects of 23 October 2011 Earthquake (Van Province, Turkey) on the Rural Areas using HVSR Microtremor Method. *Journal of Earth System Science*, 124,7, 1429-1443.
50. Selçuk, A.S., 2016. Evaluation of the Relative Tectonic Activity in the Eastern Lake Van Basin, East Turkey. *Geomorphology*, 270, 9-21.
51. Litt, T., Krastel, S., Sturm, M., Kipfer, R., Orcen, S., Heumann, G., Franz, S.O., Ulgen, U.B., Niessen, F., 2009. ‘PALEOVAN’, International Continental Scientific Drilling Program (ICDP): Site Survey Results and Perspectives. *Quat Sci Rev* 28:1555–1567 MTA 2007 Van İlinin Yer Bilim Verileri, Ankara.
52. Cukur, D., Krastel, S., Demirel-Schlüter, F., Demirbağ, E., İmren, C., Niessen, F., Toker, M., PaleoVan-Working Group. 2013. Sedimentary Evolution of Lake Van (Eastern Turkey) Reconstructed from High Resolution Seismic Investigations. *International Journal of*

- Earth Sciences (Geologische Rundschau), 102(2), 571-585.
53. Cukur, D., Krastel, S., Schmincke, H-U., Sumita, M., Çağatay, M.N., Meydan, A.F., Damcı, E., Stockhecke, M., 2014. Seismic Stratigraphy of Lake Van, Eastern Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 104, 63-84.
54. Ambraseys, N.N., Finkel, C., 1995. The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas 1500-1800. Eren Publishers, Istanbul.
55. Utkucu, M., 2013. 23 October 2011 Van, Eastern Anatolia, Earthquake (MW 7.1) and Seismotectonics of Lake Van area. *Journal of Seismology* 17, 783-805.
56. Koçyiğit, A., 2013. New Field and Seismic Data About the Intraplate Strike-slip Deformation in Van Region, East Anatolian Plateau, E. Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 62, 586-605.
57. KOERI (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü), <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/tr/>
58. AFAD, Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı İnternet Sitesi; <https://www.afad.gov.tr/>
59. Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J., 1999. Multichannel Analysis of Surface Waves, *Geophysics*, 64,3, 800-808.
60. Dikmen, Ü., Arısoy, M. Ö., Akkaya, İ., 2010a. Offset and Linear Spread Geometry in MASW Method, *Journal of Geophysical and Engineering*, 7, 211-222.
61. Dikmen, Ü., Başokur, A.T., Akkaya, İ., Arısoy, M.Ö. 2010b. Yüzey Dalgalarının Çok-kanallı Analizi Yönteminde Uygun Atış Mesafesinin Seçimi, *Yerbilimleri*, 31,1, 23-32.
62. Foti, S., 2000. Multistation Methods for Geotechnical Characterization using Surface Waves, Ph.D. Diss., Politecnico di Torino, 230 p., Milano.
63. Okada, H., 2003. The Microtremor Survey Method, *Geophysical Monograph Series no. 12*, SEG, Tulsa.
64. Seed, H.B., Idriss, I.M., 1982. Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes. Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California.
65. Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J. T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder Jr, L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcusan III, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B., Stokoe II, K.H., 2001. Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 127, 10.
66. Kadirioğlu, F.T., Kartal, R.F., 2016. The New Empirical Magnitude Conversion Relations using an Improved Earthquake Catalogue for Turkey and its Near Vicinity (1900-2012). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 25,300-310.
67. Graizer, V., Kalkan, E., 2015. Update of the Graizer-Kalkan Ground-Motion Prediction Equations for Shallow Crustal Continental Earthquakes, USGS Open-File Report, 1009, 79.

Kent Geometrisine Bağlı Olarak Kentsel Isı Adası Etkisinin Belirlenmesi: Konya Örneği

Fatih CANAN*¹

¹Selçuk Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Konya

Geliş tarihi: 08.06.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Öz

Kentsel ısı adası etkisi, kentlerin yapısal yoğunluklarının artması sonucu gözlemlenen olumsuz bir mikroklimatik koşuldur. Çalışmada Konya kenti bağlamında seçilen 4 bölgede, kentsel dokuların geometrik oluşumuna bağlı olarak maksimum kentsel ısı adası etkileri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, maksimum ısı adası etkisinin, gökyüzü açıklıkların düşük olduğu yoğun kentsel alanlarda yüksek değerlerde olabileceği belirlenmiştir. Gökyüzü açıklık değerleriyle ısı adası etkisi arasında ters orantı söz konusudur. Konya kenti için az yoğun yerleşim alanlarının (yüksek SVF değerleri) planlanması daha uygun bir yaklaşım olabileceği sonucuna varılmıştır. Bu durumda, yaz dönemlerinde kent ortamında gece oluşan ısı adası etkisinin azaltılmasının ve kışın da binaların az yoğun yapılaşmaya bağlı olarak güneşten pasif olarak yararlanabilmelerinin mümkün olabileceği belirtilmiştir. Son olarak ülkemiz koşullarında planlama ve tasarım aşamalarında yapılaşma yoğunlukları belirlenirken SVF parametresinin bir girdi olarak değerlendirilmesinin gerekliliğine vurgu yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kentsel ısı adası, Kent geometrisi, Gökyüzü açıklığı, Kentsel planlama, Mimari tasarım

Determination of the Urban Heat Island Effect Related to Urban Geometry the Example of Konya

Abstract

Urban heat island effect is a negative microclimatic condition observed as a result of the increasing of the cities density. In this study, the maximum urban heat island effects were determined according to the geometric formation of urban fabric of 4 areas selected in the context of Konya city. According to the obtained results, it was determined that maximum urban heat island effect has high intensity in dense urban areas where the sky opening values are low. There is an inverse relationship between sky opening values and heat island effect. It was concluded that planning urban areas with low density (high SVF values) for Konya city would be a more appropriate approach. In this case, it may be possible to reduce nocturnal heat island effect during the summer period in urban environment and the possibility for buildings to benefit from the sun in a passive way due to the less construction density. Finally, emphasis was made on the evaluation necessity of SVF parameter as a input in determination of construction densities in the planning and design phases in our country conditions.

Keywords: Urban heat island, Urban geometry, Sky opening, Urban planning, Architectural design

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Fatih CANAN, fcanan@selcuk.edu.tr

1. GİRİŞ

Dünya genelinde kentlerde yaşayan insanların sayısında büyük artışlar gözlemlenmektedir. Dünya sağlık örgütü verilerine göre, 1960 yılında dünya toplam nüfusunun %34'ünü, 2014 yılında ise %54'ünü kentli nüfus oluşturmaktaydı. Bu oranların önümüzdeki yıllarda, çoğunlukla gelişmekte olan ülkelerde artarak devam edeceği tahmin edilmektedir. Günümüz kentlerindeki bu nüfus artışı, ekonomik, sosyal ve çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda büyük kentlerde sıklıkla görülen olumsuz mikroklimatik koşullar önemli bir çevresel sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Kentte insan aktivitelerinin artması, kent dokusunun morfolojik yapısının değişmesi ve bitkisel yüzeylerin azalıp sert yüzeylerin artması, olumsuz mikroklimatik koşulların oluşumuna zemin hazırlamaktadır. Büyük kentlerde görülen mikroklimatik problemlerin başında kentsel ısı adası etkisi gelmektedir. Kentsel ısı adası, yerleşim yerlerinin çevrelerinde yer alan kırsal bölgelere göre daha yüksek hava sıcaklık değerlerine sahip olması durumudur [1,2]. Kentsel ısı adası; kent hava kalitesinin düşmesine, binaların soğutulması için enerji tüketimlerinin artmasına, klima sistemlerinin yoğun kullanımına bağlı elektrik dağıtım şebekelerinde arızaların meydana gelmesine, kent üst tabakasında kirliliğe, rüzgar, nem ve yağış rejimlerinde değişmelere neden olmaktadır [3]. Diğer taraftan risk grubu taşıyan hastalarda ve yaşlı insanlarda, sıcak hava dalgalarının yaşandığı günlerde ciddi sağlık sorunlarına ve ölümlere de neden olabilmektedir [4].

Kentin geometrik yapısı, kentsel ısı adası etkisinin oluşumunu etkilemektedir [5-7]. Oke'ye [8] göre bu oluşum çoğunlukla gece meydana gelmektedir. Kış aylarında olumlu olabilirken yaz dönemlerinde istenmeyen sıcaklık artışlarına neden olmaktadır [8,9].

Günümüzde sürdürülebilir kalkınma bağlamında kent formuyla iklim arasındaki ilişkilerin belirlenmesi önemli bir araştırma alanı olmuştur [10]. Kent iklimi üzerine dünya genelinde son 30 yılda yapılan bilimsel çalışmalara rağmen, ülkemiz kentlerinde gerçekleşen ve devam eden kapsamlı

kentsel yenileme ve dönüşüm uygulamalarında, mikroklimatik araştırmalara yeterince yer verilmediği görülmektedir. Gelişimleri ve dönüşümleri hızla devam eden kentlerimizde, mikroklimatik koşulların ne durumda olduğunun belirlenmesi ve ona göre planlama ve tasarım stratejilerinin geliştirilmesi sürdürülebilir bir gelecek için büyük önem taşımaktadır.

Kent dokusunun geometrik yapısına bağlı olarak oluşması muhtemel maksimum kentsel ısı adası etkisinin gökyüzü açıklık değerlerine göre bir ön araştırma kapsamında belirlenmesi mümkündür. Çalışma bu çerçevede gerçekleştirilmiştir. Ülkemizin büyük kentlerinden olan Konya'da belirlenen 4 farklı özellikteki kentsel dokuda, gökyüzü açıklık değerlerinin analizleri yapılmış ve harita üzerinde dağılımları gösterilmiştir. Seçilen bölgelerdeki gökyüzü açıklıklarının ortalamalarına bağlı olarak oluşabilecek maksimum kentsel ısı adası değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmamız kapsamında kentin biçimsel yapısı bina gruplarının ve bunların oluşturduğu açık alanların birlikteliğinden meydana gelen hacimsel oluşumlar olarak basite indirgenerek ele alınmıştır [11].

Kentsel ısı adasının oluşumunda kontrol edilemeyen ve edilebilen değişkenler söz konusudur [12]. Rüzgar hızı, bulutluluk oranı, antisiklon koşulları, doğal kökenli olup kontrol edilemeyen değişkenlerdir. Kentin biçimsel ve geometrik yapısı, bitkisel unsur ve yüzey kaplama malzemeleri gibi değişkenler ise planlamacılar ve mimarlar tarafından kontrol edilebilirler. Temel bir belirleyici olan ve yapıyı çevrenin oluşumunda kalıcı etkisi olan kentin biçimsel ve geometrik yapısı, bu çalışmada odaklanan temel konu olmuştur.

2. KENT ORTAMINDA İKLİM

Kentler buldukları doğal ortamı değişikliğe uğratarak yeni çevresel koşullar meydana getirirler. İnsanlar tarafından üretilmiş kendine özgü ekolojik ve atmosferik koşulları içlerinde barındırırlar [13]. Kentlerin morfolojik özellikleri iklimsel değişiklikler üzerinde çok yönlü karmaşık etkileri bulunmaktadır [14]. Kent formunun kent

mikrokliması üzerinde belirgin bir etkisinin olduğu çok sayıdaki araştırmada gösterilmiştir. Bu araştırmalar özellikle kent içindeki sıcaklıkların dağılımları ve hava akımları ile ilgilidir [15].

Kent ortamında mikroklima ölçeğinde yapılan araştırmalar yükseklik bakımından birkaç yüz metre ile sınırlıdır [10]. Bu ölçekte insan müdahaleleri ve dolayısıyla kent formu iklim üzerine etki yapabilmektedir. Kent formuyla iklim arasındaki etkileşim atmosferde farklı ölçeklerde üst üste gelen hava katmanlarında meydana gelmektedir. Bu katmanlar farklı termik dağılımlara sahiptir. Bu katmanlar arasında, kentsel kanopi katmanı zemin seviyesine en yakın olanı olup mikroklimatik ölçektir [16]. Bu çalışma kapsamında da dikkate alınan katmandır. Kent zemini (sokaklar, açık alanlar) yapı hacimleri ve yeşil alanlar bu katmanda değerlendirilir.

Kentin geometrik yapısının, kentsel kanopi katmanının mikroklimatik karakteri üzerine etkisinin olduğu Oke [8] tarafından yapılan çalışmalarda gösterilmiştir. Ancak şu belirtilmelidir ki, kent formunun karmaşık geometrik yapısı ve malzeme bileşenleri, kent düzeyinde mikroklimatik etkilerin gerçekçi bir şekilde belirlenmesini güçleştirmektedir. Kent formunun yerel ölçekte iklim üzerine olan etkileri çok kesin bir şekilde belirlenmesi oldukça güçtür [16].

2.1. Kent Geometrisi ve Isı Adası Etkisi

Kentsel ısı adası etkisi, yerleşim yerlerinin yakın çevrelerinde yer alan kırsal bölgelere göre daha yüksek sıcaklık değerlerine sahip olmaları durumudur (yüzeylerde ve hava ortamında) [17]. Gün boyunca sabit bir değere sahip olmayıp, zamana bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [18]. Kent içindeki dağılımı da eşit düzeyde olmamaktadır. Kentsel ısı adasının şiddeti gün batımından itibaren başlayarak yüksek değerlere ulaşmaktadır. Gece saatlerindeki etkisi gündüz saatlerine göre daha yüksek olmaktadır [19]. Kentsel ısı adasının şiddeti; yapısal yoğunluğa, sert zeminli yüzeylerin ve yeşil dokunun dağılımına, yüzey malzemelerinin termofiziksel özelliklerine,

antropojenik ısı üretimine ve kentin geometrik özelliğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [20]. Bu değişkenlerden kentin geometrik yapısı, kent ortamının atmosferle olan etkileşimini belirlemede öncü bir role sahiptir. Kent geometrisi, güneşten ve atmosferden bina ve diğer kent yüzeylerine ulaşan kısa dalga boylu güneş ışınlarının ve bu yüzeylerden atmosfere doğru giden uzun dalga boylu ışınlarının (kızıl ötesi) yoğunluk miktarını belirlemede etkilidir. Rüzgârın hızını ve karmaşık kent yüzeylerindeki enerji emilim düzeyini de kentin geometrisi belirlemektedir. Uzun dalga boylu ışınların uzaklaşabilmesi ve dolayısıyla ısı kayıplarının oluşabilmesi, kent ortamındaki boşlukların yeterli düzeyde olmasına bağlıdır. Özellikle yaz dönemlerinde gece saatlerinde soğutma süreçleri, bina aralıklarından atmosfere doğru kaçabilen uzun dalga boylu ışınların yoğunluğu ile ilişkilidir [21]. Yoğun kentsel ortamlarda, birbirine yakın binalar kendi aralarında gökyüzü açıklığını belli miktarlarda engelledikleri için gündüz saatlerinde depoladıkları ısıyı, gece saatlerinde atmosfere yaymaları zorlaşmaktadır [22]. Çünkü çoğunlukla binalardan ve çeşitli yüzeylerden atmosfere doğru kaçmak isteyen uzun dalga boylu ışınlar (kızılötesi) yoğun doku içinde hapsolmakta, böyle olunca kent yüzeylerinde gece soğuması azalmaktadır [23]. Depolanmış ısının uzaklaşmaması sonucunda da kentsel ısı adası etkisi meydana gelmektedir. Bu fenomen özellikle kentsel kanyon niteliği taşıyan cadde ve sokakların bulunduğu bölgelerde daha fazla gözlemlenmektedir [9]. Sözü edilen kentsel kanyon ifadesi, yüksek binaların ve dar sokakların birlikte meydana getirdikleri kentsel boşlukları belirtmektedir.

2.2. Gökyüzünü Görme Faktörü/Gökyüzü Açıklığı

Gökyüzünü görme faktörü (İngilizce literatürde *Sky View Factor*; SVF) veya gökyüzü açıklığı, kentsel iklim çalışmalarında kullanılan önemli bir geometrik parametredir. Özellikle çalışma konumuz olan kentsel ısı adası etkisinin oluşumunda kentsel geometrinin rolünü ortaya çıkarmaktadır. Gökyüzü açıklığı (SVF), boyutsuz

bir değişken olup, kent ortamında bir noktadan gökyüzünün görüldüğü katı açıdır [11]. Kent ortamında sokak veya herhangi bir dış mekan yüzeyinde bulunan bir noktanın SVF değeri, o noktadan, yakın çevrenin meydana getirdiği engellere bağlı olarak, gökyüzünün görülme oranıdır. Daha sade bir ifadeyle, kent ortamında bir noktadan gökyüzünün görülebilirliğidir.

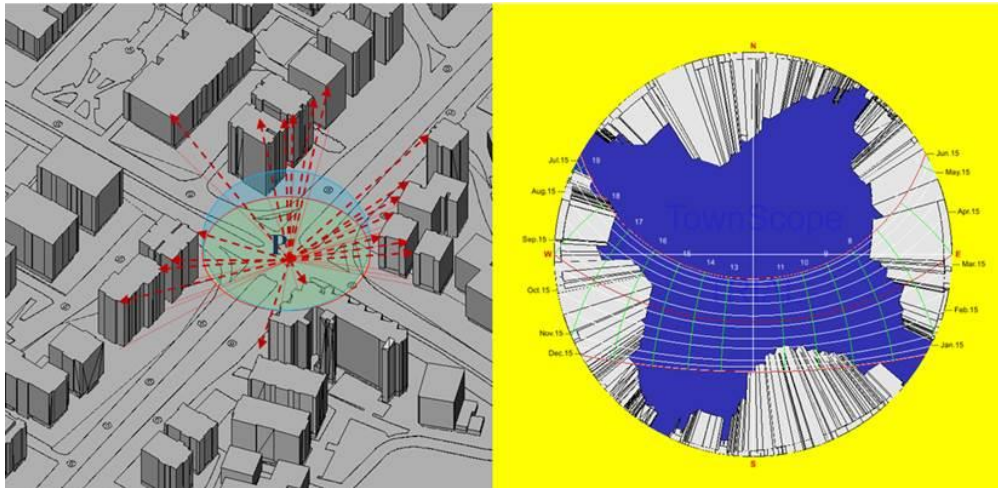
SVF değeri yaygın olarak 4 yöntemle belirlenir. Bunlar; analitik yöntemler, fotografik yöntemler (*Fish eye* fotoğraflar yardımı ile) (Şekil 1), küresel konumlama sistemi (GPS) yöntemleri ve bilgisayar yazılım yöntemleridir [14,24]. Çalışmada da kullanılan bilgisayar yazılımı yöntemi ile üç boyutlu dijital kent modellerinden SVF değerleri belirlenebilmektedir. Üç boyutlu kent modellerinde bir noktanın SVF değeri, yarımküre

üzerine gerçekleşen projeksiyonlar yardımıyla hesaplanmaktadır (Şekil 2).

SVF, 0 ile 1 arasından bir değer olup bir yüzde oranını belirtmektedir [25,26]. Bir noktanın SVF değerinin bir sayısına denk olması, gökyüzünün tamamen engelsiz, yani açık olduğu anlamı çıkar. Sıfır olması ise tamamen engellenmiş bir gökyüzünün varlığı söz konusu olmaktadır [26]. SVF değerinin bire yakın olması gökyüzünde çok az engelin olduğu anlamına gelir. Bu durumda o noktadaki hava sıcaklığının açık alanda yer alan meteoroloji istasyonunun değerlerine yakın olması beklenir. SVF Sıfır değerine yakın olması ortamın çok kapalı olduğunu gösterir. Bu durumda ise ortamın hava sıcaklığı yakın çevre koşullarından etkileneceği için meteoroloji istasyonu değerlerinden önemli ölçüde farklılaşır [10].



Şekil 1. Gökyüzü açıklığının (SVF'nin) tespiti için kullanılacak "Fish eye" fotoğraflar, Konya kent merkezi, 2017



Şekil 2. Üç boyutlu kent modelinde gökyüzü açıklığının (SVF'nin) belirlenmesi (Townscope III yazılımı ile hesaplanan P noktasının SVF değeri %68,60'dır)

2.3. Kentsel Isı Adası Oluşumunun Gökyüzü Açıklığına Bağlı Olarak Açıklanması

SVF, kent iklimi üzerinde etkili olan bir parametredir [27-29]. Kentsel ısı adası etkisinin belirlendiği çalışmalarda, SVF parametresi yaygın bir kullanıma sahiptir [30-32]. SVF kentin geometrik yapısının bir temsil değeri olup, kent ile atmosfer arasındaki ışıma alışverişlerinin belirlenmesinde dikkate alınmaktadır [33]. Bir kent dokusunun termal ortamı; gelen kısa dalga boylu güneş ışımlarının ve yüzeylerden atmosfere doğru uzaklaşan uzun dalga boylu ışımların yoğunluğuna bağlıdır. Bu iki temel fiziksel olay doğrudan gökyüzü açıklığına, yani SVF değerlerine bağlıdır [34]. SVF değerlerinin düşük olduğu dar sokak ve yüksek yapılardan oluşan kentsel dokularda, gökyüzü açıklığı azaldığı için, kırsal yerleşimlere göre uzun dalga boylu ışımların uzaklaşması kısıtlı hale gelmekte, dolayısıyla kentsel ısı adası etkisi de artmaktadır [22]. Geniş bir kentsel alanda, gökyüzü açıklığı ve maksimum kentsel ısı adası şiddeti arasında bir korelasyonun varlığı Oke [36] tarafından tespit edilmiştir. Uygun gece koşullarında, yani sakin bir havada ve bulutsuz bir gökyüzünde, maksimum kentsel ısı adası şiddeti ($\Delta T_{u-r(max)}$), geniş bir kentsel alanda ortalama SVF (Ψ) değerlerinin bir fonksiyonudur. $\Delta T_{u-r(max)}$ değeri, kent içinde maksimum hava sıcaklığı (pik değer) ile kırsal alandaki hava sıcaklığı arasındaki farktır [35]. Maksimum kentsel ısı adasının şiddeti kentin geometrik yapısına bağlı olarak aşağıda belirtilen formülle tahmini olarak hesaplanabilmektedir [36].

$$\Delta T_{u-r(max)} = 15,27 - 13,88 \Psi$$

Oke [8] tarafından geliştirilen formülün geçerliliği gece saatlerinde, antropojenik ısı salınımının yavaş seyrettiği yaz aylarında birçok Avrupa, Avustralya ve Kuzey Amerika kentinde gösterilmiştir. Bu şekilde kentsel ısı adası etkisi kentin morfolojik yapısına bağlı olarak belirlenmektedir [37].

3. METODOLOJİ

Konya kent merkezini temsil edebilecek nitelikte üç farklı bölge ve bir tane de yeni planlama/tasarım anlayışlarını temsil edebilecek

kentin kuzey gelişme aksında yer alan bir bölge belirlenmiştir. Yapısal yoğunluk, gelişme dönemi ve kent içindeki konum bölgelerin seçimlerinde dikkate alınan kriterler olmuştur. Şekil 3'de Konya kenti genelinde analizleri gerçekleştirilmiş bölgelerin konumları görülmektedir. 1. bölge geleneksel kent merkezini temsil etmektedir. Daha çok ticaret fonksiyonları ve bazı resmi kurum binaları yer almakta olup az katlı bir yapılaşmaya sahiptir: çoğunlukla zemin dahil 2 katlı binalar mevcuttur. 2. bölge, Abdülaziz ve Beyhekim mahallelerinin bir bölümünün yer aldığı günümüzün modern kent merkezidir. Bu bölgede çoğunlukla zemin dahil 4, 5 ve 6 katlı, ticaret, iş merkezi ve konut binaları yer almaktadır. 3. bölge kent içinde yüksek yoğunluklu yapılaşmaya sahip Nişantaşı mahallesini kapsamaktadır. Bu mahallede zemin dahil çoğunlukla 9-10 kattan oluşan ticaret, iş merkezi ve konut binaları yer almaktadır. 4. Bölge ise Şeyh Şamil Mahallesi'nin bir bölümünü kapsamakta olup yüksek katlı konut bloklarından oluşmaktadır. Konut binaları ağırlıklı olarak zemin dahil 15 kata sahiptir. Bu bölge son 10 yılda çok hızlı kentleşmiştir. Analizlerin yapılması amacıyla, belirlenen bu çalışma alanlarının bilgisayar ortamında üç boyutlu katı modelleri hazırlanmıştır. 1. aşamada bu modeller üzerinden Townscope III yazılımı ile SVF (gökyüzü açıklığı) değerleri hesaplanmış ve bölgelere ait SVF haritaları elde edilmiştir. Tüm bölgelerde SVF hesapları yer seviyesinden 150 cm yüksekliğinde gerçekleştirilmiştir. Bölgelerde 3 metre sıklıkla oluşturulan gridal ağ dikkate alınarak hesapların gerçekleştirileceği noktalar belirlenmiştir. Binaların içerisinde kalan noktaların tümü kaldırılmıştır. Hesaplanan SVF değerleri yüzde (%) olarak gösterilmiştir. 2. aşamada ise elde edilen gökyüzü açıklık değerlerine bağlı olarak Oke'nin [8] formülü ile yaklaşık olarak maksimum kentsel ısı adası şiddetinin değerleri hesaplanmıştır.

4. SEÇİLEN BÖLGELERDE ELDE EDİLEN BULGULAR

Değerlendirme için seçilen bölgelerin dış sınırları belirlenirken, yakın çevrelerinde büyük boş alanların yer almamasına dikkat edilmiştir. Bu bölgelerin olabildiğince binalarla sınırlanmış

olmaları önemli görülmüştür. Sınır belirlemede gösterilen bu hassasiyetle, içe dönük kentsel dokulardan daha anlamlı sonuçların elde edileceği düşünülmüştür. Seçilen bölgelerin iç kısımlarında geniş yaya dolaşım alanları (park veya kentsel dış mekan) yer almıştır. Tamamen binalardan oluşan bir doku olmayıp onlarla birlikte kentsel boşluklar

da değerlendirmeye alınmıştır. Böylece sınır tanımlamada yer alan çok sayıda seçenek içerisinde, temsil değeri yüksek ve dolu/boş anlamında dengeli kent dokuları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu yaklaşımla bölgelere ait SVF ortalamalarında tutarlı değerlerin elde edilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 3. Seçilen bölgelerin Konya kentinde konumları

4.1. Bölgelerde Gerçekleşen SVF, $\Delta T_{u-r(max)}$ Hesaplamaları ve Değerlendirmeler

Öncelikle seçilen kentsel dokular içerisinde genel SVF ortalamaları hesaplanmıştır. Bölgelerde SVF

dağılımlarındaki çeşitliliği gösterebilmek için çok kapalıdan çok açığa doğru alan gökyüzü açıklık değerleri 5 farklı grupta yüzde olarak gösterilmiştir. Yüzde dağılım içerisindeki gruplandırma 20 puan arayla yapılmıştır.

Genelde seçilen kentsel dokularda tam anlamıyla homojen bina yükseklikleri bulunmamaktadır. Bina aralıkları ve yol genişlikleri de farklı ölçülerdedir. Kentsel dış mekanların geometrisi ve boyutları da çeşitlilik göstermiştir. Bütün bunlar dolu boş dağılımlarını çok yönlü etkilemiş

dolayısıyla farklı SVF değerleri ortaya çıkmıştır. Çizelge 1’de bölgelerdeki noktalara ait SVF dağılımlarının yüzdesi yer almaktadır. Çizelge 2’de ise bölgelere göre ortalama, minimum, maksimum SVF ve maksimum ısı adası ($\Delta T_{u-r(max)}$) değerleri görülmektedir.

Çizelge 1. Seçilen bölgeler için hesaplanan nokta sayısı ve SVF dağılımları

Bölge	Nokta sayısı	SVF (%) dağılımları					
		Çok kapalı		Çok açık			
		0-20,9	21-40,9	41-60,9	61-80,9	81-100	
1	Geleneksel kent merkezi	3324	% 1,96	% 18,77	% 28,76	%45,82	%4,69
2	Modern kent merkezi	7173	%8,90	%35	%28	%27,88	%0,26
3	Nişantaşı Mahallesi	3951	%12	% 50,7	%35,3	%1,5	%0
4	Şeyh Şamil Mahallesi	15498	%0,48	%15	%52,86	%29,17	%2,48

Çizelge 2. Seçilen bölgeler için ortalama, minimum ve maksimum SVF ve $\Delta T_{u-r(max)}$ değerleri

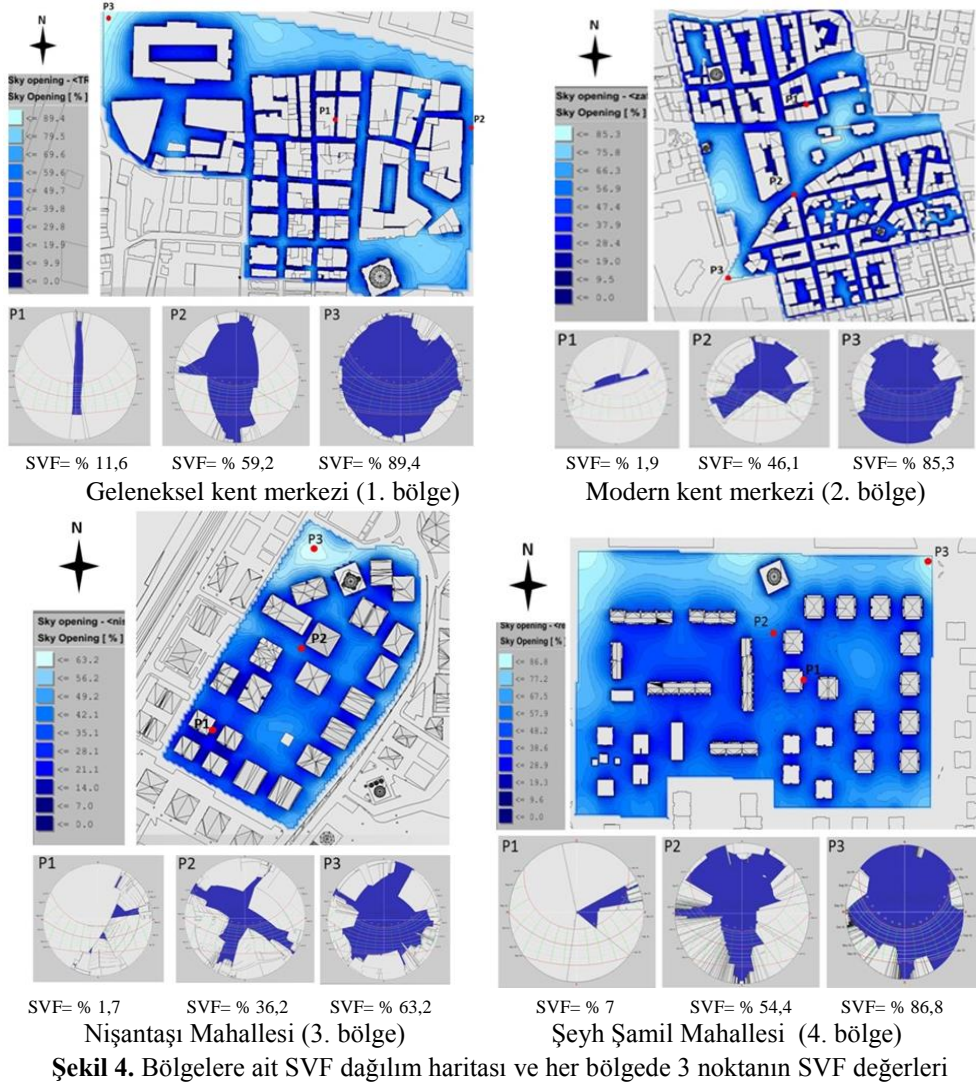
Bölge	SVF (%)			$\Delta T_{u-r(max)}$	
	Ortalama değer	Minimum değer	Maksimum değer		
1	Geleneksel kent merkezi	%58,19	%11,6	%89,4	7,2°C
2	Modern kent merkezi	%46,10	%1,90	%85,3	8,9°C
3	Nişantaşı Mahallesi	%36,21	%1,40	%63,20	10,2°C
4	Şeyh Şamil Mahallesi	%54,42	%6,7	%86,8	7,7°C

Geleneksel kent merkezinin (1. bölge) ortalama SVF değeri %58,19 olup bölgeler içerisinde en yüksek olanıdır (Şekil 4). Orta derece ile açık arası bir SVF değerinden söz edilmesi mümkündür. Bölgedeki noktaların yaklaşık yarısı açık ve çok açık olarak nitelenebilecek SVF değerlerine sahiptir. Çok açık olarak nitelenebilecek noktaların genel dağılımdaki oranı %4,69’tur. Bu bölgedeki SVF dağılımlarına bakıldığında minimum değer %11,6 maksimum değer ise %89,4’tür.

Günümüzün modern kent merkezinin (2. bölge) ortalama SVF değeri %46,10 olup açıklık derecesi orta düzeye yakın kabul edilebilir (Şekil 4). Kapalı kabul edilebilecek noktaların SVF değerleri %21-%40,9 aralığında olup %35 oranında bulunmaktadır. Noktaların %8,90’u çok kapalı olarak nitelenebilecek SVF değerlerine sahiptir. Bu noktalar geniş dış mekanların ve boşlukların olmadığı, dar sokakların yer aldığı alanlarda sıklaşmaktadır. Açık olarak nitelenebilecek SVF değerlerine sahip

noktalar %27,88 oranında yer almaktadır. Bu noktalar yaya dolaşım alanlarında ve açık kentsel alanlarda artmıştır. Açık gökyüzü koşullarına sahip noktaların sayısı düşük olup bulunma oranı %0,26’dır. Bu bölgedeki minimum SVF değeri %1,90, maksimum değeri ise %85,3’tür.

Nişantaşı mahallesinde (3. bölge) ortalama SVF değeri belirlenen bölgeler arasında en düşük olanıdır (Şekil 4). Ortalama SVF değeri %36,21’dir. Yüksek yapılaşmaya sahip bölgede noktaların SVF dağılımları sırayla şu şekildedir: %50,7 oranında kapalı, %12 oranında çok kapalı ve %35,3 oranında orta düzeyde kapalı. Çok açık gökyüzü koşullarına sahip nokta bulunmamaktadır. Minimum SVF değeri %1,40 maksimum değeri ise %63,20’dir. Yüksek katlı binalar ve yapı adası içerisinde binalar arası mesafelerin oldukça yakın olması bölgedeki SVF değerlerinin çoğunlukla düşük çıkmasına neden olmuştur.



Şekil 4. Bölgelere ait SVF dağılım haritası ve her bölgede 3 noktanın SVF değerleri

Kent merkezinin dışında kalan ve yeni kentleşen alanları temsil değerinde olan Şeyh Şamil mahallesinde (4. bölge) ortalama SVF değeri %54,42'dir. Bu mahalle orta düzeyde bir kapalılık derecesine sahiptir (Şekil 4). Genel SVF dağılımlarına bakılırsa; noktaların %29,17 açık, %2,48 ise çok açık gökyüzü koşullarına sahip olduğunu söylemek mümkündür. Noktaların %15'i Kapalı gökyüzü koşullarına sahiptir. Bölgenin minimum SVF değeri %6,7, maksimum değeri ise %86,8'dir. Yüksek katlı bir yapılaşmaya rağmen, var olan ortak kullanımlı geniş dış mekânlar, SVF

değerlerinin çok düşük çıkmasını engellemiştir. Bu bölgede var olan kapalı sitelerde, sosyal kullanım amaçlı kamusal alanlar önemli kentsel boşluklar oluşturmaktadır. Genelde kentte yeni planlanan bölgelerde bu tasarım yaklaşımı dikkat çekmektedir. Yüksek katlı binaların olduğu bölgelerde bu kamusal mekânların SVF değerlerini artırma yönünde etki yaptığını söyleyebiliriz.

Çizelge 2'de ortalama SVF değerlerine göre bölgelerde oluşabilecek maksimum kentsel ısı adası etkisinin yaklaşık değerleri yer almaktadır.

Elde edilen sıcaklık değerleri yoğunluk ile ters orantılı çıkmıştır. Sonuçlar dikkate alındığında, yüksek yoğunluktaki yapılaşmadan dolayı, en yüksek ısı adası etkisi Nişantaşı mahallesinde görülmektedir (10,2 °C). Ardından kent merkezi (8,9 °C), Şeyh şamil mahallesi (7,7 °C) ve geleneksel kent merkezi (7,2 °C) gelmektedir.

4.2. Tartışma

Elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, maksimum ısı adası etkisinin, yoğun yapılaşmaya sahip kentsel alanlarda oluşma ihtimalinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Kentin geometrik yapısının dikkate alınmasıyla elde edilen bu sonuçlar bir ön tahmindir ve planlama/tasarım disiplinleriyle uğraşanlara ilk fikirleri vermesi bakımından önemlidir. Ancak bu sonuçların çok yönlü olarak değerlendirilmesi daha sağlıklı bir bakış açısı kazandıracaktır. Kentsel ısı adası etkisi, çok sayıda kontrol edilebilir ve edilemeyen değişkenlere bağlı olarak meydana geldiği için çok net olarak belirlenmesi güçtür. Bu gerçek dikkate alınarak Konya kentinin içinde bulunduğu karasal iklim koşulları ve gece gündüz zaman aralıkları dikkate alınarak yorumların yapılması uygun olacaktır.

Yaz dönemlerinde ısı adası etkisini azaltmak için, az yoğun yerleşim alanlarının (yüksek SVF değerleri) planlanması doğru bir yaklaşım olarak kabul edilebilir. Yoğun dokuların (düşük SVF) yaz dönemlerinde gündüz saatlerinde gölge oluşturmaları avantajlı bir durum olarak görülebilir. Ancak Konya iklim koşullarında binaların güneşe erişimleri kış dönemlerinde önemsenmesi gerekmektedir. Yoğun yapılaşma, kış günlerinde binaların güneşten yararlanma durumunu azaltacağı bir gerçektir. Kent ortamının gökyüzü açıklık düzeyi bütünsel bir yaklaşımla ele alınması gerekmektedir. Bu durumda Konya iklim koşullarında SVF değerlerinin yüksek olması, yani açık gökyüzü koşullarının desteklenmesi daha avantajlı görülmektedir. Böylece yaz dönemlerinde gece oluşan ısı adası etkisinin azaltılması ve kışın da az yoğun yapılaşmaya bağlı olarak binaların güneşten pasif anlamda yararlanabilmeleri mümkün olabilecektir. Bu kabul doğrultusunda, yaz günlerinde gündüz saatlerinde güneşlenmenin

olumsuz koşullarından korunmak için özellikle mimari ölçekte çözümler gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu önlemler dizisi, hem bina iç kullanıcılarının hem de kent ortamında özellikle kamusal alanlarda dış mekan kullanıcılarının termal konfor koşullarının iyileştirilmesiyle ilgili olmalıdır. Kentsel ortamda mimari çözümlerle ve ağaçlandırma gibi bitkisel unsurlarla gölgeli mekânların var edilmesi gerekmektedir. Mimari bir çözüm olarak yeşil cephe ve çatı uygulamaları desteklenebilir ve yaygınlaştırılabilir. Ancak sözü edilen bu önlemler dizi, kentin geometrik yapısını kalıcı olarak belirleyen bina yükseklikleri, aralıkları ve biçimleri gibi temel fiziki değişkenlerle beraber tamamlayıcı özellikte olabilirler.

5. SONUÇ

Günümüzde global ölçekte önemli yer tutan iklimsel değişim ve artan kentleşme olguları dikkate alındığında, kentsel iklim araştırmalarının önemi ortaya çıkmaktadır. Kentlerimizde yer yer var olan yüksek yoğunluklu yapılaşma anlayışı, beraberinde olumsuz mikroklimatik koşulların oluşmasına yol açacağı açıktır.

Çalışmada kentlerin geometrik yapısının neden olabileceği ısı adası etkisinin belirlenmesinde SVF yani gökyüzü açıklık değerleri dikkate alınmıştır. SVF kentteki yapısal yoğunluğun değerlendirilmesinde başvurulabilecek bir parametredir. Çalışma alanı olarak belirlenen Konya kenti bağlamında seçilen 4 bölgede, gökyüzü açıklık değerleri dikkate alınarak oluşabilecek maksimum kentsel ısı adası etkileri yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Oluşması muhtemel ısı adası etkisinin şiddeti, yüksek yoğunluklu yapılaşmaya sahip alanlarda daha yüksek görülmektedir.

Kentleşme aktivitelerin devam ettiği ülkemizde, planlama ve tasarım aşamalarında yapılaşma yoğunlukları belirlenirken SVF parametresi bir girdi olarak değerlendirilebilir. Bilinen yoğunluk değerleri, yapı çevrenin toprakla olan ilişkisini ortaya koyarken, SVF parametresi farklı olarak yapı çevrenin gökyüzü ile olan ilişkisini

belirlenmektedir. Bu yaklaşım sayesinde atmosferle, gökyüzü ile olan ilişki düzeyi belirlenebilmektedir. Dolayısıyla bu parametre ile ısı adası etkisinin belirlenmesi önceden mümkün olabilmektedir. Şehir plancıları genel planlama yaklaşımlarında, mimarlar da ada bazında gerçekleştirecekleri düzenlemelerde, mikroklimatik sonuçların bir ön tahminini yapabilmeleri önemlidir. Planlama ve tasarım aşamasında yapıyı çevrenin geometrik yapısı kesin bir şekilde belirlendiği için, bu aşamada şehir plancıları ve mimarların bilinçli kararlar almaları gerekmektedir.

Mimarlar yoğun kentsel dokularda ısı adası etkisini azaltabilmek için tasarım aşamasında, bina yüzeylerini oluşturan malzemelerin yansıtma katsayılarını daha yüksek değerlerde seçebilirler. Dış mekân düzenlemelerinde yeşil dokunun yoğunluğunu arttırarak evapotranspirasyonla soğutmanın gerçekleşmesini sağlayabilirler.

Kentsel planlamada, kentlerin oluşumunda önemli bir göstergesi olan yoğun değerlerinin çok yönlü etkileri dikkate alınmalıdır. Nüfus, ulaşım, yeşil doku ve bina tipolojisi gibi girdilerin yanında mikroklimatik sonuçlar da düşünülmelidir. Yeryüzünün içinde bulunduğu olumsuz çevresel koşulların azaltılması için kent ölçeğinde mikroklimanın iyileştirilmesi önemli bir planlama ve tasarım stratejisi olarak ele alınmalıdır. Kentlerin oluşumunda önemli rolleri olan kentsel planlama ve mimari tasarım disiplinlerinde, tasarım ölçekleri arasında koordineli çalışmalar yapılmalı, her ölçekte mikroklimayı iyileştirecek tasarım önlemleri alınmalıdır.

6. TEŞEKKÜR

Çalışmada Townscope yazılımı kullanımı konusunda destekleri için Liège Üniversitesi (Belçika) Lema Araştırma Merkezi Müdürü Prof. Dr. Jacques Teller'e teşekkürlerimi sunmak isterim.

7. KAYNAKLAR

1. Nakata C., Souza L., 2013. Verification of the Influence of Urban Geometry on the Nocturnal

Heat Island Intensity, *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 7(2), 286-292.

2. Allegrini, J., Dorer, V., Carmeliet, J., 2015. Influence of Morphologies on the Microclimate in Urban Neighbourhoods. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 144, 108-117.
3. Mirzaei, P.A., Haghghat, F., 2010. Approaches to Study Urban Heat Island-Abilities and Limitations. *Building and Environment*, 45 (10), 2192-2201.
4. Chung, M.H., Park, J.C., 2016. Development of PCM Cool Roof System to Control Urban Heat Island Considering Temperate Climatic Conditions. *Energy and Buildings*, 116, 341-348.
5. Rzepa, M., 2009. The Map of Sky View Factor in the Center of Lodz, The Seventh International Conference on Urban Climate, Yokohama.
6. Guo, G., Zhou, X., Wu, Z., Xiao, R., Chen, Y., 2016. Characterizing the Impact of Urban Morphology Heterogeneity on Land Surface Temperature in Guangzhou, China, *Environmental Modelling and Software*, 84, 427-439.
7. Cheung, H.K.W., Coles, D., Levermore, G.J., 2016. Urban Heat Island Analysis of Greater Manchester UK Using Sky View Factor Analysis, *Building Services Engineering Research and Technology*, 37, 5-17.
8. Oke, T.R., 1981. Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: Comparison of Scale Model and Field Observations. *Journal of Climatology*, 1(3), 237-254.
9. White, M., Kimm, G., 2015. Measuring Sky View Factor of Urban Canyons Using Hacked Gopro Hemispheric Video Processing, *Living and Learning: Research for a Better Built Environment: 49th International Conference of the Architectural Science Association*, Melbourne.
10. Athamena, K., 2012. Modelling and Simulation of Urban Microclimates : Study of the Impact of Urban Morphology on Comfort in Outside Spaces, Cases of Eco-Districts, Doctorate Thesis, Ecole Centrale de Nantes (ECN).
11. Steemers, K.A., Ramos, M.C., Sinou, M., 2004. Urban Morphology, *Rediscovering the*

- Urban Realm and Open Spaces, Designing Open Space in the Urban Environment: A Bioclimatic Approach M. Nikolopoulou, Editor, Centre for Renewable Energy Sources, CRES, Department of Buildings, Greece, 20-25.
12. Rizwan, A.M., Dennis, L.Y.C., Liu, C., 2008. A Review on the Generation, Determination and Mitigation of Urban Heat Island, *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 120-128.
 13. Göksu, Ç., 1999. *Güneş Kent*, 2 ed., Gökusu Yayınları, Ankara.
 14. Chen, L., Ng, E., An, X., Ren, C., Lee, M., Wang, U., He, Z., 2012. Sky View Factor Analysis of Street Canyons and its Implications for Daytime Intra-Urban Air Temperature Differentials in High-Rise, High-Density Urban Areas of Hong Kong: A GIS-Based Simulation Approach, *International Journal of Climatology*, 32(1), 121-136.
 15. Paramita, B., Fukuda, H., 2014. Heat Intensity of Urban Built Environment in Hot Humid Climate Region. *American Journal of Environmental Sciences*, 10(3), 210-218.
 16. Bouyer, J., 2009. Modelling and Simulation of Urban Microclimates-Study of the Urban Planning Impact on the Buildings Energy Consumption, Doctorate Thesis, Université de Nantes.
 17. Theophilou, M.K., Serghides, D., 2015. Estimating the Characteristics of the Urban Heat Island Effect in Nicosia, Cyprus, Using Multiyear Urban and Rural Climatic Data and Analysis, *Energy and Buildings*, 108, 137-144.
 18. Tsoka, S., 2011. Relations Entre Morphologie Urbaine, Microclimate et Confort des Piétons: Application au Cas des Ecoquartiers, Master Thesis, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment [CSTB], Nantes.
 19. Mathew, A., S. Khandelwal, S., Kaul, N., 2016. Spatial and Temporal Variations of Urban Heat Island Effect and the Effect of Percentage Impervious Surface Area and Elevation on Land Surface Temperature: Study of Chandigarh City, India. *Sustainable Cities and Society*, 26, 264-277.
 20. Ward, K., Lauf, S., Kleinschmit, B., Endlicher, W., 2016. Heat Waves and Urban Heat Islands in Europe: A Review of Relevant Drivers. *Science of the Total Environment*, 569-570, 527-539.
 21. Gál, T., Lindberg, F., Unger, J., 2008. Computing Continuous Sky View Factors Using 3D Urban Raster and Vector Databases: Comparison and Application to Urban Climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 95(1-2), 111-123.
 22. Unger, J., 2009. Connection Between Urban Heat Island and Sky View Factor Approximated by a Software Tool on a 3D Urban Database, *International Journal of Environment and Pollution*, 36 (1-3), 59-80.
 23. Debbage, N., 2013. Sky-View Factor Estimation: A Case Study of Athens, Georgia. *Geographical Bulletin-Gamma Theta Upsilon*, 54(1), 49-57.
 24. Zhu, S., Guan, H., Bennet, J., Clay, R., Ewenz, C., Benger, S., Maghrab, A., Millington, A.C., 2013. Influence of Sky Temperature Distribution on Sky View Factor and its Applications in Urban Heat Island. *International Journal Of Climatology*, 33(7), 1837-1843.
 25. Li, W., Putra, S.Y., Yang, P.P.J., 2004. GIS Analysis for the Climatic Evaluation of 3D Urban Geometry. The Development of GIS Analytical Tools for Sky View Factor, GISDECO: Roceedings of the 7th International Conference on GIS for Developing Countries, Johor, Malaysia.
 26. Liao, J.W.L., Cavaleri, M.M., 2014. The Study of Sky View Factor, Urban Morphologies: Computational Tools and Methods of Analysis, 30th International PLEA Conference Sustainable Habitat for Developing Societies-Choosing the Way Forward, Ahmedabad, India, Cept University Press Centre for Documentation & Publications.
 27. Kakon, A.N., Nobuo, M., 2009. The Sky View Factor Effect on The Microclimate of a City Environment: A Case Study of Dhaka City, The Seventh International Conference on Urban Climate, Yokohama Japan, 29 June-3 July.
 28. Krüger, E.L., Bröde, P., 2013. Analyzing the Relationship between Local Urban Morphology and Predicted Thermal Perception, 29th PLEA 2013 Conference,

- Sustainable Architecture for a Renewable Future, Munich, Germany.
29. Yuan, C., Chen, L., 2011. Mitigating Urban Heat Island Effects in High-Density Cities Based on Sky View Factor and Urban Morphological Understanding: A Study of Hong Kong. *Architectural Science Review*, 54(4), 305-315.
 30. Rafiee, A., Dias, E., Koomen, E., 2016. Local Impact of Tree Volume on Nocturnal Urban Heat Island: A Case Study in Amsterdam. *Urban Forestry & Urban Greening*, 16, 50-61.
 31. Hu, Y., White, M., Ding, W., 2016. An Urban Form Experiment on Urban Heat Island Effect in High Density Area, *Procedia Engineering*.
 32. Wu, X., Liu, N., 2014. Study of the Relationship between Sky View Factor and Urban Plaza Conformation, *New Urban Configurations*, 574-582.
 33. Svensson, M.K., 2004. Sky View Factor Analysis, Implications for Urban Air Temperature Differences, *Meteorological Applications*, 11(3), 201-211.
 34. Wenjing, L., 2005. Using Sky View Factor As an Indicator for GIS-Based Analysis of 3D Urban Geometry in Relation to Thermal Performance, Master Thesis, Department of Architecture School of Design and Environment, National University of Singapore.
 35. Li, W., Putra, S.Y., Yang, P.P.J., 2004. Climatic Performance of 3D Urban Geometry: GIS-Based Analyses on Sky View Factor Patterns, IUPEA6, Louisville.
 36. Oke, T.R., 1987. *Boundary Layer Climates*. second ed., Routledge Taylor & Francis Group.
 37. Montávez, J.P., González-Rouco, J.F., Valero, F., 2008. A Simple Model for Estimating the Maximum Intensity of Nocturnal Urban Heat Island. *International Journal of Climatology*, 28(2), 235-242.
- Yazılım: Townscope III

Liquid, Gas Chlorine and On-site Generation in Drinking Water Facilities Design Consideration and Comparison of Operating Costs

Eprar ÖZEL ÇELİK¹, Ümmükülsüm ÖZEL AKDEMİR^{*2}, Hakan ÇELİK¹

¹İlbank A.Ş. Ziraat Mah. 657. Sok No:14, Altındağ, Ankara

²Giresun Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Giresun

Geliş tarihi: 03.05.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Abstract

Chlorine the most widely used disinfectant worldwide and the technological advances develop alternatives system that allowed efficient use of chlorine in water disinfection. In our country, although sodium hypochlorite and gas chlorination is usually used as disinfection for water treatment plants, on-site chlorine generators have begun to be recently used. Sodium hypochlorite and gas chlorination is to find the most common applications in water treatment plants. In this study, information about mechanical equipment, working principle and storage conditions of the sodium hypochlorite, gas chlorination and on-site sodium chlorine generation is given. Also, initial investment cost and operating costs are compared with the costs obtained from the companies. For this purpose, cost analysis is done on two different flows, considering only the storage chlorination. Cost comparison show that the initial investment cost of site-generated sodium hypochlorite system is found to be higher than other chlorination systems while operation cost is lower.

Anahtar Kelimeler: Drinking water, Disinfection, On-site generation, Chlorine gas, Sodium hypochlorite

İçme Suyu Tesislerinde Sıvı, Gaz Klorlama ve Yerinde Klor Üretimi Tasarım Esasları ve İşletme Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Öz

Klor dünyada en yaygın olarak kullanılan dezenfektandır ve teknolojik gelişmeler suyun dezenfeksiyonunda klorun etkili kullanımına izin veren alternatif sistemleri ortaya çıkarmıştır. Ülkemizde sodyum hipoklorit ve gaz klor su dağıtım sistemleri için dezenfeksiyon olarak yaygın kullanılmasına rağmen, yerinde sodyum hipoklorit üretimi son zamanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Sodyum hipoklorit ve gaz klorlama su dağıtım sistemlerinde yaygın uygulamaları bulmaktadır. Bu çalışmada, sodyum hipoklorit, gaz klor ve yerinde sodyum hipoklorit üretim sistemlerinin mekanik ekipmanları, çalışma prensipleri ve depolanma koşulları hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca ilk yatırım maliyetleri ve bu sistemlerin kullanılması durumunda harcanacak işletme giderlerinin karşılaştırılması firmalardan temin edilen fiyatlar ile yapılmıştır. Bu amaçla maliyet analizleri yalnızca depoda klorlama yapılması durumu dikkate alınarak iki farklı debi için yapılmıştır. Maliyet karşılaştırması yerinde sodyum hipoklorit üretim sisteminin ilk yatırım maliyeti diğer klorlama sistemlerine göre yüksek olmasına rağmen işletme maliyeti daha düşük olduğu göstermiştir.

Keywords: İçme suyu, Dezenfeksiyon, Yerinde klor üretimi, Gaz klor, Sodyum hipoklorit

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ümmükülsüm ÖZEL AKDEMİR, ummukulsumozelakdemir@giresun.edu.tr

1. INTRODUCTION

Today, the disinfectants that are widely used in the treatment of drinking water are free chlorine, chloramines, chlorine dioxide, ozone and ultraviolet radiation (UV). Chlorine is the most commonly used disinfectant since it creates an efficient and lasting effect when it is applied at a sufficient dosage in low concentrations, and also it is cheap [1,2].

As shown in Figure 1, mostly free chlorine was used as disinfectant in water in 1978; including 91% of the disinfectants used is chlorine gas and 7% of them is sodium hypochlorite (bleach). In 2007, 63% of them was used as chlorine gas and nearly 40% of them was used as bulk liquid or on-site production of sodium hypochlorite. Since chlorine gas is highly toxic, a shift from chlorine gas towards hypochlorite has occurred due to safety and security reasons [2].

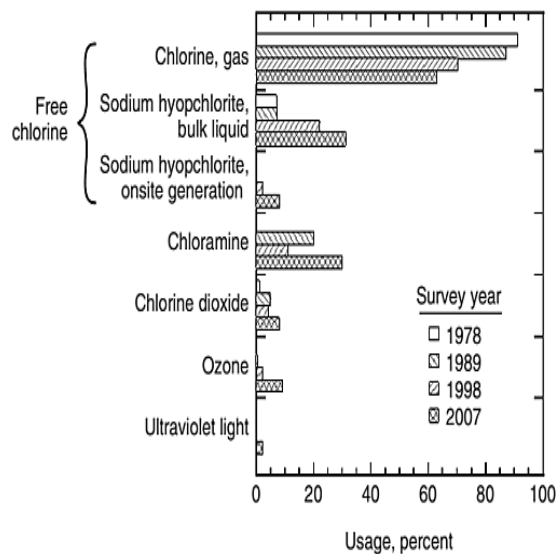


Figure 1. The chemicals used for disinfection [1]

The selection of the chlorine systems depends on the answers given to the following questions:

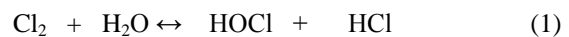
- How much disinfectant is necessary?
- How easy the product can be obtained?

- Is there the capacity necessary for use, operation and equipment maintenance?
- Are there the resources necessary for protection of the workers against exposure to health risks during storage and contact of hands with the material?
- Are the economical and financial capacities available to meet the investment, operation and maintenance costs?

In order to answer these questions, it is necessary first to identify the target area and set forth the technical, economical and social situations accordingly. The amount of disinfectant that will be required will be dependent on the flow rate of water to be reclaimed. The required dose will be determined in accordance with the water quality and drinking water standards in the country [3].

Gas Chlorination System

Disinfection with chlorine gas is cheap and the most widely used technology in the world [3]. Chlorine produced as gas liquefied under pressure is usually stored and shipped in 45-68 kg cylinders, or 10 ton container or tanks [5,6]. Chlorine is only slightly soluble in water; its maximum solubility is approximately 1% (10,000 ppm [mg/L]) at 9.6°C. Since the vapor pressure of chlorine increases as the temperature increases, its solubility reduces [6]. Chlorine gas and water react to form hypochlorous acid (HOCl) and hydrochloric acid (HCl). Hypochlorous acid (HOCl) is decomposed to hypochlorite ion (OCl⁻) and hydrogen ion (H⁺) according to the following reactions, respectively [7].



Chloride	Hypochlorous Acid	Hypochlorite Acid
----------	-------------------	-------------------



Hypochlorous Acid	Hydrogen Ion	Hypochlorite Ion
-------------------	--------------	------------------

Reactions are reversible and depend on pH:

- Between pH 3.5 and 5.5, HOCl is predominant.
- Between approximately pH 5.5 and 9.5, both HOCl and OCl⁻ types are available in various ratios.
- Above pH 8, OCl⁻ is predominant [7].

The most widely used one among the chlorine gas feeders is vacuum system. Vacuum system equipment consists of gas cylinder, rotameter (feed rate indicator), flow regulator and injector [3]. In the operation principle of the system; chlorine gas is sucked from the pressure vessel and the chlorinator that is operated in case of vacuum is reduced to a value lower than the ambient pressure by means of a standard vacuum regulator combined with pressure relief valve. Gas is measured by means of an adjustable orifice. The gas flow rate indicated by a flow meter is controlled by an adjustable orifice area. Vacuum regulating valve reduces fluctuations and provides smooth operation. Vacuum relief valve prevents excessive vacuum in the equipment. Control of gas flow rate may vary manually or automatically, so that a constant residual chlorine concentration remains in the water flow to create concentrated chlorine solution. This mixture is left to the chlorinator as chlorine solution (HOCl) ready for implementation [8]. Typical feed rates of the smallest vacuum chlorinators range from approximately 10 to 100 g /h. The most commonly used vacuum chlorinators are the ones having the maximum operating capacities of 2 kg/h, 5 kg/h and 10 kg/h. Therefore, this makes it possible to use them in the medium cities as well as the metropolitan cities [3].

The main advantage of vacuum gas chlorinators is their safety. If a malfunction or breakage occurs in the vacuum system, the chlorinators stop the chlorine flow in the equipment or allow air to enter into the vacuum system instead of allowing the escape of chlorine into air [5]. Figure 2 shows gas chlorination plant.

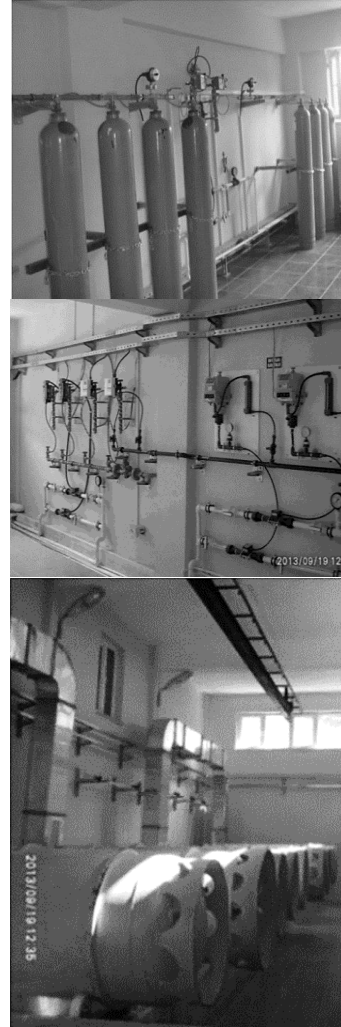
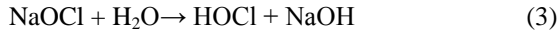


Figure 2. Drinking water gas chlorination plant (Chlorine room, Chlorination Equipment, Chlorine tank)

Sodium Hypochlorite (Liquid Chlorination)

Sodium hypochlorite (NaOCl) is generally expressed as liquid bleach, and it is available as a solution containing chlorine between 5 and 20 percent. The color of this solution is light yellow, it has an alkali corrosion effect and a strong smell of chlorine. The typical concentration percentage used in sodium hypochlorite solution is based on commercial percentage and contains 12% chlorine [4,6].

Reaction of sodium hypochlorite with water is as follows.



Since they are safer, their use is easier and they pose fewer problems when they are poured, the use of sodium hypochlorite instead of chlorine gas in the water systems is usually preferred. But, the most important issue for sodium hypochlorite solution is the significant loss of available chlorine in time (usually maximum 90 days). Degradation rate increases with high solution strength and higher temperature [4]. The balance of the solution is greatly affected by light, pH, and heavy metal cations such as iron, copper and nickel. Dosing in the small drinking water plants where hypochlorite is used is carried out by the feed pump that is connected to the chlorine tank in a reliable manner. In order to avoid having trouble with feeding of water with daily chlorine, a spare pump must be available in order to be able to use another pump in an emergency when the pump breaks [4]. This disinfection is the most popular method used in rural areas. It is simple, easy and inexpensive and there are many devices that can use this technology. Diaphragm pump and venture type suction feeders are widely used to feed the solution [3]. Sodium hypochlorite storage room and feeding equipment are shown in Figure 3.

a) Diaphragm pump feeding system; The pumps in this system are equipped with one chamber, two one-way valves including one at the inlet and the other at the outlet point. The solution is added to the room through the suction valve, then the solution is discarded outside the room by the outlet valve as the diaphragm contraction, and this occurs through stimulation of the diaphragm by enlargement of electric motor. The flexible diaphragm is made of a material resistant to corrosive effects of hypochlorite solutions. The task of the pump is to increase the level of the solution through the stroke levels. The point of application may be a channel or a reservoir (atmospheric pressure), or a water pipe under positive pressure. This type of hypochlorinator has a large capacity. A small device feeds about 1 liter hypochlorite per hour and the biggest one feeds

about 200 liters hypochlorite per hour. Depending on the concentration of the solution and the desired dose of chloride, a very variable water flow can be disinfected [3].

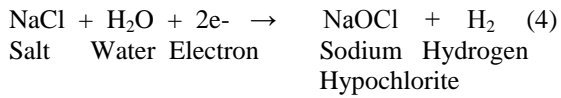


Figure 3. Drinking water sodium hypochlorite system

b) Suction feeders (venturi type); in common use, suction feeders use a venturi device in feeding chlorine solution along pressure pipe. Vacuum formed by the water flow from the venturi pipe

absorbs hypochlorite solution and it is discharged directly to the main water supply. Feeding is controlled by a needle valve mounted between the venturi device and the rotameter. The installation, operation and maintenance of this device are easy and cheap. Feeding capacity varies between 1 to 25 L/h. An important advantage of this type of feeder is that the chlorine solution will not be released is water does not flow into the device, thus the possibility of overdose would be prevented. Venturi devices, depending on their design, can be mounted on the wall or directly to the pipes [3].

On-Site Sodium Hypochlorite Generation System (Salt Chlorination)



The generated sodium hypochlorite solution has a concentration of 0.8% by weight, about 0.8 grams available chlorine per liter, and a density of about 1010 g per liter [9]. The product is stable at low concentrations and is typically stored up to 24-36 hours. Hydrogen gas is a byproduct and the air in the tank is not explosive, but the storage tanks must be emptied in case of an explosion danger. The system is based on the dilute brine electrolysis which consists of on-site generation from high purity salt. The salt consumption to be spent to obtain the equivalent amount of chlorine in the registered systems is about 3 kg [5].

A fixed electric power source is needed to operate the on-site hypochlorite generators. In the absence of a fixed power, the generator can be used with the alternative solar panels and batteries. Until a few years before, these devices are not an alternative for the developing countries because of their complex technologies and high costs. Hypochlorite generators have become more popular devices as a result of use of new materials such as titanium in production of dimensionally stable anodes and improvements made in the power sources [3]. Since the storage conditions of the hypochlorite product have effect on the rate of

deterioration of the product, they may also be effective on the overall efficiency of chlorine generation [5]. In this system, unlike the strong sodium hypochlorite solutions with concentrations between 12% and 15%, as a result of obtaining the final product that is the solution with a concentration of 0.8%, less crystallization occurs and it has less effect on pH of water. In addition to these advantages, 0.8% solution is typically classified as irritant health hazard. Thus, it can be exempted from the regulations specified in fire and building codes. In order to make comparison with other disinfection methods, local conditions, life cycle and cost analysis is performed and the feasibility of on-site sodium hypochlorite generation system is determined. Life cycle analysis, equipment and buildings, operation and maintenance, raw material and electrical energy costs should be included in the feasibility study [9].

The components of on-site sodium hypochlorite generation system

The components of on-site sodium hypochlorite generation system consist of water softener, salt saturation tank, soft water heater and chiller, brine measurement, electrolytic cell, brine diluter, rectifier, hydrogen dilution blowers, sodium hypochlorite storage tank, sodium hypochlorite feeding equipment. There are many different types of on-site sodium hypochlorite generation systems available and Figure 4 shows generation equipment.

The important variables that determine the overall effectiveness of this system are brine and dilution water feed rates; the temperature of dilute salt water entering the cell and electrode (in particular anode) status. Water is used both to prepare saturated brine and also in the electrolysis process to dilute brine came to the electrical cell. During electrolysis, calcium and magnesium salts that naturally exist in alkali waters with high pH in the cell will precipitate and dissolved quickly and reduce the electrolysis efficiency by accumulating on electrode surfaces. To prevent this, an ion exchange (cationic) softener is used to improve the

water source to reduce the total hardness of feed water typically having less than 15 mg CaCO₃ per liter. Even though the natural hardness of the feed water is low, softening must be performed to

enable removal of the precipitated iron and magnesium in the electrolytic cells and the electrodes [5].

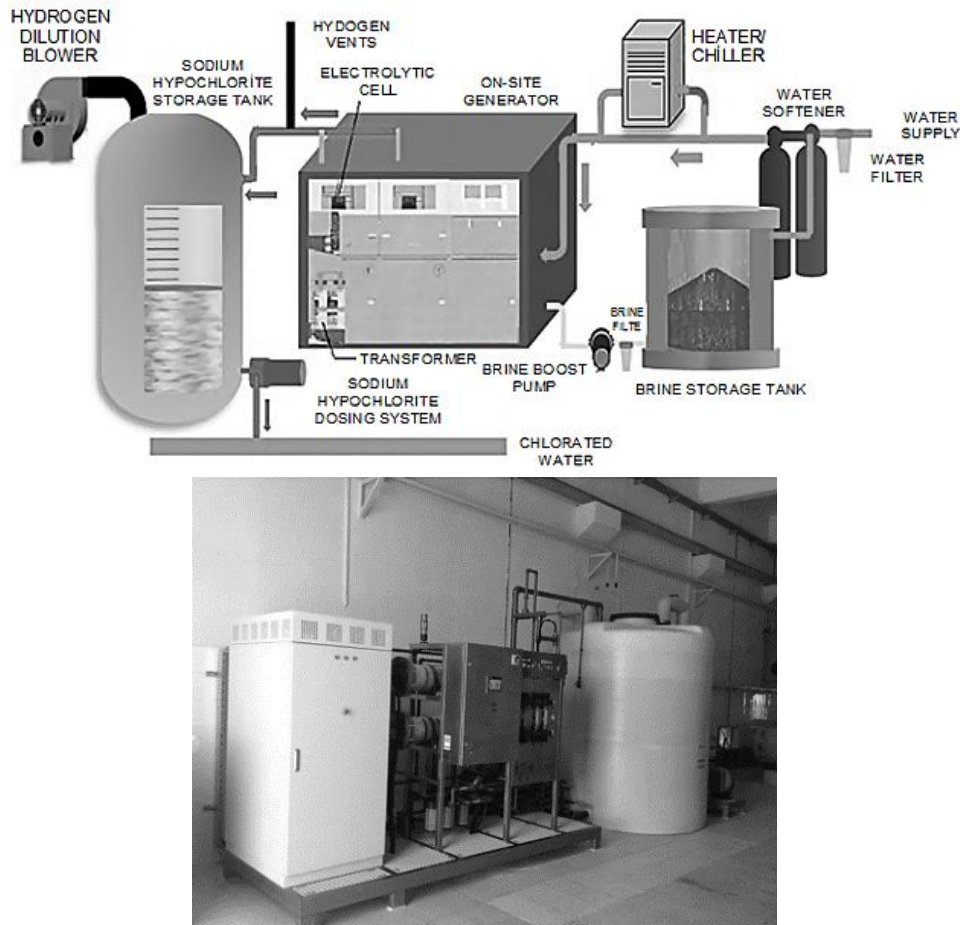


Figure 4. The equipment of on-site sodium hypochlorite generation system

Salt storage tank is composed of brine saturation mechanism, dust collection filter, salt level indicator and brine level indicator. The type made of glass fiber or fiber reinforced polymer and covered must be preferred for large systems and the type which can be opened from top and made of high density polyethylene must be preferred for the smaller systems. Tank sizes vary from manufacturer to manufacturer and tanks have different capacities depending on delivery of salt. Soft water heating and cooling is necessary to

prevent unwanted movement of the reactions in the electrolytic cell and to maintain the water temperature [9]. Electrolyte plates that are the main component of the on-site sodium hypochlorite generation system is made of titanium. Electrodes have a maximum alternating current (AC) of 2.0 kW for 0.45 kg chlorine product. Energy requirement varies from manufacturer to manufacturer. Metal current density in the electrodes will increase the use of electricity and the consumption of salt and electrolytic cell efficiency will reduce, therefore

they must be cleaned regularly. Hydrogen gas is generated during the electrolysis of sodium chloride solution. A portion of this gas is vented and the other portion goes to the cell with sodium hypochlorite solution. Due to the risk of fire and explosion hydrogen gas is worrisome. In order to prevent accumulation of flammable hydrogen gas, a general method, the elements such as hydrogen dilution balancing pipe, dilution blowers, gas sensors and high rates emergency ventilation system are used. Hydrogen gas is approximately 14.5 times lighter than air, therefore rises up quickly. Sodium hypochlorite solution is stored in FRP tanks. The storage time of on-site generated diluted sodium hypochlorite varies optionally but storage time is 3 days in case of average dose and flow rate but it is usually 1 day in case of maximum dose and maximum flow rate.

2. EXPERIMENTAL SECTION

The drinking water projects of Atalan-Osmaniye and Askale-Erzurum with flow rates of 10 L/sec and 59 L/sec have been selected as examples in this study. According to the statement 'the use liquid chlorine for disinfection in the plants having a drinking water flow rate of approximately 20 L/sec is economical' included in the "Drinking Water Treatment Plant Project Process Specification" of the ILBANK [8]. Sodium hypochlorite system (liquid chlorination) has been selected for the flow rate of 10 L/sec and gas chlorination system has been selected for the flow rate of 59 L/sec in these projects by our Bank. The systems selected according to the capacities indicated in the final projects of the subject works given in Table 1 and the ones calculated in Table 2 and the initial investment and operating costs of on-site sodium hypochlorite generation system will be compared.

The situation of selection of sodium hypochlorite system and on-site sodium hypochlorite generation system and the situation of selection of gas chlorination and on-site sodium hypochlorite generation system have been compared in the study.

Table 1. System equipment selected for sodium hypochlorite and chlorine gas

Chlorine System	Sodium Hypochlorite	Gas Chlorination
Flow rate (L/sec)	10	59
Chlorinator Capacity Selection (kg/h)	Dosing pump with a capacity of 0.487 L/h (1 + 1 Spare)	2 pieces of automatic gas chlorinator with 500 g/h capacity (1 +1 Spare), 2 pieces of vacuum regulator (1 +1 Spare) in compliance with them.
Chlorine requirement to be stored (for 15 days) (kg)	1 piece of PE tank with a capacity of 60 l + 3 pieces of 60 L bins	Chlorine cylinders (3 + 2 Spare)
Injector Selection	-	Chlorinator capacity is 500 g/h, and 1 g/h capacity injector has been selected accordingly.
Booster Pump Selection	-	Q=2m ³ /h Hm=3 bar Energy=220V 1 main pump and 1 spare booster pump with a characteristic of Power=1.5 kW will be placed.
Explanations	<p>The final chlorine content is taken as 2 mg/l according to the İlbank specification.</p> <p>Concentration of sodium hypochlorite solution that is commercially available is 0.12.</p> <p>In case of use of 60 L bins Dosing tank and bins will be placed in warehouse.</p> <p>In case of use of 50 L chlorine cylinder. The other equipment that have to be available;</p> <ul style="list-style-type: none"> - EXHAUST FAN - louvre - Electrical heater will be used for heating. - Chlorine leakage sensor – warning (alarm device) will be placed. - Gas mask will be available. <p>Gas chlorination equipment and cylinders will be placed in the chlorine building to be built next to the warehouse.</p>	

3. RESULTS AND DISCUSSION

The prices received from the companies dealing with chlorination system in Turkey have been used for comparison of the costs of the chlorination system in these plants. Table 2 and Table 3 Comparison of initial investment and operation cost for sodium hypochlorite and on-site hypochlorite generation system is given in below. 2015 prices are used in cost calculations.

Table 2. Comparison of sodium hypochlorite system-on-site hypochlorite generation system initial investment cost for flow rate of 10 L/sec

System Name	Equipment Used	Initial Investment Cost
Sodium Hypochlorite	- Dosing pump, - Liquid chlorine tank, - Sodium hypochlorite bin full	800€-5.804€
On-site Sodium Hypochlorite Generation	Generator and system equipment	12,920 £-16,044€
Note: Transport and installation are included in the prices.		

Table 3. Comparison of sodium hypochlorite system-on-site hypochlorite generation system operation cost for flow rate of 10 L/sec

SODIUM HYPOCHLORITE OPERATION COSTS						
Item No	Expenses	Unit	Life cycle (month)	Annual Amount (A)	Unit Price (B)	Annual Total Operation Costs (C=AxB)
1	Sodium Hypochlorite Quantity	Kg	12	6,412	2.63 TL	16,864 TL
GENERAL TOTAL:						16,864 TL
DAILY COST OF SODIUM HYPOCHLORITE (INCLUDING EVERYTHING)						46.20 TL/day
ON-SITE SODIUM HYPOCHLORITE GENERATOR OPERATION COSTS						
Item No	Expenses	Unit	Life cycle (month)	Annual Amount (A)	Unit Price (B)	Annual Total Operation Costs (C=AxB)
1	Salt Expense	Kg	12	1,893	0.3 TL	568 TL
2	Electrolysis Process Electricity Expense	kW	12	3818 (*)	0.25 TL	954.5
GENERAL TOTAL:						1,522.5 TL
ON-SITE SODIUM HYPOCHLORITE GENERATION DAILY COST (INCLUDING EVERYTHING)						4.17 TL/day
(*) = Generators capacity varies depending on the device model of the manufacturer, the salt and electricity consumptions for unit chlorine requirement according to the HypoX VX 100 model of Kemisan company are 3kg and 4.5 kW respectively, the salt and electricity consumptions according to the AE 4 model of Hidrodos company are 3 kg and 7.7 kW respectively. Since electricity consumptions are different, the average value is taken.						

Table 5. Comparison of gas chlorine system-on-site hypochlorite generation system operation cost for flow rate of 59 L/sec

GAS CHLORINE OPERATION COSTS						
Item No	Expenses	Unit	Life cycle (month)	Annual Amount (A)	Unit Price (B)	Annual Total Operation Costs (C=AxB)
1	Gas Chlorine Quantity	kg	12	3,681	1.6 TL	5,889 TL
2	Booster Pump Electricity Expense	kW	12	43,200	0.25 TL	10,800 TL
3	Chlorine gas room Heating Expense	kW	6	15,120	0.25 TL	3,780 TL
4	Maintenance and Repair Expense	Set	12	1	1,500 TL	1,500 TL
GENERAL TOTAL:						20,471 TL
DAILY COST OF SODIUM HYPOCHLORITE (INCLUDING EVERYTHING):						56.08 TL/day
ON-SITE SODIUM HYPOCHLORITE GENERATOR OPERATION COSTS						
Item No	Expenses	Unit	Life cycle (month)	Annual Amount (A)	Unit Price (B)	Annual Total Operation Costs (C=AxB)
1	Salt Expense	kg	12	11,610 (*)	0.3 TL	3,483 TL
2	Electrolysis Process Electricity Expense	kW	12	17,211.5 (**)	0.25 TL	4,302 TL
3	Maintenance and Repair Expense	Set	12	1	between 1,200 - 500 TL	850 TL (average)
GENERAL TOTAL:						8,635 TL
ON-SITE SODIUM HYPOCHLORITE GENERATION DAILY COST (INCLUDING EVERYTHING):						23.66 TL/day
(*) and (**) = Generators capacity varies depending on the device model of the manufacturer, the salt and electricity consumptions according to the HypoX VX 500 model of Kemisan company are 3 kg and 4.5 kW respectively, the generator capacity is 11.30 kg and the salt and electricity consumptions according to the VAULT 25 model of Hidrodos company are 3kg and 4.4 kW respectively.						

Comparison of initial investment and operation cost for chlorine gas and on-site hypochlorite generation system is given in Table 4 and Table 5 below.

Table 4. Comparison of gas system-on-site hypochlorite generation system initial investment cost for flow rate of 59 L/sec

System Name	Equipment Used	Initial Investment Cost
Gas	- Vacuum regulator, Chlorinator, Injector, Chlorine leak system, Collector, Booster pump, Chlorine gas leak detector, Safety kit, Ventilation fan and louvres, Electric heater, Indoor piping, fitting materials and PVC, etc. to be used during installation. Materials, 50 kg chlorine cylinder	6.115£-20.248£
On-site Sodium Hypochlorite Generation	Generator and system equipment	24.375 £ - 48.302 £
Note: Installation, workmanship and transportation are included in the prices.		

4. CONCLUSIONS

Today, the most widely used one among the materials commonly used for disinfection of drinking water is chlorine. The equipment of chlorine disinfection systems is simple and cheap and their use is simple, therefore the operators can be trained in a short time, and also the chlorine amount in the water main can be easily measured since it creates effective and lasting effect, if it is applied at a sufficient dose with low concentration. Chlorine is a disinfectant that can be found easily even in the developing countries.

In this study, the chlorine systems (gas and sodium hypochlorite) selected according to the flow rates in the ILBANK projects were examined by comparing them with sodium hypochlorite

generation system in terms of initial investment and operating costs. It is seen in the comparison that the initial investment cost of the sodium hypochlorite generation system is expensive as compared to the other two systems, but its operating cost is more appropriate.

Before deciding the use of the systems to be used, it is required to perform a feasibility study to determine the ease of transport of municipalities to supply the raw materials for disinfection, their technical capacity and knowledge about use, operation and maintenance of equipment; their economic and financial capacity to meet the cost of investment, operation and maintenance as well as their economic and social situation. Life cycle analysis, equipment and buildings, operation and maintenance, raw material and electrical energy costs must be included in the feasibility study.

5. ACKNOWLEDGMENTS

The author thank HIDRODOS (Disinfection solution, Turkey), SERKUT (Water technologies, Turkey), KUTLAR (Engineering Limited Company, Turkey), KEMİSAN (New Generation Water Treatment Technologies, Turkey), ÇETİNKAYA (Industrial Product Limited Company, Turkey) and AS-SU (Water Technologies, Turkey) for their supports.

6. REFERENCES

1. Howe, K.J., Hand, D.W., Crittenden, J.C., Trussell, R.R., Tchobanoglous, G., 2012. Principles of Water Treatment, Wiley, Hoboken, New Jersey.
2. Benjamin, M.M., Lawler, D.F., 2013. Water Quality Engineering: Physical/chemical Treatment Process. 1st ed., Wiley, Hoboken, New Jersey.
3. Solsona, F., Regional Méndez, J.P., 2003. Water Disinfection. Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences, PeruManitoba Water Stewardship, (2005). Chlorine and Alternative Disinfectants Guidance Manual. Earth Tech (Canada) Inc. [online].
https://www.gov.mb.ca/waterstewardship/odw/reg-info/approvals/odw_chlorine_and_alternative_disinfectants.pdf (Accessed 18 August 2016).
4. EPA, 2011. Water Treatment Manual: Disinfection. [online] EPA Office of Environmental Enforcement. Ireland. https://www.epa.ie/pubs/advice/drinkingwater/Disinfection2_web.pdf (Accessed 23 June 2016).
5. AWWA, 2006. Water Chlorination/ chloramination Practices and Principles: Manual of Water Supply Practices, 2nd ed. American Water Works Association Manuals M20, Denver.
6. LeChevallier, M.W., Au, K.K., 2004. Water Treatment and Pathogen Control Process Efficiency in Achieving Safe Drinking-water, WHO, IWA Publishing, UK.
7. Iller Bank Inc., 2013. Drinking Water Treatment Plant Project Process Specification. https://www.ilbank.gov.tr/dosyalar/icmesuyu/A_RITMA_TESISI_PROSES.pdf (Accessed 28 September 2015). [online]
8. Black & Veatch Corporation, 2010. White's Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants. 5th ed.. Wiley, Hoboken, New Jersey.

Performance and Economic Analysis of a Variable Refrigerant Flow (VRF) System

Alper YILDIRIM¹, Ertaç HÜRDOĞAN^{*2}, Coşkun ÖZALP²

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojisi Bölümü, Osmaniye

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

Geliş tarihi: 04.05.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Abstract

This study deals with the exergetic modeling and performance/cost evaluation of a variable refrigerant flow (VRF) air conditioning system. An experimental setup was established to investigate the system performance under cooling conditions. System mainly consists of one outdoor unit and two indoor units. Outdoor unit equipped with two compressors (one variable speed and one constant speed), condenser, and four way valve is connected to two indoor units. Exergy, cost, energy and mass (EXCEM) analysis was applied to this system for the first time to the best of the authors' knowledge. The relations between thermodynamic losses and capital costs were also parametrically investigated. Experimental results show that the greatest irreversibility (exergy destruction) occurs in the condenser, followed by the evaporators. Exergy efficiency of the whole system on the exergetic product/fuel basis was calculated to be 85.84% at a reference state temperature of 25 °C. Exergy efficiency and exergy loss rate were in the range of 85.27-86.55% and 0.919-0.916 MW/USD, respectively, based upon the conditions and parameters considered in the present study.

Keywords: Variable refrigerant flow, Energy analysis, Exergy analysis, Exergoeconomic

Değişken Soğutucu Akışkan Debili Bir Sistemin Performans ve Ekonomik Analizi

Öz

Bu çalışma kapsamında, değişken soğutucu akışkan debili (VRF) bir klima sisteminin ekserjetik modellemesi ve performans değerlendirmesi ele alınmıştır. Soğutma koşulları için sistem performansını araştırılabilmek için bir deney düzeneği kurulmuştur. Sistem esas olarak bir dış üniteden ve iki iç üniteden oluşmaktadır. İki adet kompresör (bir değişken hız ve bir sabit hız), kondenser ve dört yollu valf ile donatılmış dış ünite, iki iç üniteye bağlanmıştır. Bu çalışmada sisteme ekserji, maliyet, enerji ve kütle (EXCEM) analizi uygulanmış ve termodinamik kayıplar ile maliyetler arasındaki ilişkiler parametrik

*Sorumlu Yazar (Corresponding author): Ertaç HÜRDOĞAN, ehurdogan@osmaniye.edu.tr

olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, en büyük tersinmezliğin (ekserji tahribatının) kondenserde meydana geldiğini ve bunu evaporatörlerin izlediğini göstermektedir. Ekserjetik ürün/yakıt bazında sistemin ekserji verimi, 25 °C referans sıcaklığında % 85,84 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada ele alınan koşullarda, sistemin ekserji verimi ve ekserji kayıp oranları sırasıyla % 85,27-86,55 ve 0,919-0,916 MW/USD aralığındadır.

Anahtar Kelimeler: Değişken soğutucu akışkan debi, Enerji analizi, Ekserji analizi, Ekserjekonomi

1. INTRODUCTION

One of the main purposes of buildings is to provide a comfortable environment for its occupants. Comfort conditions are provided with heating, cooling, ventilating and air conditioning (HVAC) systems. These systems are major energy users in residential and commercial buildings. Since the standard of living and utilization of HVAC systems are rising dramatically in the world, the amount of energy consumed for heating/cooling is also increasing and is estimated to be more than half of the total energy consumption in buildings [1-3].

There are a wide range of air conditioning systems such as basic window-fitted units, small split systems, medium scale package units, large chilled water systems, and currently the variable refrigerant flow (VRF) systems. VRF is an air-condition system configuration where there is one outdoor unit and multiple indoor units. The term variable refrigerant flow refers to the ability of the system to control the amount of refrigerant flowing to the multiple indoor units, enabling the use of many indoor units of differing capacities and configurations connected to a single outdoor unit. VRF systems include sophisticated controls integrated with the units that may not require a separate building automation system, when such a system is part of the project requirements. VRF systems include self-diagnostics and monitoring points, as well as the ability to communicate with a wide variety of other building systems with non-proprietary building automation communication protocols. VRF systems combine many of the features of other HVAC systems, which offer energy efficiency with a limited number of components relative to systems with central plants. VRF systems have limited space requirements,

particularly for the distribution system inside the building [4-6].

A number of investigations are reported in the literature regarding of the VRF systems. Aynur [7] presented the overview of the configurations of the outdoor and indoor units of a multi-split variable refrigerant flow system, and its operations, applications, marketing and cost. This review study revealed that even though the main drawback of the VRF system was the high initial cost compared to the common air conditioning systems, due to the energy saving potential of the VRF system, the estimated payback period of the VRF system compared to an air cooled chiller system in a generic commercial building could be about 1.5 year. Jain et al. [8] considered the problem of designing a scalable control architecture for large-scale variable-refrigerant-flow systems. The results showed that the ability of the proposed control architecture and design to provide both high performance and reduced energy consumption was demonstrated through a simulated case study. Kwon et al. [9] installed multifunctional variable refrigerant flow (MFVRF) in an office building and fully instrumented to measure the performance of the system under a wide range of outdoor weather conditions. The effects of a part-load ratio, a hot water demand and a heat recovery operation mode on the performance of the MFVRF system were investigated in a field test for the heating and shoulder seasons. They showed that the daily performance factor was 2.14 and 3.54 when the ratio of daily total cooling energy to daily total energy was 13.0% and 28.4%, respectively, at the similar outdoor weather conditions. Aynur et al. [10-11] investigated energy saving and indoor air condition enhancing potentials by integrating the variable refrigerant flow and heat pump desiccant (HPD) systems in a field performance test during

heating and cooling season. Three different operating modes: non-ventilated, HPD ventilation assisted and HPD ventilation–dehumidification assisted VRF systems were investigated. It was concluded that the HPD ventilation–dehumidification assisted VRF outdoor units consume less energy than the HPD ventilation assisted ones, but more than the non-ventilated ones, while providing the best indoor thermal comfort and indoor air quality conditions. For the total system, the HPD ventilation–dehumidification assisted VRF systems consume less energy than the HPD ventilation assisted ones. Zhu et al. [12] presented an optimal control strategy for minimizing the energy consumption of variable refrigerant flow (VRF) and variable air volume (VAV) combined air conditioning systems. The combined system was proposed to take advantages of VAV systems to solve the ventilation problem of VRF systems. Results indicated that the optimal control strategy reduces energy consumption of the combined system by 32.17% in summer and 2.47% in winter. The overall energy efficiency was enlarged by 12.18% in summer and 3.37% in winter, compared with the benchmark operation strategy. Aynur et al. [13] compared variable air volume (VAV) and variable refrigerant flow (VRF) systems in an existing office building environment under the same outdoor conditions and internal load profiles for an entire cooling season. It was found that the VRF system promised 27.1–57.9% energy-saving potentials depending on the system configuration, indoor and outdoor conditions, when compared to the VAV system. Liu and Hong [14] conducted a preliminary comparison of energy efficiency between the air-source variable refrigerant flow and ground source heat pump (GSHP) systems using available building energy analysis software and the performance data/curves from VRF and GSHP equipment manufacturers. It was shown that, for conditioning the same small office building, GSHP system is more energy efficient than VRF system. Kwon et al. [15] investigated the effects of the subcooling heat exchanger (SCHX) on the performance of the multi-split variable refrigerant flow system with long pipe in a field test during the cooling season. It was found that VRF system with SCHX improved the cooling

performance factor (CPF) about 8.5% under similar outdoor temperature profiles, as compared to the baseline without SCHX. However, when the fraction of total refrigerant that passes through the SCHX was higher than 5.27%, the CPF starts to decrease due to the decreased refrigerant mass flow rate through the evaporators.

During the past decade, there has been an increasing interest in using exergy as a potential analysis tool for design, analysis and performance evaluation of energy systems [16-19]. The thermodynamic quantity exergy, which can be used to assess and improve energy systems, can help better understand the benefits of utilizing green energy by providing more useful and meaningful information than energy provides. Exergy analysis is employed to detect and to evaluate quantitatively the causes of the thermodynamic imperfection of the process under consideration. Exergy analysis has been applied to different types of air conditioning systems by various researchers [20-24].

Although VRF systems are introduced in the world more than 25 years ago and currently very popular in many countries, their exergetic performance is yet unknown and works related to exergetic and exergoeconomic analysis of a VRF system using EXCEM analysis are not available in current literature. This provided the prima motivation behind doing the present study. In this study, we have conducted a comprehensive exergy and exergoeconomic assessment of a VRF system.

2. EXPERIMENTAL SET-UP

Figure 1 shows schematic view of VRF system studied. System mainly consists of one outdoor unit and two indoor units. Outdoor unit equipped with two compressors (one variable speed and one constant speed), condenser, and four way valve is connected to two indoor units and each indoor unit is installed into an office rooms. A variable speed compressor provides the variable refrigerant mass flow rate to the system depending on the heating or cooling load of the thermal zones by changing the compressor operation frequency. Instead, the constant speed compressor runs in order to cover

the higher cooling or heating loads than what the variable speed compressor can cover. In the system, ceiling/floor and cassette type indoor units are used for air conditioning of different zones. Each indoor unit equipped with fan to force the air through the heat exchanger and electronic expansion valve to control the refrigerant mass flow rate. Figure 2 shows the photographic view of outdoor and indoor units used in this study.

In this study, the system was operated in cooling mode so that refrigerant flow paths in the cooling mode are shown in Figure 1. The refrigerant (R410A) enters the compressor (I) and is compressed to the condenser pressure. The temperature of the refrigerant increases during this compression process to well above the temperature of the surrounding medium. The refrigerant then enters the condenser (II) at state 1 and leaves as saturated liquid as a result of heat rejection (process 10-11) to the surroundings. The refrigerant at state 2 is throttled to the evaporator pressure by passing it through an expansion valves (III, V). The temperature of the refrigerant drops below the temperature of the rooms during this process. The refrigerant enters the evaporators (IV, VI) at state 4 and 7 as a low-quality saturated mixture, and it completely evaporates by absorbing heat (process 12-13 and process 14-15) from the rooms. The cycle is completing as the refrigerant leaves the evaporators (state 5 and 8) and reenters the compressor (state 9).

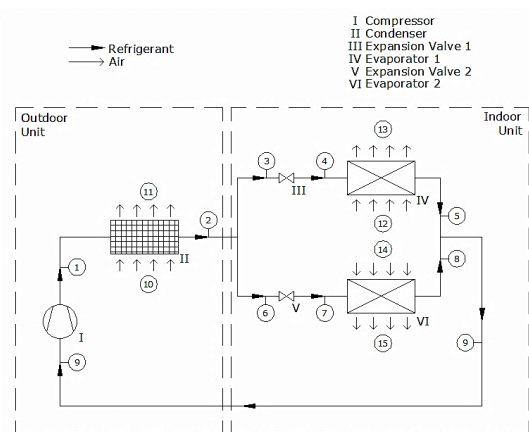


Figure 1. A schematic view of the VRF system studied

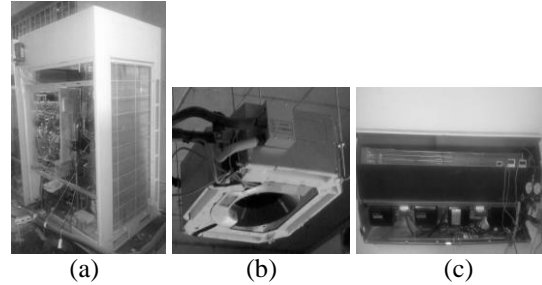


Figure 2. The photographic view of outdoor (a) and indoor units (b,c)

Duracomm digital thermometers and Pakkens manometers were installed on the refrigerant circuit to measure the temperature and pressure of the refrigerant at the inlet and outlet of each component, as shown in Figure 1. A turbine type flow meter was used to measure the total refrigerant flow rate of indoor units. Watt meter was used to measure the power consumption of the outdoor and indoor units. The real time system information, such as the expansion valves opening, thermostat “on/off”, compressor frequency, and fan speed, were recorded via the local multi-split VRF system network program. Uncertainty analysis is needed to prove the accuracy of the experiments. An uncertainty analysis is performed using the method described by Holman [25]. Accuracies of the measuring devices and uncertainty of the calculated parameters are presented in Table 1.

Table 1. Accuracy of the measuring devices and the uncertainty of the calculated parameters

Measurements	Accuracy
Temperature (air)	± 0.2 °C
Temperature (refrigerant)	± 0.4 °C
Relative humidity	$\pm 3\%$
Pressure	± 4.7 kPa
Flow meter	$\pm 0.5\%$ of flow rate
Watt meter	$\pm 0.5\%$ of measur.
Calculated parameters	Uncertainty (%)
Power consumption	± 1.8
COP	± 2.5
Exergy efficiency	± 3.2

3. MODELING AND ANALYSIS

Mass, energy and exergy balances are employed to find the heat input, the rate of exergy destruction, and energy and energy efficiencies [23].

The mass and energy balance for a steady state open system can be written as:

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out} \quad (1)$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{out} h_{out} - \sum \dot{m}_{in} h_{in} \quad (2)$$

Here, subscripts in and out shows inlet and outlet states, \dot{Q} is the heat rate, \dot{W} is the work rate, h is the specific enthalpy and \dot{m} is the mass flow rate.

The general exergy balance can be expressed in the rate form as:

$$\dot{E}x_{in} - \dot{E}x_{out} = \dot{E}x_{dest} \quad (3a)$$

where $\dot{E}x_{in} - \dot{E}x_{out}$ stands for the rate of net exergy transfer by heat, work and mass and $\dot{E}x_{dest}$ stands for the rate of net exergy destruction. The general exergy balance can also written as:

$$\dot{E}x_{heat} - \dot{E}x_{work} + \dot{E}x_{mass,in} - \dot{E}x_{mass,out} = \dot{E}x_{dest} \quad (3b)$$

Using Eq. (3b), the rate of formation of the general exergy balance can also be written as:

$$\sum \left(1 - \frac{T_0}{T_k} \right) \dot{Q}_k - \dot{W} + \sum \dot{m}_{in} \psi_{in} - \sum \dot{m}_{out} \psi_{out} = \dot{E}x_{dest} \quad (4)$$

where \dot{Q}_k is the heat transfer rate through the boundary at temperature T_k at location k , \dot{W} is the work rate, ψ is the flow (specific) exergy, h is the enthalpy and the subscript zero indicates properties at the reference (dead) state of P_o and T_o .

The specific flow exergy of refrigerant or water is evaluated as:

$$\Psi_{ref,water} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5)$$

The total flow exergy of air is determined as [16]:

$$\begin{aligned} \Psi_a = & (C_{p,a} + \omega C_{p,v}) T_0 [(T/T_0) - 1 - \ln(T/T_0)] \\ & + (1 + 1.6078\omega) T_0 \ln(P/P_0) \\ & + R_a T_0 \left\{ \frac{(1 + 1.6078\omega) \ln(1 + 1.6078\omega_0/\omega)}{(1 + 1.6078\omega) + 1.6078\omega_0/\omega} \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

where s is the entropy and the specific humidity ratio is:

$$\omega = \dot{m}_v / \dot{m}_a \quad (7)$$

The exergy rate is determined as:

$$\dot{E}x = \dot{m} \psi \quad (8)$$

Coefficient of the performance (COP) of the system is defined as the ratio between the total cooling capacity of the indoor units (\dot{Q}_{TCC}) and total energy input (\dot{W}_T) to the system:

$$COP = \frac{\dot{Q}_{TCC}}{\dot{W}_T} \quad (9)$$

where,

$$\dot{Q}_{TCC} = \dot{Q}_{evap,z1} + \dot{Q}_{evap,z2} \quad (10)$$

$$\dot{W}_T = \dot{W}_{comp} + \dot{W}_{condfan} + \dot{W}_{evapfan} \quad (11)$$

Exergy efficiency can be expressed as the ratio of the exergetic product (\dot{P}) to the exergetic fuel (\dot{F}):

$$\varepsilon = \frac{\text{Exergetic Product}}{\text{Exergetic Fuel}} = \frac{\dot{P}}{\dot{F}} \quad (12)$$

Van Gool's improvement potential on a rate basis, denoted \dot{IP} , is expressible as:

$$\dot{IP} = (1 - \varepsilon)(\dot{E}x_{in} - \dot{E}x_{out}) \quad (13)$$

The relative irreversibility (RI) is evaluated as:

$$RI = \frac{\dot{E}x_{dest,i}}{\dot{E}x_{dest,tot}} = \frac{\dot{I}_i}{\dot{I}_{Tot}} \quad (14)$$

where the subscript "i" denotes the it device.

Cost is an increasing, nonconserved quantity. The general balance equation can be written for cost as:

$$K_{in} + K_{gen} - K_{out} = K_a \quad (15)$$

where K_{in} , K_{out} , and K_a represent, respectively, the cost associated with all inputs, outputs and accumulations for the system. K_{gen} corresponds to the appropriate capital and other costs associated with the creation and maintenance of a system.

$$K_{eq} + K_{C,M} = K_{gen} \quad (16)$$

Exergy losses can be identified from the exergy rate balance in Eq. (3). There are two types of exergy losses: the "waste exergy output" which represents the loss associated with exergy that is emitted from the system, and the "exergy consumption" which represents the internal exergy loss due to process irreversibilities. These two exergy losses sum to the total exergy loss. Hence, the loss rate based on exergy, \dot{L}_{ex} , is defined as [26],

$$\dot{L}_{ex} = \dot{E}x_{con} + \dot{E}x_{out,W} \quad (17)$$

For a thermal system operating normally in a continuous steady-state steady-flow process mode, the accumulation terms in balance equations are zero. Hence all losses are associated with \dot{L}_{ex} . The exergy loss rate can be obtained through the following equations [26]:

$$\dot{L}_{ex} = \sum_{in} Ex. flux rates - \sum_p Ex. flux rates \quad (18)$$

where the summations are over all input streams and all product output streams.

A parameter, \dot{R} is defined as the ratio of thermodynamic loss rate \dot{L} to capital cost K as follows [26]:

$$\dot{R} = \frac{\dot{L}}{K} \quad (19)$$

The value of \dot{R} generally depends on whether it is based on energy loss rate (in which case it is denoted \dot{R}_{en}), or exergy loss rate (\dot{R}_{ex}), while in this analysis \dot{R}_{ex} values were used:

$$\dot{R}_{ex} = \frac{\dot{L}_{ex}}{K} \quad (20)$$

The following assumptions were made during the analyses:

- All processes are steady-state and steady-flow with negligible potential and kinetic energy effects and no chemical or nuclear reactions.
- Heat transfer to the system and work transfer from the system are positive.
- Heat transfer and refrigerant pressure drops in the tubing connecting the components are neglected.

Mass and energy balances as well as exergy destructions obtained from exergy balances for each of the components illustrated in Figure 1 can be expressed as follows:

Compressor (I):

$$\dot{m}_9 = \dot{m}_1 = \dot{m}_r \quad (21a)$$

$$\dot{W}_{comp} = \dot{m}_r (h_1 - h_9) \quad (21b)$$

$$\dot{E}x_{dest,I} = \dot{E}x_9 + \dot{W}_{comp} - \dot{E}x_1 \quad (21c)$$

Condenser (II):

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_r ; \dot{m}_{10} = \dot{m}_{11} = \dot{m}_{a,cond} \quad (22a)$$

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_r (h_1 - h_2) ; \dot{Q}_{cond} = \dot{m}_{a,cond} (h_{11} - h_{10}) \quad (22b)$$

$$\dot{E}x_{dest,II} = \dot{E}x_1 + \dot{E}x_{10} + \dot{W}_{cond.fan} - (\dot{E}x_2 + \dot{E}x_{11}) \quad (22c)$$

Expansion valve 1 (III):

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_{r,z1} \quad (23a)$$

$$h_3 = h_4 \quad (23b)$$

$$\dot{E}x_{dest,III} = \dot{E}x_3 - \dot{E}x_4 \quad (23c)$$

Evaporator 1 (IV):

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_5 = \dot{m}_{r,z1} ; \dot{m}_{12} = \dot{m}_{13} = \dot{m}_{a,evap,z1} \quad (24a)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{evap,z1} &= \dot{m}_{r,z1} (h_5 - h_4); \\ \dot{Q}_{evap,z1} &= \dot{m}_{a,evap,z1} (h_{12} - h_{13}) \end{aligned} \quad (24b)$$

$$\dot{E}x_{dest,IV} = \dot{E}x_4 + \dot{E}x_{12} + \dot{W}_{evap.fan} - (\dot{E}x_5 + \dot{E}x_{13}) \quad (24c)$$

Expansion valve 2 (V):

$$\dot{m}_6 = \dot{m}_7 = \dot{m}_{r,z2} \quad (25a)$$

$$h_6 = h_7 \quad (25b)$$

$$\dot{E}x_{dest,V} = \dot{E}x_6 - \dot{E}x_7 \quad (25c)$$

Evaporator 2 (VI):

$$\dot{m}_7 = \dot{m}_8 = \dot{m}_{r,z2} ; \dot{m}_{14} = \dot{m}_{15} = \dot{m}_{a,evap,z2} \quad (26a)$$

$$\dot{Q}_{evap,z2} = \dot{m}_{r,z2} (h_8 - h_7) \dot{Q}_{evap,z2} = \dot{m}_{a,evap,z2} (h_{14} - h_{15}) \quad (26b)$$

$$\dot{E}x_{dest,VI} = \dot{E}x_7 + \dot{E}x_{14} + \dot{W}_{evap.fan} - (\dot{E}x_8 + \dot{E}x_{15}) \quad (26c)$$

Exergy efficiencies of the variable refrigerant flow (VRF) system studied and its components are evaluated as follows:

Overall VRF system (I-VI):

$$\varepsilon_{sys} = \frac{\sum \dot{P}_{sys}}{\sum \dot{F}_{sys}} \quad (27)$$

Compressor (I):

$$\varepsilon_I = \frac{\dot{E}x_1 - \dot{E}x_9}{\dot{W}_{comp}} \quad (28)$$

Condenser (II):

$$\varepsilon_{II} = \frac{\dot{E}x_{11} - \dot{E}x_{10}}{\dot{E}x_1 - \dot{E}x_2 + \dot{W}_{cond.fan}} \quad (29)$$

Expansion valve 1 (III):

$$\varepsilon_{III} = \frac{\dot{E}x_4}{\dot{E}x_3} \quad (30)$$

Evaporator 1 (IV):

$$\varepsilon_{IV} = \frac{\dot{E}x_{12} - \dot{E}x_{13}}{\dot{E}x_5 - \dot{E}x_4 + \dot{W}_{evap.fan}} \quad (31)$$

Expansion valve 2 (V):

$$\varepsilon_V = \frac{\dot{E}x_7}{\dot{E}x_6} \quad (32)$$

Evaporator 2 (VI):

$$\varepsilon_{IV} = \frac{\dot{E}x_{14} - \dot{E}x_{15}}{\dot{E}x_8 - \dot{E}x_7 + \dot{W}_{evap.fan}} \quad (33)$$

4. RESULTS AND DISCUSSION

A series of experiments were performed during the cooling season of 2014 to determine the performance characteristics of the system investigated. All the experiments were carried out during continuous eight hours, from 9.00 a.m. to 5.00 p.m. In the present study, the results obtained from the experiments on 15 July 2014 at 14:00, which were typical, are given and discussed. In the calculations, the dead (reference) state values were considered to be 25 °C and 101.325 kPa. The value for the dead state humidity ratio was taken to be daily mean value of ambient air humidity ratio.

The thermodynamic properties of air and R410A were found by using Engineering Equation Solver (EES) software package program.

Temperature, pressure and mass flow rate data for refrigerant R410A and air are given in Table 2 according to their state numbers specified in Figure 1. The exergy rates were also calculated for each state as presented in Table 2, while exergy destruction, exergy efficiency, improvement potential rate ($\dot{I}P$) and relative irreversibility (RI) data for representative components of the whole system are given in Table 3.

Table 2. Exergy analysis results of the VRF system

State no.	Description	Fluid	Phase	Temperature (°C)	Pressure (kPa)	Specific humidity ratio (kg water/kg dry air)	Specific enthalpy (kJ/kg)	Specific entropy (kJ/kgK)	Mass flow rate (kg/s)	Specific exergy (kJ/kg)	Exergy rate (kW)
0	-	Moist air	Dead state	25	101.325	0.0166	-	-	-	-	-
0'	-	Refrigerant (R410A)	Dead state	25	101.325	-	321.1	1.411	-	-	-
1	Compressor outlet/Condenser inlet	Refrigerant	Super heated vapor	84.7	2840	-	341.5	1.121	0.149	106.820	15.92
2	Condenser outlet	Refrigerant	Liquid	45.1	2740	-	135.6	0.487	0.149	89.852	13.39
3	Expansion valve 1 inlet	Refrigerant	Liquid	38.0	2688	-	122.6	0.446	0.084	89.070	7.48
4	Expansion valve 1 outlet/Evaporator 1 inlet	Refrigerant	Mixture	26.0	1694	-	122.6	0.451	0.084	87.580	7.36
5	Evaporator 1 outlet	Refrigerant	Super heated vapor	17.3	994	-	295.0	1.075	0.084	74.028	6.22
6	Expansion valve 2 inlet	Refrigerant	Liquid	39.2	2650	-	124.3	0.452	0.065	88.982	5.78
7	Expansion valve 2 outlet/Evaporator 2 inlet	Refrigerant	Mixture	29.0	1833	-	124.3	0.455	0.065	88.088	5.73
8	Evaporator 2 outlet	Refrigerant	Super heated vapor	19.2	1103	-	294.3	1.063	0.065	76.904	5.00
9	Compressor inlet	Refrigerant	Super heated vapor	12.1	710	-	296.6	1.114	0.149	64.006	9.54
10	Condenser inlet	Air	Gas	36.1	101.325	0.017	81.9	-	3.920	0.230	0.90
11	Condenser outlet	Air	Gas	40.2	101.325	0.017	89.6	-	3.920	0.400	1.57
12	Evaporator 1 inlet	Air	Gas	26.1	101.325	0.012	55.5	-	0.660	0.019	0.01
13	Evaporator 1 outlet	Air	Gas	13.3	101.325	0.008	34.3	-	0.660	0.596	0.39
14	Evaporator 2 inlet	Air	Gas	25.9	101.325	0.012	58.4	-	0.600	0.072	0.04
15	Evaporator 2 outlet	Air	Gas	15.8	101.325	0.009	39.4	-	0.580	0.390	0.23

Table 3. Exergy, improvement potential rate ($\dot{I}P$) and relative irreversibility (RI) data for representative components of the whole system

Item number	Component	Exergetic product (exergy output) rate \dot{P} (kW)	Exergetic fuel (exergy input) rate \dot{F} (kW)	Exergy destruction rate $\dot{E}x_{det}$ (kW)	Exergy efficiency ϵ (%)	Exergetic improvement potential rate $\dot{I}P$ (kW)	Relative irreversibility RI (%)
I	Compressor	6.38	6.45	0.07	98.97	0.0007	1.26
II	Condenser	0.67	2.53	2.71	26.36	1.9981	51.54
III	Expansion valve 1	7.33	7.45	0.12	98.33	0.0021	2.37
IV	Evaporator 1	0.38	1.13	1.25	33.62	0.8316	23.80
V	Expansion valve 2	5.76	5.82	0.06	99.00	0.0006	1.11
VI	Evaporator 2	0.18	0.73	1.05	24.99	0.7867	19.92
I-VI	Overall system	20.71	24.12	5.26	85.84	0.7452	100.00

COP=3.096

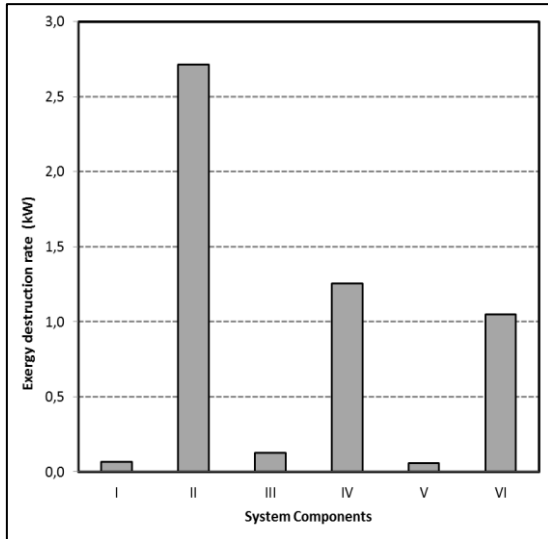


Figure 3. Exergy destruction rate values of the components used in the system

As can be seen from Table 3 and Figure 3, the greatest exergy destruction on the system occurs in the condenser, followed by the evaporator 1, evaporator 2 and the other components. It is clear from Table 3 that the highest irreversibility occurs in condenser, evaporator 1 and evaporator 2 with the relative irreversibility of 51.54%, 23.80% and 19.92% for the whole system, respectively. As can be observed the influence of the irreversibility in the outdoor unit represents more than 50% of the whole system. This is mainly due to heat transfer process in the condenser and also in the heat and friction losses in the mobile parts of the compressors and condenser fans. The exergy efficiency and the coefficient of performance of the system were calculated to be 85.84% and 3.09, respectively.

Van Gool's improvement potential on the rate basis ($\dot{I}P$) given in Eq. (13) is calculated for the each component of the system using the values listed in Table 3. It is found that the condenser has the highest $\dot{I}P$ value with 1.998 kW, followed by the evaporator 1 and evaporator 2 with 0.832 and 0.787 kW, respectively.

The main parameters for performing exergoeconomic analysis that were calculated from

the experimental data are listed in Table 4. The costs shown in this table are in 2014 US dollars. The exergoeconomic analysis for the system components showed that condenser, evaporator 1 and evaporator 2 were inefficient due to the overall system (OS) results. Particularly, evaporator 1 is important as its exergy loss rate (\dot{R}_{ex}) value was 3.55 times greater than OS.

Table 4. Performance parameters for the VRF system investigated

Item No	Component	K ^a (USD)	ε (%)	$\dot{I}P$ (kW)	\dot{I}_{ex} (kW)	\dot{R}_{ex} (MW/USD)
I	Compressor	1350	98.97	0.0007	0.0700	0.0519
II	Condenser	2785	26.36	1.9981	2.7100	0.9731
III	Expansion Valve 1	250	98.33	0.0021	0.1200	0.4800
IV	Evaporator 1	385	33.62	0.8316	1.2500	3.2468
V	Expansion Valve 2	250	99.00	0.0006	0.0600	0.2400
VI	Evaporator 2	742	24.99	0.7867	1.0500	1.4151
I-VI	Overall system	5762	85.84	3.619	5.2600	0.9129

The analyses were performed at different dead state temperatures ranged from 20 to 35 °C. Figure 4 and 5 illustrate variation of exergy efficiency (ε) and \dot{R}_{ex} with different dead state temperatures for VRF system. First of all, Figure 5 indicated that the variation of \dot{R}_{ex} was obtained to be linear and decreases with the increase of dead state temperature. While the exergy efficiencies were obtained to vary between 85.27– 86.55%, \dot{R}_{ex} were in the range of 0.916–0.919 MW/USD, respectively (Figure 4 and 5). It is also obvious from Figure 4-5 that exergy efficiency values increased as the temperature increased to the contrary of the \dot{R}_{ex} .

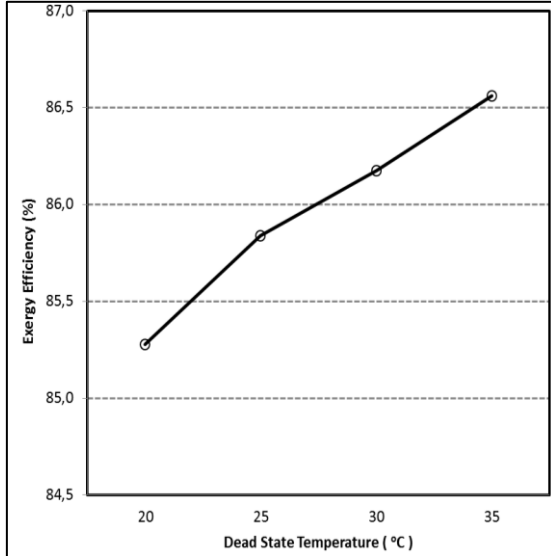


Figure 4. Variation of exergy efficiency values with dead state temperatures for the VRF system

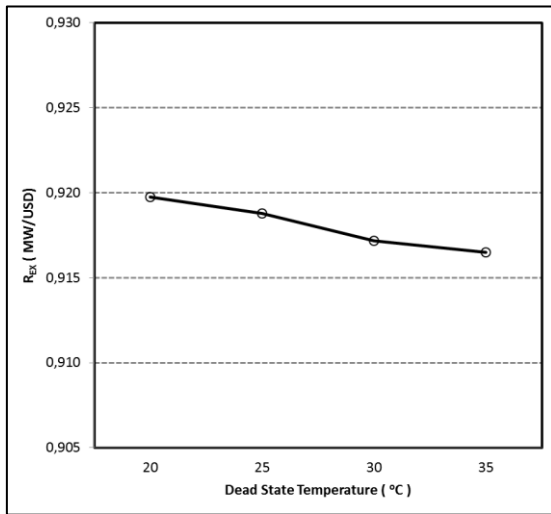


Figure 5. Variation of \dot{R}_{ex} values with dead state temperatures for the VRF system

5. CONCLUSIONS

Variable refrigerant flow system for residences were exergetically modeled in this study, while the performance of a VRF system along with their

essential system components was assessed through a comprehensive exergy analysis in the cooling mode. The main conclusions drawn from the results of the present study may be listed as follows:

- Exergy efficiency of the whole system on the exergetic product/fuel basis was calculated to be 85.84% at a reference state temperature of 25 °C.
- The COP value was found to be 3.09 for the whole system.
- The condenser has the maximum exergy destruction rate, followed by the evaporators.
- According to Van Gool's improvement potential rate (IP), the condenser had the highest IP value, followed by the evaporators.
- The exergy efficiency of the system increased from 85.27-86.55% with increasing the reference state temperatures from 20 to 35 °C. These values can be increased by eliminating the factors like heat and friction losses that cause irreversibilities in the system.
- Exergy loss rate value of the system decreased from 0.919-0.916 MW/USD with increasing the reference state temperatures from 20 to 35 °C.
- There are various ways to describe exergy efficiency in the literature. In this regard, the use of the efficiency definition on the benefit/fuel basis is more convenient than that on the output/input basis.
- It may be concluded that exergy analysis is a useful tool for determining the locations, types and true magnitudes of energy losses, and therefore help in the design of more efficient energy systems. It is also a way to a sustainable development and reveals whether or not (and by how much) it is possible to

improve variable VRF systems by reducing inefficiencies.

- For a future work, the performance of the system could be evaluated in the heating mode.

6. REFERENCES

1. Huang, W.Z., Zaheeruddin, M., Cho, S.H., 2006. Dynamic Simulation of Energy Management Control Functions for HVAC Systems in Buildings, *Energy Conversion and Management* 47 (7–8), 926-943.
2. International Energy Agency (IEA), World Energy Outlook, OECD/IEA, France, 2012. www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2012/.
3. Ürge-Vorsatz, D., Cabeza, L., Serrano, S., Barreneche C., Petrichenko, K., 2015. Heating and Cooling Energy Trends and Drivers in Buildings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41, 85-98.
4. Goetzler, W., 2007. Variable Refrigerant Flow Systems, *ASHRAE Journal* 49 (4), 24-31.
5. Aynur, T.N., Hwang, Y., Radermacher, R., 2008a. Experimental Evaluation of the Ventilation Effect on the Performance of a VRV System in Cooling Mode-Part I: Experimental evaluation, *HVAC&R Research*, Vol.14, No.4, 615-630.
6. Aynur, T.N., Hwang, Y., Radermacher, R., 2008b. Simulation Evaluation of the Ventilation Effect on the Performance of a VRV System in Cooling Mode—Part II: Simulation Evaluation. *HVAC&R Research*, Vol. 14, No. 5, 783-795.
7. Aynur, T.N., 2010. Variable Refrigerant Flow Systems: A review, *Energy and Buildings* 42: 1106-1112.
8. Jain, N., Koelna, J., Sundaramb, S., Alleynea, A., 2014. Partially Decentralized Control of Large-scale Variable-Refrigerant-Flowsystems in Buildings, *Journal of Process Control* 24, 798-819.
9. Kwon, L., Lee, H., Hwang, Y., Radermacher, R., Kim, B., 2014. Experimental Investigation of Multifunctional VRF System in Heating and Shoulder Seasons, *Applied Thermal Engineering* 66, 355-364.
10. Aynur, T.N., Hwang, Y., Radermacher, R., 2010a. Integration of Variable Refrigerant Flow and Heat Pump Desiccant Systems for the Cooling Season, *Applied Thermal Engineering* 30, 917-927.
11. Aynur, T.N., Hwang, Y., Radermacher, R., (2010b). Integration of Variable Refrigerant Flow and Heat Pump Desiccant Systems for the Heating Season, *Energy and Buildings* 42, 468-476.
12. Zhu, Y., Jin, X., Fang, X., Du, Z., 2014. Optimal Control of Combined Air Conditioning System with Variable Refrigerant Flow and Variable Air Volume for Energy Saving, *International Journal of Refrigeration* 42, 14-25.
13. Aynur, T.N., Hwang, Y., Radermacher, R., 2009. Simulation Comparison of VAV and VRF Air Conditioning Systems in an Existing Building for the Cooling Season, *Energy and Buildings* 41: 1143-1150.
14. Liu, X., Hong, T., 2010. Comparison of Energy Efficiency between Variable Refrigerant Flow Systems and Ground Source Heat Pump Systems, *Energy and Buildings* 42, 584-589.
15. Kwon, L., Hwang, Y., Radermacher, R., Kim, B., 2012. Field Performance Measurements of a VRF System with Sub-cooler in Educational Offices for the Cooling Season. *Energy and Buildings* 49, 300-305.
16. 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, 593-661.
17. Hürdoğan, E., 2016. Thermodynamic Analysis of a Diesel Engine Fuelled with Diesel and Peanut Biodiesel, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 35 (3), 891-897.
18. Peng, S., Hong, H., 2015. Exergy Analysis Of Solar Gas Turbine System Coupled With Kalina Cycle, *Int. J. of Exergy*, 18(2), 192–213.
19. Ceylan, İ., Gürel, A.E., 2015. Exergetic Analysis of a New Design Photovoltaic and Thermal (PV/T) System, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 34 (4), 1249-1253.
20. Taufiq, B.N., Masjuki, H.H., Mahlia, T.M.I., Amalina, M.A., Faizul, M.S., Saidur, R., 2007. Exergy Analysis of Evaporative Cooling for

- Reducing Energy use in a Malaysian Building, Desalination 209, 238-243.
21. Sakulpipatsin, P., Van Der Kooi, H.J., Itard, L.C.M., Boelman, E.C., 2008. The Influence of Possible Definitions of a Reference Environment to Determine the Exergy of Air in Buildings, *Int. J. of Exergy*, 5(3), 275-295.
 22. Rafique, M.M., Gandhidasan, P., Rehman, S., Alhems, L.M., 2016. Performance Analysis of a Desiccant Evaporative Cooling System under Hot and Humid Conditions, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 35 (5), 1476-1484.
 23. Hürdoğan, E., Büyükalaca, O., Hepbasli, A., Yılmaz, T., 2011. Exergetic Modeling and Experimental Performance Assessment of a Novel Desiccant Cooling System for Buildings, *Energy and Buildings* 43, 1489-98.
 24. Özbek, A., 2016. Exergy Characteristics of a Ceiling-type Residential Air Conditioning System Operating under Different Climatic Conditions, *Journal of Mechanical Science and Technology* 30 (11), 5247-5255.
 25. Holman, J.P., 1989. *Experimental Methods for Engineers*, Fifth edn, McGraw Hill, NY.
 26. Rosen, M.A., Dincer, I., 2003. Exergoeconomic Analysis of Power Plants Operating on Various Fuels, *Appl Therm Eng*, 23:643–58.

Süprem Örmeye Kumaşlarda Kalınlık, Hava Geçirgenliği ve Boncuklanma Özelliklerinin İncelenmesi

Deniz Mutlu ALA^{*1}, Gamze GÜLŞEN BAKICI¹, Aslı ABDULVAHİTOĞLU²

¹Çukurova Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Tekstil Giyim Ayakkabı ve Deri Bölümü, Adana

²Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 28.03.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Öz

Bu çalışmada, süprem örmeye kumaşların seçilmiş konstrüksiyon özelliklerinin kalınlık, hava geçirgenliği ve boncuklanma özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında kumaş performans özelliklerini karşılaştırmak için aynı pamuk harmanından üretilmiş Ne 12/1, Ne 16/1 ve Ne 20/1 iplikler kullanılmıştır. Ayrıca, söz konusu iplikler ile üretilmiş süprem örmeye kumaş numunelerine boyama işleminin ardından iki farklı pH ortamında antipil enzim uygulanmış ve antipil enzim uygulamasında pH derecesinin boncuklanma üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Örmeye kumaş, Antipilling enzim, Boncuklanma, Kalınlık, Hava geçirgenlik

Investigation of Thickness, Air Permeability and Pilling Properties of Single Jersey Fabrics

Abstract

In this study, the effects of selected construction properties of single jersey fabrics on thickness, air permeability and pilling properties were investigated. Ne 12/1, Ne 16/1 and Ne 20/1 yarns produced from the same cotton blend were used to compare fabric performance characteristics. In addition, antipilling enzymes were applied to the single jersey specimens in two different pH conditions after dyeing and the effects of pH on the pilling properties were investigated.

Keywords: Knitted fabric, Antipilling enzyme, Pilling, Thickness, Air permeability

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Deniz Mutlu ALA, dmala@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Yüksek elastikiyet, konfor, yumuşaklık vb özellikler sunmasından dolayı tercih edilen ve yumuşak ipliklerle ilmeli bir yapıda üretilen örme kumaşlardan üretilen giysilerin kullanıcı memnuniyetini sağlaması açısından boncuklanma, hava geçirgenliği ve kalınlık önemli özellikler arasındadır [1-3].

Kumaş yüzeyindeki liflerin takılarak ayrılması ve diğer kullanımları sırasında bu liflerin karışması sonucu oluşan ve kumaş üzerinde hoş olmayan bir görüntü meydana getiren boncuklanma, imalatçı ve kullanıcı açısından önemli bir problemdir [4,5]. Geçmişte gerçekleştirilen çalışmalar boncuklanma seviyesinin lif özellikleri (lif tipi, lif inceliği vb) [6-10], iplik parametreleri (iplik numarası, büküm katsayısı, tüylülük, sürtünme katsayısı, üretim yöntemi vb) [3,11-13], kumaş yapısal özellikleri (üretim yöntemi, konstrüksiyon) [14,15] ve kumaşa uygulanan bitim işlemleri [16-18] gibi çeşitli faktörlere bağlı olduğunu göstermektedir. Kumaş oluşumundan sonra boncuklanmanın giderilmesi için yakma ve makaslama gibi mekanik işlemlerin yanı sıra çeşitli kimyasal ve biyolojik işlemler de uygulanmaktadır. Boncuklanmanın önlenmesi için kullanılan en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olan antipilling enzim uygulaması; kumaştan çıkan elyaf uçlarını yok etmeye yarayan böylece parlaklık ve hoş bir kullanım hissi veren enzimatik yaş işlemdir. Selülaz enziminin, selülozik malzeme üzerindeki etkileri, ön işlemler, merserize, enzim türü, pH, sıcaklık, elyafın kristalinite durumu gibi faktörlere bağlıdır [19,20].

Hava geçirgenliği değeri, motosiklet ve kayak sporları gibi rüzgara karşı koruyuculuğun gerekli olduğu giysilerde konfor özelliğini etkilemesinin yanı sıra filtreler, paraşüt bezleri gibi çeşitli endüstriyel kumaşların da performanslarını belirleyici bir rol oynamaktadır [21,22]. Kumaşların hava geçirgenlikleri ağırlıklı olarak kumaş sıklığı, iplik numaraları ve örgü tipi gibi yapısal parametrelerine bağlı olarak değişen kumaş gözenekliliği ve kalınlığına bağlıdır [23-27].

Kumaşların en üst ile en alt yüzleri arasındaki mesafenin belli bir basınç altındaki ölçüsü olan kumaş kalınlığı özelliğinin ise ısı konforu ile ilgili araştırmalarda yoğun olarak incelendiği görülmektedir [28-30]. İçlerinde daha fazla hava tutmaları ve dış çevre ile insan vücudu arasında daha kalın bir yüzey oluşturmaları sayesinde kalın kumaş yapıları insan vücudunu daha sıcak tutmaktadır. Kumaş kalınlığı ayrıca; kumaşın hava geçirgenliği, aşınma dayanımı, boyutsal değişim, eğilme dayanımı, ses yutumu, sıvı transferi gibi özellikleri ile konfeksiyon işleminde kesimdeki pastal sayısının tespitinde ve dikiş makinesi ayarlarında değerlendirilmesi gereken bir parametredir [31-34].

Bu çalışmada; aynı pamuk harmanından üretilmiş Ne 12/1, Ne 16/1 ve Ne 20/1 numaralarında %100 pamuklu iplikler ile iki farklı ilmek sıra sıklığında örülen süprem kumaşlara kasar ve boya işlemlerinin ardından uygulanan testler ile kumaşların seçilmiş konstrüksiyon özelliklerinin boncuklanma, hava geçirgenlik ve kalınlıklarına etkisi araştırılmıştır. Ayrıca üç farklı numaradaki iplikler ile üretilmiş süprem örme kumaş numunelerine boyama işleminin ardından iki farklı pH ortamında antipil enzim uygulanmış ve antipil enzim uygulamasında pH derecesinin boncuklanma üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada kullanılan süprem örme kumaşlara uygulanan test sonuçlarının karşılaştırılabilir olması amacıyla, aynı pamuk harmanından üretilmiş olan Ne 12/1, Ne 16/1 ve Ne 20/1 numaralarında %100 pamuk karde ring iplikler kullanılmıştır. Kullanılan iplik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Örme kumaşların üretiminde kullanılan ipliklere ait özellikler

İplik Numarası (Ne)	Büküm Katsayısı (α_e)	Mukavemet (cN/tex)	Kopma Uzaması (%)
12/1	4,40	734,8	8,56
16/1	4,33	536,8	8,23
20/1	4,35	412,8	6,8

Söz konusu iplikler kullanılarak 3 ½ ” çapında 14 gauge inceliğindeki Lonati örme makinasında süprem örme kumaşlar üretilmiştir. Çalışma kapsamında üretilmiş olan kumaşlara laboratuvar tipi çektirme aparatında sırasıyla hidrojen peroksit ağartması ve reaktif boyama işlemleri uygulanmıştır. Boyanmış olan kumaşların öncelikle ilmek yoğunlukları, kalınlık ve hava geçirgenlik özellikleri tespit edilmiştir. İlmek yoğunlukları; 1 cm genişliğinde bir lup yardımıyla her numuneden alınan beşer adet sıra sıklığı değerlerinin ortalaması ile çubuk sıklığı değerlerinin ortalamasının çarpılması suretiyle hesaplanmıştır. Kalınlık testi TS 7128 EN ISO 5084 numaralı standarda göre Prowhite Dijital Tekstil Kalınlık Ölçüm Cihazı ile yapılmıştır. Dijital kalınlık ölçme test cihazı kullanılarak, numunenin üzerine konulduğu referans plakası ile numunenin yüzeyine belli bir basınç uygulayan (20 cm²'lik yüzeye 200 grf) dairesel baskı ayağı arasındaki mesafe milimetre olarak ölçülmüştür. Hava geçirgenlik testi TS 391 EN ISO 9237 numaralı standart esas alınarak Prowhite Hava Geçirgenliği Test Cihazında 20 cm²'lik kumaş yüzeyinden dikey yönde geçen hava akış hızının belirlenmesi suretiyle yapılmış olup, sonuçlar mm/s olarak ifade edilmiştir.

Çalışmanın devamında, selüloz bazlı antipilling enzim preperasyonu kullanılarak selülozik kumaşların yüzeyinde bulunan mikro lifleri zayıflatmak amacıyla antipil enzim işlemleri uygulanmıştır. Antipilling işlemi reaktif boyama prosesinin ardından Çizelge 2’de verilen reçeteye göre 60 °C sıcaklıkta, pH 4,5 ve pH 6 olmak üzere iki farklı pH ortamında uygulanmıştır. Antipil enzim uygulamalarının ardından 80 °C’de 10 dakika sıcak yıkama yapılarak enzimin aktivitesi sona erdirilmiştir.

Çizelge 2. Antipil enzim işlem reçetesi

Flotte Oranı	1:10
Antipil enzim	%0,5
Dispergator	1 ml/l
Sıcaklık	60 °C
Süre	30 dk
Islatıcı	0,5 g/l
pH	4,5-6

Kumaş konstrüksiyon özelliklerinin ve antipil uygulamalarında işlem şartlarının, kumaşların pilling özelliklerine etkilerinin incelenmesi amacıyla, TS 393 EN ISO 13938-2 numaralı standart esas alınarak ICI Kutulu Boncuklanma test cihazı ile 16000 devirde boncuklanma testi yapılmıştır. Test sonucunda ışıklı kabinde boncuklanma dereceleri göz ile değerlendirilmiş ve Çizelge 3’teki veriler göz önüne alınarak boncuklanma dereceleri tespit edilmiştir.

Çizelge 3. Göz ile değerlendirme dereceleri

Derece	Tanım
5	Değişme yok
4	Hafif bir tüylenme ve/veya kısmen oluşmuş boncuklanma.
3	Orta düzeyde tüylenme ve/veya orta düzeyde boncuklanma.
2	Belirgin bir tüylenme ve/veya belirgin bir boncuklanma.
1	Yoğun yüzey tüylenmesi ve/veya etkin boncuklanma.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında üç farklı numarada %100 pamuk iplikler kullanılarak farklı ilmek yoğunluklarında üretilmiş olan süprem örme kumaşların kalınlık, hava geçirgenliği ve boncuklanma özellikleri incelenmiştir. Elde edilen bulgular bölümler halinde verilmiştir.

3.1. Kalınlık ve Hava Geçirgenlik Test Bulguları

Çalışma kapsamında üretilmiş olan kumaşlara ait ilmek yoğunluğu, kalınlık ve hava geçirgenliği değerleri Çizelge 4’te verilmektedir.

Çizelge 4. Mamul kumaşların ilmek yoğunluğu, kalınlık ve hava geçirgenlik değerleri

Kumaş Kodu	İplik Numarası (Ne)	İlmek Yoğunluğu (ilmek/cm ²)	Kalınlık (mm)	Hava Geçirgenliği (mm/sn)
1	12/1	60,52	1,30	1742
2	12/1	87,36	1,21	1009
3	16/1	61,77	1,25	2313
4	16/1	94,60	1,12	1365
5	20/1	84,46	1,05	2238
6	20/1	117,39	0,99	1365

Çizelge 4’te, aynı numarada iplik ile üretilmiş olan kumaşlara ait değerler incelendiğinde ilmek yoğunluğunun artmasına bağlı olarak kumaşların kalınlık ve hava geçirgenlik değerlerinde azalma olduğu gözlenmektedir. Ne 12/1 ve Ne 16/1 ipliklerden üretilmiş olan aynı seviyede ilmek yoğunluğuna sahip kumaşlar arasında ise daha ince iplikte üretilmiş olan kumaşların kalınlık değerlerinin daha düşük, hava geçirgenlik değerlerinin daha yüksek olduğu gözlenebilmektedir. Bu bulgular literatürde yapılmış olan değerlendirmelerle uyum göstermektedir [1]. İplik numarası arttıkça ve kumaşların sıklık değeri azaldıkça oluşan daha açık ve daha gözenekli kumaş yapısı hava geçişine daha fazla imkan tanıdığı için, hava geçirgenliği değerinin arttığı düşünülmektedir.

Kalınlık ve hava geçirgenlik değerlerindeki değişimin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını ortaya koyabilmek üzere bazı analizler yapılmıştır. Kumaşlara uygulanan kalınlık ve hava geçirgenliği testleri sonucunda elde edilen değerler SPSS 15.0 istatistik paket programı kullanılarak analiz edilmiştir. İlk olarak kalınlık ve hava geçirgenliği verilerinin dağılım türünün normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk Testleri ile test edilmiş, analiz sonuçları Çizelge 5’te verilmiştir.

Çizelge 5. Normalite testi sonuçları

Veri Türü	Kolmogorov-Smirnov (a)			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
İplik Numarası	0,202	6	0,200*	0,853	6	0,167
İlmeğin Yoğunluğu	0,188	6	0,200*	0,928	6	0,566
Kalınlık	0,181	6	0,200*	0,957	6	0,793
Hava Geçirgenliği	0,222	6	0,200*	0,914	6	0,465

Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk normalite testlerinin sonuçlarına göre kalınlık ve hava geçirgenliği testleri sonucunda elde edilen verilerin p değeri (sig.değeri) 0,05’ten yüksek olduğu için, kumaşların kalınlık ve hava geçirgenliği verilerinin

%95 güven aralığında normal dağılıma sahip olduğu söylenebilmektedir. Normal dağılıma sahip verilerin arasındaki pozitif yada negatif yönde istatistiksel ilişki Pearson korelasyon katsayısı bulunarak belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 6’da verilmiştir.

Çizelge 6. Pearson korelasyon analizi

		Kalınlık (mm)	Hava Geçirgenliği (mm/s)
İplik Numarası (Ne)	PearsonCorrelation	-0,873(*)	0,365
	Sig. (2-tailed)	0,023	0,477
	N	6	6
İlmeğin Yoğunluğu (ilmeğin/cm ²)	PearsonCorrelation	-0,875(*)	-0,562
	Sig. (2-tailed)	0,023	0,246
	N	6	6

Korelasyon analizine göre; Pearson katsayısı -1 ile +1 arasında değerler almaktadır. Bu değer 1’e yaklaştıkça veriler arasındaki ilişkinin güçlendiği anlamına gelmektedir. Buna göre iplik numarası ve ilmek yoğunluğu değişkenlerinin her ikisi ile kalınlık verileri arasında negatif yönde, birbirine oldukça yakın ($r=-873$ ve $r=-875$) ve güçlü bir ilişki olduğu söylenebilir. İplik numarası ile hava geçirgenliği arasında kalınlık verilerine oranla daha zayıf ve pozitif yönde bir ilişki ($r=365$), ilmek yoğunluğu ile hava geçirgenliği arasında ise kalınlık verilerine oranla daha zayıf ve negatif yönde bir ilişki ($r=-562$) tespit edilmiştir.

3.2. Boncuklanma Test Bulguları

Çalışmanın bu bölümünde her üç numaradaki iplikten üretilmiş olan kumaşlar ilmek yoğunluğu düşük ve ilmek yoğunluğu yüksek kumaşlar olarak gruplandırıldıktan sonra, kumaşların boncuklanma dereceleri üzerinde iplik numarasının ve antipil enzim prosesinin etkileri incelenmiştir.

İlmeğin Yoğunluğu Düşük Kumaşlar

Kumaş sıklığı baz alındığında ilmek yoğunluğu düşük olan 1, 3 ve 5 kodlu kumaşların boncuklanma değerleri ortalamaları antipil enzim uygulamasına bağlı olarak Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7. İlmek yoğunluğu düşük olan kumaşların boncuklanma dereceleri

Kumaş Kodu	İplik Numarası (Ne)	İlmek Yoğunluğu (ilmek/cm ²)	Boncuklanma Derecesi		
			Antipil İşlemsiz	Antipil (pH 4,5)	Antipil (pH 6)
1	12/1	60,52	2,5	2,5	3
3	16/1	61,77	2	2	2,5
5	20/1	84,46	3	3,5	4

İşlem türü baz alındığında ilmek yoğunluğu düşük kumaşlar arasında Ne 16/1 iplik ile üretilmiş olan kumaşların en düşük boncuklanma derecesine, Ne 20/1 iplik ile üretilmiş olan kumaşların en yüksek boncuklanma derecesine sahip olduğu gözlenmektedir. Aynı iplikten üretilmiş kumaşların boncuklanma dereceleri antipil uygulaması açısından karşılaştırıldığında ise pH 6 ortamında antipil enzim uygulanmış olan kumaşların boncuklanma eğilimlerinin diğerlerine oranla daha az olduğu söylenebilir.

İlmek Yoğunluğu Yüksek Kumaşlar

Kumaş sıklığı baz alındığında ilmek yoğunluğu yüksek olan 2, 4 ve 6 kodlu kumaşların boncuklanma değerleri ortalamaları antipil enzim uygulamasına bağlı olarak Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 8. İlmek yoğunluğu yüksek olan kumaşların boncuklanma dereceleri

Kumaş Kodu	İplik Numarası (Ne)	İlmek Yoğunluğu (ilmek/cm ²)	Boncuklanma Derecesi		
			Antipil İşlemsiz	Antipil (pH 4,5)	Antipil (pH 6)
2	12/1	87,36	3,5	4	4
4	16/1	94,6	3	3	4
6	20/1	117,39	3,5	4	4,5

İşlem türü baz alındığında ilmek yoğunluğu yüksek kumaşlar arasında Ne 16/1 iplik ile üretilmiş olan kumaşların en düşük boncuklanma derecesine sahip olduğu, Ne 12/1 ve Ne 20/1 iplik ile üretilmiş kumaşların boncuklanma derecelerinin ise aynı veya oldukça yakın olduğu gözlenmektedir. Çalışma kapsamında üretilmiş olan ilmek yoğunluğu yüksek kumaşlar içinde, aynı iplikten üretilmiş kumaşların boncuklanma dereceleri antipil uygulaması açısından karşılaştırıldığında ise Ne 12/1 ve Ne 20/1 iplikten üretilmiş kumaşların boncuklanma eğilimleri

pH 4,5 ortamında antipil enzim uygulaması ile azalırken, Ne 16/1 iplikten üretilmiş kumaşların boncuklanma eğilimlerinin pH 4,5 ortamında antipil enzim uygulaması ile değişmediği görülmektedir. pH 6 ortamında antipil enzim uygulaması ise her üç iplikten üretilen kumaşın da boncuklanma eğiliminde antipil işlemi uygulanmamış kumaşa oranla düşüş sağlamıştır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, farklı konstrüksiyonlarda üretilmiş olan süprem örme kumaşlara boyama işlemleri sonrasında farklı pH değerlerinde antipilling enzimi uygulanmıştır. Kumaşlara kalınlık, hava geçirgenlik ve boncuklanma testleri uygulanmış, elde edilen sonuçlar kumaş konstrüksiyonu ve antipil enzim uygulamasına bağlı olarak incelenmiştir.

Kumaş üretiminde kullanılan iplik numarası ve kumaşların ilmek yoğunluğunun çalışma kapsamında üretilmiş olan kumaşların kalınlık ve hava geçirgenlik özellikleri üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Aynı numarada iplik ile üretilmiş olan kumaşların ilmek yoğunluğundaki artış, kumaşların kalınlık ve hava geçirgenlik değerlerinde azalma ile sonuçlanmıştır. Aynı seviyede ilmek yoğunluğuna sahip kumaşlar arasında ise daha ince iplikle üretilmiş olan kumaşların kalınlık değerlerinin daha düşük, hava geçirgenlik değerlerinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Kumaşların yapısal özelliklerinden olan iplik numarası ve ilmek yoğunluğu, kumaşların boncuklanma dereceleri üzerinde de değişime neden olmuştur. Boya işlemi sonrasında yapılan boncuklanma testi sonuçlarına göre aynı numarada iplik ile üretilmiş kumaşlar arasında ilmek yoğunluğu yüksek olan kumaşların boncuklanma derecelerinin daha yüksek olduğu, bir başka ifade ile bu kumaşların boncuklanma eğiliminin daha düşük olduğu görülmektedir. Sonuçlar iplik numarasına bağlı olarak incelendiğinde; Ne 20/1 ipliklerle üretilmiş olan kumaşların boncuklanma eğilimlerinin diğerlerine nispeten daha düşük, Ne 16/1 ipliklerle üretilmiş olan kumaşların boncuklanma eğilimlerinin ise diğerlerine nispeten daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, antipil enzim uygulamasında

flottenin pH değerinin çalışma kapsamında üretilmiş olan kumaşların boncuklanma değerleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Özellikle pH 6'da antipil enzim uygulanmış olan kumaşlar için antipil enzim uygulanmamış veya pH 4,5'te antipil enzim uygulanmış kumaşlara göre genelde daha iyi boncuklanma değerleri ortaya çıkmıştır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje no: FBA-2015-3451).

6. KAYNAKLAR

1. Mavruz, S., Oğulata, R.T., 2009. Pamuklu Örne Kumaşlarda Hava Geçirgenliğinin İncelenmesi ve İstatistiksel Olarak Tahminlenmesi, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 1/2009, 29-38.
2. Benltoufa, S., Fayala, F., Cheikhrouhou, M., Nasrallah, S.B., 2007. Porosity Determination of Jersey Structure, *Autex Research Journal*, Vol 7, No 1, 63-69.
3. Kayseri, G.Ö., Kırtay, E., 2011. Farklı Ölçüm Yöntemleri ile Kumaş Boncuklanma Eğiliminin Değerlendirilmesi, *Tekstil ve Mühendis*, 18/84, 27-31.
4. Candan, C., 2000. Yünlü Örne Kumaşlarda Boncuklanmaya Tesir Eden Faktörler, *Turkish Journal of Engineering & Sciences*, 24, 35-44.
5. Dayık, M., Yılmaz, F., 2012. Pamuklu Kumaşta Boncuk Oluşumunun Bulanık Mantık Metoduyla Tespiti, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt 6, No 2, 19-27.
6. Demiryürek, O., Uysaltürk, D., 2016. Viloft/Polyester Karışımli Örne Kumaşların Patlama Mukavemeti ve Boncuklanma Özelliklerinin Araştırılması, *Tekstil ve Mühendis*, 23:102, 105-112.
7. Beltran, R., Wang, L., Wang, X., 2006. Measuring the Influence of Fibre-To-Fabric Properties on the Pilling of Wool Fabrics, *the Journal of Textile Institute*, 97:3, 197-204.
8. Alay, S., Yılmaz, D., 2010. An Investigation of Knitted Fabric Performances Obtained from Different Natural and Regenerated Fibres, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, Cilt 1, Sayı 2, 91-95.
9. Kahraman, B., 2006. Örne Kumaşlarda Boncuklanma Nedenlerinin İncelenmesi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Eğitimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
10. Derdiyok, U., 2007. Metal Lif Takviyeli Pamuk İpliklerinden Üretilmiş Örne Kumaşların Mekanik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Eğitimi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
11. Rameshkumar, C., Anadkumar, P., Senthilnathan P., Jeevitha R., Anbumani, N., 2008. Comparitive Studies on Ring Rotor and Vortex Yarn Knitted Fabrics, *Autex Research Journal*, Vol 8, No 4, 100-105.
12. Altas, S., Kadoğlu, H., 2012. Comparison of Conventional Ring, Mechanical Compact and Pneumatic Compact Yarn Spinning Systems, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, Volume 7, Issue 1, 87-100.
13. Çetin, E., 2009. Ring ve Kompakt İpliklerde Sürtünme Katsayısının ve İplik Tüylülüğünün Pilling Üzerine Etkisi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Bilimleri Anabilim Dalı İstanbul*.
14. Kadem, F.D., Oğulata, R.T., 2014. İpliği Boyalı Pamuklu Kumaşlarda Kumaş Konstrüksiyonunun Boncuklanma ve Aşınmaya Etkisinin Araştırılması, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(1), 89-97.
15. Kane, C.D., Patil, U.J., Sudhakar, P., 2007. Studies on the Influence of Knit Structure and Stitch Length on Ring and Compact Yarn Single Jersey Fabric Properties, *Textile Research Journal*, 77(8), 572-582.
16. Balcı, O., Asker, G., Kurtoğlu, N., 2010. Biyoparlatma ve Reaktif Boyama İşlemlerinin Kombine Uygulanması ile Hızlı Boyama Prosesi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, Cilt 1, Sayı 1, 39-48.
17. Körlü, A.E., Duran, K., Bahtiyari, M.İ., Perinçek, S., 2008. Selüloz Enziminin Selülozik Esaslı Kumaşlar Üzerine Etkisi, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 18(1), 35-41.

18. Mavruz, S., Oğulata, R., 2007. Tekstil Terbiyesinde Biyoparlatma Uygulamaları ve Pamuklu Örmeye Kumaşların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Etkisi, *Tekstil ve Mühendis*, Yıl:14, Sayı:66, 15-22.
19. Yakartepe, M., Yakartepe, Z., 2004. Genel Tekstil Terbiyesi, *Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Merkezi*, Cilt 7, İstanbul.
20. Mavruz S., Oğulata R., 2009. Biyoparlatma Uygulanmış Örmeye Kumaşlara Tekrarlı (Çoklu) Yıkamaların Etkisinin İncelenmesi, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 3/2009, 224-230.
21. Mavruz, S., Oğulata, R.T., 2011. Investigation of Air Permeability of Single Jersey Fabrics with Different Relaxation States, *The Journal of the Textile Institute*, Vol 102, No 1, 57-64.
22. Hes, L., Bajzik, V., 2014. Hava Sıcaklık ve Nemindeki Değişimler Nedeniyle Bazı Dokuma Kumaşların Hava Geçirgenliğindeki Varyasyonlar, XIII. Uluslararası İzmir Tekstil ve Hazır Giyim Sempozyumu, 241-243, 2-5 Nisan, İzmir.
23. Turan, R.B., Okur, A., 2008. Kumaşlarda Hava Geçirgenliği, *Tekstil ve Mühendis*, Yıl 15, Sayı 72, 16-25.
24. Oğulata, R.T., 2006. Air Permeability of Woven Fabrics, *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, Volume 5, Issue 2, 1-10.
25. Atmaca, M., Dal, V., Yılmaz, A., Kurtuluş, A.B., 2015. Investigation of the Effects of Fabric Parameters on Air Permeability of Woolen Fabrics. *Textile Research Journal*, Vol. 85(20), 2099-2107.
26. Çeven, E.K., Süle, G., Gürarda, A., Ersöz, A., 2011. Metal İplikli Dokuma Kumaşların Hava Geçirgenliğinin İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 16, Sayı 2, 65-74.
27. Oğulata, R.T., Mavruz, S., 2010. Investigation of Porosity and Air Permeability Values of Plain Knitted Fabrics, *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, Vol 18, No 5(82), 71-75.
28. Li, Y., Zhu, Q., Yeung, K.W., 2002. Influence of Thickness and Porosity on Coupled Heat and Liquid Moisture Transfer in Porous Textiles, *Textile Research Journal*, 72(5), 435-446.
29. Majumdar, A., Mukhopadhyay, S., Yadav, R., 2010. Thermal Properties of Knitted Fabrics Made from Cotton and Regenerated Bamboo Cellulosic Fibres, *International Journal of Thermal Sciences*, 49, 2042-2048
30. Oğlakçioğlu, N., Marmaralı, A., 2007. Thermal Comfort Properties of Some Knitted Structures, *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, Vol 15, No 5-6, 94-96.
31. Özdil, N., 2003. Kumaşlarda Fiziksel Kalite Kontrol Yöntemleri, E.Ü. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma-Uygulama Merkezi Yayını, Yayın No: 21, İzmir.
32. Halgas, B.W., Danych, R., Wiecek, B., Kowalski, K., 2006. Air and Water Vapour Permeability in Double-Layered Knitted Fabrics with Different Raw Materials, *Fibres&Textiles in Eastern Europe*, Vol 14, No 3(57), 77-80.
33. Aksoy, A., Kaplan, S., 2011. Tekstil Materyallerinde Sıvı Transfer Mekanizmaları ve Ölçüm Yöntemleri, *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt 5, No 2, 51-67.
34. Öztürk, M.K., Nergis, B.U., Candan, C., 2010. Akustik Özellikleri Geliştirilmiş Örmeye Kumaş Tasarımı, *Tekstil ve Mühendis*, Yıl 17, Sayı 78, 15-19.

Tek ve İki Bina Etrafındaki Rüzgar Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi

Ahmet FERTELLİ^{*1}, Mehmet BALTA²

¹Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sivas

²Amasya Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine Bölümü, Amasya

Geliş tarihi: 03.03.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Öz

Bu çalışmada, tek ve iki bina modeli için rüzgar yükünün etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Bina modelleri etrafındaki akış alanları üç boyutlu ve zamandan bağımsız olarak FLUENT paket programı ile hesaplanmıştır. Sayısal çözümlemede Sivas ili için atmosferik sınır tabaka hız profili oluşturulmuş ve RNG k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Analizler sonucunda akım çizgileri, hız vektörleri, ortalama hız ve türbülans kinetik enerji dağılımları ile model yüzeylerinde ortalama basınç katsayısı dağılımları hesaplanmıştır. İki bina düzenlemesi için negatif basınç katsayılarının tekli binadan daha yüksek olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Bina aerodinamiği, Basınç katsayısı, Rüzgâr yükü, Türbülans modeli

Numerical Analysis of Wind Effect Around Single and Two Buildings

Abstract

In this study, effects of wind load for the a single and two building arrangement is investigated numerically. Flow fields around building models are calculated by FLUENT software package in three dimension and independent of time. In numerical analysis the atmospheric boundary layer velocity profile was created for Sivas province and RNG k-ε turbulence model was used. As a result of analysis, streamlines, velocity vectors, mean velocity and turbulence kinetic energy distribution and mean pressure coefficient the patterns of models were calculated. It is seen that the negative pressure coefficients for the two-building arrangement is larger than that for the single building.

Keywords: Building aerodynamic, Pressure coefficient, Wind load, Turbulence model

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Ahmet FERTELLİ, fertelli@cumhuriyet.edu.tr

1. GİRİŞ

Çok katlı binaların varlığı şehir yaşantısının bir parçası olarak hayatımızda yer almaktadır. Değişen yaşam koşulları sonucu belirli alanda birden fazla binanın yer aldığı yeni yaşam alanlarının sayısı her geçen gün artmaktadır. Bu değişim, binaların birbiri üzerindeki etkisinin araştırılmasını önemli hale getirmiştir. Bina rüzgâr etkileşimi sonucunda oluşan girdap grupları, binada titreşim ve gürültü oluşturmaktadır. Ayrıca bina üzerinde farklı büyüklüklerde basınç alanları oluşturan rüzgâr, binaların hasar görmesine neden olabilmektedir. Rüzgârın bu tür olumsuz etkileri, tasarım aşamasında yapılacak deneysel ve sayısal çalışmalar ile büyük ölçüde önlenabilir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde farklı bina geometrileri etrafındaki akış alanlarının incelenmesine yönelik çok sayıda deneysel ve sayısal çalışma mevcuttur. Blocken ve arkadaşları [1], birbirine paralel şekilde yerleştirilmiş olan binalar etrafındaki akışı incelemek ve farklı duvar koşullarının etkilerini görmek için $k-\epsilon$ türbülans modeli ile simülasyonlar yapmıştır. Çözüm aşamasında binalar etrafı yapısal, geri kalan hesaplama alanı için yapısal olmayan çözüm ağı kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda binalar arasındaki mesafe arttıkça akış tek bir bina etrafındaki gibi hareket ederken, birbirlerine yaklaştıkça karmaşık hareketler yaptığı belirlenmiştir. Özmen ve arkadaşları [2], atmosferik sınır tabaka içindeki farklı eğim açılarına sahip üçgen çatılı alçak katlı bina modelleri üzerinde türbülanslı akış alanları deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Çalışmada 90° rüzgâr doğrultusunda 15° , 30° ve 45° ’li çatı açılara sahip binalar kullanılmıştır. Yüzey ortalama basınç dağılımı 15° ’lik çatı eğiminin, 30° ve 45° ’lik çatı eğimlerine göre çatılarda daha büyük bir emme kuvvetine neden olduğu tespit edilmiştir. Kaydok [3] kare kesite %10, %20 ve %30 oranda köşe boşaltma yaparak oluşturduğu yeni bina modelleri etrafındaki akış alanlarını farklı türbülans modelleriyle, üç boyutlu ve zaman bağımsız hesaplamıştır. Bina modellerinde geometrik değişimlerin akış alanlarında ve özellikle yüzey basınç dağılımlarında belirgin farklılıklara yol açtığını belirtmiştir. Hunte [4] kare kesitli bir yüksek bina modeli etrafındaki akışı deneysel olarak rüzgâr

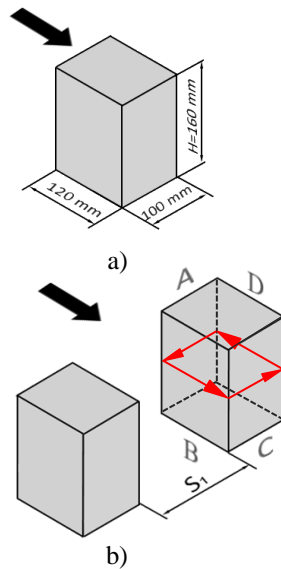
tünelinde, sayısal olarak ise üç boyutlu zamandan bağımsız çözümler ile incelemiştir. RSM ve Realizable $k-\epsilon$ türbülans modellerini kullandığı sayısal çalışmada, RSM $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanarak elde ettiği basınç katsayısı değerlerinin deneysel verilerle daha uyumlu olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, yüzey pürüzlülük değerlerinin bina üzerinde oluşan basınç katsayılarına önemli ölçüde bir etkisi olmadığını belirtmiştir. Tutar ve Oğuz [5], yan yana farklı mesafelerde yerleştiği ikili bina modelleri etrafındaki akış alanını farklı türbülans modelleri ile incelemiştir. İki bina arası mesafenin artması vorteks kuvvetlerinde azalmaya sebep olduğu sonucunu ortaya koymuşlardır. Kanbur ve arkadaşları [6], İstanbul’da yüksek katlı binalara etkileyen rüzgâr yüklerinin etkileri incelenerek, yüksek ve alçak katlı binaların rüzgârdan dolayı olan etkileşimleri sayısal olarak gözlemlenmiştir. İncelemede Ansys Fluent paket programı kullanılmış olup, analiz sonucunda, binaların çevresindeki bölgelerde türbülans kinetik enerji, basınç ve hız değişimlerinde meydana gelen değişimlerin kaynağı yorumlanmıştır. Gousseau ve arkadaşları [7], kirlilik dağılımını incelemek üzere bir grup bina modelleri ile rüzgâr tüneli testleri yapmıştır. Reynolds Ortalama Navier-Stokes (RANS) ve Large Eddy Simulation (LES) türbülans modelleri ile yapılan sayısal çalışma rüzgâr tüneli deneyinin uyumlu olduğu görülmüştür. Braun ve arkadaşları [8], “Standart CAARC Binası” üzerindeki aerodinamik ve aeroelastik karakteristikleri belirleyebilmek amacıyla LES türbülans modeli kullanarak sayısal çözümler gerçekleştirmişlerdir. Bina etrafındaki akış karakteristiklerini ve bina yüzeylerindeki basınç dağılımlarını inceledikleri çalışmada elde ettikleri sayısal sonuçların literatürde mevcut deneysel verilerle oldukça iyi bir uyum sağladıklarını vurgulamışlardır. Nozawa ve Tamura [9] türbülanslı akış altında bir bina etrafında farklı durumlar için akış incelemiştir. Düzgün ve pürüzlü yüzeylerde farklı türbülans şiddetlerinin (%8, %14, %26) basınç katsayılarının dağılımına etkisi incelenmiştir. Çalışmada LES türbülans modeli kullanılmış ve farklı türbülans şiddetlerinde çok büyük farklılıkların görülmediği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, yerleşim alanları içerisindeki farklı sayıda binaların akış yapıları incelenmiştir. Tek bina ve aralarında $0,5H$ mesafe bulunan yan yana iki bina için analizler yapılmıştır. Sayısal çözümler FLUENT programı ile hesaplanmıştır.

olup, akım çizgileri, hız vektörleri, hız dağılımı, türbülans kinetik enerji dağılımı ve bina yüzeylerindeki basınç katsayıları dağılımları elde edilmiştir.

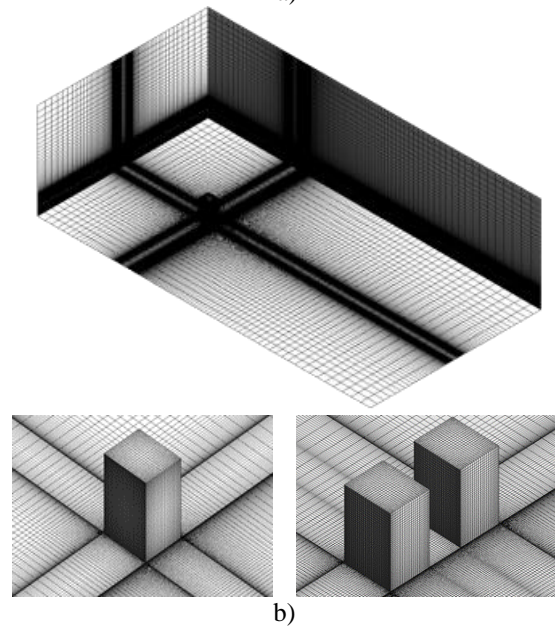
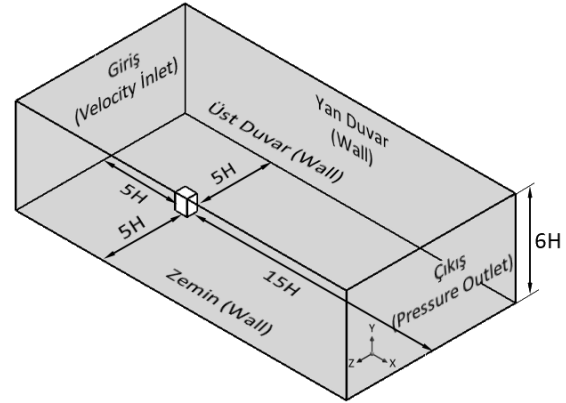
3. MODEL VE SAYISAL YÖNTEM

Çalışmada kullanılan bina modeli ve boyutları Sivas ilinde tamamlanmış 12 katlı ve 48 daireden oluşan bina ölçülerine göre oluşturulmuştur. 120 mm ve 100 mm kesitine ve 160 mm yüksekliğinde (H) tek bina modeli ile aynı ölçülere sahip S_1 ara mesafesinde yan yana konumlandırılmış iki bina modeli Şekil 1'de gösterilmiştir. Bina boyutları, karşılaştırma yapılan deneysel ve sayısal çalışmada kullanılan bina model ölçüğüne göre 1/250 oranda küçültülerek oluşturulmuştur.



Şekil 1. Bina modelleri a) Tek bina b) Yan yana iki bina modeli

Binalar, akış alanı içerisine akış alanının ön bölgesinden 5H, yan duvarlardan 5H ve çıkış bölgesinden 15H mesafesinde yerleştirilmiştir. Çalışmada, 20 yıllık meteoroloji verilerinden rüzgâr hızının Sivas ili için ortalama değeri 12 m/s olarak belirlenmiş ve engel yüksekliğine bağlı Reynolds sayısı 179.000 olarak hesaplanmıştır. Ortalama hız ve türbülans profilleri akış alanında giriş sınır şartı olarak verilmiştir.



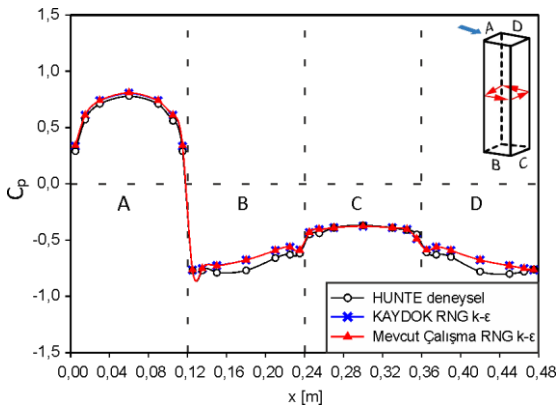
Şekil 2. a) Akış alanı boyutları b) Tek bina ve yan yana iki bina modelinin ağ yapısı

Bina modeli etrafındaki üç boyutlu akış alanının sayısal çözümleri, ANSYS - FLUENT 14.0 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Belirlenen modellere uygunluğu, kolay oluşturulabilmesi ve çözülebilmesi gibi avantajlarından dolayı ağ elemanı olarak dörtgensel eleman kullanılmıştır. Tek bina için 2700000, yan yana iki bina modeli için 3400000 elemandan oluşan ağ yapısının yeterli olacağı farklı eleman sayılarına sahip çözümlerle karşılaştırılarak tespit edilmiştir (Şekil 2).

Ağ yapısı oluşturulurken değişimin hızlı olması beklenen ve asıl inceleme alanı olan bina yakınındaki bölgelerde daha sık bir ağ yapısı oluşturularak çözümün hassasiyeti artırılmıştır. Türbülans modeli olarak RNG k-ε türbülans modeli, duvar yaklaşımı olarak Standart Duvar Fonksiyonu (Standard Wall Function) esas alınmıştır.

4. SAYISAL SONUÇLAR

Kullanılan sayısal yöntem ile elde edilen sonuçların doğruluğunu belirleyebilmek için, literatürdeki deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 3'de binanın orta yüksekliğindeki tüm yüzeylerinde basınç katsayılarının (C_p) değişimi yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu görülmektedir.

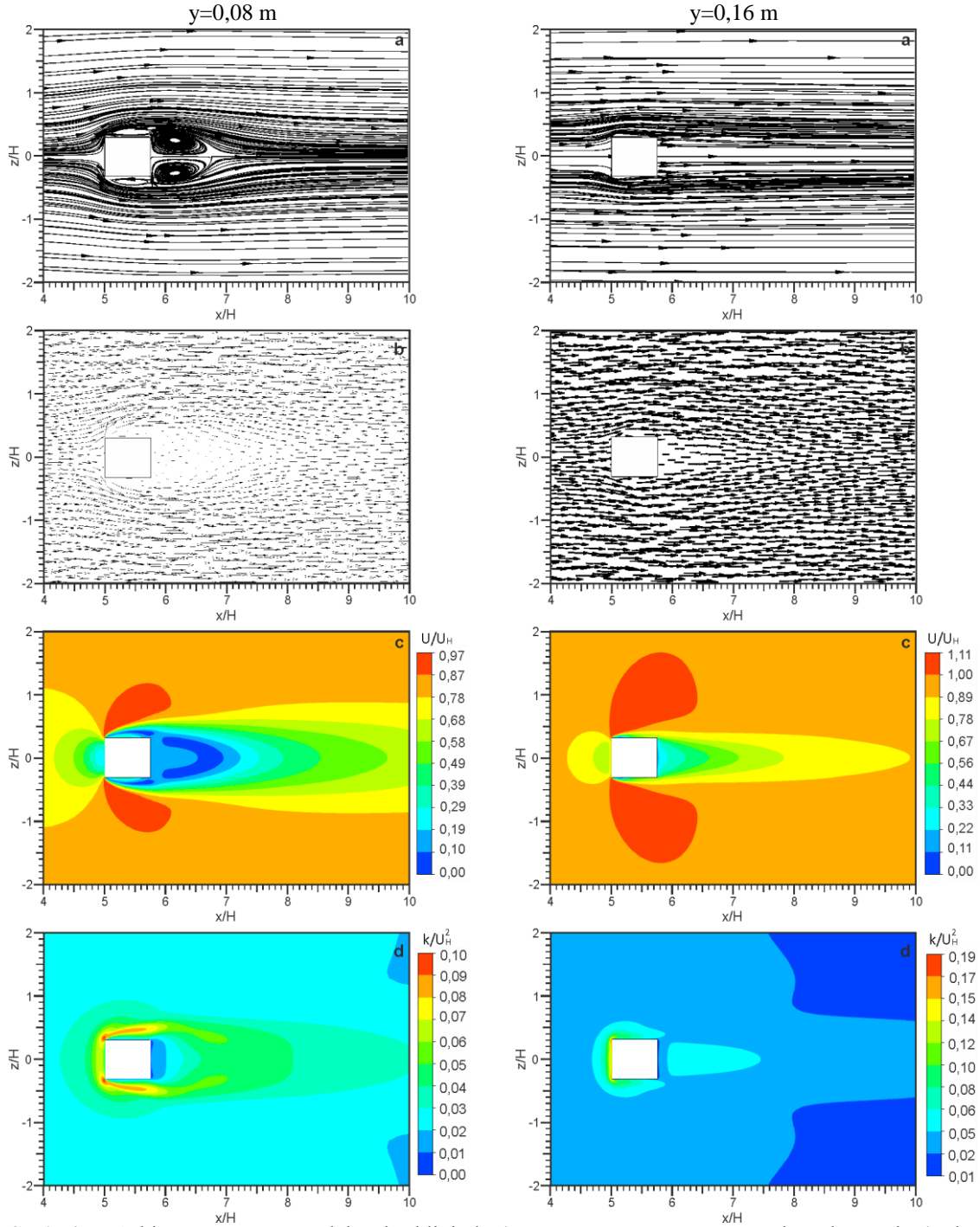


Şekil 3. Yüzeylerdeki basınç katsayılarının deneysel ve sayısal çalışma ile karşılaştırılması

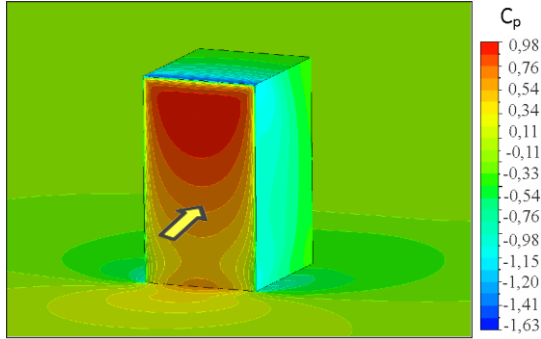
Çalışmadan elde edilen sonuçlar, binanın orta ($y=0,08$ m) hem de model yüksekliğinde ($y=0,16$ m) yatay doğrultuya ait akım çizgileri, hız vektörleri, hız dağılımı ve türbülans kinetik enerji dağılımları olarak gösterilmiştir. Ayrıca her iki modelin bina yüzeylerinde hesaplanan basınç katsayıları dağılımı ve bina yüksekliği ile basınç katsayısı değişimi grafiksel olarak da gösterilmiştir.

Şekil 4'de tek bina modeli için hesaplanan akım çizgileri, hız vektörleri, hız dağılımı ve türbülans

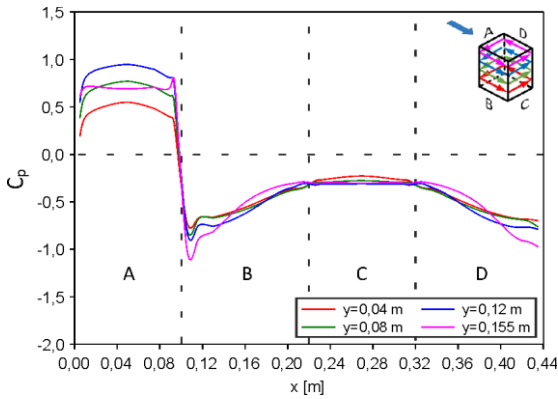
kinetik enerji değişimleri gösterilmektedir. Şekil 4a'da model yarı yüksekliğinde binanın ön yüzeyine gelen akış, durma noktasından itibaren yukarı ve aşağı yönlenecek şekilde modelin ön köşelerinden ayrılmakta ve akışa paralel durumdaki yan yüzeyler üzerinde küçük ölçekli girdap bölgeleri oluşturmaktadır. Akış ayrılmasının sebebi, ayrılma noktalarında kinetik enerjinin, basınç enerjisine göre düşük yoğunlukta kalmasıdır. Yukarı ayrılan akış, model arkasında akışa paralel yan yüzey üzerinde oluşturduğu girdap ile birleşen saat yönünde dönen girdabı, aşağı ayrılan akış ise model arkasında akışa paralel yan yüzey üzerinde oluşturduğu girdap ile birleşen saat yönünün tersinde dönen girdabı oluşturmaktadır. Oluşan girdaplar birbirine göre simetrik değildir. Model yüksekliğinde ($y=0,16$ m), ön yüzeyine gelen akış durma noktasından itibaren yukarı ve aşağı yönlenecek şekilde modelin ön köşelerinden ayrılmaktadır. Bina yan yüzeyine tutunan akış, girdap oluşturmadan devam etmektedir. Şekil 4b'de hız vektörleri model yarı yüksekliğinde bina yan yüzeylerinde ve bina iz bölgesinde hızın azalması nedeniyle vektör boylarında küçülmenin olduğu ve iz bölgesinden uzaklaştıkça vektör boylarının büyüdüğü görülmektedir. Bina yan yüzey ve iz bölgesinde ise ters akış sebebiyle akış yönünün tersi yönlü vektörler oluşmaktadır. Model yüksekliğinde ise hız vektörlerinin boyları model iz bölgesinde küçülme, akış yönünde ilerleyen kısımlarda normale dönmektedir. Şekil 4c'de model yarı yüksekliğinde, bina yan yüzeylerinde türbülanslı akışın olduğu, iz bölgesinde hızın azaldığı ve ters akış bölgelerinin oluştuğu görülmektedir. Maksimum hız bina yan yüzeyleri üzerinde oluşmaktadır. Model yüksekliğinde, yan yüzeyleri üzerinde model yarı yüksekliği seviyesine göre daha büyük maksimum hız alanı oluşmuştur. İz bölgesinde hızın azaldığı ancak bu azalma model yarı yüksekliğine oranla daha az olduğu görülmektedir. Şekil 4d'de binanın ön köşeleri ve bina yan yüzeyleri üzerinde türbülans kinetik enerjinin en yüksek değerlerde olduğu, ayrıca binanın arkasından uzaklaştıkça artmaya başladığı gözlenmektedir. Model yüksekliği seviyesinde türbülans kinetik enerjinin en büyük değerlerine akış ayrılmasının olduğu model ön yüzey bölgesinde ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 4. Tek binanın orta ve model yüksekliğinde ($y=0,08$ m- $y=0,16$ m) yatay doğrultuya ait a) akım çizgileri b) hız vektörleri c) hız dağılımı d) türbülans kinetik enerji dağılımı



Şekil 5. Tek bina modelinin yüzeydeki basınç katsayısı dağılımı

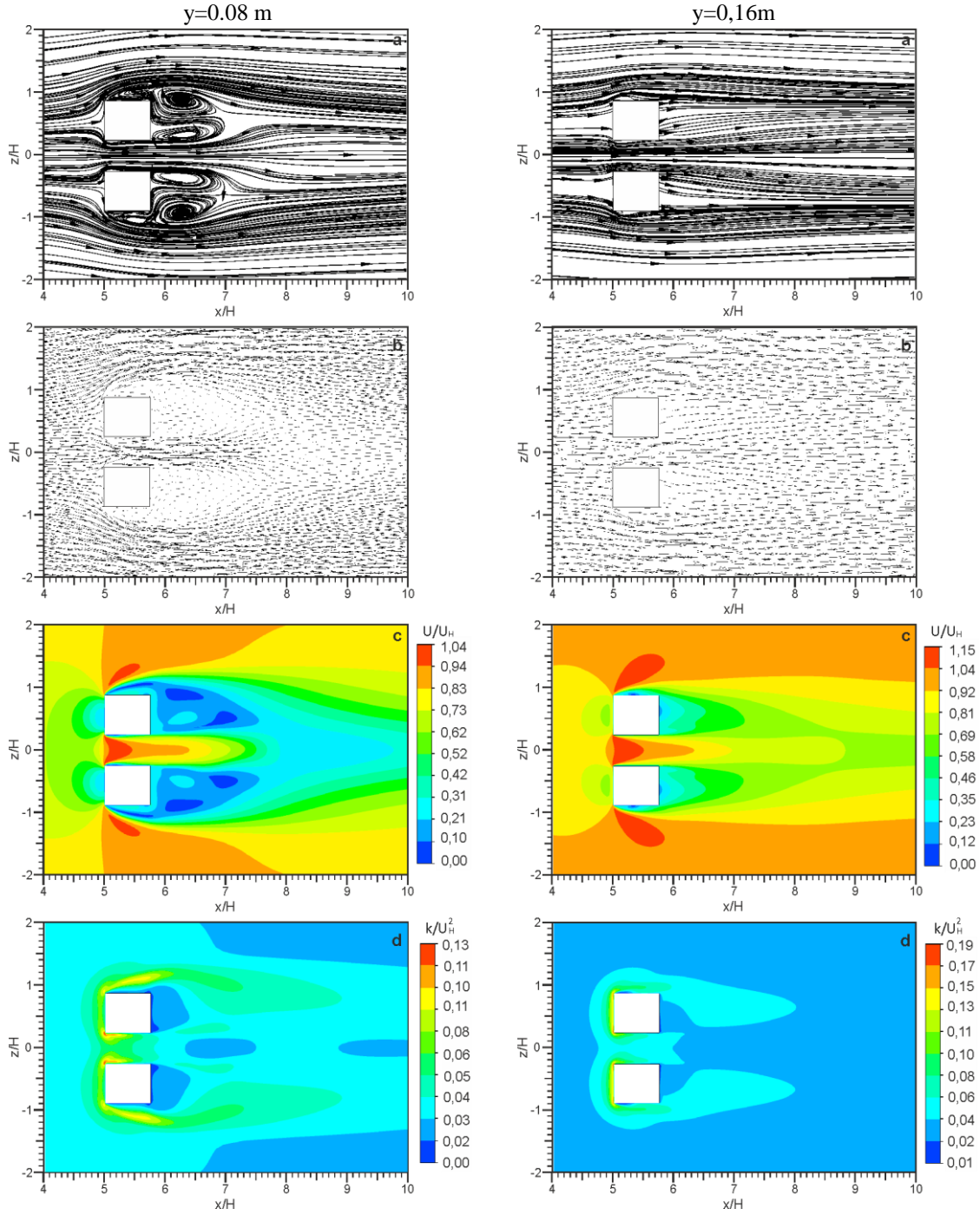


Şekil 6. Tek bina modelinin yatay doğrultuda farklı yüksekliklerde yüzeylerin basınç katsayıları dağılımları

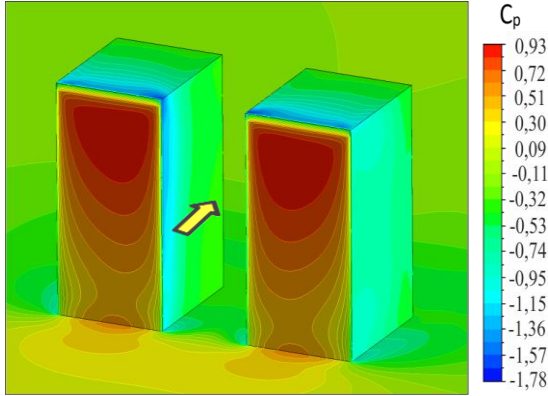
Tek bina modelinin yüzeyleri için hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 5'de ve yatay düzlemde farklı yüksekliklerde hesaplanan basınç dağılımları Şekil 6'da verilmiştir. Rüzgara doğrudan maruz kalan ön (A) yüzeyde, basınç katsayıları pozitif değerler almaktadır. Ön yüzeyde yüksekliğin artmasına bağlı olarak basınç katsayılarının arttığı, ancak model yüksekliğine yakın yükseklik ($y=0,155$ m) için basınç katsayıları azalmıştır. Binanın sağ (B), arka (C) ve sol (D) yüzeylerinde ise negatif basınç katsayılarının oluştuğu, yan yüzeylerde (B, D) oluşan negatif basınç katsayılarının arka yüzeyde oluşan negatif basınç katsayılarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 7'de yan yana iki bina modeli için hesaplanan akım çizgileri, hız vektörleri, hız dağılımı ve türbülans kinetik enerji değişimleri gösterilmektedir. Şekil 7a'da yukarıdaki binanın

ön üst köşesinden ayrılan akış, binanın üst yan yüzeyinde saat yönünde dönen küçük girdabı ve bina arkasında saat yönünde dönen yan yüzey üzerindeki girdap ile bileşen daha büyük girdabı oluşturmuştur. Binanın ön alt köşesinden ayrılan akış, iki bina arası bölgede hem jet akışı hem de yan yüzeyde girdap oluşturmakla birlikte, bina arkasında saat yönünün tersinde dönen ve bina arkasındaki diğer girdaba göre daha büyük olan başka bir girdabı oluşturmaktadır. Aşağıdaki binanın ön üst köşesinden ayrılan akış, yan yüzeyi yüzeyinde girdap oluşturmamış bina arkasında saat yönünde dönen ve bina arkasındaki diğer girdaba göre daha büyük girdabı oluşturmuştur. Ön alt köşesinden ayrılan akış, yan yüzeyinde saat yönünün tersinde dönen küçük girdabı ve bina arkasında yan yüzey üzerindeki girdap ile bileşen yan yüzey üzerindeki girdaptan daha büyük girdabı oluşturmuştur. Bina model yüksekliğinin ($y=0,16$ m) akım çizgileri incelendiğinde binaların ön köşelerinden ayrılan ve yan yüzeylerine tutunan akışın girdap oluşturmadığı görülmektedir. Şekil 7b'de hız vektörlerinde iki bina arası bölgede hız vektörlerinin boyutunun büyüdüğü, diğer yan yüzeylerde akım yönünün tersi yönlü vektörlerin olduğu gözlemlenmektedir. Model yüksekliği seviyesinde, modellerin arka iz bölgesinde vektör boylarının küçüldüğü akış yönünde ilerleyen konumlarda hızın arttığı görülmektedir.

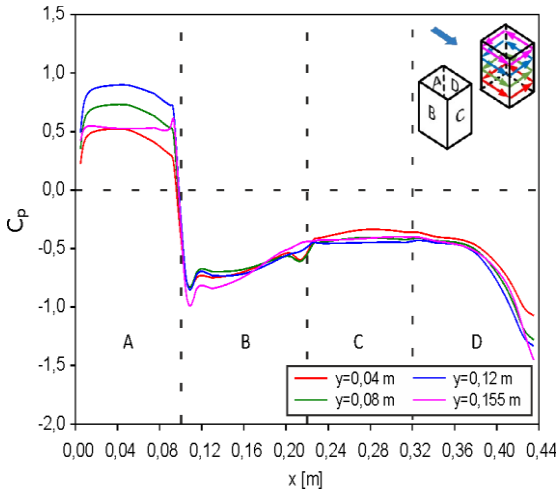
Şekil 7c'de hız dağılımında, binalar arasında jet akış sebebi ile maksimum hızın oluştuğu, binaların diğer yan yüzeyleri yakınlarında ve iz bölgesinde hızın azaldığı görülmektedir. Model yüksekliğinin hız dağılımı incelendiğinde, bina yan yüzeyleri yakınlarında yine maksimum hızın oluştuğu ve iz bölgesinde azalmanın olduğu ancak bu azalma modellerin yarı yüksekliğine oranla daha az olduğu görülmektedir. Şekil 7d'de model yarı yüksekliğinde türbülans kinetik enerji, binaların karşılıklı ön köşelerinde ve yan yüzeylerinde türbülans kinetik enerji en yüksek değerlerdedir. Modellerin yüksekliği seviyesinde türbülans kinetik enerjinin en büyük değerleri akış ayrılmasının olduğu model ön bölgesinde oluşmuştur. Model yüksekliği seviyesinde türbülans kinetik enerjinin yüksek değerlerde olması serbest akış ve ters akış bölgesi arasındaki karışım bölgesinin olduğunu göstermektedir.



Şekil 7. $S_1=0,5$ H ara mesafeli ikili binanın orta ve model yüksekliğinde ($y=0,08$ m- $y=0,16$ m) yatay doğrultuya ait a) akım çizgileri b) hız vektörleri c) hız dağılımı d) türbülans kinetik enerji dağılımı



Şekil 8. $S_1=0,5$ H ara mesafeli ikili bina modelinin yüzeydeki basınç katsayısı dağılımı



Şekil 9. $S_1=0,5$ H ara mesafeli ikili bina modelinin yatay doğrultuda farklı yüksekliklerde yüzeylerin basınç katsayıları dağılımları

$S_1=0,5$ H ara mesafeli iki bina modelinin yüzeyleri için hesaplanmış basınç dağılımları Şekil 8'de gösterilmektedir. Basınç dağılımlarının bina ön yüzeyinde pozitif olduğu, çatı başlangıcında ise en yüksek negatif basınç kat sayısı oluşmuştur. $y=0,04$ m, $y=0,08$ m, $y=0,12$ m ve $y=0,155$ m yüksekliklerdeki basınç dağılımlarında (Şekil 9) ön yüzeyde yüksekliğin artmasına bağlı olarak pozitif basınç katsayılarının arttığı, fakat model yüksekliğine yakın yükseklikte ($y=0,155$ m) basınç katsayısının azaldığı görülmektedir. Binanın sağ (B), arka (C) ve sol (D) yüzeylerinde ise negatif bir basınç alanının oluştuğu görülmektedir. Model yan

yüzeylerinde (B, D) oluşan negatif basınç katsayılarının, arka yüzeyde oluşan negatif basınç katsayılarından daha yüksek oluşmaktadır. Model ön yüzeyinin köşelerinden ayrılan akış nedeniyle, yan yüzeylerdeki ayrılmış akış bölgelerinde negatif pik basınç katsayısı değerleri meydana gelmektedir. Ön (A) yüzey dışında, diğer yüzeyler için yükseklik değişimi sonucu basınç katsayısı yaklaşık olarak aynıdır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, tek ve yan yana iki bina üzerine gelen rüzgârın bina yüzeyleri üzerindeki etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Bina model yarı yüksekliği ve model yüksekliği seviyelerinde akım çizgileri, hız vektörleri, hız ve türbülans kinetik enerji dağılımları ile model yüzeylerinin basınç katsayıları hesaplanmıştır. Her iki analiz sonucunda binanın doğrudan rüzgâra maruz kalan ön yüzeylerinde pozitif basınç katsayılarının olduğu gözlemlenmiştir. Binanın yan ve arka yüzeylerinde ise negatif basınç katsayıları değerleri yer almaktadır. Oluşan negatif en yüksek basınç $S_1=0,5$ ara mesafeli yan yana konumlandırılan iki binada oluşmuştur. İkili bina modelinde basınç dağılımları birbirine simetrik olup, en yüksek negatif basınç katsayıları, bina ara bölgesi kısmının ön köşe noktalarında oluşmuştur. Ayrıca çatı ön kısmı ile karşılıklı yüzeylerin (sağdaki binanın D yüzeyi ile soldaki binanın B yüzeyi) ön köşe bölgesinde negatif basınç katsayılarının yüksek olduğu görülmektedir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular sonucunda, bina yapım aşamasında bölgenin hâkim rüzgâr yönünün belirlenmesini ve bina cephesinde özellikle çatıya yakın bölümlerde oluşan rüzgâr yükünün olumsuz etkilerini azaltılmasının önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) birimi tarafından M-611 numaralı proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı CÜBAP birimine teşekkürlerimizi sunarız.

7. KAYNAKLAR

1. Blocken, B., Carmeliet, J., Stathopoulos, T., 2007. CFD Evaluation of Wind Speed Conditions in Passages Between Parallel Buildings - Effect of Wallfunction Roughness Modifications for the Atmospheric Boundary Layer Flow, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 95, 941–962.
2. Özmen, Y., Baydar E., Van Beeck J.P.A.J., 2016. Wind Flow Over the Low-Rise Building Models with Gabled Roofs Having Different Pitch Angles. *Building and Environment*, 95, 63-74.
3. Kaydok, T., 2014. Farklı Kesitlere Sahip Yüksek Binalar Üzerinde Türbülanslı Akışların Sayısal İncelenmesi. K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi), Trabzon 94.
4. Hunte, S., 2010. Testing the Application of CFD for Building Design. Delft University of Technology (Master Thesis), Netherland.
5. Tutar, M., Oğuz, G., 2002. Large Eddy Simulation of Wind Flow Around Parallel Buildings with Varying Configurations. *Fluid Dynamics Research*, 289-315.
6. Kanbur, B.B., Pınarbaşı, A., Koca, A.İ., 2015. Aynı Bölgede Bulunan Yüksek ve Alçak Katlı Binalar Üzerindeki Rüzgar Yükleri Etkisinin İncelenmesi. *Tesisat Mühendisliği*, 146, 30-41.
7. Gousseau, P., Blocken, B., Stathopoulos, T., 2011. CFD Simulation of Nearfield Pollutant Dispersion on a High Resolution Grid: A Case Study by LES and RANS for a Building Group in Downtown Montreal. *Atmospheric Environment*, 45, 428-438.
8. Braun, A.L., Awruch, A.M., 2009. Aerodynamic and Aeroelastic Analyses on the CAARC Standard Tall Building Model Using Numerical Simulation. *Computers and Structures*, 87, 564-581.
9. Nozawa, K., ve Tamura, T., 2002. Large Eddy Simulation of the Flow Around a Low Rise Building Immersed in a Rough-wall Turbulent Boundary Layer. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90, 1151–1162.
10. ANSYS 14, 2011. User Guide.

The Technical Revisions Required to Prevent Electricity Theft

Abdulkerim KARABİBER*¹

¹Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği
Bölümü, Bingöl

Geliş tarihi: 06.02.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Abstract

Electricity theft is a comprehensive problem in both developing and developed countries. Although the theft causes great economic losses and reduces reliability of power grids, the problem continues to grow. In this study, the revisions required to prevent electricity theft are specified and a new distribution grid configuration with revisions is presented. Distorted distribution voltage is the most significant revision in the new configuration since traditional distribution voltage is directly consumable in electric powered devices and facilitates the theft. But, dishonest customers utilize various theft techniques such as power meter tampering, illegal connections to the streetlights line and manipulation of power control panel. Therefore, the proposed grid configuration was designed by considering widely used electricity theft techniques.

Keywords: Electricity theft, Distorted distribution voltage, Harmonic filters

Elektrik Kaçırmaı Engellemek için Gerekli Olan Teknik Revizyonlar

Öz

Elektrik kaçırma gelişen ve gelişmekte olan birçok ülkede etraflı bir problemdir. Elektrik kaçırma büyük ekonomik kayıplara neden olmasına ve güç şebekelerinin güvenilirliğini azaltmasına rağmen bu problem büyümeye devam etmektedir. Bu çalışmada, elektrik kaçırmaı engellemek için gerekli olan revizyonlar belirtilmekte ve bu revizyonları içeren yeni dağıtım şebekesi konfigürasyonu gösterilmektedir. Geleneksel şebekelerde dağıtım gerilimi elektrikli cihazlarda doğrudan kullanılabilir. Kullanılabilir dağıtım gerilimi elektrik kaçırmaı kolaylaştırdığından önerilen konfigürasyonda en önemli revizyon bozuk dağıtım gerilimidir. Ancak, dürüst olmayan tüketiciler sayaç kurcalama, kanunsuz bağlantı, aydınlatma hattını kullanma ev kontrol paneline müdahale gibi çeşitli elektrik kaçırma teknikleri kullanmaktadır. Bu yüzden, önerilen şebeke konfigürasyonu yaygın olarak kullanılan elektrik kaçırma teknikleri göz önüne alınarak tasarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik kaçırma, Bozuk dağıtım gerilimi, Harmonik filtreler

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Abdulkerim KARABİBER, akarabiber@bingol.edu.tr

1. INTRODUCTION

Electricity theft is a comprehensive problem in both developing and developed countries. The problem adversely affects energy sector in terms of total energy consumption, electricity prices, economic injustice, power quality, utility grid reliability etc. [1]. The illegal customers don't pay electricity bills accurately and don't need energy saving so they wastefully consume utility electricity. Therefore, utility services increase electricity prices to cover the unpaid consumptions. Furthermore, the excessive consumptions cause technical problems such as frequent and long-term power outages. Although electricity theft aggrieves genuine costumers and it is accepted as a crime [2-3], the problem is growing all over the world. It is estimated that emerging markets lose \$58.7bn per year and the rest of the markets, including the largest economies, lose \$30.6bn per year because of electricity theft. The total cost of electricity theft for three countries that are on top of the list is about \$31.8bn per year; \$16.2bn in India, \$10.5bn in Brazil and \$5.1bn in Russia, respectively [4].

The rate of electricity theft is small (1-2%) in some developed countries but the financial losses caused by electricity theft are high because the electric consumption of the developed countries is much more compared to other countries. For instance, in the US, the theft rate between 0.5% and 3.5% causes serious financial losses between \$1 and \$10 billion worth per year [3]. However, electricity loss of Bangladesh is about one-third of the total generation and the cost of the loss is around \$247 million per year [5]. This figure shows that electricity theft is an enormous economic problem even if its rate is small. The governments, which are suffered from the theft, fund smart grid projects to control the theft. The most interesting among these projects is presented in India. Indian government develops a project worth \$4bn for improving smart meters and upgrading the distribution grids to combat electricity theft [6].

In generally, distribution losses obtained from electricity marketing data are used to calculate electricity theft rate and its adverse effects on the

economy [7]. This method facilitates the calculation and enables rough data about costly consequences of the theft. But, in fact, the theft is associated with various economic losses. Lewis classifies costly consequences of electricity theft at four groups as follows: Rise in power prices, low power quality, reduction in re-investment and hazardous fire for human life [8]. The number of these groups can be increased by adding new issues such as maintenance cost, the use of more expensive and polluted energy sources, economic losses caused by power outages etc. The topics increase complexity of the problem so they are ignored to ease the calculation of adverse cost effects of the theft. However, authorities know that the problem is more harmful than it is reported.

There are few technical solutions that can be used to eliminate the theft problem in the literature and they can be divided into two groups: Theft detection [9-13] and theft control methods [14-15]. The detection methods aim to find illegal consumers without any technical intervention to prevent the theft. The detection methods can be effective for costumers with high consumption (commercial and industrial costumers) in central settlements. However, in rural areas, even if the illegal costumers are known, utility services ignore them because of various reasons such as politic atmosphere and mafia oppression [1]. The theft control methods are more promising than the detection methods to prevent the theft for all type of costumers in every residential area. The control methods include technical interventions (power system control or utility stuff operation) to prevent the electricity theft. However, as far we know there is no theoretical and practical control method used to solve the electricity theft problem completely.

In this study, the technical revisions required to prevent the electricity theft are specified and a new theft control method including the revisions is presented by a simulation model in Matlab/Simulink simulation environment. In the proposed model, distribution voltage is intentionally distorted by a harmonic supply in power distribution center in order to eliminate illegal connections between the distribution center and power meters. A passive harmonic filter group embedded in the power meter clears the harmonics

of the distorted voltage to protect the legal consumers from adverse effects of the harmonics. The distorted distribution voltage has a key role in the proposed theft control method, because it cannot be used without the formal power meter. After this revision, dishonest customers can easily find a new theft technique such as deactivating the harmonic supply or using informal power meters. Therefore, the probable electricity theft techniques and technological revisions to prevent them are presented in the next section.

2. THE TECHNICAL REVISIONS

The power losses occurred in power grids are divided into two groups: Technical and nontechnical losses. The technical losses are mechanical, electrostatic and electromagnetic losses occurring in the generation, transmission, distribution and conversion of energy in electric power grids. The nontechnical losses can be defined as illegal electricity consumption or electricity theft, which is made consciously by dishonest customers. The dishonest customers use several theft techniques such as illegal connection, misreading, power meter tampering and unpaid bills [3]. The following sections describe revisions required for existing power grids to solve the theft problem by considering known and probable electricity theft techniques. The revisions should be handled as a whole and zero tolerance policy must be applied against electricity theft.

2.1. Unusable Distribution Voltage

Distribution transformers step down high transmission voltage to low distribution voltage, which is directly consumable in electric powered devices. Therefore, utility customers can use utility electricity with a power meter and there is no need for an additional power converter. The power meters have no impact on utility power quality and they are only used to protect the cost benefits of utilities and their customers. Dishonest customers can use utility electricity by tampering or bypassing the power meter [16-17]. These theft techniques are easy particularly from overhead lines in rural areas since theft detections, which are

made by utility staff, are impossible in every time. However, dishonest customers cannot use utility electricity without power meter in the case distribution voltage is harmful or insufficient for electric powered devices and it is safely used only with the power meter.

Using an external harmonic source in electric distribution centers is a practical and efficient way to distort the distribution voltage because of the following advantages. Firstly, the harmonics can be easily cleaned by a passive harmonic filter group, which is embedded in new power meters; hence, genuine customers are not adversely affected by distorted distribution voltage. Secondly, the distortion characteristic of the distribution voltage can be controlled by changing frequency and amplitude of the harmonic voltage. Therefore, different harmonic characteristics can be used for different customer types and regions. Thirdly, there is no need to change power architecture of existing distribution grids because only distribution transformers and power meters must be changed to implement the method. Finally, the harmonic voltage source needs no extra much power since harmonic voltage with low current is enough to distort the distribution voltage. These advantages reveal that use of an external harmonic voltage source is an easy and effective recyclable way for distribution voltage distortion.

2.2. Unusable Distribution Voltage for Street Lighting

Distribution voltage of street lighting systems has same electrical characteristics with usable home voltage, so overhead street lighting lines can also be used for electricity theft. In fact, there is no power in the street lighting lines at daylight hours owing to photocell sensors. However, dishonest customers deactivate the sensors to employ the lines for the theft, in which distribution voltage has low power quality because of overload. This theft technique also leads to street lights working during the whole day rather than only evening hours. Therefore, distribution voltage of street lighting system must be inconsumable for conventional

electric powered devices to prevent this theft technique.

DC distribution voltage is more reliable and efficient for street lighting systems owing to improved led and power conversion technologies [18-20]. This is the reason why DC distribution voltage can be preferred to change traditional AC voltage of street lighting systems. Dishonest customers, who know DC voltage is insufficient for conventional electric devices, give up using street lighting lines to meet their electricity needs. DC distribution voltage of street light system can be used only with a DC/AC power converter by establishing an illegal connection. However, the use of a power converter is not a practical way to employ the lighting lines for the theft since the converters are expensive electronics equipment. Even so, this way must be considered as a risk for the theft and an effective precaution should be taken against it. Electricity consumption of street lights is generally stable and limited. If the lighting power characteristic is abnormally changed, there is a theft attempt. In these cases, the lighting energy must be automatically cut for a short time by power control center. After this short time period, if the characteristic abnormality of the lighting power continues, the time of energy cutting is gradually increased until utility staff interfere the lighting system.

2.3. The Monopolized Power Meters

Almost all electricity theft techniques are related to power meters such as power meter tampering, bypass power meter and misreading. This fact shows that the power meters have a vital role in electric distribution grids to prevent the theft. As we stated in the first revision, dishonest costumers avoid illegal electrical connections when distribution voltage is harmful for electrical devices. In case the power meters convert the harmful voltage to the usable voltage by filtering harmonics of distorted distribution voltage, the use of power meters will be the only way to have reliable energy. Thus, utility customers have to use power meters to benefit from energy of utility grids; hence, their electric consumptions are recorded accurately.

Power meter burning is another electricity theft technique. Sometimes, when electric consumption bill exceeds the price of a power meter, dishonest customers intentionally burn the meter by making incorrect electrical connections to zero the bill. This theft technique also provides free utility energy for the customers until new power meter is installed. To prevent this theft technique, new power meters must be expensive and monopolized by utility services. In the proposed electric distribution grids, dishonest costumers cannot use utility electricity when their power meters are burned due to distribution voltage is harmful for electrical devices. However, dishonest costumers will want to tamper new power meters to find a new theft technique hence the cost of power meters must be an inhibitive amount for them. It should be noted that the power meters are renewed by utility services without any charge when the burned is based on manufacturer defects or natural causes.

3. CONFIGURATION MODEL

Harmonics are produced by nonlinear loads such as power converters, adjustable speed drivers, electronic equipment, rotating machines and transformers. The harmonics have adverse effects on the energy systems in terms of power losses, thermal overloading, equipment heating and damage [21]. Passive [22], active [23] and hybrid [24] harmonic filters are employed to eliminate the harmonics and protect the energy systems from these adverse effects. Furthermore, the harmonic filters, which are located near electrical loads, improve power factor by providing reactive energy to the loads. Among the harmonic filters, passive harmonic filters are widely used in practice due to their lower cost and simplicity.

Electric distribution voltage can be directly utilized in electric powered devices, so it facilitates electricity theft. Dishonest costumers can easily make illegal connection to the distribution line and use utility power without any charge. However, if the distribution voltage is unusable and harmful for electric powered devices, the dishonest costumers would give up making illegal connections to the power grid. The harmonics can be employed to

distort the distribution voltage in traditional power grids. Figure 1 shows the proposed method configuration, in which the distribution voltages of houses and street lights are unusable for conventional electric powered devices. The distribution voltage of the houses is distorted by an external harmonic source in the power distribution center. The power meter includes harmonic filters to eliminate harmonics of the distorted distribution voltage and provide reliable energy to domestic loads. 400 V DC voltage is utilized for the distribution voltage of street lights to make it unusable for traditional electric powered devices. Figure 2 shows power components configuration of the power distribution center. Power distribution center includes a conventional transformer and power converters. The transformer steps down

high transmission voltage to low distribution voltage to provide usable energy for residential areas. The AC/DC converter is utilized to produce 400 V DC, which is the suitable voltage level for DC distribution grids. The DC voltage is employed to supply street lights and the DC/AC inverter. The DC/AC inverter is serially connected to the distribution line of houses to distort its voltage characteristics with harmonics. In this configuration, power distribution center has a compact structure with a high transmission voltage as the input and its outputs are 400 V DC and distorted distribution voltages. Therefore, utility staffs can cut energy of the distribution grid, but they cannot repair or control power components of the distribution center.

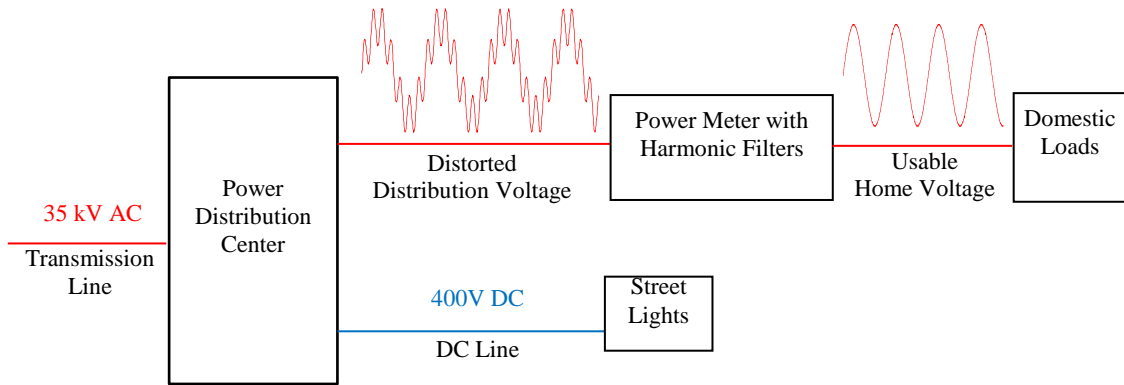


Figure 1. Use of distorted distribution voltage in an electric power grid

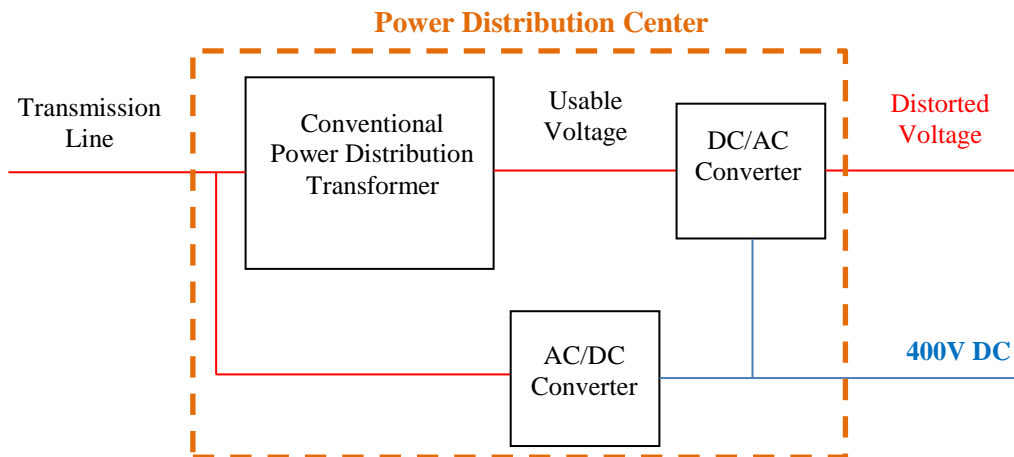


Figure 2. Power components configuration of the power distribution center

519-2014-IEEE standard recommends limiting total harmonic distortion (THD) with 8% in electric distribution grids [25]. If THD of the distribution voltage is over the recommended limit, utility energy can be unreliable for traditional electrical devices. In fact, each electrical device is differently affected from THD. However, we classified THD in three groups as low, medium and high in order to define distortion of the distribution voltage. If THD is low, distribution voltage is reliable for all electrical devices. If THD is medium, the distribution voltage is unusable, but not harmful for a lot of electrical devices. If THD is high, the distribution voltage can be harmful for all electrical devices. THD can be controlled by the DC/AC converter by using a harmonic control method.

The power meters of houses include passive harmonic filters that are compatible with distorted distribution voltage. Distortion characteristic of the distribution voltage can be changeable depending on passive filters. For instance, if the power meter has harmonic filters for 3rd, 5th and 7th harmonics, the DC/AC converter produces the harmonics just in these orders and control the distortion characteristics by changing amplitude and phase angle of these harmonics. Thus, the distortion of distribution voltage can be controlled to prevent the illegal connections and honest costumers have reliable energy.

4. RESULTS

Figure 3 shows Matlab/Simulink model of the proposed method within an electric power distribution grid. The blocks of the high voltage power source and the distribution transformer were taken from Simulink/Library and the blocks of the power converters and electrical loads were designed by the authors for smart grid studies [26]. As it is in traditional electric grids, the distribution transformer steps down high transmission voltage to low distribution voltage, which is directly usable in electric powered devices. An AC/DC converter is utilized to produce 400 V DC voltage that is needed for harmonic production and street light power distribution. A DC/AC power converter is employed as a harmonic supply,

whose output is serially connected to the distribution line to distort the distribution voltage with the harmonics. The distribution grid has a formal costumer and a street light that are supplied from unusual distribution voltage. The power meter of the costumer has passive harmonic filters, which are compatible with produced harmonics in the power distribution center. Therefore, the distorted distribution voltage has no adverse effects on the costumer's loads since the filters eliminate the harmonics.

THD of the distorted distribution voltage depends on frequency and amplitude of the produced harmonic voltage. Therefore, THD can be controlled by changing frequency and amplitude of the harmonic voltage. A reference signal composed of several sinusoidal signals can be used to determine voltage and frequency of the harmonics. For instance, if the reference signal is composed of two sinusoidal signals with a frequency of 250 and 350 Hz, the harmonic supply distorts the distribution voltage with 5th and 7th harmonics. In this case, the power meter must have harmonic filters for 5th and 7th harmonics. Otherwise, the harmonics of distorted distribution cannot be eliminated by the power meter and they can be harmful for the costumer' loads. Therefore, the frequency of the harmonics must have fix values and THD of the distorted distribution voltage must be controlled by adjusting the amplitude of harmonics.

Figure 4 shows circuit topology of the power meter that includes harmonic passive filters and a wattmeter. The harmonic filters were designed for 5th and 7th harmonics and their common resistance was serially connected to the phase line. The indices of capacitors and inductors show harmonic order of the filters with inductors L_5 and $L_7=4$ mH, the capacitor $C_5=100$ μ F and $C_7=50$ μ F and the resistance $R=4$ Ω . The wattmeter measures active and reactive power by using resistance voltage and load current. The power meter uses only phase line for the measurement and it works free from the neutral line. Therefore, deactivation of neutral line for electricity theft has no affects for measurement accuracy of the power meter.

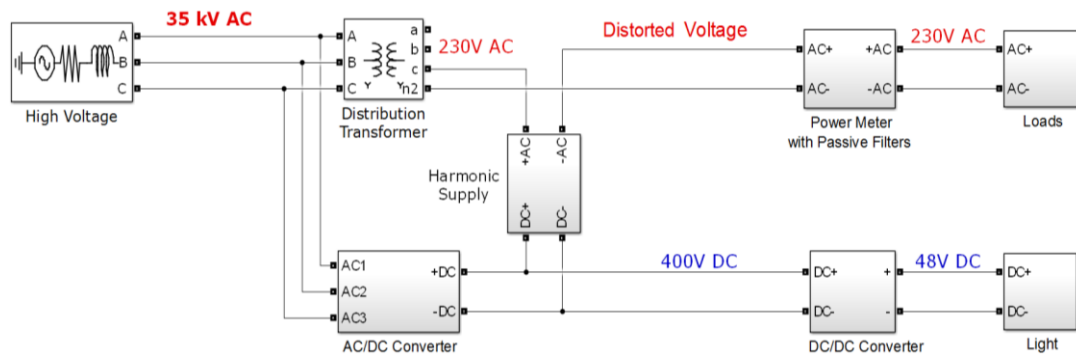


Figure 3. Matlab/Simulink model of the proposed theft control method

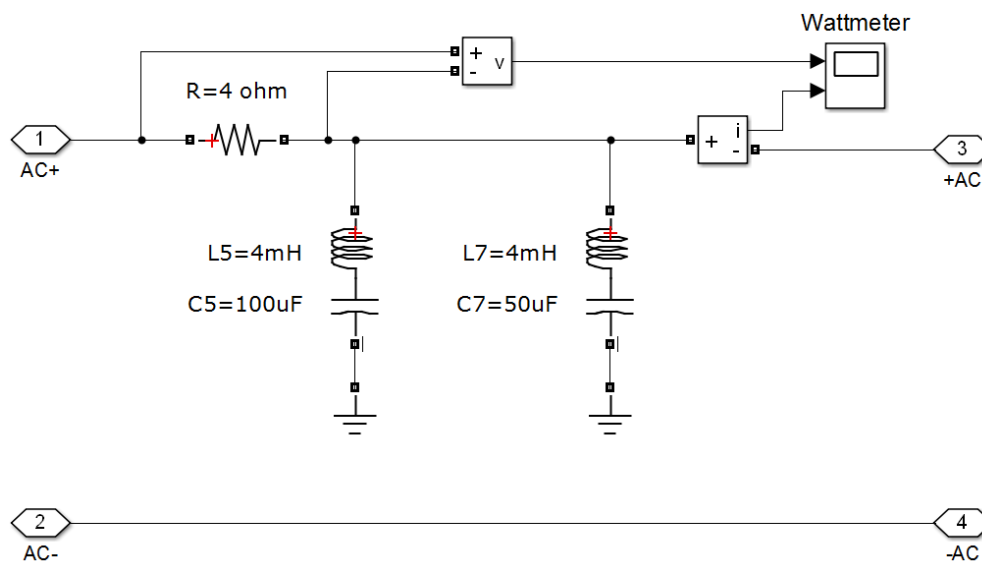


Figure 4. Matlab/Simulink model of the power meter

Power distribution voltage has a pure sinusoidal characteristic within 230 volt and 50 Hz in most countries. In this study, the pure distribution voltage is intentionally distorted with various harmonics to obtain unusable distribution voltage. Figure 5 shows distorted distribution voltage that is composed of pure distribution voltage and 5th and 7th harmonics. The nominal voltage of the 5th and 7th harmonics is 50 V and their phase angles are 0° and 180° leading from the pure voltage, respectively. The distribution voltage has an insufficient and hazardous sinusoidal waveform for electric powered devices. THD of distribution voltage is 31% which is significantly higher than THD limit (8%) recommended by 519-2014-IEEE standard. Furthermore, peak value of the

distribution voltage (V_{peak}) can reach 330 V instead of 230 V. These high THD and maximum voltage values show that the distorted distribution voltage cannot be directly utilized for electrical devices. On the other hand, house voltage is usable and reliable for electrical loads during the simulation time since the harmonics are eliminated by the harmonic filters of the power meter.

V_{peak} of the distorted distribution voltage can be controlled by changing phase angle and amplitude of the harmonics. Figure 6 shows distorted distribution voltage, which was distorted by 5th and 7th harmonics that are 50 volt and 180° leading. In this case, although only phase angle of the 5th harmonic was leaded 180° according to the

previous case, V_{peak} was reduced to 235 V from 330 V. The new V_{peak} value of the distribution voltage is not hazardous for electrical devices, because it is almost equal to V_{peak} of the pure distribution voltage. However, many electrical devices based on electronic circuits do not work correctly with this distorted voltage since THD is same with previous case and it is very high for reliable energy. This result shows that phase angle of the harmonics can be employed to adjust the V_{peak} , but it has no effects on THD.

The harmonic distortion will cause extra power losses in electric power distribution grids. These losses are negligible in the grids that have high electricity theft. However, the losses are unnecessary if the electricity theft is very low or

zero. Therefore, the harmonic distortion must be controlled to prevent wasted energy consumption. Figure 7 shows electrical characteristics of controlled distribution voltage, which is intentionally distorted with the harmonics between 0.2 and 0.4 seconds. This intermittent harmonic distortion can be utilized to control electricity theft with energy saving. When an electricity theft is detected in the distribution grid, the theft can be prevented by increasing time, V_{peak} and THD values of the intermittent harmonic distortion. In other times, the intermittent harmonic voltage with low distortion can be used as a caution signal to keep away dishonest costumers from the electricity theft. Thus, the use of harmonic distortion decreases as long as electricity theft is low in the distribution grids.

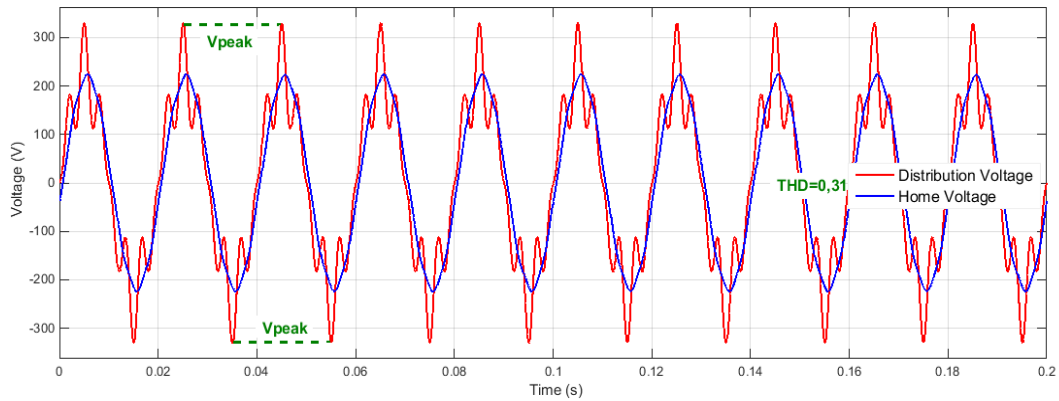


Figure 5. The characteristic of distorted distribution voltage (5^{th} 0° and 7^{th} 180° leading)

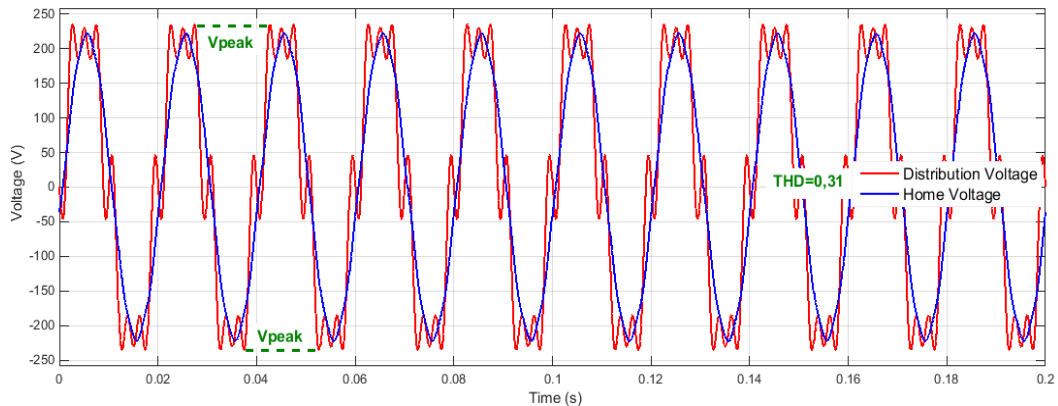


Figure 6. The characteristic of distorted distribution voltage (5^{th} and 7^{th} 180° leading)

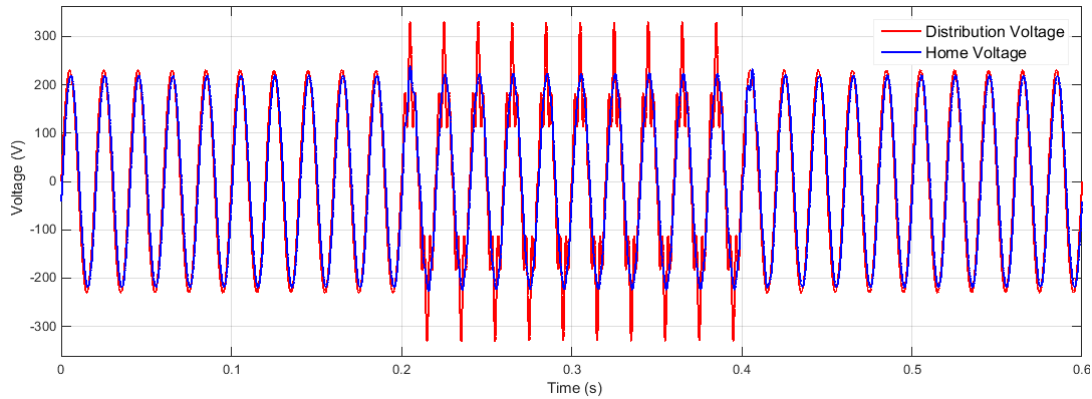


Figure 7. Intermittent harmonic distortion in electric distribution voltage

In the proposed power distribution architecture, the power meters have several harmonic filters that are compatible with produced harmonics in power distribution center. Thus, honest costumers using power meters are not adversely affected by the harmonics and utilize reliable energy all the time. The harmonic filters have extra advantages such as providing reactive power for the costumers and filtering existent harmonics produced by nonlinear electrical loads for improving power quality of electric distribution grids. Therefore, when the harmonics used to distort distribution voltage are determined, the common harmonics that are occurred in electric distribution grids must be considered to be filtered in power meters.

5. CONCLUSION

This paper investigates the technical revisions required to prevent electricity theft and presents a new electric distribution grid model including the revisions. The revisions are determined by considering widely used electricity theft technics and included appropriate technological solutions against the theft technics. In the new model, inconsumable distribution voltage has a key role since consumable distribution voltage facilitates the theft. The proposed distribution grid architecture is modeled in Matlab/Simulink simulation environment and tested for various inconsumable distribution voltages which are distorted by 5th and 7th harmonics. The simulation results show that the distortion of distribution

voltage can be controlled as a reliable, insufficient or harmful voltage for electrical equipment by using an external harmonic voltage source. Furthermore, genuine costumers have robust energy during the simulation time owing to the passive harmonic filters embedded new power meters. These results reveal that the proposed method can be safely employed in existing electric distribution grids to prevent electricity theft.

6. REFERENCES

1. Depuru, S.S.S.R., Wang, L., Devabhaktuni, V., 2011. Electricity Theft: Overview, Issues, Prevention and a Smart Meter Based Approach to Control Theft. *Energy Policy*, 39, 1007-1015.
2. Seger, K.A., Icove, D.J., 1988. Power Theft the Silent Crime. *FBI Law Enforcement Bulletin*, 57-3, 20-25.
3. Smith, T.B., 2004. Electricity Theft: A Comparative Analysis. *Energ Policy*, 32, 2067–2076.
4. Northeast Group, 2015. Emerging Markets Smart Grid: Outlook 2015. <http://www.northeast-group.com/reports>.
5. Alam, M.S., Kabir, E., Rahman, M.M., Chowdhury, M.A.K., 2004. Power Sector Reform in Bangladesh: Electricity Distribution System. *Energy*, 29, 1773–1783.
6. Reuters, 2014. India to Invest \$4 Billion to Tackle Power Theft. <http://in.reuters.com/article/india-electricity>.

7. Jamil, F., 2013. On the Electricity Shortage, Price and Electricity Theft Nexus. *Energy Policy*, 54, 267–272.
8. Lewis, F.B., 2015. Costly “Throw-Ups”: Electricity Theft and Power Disruptions. *The Electricity Journal*, 28, 118–135.
9. Monedero, I., Biscarri, F., León, C., Guerrero, J.I., Biscarri, J., Millán, R., 2012. Detection of Frauds and Other Non-Technical Losses in a Power Utility Using Pearson Coefficient, Bayesian Networks and Decision Trees. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 34, 90–98.
10. Guerrero, J.I., León, C., Monedero, I., Biscarri, F., Biscarri, J., 2014. Improving Knowledge-Based Systems with Statistical Techniques, Text Mining, and Neural Networks for Non-Technical Loss Detection. *Knowledge-Based Systems*, 71, 376–388.
11. Depuru, S.S.S.R., Wang, L., Devabhaktuni, V., Green, R.C., 2013. High Performance Computing for Detection of Electricity Theft. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 47, 21–30.
12. Cabral, J.E., Pinto, J.O.P., Linares, K.S.C., Pinto, A.M.A.C., 2006. Methodology for Fraud Detection using Rough Sets. *IEEE International Conference on Granular Computing*; 10-12 May Atlanta, GA, USA: IEEE. 244–249.
13. Nagi, J., Yap, K.S., Tiong, S.K., Ahmed, S.K., Mohamad, M., 2010. Nontechnical Loss Detection for Metered Customers in Power Utility using Support Vector Machines. *IEEE Transaction on Power Delivery*, 25, 1162-1171.
14. Ibrahim, E.S., Management of Loss Reduction Projects for Power Distribution Systems. *Electrical Power System Research*, 55, 49–56.
15. Ghajar, R.F., Khalife, J., 2003. Cost/Benefit Analysis of an AMR System to Reduce Electricity Theft and Maximize Revenues for Électricité du Liban. *Applied Energy*, 76, 25–37.
16. Kripasagar, V., 2014. Tamper Detection in Processor-Based Energy Meters. *Texas Ins.* http://www.electronicproducts.com/Power_Products.
17. Stefan, S., Kripasagar, V., 2009. Implementing an Electronic Watt-Hour Meter with MSP430FE42x(A)/FE42x2. *Texas Instruments Application Report*. <http://www.ti.com>.
18. Panguloori, R., Mishra, P., Kumar, S., 2013. Power Distribution Architectures to Improve System Efficiency of Centralized Medium Scale PV Street Lighting System. *Solar Energy*, 97, 405–413.
19. Suzdalenko, A., Galkin, I., 2012. Advantages of Enhancement of Street Lighting Infrastructure with DC Link. 13th Biennial Baltic Electronics Conference; 3-5 October Tallinn, Estonia: IEEE. 235–238.
20. Panguloori, R.B., Mishra, P., 2014. Analysis on System Sizing and Secondary Benefits of Centralized PV Street Lighting System. 2014 Power and Energy Systems Conference: Towards Sustainable Energy; 13-15 Mar Bangalore, India: IEEE. 1-6.
21. Wagner, V.E., Balda, J.C., Barnes, T.M., Emanuel, E.M., Ferraro, R.J., 1993. Effects of Harmonics on Equipment. *IEEE Transaction on Power Delivery*, 8, 672-680.
22. Chou, C.J., Lio, C.W., Lee, J.Y., Lee, K.D., 2000. Optimal Planning of Large Passive-Harmonic-Filters Set at High Voltage Level. *IEEE Transaction on Power Systems*, 15, 433-441.
23. Rustemli, S., Cengiz M.S., 2015. Active Filter Solutions in Energy Systems, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Science*, 23, 1587-1607.
24. Thirumoorthi, P., Yadaiah, N., 2015. Design of Current Source Hybrid Power Filter for Harmonic Current Compensation, *Simulation Model Practice and Theory*, 52, 78–91.
25. IEEE Std 519™-2014, IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, IEEE Power and Energy Society, NY, USA.
26. Karabiber, A., Keles, C., Kaygusuz, A., Alagoz, B.B., Akcin, M., 2016. Power Converters Modeling in Matlab/Simulink for Microgrid Simulations, 4th International Istanbul Smart Grid and Cities Congress; 20-21 April; İstanbul, Turkey: IEEE. 1-5.

Türkiye'nin Altı Sigma Uygulama Haritası

Meryem ULUSKAN*¹

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

Geliş tarihi: 23.01.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Öz

Bu çalışmada Türkiye'de Altı Sigma uygulamasının coğrafi olarak dağılımı incelenmiştir. Türkiye genelinde 1000'i aşkın şirket ve kurum incelenip Altı Sigma uygulayıp uygulamadığı tespit edilmeye çalışılmış, Altı Sigma uygulayan 265 şirket belirlenmiştir. Şirketler isim, buldukları şehir, faaliyet gördükleri endüstri, Altı Sigma ve diğer kalite sistemleri açısından incelenerek kaydedilmiştir. Bu bulgular çerçevesinde illere göre Altı Sigma uygulama yoğunluk haritasını oluşturmak için görüntü işleme tekniklerden yararlanılarak kenar tanıma yöntemi ile ikili (binary) görüntü oluşturularak dijital Türkiye haritası çizilmiştir. Elde edilen harita sayısal bulgularımız doğrultusunda RGB (Kırmızı-Yeşil-Mavi) renk kodlama sistemi ile farklı koyuluk derecelerinde renklendirilmiştir. Bu şekilde, ülkemizde Altı Sigma uygulamalarına yönelik istatistiksel gerçekler ortaya çıkarılmış ve bu gerçekler herkes tarafından kolay yorumlanabilir görsel bilgilere dönüştürülmüştür. Bu görsel Altı Sigma uygulama haritasına ek olarak, Türkiye'nin endüstri kentlerinin ve kalite danışmanlık şirketlerinin dağılımları belirlenip, bunlar Altı Sigma uygulamaları ile ilişkilendirilmiş ve son olarak Türkiye'de Altı Sigma'nın endüstri kollarına göre dağılımı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Altı Sigma, Kalite iyileştirme, Türkiye, Harita, Görüntü işleme

Six Sigma Implementation Map of Turkey

Abstract

In this study geographical distribution of Six Sigma applications in Turkey is investigated. More than 1000 companies and organizations are examined to determine whether they implement Six Sigma or not, and ultimately 265 companies that implement Six Sigma are determined. Companies are recorded and listed according to their name, the city where they are located, the industry that they belong to, and Six Sigma and other quality management programs that they implement. In accordance with these findings, a geographical distribution map of Six Sigma applications for Turkey is created with the use of image processing techniques. In order to achieve this, a digital binary image for map of Turkey is created through image recognition technique. The binary map is then colored with different brightness levels through RGB (red-green-blue) color coding system in accordance with the implementation density of different cities. By this way, the statistical facts about Six Sigma applications are determined and converted into an implementation map that can be easily interpreted. In addition, the distribution of the most industrialized cities and quality management consulting companies within Turkey are determined and are linked to Six Sigma applications. Finally, Six Sigma application levels among different industries are compared.

Keywords: Six Sigma, Quality improvement, Turkey, Map, Image processing

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Meryem ULUSKAN, muluskan@ogu.edu.tr

1. GİRİŞ

Altı Sigma, ürünlerde, çıktılarda ve operasyonlarda mükemmelliğin sağlanması amacıyla işletmelerde süreçlerin tanımlanması, ölçülmesi, analiz edilmesi, iyileştirilmesi ve kontrolü için etkili istatistik araçlarının kullanıldığı bir yöntem bilimidir. Bu nedenle ürünlerinde, servislerinde ve süreçlerinde mükemmelliği hedefleyen pek çok firma ve profesyonel, gerek Altı Sigma program eğitimi gerekse Altı Sigma'nın devamlı uygulanabilmesi için sürekli bir çaba ve kaynak sarf etmektedir. Altı Sigma konusunda pek çok danışman şirket belirli maliyetler karşılığında firmalara eğitim ve destek vermektedir.

Altı Sigma, işletmelerde veya kurumlarda üretim, hizmet veya tedarik süreçlerinin kalitesinin artırılması ve mükemmelliğin sağlanması hedefiyle, ilgili süreçlere yönelik ölçümler yapılması, elde edilen verilerin analiz edilmesi, verilere dayanarak sürecin iyileştirilmesi ve son olarak sürecin kontrol altında tutulması prensiplerine dayanan kalite ve süreç geliştirme stratejisidir. Altı Sigma, yöneticilerin deneyimlere dayanan karar verme mekanizmasından, şirket ve üretim verilerine dayanan karar verme sürecine yönelmektedir. Süreç iyileştirmesine temel teşkil eden araçlar, sürece yönelik verileri bilgiye dönüştüren kolay fakat etkili istatistiksel yöntemlerdir. Altı Sigma'yı diğer süreç iyileştirme yöntemlerinden ayıran önemli özelliklerden biri, "adım adım iyileştirme yerine sıçramalı iyileştirme" gerçekleştirilmeyi hedeflemesidir [1].

Altı Sigma, süreç performansı için kritik öneme sahip ölçütler üzerinde yoğunlaşarak ve süreç performansını azaltan hata ve kusurları tespit ederek bunları ortadan kaldırmayı hedef alan bir yaklaşımdır. Altı Sigma'da süreç iyileştirme için "Tanımla, Ölç, Analiz Yap, İyileştir, Kontrol Et" şeklinde özetlenecek beş aşamalı döngü kullanılmaktadır. Bu döngü içerisinde, Altı Sigma'ya güç veren temel oluşum, istatistiksel araç ve yöntemlerin disiplinli ve anlaşılır bir şekilde uygulanması ve verilerin bilgiye etkili bir şekilde dönüşmesidir.

Ülkemizde Altı Sigma ilk kez 1995'li yıllarda hisselerinin önemli bir bölümü GE'ye ait olan TEI'de (Turkish Engine Industry) uygulanmıştır [2]. 1995'ten bu yana Altı Sigma tabanlı çalışmalarda oldukça yol alınmıştır. Fakat Altı Sigma uygulamalarının ülkemizde genel profilini çizen ve dağılımını belirleyen kapsamlı çalışmaların olmaması dikkat çekicidir. Ülkemizde Altı Sigma uygulamalarının genel istatistiklerini ortaya çıkaran bir çalışma bulunmamıştır. Çalışmalar daha çok tek bir sektörde uygulama [örn. 3, 4] veya belli bir bölgede Altı Sigma farkındalığı araştırması şeklindedir [örn. 2]. İşte bu noktada çalışmamız literatürdeki bu temel boşluğu doldurarak Türkiye için Altı Sigma uygulama haritası oluşturmuştur. Görüntü tanıma yöntemleri aracılığıyla farklı ve yeni bir yaklaşım kullanılarak Altı Sigma uygulamalarına yönelik istatistiksel gerçekler herkes tarafından kolay anlaşılabilir görsel bilgilere dönüştürülmüştür.

Altı Sigma uygulama haritasının doğru yorumlanabilmesi için, bu haritaya ek olarak, Türkiye'de endüstri kentlerinin ve kalite danışmanlık şirketlerinin coğrafi dağılımları belirlenip, bunlar Altı Sigma uygulamaları ile ilişkilendirilmiş, ve son olarak Türkiye'de Altı Sigma'nın endüstri kollarına göre dağılımı incelenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ülkemizde, Altı Sigma konusunda yapılan akademik çalışmalar dört farklı grupta toplanabilir. Birinci grupta genel olarak Altı Sigma anlayışını sözel olarak tanımlayan Altı Sigma felsefesi ve esaslarından bahseden çalışmalar, ikinci grupta genelde birer vaka çalışması olarak Altı Sigma uygulamalarını ve başarılarını anlatan çalışmalar, üçüncü grupta Altı Sigma başarısına etki eden faktörleri inceleyen çalışmalar ve son grupta doğrudan Altı Sigma'nın istatistiksel ve veri işleme boyutuyla ilgilenen çalışmalar yer almaktadır.

Birinci gruba örnek olarak 2008 yılında yayınlanan Doğan ve Demiral'ın "Yalın Yöntemler ve Altı Sigma'yı İçeren Bütünleşik Bir Yaklaşım: Yalın Altı Sigma" [5] makalesini örnek verebiliriz. Bu

makalenin öncesinde ve sonrasında da pek çok Türkçe yazı, makale ve kitapta Altı Sigma teknikleri tanımlanmış, tarihsel gelişim süreçleri açıklanmış, esasları ve prensiplerine değinilmiştir. Buna karşılık Altı Sigma'yla ilgili yakın zamanlı çalışmaların giriş bölümünde hala Altı Sigmanın Motorola'yla başlayan tarihsel sürecine yer verildiği gözlenmektedir. Bu durum, bu konuda araştırma yapan insanların, henüz Altı Sigma'nın yeterince iyi tanınmadığını düşünmeleri ve okuyucuları bu konuda bilgilendirmek istemelerinden kaynaklanıyor olsa da, akademik yaygın anlamında bir verimsizlik oluşturmaktadır.

İkinci grupta, çeşitli meslek grubu ve akademik çevreden insanlar kendi alanlarıyla ilgili Altı Sigma uygulamalarına yer vermişlerdir. Hastane ve tıbbi laboratuvar ortamlarından tekstile, maden işletmeciliğinden finans sektörüne, pek çok alanda Altı Sigma uygulamalarına yer verilmiştir (örnek olarak [6-9]). Burada dikkat çeken nokta, çok farklı dalda insanların Altı Sigma yöntemine duydukları ilgi ve Altı Sigma'nın ülkemizde geniş çaplı biçimde yaygınlaşmış olmasıdır.

Üçüncü grupta, Altı Sigma'nın başarılı bir yöntem olmasından öte, bu yöntemi etkili kılabilecek başarı faktörlerinden bahseden çalışmalar vardır. "Türk İmalat Sektöründe Altı Sigma Proje Başarısına Etki Eden Kritik Başarı Faktörlerinin Analizi" [10] bu alandaki çalışmalardan biridir. Yine "Altı Sigma'nın Kobi'lerde Farkındalığı, Ayırt Edici Faktörler ve Uygulama Karakteristikleri: Aydın İlinde Ampirik Bir Değerlendirme" [11] bu kategoride yer alabilecek ve dahası anket yöntemine başvurmuş bir çalışmadır. "Yalın Altı Sigma Projelerinin Başarısız Olma Nedenleri" [12] ise olaya tersinden bakan fakat yabancı literatüre dayanan bir çalışmadır.

Dördüncü kısımda, Altı Sigma'da uygulanan istatistiksel analizlere ve veri madenciliği yöntemlerine iyileştirme getiren çalışmalar yer almaktadır. Bu kısımda genelde endüstri mühendisliği ve istatistik çevresinden araştırmacılar bulunmaktadır. "Altı Sigma Proje Uygulamalarının Denetimi İçin Bir Uzman Karar Destek Sistemi" [13], "Süreç Doğruluk İndeksi ve Bulanık Karar Ortamında Kullanılması" [14] bu

alandaki sayılabilecek ülkemizdeki örneklerden birkaçıdır.

Sonuç olarak, Altı Sigma tabanlı çalışmalarda ülkemizin oldukça yol almış olmasına karşın ülkemizde uygulamalarının genel profilini çizen ve dağılımını belirleyen kapsamlı çalışmaların olmaması dikkat çekicidir. İşte bu noktada çalışmamız hem literatürdeki bu temel boşluğu doldurarak kapsamlı bir Altı Sigma uygulama haritası oluşturmuş, hem de Altı Sigma uygulamalarına yönelik istatistiksel gerçekleri herkes tarafından kolay anlaşılabilir görsel bilgilere ve haritalara dönüştürmüştür.

3. METOT

3.1. Çalışmanın Amaçları

Bu çalışmanın amaçları:

1) Türkiye'de Altı Sigma uygulayan şirketlerin aşağıda belirtilen farklı veri tabanları incelenerek tespit edilmesi;

- Danışmanlık şirketlerinin veri tabanları
- Şirketlerin internet siteleri ve kalite politikaları
- Altı Sigma proje yarışmaları
- Altı Sigma konferansları, konuşmacıları ve katılımcıları
- Altı Sigma, kalite haberleri ve başarı öyküleri
- Altı Sigmaya yönelik bilimsel çalışmalar: makaleler ve lisansüstü tezler
- Kişilerin kariyer geçmişleri ve başarı hikayeleri

2) Türkiye'de Altı Sigma uygulanma düzeyinin coğrafi dağılımının belirlenmesi

3) Altı Sigma uygulanmasına yönelik bu verilerin kolay okunabilir görsel bilgilere dönüştürülmesi

- a) Görüntü işleme teknikleri ile dijital bir Türkiye haritasının oluşturulması ve illere göre otomatik olarak renklendirilmesi

b) Veriler ile Türkiye'nin Altı Sigma uygulama haritasının oluşturulması

4) Türkiye'nin endüstri kentlerinin ve kalite danışmanlık şirketlerinin dağılımının belirlenip Altı Sigma uygulamaları ile ilişkilendirilmesi

5) Türkiye'de Altı Sigma'nın endüstri kollarına göre dağılımının incelenmesi

3.2. Veri Derleme

Bu çalışmada Türkiye'deki Altı Sigma uygulamalarının coğrafi dağılımı incelenmiştir. Çok uzun ve yoğun çabalar ile çeşitli danışmanlık şirketlerinin veri tabanlarından, endüstriyel kalite haberlerinden, bilimsel makalelerden, lisanüstü tezlerden, şirketlerin internet sayfalarında yayınladıkları kalite politikalarından, şirketlerde çalışanların yayınladıkları özgeçmişlerden, kalite projeleri yarışmalarından ve Altı Sigma konferanslarından yararlanılarak Türkiye'de Altı Sigma uygulayan şirketlerin bir listesi çıkarılmıştır. Bu listeye ulaşabilmek için Türkiye genelinde 1000'i aşkın şirketin ve kurumun Altı Sigma uygulayıp uygulamadığı tespit edilmeye çalışılmış, Altı Sigma uygulayan 265 şirket listelenmiştir. Şirketler isim, buldukları şehir, faaliyet gördükleri endüstri, Altı Sigma ve diğer kalite sistemleri uygulaması açısından incelenerek kaydedilmiştir. Bu listenin oluşturulması sırasında yararlanılan kaynaklar örneklerle Başlık 3.3'te açıklanacaktır.

Bu çalışmanın temel çıktısı olan Altı Sigma Haritasında, Altı Sigma'yla ilgili gerçeklerin herkes tarafından kolay anlaşılabilir görsel bilgilere dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Yukarıda bahsedildiği gibi, Türkiye'de Altı Sigma uygulayan şirketler belirlendikten sonra bu sonuçların görsel sunumu için otomatik bir şekilde farklı koyuluk dereceleriyle renklendirilebilecek bir Türkiye haritasına ihtiyaç duyulmuştur. Otomatik olarak renklendirilebilecek haritaların oluşturulabilmesi için MATLAB® görüntü işleme yazılım paketleri kullanılmıştır. Ayrıca istenilen renk koyuluklarının oluşturulabilmesi için RGB (Kırmızı-Yeşil-Mavi) renk kodlama sistemi kullanılmıştır. Bu teknik çalışmalardan sonra, Türkiye Altı Sigma haritası

oluşturulmuştur.

3.3. Türkiye'de Altı Sigma Uygulayan Şirketlerin Tespiti

3.3.1. Danışmanlık Şirketlerinin Veri Tabanları

Altı Sigma uygulayan şirketler için önemli bir kaynak Altı Sigma danışmanlığı uygulayan şirketlerin veri tabanlarıdır. Danışmanlık şirketleri eğitim verdikleri şirketleri ve verdikleri eğitim türlerini kayıt altında tutmaktadırlar. Bu şekilde, Türkiye'de Altı Sigma eğitimi almış şirketlerin tespiti sağlanabilmektedir. Çizelge 1'de Sigma Center ve Gelişim Yönetim A.Ş. şirketlerinin internet sitelerinden elde edilmiş veri örnekleri sunulmaktadır [15,16]:

Çizelge 1. Türkiye'de Altı Sigma uygulayan şirketlerin tespitinde danışmanlık şirketlerinin internet sitelerinden derlenen veriler. (Sigma Center ve Gelişim Yönetim Sistemleri)

AKPRES METAL VE YEDEK PARÇA SAN.	BURSA
44. Altı sigma bilinçlendirme	
45. Yeşilkuşak tanımlama ve ölçme fazı	Temel Metal
46. Yeşilkuşak analiz ve iyileştirme fazı	
47. Yeşilkuşak kontrol fazı	
...	
KÜKRE GIDA VE İHTİYAÇ MAD. PAZARLAMA TİC. SAN.	ESKİŞEHİR
476. Yalın Altı Sigma Yeşilkuşak	
477. Yönetim prensipleri	Gıda/İçecek/Tütün
478. Kalite Yönetim Sistemi Dokümantasyonu	
479. Kuruluş İçi Kalite Yönetim Sistemi Tetkikçisi	
480. Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi (ISO 22000:2005)	
481. Hijyen	
KÜTAHYA PORSELEN	KÜTAHYA
482. Altı sigma proje sahipleri bilinçlendirme	
483. Yalın Altı Sigma Ekip Üyeleri	Diğer Hizmetler
484. Yeşilkuşak tanımlama ve ölçme fazı	
485. Yeşilkuşak analiz ve iyileştirme fazı	
486. Yeşilkuşak kontrol fazı	
42. ANAGOLD MADENCİLİK SAN. VE TİC. A.Ş.	ANKARA
Altı Sigma Danışmanlığı	Madencilik

Çizelge 1'e bakıldığında Bursa'da bulunan ve Metalurji sektöründe yer alan Akpres Metal ve Yedek Parça A.Ş.'nin Altı Sigma yeşil kuşak eğitimi aldığı görülmektedir. Yine Kutahya Porselen'in ve Eskişehir'de bulunan Kükre Gıda'nın yeşil kuşak eğitimi aldığı görülmektedir.

Ankara’da ise Anagold Madencilik A.Ş. yine Altı Sigma eğitimi almıştır. Bu şekilde listeler Altı Sigma uygulayan şirketlerin bu konuda aldıkları eğitimlere yönelik kapsamlı bilgiler sunmaktadır. Özellikle, Altı Sigma uygulayan küçük çaplı şirketlerin tespitinde bu listeler önemli rol oynamıştır. Çizelge 2’de ise danışmanlık şirketlerinin “Referanslarımız” ve “Müşterilerimiz” başlığı altında verdikleri listelere örnekler sunulmuştur. Bu listeler ise olası Altı Sigma uygulayan şirketlerin tespiti için önemli listelerdir. Danışmanlık şirketleri Altı Sigma dışında da hizmetler verdikleri için, bu listelerde yer alan şirketler tek tek Altı Sigma uygulamaları açısından detaylı araştırılmıştır.

Bu şekilde elde edilen şirket isimleri Altı Sigma uygulama açısından ayrıca araştırılarak buldukları şehir ve endüstri bilgisi ile beraber listemize kaydedilmişlerdir.

Çizelge 2. Altı Sigma ve Kalite Danışmanlığı şirketlerinin müşteri ve referans listeleri Altı Sigma uygulayan olası şirketlerin tespitinde önemli bir kaynaktır

The screenshot shows the website of MATRIS DANIŞMANLIK. The top navigation bar includes 'ANA SAYFA', 'HAKKIMIZDA', 'HİZMETLERİMİZ', and 'MÜŞTERİLERİMİZ'. Below the navigation bar, there is a list of clients under the heading 'MÜŞTERİLERİMİZ > MÜŞTERİLERİMİZ'. The list includes:

- ALIMEX ALÜMİNYUM SANAYİ VE TİCARET LTD. ŞTİ.
- ARMA FİLTRE SİSTEMLERİ SANAYİ VE TİCARET A. Ş.
- BAHARİYE MENSUCAT SANAYİ VE TİCARET A. Ş.
- BAKAÇ REKLAM ORGANİZASYON A. Ş.
- BOSCH SANAYİ VE TİCARET A. Ş.
- BOSCH TERMOTEKNİK SANAYİ VE TİCARET A. Ş.
- BOSSA TİCARET VE SANAYİ İŞLETMELERİ TİCARET A. Ş.
- B/S/H/ EV ALETLERİ SANAYİ VE TİCARET A. Ş.

Below the client list, there is a section for 'REFERANSLAR' (References) with the note '(Alfabetik olarak sıralıdır.)'. The references listed are:

- AKSA AKRİLİK
- AKTAŞ GROUP
- AKZO NOBEL
- ALARKO 2009

3.3.2. Şirketlerin İnternet Siteleri ve Kalite Politikaları

Türkiye’de Altı Sigma uygulayan şirketlerin tespitinde diğer önemli bir kaynak ise şirketlerin kendi sitelerinde yayınladıkları kalite politikaları ve kalite haberleridir. Şirketler Altı Sigma kalite sistemi uygulamayı önemli bir prestij olarak gördüklerinden internet sitelerinde Altı Sigma uygulamalarına yönelik çeşitli bilgileri paylaşmaktadırlar. Aşağıda birkaç örnek verilmiştir:

*“ BSH Süreçlerinde 6 Sigma
...BSH ailesi içinde 6 Sigma alanında bir çok başarıya imza attı ... Şu ana kadar BSH bünyesinde tamamlanan 50’yi aşkın 6 Sigma projesi ile artan şirket verimliliği...”[17]*

*“6 Sigma Eğitimlerimiz Tam Gaz Devam Etmekte - Denge Kimya - 2 Eylül 2015
Altı Sigma eğitimleri dalga dalga firmamızda yayılıyor. Mayıs ayından bu yana ikinci dalga kara kuşakların eğitimi devam etmektedir...”[18]*

*“Kilometre Taşları - Flokser Tekstil
...2009 yılı: Sertex Suede Fabrikası Çerzekköy’deki fabrikasına taşındı. 6 Sigma metodolojisi uygulamaya koyuldu...”[19]*

*“ Hema’da Yalın Altı Sigma Çalışmaları
2003 yılında Caterpillar Üniversitesi’nden Kara Kuşak eğitimi alınması ile başlayıp Temmuz 2006’ya kadar sürdürülen Altı Sigma pilot çalışmaları sonucunda “Yalın Altı Sigma” uygulamasına geçildi. Yalın Altı Sigma yol haritasının çıkarılmasının ardından Yalın Altı Sigma liderlik ekibi oluşturuldu. ... Yıllar itibariyle 6 Sigma yayılımına ara vermeden devam eden Hema Endüstri A.Ş. 2014 yılı itibariyle 3 Uzman Kara Kuşak, 19 Kara Kuşak, 21 Yeşil Kuşak ve 151 Sarı Kuşak çalışana sahiptir.”[20]*

Görüldüğü gibi şirketlerin sitelerinde Altı Sigma uygulamalarına yönelik oldukça önemli istatistikler bulunmaktadır. Bunlar içerisinde Altı Sigma eğitime başlanma tarihi, Altı Sigma’nın şirket

içerisinde uygulanmaya başlanmasının tarihi, şirkette bulunan kara, yeşil ve sarı kuşak sayıları bulunabilmektedir. Yine şirket içerisinde Altı Sigma uygulamasının kronolojisi dahi bulunabilmektedir.

3.3.3. Altı Sigma Proje Yarışmaları

Altı Sigma kültürünün ve farkındalığının gelişmesi amacıyla kalite yarışmaları ve şenlikleri düzenlenmektedir. Bu yarışmalara katılan ve kazanan şirketlerin listesi Türkiye'de Altı Sigma uygulaması bulunan şirketlerin tespitine yönelik önemli bir kaynaktır. Aşağıda bunlara birkaç örnek verilmiştir:

"I. Yalın 6 Sigma Proje Yarışması (2013 Yılı) Türkiye Tekstil Sanayii İşverenleri Sendikası'nın 2007 yılından beri desteklediği Yalın 6 Sigma projelerinde ... teşvik edilmesi amacıyla ... I. Yalın 6 Sigma Proje Yarışması 2013 yılı içerisinde düzenlendi. Yarışmaya 10 farklı tekstil firmasından toplam 60 özgün proje katıldı."[21]

"II. Yalın / Altı Sigma Proje Yarışması Sonuçları - Türkiye Tekstil Sanayi İşverenleri Sendikası II. Yalın / Altı Sigma Proje Yarışmasına 12 farklı üye firmamızdan toplam 69 özgün proje katılmıştır. Finale Kalan Projeler Listesi şu şekildedir..." [22]

"Supsan A.Ş. 6 Sigma etkinliği ile çalışanlarını ödüllendirdi Supsan A.Ş.'de Yalın 6 Sigma projelerinin gelişimi ... Ödül almaya hak kazanan projelerin liderleri..." [23]

3.3.4. Altı Sigma Konferansları, Konuşmacıları ve Katılımcıları

Çeşitli kurumlar, danışmanlık şirketleri, üniversiteler, meslek grupları ve meslek odaları tarafından düzenlenen kalite ve Altı Sigma konferanslarında kurumsal veya bireysel tecrübelerini sunmak için çeşitli şirketlerden çalışanlar konuşmacı olarak davet edilmektedir. Bu konferansların oturum programları Altı Sigma uygulayan şirketlere yönelik önemli ipuçları sunmaktadır.

"Altı Sigma-Yalın Konferansları-Bütünsel Deneyim Paylaşımı Oturumları Firma içi farklı birimler veya yan sanayi, taşeron gibi firma ilişkilerini içeren 90 dk'lık uygulamaların bütünsel olarak ele alındığı sunumlar... Oturum 09.05.2008 Cuma - 11.30-13.00 - Ege Salonu, Yönetim Sistemi İçinde Altı Sigma ve Yalın'ın Önemi, Konuşmacılar: ... Rexam A.Ş.[24]"

3.3.5. Altı Sigma, Kalite Haberleri ve Başarı Öyküleri

İnternette yayınlanan çeşitli Altı Sigma haberleri, danışmanlık şirketleri tarafından sunulan eğitimlere yapılan yorumlar ve başarı öyküleri yine Altı Sigma uygulayan şirketlerin tespitinde önemli bir kaynaktır.

"Hyundai Assan'da Yalın 6 Sigma Yeşilkuşak Eğitimlerimiz Başladı. 3 Kasım 2015. Sigma Center."[25]

"Matris A.Ş. Müşterilerimizden: ... Altı Sigma'dan daha etkin bir yöntem yok. Altı Sigma uygulamadan geçen her gün bu firmalar için kayıp olacaktır. ..., Altı Sigma Kara Kuşak, Cross Jeans."[26]

3.3.6. Altı Sigma Bilimsel Çalışmalar: Makaleler ve Lisansüstü Tezler

Türkiye'de Altı Sigma üzerine yazılan bilimsel makaleler ve lisansüstü tezler yine şirketlerin tespitinde önemli bir kaynaktır (örnek olarak [27, 28])

3.3.7. Kişilerin Kariyer Geçmişleri ve Başarı Hikayeleri

Son olarak kişiler, mühendisler ve uzmanlar çeşitli sitelerde yayınladıkları kariyer geçmişlerinde şu anda veya geçmişte çalıştıkları şirketlerde Altı Sigma uyguladıklarını belirtmektedir. Birkaç örnek şu şekildedir:

"...Yaklaşık 4 yıldır sürdürdüğüm profesyonel iş yaşamımda... Başarı Hikayesi Sinbo'da Yürüttüğüm Altı Sigma çalışmaları içerisinde..."[29]

İlgili özgeçmiş incelendiğinde Sinbo şirketinde Altı Sigma uygulamalarının bulunduğu anlaşılmaktadır.

Tüm bu kaynaklardan yararlanılarak Türkiye’de Altı Sigma uygulayan şirketlerin bir listesi çıkarılmıştır. Bu listeye ulaşabilmek için Türkiye genelinde 1000’i aşkın şirketin ve kurumun Altı Sigma uygulayıp uygulamadığı tespit edilmeye çalışılmış, Altı Sigma uygulayan 265 şirket listelenmiştir. Şirketler isim, buldukları şehir, faaliyet gördükleri endüstri, Altı Sigma ve diğer kalite sistemleri açısından incelenerek belirlenmiş ve çalışmanın diğer aşamasında Türkiye haritası oluşturulduktan sonra veri olarak kullanılmıştır.

3.4. Türkiye Haritası Oluşturma ve İllere Göre Renklendirme

Bu çalışmanın amaçlarından biri Altı Sigma’nın ülkemizde uygulanma yoğunluğunu coğrafi olarak göstermektir. Burada Altı Sigma’yla ilgili istatistiksel verilerin herkes tarafından kolay anlaşılabilir görsel bilgilere dönüşmesi hedef alınmıştır. Bu sebeple, Türkiye’de Altı Sigma uygulayan şirketlerin illere göre coğrafi dağılımı harita üzerinde görsel olarak gösterilecektir. Böyle bir çalışma için öncelikle dijital olarak işlenebilecek ve renklendirilebilecek bir Türkiye haritası ve bunun başarılılabileceği bir yazılım platformu gerekli olmaktadır. Bu bölümde otomatik olarak renklendirilebilecek bir Türkiye haritasının nasıl elde edildiği aktarılacaktır.

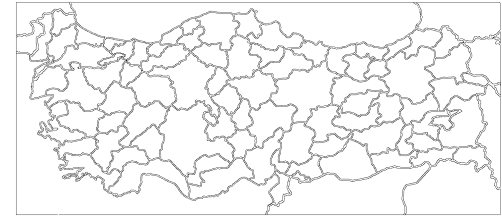
3.4.1. Kenar Tanıma Yöntemi ile İkili (Binary) Görüntü Oluşturulması

İnternette gerekli aramalar yapılarak üzerinde yazı ve diğer herhangi bir işaret bulunmayan ve illere göre bölümlenmiş bir Türkiye haritası elde edildi. Şekil 1’de gösterilen ilgili özellikleri taşıyan harita gösterilmiştir.

Bu harita, işlenebilir duruma getirilmesi için MATLAB® görüntü işleme tekniklerden yararlanılarak ilgili görüntü kenar tanıma yöntemine tabi tutularak Şekil 2’de görülen ikili (binary) görüntü elde edilmiştir.



Şekil 1. Türkiye İller Haritası [30]

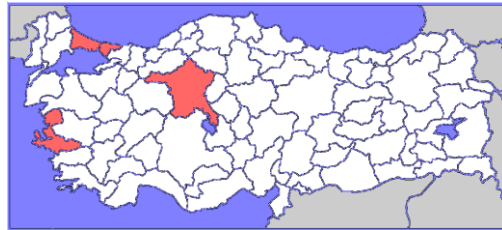


Şekil 2. MATLAB® görüntü işleme ile elde edilen Türkiye İller Haritası ikili (Binary) görüntü

Bu şekilde elde edilen harita, bu çalışmanın ihtiyacı doğrultusunda renklendirmeye hazır hale getirilmiştir.

3.4.2. Şehirlerin Konumlarının Pksel Cinsinden Değerinin Tespiti ve Alan Renklendirmesi

Bu aşamadan sonra her şehrin konumuna karşılık gelen piksel koordinatları tespit edilerek kaydedilmiştir. Böylelikle ikili (binary) görüntüde bir alan (yani şehir) renklendirilmek istendiğinde ilgili şehrin piksel koordinatlarından yararlanılarak ilgili kapalı alan istenilen renge otomatik olarak boyanabilmektedir. Şekil 3’te Türkiye haritası üzerinde MATLAB® “imfill” fonksiyonu yardımıyla Ankara, İstanbul ve İzmir illeri renkli boyanabilmıştır.



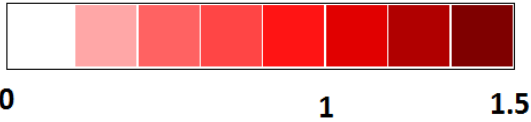
Şekil 3. Türkiye İller Haritası - Şehirlerin piksel koordinatları belirlendi ve renklendirmeye hazır hale getirildi

3.4.3. Renk Yelpazesinin Oluşturulması

Ortaya çıkarılan istatistiklerin harita üzerinde en verimli şekilde gösterilebilmesi için illerin farklı Altı Sigma uygulama derecesine göre farklı tonda renklere boyanabilmesi gerekmektedir. Bu aşamada, RGB (kırmızı-yeşil-mavi) renk kodlama yapısı incelenmiştir. RGB renk kodu üç boyutlu bir vektörden oluşmaktadır. Vektörün birinci elemanı kırmızı, ikinci elemanı yeşil ve üçüncü elemanı ise mavi renge karşılık gelmektedir. Renk vektöründeki sayılar 0 ile 1 arasında bir değer alabilmektedir. Bu şekilde [1 0 0] vektörü kırmızı renge denk gelmektedir. Aynı şekilde, [1 1 1] vektörü beyaz renge ve [0 0 0] ise siyah renge denk gelmektedir. Bu sebeple, örnek olarak [1 0,7 0,7] açık renkli bir kırmızı rengi iken, [0,5 0 0] vektörü ise koyu renkli bir kırmızıya karşılık gelmektedir. Koyu tonlarda olmasını istediğimiz bir rengin kırmızı içerikli olduğunu anımsatmak için [0,5 0 0] vektöründen daha koyu renkleri kullanmamak gerekmektedir. Böylelikle, RGB vektörünün tarayacağı değerler şu şekilde olmalıdır:

$$\begin{aligned} \text{RGB} &= [1 \ 1 \ 1] \rightarrow [1 \ 0 \ 0] \rightarrow [0,5 \ 0 \ 0] \\ \text{İndeks} &= 0 \rightarrow 1 \rightarrow 1,5 \end{aligned}$$

Bu şekilde bir renk taraması için maksimum değere karşılık gelen indeks oransal olarak 1,5 olmalı, ona karşılık gelen renk ise [0,5 0 0] olmalıdır. Minimum değere karşılık gelen renk indeksi 0 olmalı ([1 1 1] rengi), gerçek kırmızı rengin renk indeksi ise 1 ([1 0 0] rengi) olmalıdır. Bu şekilde oluşturulan renk yelpazesi Şekil 4'te gösterilmiştir.



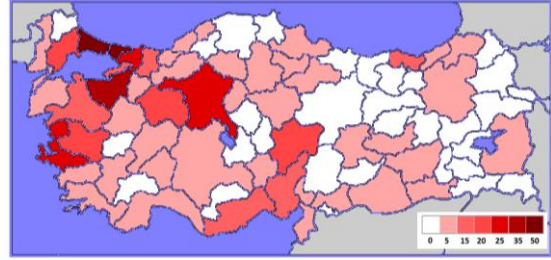
Şekil 4. Şehirlerin elde edilen istatistiklere göre renklendirilebilmesi için oluşturulan renk yelpazesi

Örnek olarak Altı Sigma'nın en çok uygulandığı şehir için renk indeksi oransal olarak 1,5 olurken, diğer şehirlerin durumu yelpazenin daha açık olacak renklerine göre dengeli olarak dağıtılmalıdır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Türkiye'nin Altı Sigma Haritasının Oluşturulması

Şekil 5'te Türkiye'nin Altı Sigma Uygulama haritası illere göre renklendirilerek sunulmuştur. İlk olarak göze çarpan Altı Sigma uygulamalarının Marmara Bölgesi'nde son derece yoğun olmasıdır. Başta İstanbul olmak üzere, Bursa, Kocaeli, Sakarya, Tekirdağ, Yalova ve Balıkesir Altı Sigma uygulamaları açısından oldukça zengin şehirler olarak belirmektedir. Böylelikle Marmara bölgesi Türkiye'nin Altı Sigma açısından en zengin bölgesi unvanını almaya hak kazanmıştır.



Şekil 5. Türkiye'nin Altı Sigma Uygulama Haritası

Altı Sigma uygulamaları açısından diğer önemli bir bölge ise İzmir ve çevresidir. İzmir'in en önemli interlandı olan Manisa, Altı Sigma açısından İzmir'e eşlik etmektedir. Öte yandan, Ege'nin önemli sanayi kentlerinden olan Denizli'nin, Manisa'nın aksine Altı Sigma açısından zengin bir kent olmaması dikkat çekicidir.

Altı Sigma uygulamaları açısından diğer önemli bir bölge ise Kayseri-Adana-Mersin şehirlerini içermektedir. Birbirlerine komşu olan bu üç sanayi kenti, çevre illere göre oldukça belirgin bir Altı Sigma zenginliğine sahiptir. Bölgenin diğer önemli sanayi kentlerinden olan Gaziantep ve Hatay'da aynı derece zenginlik gözlenmemektedir.

Altı Sigma uygulamaları açısından diğer önemli bir bölge ise, Eskişehir-Ankara şehirlerini barındıran İç Batı Anadolu bölgesidir. Hem önemli birer sanayi hem de üniversite kenti olan bu şehirler yine Altı Sigma açısından zengin kentler olarak çevre illere göre ön plana çıkmaktadır. İç Anadolu'nun

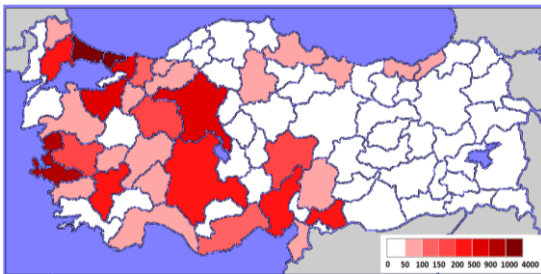
önemli sanayi kentlerinden biri olan Konya’da ise aynı derecede bir Altı Sigma zenginliği gözlenmemektedir.

Son olarak Karadeniz bölgesinde, Trabzon Altı Sigma uygulamaları açısından yine çevre illere göre ön plana çıkmaktadır. Harita ile ilgili dikkat çeken diğer bir nokta ise, Altı Sigma’nın Türkiye geneline yayılmış olmasıdır. Türkiye’nin her bölgesinde Altı Sigma uygulayan kurum veya kuruluşlar bulunmaktadır. Ankara’dan Orta Karadeniz’e uzanan bölge içinde kalan şehirler, İç Anadolu ve Ege Bölgesi içerisinde yer alan şehirlerin neredeyse tamamı Altı Sigma uygulayan şirketlere ev sahipliği yapmaktadır.

4.2. Türkiye’nin Altı Sigma Haritasının Yorumlanması

4.2.1. TÜİK Verilerine Göre Türkiye’nin Endüstri Kentleri

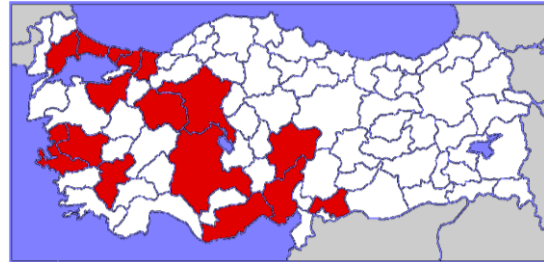
Bu bölümde Türkiye İstatistik Kurumu’nun (TÜİK) 2002 sayımına göre “İmalat, sanayii işyeri sayısı” verisine dayanarak oluşturulan, Türkiye’nin endüstri kentleri haritası sunulacaktır. Türkiye’nin en çok sanayileşmiş kentlerini gösteren bir haritaya resmi kaynaklar veya literatürdeki önemli kaynaklar yoluyla ulaşamamıştır. Bu sebeple, Türkiye İstatistik Kurumu’nun internet sitesinden “Bölgesel istatistikler” menüsüne girilerek, “İmalat, sanayii işyeri sayısı” verisi elde edilmiştir [31]. Bu veriye dayanarak Türkiye’nin en çok sanayileşmiş kentleri sanayileşme derecesine göre renklendirilerek Şekil 6’da görülen Türkiye’nin Endüstri Kentleri haritası oluşturulmuştur.



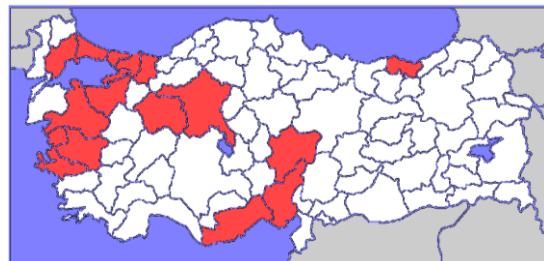
Şekil 6. Türkiye’nin imalat, sanayi işyeri sayısı haritası

4.2.2. Türkiye’nin Endüstri Kentleri ve Altı Sigma ile İlişkisi

Türkiye’nin Altı Sigma uygulamaları açısından en zengin kentlerine bakıldığında, bunların genel olarak, Türkiye’nin en çok endüstrileşmiş kentleri arasında yer aldığını görmek mümkündür. Bu genellemeyi daha detaylı incelemek için Türkiye’nin Altı Sigma Haritasıyla yine Türkiye’nin Endüstri kentleri haritası karşılaştırılabilir. Şekil 7’de Türkiye’nin en çok sanayileşmiş ilk 15 kenti gösterilmiştir. Şekil 8’de ise Altı Sigma uygulamaları açısından en zengin ilk 15 kenti gösterilmektedir. Görüldüğü gibi iki harita büyük ölçüde örtüşmektedir. Türkiye’nin önemli endüstri kentlerinden olup Altı Sigma uygulamayan üç kent bulunmaktadır. Bunlar Denizli, Konya ve Gaziantep’tir. Altı Sigma zenginliği açısından bu kentlerin yerini Marmara Bölgesinde bulunan, Yalova ve Balıkesir almıştır. Görüldüğü gibi Altı Sigma’nın, endüstrilerin yoğun bulunduğu yerlerde daha çok görülme ihtimali artsa da, Altı Sigma uygulamalarında coğrafi bölgenin de etkisi olmaktadır. Böylelikle Altı Sigma’nın arkasında endüstriyel motivasyonlar olmakla beraber, Altı Sigma’nın bir kültür ögesi olarak çeşitli coğrafi bölgelere özgü olduğu söylenebilir.



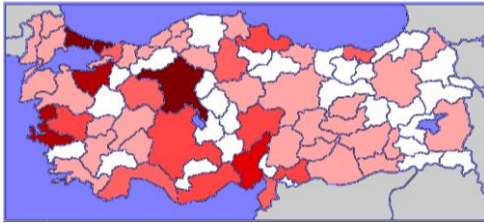
Şekil 7. Türkiye’nin en çok sanayileşmiş 15 kenti



Şekil 8. Türkiye’nin en çok Altı Sigma uygulayan 15 kenti

4.2.3. Türkiye'nin Kalite Danışmanlık Şirketleri

Altı Sigma uygulamasının ve kültürünün illere göre dağılımına yönelik son değerlendirme Türkiye'de kalite danışmanlık ve sertifikasyon şirketlerinin, yani ISO kalite programları ve sertifikasyonu başta olmak üzere tüm kalite yönetim danışmanlık şirketlerinin iller düzeyinde dağılımı verilerek tamamlanacaktır. Bu kalite şirketlerinin varlığının Altı Sigma için bir "temel kalite kültürü" yaratması açısından gerekli koşul olduğu düşüncesiyle Şekil 9'da verilen harita oluşturulmuştur. İnternet üzerinden yaklaşık 450 adet şirketin illere göre dağılımı incelenmiş ve kalite danışmanlık şirketlerinin listesi oluşturulmuştur.



Şekil 9. Türkiye Kalite Danışmanlık ve Sertifikasyon Şirketlerinin Dağılımı

Şekil 9'da görüldüğü gibi, kalite şirketlerinin dağılımı endüstrileşmiş şehirler haritasını takip etmektedir. Tek önemli fark Denizli'dir. Denizli'de yeterli kalite danışmanlık şirketlerinin yoğun olmayışı Altı Sigma için gerekli altyapının bulunmayışını doğrular niteliktedir. Diğer taraftan Doğu Karadeniz'de, Trabzon kalite danışmanlık şirketleri açısından çevre şehirlere göre iyi seviyededir. Bu sebeple, Trabzon'da Altı Sigma verimli bir alan bulmuştur denilebilir. Son olarak, Konya ve Gaziantep kalite danışmanlık şirketleri açısından oldukça zengin şehirler olarak durmaktadır. Ancak bu şehirler Altı Sigma açısından zengin şehirler değildir. Sonuç olarak, kalite danışmanlık şirketlerinin varlığının o şehirde Altı Sigma kültürü varlığı için gerekli ancak yeterli koşul olmadığı söylenebilir.

4.3. Türkiye'de Altı Sigma'nın Endüstri Kollarına Göre Dağılımı

Bu bölümde Türkiye'de Altı Sigma'nın endüstri kollarına göre dağılımı incelenecektir. Herhangi bir

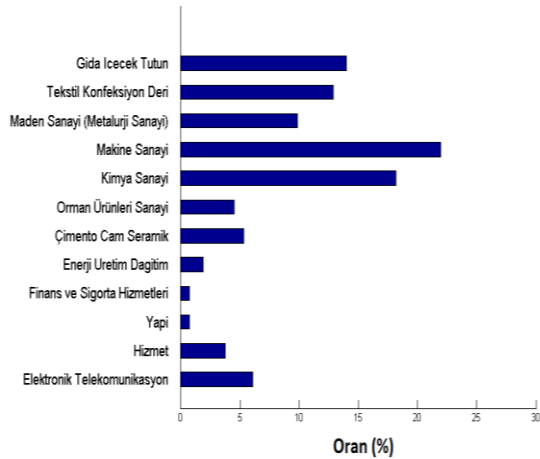
endüstri kolunun Altı Sigma uygulama anlamında diğer endüstri kollarına göre ön plana çıkıp çıkmadığına bakılacaktır. Öncelikle ele alınan endüstri kategorilerinin ve bu kategoriye ait endüstri alanlarının net bir şekilde tanımlanması gerekmektedir.

İlgili endüstri kategorileri mümkün olduğunca az sayıda olmalı ancak birbirinden uzak sektörleri de aynı kategoriye koymayacak derece geniş olmalıdır. Bu sebeple, yapılan literatür taramaları sonucunda Altı Sigma tabanlı bu çalışma için Çizelge 3'te 12 kategoriden oluşan bir endüstri sınıflandırma yapısı oluşturulmuştur.

Çizelge 3. Literatür Taramaları Sonucu Oluşturulan Endüstri Kategorileri

Kategori	İlgili Endüstriler
Gıda İçecek ve Tütün Sanayi	Şeker, Çay ve Un Zeytin yağı, Salça, Konserve ve Süt İçecek Hayvancılık tesisleri ve Et Fabrikaları
Tekstil, Konfeksiyon Deri Sanayi	Dokuma, Yün ipliği ve kumaş İpek ve pamuk iplik ve kumaş Hazır giyim sanayi Deri işleme ve Halıcılık
Maden (Metalurji) Sanayi	Demir Çelik Fabrikaları Temel metal işleme Alüminyum ve Bakır Fabrikaları Krom, Bakır ve Çinko Fabrikaları
Makine Sanayi	Otomotiv (Otomobil, kamyon üretimi) Otomobil parçaları Lokomotif, vagon ve gemi tersaneleri Beyaz eşya ve ekipmanlar
Kimya Sanayi	Kimyasal maddeler üretimi İlaç sanayi Petrokimya Lastik, plastik ve çeşitleri üretimi Gübre Fabrikaları
Orman Ürünleri Sanayi	Kereste Fabrikaları Mobilya Fabrikaları Kağıt Fabrikaları
Çimento, Cam, Seramik Sanayi	Çimento ve beton fabrikaları Cam fabrikaları Seramik fabrikaları
Enerji Üretim Dağıtım	Elektrik Üretim ve Enerji Tesisleri Enerji nakil ve dağıtım hatları (elektrik ve gaz)
Yapı Sanayi	İnşaat sanayi Mimarlık
Finans ve Sigorta	Finans Şirketleri Bankacılık Sigorta Şirketleri
Hizmet	Ulaştırma, Taşımacılık ve Lojistik Sağlık Hizmetleri Eğitim Hizmetleri Danışmanlık Hizmetleri
Elektronik ve Telekom	Bilgisayar, Donanım ve Yazılım Elektronik Cihazlar ve Parçaları Telekomünikasyon

Küresel Endüstri Sınıflandırma Standardına (GICS - Global Industry Classification Standard) göre 11 ana endüstri kolu vardır [32]. Fakat bu dağılım homojen bir yapı sergilememektedir. Örneğin, Gayrimenkul ve Emlak ayrı bir endüstri kolu olarak alınmıştır. Bu ise Altı Sigma tabanlı bir araştırma için oldukça verimsiz bir kategori yapısıdır. Bu kategori, bu çalışmada inşaat sektörü olarak değiştirilmiştir. Yine GICS’de bilişim teknolojileri; yazılım, teknoloji donanımları ve yarı iletken endüstrisini kapsayacak şekilde bir kategori sayılmıştır. Ancak, Telekomünikasyon ise ayrı bir sektör olarak ele alınmıştır. Bu çalışmada bu iki sektör ‘Elektronik ve Telekomünikasyon’ olarak birleştirilmiştir. Enerji, Finans ve Metalurji (Maden) kategorileri aynen korunmuştur. Sağlık hizmetleri genel bir ‘Hizmet’ kategorisi altına alınmıştır. Ayrıca GICS’nin dayanıklı dayanıksız tüketim gibi başlıklara böldüğü Üretim Sektörü, bu araştırma için konularına göre 6 bölüme ayrılmıştır.



Şekil 10. Türkiye’de Altı Sigma uygulamalarının endüstriler arası dağılımı

Şekil 10’da Türkiye’de Altı Sigma uygulama oranının endüstriler arası dağılımı gösterilmiştir. Bu grafiğe göre en büyük oran Makine Sanayi’ne aittir. Teknik açıdan en çok detaya sahip olması ve karma süreçler içermesi bakımından Altı Sigma’ya en çok bu sektörde eğilim olmuştur. Karma süreçlerden kasıt, üretimin çok farklı bantlardan gelen parçaların birleşmesiyle yapılmasıdır. Bu sebeple parçalar arası farklılığın azaltılması, değişkenliğin minimuma indirilmesi ve parçalar

arasındaki uyumun artırılması gerekliliği Altı Sigma uygulamalarının bu sektörde tercih edilme sebebi olabilir. Bu sektörde bulunan Arçelik, Bosch, Borusan ve Ford Otosan gibi şirketler yalnızca bu sektörde değil Türkiye’de de Altı Sigma’nın öncüleri konumundadır. Bu öncü şirketlerin yanı sıra daha küçük büyüklükte pek çok işletme Altı Sigma’yı özveri ile uygulamaktadır (örnek olarak Eskişehir’de kompresör üretimi yapan Endel Grup verilebilir).

Makine Sanayi’den sonra Kimya Sanayi yine Altı Sigma uygulayan önemli bir endüstri olarak ortaya çıkmaktadır. Türkiye’nin çeşitli bölgelerine dağılmış çok sayıda kimyasal madde üreticileri, ilaç şirketleri, plastik madde üreticileri ve gübre üreticilerinin Altı Sigma uyguladığı tespit edilmiştir. Kimya Sanayi’den sonra Gıda, İçecek ve Tütün Sanayi gelmektedir. Pınar Şirketi bu sektörde Altı Sigma uygulayan önemli bir şirket olarak öne çıkmaktadır. Bu sektörü Tekstil, Konfeksiyon ve Deri Sektörü takip etmektedir. Tekstil sektöründe Altı Sigma uygulama çabası oldukça dikkat çekicidir. Türkiye Tekstil Sanayi İşverenleri Sendikası tarafından 2013 yılında “I. Yalın 6 Sigma Proje Yarışması” düzenlenmiştir. Türkiye’nin farklı şehirlerinden katılan tekstil şirketi yarışmacılarından Coats, Yünsa, Bossa şirketleri ödüller kazanmıştır. Benzer şekilde, 2015 yılında “II. Yalın 6 Sigma Proje Yarışması” düzenlenmiş ve Söktaş ve Sasa Polyester ödül kazanmıştır. Görüldüğü gibi, dünyada tekstil endüstrisi ile öne çıkan ülkemizde, tekstil firmaları arasında bir Altı Sigma geleneği oluşmuş durumdadır.

Tekstil sektörünü Maden ve Metalurji Sektörü takip etmektedir. Bu sektörde yine Borusan Holding’e ait Borçelik Çelik Sanayi Ticaret A.Ş. ve Hayes Lemmerz gibi şirketler Altı Sigma açısından öne çıkmaktadır. Orman Ürünleri Sanayi’nde Kayseri’de bulunan İstikbal, Mondî, Boytaş Mobilya gibi mobilya şirketleri ile İzmir’de bulunan Viking Kağıt gibi kağıt üreticileri Altı Sigma uygulayan şirketler arasındadır. Çimento, Cam, Seramik Sanayi’nde, Çimsa, Kütahya Porselen, Vitra ve Kalekim şirketleri Altı Sigma uygulaması anlamında önemli şirketler olarak ortaya çıkmaktadır. Son olarak, hizmet sektörü

içerisinde Türkiye genelinde Altı Sigma uygulayan pek çok hastane (özellikle eğitim ve araştırma hastaneleri), Eskişehir Tramvay İşletmesi gibi ulaştırma hizmeti şirketleri ile lojistik firmaları bulunmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Türkiye'de Altı Sigma uygulamasının coğrafi olarak dağılımı incelenmiş ve aynı zamanda Türkiye'de Altı Sigma uygulamalarının endüstriler arası dağılımı belirlenmiştir. Türkiye'de Altı Sigma uygulayan şirketlerin detaylı bir listesi çeşitli danışmanlık şirketlerinin veri tabanlarından, internette bulunan kalite haberlerinden, bilimsel makalelerden, lisansüstü tezlerden, şirketlerin internet sayfalarında yayınladıkları kalite politikalarından ve şirketlerde çalışanların yayınladıkları özgeçmişlerden yararlanılarak elde edilmiştir. Bu listeyi oluşturabilmek için Türkiye genelinde 1000'i aşkın şirketin ve kurumun Altı Sigma uygulayıp uygulamadığı tespit edilmeye çalışılmış ve Altı Sigma uygulayan 265 şirket belirlenmiştir. Şirketler isim, buldukları şehir, faaliyet gördükleri endüstri, Altı Sigma ve diğer kalite sistemleri açısından incelenerek kaydedilmiştir.

Bu bulgular çerçevesinde illere göre Altı Sigma uygulama yoğunluk haritasını oluşturmak için görüntü işleme tekniklerinden yararlanılarak kenar tanıma yöntemi ile ikili (binary) görüntü oluşturulmuş ve Türkiye haritası çizilmiştir. Bu harita elde edilen sayısal bulgular doğrultusunda RGB (Kırmızı-Yeşil-Mavi) renk kodlama sistemi ile farklı koyuluk derecelerinde renklendirilmiştir. Bu şekilde, ülkemizde Altı Sigma uygulamalarına yönelik istatistiksel gerçekler ortaya çıkarılmış ve bu gerçekler herkes tarafından kolay anlaşılabilir görsel bilgilere dönüştürülmüştür.

Böylelikle Türkiye'de Altı Sigma uygulanma düzeyinin coğrafi dağılımı belirlenmiş, görüntü işleme teknikleri ile Altı Sigma'yla ilgili istatistiksel kavramlar kolay yorumlanabilir görsel bilgilere dönüştürülmüş ve Türkiye'nin Altı Sigma uygulama haritası oluşturulmuştur. Türkiye'nin endüstri kentlerinin ve kalite danışmanlık şirketlerinin dağılımı belirlenmiş ve Altı Sigma

uygulamaları ile ilişkilendirilmiş ve son olarak Türkiye'de Altı Sigma'nın endüstri kollarına göre dağılımı incelenmiştir.

Altı Sigma tabanlı çalışmalarda ülkemizin oldukça yol almış olduğu, fakat ülkemizde uygulamalarının genel profilini çizen ve dağılımını belirleyen kapsamlı çalışmaların olmadığı önceki bölümlerde belirtilmişti. İşte bu noktada çalışmamız; hem literatürdeki bu temel boşluğu doldurarak kapsamlı bir Türkiye Altı Sigma uygulama haritası oluşturmuş hem de farklı ve yeni bir yaklaşım kullanarak Altı Sigma uygulamalarına yönelik istatistiksel gerçekleri kolay yorumlanabilir görsel bilgilere dönüştürmüştür.

Altı Sigma araştırmacılarının da çalışmalarında özel uygulamalardan genele geçiş yaparak uygulamaların genel çerçevesini çizen bölgesel, endüstriyel ve Türkiye geneli çalışmalar oluşturması Altı Sigma literatürüne büyük katkı sağlayacaktır.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK (Proje No: 115C079) tarafından desteklenmiştir.

7. KAYNAKLAR

1. Chary, S.N., 2009. Production and Operations Management. Tata McGraw-Hill Education Private Limited: New Delhi.
2. Bircan, H., Köse, S., 2012. Altı Sigma ve Firmaların Altı Sigmaya Bakış Açısı: Sivas-Kayseri İli Örneği. AİBÜ-İİBF Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 8(2), 107-129.
3. Firuzan, A.R., Kuvvetli, Ü., Gerger, A., 2012. Altı Sigma Metodolojisi ve Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama. Journal of Yasar University, 25(7), 4176-4188.
4. Sönmez, Z., 2013. Altı Sigma Metodolojisi ile Süreç İyileştirme ve Hizmet Sektöründe bir Uygulama (Doctoral dissertation, İstanbul Kültür Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü /İşletme Anabilim Dalı/Kalite ve Ürün Yönetimi Bilim Dalı).

5. Doğan, S., Demiral, Ö., 2008. Yalın Yöntemler ve Altı Sigmayı İçeren Bütünleşik Bir Yaklaşım: Yalın Altı Sigma, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 22(1), 343-366.
6. Aslan, D., Demir, S., 2005. Laboratuvar Tıbbında Altı-Sigma Kalite Yönetimi. Türk Biyokimya Dergisi/Turkish Journal of Biochemistry, 30(4), 272-278.
7. Güner, M., Akman, Ü., Yücel, Ö., 2010. Erkek Gömleği Üretim Sürecinin Altı Sigma Yöntemiyle İyileştirilmesi. Tekstil ve Konfeksiyon/Journal of Textile & Apparel, 20(1), 75-82.
8. Akın, O., 2010. Altı Sigma Sistemi ile Bütünleşik Faaliyet Tabanlı Maliyet Sisteminin Mermer Sektöründe Uygulanması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Isparta.
9. Şenol, G., Anbar, A., 2010. Altı Sigma ve Finans Sektöründe Altı Sigma Uygulamaları. İşletme ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 1(2), 73-74.
10. Türkan, Y.S., Manisalı, E., Çelikkol, M.F., 2009. Türk İmalat Sektöründe Altı Sigma Proje Başarısına Etki Eden Kritik Başarı Faktörlerinin Analizi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi/ Journal of Engineering and Natural Sciences, Sigma, 27, 105-117.
11. Turan, A.H., Şenkayas, H., Başaloğlu, C., 2008. Altı Sigma'nın Kobi'lerde Farkındalığı, Ayırt Edici Faktörler ve Uygulama Karakteristikleri: Aydın İlinde Ampirik Bir Değerlendirme, Afyon Kocatepe Üni. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 10(2), 57-78.
12. Gerger, Ö.G.A., Firuzan, A.R., 2010. Yalın Altı Sigma Projelerinin Başarısız Olma Nedenleri/Reasons of Failure in Lean Six Sigma Projects, Journal of Yasar University, 20(5), 3383-3393.
13. Özturaç, K.N., Bayraktar, D., 2009. Altı Sigma Proje Uygulamalarının Denetimi için Bir Uzman Karar Destek Sistemi. İTÜ Dergisi/b, 4(2), 23-32.
14. Kahraman, C., Kaya, İ., 2009. Süreç Doğruluk İndeksi ve Bulanık Karar Ortamında Kullanılması. Tübvav Bilim Dergisi, 2(2), 148-156.
15. Erişim tarihi: 8 Eylül 2016. [http:// kalitesigma.com/referans/pseminer.php](http://kalitesigma.com/referans/pseminer.php)
16. Erişim tarihi: 16 Eylül 2016. <http://www.gelisim.org/referans/danismanlik.php>
17. Erişim tarihi: 17 Eylül 2016. <https://www.bsh-group.com.tr/page.aspx?id=53>
18. Erişim tarihi: 8 Eylül 2016. <http://www.dengeakedom.com/2015/09/02/6-sigma-egitimlerimiz-tam-gaz-devam-etmekte.html>
19. Erişim tarihi: 17 Eylül 2016. http://www.flokseras.com/flokser_icerik.asp?id=4
20. Erişim tarihi: 19 Eylül 2016. <http://www.hemaendustri.com.tr/Content.aspx?ID=80>
21. Erişim tarihi: 17 Eylül 2016. <http://www.tekstilveren.org.tr/detay.aspx?haberid=252>
22. Erişim tarihi: 17 Eylül 2016. <http://www.tekstilveren.org.tr/detay.aspx?haberid=520>
23. Erişim tarihi: 18 Eylül 2016. <http://www.autoparts.com.tr/haber-detay/2760/supsan-a-s-6-sigma-etkinligi-ile-calisanlarini-odullendirdi>
24. Erişim tarihi: 17 Eylül 2016. http://www.mmo.org.tr/etkinlikler/altisigma/etkinlik_metin.php?etkinlikkod=8&metin_kod=416
25. Erişim tarihi: 27 Ağustos, 2016. <https://www.sigmacenter.com.tr/>
26. Erişim tarihi: 16 Ekim 2016. <http://www.matrisas.com/musterilerimiz/musterilerimizden/>
27. Satı, Z.E., Gülay, K., 2012. Altı Sigma Yönteminin Bir Enerji Santralinde Uygulanması. Business & Economics Research Journal, 3(4), 143-163.
28. Tuncer, Ş., 2015. Altı Sigma ve Satın Alma Süreçlerinde Uygulanması, Acıbadem Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
29. Erişim tarihi: 16 Ekim 2016. <http://www.kariyer.net/ozgecmis/ekrembozkurt>
30. Erişim tarihi: 6 Eylül 2016. <https://tr.wikipedia.org/>
31. Erişim tarihi: 8 Eylül 2016. <http://www.tuik.gov.tr/>
32. Erişim tarihi: 4 Eylül 2016. <https://www.msci.com/gics>

Farklı Kalsinasyon Sıcaklıklarında Elde Edilen Kostik Kalsine Manyezitlerin Yüzey Alanlarının ve Porozitelerinin Belirlenmesi

Mehmet TÜRK MENOĞLU^{*1}, Nil YAPICI², Mesut ANIL², Özen KILIÇ²

¹Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Van
²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 15.05.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Öz

Bu çalışmada, manyezit cevherinin 650 °C ile 850 °C arasındaki sıcaklıklarda kalsine edilmesi ile elde edilen kostik kalsine manyezitlerin yüzey alanları ve poroziteleri belirlenmiştir. Kimyasal analiz sonuçlarına göre, manyezit örneği %97,02 oranında magnezyum karbonattan oluşmaktadır. Kalsinasyon sırasında karbondioksit gazının çıkışı ile birlikte, manyezit cevherinin BET yüzey alanı 2,71 m²/g'den 70,49 m²/g'a, Langmuir yüzey alanı ise 3,45 m²/g'dan 91,29 m²/g'a yükselmiştir. Yüzey alanındaki yaklaşık 25 kat artışla birlikte, toplam gözenek hacmi 5,89 mm³/g'dan 172,70 mm³/g'a çıkmıştır. Kostik kalsine manyezitin kalitesini etkileyen parametreler; kalsinasyon süresi ve sıcaklığı, ham cevherin kimyasal saflığı ve elde edilen kostik kalsine manyezitin yüzey alanıdır. Yüzey alanı arttıkça, kostik kalsine manyezitin kalitesi artmaktadır. Çalışmada, en yüksek yüzey alanına sahip kostik kalsine manyezitler 750 °C'de elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kostik kalsine manyezit, Kalsinasyon, Yüzey alanı, Porozite

Determination of Surface Areas and Porosities of Caustic Calcined Magnesites Obtained at Different Calcination Temperatures

Abstract

In this study, surface areas and porosities of caustic calcined magnesites were determined by calcining magnesite ore at temperatures between 650 °C and 850 °C. According to the results of the chemical analysis, the magnesite sample is 97,02% magnesium carbonate. Along with the release of carbon dioxide gas during calcination, the BET surface area of the magnesite ore increased from 2,71 m²/g to 70,49 m²/g, the Langmuir surface area increased from 3,45 m²/g to 91,29 m²/g. The total pore volume increased from 5,89 mm³/g to 172,70 mm³/g with an increase of about 25 times in the surface area. Parameters affecting the quality of caustic calcined magnesite are; The calcination duration and temperature, the chemical purity of the crude ore, and the surface area of the obtained caustic calcined magnesite. As the surface area increases, the quality of caustic calcined magnesite increases. In the study, caustic calcined magnesites with the highest surface area were obtained at 750 °C.

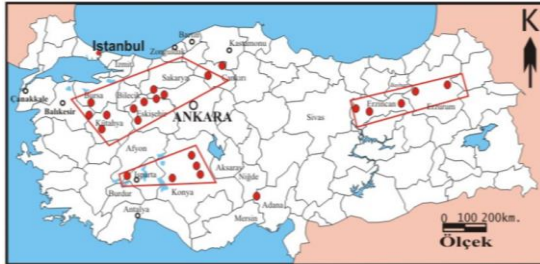
Keywords: Caustic calcined magnesite, Calcination, Surface area, Porosity

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mehmet TÜRK MENOĞLU, mehmetturkmenoglu@yyu.edu.tr

1. GİRİŞ

Manyezit ($MgCO_3$), refrakter malzemelerin ana hammaddesi olup, saf manyezit %47,81 oranında magnezyum oksit (MgO) ve %52,19 karbondioksitten (CO_2) oluşmaktadır. Ayrıca, manyezit cevheri içerisinde değişen oranlarda; karbonatlar, oksitler ve silikatlar bulunur. Doğada bulunuş şekliyle, iri kristaller halinde olanlara spatik manyezit, kriptokristalen halinde bulunanlara da jel manyezit adı verilmektedir [1].

Türkiye, manyezit rezervi açısından dünyada önemli bir yere sahiptir. Manyezit yataklarının kökeninin belirlenmesinde ve sınıflandırılmasında; manyezit oluşum şeklinin, yan kayacın kimyasal bileşiminin, manyezitin mineral içeriğinin ve jeokimyasal özelliklerin önemi vardır. Manyezitin kalitesi belirlenirken; SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , Al_2O_3 oranları önemlidir ve bu değerlere göre manyezitin ekonomik olup olmadığı değerlendirilmektedir. Türkiye’de manyezit yataklarının bulunduğu yerler Şekil 1’de verilmiştir [2].



Şekil 1. Türkiye’de bulunan manyezit yatakları [2]

Manyezit madenciliğinde genellikle; tavuklama ve triyaj (el ile ayıklama), ağır ortam ile zenginleştirme, manyetik ayırma ile zenginleştirme, flotasyonla zenginleştirme ve diğer zenginleştirme yöntemleri kullanılmaktadır [1].

Tek başına çok fazla kullanım alanı olmayan manyezit, ısıtım işlem sonrası oluşan MgO formundan yola çıkılarak elde edilen; sülfat (oksisülfat çimento üretimi) [3], hidroksit [4,5], klorit (magnezyum oksiklorür çimento üretimi) [6,7], borat (magnezyum borat) [8] gibi formlarda birçok alanda kullanılmaktadır. Ayrıca; tarım endüstrisi, gübre endüstrisi, ilaç endüstrisi ve tıp alanı, kimya endüstrisi, lastik ve plastik endüstrisi,

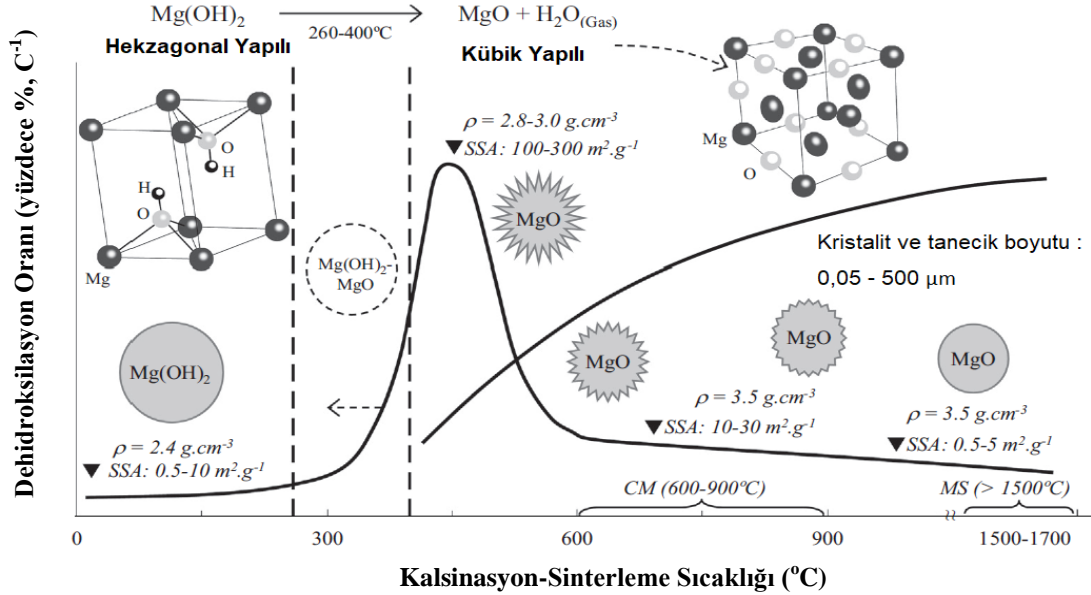
kâğıt endüstrisi ve otomotiv endüstrisi [9] ve refrakter tuğla yapımında [10] kullanılmaktadır.

Abalı [5] yaptığı çalışmada, %97,35 $MgCO_3$ içeren manyeziti 500 °C ile 900 °C arasındaki sıcaklıklarda kalsine etmiş ve kalsinasyon reaksiyonunun ikinci derecede ilerleyen bir reaksiyon olduğunu belirlemiştir. Elde ettiği sönmemiş manyezitlerden, asetik asitle söndürme ve sodyum hidroksitle çöktürme işlemleri ile magnezyum hidroksit elde etmiş ve son olarak, magnezyum hidroksitin 700 °C’de kalsinasyonu ile saf magnezyum oksit elde etmiştir.

Manyezit cevheri, hedeflenen kullanım alanına göre farklı kalsinasyon sıcaklıklarında kalsine edilmekte ve bu kalsinasyon sıcaklığına göre kostik (600-900 °C) veya sinter manyezit (1400-1700 °C) olarak sınıflandırılmaktadır.

Kostik kalsine manyezitin ve sinter manyezitin hidroksilasyonu (veya hidrasyonu) ile ilgili yapılan çalışmaya [11] göre; magnezyum oksitin sönmeye reaksiyonu gerçekleşirken ilk oluşan magnezyum hidroksit tabakası daha sonraki sönmeye işlemini önleyerek yavaşlatmaktadır. İlk tabakanın hacimsel genişlemesi bir süre sonra yüzeyi sıkılaşmaya ve yeni çatlakların oluşumuna neden olarak, daha sonraki reaksiyonların başlamasını sağlamaktadır. Yüzey alanının küçük olduğu durumlarda hidrasyon reaksiyonu daha yavaş gerçekleşmekte (Şekil 2’de en yüksek yüzey alanı en yüksek dehidroksilasyon oranını vermekte), kostik kalsine manyezitin sönmeye reaksiyonunda daha çok ısı çıktığı için sinter manyezite göre çok daha etkin reaksiyon vermektedir. Araştırmacılara göre; bu özellikler nedeniyle kostik kalsine manyezit polimerik kompozitlerin üretiminde, sinter manyezit ise refrakter tuğlaların imalinde avantajlı olmaktadır.

Manyezit mineralinin ilaç sanayisinde kullanımı olanaklarının incelendiği çalışmaya göre; Manyezit, pH 2 civarında mide asidi ile reaksiyon vermekte ve karbondioksit çıkışı sayesinde, tablet halindeki ilaçlarda parçalayıcı olarak kullanılabilir. Ayrıca, manyezit minerali toksik olmadığı için, birçok ilaçta kalsitle birlikte seyreltici ve bağlayıcı olarak kullanılmaktadır [12].



Şekil 2. Farklı sıcaklıklarda kalsine olmuş manyezitlerin dehidroksilasyon oranı (SSA: Spesifik yüzey alanı, CM: Kostik manyezit, MS: Sinter manyezit) [11]

Alvarado ve arkadaşları [13]; farklı magnezyum tuzlarından ve dolomit mineralinden magnezyum oksit tozlarının elde edilmesi ve karakterizasyonu üzerinde çalışmışlardır. Magnezyum sülfat hepta hidrat, magnezyum nitrat hezta hidrat, magnezyum asetat tetra hidrat ve kalsiyum magnezyum karbonat minerallerini kullanarak, 500 °C ile 1000 °C arasındaki sıcaklıklarda elde ettikleri MgO tozlarında; XRD ile kristal yapı analizlerini, DTA/TGA ile minerallerin termal analizlerini, XRF ile kimyasal analizlerini, SEM ile morfolojik analizlerini yapmışlardır. Ayrıca; yoğunluk, spesifik yüzey alanı, aglomerasyon derecesi ve toplam gözeneklilik değerlerini belirlemişlerdir. Sinter manyezit üretiminde toz aktivitesi sinterleme için itici güç sağlamaktadır. Sülfat tuzunda; en düşük aglomerasyon derecesi, en düşük toplam porozite, en düşük tane boyutu ve en yüksek yüzey alanı değerleri belirlenmiştir. SEM görüntüleri sülfat tuzunun yüzey aktivitesinin en yüksek olduğunu göstermiştir.

Olijar ve arkadaşları [14], Manyezitin kostifikasyon prosesinin kinetiğinin optimizasyonunu incelemişlerdir. 650 °C ile 950 °C arasındaki

sıcaklıklarda, en az %42 oranında MgO içeren, 0,25 mm ile 1,6 mm arasındaki farklı boyutlardaki manyezit cevherleri üzerinde gerçekleştirdikleri kalsinasyon işlemleri sonrasında, kalsinasyon süresini ve manyezitin aktifliğini belirlemişler ve bir matematiksel model oluşturmuşlardır. Kostik kalsine manyezit eldesinde en fazla 1200 °C sıcaklık kullanılmakta ve daha sonra elde edilen kostik manyezitler 1700 °C'de yakılarak sinter manyezit elde edilmektedir. Kostik kalsine manyezitin reaktif olmasının nedeni 70 m²/g ile 100 m²/g arasındaki yüzey alanına sahip olmasıdır. En yüksek reaktif değerler karbondioksit bozunmasının gerçekleştiği en düşük sıcaklıklar olan 650 °C ile 850 °C arasında gözlenmiştir. Ayrıca yazarlar, tane boyutu azaldıkça kalsinasyon miktarının arttığını, manyezitin 700 °C ile 850 °C arasında aktifleştiğini, daha yüksek kalsinasyon sıcaklıklarının kalsinasyon süresini kısalttığını ancak kostik kalsine manyezitin kalitesini düşürdüğünü ileri sürmüşlerdir.

Altınar ve arkadaşları [15] yaptıkları çalışmada; dolomit cevherini (CaMg(CO₃)₂) ilk olarak hidroklorik asit (HCl) ile çözeltiye almıştır.

Reaksiyon sırasında açığa çıkan CO₂ gazı gazometre tankında bir sonraki aşamada değerlendirilmek üzere depolanmıştır. Özütleme işlemi takiben; çözeltinin içerdiği kalsiyum iyonlarını hızlandırılmış mineral karbonizasyon yöntemiyle çöktürmüş ve kalsiyum karbonat olarak ortamdan uzaklaştırmışlardır [16]. Mineral karbonizasyon işlemi sonunda elde edilen magnezyum yönünden zengin çözeltiden ise; pirohidroliz-kalsinasyon yöntemi uygulayarak nano boyut dağılımına sahip MgO tanecikleri (d₅₀=180,05 nm) üretmişlerdir [17,18]. Üretim sıcaklığı ve aşama sayısının elde edilen MgO taneciklerinin kristal şekli ve tane boyutuna etki ettiği; reaksiyon sıcaklığının artmasına bağlı olarak MgO taneciklerinin sinterleşme özelliği göstererek aglomere olduğu ve mikronize boyutlarda MgO tanecikleri (d₅₀= 6 µm) elde edildiği belirlenmiştir. Benzer bulgular Mo ve arkadaşları [19] tarafından da ortaya konmuştur.

Bu çalışmada ise; Konya/Çumra bölgesinden alınan manyezit cevherinin farklı kalsinasyon sıcaklıkları altındaki davranışı incelenmiştir. Kalsinasyon sıcaklığına bağlı olarak özgül yüzey alanı ve porozite özelliklerinin değişimi gözlenmiştir. Ayrıca; her bir aşamada elde edilen ürünlerin taramalı elektron mikroskopu ile görüntüleri elde edilmiş; sıcaklığın kristal yapısına olan etkileri ortaya konmuştur.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada; Konya İli, Çumra İlçesi civarından alınan manyezit örnekleri kullanılmıştır. MTA Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Türkiye Manyezit Envanteri'ne [1] göre; Konya İli sınırları içerisindeki tüm manyezit sahalarında, en yaygın ultra bazik kayalar altere olmuş serpantinittir. Bu kayalar; yeşilimsi sarı, kırmızı, kahve ve pas renginin değişik tonlarındaki renkleriyle diğer kayalardan kolaylıkla ayırt edilebilirler. Cevherleşme, serpantinittir içinde küçük büyüklükte kırık çatlaklar içerisinde genellikle ağsı ve damar şeklindedir. Bu cevherler ortalama olarak; %2-6 arası SiO₂, %0,3-1,2 arası CaO, %44-46 arası MgO, %50-52 arası ateşte zayıf (kızdırma kaybı) değerlerine sahiptir [1].

Manyezit örnekleri, yaklaşık 10 g ağırlığında ve küp şeklinde hazırlanmış ve kül fırını içerisinde; 650 °C ile 850 °C arasındaki sıcaklıklarda 1 saat süreyle kalsinasyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Ham Manyezit örneği agat havanda öğütülerek ağzı kilitli numune poşetlerinde saklanmıştır. Laboratuarda kül fırınında çeşitli sıcaklıklarda üretilen ve ince boyutlu olan kostik manyezit örneklerinin nem alarak sönmemesi için soğutma işlemleri desikatörde gerçekleştirilmiştir.

KELVIN 1042 model Sorptometer cihazı (Şekil 3) ile; örnekler U şeklindeki tüpler içerisinde, 6 örnekleme noktasına yerleştirilmiştir. Sıvı azot içerisine (-196 °C) daldırılan cam tüpler içerisindeki malzemenin yüzeyine adsorbe olan gaz miktarı ve desorbe olan gaz miktarı, gazların basınçlarının sürekli akış yöntemini kullanılarak ölçülmesi ile belirlenmiştir. Yüksek saflıktaki helyum gazı ile azot gazının 35 farklı orandaki konsantrasyonunun örnekler üzerinde, sıvı azot ortamında adsorpsiyonunun ve desorpsiyonunun dedektörde ölçülmesi ile BET (Brunauer, Emmet ve Teller) ve Langmuir formüllerini kullanarak, katı örneklerin yüzey alanlarını belirlenmiştir. Ayrıca, BJH (Barrett-Joyner-Halenda) metodu ile gözenek dağılımları hesaplanmıştır.



Şekil 3. Kelvin 1042 Sorptometer Cihazı

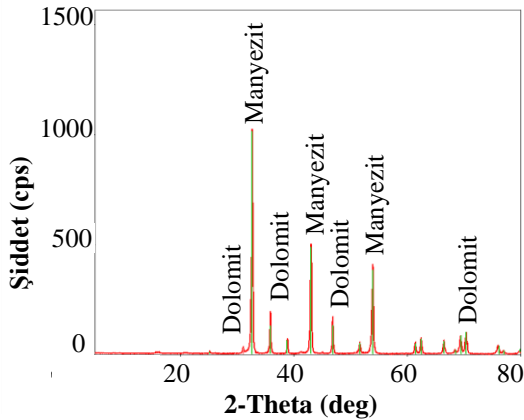
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Manyezit örneğinin kimyasal bileşiminin belirlenmesi için yapılan analizler sonucunda Çizelge 1’de verilen sonuçlar elde edilmiştir.

İncelenen manyezit örneklerinin mineralojik özelliklerinin tespiti için XRD ve mikroskop çalışmaları yapılmış; ana parajenez mineralleri manyezit (%96,59) ve dolomit (%0,86) olarak tespit edilmiştir. Manyezit örneğine ait XRD grafiği Şekil 4’te verilmiştir.

Çizelge 1. Manyezitin kimyasal analiz sonuçları

Parametre	Manyezit
MgO-MgCO ₃	%46,20 - %97,02
CaO-CaCO ₃	%0,24 - %0,43
SiO ₂	%0,48
Fe ₂ O ₃	%0,40
Al ₂ O ₃	%0,22
Na ₂ O	%1,32
K ₂ O	%0,04
Kızdırma Kaybı	%46,40



Şekil 4. Manyezit örneğine ait XRD diyagramı

3.1. Yüzey Alanı ve Porozite Değerlerinin Belirlenmesi

Örneklere ait BET yüzey alanları, Langmuir yüzey alanları, toplam gözenek hacimleri ve mikro gözenek hacimleri Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 2’de verilen BET ve Langmuir yüzey alanı verileri ile toplam gözenek hacmi değerlerinin, farklı sıcaklıklarda gösterdiği değişimler Şekil 5’de grafik üzerinde gösterilmiştir.

Kalsinasyon esnasında manyezitin bünyesindeki karbondioksit ne kadar verimli bir şekilde

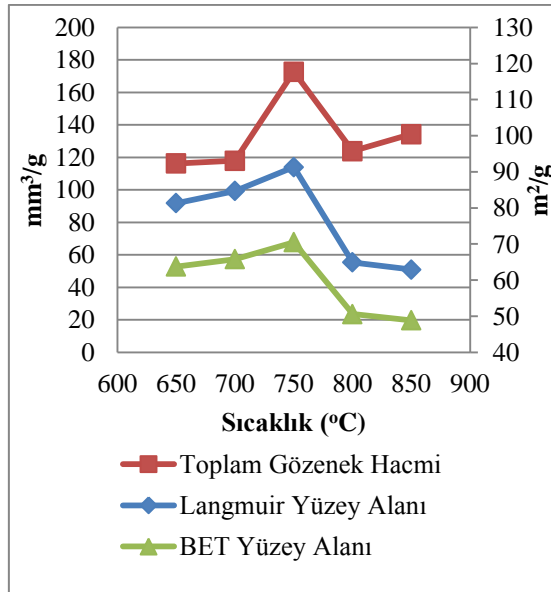
uzaklaştırılırsa, gözenek hacmi aynı oranda büyümektedir. Yüzey alanı büyüdükçe, kostik kalsine manyezitin aktifliği artmaktadır.

Toplam gözenek hacminin en yüksek olduğu, BET ve Langmuir yüzey alanlarının en yüksek olduğu kalsinasyon sıcaklığı, en kaliteli kostik kalsine manyezitin elde edilmesi için en optimum sıcaklıktır.

Kalsinasyon sıcaklığı 650 °C iken, elde edilen kalsine manyezit örneğinin BET ve Langmuir yüzey alanı değerleri sırasıyla 63,77 m²/g ve 81,34 m²/g olarak belirlenmiştir. Kalsinasyon sıcaklığı 750 °C olduğunda ise en yüksek BET ve Langmuir yüzey alanı değerlerine sahip kalsine manyezit örnekleri elde edilmiştir. Ancak, daha yüksek kalsinasyon sıcaklıklarında elde edilen örneklerin özgül yüzey alanı değerleri düşme eğilimi göstermiştir. Bu durum, kalsinasyon sıcaklığının artmasına bağlı olarak manyezit taneciklerinin sinterleşme özelliği göstermesi ile açıklanabilmektedir. Literatürde de benzer sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur [18,19]. Sonuç olarak; kalsinasyon sıcaklığının artmasına bağlı olarak elde edilen ürünlerin yüzey alanı değerlerinde düşüş gerçekleşmiştir.

Çizelge 2. Manyezit örneğine ve kostik kalsine manyezit örneklerine ait yüzey alanı ve porozite sonuçları

Manyezit (MgCO ₃)	Birim	Orjinal Örnek (Kalsine olmamış)	Kostik Kalsine Manyezit Örnekleri				
			650 °C	700 °C	750 °C	800 °C	850 °C
BET Yüzey alanı	(m ² /g)	2,71	63,77	65,81	70,49	50,61	48,85
Langmuir Yüzey Alanı	(m ² /g)	3,45	81,34	84,70	91,29	64,92	62,92
Toplam Gözenek Hacmi	(mm ³ /g)	5,89	116,23	117,95	172,70	123,85	134,35
Mikro Gözenek Hacmi	(mm ³ /g)	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kızdırma Kaybı	(%)	46,40	6.05	4.43	3.72	3.08	2.69



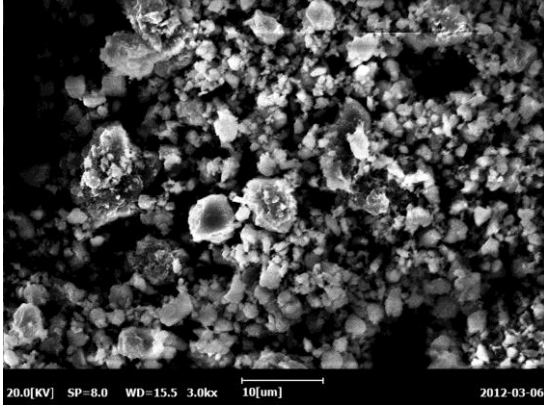
Şekil 5. BET ve Langmuir yüzey alanı verileri ile toplam gözenek hacmi değerlerinin, farklı kalsinasyon sıcaklıklarındaki değişimi

Dolomit mineralinin (CaMg(CO₃)₂) kalsinasyonu için 650 °C yeterliyken, kalsit mineralinin (CaCO₃) kalsinasyonu için 900 °C gerekmektedir. Kalsinasyon sıcaklığının doğru bir şekilde belirlenmesi tesislerde yakıt tasarrufu sağlamakla birlikte, elde edilen ürünün kalitesini de etkilemektedir. Manyezit mineralinin kalsinasyonu için teorik olarak 750°C yeterlidir (Şekil 5).

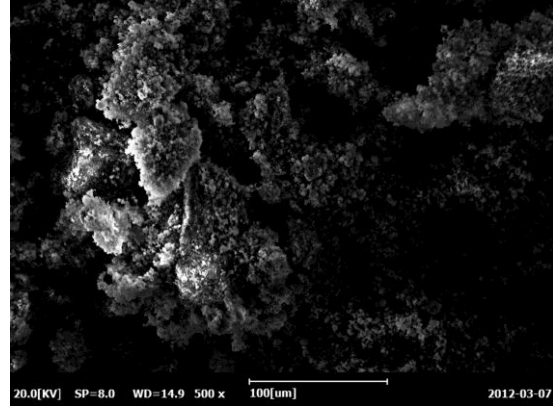
3.2. SEM Analizleri

Kalsine olmamış manyezit örneği ile birlikte; 650, 700, 750, 800 ve 850 °C sıcaklıklarda kalsine olmuş kostik kalsine manyezit örneklerinin SEM görüntüleri çekilmiştir. Kostik kalsine manyezit örneklerine ait SEM görüntüleri Şekil 6 a.b.c.d.e.f'de verilmiştir. Manyezitin 800 °C ve 850 °C'deki SEM görüntüleri incelendiğinde, artan sıcaklıkla birlikte daha önce açılan gözeneklerin tekrar kapanmaya başladığı ve kristal tane boyutunun büyüdüğü görülmektedir. BET ve Langmuir değerleri ile SEM görüntüleri kıyaslandığında, elde edilen sonuçların birbirini destekler nitelikte olduğu açıktır.

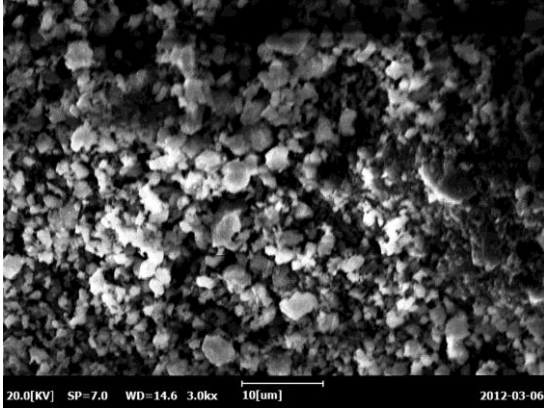
Kalsinasyon işlemine maruz kalan manyezitin kostik özellik gösterebilmesi (su ile reaksiyona girmesi) için yüzey alanının mümkün olduğunca yüksek olması gerekmektedir. Altınar ve Yıldırım [18] yaptıkları çalışmada ürettikleri MgO'nun reaktivite özelliğinin sıcaklığa bağlı olarak düştüğünü, 800 °C ve daha yüksek sıcaklıklarda üretilen MgO'nun su ile reaksiyona girerek kostik özellik göstermesi ve Mg(OH)₂'ye dönüşüm oranının da oldukça düşük olduğunu belirtmişlerdir. Reaktivite özelliği düşük manyezit refrakter, malzeme olarak yüksek sıcaklıklara ve basınca dayanıklılık gerektiren yerlerde kullanılmaktadır.



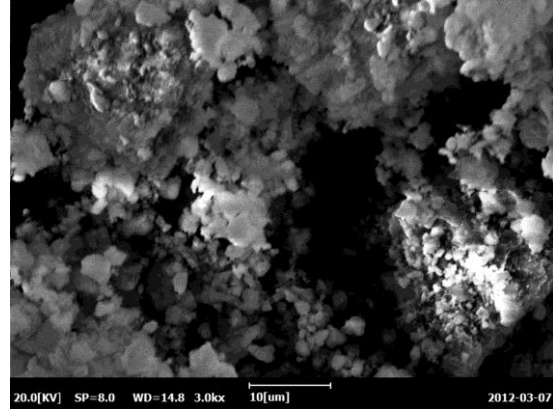
Şekil 6.a. Orijinal manyezit örneğine ait SEM görüntüsü



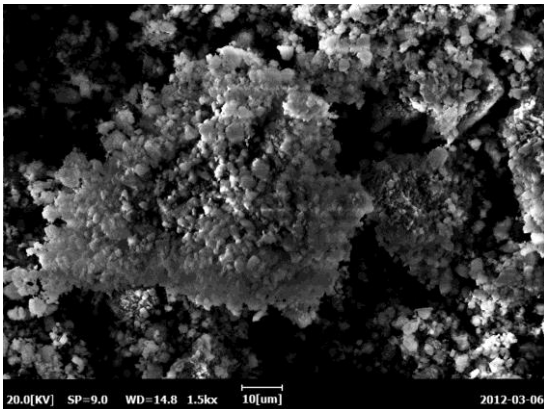
Şekil 6.d. 750 °C'de üretilmiş kostik kalsine manyezit örneğine ait SEM görüntüsü



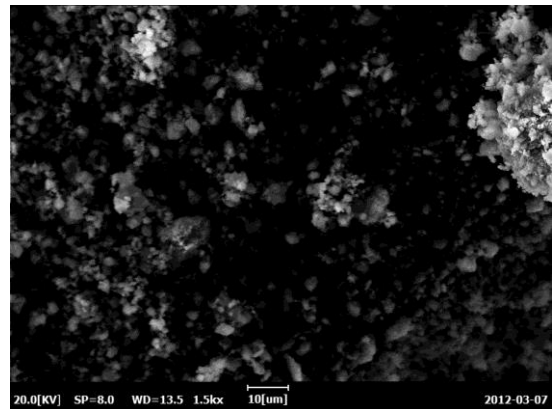
Şekil 6.b. 650 °C'de üretilmiş kostik kalsine manyezit örneğine ait SEM görüntüsü



Şekil 6.e. 800 °C'de üretilmiş kostik kalsine manyezit örneğine ait SEM görüntüsü



Şekil 6.c. 700 °C'de üretilmiş kostik kalsine manyezit örneğine ait SEM görüntüsü



Şekil 6.f. 850 °C'de üretilmiş kostik kalsine manyezit örneğine ait SEM görüntüsü

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Konya İli, Çumra İlçesinden alınan manyezit örneklerinin 650 °C ile 850 °C arasındaki sıcaklıklarda kalsine edilmesi ile elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile aşağıdaki sonuçlara ve önerilere ulaşılmıştır.

- Orijinal örneğe ait XRD diyagramı ve kimyasal analiz sonuçları, örneğin manyezit minerali olduğunu göstermiştir. Örneğe ait kızdırma kaybı deney sonucunun yüksek çıkması, bileşiminde karbonat oranının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.
- Orijinal manyezit örneğinin yüzey alanı, kalsinasyon sırasında artan sıcaklıkla birlikte mineral bünyesindeki karbondioksitin uzaklaşması ile 30-35 kat artmıştır. Literatürdeki çalışmaların da desteklediği gibi, yüzey alanının artması kostik kalsine manyezitin aktifliğini ve su ile reaksiyona girme hızını arttırmaktadır. İnşaat sektöründe çimento ile birlikte bağlayıcılık özelliği sağlaması açısından MgO'nun aktif olması istenmektedir.
- BET (Brunauer, Emmet ve Teller) formülü ile hesaplanan yüzey alanlarında en yüksek değer 750 °C'de (70,49 m²/g) görülmüştür.
- Langmuir formülü ile hesaplanan yüzey alanlarında en yüksek değer yine 750 °C'de 91,29 m²/g olarak belirlenmiştir.
- BJH (Barrett-Joyner-Halenda) metodu ile hesaplanan gözenek dağılımları incelendiğinde, en yüksek toplam gözenek hacmi 750 °C'de 172,70 mm³/g olarak ölçülmüştür.
- 750 °C'ye kadar, kalsine olan kostik kalsine manyezitlerin yüzey alanları ve gözenek hacimleri artmaya devam etmiş, bu sıcaklıktan sonra açılan gözeneklerin tekrar kapanmaya başladığı gözlenmiştir.
- Kalsine olmamış %97 saflıktaki orijinal manyezit örneğinde 0,03 mm³/g olarak ölçülen mikro gözenek hacmi, kalsine olmuş hiçbir

örnekte belirlenmemiştir. Yani kostik kalsine manyezitlerde mikro gözenek bulunmamaktadır.

- TS 8542 Kasım 1990, "Manyezit-refrakter sanayinde kullanılan" standardına [20] göre Çizelge 3'te verilen bileşime sahip olmalıdır. Kullanılan manyezit örneği standartta verilen tüm değerleri sağlamaktadır.

Çizelge 3. Standart değerler [20]

Bileşim	% Miktarca kütle		
	En az	En çok	Örnek
MgO	40,0	-	46,20
SiO ₂	-	3,0	0,48
CaO	-	3,0	0,24
Fe ₂ O ₃	-	1,0	0,40
CaO/SiO ₂	0,2	2,0	0,5
Kızdırma kaybı	-	52,0	46,4

- Manyezit kalsinasyon tesislerinde yakıt tasarrufu sağlanabilmesi için kalsinasyonun 900 °C-1000 °C gibi yüksek sıcaklıklarda değil, teorik olarak 750 °C'de gerçekleştirilmesi yeterlidir. Ancak, her türlü kalsinasyonun pratikte teorik yeterli olan sıcaklıktan daha yüksek sıcaklıklarda yapıldığı unutulmamalıdır. Daha düşük sıcaklıklarda enerji tasarrufu sağlansa bile, diğer yandan başka maliyetler ve kapasite sorunu ortaya çıkabilir.
- TSE K 356 Mart 2015, "Kalsine Manyezit", standardına [21] göre Çizelge 4'te verilen değerleri sağlamalıdır.

Çizelge 4. Kalsine manyezitin fiziksel ve kimyasal özellikleri [21]

Özellik	İstenen Değer
Tane Büyüklüğü	74 µm – 3 cm
pH (%10'luk çözeltide)	7 - 8
MgO (% m/m)	77 - 95
SiO ₂ (% m/m)	1,5 - 20
CaO (% m/m)	1,5 - 5
Fe ₂ O ₃ (% m/m)	0,10 – 0,75
Al ₂ O ₃ (% m/m)	0,01 – 0,05
Kızdırma kaybı (%m/m)	2,5 - 10

Kullanılan manyezit örneği kızdırma kaybı açısından standartlara uygundur.

- İncelenen manyezit örneği; başta ilaç sanayi ve kompozit malzeme üretimi olmak üzere, inşaat sanayinde ve diğer ilgili tüm sektörlerde; kostik kalsine manyezit, sinter manyezit veya saf manyezit üretiminde kullanıma uygundur.

5. KAYNAKLAR

1. Türkiye Manyezit Envanteri, 2011. MTA (Maden Tetkik Arama) Genel Müdürlüğü Envanter serisi: 203, Ankara.
2. Yılmaz A., Kuşçu M., 2012. Manyezit Yataklarının Oluşumu, Sınıflandırılması, Kullanım Alanları ve Kalite Sınıflandırılması. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28(1), 65-72.
3. Uğur, Ç., 2010, Asmaş Manyezit İşletmesi Triyaj Ara Ürünü ve -20 mm Manyezit Atıklarının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
4. Erdoğan, N., 2013. Atık Manyezit Tozlarının Geri Kazanımı. Ekoloji Dergisi, sayı 22, (86) 75-83.
5. Abalı, Y., 2000. Magnezitin Kalsinasyon Kinetiği ve Saf MgO Üretimi. Selçuk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi (17), 159-164.
6. Liu, Z., Wang, S., Huang, J., Wei, Z., Guan, B., Fang, J., 2015. Experimental Investigation on the Properties and Microstructure of Magnesium Oxychloride Cement Prepared With Caustic Magnesite and Dolomite. Construction and Building Materials, 85, 247-255.
7. Altınar, M., Yıldırım, M., 2017. Study of Using Dolomite as Starting Material Resource to Produce Magnesium Oxychloride Cement. Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 15, 269-277.
8. Kıpçak, A.S., 2013. Çeşitli Magnezyum ve Bor Kaynaklarından Farklı Yöntemler ile Yapay Magnezyum Borat Üretimi ve Üretim Parametrelerinin İncelenmesi. Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
9. Topak, Y., 2006. Yukarıtirtar-Aşağıtirtar Köyleri (Isparta kuzey doğusu) Arasında Gözlenen Manyezit Yatağının Oluşumu ve Kökeni. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
10. Birchall, V.S.S., Rocha, S.D.F., Ciminelli, V.S.T., 2000. The Effect of Magnesite Calcination Conditions on Magnesia Hydration. Miner Engineering, vol.13, 1629-1633.
11. Salomao, R., Arruda, C.C., Kawamura, A.M., 2015. A Systemic Investigation on the Hydroxylation Behavior of Caustic Magnesia and Magnesia Sinter. Ceramics International 41 (2015) 13998-14007.
12. Carretero, I.M., Pezo, M., 2009. Clay and Non-clay Minerals in the Pharmaceutical Industry Part I. Excipients and Medical Applications. Applied Clay Science 46, 73-80.
13. Alvarado, E., T-Martinez, L.M., Fuentes, A.F., Quintana, P., 2000. Preparation and Characterization of MgO Powders Obtained from Different Magnesium Salts and the Mineral Dolomite. Polyhedron 19, 2345-2351.
14. Olijar A., Lisuch J., Dorcak D., Spisak J., 2010. The Proposal for Optimization the Kinetics of the Process the Caustification of Magnesite. Acta Montanistica Slovaca, Ročník 15, Číslo 3, 244-247.
15. Altınar, M., Yıldırım M., Yılmaz, T., 2016. Leaching of Mersin/Aydıncık Dolomite Ore in Hydrochloric Acid. Dissolution rates. Pyhsicochemical Problems of Mineral Processing, Vol. 52, 536-550.
16. Altınar, M., Yıldırım, M., 2017. Production and Characterization of Synthetic Aragonite Prepared from Dolomite by Eco-friendly Leaching-carbonation Process. Advanced Powder Technology, Vol. 2, 553-564.
17. Altınar, M., Yıldırım, M., 2017. Aydıncık/Mersin Dolomitlerinden Nano Boyut Dağılımına Sahip Sentetik Periklas (MgO) Taneciklerinin Üretimi, Türkiye Uluslararası Madencilik Kongresi, 11-14 Nisan 2017, Antalya, 813-822.
18. Altınar, M., Yıldırım, M. 2017. Preparation of Periclase (MgO) Nanoparticles from Dolomite by Pyrohydrolysis-Calcination Processes,

Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering,
(Basım Aşamasında).

19. Mo, L., Deng, M., Tang, M. Effects of Calcination Condition on Expansion Property of MgO-type Expansive Agent Used in Cement-Based Materials. Cem. Concr. Res. 40: 437-446.
20. TS 8542 Kasım 1990. Manyezit-Refrakter Sanayinde Kullanılan. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
21. TSE K 356 Mart 2015. Kalsine Manyezit. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Faz Değişirme ile Isı Depolamada Kullanılan Parafin-Grafit, Parafin-Kanatçık ve Saf Parafinli Yapıların Performans Analizi

Mohammad AZARİFAR¹, S. Kazım SÖMEK², Nazlı DÖNMEZER^{*3}

¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara

²Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mikro Nano Teknoloji Bölümü, Ankara

³Boğaziçi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Geliş tarihi: 11.01.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Öz

Isıl enerjiyi depolamada Faz Değiştiren Maddelerin (FDM) kullanımı en verimli yöntemlerden biridir. Değişken aralıklı erime/katılaşma sıcaklığına ve ortalama ısı depolama yoğunluğuna sahip ticari parafin ısı enerji depolamada en çok incelenen FDM'lerin başında gelir. Parafin FDM'ler yüksek ısı depolama kapasitelerine rağmen düşük ısı iletkenliklerinden dolayı sistemlerin ısı şarj/deşarj hızını belirgin olarak sınırlamaktadır. Parafinin ısı iletkenliğini iyileştirme amaçlı kanatçık ve parafin-grafit yapılar kullanılmaktadır. Bu çalışmada ısı iletkenlikleri geliştirilmiş parafin-grafit, parafin-kanatçık ile saf parafinli iki boyutlu yapılar ısıdeşarj anında modellenerek ısı performansları bakımından birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada yapıların zamana bağlı sıcaklık dağılımları,deşarj ettikleri toplam ısı miktarı ve faz değiştirme hızları belirleyici faktörler olarak kullanılmıştır. Sonuçlar, parafin-kanatçık yapıların ısı performanslarının, yüksek ısıdeşarj hızı ve ısı depolama kapasiteleri birlikte düşünüldüğünde, parafin-grafit ve saf parafin yapılarla karşılaştırıldığında daha gelişmiş olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Parafin, Grafit, Metal kanatçık, Faz değiştiren madde (FDM)

Performance Analysis of Paraffin-Graphite, Paraffin-Fin and Pure Paraffin Structures Used in Phase Change Energy Storage

Abstract

Usage of Phase Change Materials (PCM) for storage of thermal energy is one of the most efficient methods to store thermal energy. The commercial paraffin, with a wide range of melting and solidification temperatures as well as moderate thermal storage densities, has been one of the most studied PCMs for thermal energy storage. Although the thermal storage capacity of paraffin PCMs are high, their low thermal conductivity limits the thermal charging/discharging rates considerably. The thermal conductivity of paraffin is enhanced by finned and paraffin-graphite structures. In this study, pure paraffin and thermally enhanced paraffin-graphite and paraffin-fin two-dimensional structures during thermal discharge are modeled. After modeling their thermal responses are compared with each other. The transient temperature distribution, total energy discharged and the rate of phase change are used as indicators in this comparison. The results show, considering both the thermal discharge rate and the

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Nazlı DÖNMEZER, nazli.donmezer@boun.edu.tr

storage capacities, that the thermal performance of paraffin-fin structures are superior to paraffin-graphite and the pure-paraffin structures.

Keywords: Paraffin, Graphite, Metal fin, Phase change material (PCM)

1. GİRİŞ

Güneş, rüzgâr, vb. pek çok enerji kaynağı mevsimsel, günlük ve yıllık değişimlerden ötürü düzenli bir şekilde enerji üretememektedir. Enerjinin düzenli olarak üretilebildiği durumlarda ise enerjinin tüketiminde düzensizlikler görülebilmektedir. Düzenli enerji üretiminin ve tüketiminin problem olduğu uygulamalarda enerji depolama enerji kullanımı düzenleyerek kayıpları en aza indirdiğinden ötürü oldukça önem taşımaktadır. Bazı uygulamalar için bir kaç saat gibi kısa süreli enerji depolama yeterli olurken başka uygulamalarda birkaç aylık depolama gerekebilir [1]. Isıl enerji depolama artan enerjinin depolanmasında kullanılan yöntemlerden biridir ve ısı bu uygulamalarda duyulur ve/veya gizil ısıl formunda depolanır. Duyulur ve gizil ısının ısıl enerji depolama için birlikte kullanılmasında faz değişim malzemeleri (FDM) kullanımı 1940'larda başlasa da, bu malzemelerin popülerliği 1970'lerin sonlarında petrol ambargosu ile başlayan enerji krizi ile artmıştır [2]. Öncelikli olarak güneş enerjisinin depolanmasında kullanılan FDM'ler sonraları enerji dağıtım şebekelerinin performans ve güvenilirliğini artırmış ve enerji tasarrufuna katkı yapmıştır [3].

Faz değişim malzemeleri organik, inorganik ve ötektik olmak üzere üç ana gruba ayrılır [3]. Kullanım alanına göre FDM'lerin avantaj ve dezavantajları vardır. Organik bir FDM türü olan parafin, gizil ısı miktarının istenilen aralıkta olması, kimyasal kararlılığı, faz ayrımının olmaması ve ticari olarak bulunurluğu sebebiyle enerji depolamada kullanılan FDM'lerin başında gelmektedir [1,4,5]. Bütün bu olumlu özelliklerin yanı sıra parafin; ısıl enerji depolamada etkinliği azaltacak düşük ısı iletkenliğine sahiptir [1]. Parafinin düşük ısı iletkenliği, ısı depolamada kullanılan parafinli sistemlerin ısıl şarj/deşarj hızını belirgin olarak sınırlamaktadır. Parafinin ısı iletkenliğini artırmak için parafinin metal köpükler

ve kanatçık [6,7] gibi yapılarla beraber kullanılması önerilmiştir.

Bir başka iyileştirme yöntemi ise parafin ile ısıl iletkenliği yüksek malzemelerin birleştirilmesi ile elde edilen kompozit malzemelerin parafin yerine kullanılmasıdır [8-15]. Parafin-grafit kompozit yapılar ısı iletkenliği iyileştirilmiş kompozit FDM'lere örnek olarak gösterilebilir. Daha önce farklı grafit yoğunluğu kullanılarak oluşturulan malzemelerin ısıl iletkenliklerinin saf parafinden 28-40 kat fazla olduğu deneysel ve modelleme yöntemleri ile kanıtlanmıştır [12-14].

Parafin-grafit kompozit malzemeler geliştirilebilir grafit malzemelerin geliştirilmesi sonucu oluşan mikron boyutlu hava boşluklarına sahip köpük yapının içerisine eritilmiş parafin zerk ederek hazırlanır. Hazırlanması sırasında grafit yoğunluğu malzemenin özelliklerini değiştirmek üzere değiştirilebilir. Geliştirilmiş grafit soğuk sıkıştırma tekniği kullanılarak baryum hidroksit gibi inorganik FDM'ler ile birleştirildiğinde parafin-grafit yapılardan daha yüksek ısı depolayabilse de hem yüksek sıcaklıklardaki dayanıksızlığı hem de düşük ısı iletkenliği nedeniyle tercih edilmemektedir [12].

Isı iletkenliğini arttırmada parafin-grafit yapıların kullanımı uygun yapıda grafit üreten firmaların artışı ve bu tür malzeme oluşturmada yapılan araştırmalar ile yaygınlaşmaktadır. Buna rağmen kullanımı daha eskiye dayanan metal kanatçık uygulamaları da daha verimli kanatçık yapıların geliştirilmesi ve sistemlere dâhil edilmesinde yapılan geliştirmeler sayesinde halen popülerliğini korumaktadır. Daha önceki çalışmalarda parafin ve parafin-grafit [12-14] ile parafin ve parafin-kanatçık yapılar kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Isıl iletkenlikte parafin-grafit ve parafin-kanatçık yapıların saf parafinden iyi olduğu kanıtlanırsa da bu iki yöntemi birbirleriyle ve saf parafinle karşılaştırılması üzerine bir çalışma

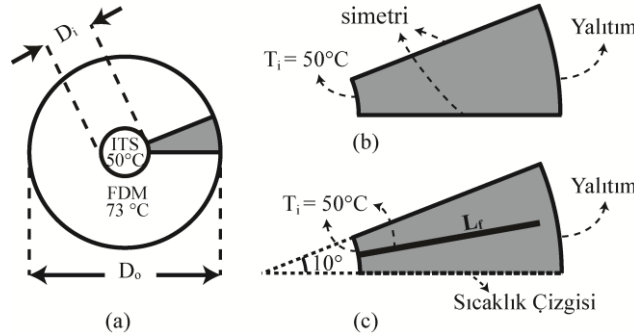
gözlenmemiştir. Literatürdeki bu eksiği doldurmak dolayısıyla parafin-grafitin parafin-kanatçık yapılara göre performansını anlamak ileride tasarlanacak enerji depolama sistemlerinde kullanılacak malzemelerin belirlenebilmesi için gereklidir.

Bu çalışmada saf parafin, parafin-grafit ve kanatçık ile iyileştirilmiş parafin çözümlerin karşılaştırmalı olarak performans analizinin faz değişiminin dâhil edildiği zamana bağlı ısı benzetimler aracılığıyla yapılması hedeflenmiştir. Isıl analizler sonucunda saf parafin, parafin-kanatçık ve parafin-grafit yapıların zamana bağlı sıcaklık dağılımları, toplam enerjilerindeki değişimleri ve faz değiştirme oranları elde edilerek, karşılaştırmaları yapılmıştır.

2. METOT

Saf parafin, parafin-kanatçık ve parafin-grafit içeren yapıların ısı performans analizini yapmak üzere uzun silindirik bir su ısıtma/soğutma

ünitesindeki ısı iletimi COMSOL Multiphysics kullanılarak modellenmiştir. Kullanılan silindirik ısı depolama ünitesinin kesiti Şekil 1(a)'da gösterilmektedir. Ünite iç içe geçmiş eş merkezli iki borudan oluşmaktadır. Yüze sıcaklığı $T_i = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ve çapı $D_i = 60\text{ mm}$ olan iç ısı transferi borusu çapı $D_o = 230\text{ mm}$ olan yalıtılmış ısı depolama borusunun içerisine yerleştirilmiştir. Isı depolamada kullanılan geometri daha önce yoğunlaştırılmış güneş enerjisi ısısının depolanması ve su ısıtmada kullanılmasının araştırıldığı çalışmadan alınmıştır [9]. Isı depolama borusunun iç kısımları Şekil 1(a)'da gösterildiği gibi saf parafin veya parafin temelli FDM ile doldurulmuştur. Bu çalışma için seçilen parafin çeşidi yüksek ısı depolama kapasitesi ve uygun erime sıcaklığından dolayı Rubitherm RT65'dir. Çalışmada FDM olarak saf RT65 parafinin yanı sıra ısı iletkenliği bakımından geliştirilmiş parafin-grafit yapı da kullanılmıştır. Son olarak ısı depolama borusu yine ısı iletkenliği artırmak üzere kanatçık yapılar ile zenginleştirilmiştir.



Şekil 1. (a) Isı depolama ünitesinin kesiti. (Gri alan simetri koşulları göze alınarak modellenmesi yeterli bulunan örnek alanı temsil eder) (b) Saf parafin ve parafin-grafit (c) parafin-kanatçık yapıların analizinde kullanılan örnek alanlar

Parafin-kanatçık yapıda ısı transfer yüzeyini arttırmak üzere 10° aralıklarla toplam $N_f = 36$ adet $L_f = 80\text{ mm}$ uzunluğa sahip ince, uzunlamasına kanatçık yerleştirilmiştir geri kalan kısımlar ise RT65 saf parafin ile doldurulmuştur. Kullanılan kanatçıkların kalınlıkları ihmal edilebilir düzeyde olduğundan ısı depolama borusu içinde parafin hacmi ve kütlesi sabit tutulmuştur. Yine aynı nedenden ötürü kanatçıklar içindeki ısı iletimi ihmal edilmiş, kanatçık sıcaklığı ısı depolama

borusunun iç çeper sıcaklığına ($T_i = 50\text{ }^\circ\text{C}$) eşit sayılmıştır. Ayrıca, ısı depolama ünitesinin uzunluğu kesitine göre büyük olduğu için ünitenin uzunluğu boyunca oluşan ısı transferi ihmal edilmiş ve iki boyutlu benzetimler kullanılmıştır. Son olarak problemin kesit simetrisi de kullanılarak, problem Şekil 1(b) ve (c)'de gösterilen küçük ve analizi kolay örnek hacimlere indirgenmiştir.

Parafin-grafit yapı için geometrik bir değişiklik yapılmayıp Şekil 1(b)'de kullanılan yapı hem saf parafin hem de parafin-grafit yapıların analizi için kullanılmıştır. Şekil 1(c)'de gösterilen yapı ise parafin-kanatçık yapının analizinde kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan saf parafin (RT65) ve parafin-grafit malzemelerin malzeme özellikleri sırasıyla üretici verileri ve RT65 tabanlı parafin-grafit malzemenin araştırıldığı çalışma [12] temel alınarak elde edilmiş, Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Saf parafin ve grafit-parafin malzemenin özellikleri

	Erime Sıcaklığı T_M (°C)	Erime Aralığı ΔT_M (°C)	Isı İletkenlik Katsayısı k (W/(m·K))	Öz Isı Kapasitesi c_p (J/(kg·K))	Gizil Isı l_f (J/kg)	Öz kütle ρ (kg/m ³)
Saf Parafin (RT65*)	65	11	0,2	2000	155000	780 (sıvı) 880 (katı)
Parafin-Grafit [12]	65	4	15	1800	150000	590 (sıvı) 610 (katı)

* Rubitherm RT65 üretici verisi

COMSOL Multiphysics ısı benzetimleri kullanılarak modellenen Şekil 1(b) ve (c)'deki örnek alanların iç yüzeyi (iç boruda bulunan ısı taşıyıcı akışkanı temsilen) ve Şekil 1(c)'deki kanatçık yüzeyi sabit $T_i = 50$ °C, dış ve yan yüzeyleri ise yalıtılmış/simetri yüzeyleri olarak tanımlanmıştır. FDM ilk olarak sıvı halde $T_0 = 73$ °C'de bulunmaktadır. FDM sıcaklığı daha düşük olan ısı taşıyıcı akışkan ile etkileşime geçerek önce sıcaklık değişimi daha sonra donma daha sonra tekrar sıcaklık değişimi aşamalarından geçer. Isıl benzetimde bu üç farklı aşamayı temsil etmek ve FDM'nin faz değişimi sırasında gizil ısı depolamasını tanımlamak üzere farklı aşamalarda Eşitlik 1'deki öz ısı kapasiteleri, c_p , kullanılmıştır. Burada kullanılan varsayım malzemenin donma öncesi ve sonrasında öz ısı kapasitesini koruduğudur. Donma esnasında gizil ısının depolanması için bir erime aralığı, ΔT_M , tanımlamak kullanılan bir yöntemdir.

Bu modele göre öz ısı kapasitesi erime aralığında faz değişiminde gizil ısı ile depolanan enerji kadar artırılır. Eşitlik 1'deki öz ısı kapasiteleri aynı zamanda sistemin toplam enerji seviyesinin hesabı için de kullanılmaktadır.

Aynı zamanda donmanın ne oranda gerçekleştiğini anlamak için de katı ve sıvı fazlara Eşitlik 2'deki gibi farklı öz kütleler tanımlamak yeterli olmaktadır. Saf-parafin için katı ve sıvı öz kütleleri değişiklik göstermektedir ve üretici verisi kullanılarak modellenmiştir. Parafin-grafit yapıda erime sırasında daha az bir öz kütle değişimi olmaktadır. Bunun nedeni grafit yapının faz değiştirmemesi sadece parafinin donmasıdır. Buna rağmen donma oranını tanımlamak üzere katı ve sıvı için Çizelge 1'deki değerler tanımlanmıştır. Donma öncesinde ve sonrasında öz kütle Eşitlik 2'deki gibidir.

$$c_p = \begin{cases} c_p & T < (T_M - \frac{\Delta T_M}{2}) \\ c_p + l_f / \Delta T_M & (T_M - \frac{\Delta T_M}{2}) < T < (T_M + \frac{\Delta T_M}{2}) \\ c_p & (T_M + \frac{\Delta T_M}{2}) < T \end{cases} \quad (1)$$

$$\rho = \begin{cases} \rho_l & T \leq T_M \\ \rho_s & T_M < T \end{cases} \quad (2)$$

İstenilen anda sistemin ortalama öz kütlesi bulunarak ve Eşitlik 2'deki öz kütleler kullanılarak sistemde donma miktarı bulunabilmektedir. Isıl benzetimler örnek hacimde sabit sıcaklığa gelinene kadar devam ettirilmiştir. Benzetimler sonucunda

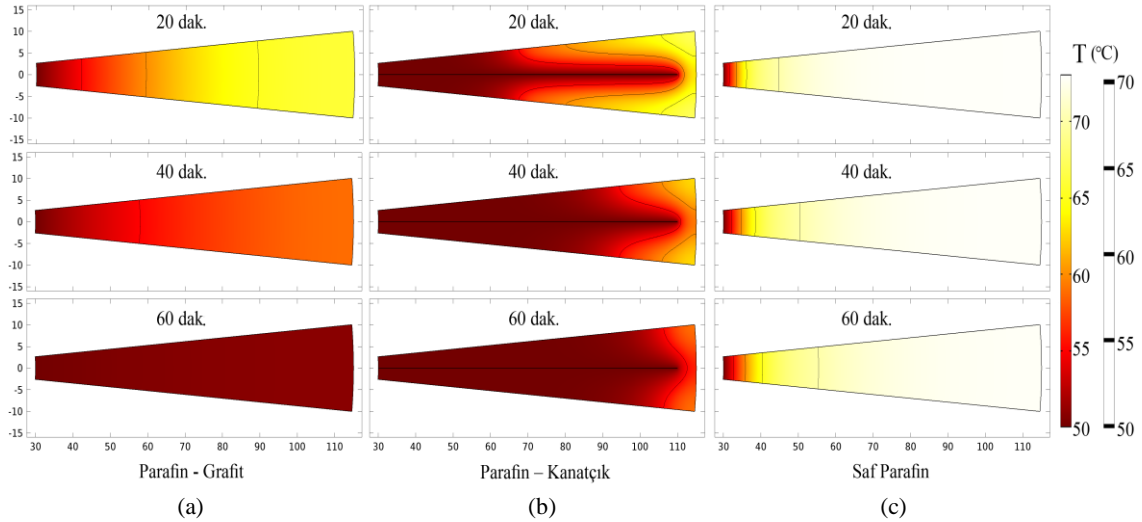
elde edilen sonuçlar bir sonraki kısımda gösterilmektedir.

3. SONUÇLAR

3.1. Sıcaklık Analizi

Parafin-grafit, parafin-kanatçık ve saf parafin FDM kullanılan Şekil 1(b) ve (c)'de gösterilen örnek alanlar modellenerek zamana bağlı sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. Şekil 2'de bu yapılarda 20, 40 ve 60. dakikalarda oluşan sıcaklık dağılımları verilmektedir. Bu dağılımlara bakıldığında Şekil 2(a) ve (b)'deki kanatçık

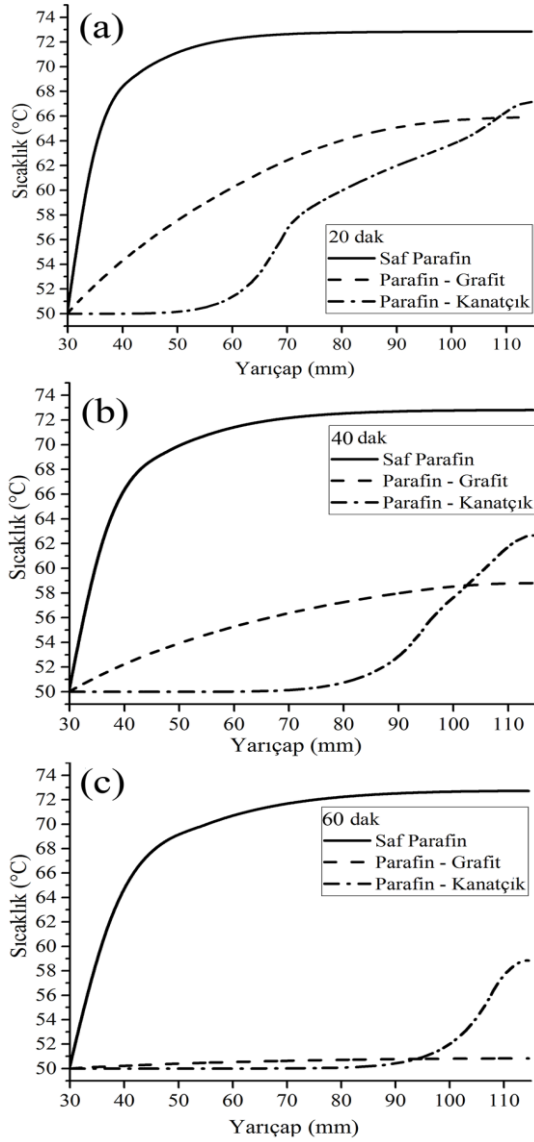
olmayan yapılarda, ısı dağılımı dolayısıyla da faz değişimi iç çeperden dış çepere doğru düzenli bir şekilde olmaktadır. Buna rağmen Şekil 2(b)'de gösterilen, kanatçık kullanılan yapıda sıcaklık dağılımı ve faz değişimi sadece iç çeperden dış çepere doğru olmamakta, kanatçık yüzeylerinden dışarıya doğru da olmaktadır. Bunda kanatçık yapının çok ince ve yüksek ısı transferi katsayısına sahip olduğunu varsaymaktan doğan sabit sıcaklık sınır koşulu büyük rol oynamaktadır. Kanatçığın doğrudan temasta bulunduğu FDM'nin sıcaklığını değiştirmesi ve faz değişimini başlatması kanatçıkla yapıların faz değiştirme hızını arttırmakta başarılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. (a) Parafin–Grafit (b) Parafin–Kanatçık ve (c) Saf Parafin ısı depolama ünitelerindeki 20, 40 ve 60 dakikalardaki sıcaklık grafikleri

Ayrıca Şekil 2'de 40. dakikada farklı yapıların sıcaklık dağılımlarına bakıldığında parafin-grafit ve parafin-kanatçık yapıların neredeyse tamamının sıcaklığının erime/donma sıcaklığı olan $T_M=65$ °C altına düştüğü fakat saf-parafinli yapının büyük kısmının sıcaklığının erime sıcaklığının üstünde olduğu görülebilmektedir. Bu saf-parafinli yapının büyük kısmının henüz donmasını tamamlayamadığını göstermektedir. Bunun nedeni, Çizelge 1'de verilen saf parafinin, parafin-grafit malzemeden neredeyse 30 kat düşük ısı iletim katsayısıdır. Düşük ısı iletim katsayısı ısının parafin içerisinde verimli bir şekilde dağılmasını

engelleyerek soğumayı yavaşlatır. Isı transferi modülündeki sıcaklık değişimini daha iyi anlamak için ısı depolama alanı içerisinde ısı transferi sıvısını olduğu iç çeperden yalıtılmış dış yüzeye kadar olan sıcaklık dağılımları Şekil 1'de gösterilen sıcaklık çizgisi boyunca farklı zamanlarda elde edilmiştir. Elde edilen çizgisel sıcaklık dağılımları Şekil 3'de verilmiştir. Sıcaklık çizgisi kanatçık yapıda komşu kanatçıkların tam ortasından geçecek şekilde konumlandırıldığı için kanatçık yapılarda ısı transferinin en yavaş olduğu bölgelere denk gelmektedir.



Şekil 3. (a) 20 (b) 40 ve (c) 60'inci dakikalarda saf-parafin, parafin-grafit ve parafin-kanatçık FDM kullanılan ısı transfer modülünde yarıçap boyunca sıcaklık çizgisi üzerindeki sıcaklık değişimi

Şekil 3'de görüldüğü üzere saf parafinli yapıda sıcaklık çoğu bölgede uzun süre sabit kalmaktadır ve çok yavaş azalmaktadır. Buna rağmen Şekil 3(c)'de görüldüğü üzere, parafin-grafit yapıda birinci saatin sonuna gelindiğinde mümkün olan sıcaklık değişiminin neredeyse tamamı

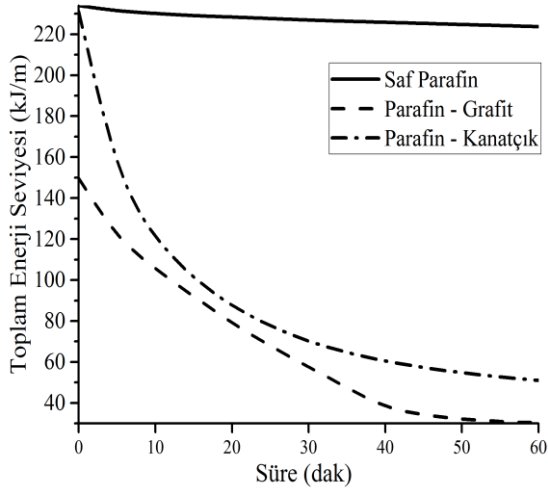
geçirilmiş tüm parafin-grafit yapı ITS'nin sıcaklığına (50°C) ulaşmıştır.

Kanatçık yapıda ise kanatçıklardan gelen ısı iletimi etkisiyle daha karmaşık bir sıcaklık dağılımı görülmektedir. Aslında ilk 40 dakikada parafin-kanatçık yapının sıcaklık değişimi, Şekil 3(b) ve (c)'den de anlaşılacağı gibi çok hızlı olsa da bir saate yaklaşıldığında kanatçık etkisi azalır ve ısının kanatçıklardan uzak olan köşe noktalarından transferi önem taşımaya başlar. Bunun sonucunda ısı transferi yavaşlamaya başlar. Parafin-grafit yapıda ısı iletkenliği her yerde yüksek olduğu için zamanla ısı transferinin yavaşlaması parafin-kanatçık yapıdaki kadar fazla olmaz ve bir süre sonra parafin-grafit yapı parafin-kanatçık yapı ile aynı performansa ulaşır ve onu geçer. Bunun sonucu olarak, ortalama bir saat gibi bir sürede parafin-grafit yapının katılması tamamlansa da parafin-kanatçık yapı bu sırada hala donmasını tamamen tamamlayamamış olur.

3.2. Enerji Analizi

Isı depolama ünitesinin soğuma ve donma ile enerjini ITS'na aktarma hızını, bir başka değişle deşarj hızını anlamak üzere ısı depolama modülünün toplam enerji seviyesinin zamana bağlı değişimleri Eşitlik 1'de verilen öz ısı kapasiteleri kullanılarak elde edilmiştir. Bu değerler Şekil 4'de gösterilmektedir.

Şekil 4'de gösterildiği üzere saf parafinin toplam enerji seviyesinde ilk bir saatlik dilimde ciddi bir düşüş görülmemektedir. Bu saf-parafinin bir saatlik süre içerisinde enerji deşarjının yeterli seviyede olmadığını ve saf parafinli yapıda depolanan enerjinin deşarjı için daha fazla beklenilmesi gerektiğini gösterir. Buna rağmen, bir saatin sonunda parafin-kanatçık ve parafin-grafit yapılarında tatmin edici bir ısı deşarjı olduğu görülmektedir. Parafin-kanatçık yapının toplam enerji seviyesindeki azalmaya bakıldığında, deşarj hızının ilk başlarda çok yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuç kanatçıkların başlarda daha etkin olduğunu destekler niteliktedir. Parafin-grafit yapı ise 50 dakika sonunda maksimum deşarj seviyesine ulaşmıştır ve görevini tamamlamıştır.



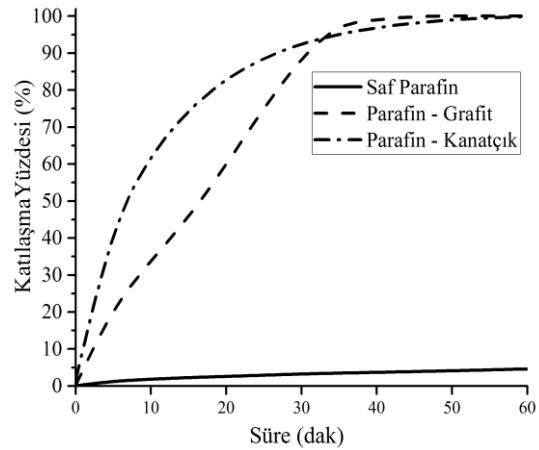
Şekil 4. Farklı sürelerde ısı depolama modülü içerisinde depolanan toplam enerji seviyesi

Burada önemli nokta Şekil 4’de görüldüğü üzere, saf-parafin ve parafin-kanatçık yapıların başlangıç enerji seviyesinin parafin-grafite göre daha fazla olmasıdır. Bu farklılığın nedeni aynı hacme sahip parafin-grafit yapının içerdiği parafin kütlesinin saf parafin içeren yapınınkinden az oluşudur. Parafin-grafit yapının bir kısmı ısıyı depolama özelliği ile bilinen parafinden oluşsa da bir kısmı grafit malzeme ile dolu olduğundan malzemenin hacimsel öz ısı kapasitesi Çizelge 1’de görüldüğü üzere saf parafinden düşüktür. Bu nedenden ötürü bütün yapılarda modellemeye FDM’nin başlangıçta sabit sıcaklıkta ($T_0 = 73 \text{ }^\circ\text{C}$) olduğu varsayımı ile başlandığında, yapıların başlangıçta depoladıkları ısıl enerji farklılaşmaktadır. Depolanan ısı miktarını artırmak için daha büyük hacimli yapılar kullanılması da ısı iletiminin olumlu etkilerini azaltacaktır. Parafin-kanatçık yapıda kanatçıkların ihmal edilebilir incelikte olduğu varsayımından dolayı aynı hacimdeki parafin miktarı değişmediğinden bu sorun görülmemektedir.

Özetle parafin-grafit yapılar en hızlı deşarj süresine sahip olsa da aynı sıcaklıkta hacim başına depolayabildiği enerji saf parafin ve parafin-kanatçık yapılardan daha düşük olacaktır. Bu da parafin-kanatçık yapıların özellikle son etapta performansının yavaşlamasına rağmen

depolayabildiği ısı miktarı ve hızlı deşarj özellikleri açısından en uygun yapı olduğunu göstermektedir.

Son olarak saf parafin, parafin-grafit ve parafin-kanatçık yapılar bulunduran ısı depolama ünitelerinde zamana bağlı katılma yüzdeleri Şekil 5’de gösterilmektedir. Katılma yüzdesinin hesaplanması daha öncede bahsedildiği üzere Eşitlik 2’deki öz kütle değişimleri kullanılarak gerçekleştirilir. Şekil 5’de görüldüğü üzere parafin-kanatçık yapılarda toplam katılma yüzdesi ilk zamanlarda oldukça yüksektir. Bir süre sonra kanatçıkların etkisinin azalmasıyla kanatçıklara uzak köşe noktalarda donma zorlaşır ve parafin-grafit yapıdaki katılma yüzdesi parafin-kanatçık yapınıninkine 30 dakikadan sonra yaklaşır. Daha önce bahsedildiği üzere ısıl modellemeye gizil ısının etkisini erime aralığı (ΔT_M) tanımlayarak modele dâhil ettiğimiz için katılma saf parafinli ve parafin-kanatçık yapılar için $\Delta T_M=11^\circ\text{C}$ ’lik bir aralıkta sabit artışlı gerçekleşmektedir. Bu varsayımlar nedeniyle gerçek katılma yüzdesi Şekil 5’de verilen değerlerden farklılık gösterebilse de Şekil 5 katılma yüzdesinin değişimi ile ilgili yeterli bilgiyi vermektedir.



Şekil 5. Saf parafin, parafin-grafit ve parafin-kanatçık yapılarda zamana bağlı katılma yüzdesi

Sonuç olarak aynı hacme sahip ısı depolama alanı için saf-parafin, parafin-grafit, parafin-kanatçık

yapıların üçünün de birlikte karşılaştırıldığı bu çalışma ile:

- Parafin-kanatçık yapının ısı transferini iyileştirerek donma ve deşarj hızının artmasını sağladığı,
- Benzer bir iyileştirme parafin-grafit yapıda görülse de parafin-kanatçık yapının aynı hacimde daha fazla ısı depolayabildiği,

anlaşılmıştır. Bu nedenle çalışmada kullanılan şekilde parafin-kanatçık yapının depolama amaçlı kullanılmada en uygun seçenek olduğu görülmektedir. Farklı uygulamalar için kanatçık sayısını ve uzunluğunu değiştirmek ile benzer performanslar elde etmek mümkün olacaktır. Öte yandan parafin-grafit yapıların ısıl özelliklerini değiştirmek grafit öz kütlelerini değiştirmek ile mümkün olsa da bu konuda yapılacak değişiklikler daha sınırlıdır.

4. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın başında parafin-grafit yapılar ile ilgili bilgiler ve yardımlarından ötürü Anne Mallow'a teşekkürlerimizi sunarız.

5. KAYNAKLAR

1. Farid, M.M., Khudhair, A.M., Razack, S.A.K., Al-Hallaj., S., 2004. A Review on Phase Change Energy Storage: Materials and Applications, Energy Conversion and Management, vol. 45, no. 9–10, 1597–1615.
2. Sharma, S.D., Kitano, H., Sagara, K., 2004. Phase Change Materials for Low Temperature Solar Thermal Applications, Res. Rep. Fac. Eng. Mie Univ., vol. 29, 31–64.
3. Rathod, M.K., Banerjee, J., 2013. Thermal Stability of Phase Change Materials Used in Latent Heat Energy Storage Systems: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 18, 246–258.
4. Sari, A., Karaipekli, A., 2008. Preparation, Thermal Properties and Thermal Reliability of Capric Acid/expanded Perlite Composite for Thermal Energy Storage, Mater. Chem. Phys., vol. 109, no. 2–3, 459–464.
5. Zalba, B., 2003. Review on Thermal Energy Storage with Phase Change: Materials, Heat Transfer Analysis and Applications, Appl. Therm. Eng., vol. 23, no. 3, 251–283.
6. Sciacovelli, A., Guelpa, E., Verda, V., 2014. Second Law Optimization of a PCM Based Latent Heat Thermal Energy Storage System with Tree Shaped Fins, Int. J. Thermodyn., vol. 17, no. 3, 127–136.
7. Sciacovelli, A., Gagliardi, F., and Verda, V., 2015. Maximization of Performance of a PCM Latent Heat Storage System with Innovative Fins, Appl. Energy, vol. 137, 707–715.
8. Nallusamy, N., Sampath, S., Velraj, R., 2006. Study on Performance of a Packed Bed Latent Heat Thermal Energy Storage Unit Integrated with Solar Water Heating System, J. Zhejiang Univ. Sci. A, vol. 7, no. 8, 1422–1430.
9. Singh, D., Zhao, W., Yu, W., France, D.M., Kim, T., 2015. Analysis of a Graphite Foam–NaCl Latent Heat Storage System for Supercritical CO₂ Power Cycles for Concentrated Solar Power, Sol. Energy, vol. 118, 232–242.
10. Kim, T., France, D.M., Yu, W., Zhao, W., Singh, D., 2014. Heat Transfer Analysis of a Latent Heat Thermal Energy Storage System using Graphite Foam for Concentrated Solar Power, Sol. Energy, vol. 103, 438–447.
11. Moeini Sedeh, M., Khodadadi, J.M., 2013. Thermal Conductivity Improvement of Phase Change Materials/graphite Foam Composites, Carbon N. Y., vol. 60, 117–128.
12. Haillot, D., Py, X., Goetz, V., Benabdelkarim, M., 2008. Storage Composites for the Optimisation of Solar Water Heating Systems, Chem. Eng. Res. Des., vol. 86, no. 6, 612–617.
13. Haillot, D., Nepveu, F., Goetz, V., Py, X., Benabdelkarim, M., 2012. High Performance Storage Composite for the Enhancement of Solar Domestic Hot Water Systems. Part 2: Numerical System Analysis, Sol. Energy, vol. 86, no. 1, 64–77.
14. Haillot, D., Goetz, V., Py, X., Benabdelkarim, M., 2011. High Performance Storage Composite for the Enhancement of Solar Domestic Hot Water Systems. Part 1: Storage Material Investigation, Sol. Energy, vol. 85, no. 5, 1021–1027.

15. Mills, A., Farid, M., Selman, J.R., Al-Hallaj, S., 2006. Thermal Conductivity Enhancement of Phase Change Materials Using a Graphite Matrix, *Appl. Therm. Eng.*, vol. 26, no. 14–15, 1652–1661.

Halep Minarelerinin Rekonstrüksiyonu için Alternatif Yaklaşım

Abdullah BÜLBÜL^{*1}, Salah HAJ İSMAİL², Rukiye ÇETİN³

¹Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara

²Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara

³Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, Ankara

Geliş tarihi: 09.06.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Öz

Suriye’de altı yıldır devam eden yıkıcı savaş kültürel miras niteliğindeki sit alanlarını tahrip etmiş, değerli tarihi yapıların kısmi olarak ya da tamamen yok olmasına sebep olmuştur. Dünya mirası sit alanlarından biri olan Halep şehri, İslam mimarisinin farklı dönemlerine uzanan ve o dönemleri belgelendiren minareler gibi birçok önemli ve eşsiz tarihi yapısını -bu savaş sebebiyle- kaybetmiştir. Bu minarelerden birisi de 25 Nisan 2013’de yok edilen Halep Emevi Cami (Halep Ulu Cami)’ne aittir.

Neyse ki, minarelerden birçoğu gelecekte rekonstrüksiyon imkânı sağlayacak fotogrametrik verilerle belgelendirilmiştir ve Emevi Cami’nin minaresi bunlardan birisidir. Bu çalışmayla yıkılan yapıların rekonstrüksiyonu için artırılmış sanal gerçeklik tekniklerini kullanarak alternatif bir yöntem önerilmiştir. Öncelikle sözü edilen fotogrametrik verilerle üç boyutlu (3B) modeller otomatik olarak oluşturulacak ve sonrasında özgünlük, tersine çevrilebilirlik gibi uluslararası rekonstrüksiyon sözleşmelerindeki öneriler göz önünde bulundurularak sanal olarak (yapı arsasında) inşa edilecektir.

Bu yöntemin sunacağı imkânlar ve sebep olacağı sorunlar tartışılıp, simgesel minareler üzerine karşılaştırmalı örnek çalışmalar gerçekleştirilecek, bu çalışmanın savaştan etkilenen diğer tarihi eserler üzerine de genişletilmesi için olanaklar araştırılacak ve bu yöntemin Suriye’de tahribata uğramış bütün tarihi eserler için sadece turist fotoğrafları üzerinden uygulanabilirliği değerlendirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Minare, Halep, Artırılmış Gerçeklik, Rekonstrüksiyon

Alternative Approach for Reconstruction of Aleppo Minarets

Abstract

A six years destructive war in Syria has damaged many of the heritage sites, causing partial or total loss of invaluable monuments. Aleppo, one of those world heritage sites in Syria, has lost -due to this war- many important and unique monuments of the old city, such as the mosques’ minarets dating and documenting different eras of Islamic architectural heritage, one of them is the minaret of Aleppo Umayyad mosque (the great mosque) destroyed on April 25th 2013.

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Abdullah BÜLBÜL, abulbul@ybu.edu.tr

Fortunately, many of those minarets have metric photographic documentation, and Umayyad minaret is one of them, that facilitate future reconstruction. An alternative approach was offered for on-site future reconstruction using augmented virtual reality techniques, firstly creating Auto generated 3D models by using previously mentioned image documentation, and then virtually reconstruct the minaret (in-situ) as an alternative compatible with international charts recommendations for reconstruction such as reversibility and authenticity.

This approach opportunities and threats are discussed, and comparative case studies were applied on iconic minarets, seeking to investigate the possibility of widening this practice to cover other affected monuments, solely documented by tourists' photos, in order to implement this methodology on all the damaged heritage by Syrian war in the future.

Keywords: Minaret, Aleppo, Augmented reality, Reconstruction

1. GİRİŞ

Hz. Muhammed (S.A.V.) döneminde inşa edilmemesine rağmen Minare ya da Arapça Mi'dhana, cami tasarımında yer alan önemli unsurlardandır [1]. Esas olarak ezan okumak -ibadete çağrı- amacıyla cami mimarisine

eklenmiştir. Zaman içinde taşıyıcı sistem ve biçimsel olarak gelişmeler göstererek mimari unsur olarak simgeleşmiştir [2]. İlk kare planlı Emevi minarelerinden kalem tipi Osmanlı minarelerine kadar, artık yalnızca minarelere bakarak caminin tarihi ve üslubu hakkında fikir edinebilmek mümkündür.



Şekil 1. Halep'te Minare üsluplarının kronolojik olarak gelişimi, soldan sağa doğru Emevi, Zengi, Eyyubi, Moğol, Memluk ve Osmanlı üslupları ile inşa edilmiş minareler

En eski yaşayan yerleşim merkezlerinden ve dünya mirası sit alanlarından biri olan 2006 yılı İslam kültürünün başkenti [3] Halep, cami ve minare mimarisine etkisini göstermiş çeşitli İslam

medeniyetlerine ev sahipliği yapmıştır ve farklı mimari üslupları yansıtan eşsiz örnekleri bir arada sunmaktadır.

Her ne kadar ses ve akustik teknolojisinin gelişimi ile minarelerin ezan işlevi azalsa da [4], simgesellik vasfı ve mimari değer olarak işlevi tarih sürecinde artmıştır. Halep Emevi Camii'nin minaresi bir şehrin kimliğini temsil etmek açısından oldukça iyi bir örnektir. Halep şehri özellikle kalesi, Emevi Camii ve dünya üzerindeki en eski minarelerden biri olan minaresiyle tanınmaktadır. Minarenin savaş sırasında yıkılmış olması insanlık ve muhakkak ki Halepliler için büyük bir kayıptır [5].



Şekil 2. Halep Ulu Camii ve minaresi 2009

Suriye'de altı yıldır devam eden savaşın ardından, Halep eski kent merkezinin kazara veya kasten vuku bulan yıkımı, yüksek değer arz eden tarihi yapı kalıntılarının korunması, restorasyonu ve rekonstrüksiyonu için müdahale çalışmalarına olan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır [6]. Bu çalışmalarda oluşabilecek ikilem hızlı ve itibar edilebilir rekonstrüksiyonun; aynı anda hem uluslararası sözleşmelerdeki özgünlük, geri alınabilirlik ve sürdürülebilirlik önerilerini hem de ulusal hukuk gereksinimlerini karşılayabilmesidir [7].

Bu makalede Halep Emevi Camii'nin yıkılan minaresinin rekonstrüksiyonu için yukarıda belirtilen hedefler doğrultusunda, teknolojik ve ekonomik imkanlar da göz önünde bulundurularak farklı bir yöntem sunulmuştur. Bu yöntem artırılmış gerçeklik teknolojilerinden yararlanarak minarenin asıl mekanında sanal olarak rekonstrüksiyonunu temel almaktadır. Bu doğrultuda rekonstrüksiyon sürecinde karşılaşılabilecek muhtemel zorluklar ve çözüm

önerileri de makalede tartışılmıştır. Sunulan sanal ve yerinde rekonstrüksiyon yöntemi, Haleplilerin minare ve diğer tarihi yapıların gelecekteki gerçek fiziksel inşaatları hakkında sunulan alternatifleri gözlemleyip fikir beyan ederek, yeniden inşa sürecine etkin bir şekilde katılmalarına da imkan sağlayacaktır.

2. YÖNTEM

Suriye'nin şu an savaş halinde olması ve tahrip olan kentlerle birlikte tarihi yapıların da fiziksel açıdan zarar görmesi, yapıların bütünselliğinin bozulması ve güvenlik sorunu gibi sebepler yüzünden üç boyutlu rekonstrüksiyon çalışmaları için sınırlı miktarda görsel veriye ulaşılabilmektedir. Ayrıca, yıkılan parçaların halen yapı üzerinde ve çevresinde olması tarihi yapının ana hatlarıyla algılanmasını ve program üzerinde tanımlanmasını güçleştirmektedir. Bu nedenle yine bütünlüğü bozulmuş ancak gerekli görsel malzemeye daha kolay erişimin sağlanacağı bir yapı arayışına gidilerek farklı olasılıklar, fırsatlar ve zorlukların daha iyi analiz edilebilmesi adına, Halep minaresi üzerine yaptığımız çalışma Konya'dan başka bir örnek 'İnce Minareli Medrese' ile karşılaştırılmalı olarak yürütüldü.



Şekil 3. İnce Minareli Medrese

1265 yılından önce yapımı tamamlanan İnce Minareli medrese Anadolu Selçuklu Döneminin özgün örnekleri arasında [8] olmakla birlikte inşası Halep Emevi Camii minaresinin Selçuklu Döneminde rekonstrüksiyonu ile aynı döneme tekabül eder. Emevi Camii minaresi 2013'te

bombalanma sonucu tamamen yıkılırken, İnce Minareli Medrese de 1901 yılında yıldırım düşmesi sonucu ilk şerefeye kadar yıkılmıştır [9]. Minare gövdesinin ve bu bölümdeki merdivenlerin geniş tuğla örgü ile inşa edilmesi, çatki elemanlarının da ahşap malzemeden oluşması İnce Minarenin sarsıntılara olan dayanımını azaltmıştır [10]. Medrese külliyesinin restorasyonu sırasında (1936-1956) cami rekonstrüksiyon edilmiş, ancak minare ilk şerefeye kadar onarım görmüştür [11]. Emevi Cami ise 2003 yılındaki cami restorasyon projesi kapsamında restore edilmiştir.

2.1. İlgili Çalışmalar

Geçtiğimiz on yılda gelişen Artırılmış Gerçeklik (AG) teknolojileri, inşaattan oyun ve eğitim sektörüne kadar birçok alanda uygulanmaktadır [12]. AG, bu çalışmada ilk olarak belgelendirme amaçlı 3B görüntü elde etme çalışmalarında uygulandı. Örneğin, küresel fotogrametri, metrik

belgeleme yöntemi olarak Emevi Cami Minaresinin ölçülerini ve mimari geometrik biçim verilerini elde ederek minarenin 3B modelini oluşturmak amacıyla kullanıldı [13]. Cep telefonları gibi GPS, jiroskop ve standart web-kamerası özellikleri olan kişisel mobil cihazlar, coğrafi konum bilgisine ulaşmak için uygun ortamı oluşturur. Bu verinin haritalar ve internet üzerinden erişilebilen uydu ortofotoları ile karşılaştırılarak kullanılması, küçük tarihi eserler ve nesnelerin iç mekân restorasyonuna imkan sağlamakta olup, bu yöntem özellikle müze ve sanat galerilerinde cep telefonları üzerinde çalışan Augment (<http://www.augment.com/>) ve benzeri uygulamalarda kullanılmaktadır [14]. Aynı teknolojinin daha büyük ölçekli projelerde uygulanabilirliği, yapısal detay miktarının oldukça artması ve dış mekandaki yüksek isabetli coğrafi konumlandırma ihtiyacından dolayı, düşmektedir [15].



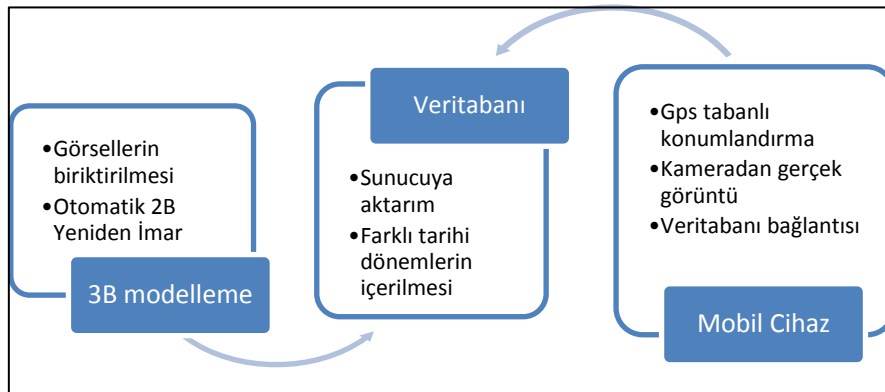
Şekil 4. Emevi Cami Minaresi önce ve sonrası (üstte), İnce Minare (altta)

Bu çalışmanın önemli bir parçası da yapının sanal olarak 3B rekonstrüksiyonudur. 3B modeller Blender (<https://www.blender.org/>) ve Autodesk 3ds Max (<http://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview>) gibi çeşitli programlarda kullanıcı tarafından oluşturulabilmektedir, ancak bu tür 3B modelleme araçları sarf edilen zaman ve emek açısından elverişli değildir. Literatürde otomatik veya yarı-otomatik 3B rekonstrüksiyonu konu alan çalışmalar mevcuttur. Bir alanın farklı açılardan çekilmiş çok sayıda fotoğrafının bulunması durumunda Hareketten Yapı Çıkarımı (Structure from Motion, SfM) olarak adlandırılan bir yöntemle çekimlerin yapıldığı noktalar saptanıp 3B nokta bulutları inşa edilir [16,17]. Poisson Rekonstrüksiyon gibi bir 3B mesh yüzey üretim metodu ile bu bulutlar yüzeylere çevrilir [18,19]. Bu yöntemler fotoğrafların çokluğuna ve kalitesine bağlı olup revaçta olan turistik alanlar için oldukça uygundur [20]. Yapının genel hatlarıyla geometrisi biliniyorsa, fotoğrafların model yüzeylerine yansıtılmasına dayanan yöntemlerle daha az fotoğrafla 3B modelin oluşturulması da mümkün hale gelir [21]. Bunlara ek olarak fotoğraflarda paralel doğrular ve kaçma noktalarının tanımlanması ile yapının muhtemel yüzeylerinin tespiti ve bu muhtemel yüzeylerden doğru olanlarının kullanıcı tarafından belirlenmesine dayanan etkileşimli 3B rekonstrüksiyon yöntemleri

de mevcuttur [22]. Bir diğer ilgili çalışma da GPS ve tarih verileri ile işaretlenmiş fotoğraflarla zaman içinde mekânlar üzerinde yapılan değişikliklerin tespiti üzerinedir [23].

2.2. Proje

Geçmişte gerçekleştirilen restorasyon projelerinden ve arşivlerde bulunan planlar, kesit çizimleri ve görsellerden elde edilecek verilerle eserlerin farklı tarihi dönemlere ait 3B modellerini oluşturmak mümkündür. Daha sonra kamera ve GPS işlevi olan herhangi bir mobil cihaz vasıtasıyla, internetin olması durumunda sunucudan indirilen, aksi takdirde cihaza daha önceden yüklenmiş olan 3B modellerin konumu ve bakış açısının tanımlanmasıyla, gerçek konumlarında ve gerçek arka planları ile görüntülenebilecektir. Projede minarenin tarih boyunca değişen halleriyle görüntülenebilmesi amaçlanmış ve kullanıcının bu sayede tarihin farklı dönemlerinde minarenin yapısal değişimini ve zaman içinde eskiyen malzemeleriyle birlikte minareyi inceleme fırsatı bulması hedeflenmiştir. Görüntünün yakınlaştırılması, tarihi bilgilerin eklenmesi, hatta Müezzinin minareye çıkışının ve ezan okumasının animasyonu gibi özelliklerle uygulamayı donatmak da sunulabilecek seçenekler arasındadır.



Şekil 5. Sanal ortamda rekonstrüksiyon AG kullanımı ve mobil cihazlarda gösterimi sürecinin diyagramı

2.3. Kullanılan Teknoloji

Mobil cihazların ekranlarında görüntülenebilecek şekilde sanal ortamda rekonstrüksiyonu sağlamak

için öncelikle kayıp bölgelerin 3B modellerinin oluşturulması gerekmektedir, bunun için de farklı yöntemler mevcuttur. Bunlardan bir grubu birçok fotoğraf kullanarak otomatik 3B modelleme

sağlayan SfM temelli yöntemlerdir. Şekil 6'da Flickr ve Google'da bulunan fotoğraflarla oluşturulmuş örnek bir 3B model sunulmuştur. Fotoğrafların niteliği ve niceliği modellemeyi doğrudan etkiler. Bu yöntemde yapının en çok dikkat çeken (turistler için en popüler olan) ve genellikle fotoğraflarda en görünür olan kısımları daha iyi modellenirken, daha az dikkat çeken kısımlarında sonuçlar o kadar iyi olmaz. Bu özellik yapının daha iyi modellenen popüler kısımlarının görsel açıdan da daha önemli olduğu fikri ile desteklenebilse de, yapının az fotoğraflanan kısımları son 3B modelde eksik bölgeler bırakabilir, bu da çoğu zaman kabul edilebilir bir durum değildir. Otomatik 3B modellemenin diğer bir dezavantajı da, üretilen modelin nokta bulutu halinde olmasından dolayı, sonraki aşamada nokta bulutu üzerine oluşturulan yüzeyin bilhassa düşük nokta yoğunluğuna sahip kısımlarında gözle görülür hatalar bulunması riskidir.

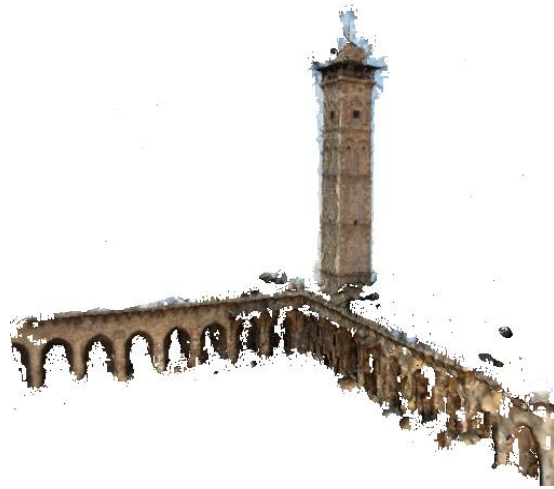
Modellenmek istenen bölgenin daha az sayıda fotoğrafına erişilebildiği durumlar için, kullanıcının interaktif olarak yönlendirebildiği yarı otomatik modelleme yöntemleri de mevcuttur. Otomatik rekonstrüksiyon yöntemlerinde olduğu gibi SfM yöntemleri ile seyrek nokta bulutu oluşturulmasının ardından, sistem kullanıcıya muhtemel düzlemleri sunar ve kullanıcının seçimine göre modelin yüzeyi oluşturulur. Oluşturulan yüzey üzerine doku kaplanması için de kullanılan fotoğraflardan yararlanır.

Son olarak, eğer farklı fotoğraflarda görüntü işleme yöntemleri ile eşleştirilebilen özellikler 3B model oluşturulması için yetersiz kalıyorsa, yazılı ve görsel açıklamalara bağlı olarak 3B model kullanıcı tarafından 3B modelleme yazılımları kullanılarak oluşturulabilir. Görüntülerin ya da yazılı belgelerin varlığı, fotoğrafların kalitesi gibi eldeki verilerin özelliklerine göre, 3B modelleme için, önerilen yöntemlerden uygun olanını ya da bu yöntemlerin karışımını kullanmak gerekebilir.

3. BULGULAR

İnce Minare ve Emevi Camii'nin minaresi bazı özellikleri açısından örtüşseler de, projenin Emevi Camii minaresine uygulanması için farklı

kısıtlamalar mevcuttur. İnce Minareli Medrese için yaklaşık 10 metre hata payıyla konum bilgisi sağlayan GPS hizmetleri [24] ve 4G internet kullanılabilir durumdadır. Buna ek olarak, medresenin önündeki geniş alan minarenin farklı açılardan görüntülenmesine imkan sağlar. Halep içinse, GPS içeren cihazlar güvenlik gerekçesiyle yasaklanmıştır ve minarenin bütünüyle yıkılmış olması uygulanabilecek teknolojileri kısıtlamaktadır. Ayrıca, caminin etrafındaki dar sokaklar minarenin şehrin farklı noktalarından bütün olarak görülmesini engellemektedir. Yıkılmadan önce çekilmiş birçok fotoğrafının olması ise Şekil 6'da görüldüğü gibi otomatik rekonstrüksiyonu mümkün hale getirir ve Emevi Camii minaresi için bir avantaj olarak sayılabilir. Daha önce bahsedildiği gibi, minarenin daha yaygın olarak fotoğraflandığı cami avlusuna bakan tarafı modellenemediği halde, yeterince fotoğrafı bulunmayan tavan ve dış cepheler yeterli şekilde oluşturulamamıştır. Bundan dolayı, yarı otomatik bir rekonstrüksiyon yönteminin kullanılması daha uygun olacaktır.



Şekil 6. Emevi Camiinin Flickr ve Google görsellerinden elde edilen fotoğraflar ile VisualSFM [25] kullanılarak elde edilmiş 3 boyutlu modeli

İnce Minare için de farklı zorluklar vardır ve bunlardan en önemlisi, minarenin yüz yıldan daha önce yıkılmasına bağlı olarak, sağlam halinin fotoğraflarının bulunmayışıdır. Bundan dolayı

eksik kısmın tarihi doküman ve açıklamalara göre modellenmesi için 3B modelleme programlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

İlgili alanın 3B modelinin elde edilmesinden sonra, ikinci aşama bu 3B modelin kamera görüntüsü üzerine doğru bir şekilde yerleştirilmesidir. Mimari eserlerin coğrafi koordinatları zaten bilinmekte olduğundan model ve çekilen görüntüyü eşleştirmek için çekilen görüntünün konum ve bakış açısını belirlemek gerekir. Kaba bir konum bilgisi, mümkün olduğunda GPS sinyallerinden elde edilebilse de Halep için durum böyle değildir. GPS bilgisinin eksikliğini telafi etmek amacıyla, caminin yaygın olarak fotoğraflandığı konumlar önceden belirlenir ve bu konumlara ait önceden biriktirilen görüntüler, kamera görüntüsü ile kıyaslanarak kullanıcının gerçekte hangi konumda olduğu belirlenir. Bu yöntem, GPS kullanılarak erişilebilecek konumlandırma isabetine görüntüleri kıyaslama maliyeti karşılığında ulaşılabildiğini sağlar.

3 boyutlu sanal modelin, kamera görüntüsü üzerine doğru şekilde yerleştirilebilmesi için konumlandırmanın önceki paragrafta bahsedilenden daha isabetli olarak gerçekleştirilmesi gerekir ki bu da kamera konumlandırmanın hata payını metrelerden santimetrelere indirmeyi hedefleyen sonraki aşamasını oluşturur. Oluşturulan üç boyutlu modelin, kamera görüntüsü üzerine belirgin bir hata olmaksızın yerleştirilmesi için görsel özelliklerin otomatik olarak bulunup bağdaştırılması gerekir. Böyle amaçlar doğrultusunda çokça yararlanılan görsel özellik belirleme yöntemlerinden biri SIFT (Scale-invariant feature transform)'tir [26]. SIFT özellikleri kullanılarak görsellerin ilişkilendirilebilmesi içinse her iki görselde de yer alan özgün görsel elemanlara ihtiyaç vardır. İlgilendiğimiz durumda ise eserin büyük bir kısmı hasar gördüğünden, oluşturulmuş modeldeki görsel öğelerin sınırlı bir kısmı halihazırda var olan kalıntılar üzerinde mevcuttur, bu da görüntüyü resmin üzerine yerleştirme işini zorlaştırmaktadır.

Konumlandırmanın iyileştirilebilmesi için kullanılacak bir diğer yaklaşım, görüntüdeki düz çizgilerden faydalanmaktır. Perspektif bakışa göre paralel çizgiler ufuk noktası (vanishing point) denilen bir nokta üzerinde birleşir. Eşleştirilebilir görsel özelliklerin tahribat sonucu azalmasına rağmen, geriye kalan düz çizgilerden ve ufuk noktalarından, oluşturulan modelin kamera görüntüsü üzerinde konumlandırılması için faydalanılabilir.

Kullanılacak bu teknolojiler, kısmen hasar görmüş kültürel miras eserlerinin geçici restorasyonuna dair projeler için yeni bir yaklaşımı mümkün hale getirir. Karmaşık, uygulanması zor ve pahalı fiziksel rekonstrüksiyon yerine sanal ve artırılmış gerçeklik teknolojileri ile gerçekleştirilen rekonstrüksiyon, zaman ve maliyet yükünü hafifletecektir. Ayrıca bu yöntem, gerçek uygulama öncesinde planlanan yöntemin yerinde analizini ve ihtiyaç halinde değişikliklerin yapılmasını mümkün hale getirir. Sunulan yaklaşımın bir başka avantajı da, eserin tarihi belgelere göre oluşturulabilecek farklı dönemlerdeki hallerini görüntülemeye imkan vermesidir.



Şekil 7. Cep telefonu kullanarak Halep minaresinin yıkılmadan önceki durumunun gösterilmesi

Sunulan projede, sanal rekonstrüksiyon yaklaşımının yüksek öneme sahip eserlerin fiziksel olarak rekonstrüksiyonuna geçerli bir alternatif oluşturduğu gösterilmektedir. Teknolojinin uygulanması için her farklı eserin özel şartları ve fiziksel durumuna göre birçok zorlukla yüzleşilmektedir.



Şekil 8. Cep telefonu kullanarak Halep minaresinin 2005'te restorasyon sırasındaki durumunun gösterilmesi

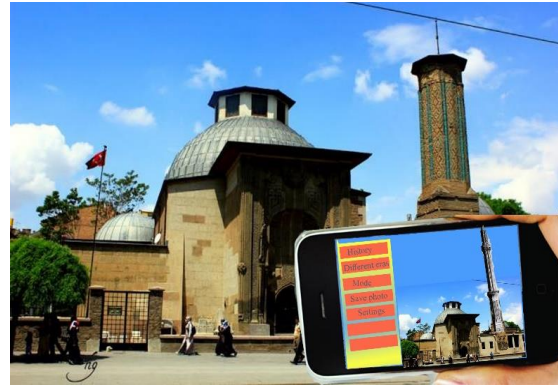
Projenin 3B modelin yeniden oluşturulması, oluşturulan modelin konumlandırılması ve kamera görüntüsü üzerine doğru şekilde yerleştirilmesi gibi her adımı için ulaşılabilen bilgilere ve fotoğraf, çizim, plan gibi belgelere bağlı olarak farklı yöntemlerden yararlanmak mümkündür. Turist, tasarımcı, karar vericiler gibi son kullanıcılara gerçek bir tecrübe edindirebilmek için her bir esere ayrı ayrı yaklaşılmalı, eserin hususi zorlukları ve kısıtlamaları uzmanlarca kapsamlı ve derinlemesine yürütülen çalışmalara belirlenmelidir.



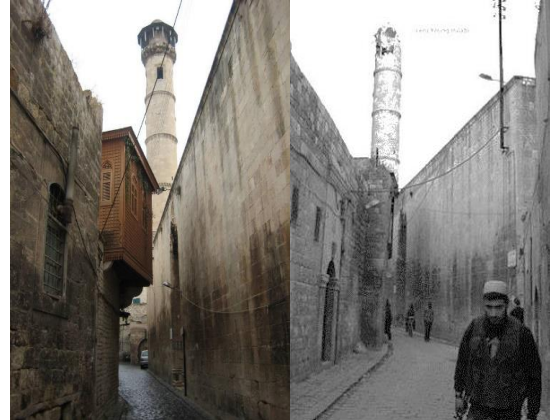
Şekil 9. Cep telefonu kullanarak Halep minaresinin eski dönemlerdeki durumunun gösterilmesi

Bu projede farklı hususiyetlere sahip Halep Emevi Camii ve İnce Minareli Medrese üzerinde edinilen tecrübe ile benzer yöntemleri kısmen hasar görmüş başka eserlere uygulamak daha kolay olacaktır.

Örneğin, Şekil 11'de gösterilen Halep'teki Alrumi Camii yöntemin uygulanabileceği bir başka eserdir. Bu eser; minaresinin kısmen zarar görmesi, inşa edildiği dönem ve mimari özellikleri açısından İnce Minareli Medrese'ye, görüş açısının kısıtlı olması ve teknolojik imkanlar açısından ise Halep Emevi Camii'ne yakın özellikler barındırmaktadır.



Şekil 10. Cep telefonu kullanarak İnce Minarenin tamamının 3B olarak uygulama seçenekleri ile birlikte görüntülenmesi



Şekil 11. Halep Alrumi Camii Minaresi. Hasar görmeyen önceki hali (solda), sonraki hali (sağda)

Az sayıda görsele sahip ve tamamen yıkılmış tarihi eserler daha zorlu şartlar teşkil eder; özellikle düşeyde kimlik kazanmış yapıların 3B modellenmesi oldukça zordur. Yatay elemanların ve yapıların modellenmesinde karşılaşılabilecek

sorunlar ve sınırlamalar ileriki çalışmalarda değerlendirilecektir.

4. SONUÇ

Bu çalışmayla zarar görmüş tarihi yapıların kendi arazilerinde rekonstrüksiyonuna fırsat veren, uluslararası sözleşmelerdeki koruma tavsiyeleri ve yöntemlere uygun, yapıların detaylı belgelendirilmesi ve analizlerinin yapılmasına kadar geçici çözüm sunan farklı bir yöntem sunulmuştur. Sunulan yöntem kullanıcıya 3B modeli yeni elde edilen bilgiler ışığında güncelleme imkanı veren esnek bir çözüm olmakla birlikte, farklı tarihi dönemlerde yapının geçirdiği değişiklikleri de gösterebilir. Ayrıca gerçek imarın karmaşık, uzun ve maliyeti yüksek bir süreçten geçeceği tarihi eser ve kültürel miras alanları için de geniş çapta kullanım vadetmektedir.

Ayrıca önerilen yöntem tarihi alanların canlanması sağlayan, kişisel arşiv fotoğrafları ve belgelerin yüklenmesini ve toplanmasını sağlayan başka bir uygulama geliştirerek halk katılımına imkan veren ve böylece 3B modelin kalitesini artıran, deneysel geçici rekonstrüksiyon alternatiflerinin doğrudan yapı arazinde sunulmasıyla imar aşamasından önce karar verme sürecinin daha etkin ilerleyebilmesine olanak tanıyan farklı bir yaklaşım olması açısından önem arz eder.

5. KAYNAKLAR

1. Bloom, J.M., 2012. The Minaret, Edinburgh: Edinburgh University Press.
2. Bloom, J.M., 1991. Creswell and the Origins of the Minaret, Muqarnas, no. 8, 55-58.
3. Salah Haj İsmail, E.M., 2014. Post Conflict Conservation or Reconsucution: Analysis, Criteria, Values of the Recent Syrian Cultural Heritage, in ReUSO 2° Convegno Internazionale Sulla Documentazione, Conservazione e Recupero del Patrimonio Architettonico e Sulla Tutela Paesaggistica, Floransa.
4. Alzaed, A., 2015. Sustainable Minarets: Towards Multifunctional Applications as a New Conceptual Design Model, International Journal of Emerging Research in Management & Technology , vol. 12, no. 4, 18-24.
5. Alafandi R., Abdul Rahim, A., 2014. Umayyad Mosque in Aleppo Yesterday, Today and Tomorrow, International Journal of Arts & Sciences, 319-325.
6. Ismail, S.H., 2012. Reviewing Aleppo Public Spaces in Terms of Creativity and Co-Living, in Joint Urban design Workshop- Urban Design in Historic Context, Cairo.
7. ICOMOS, 1982. Declaration of Dresden on the Reconstruction of Monuments Destroyed by War, ICOMOS, Dresden.
8. Karabacak, S.B.A.H., 1981. Sahib Ata Fahrü' d d in Ali'nin Konya, İmaret ve Sivas Gökmedrese Vakfiyeleri, VD, vol. 13, 31-69.
9. Uğur, M.F., Koman M.M., 1939. Sahip Ata ile Oğullarının Hayatı ve Eserleri, İstanbul: Türkiye Matbaası.
10. Akok, M., 1970. Konya'da İnce Minareli Medrese, Türk Arkeoloji Dergisi, vol. 1, no. 19, 5-36, 1970.
11. Yavaş, D., Çobanoğlu, A., 2000. İnce Minareli Medrese, TDV İslam Ansiklopedis, vol. 22, 269-270.
12. Elsevier, 2013. Special Issue on the Applications of Augmented Reality in Architecture, Engineering, Automation in Construction, no. 33, 1-2.
13. Fangi, G., Wahbeh, W., 2013. The Destroyed Minaret of Umayyad Mosque of Aleppo, the Survey of the Original State, European Scientific Journal, Special Edition 4, 403-409.
14. Saggio G., Borra, D., 2011. Augmented Reality for Restoration/Reconstruction of Artefacts with Artistic or Historical Value, in Augmented Reality-Some Emerging Application Areas, A.Y.C. Nee, Ed., Shanghai, InTech, 59-86.
15. Amir, H., Behzadan, A., Vineet R. Kamat., 2013. Enabling Discovery-based Learning in Construction using Telepresent, Automation in Construction, no. 33, 3-10.
16. Snavelly, N., Seitz, S., Szeliski, R., 2008. Modeling the World from Internet Photo Collections, International Journal of Computer Vision, vol. 80, no. 2, 189-210.
17. Furukawa, Y., Jean, P., 2010. Accurate, Dense, and Robust Multiview Stereopsis, IEEE Trans.

- Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 32, no. 8, 1362-1376.
18. Kazhdan, M., Bolitho, M., Hoppe, H., 2006. Poisson Surface Reconstruction, in Proceedings of the Fourth Eurographics Symposium on Geometry Processing, Cagliari.
 19. Fuhrmann, S., Goesele, M., 2014. Floating Scale Surface Reconstruction, ACM Trans. Graph., vol. 33, no. 4, 46:1-46:11.
 20. Agarwal, S., Furukawa, Y., Snavely, N., Simon, I., Curless, B., Seitz, S.M., Szeliski, R., 2011. Building Rome in a Day, Commun. ACM, vol. 54, no. 10, 105-112.
 21. Bulbul, A., Dahyot, R., 2017. Social Media Based 3D Visual Popularity, Computers & Graphics.
 22. Sinha, S.N., Steedly, D., Szeliski, R., Agrawala M., Pollefeys, M., 2008. Interactive 3D Architectural Modeling from Unordered Photo Collections, ACM Trans. Graph., vol. 27, no. 5, 159:1-159:10.
 23. Martin-Brualla, R., Gallup, D., Seitz, S.M., 2015. 3D Time-lapse Reconstruction from Internet Photos, in Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision.
 24. Zandbergen, P.A., 2009. Accuracy of iPhone Locations: A Comparison of Assisted GPS, WiFi and Cellular Positioning, Transactions in GIS, vol. 13, 5-25.
 25. Wu, C., 2013. Towards Linear-Time Incremental Structure from Motion, in Proceedings of the 2013 International Conference on 3D Vision.
 26. Lowe, D.G., 1999. Object Recognition from Local Scale-invariant Features, in the Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision.

Malahit Cevherinin Perklorik Asit Çözeltilerindeki Çözünürlüğünün İncelenmesi

Mehmet Kayra TANAYDIN¹, Nizamettin DEMİRKIRAN^{*2}

¹Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Tunceli

²İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Malatya

Geliş tarihi: 06.06.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Öz

Hidrometalurji sulu çözeltilerde kimyasal reaksiyonlar vasıtasıyla metal, metal tuzları ve bileşiklerinin üretimini kapsar. Oksitli bakır cevherlerindeki bakır, hidrometalurjik yöntemler yardımıyla kazanılabilir. Sözü edilen metodun ilk aşaması katı-sıvı kütle transferini içeren liç prosesidir. Bu proseste katı cevher uygun bir çözücü ile çözündürülür ve metal değerler çözelti ortamına transfer edilir. Mevcut çalışmada, oksitli bir bakır cevheri olan malahitin sulu perklorik asit çözeltilerindeki çözünürlüğü incelenmiştir. Malahit cevherindeki bakır, çinko ve demirin çözünme davranışı belirlenmiştir. Cevherdeki bakırın çözünürlüğü üzerine asit derişimi, reaksiyon sıcaklığı, ortalama katı tanecik boyutu, katı/sıvı oranı ve karıştırma hızının etkileri araştırılmıştır. Bütün deneysel parametrelerin bakırın çözünmesi üzerinde önemli bir etkiye sahip oldukları gözlenmiştir. Asit derişimi, reaksiyon sıcaklığı ve karıştırma hızının artmasıyla, katı/sıvı oranı ve katı tanecik boyutunun ise azalmasıyla cevherdeki bakır liçinin arttığı tespit edilmiştir. Cevherdeki demirin çözünürlüğünün asit derişiminden oldukça etkilendiği gözlenmiştir. Reaksiyon koşullarının kontrol edilmesiyle çözelti ortamına geçen bakır miktarının yüksek, demir miktarının ise düşük seviyelerde tutulabileceği belirlenmiştir. Liç prosesi ile ilgili kinetik analiz yapılmış ve reaksiyon hızının karışık kinetik kontrollü modele uyduğu belirlenmiştir. Liç prosesinin aktivasyon enerjisi 30,94 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Malahit, Bakır, Liç, Perklorik asit

Investigation of Dissolution of Malachite Ore in Perchloric Acid Solutions

Abstract

Hydrometallurgy contains the production of metal, metal salts, and their compounds by means of chemical reactions in aqueous solutions. Copper in the oxidized copper ores can be recovered by hydrometallurgical methods. First step of the mentioned method is the leaching process involving a solid to liquid mass transfer. In this process, solid ore is dissolved by an appropriate solvent, and metal values are transferred into solution medium. In the present study, it was examined dissolution of malachite, which is an oxidized copper ore, in aqueous perchloric acid solutions. The dissolution behavior of copper, zinc, and iron in the malachite ore was determined. The effects of acid concentration, reaction temperature, average particle size of solid, solid-to-liquid ratio, and stirring speed on dissolution of

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

copper in the ore were investigated. It was observed that all experimental parameters have a significant effect on the leaching of copper. It was determined that the leaching of copper in the ore increased with an increase in acid concentration, reaction temperature and stirring speed, and with a decrease solid-to-liquid ratio and in solid particle size. It was observed that the dissolution of iron in the ore was substantially affected from acid concentration. By controlling of the reaction conditions, it was found that the amount of copper passing to the solution medium can be high and the amount of iron can be kept at low levels. The kinetic analysis relating to the leaching process was made, and it was determined that the reaction rate followed the mixed kinetic controlled model. The activation energy of the leaching process was estimated to be 30.94 kJ/mol.

Keywords: Malachite, Copper, Leaching, Perchloric acid

1. GİRİŞ

Demir dışı metaller arasında bakır, çok eski zamanlardan beri kullanılmakta olup, elektrik ve ısı iletkenliğinin yüksek oluşu, korozyona ve aşınmaya karşı direnci, bazı kimyasal maddelerin üretiminde katalizör olarak kullanılabilmesi ve çeşitli metallerle oluşturduğu alaşımlarının üstün özelliklerinden dolayı birçok alanda yaygın olarak kullanılan değerli bir metaldir. Bakır yer kabuğunda az bulunan oldukça değerli bir element olup, doğada az miktarda metalik halde bulunmakla birlikte genellikle oksitli, karbonatlı, silikatlı ve sülfürlü cevherleri halinde bulunur. Tabiatta bulunan bakır cevherlerinden ancak 10-15 kadarı ekonomik önem taşımaktadır. Bu cevherlerden bakır üretimi, hammadde olarak kullanılan cevherin türüne bağlı olarak pirometalurjik veya hidrometalurjik yöntemlerle yapılabilmektedir. Pirometalurjik yöntemler genellikle sülfürlü bakır cevherlerinden bakır üretiminde uygulanmaktadır. Son yıllarda bakır, bakır alaşımları ve bileşiklerine olan talebin artması, yüksek tenörlü sülfürlü bakır cevherlerinin azalması ve çevre kirliliğine karşı duyarlılığın oluşması gibi sebeplerden ötürü düşük tenörlü oksitli/karbonatlı bakır cevherlerinin hidrometalurjik yöntemler uygulanarak değerlendirilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır [1-6].

Hidrometalurji, sulu çözeltilerde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar vasıtasıyla metal ve bileşiklerinin üretilmesi ile ilgili metotları kapsayan bir prosestir. Hidrometalurjide uygulanan işlemler katı yapıdaki cevherin

bünyesinde bulunan metal değerinin sulu çözelti ile reaksiyonu sonucu katı fazdan sıvı faza transfer olduğu liç işlemi, cevherin çözünmeyen kısmı ile çözeltinin ayrıldığı ayırma işlemi, metal değerleri içeren liç çözeltisinden istenmeyen metal iyonlarının uzaklaştırıldığı ayırma ve saflaştırma basamağı ve istenen metalin metalik halde veya bileşiği halinde elde edildiği kazanma basamaklarından oluşmaktadır. Gerek liç çözeltisinin saflaştırılması gerekse çözeltiden metal kazanılmasında çöktürme, iyon değişimi, solvent ekstraksiyonu, sıvı membran, sementasyon ve elektroliz gibi metotlar uygulanmaktadır [1,7,8]. Hidrometalurjik yöntemle bakır üretiminin ilk aşamasını cevherin sulu bir çözelti ile çözüldürüldüğü liç işlemi oluşturur. Liç işleminin verimi hidrometalurjik prosesin sonraki adımlarını da yakından etkilemektedir. Dolayısıyla oksitli bakır cevherlerinden bakır elde etmek amacıyla yapılan çalışmalarda liç prosesi daha çok incelenmiştir.

Malahit en bilinen oksitli bakır cevherlerinden birisi olup çeşitli çözeltilerdeki çözünürlüğü farklı araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Sulu sülfürik asit çözeltilerinde malahitin çözünürlüğü üzerine asit derişimi, reaksiyon sıcaklığı, katı/sıvı oranı, katı parçacık boyutu, karıştırma hız ve reaksiyon süresinin etkileri incelenmiş ve cevherdeki bakırın yüksek oranlarda çözüldüğü tespit edilmiştir. Derişim, sıcaklık, karıştırma hızı ve sürenin liç işlemi üzerinde daha etkili parametreler olduğu belirlenmiştir [9]. Başka bir çalışmada malahit cevherinin sülfürik asit çözeltilerinde çözünürlüğü için optimum koşullar Taguchi metodu uygulanarak belirlenmiştir [10].

Özellikle demir iyonlarını içermeyen daha temiz liç çözeltileri elde etmek amacıyla amonyak [11], amonyum karbonat [12], amonyum klorür [13,14], amonyum sülfat [15], amonyum nitrat [16] ve amonyum asetat [17] gibi zayıf baz ve zayıf asidik özelliğe sahip kimyasalların sulu çözeltileri de malahit cevherinden bakırın çözündürülmesi için çözücü olarak kullanılmıştır.

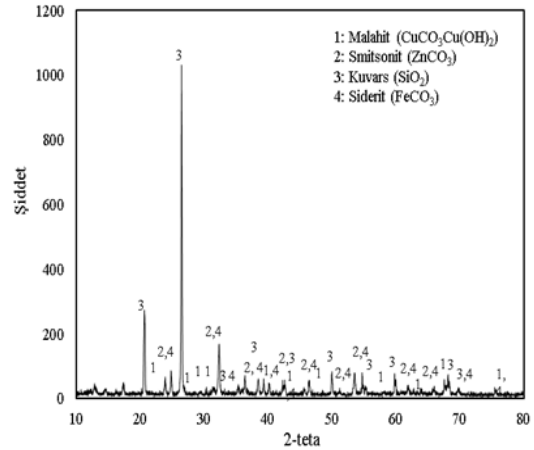
Teknolojik gelişme ile birlikte bakıra olan talebin artması yüksek tenörlü sülfürlü bakır cevherlerinin yanı sıra düşük miktarlarda bakır içeren oksitli cevherlerin de ham madde kaynağı olarak değerlendirilmesine yol açmıştır. Böylece, ülkemizin farklı bölgelerinde dağılmış halde bulunan oksitli bakır cevherlerinin hidrometalurjik metotlar yardımıyla değerlendirilerek ekonomiye kazandırılması ülke ekonomisi bakımından son derece önemlidir. Bu düşünceden hareketle, malahit cevherinden liç, solvent ekstraksiyonu ve elektroliz metotların uygulanmasıyla metalik bakır üretimini amaçladığımız çalışmamızın ilk bölümü bu makalede sunulmuştur. Malahit cevherinin sulu perklorik asit çözeltilerinde çözündürülmesi üzerine asit derişimi, reaksiyon sıcaklığı, katı parçacık boyutu, katı/sıvı oranı ve karıştırma hızının etkileri incelenmiş ve elde edilen deneysel bulgular tartışılmıştır

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan malahit cevher örneği Tunceli ili Ovacık ilçesinden temin edilmiştir. Cevher laboratuvarında kırılarak, değirmende öğütülmüş ve daha sonra farklı parçacık boyutları elde etmek için standart elekler kullanılarak 115, 137, 163, 214 ve 335 µm fraksiyonlarına ayrılmıştır. Malahit cevher örneğinin element analizi X-Işınlı Floresans Spektrometresi (XRF) ile yapılmış ve %50,41 SiO₂, %15,23 ZnO, %10,55 CuO, %8,43 Fe₂O₃ ve %1,17 diğer oksitler (Na, Ca, K, Mg, oksitler) olarak tespit edilmiştir. Örneğin kızdırma kaybı ise 800 °C'de %12,40 olarak belirlenmiştir. Cevher örneğinin yapısal analizi ise X-Işınlı Difraktometresi (XRD) ile yapılmış olup elde edilen sonuçlar sırasıyla

Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'de verilen XRD spektrumunda görüldüğü gibi cevherin esas olarak kuvars (SiO₂), malahit (CuCO₃.Cu(OH)₂), smitsonit (ZnCO₃) ve siderit (FeCO₃) minerallerinden ibaret olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 1. Cevherin XRD spektrumu

2.2. Metot

Liç reaksiyonları 1 L hacimli ceketli bir cam reaksiyon kabında yapılmıştır. Reaktör içeriğini karıştırmak için bir mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. Reaksiyon sırasında sıcaklığı sabit tutmak için bir sabit sıcaklık sirkülatörü kullanılmış ve özellikle yüksek sıcaklıklarda buharlaşmadan dolayı çözelti hacminin azalmasını engellemek için bir geri soğutucudan faydalanılmıştır. Her bir deneyde reaksiyon kabına derişimi bilinen 500 mL hacminde perklorik asit çözeltisi konulduktan sonra sabit sıcaklık sirkülatörü vasıtasıyla çözelti sıcaklığı çalışma sıcaklığına getirilmiştir. Çözelti sabit sıcaklığa ulaştıktan sonra belirli katı/sıvı oranına göre cevher örneği çözeltiye ilave edilmiş ve reaktör içeriği bilinen karıştırma hızında deney süresince karıştırılmıştır. Reaksiyonun ilerleyişi çözeltiye geçmiş olan bakır iyonlarının miktarı tespit edilerek izlenmiştir. Reaksiyon başladıktan sonra çeşitli zamanlarda reaktörden belirli hacimlerde örnekler alınarak cevherden çözeltiye geçmiş olan bakır miktarı kompleksometrik yöntemle tespit edilmiştir. Bakırın yanı sıra cevherin yapısındaki çinko ve demirin çözünme davranışını görmek için

yapılan deneylerde çözeltiliye geçmiş olan çinko ve demir miktarları da kompleksometrik titrasyonla belirlenmiştir. Katı fazdan çözeltiliye geçmiş olan metal miktarları çözünme kesri cinsinden Eşitlik 1'e göre hesaplanmıştır.

$$\text{Çözünme kesri (X)} = \frac{\text{Çözeltiliye geçmiş olan metal miktarı}}{\text{Başlangıçta cevherdeki metal miktarı}} \quad (1)$$

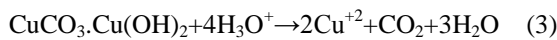
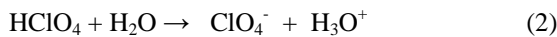
Çizelge 1. Deney parametreleri ve değerleri

Parametre	Değer				
Parçacık boyutu, µm	115	137	163	214	335
Katı/sıvı oranı, g/mL	1/500	2/500	3/500	4/500	5/500
Çözelti derişimi, mol/L	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
Karıştırma hızı, rpm	200	300	400	500	600
Reaksiyon sıcaklığı, °C	20	30	40	50	60

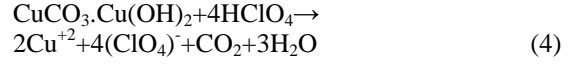
Liç deneylerinde çözelti derişimi, reaksiyon sıcaklığı, katı parçacık boyutu, katı/sıvı oranı ve karıştırma hızının malahit cevherinin çözünmesi üzerine olan etkileri incelenmiştir. Bu deney parametrelerinin değerleri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneyler de kullanılan cevherin bünyesinde esas olarak $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ (malahit), SiO_2 (kuvars), ZnCO_3 (smitsonit) ve FeCO_3 (siderit) bulunmaktadır. Liç reaktifi olarak kullanılan ve kuvvetli bir asit olan perklorik asit (HClO_4) suda çözüldüğünde tamamen iyonlaşır. Bazik karaktere sahip olan malahit cevheri sulu çözeltilideki H_3O^+ iyonu ile reaksiyon vererek çözünür ve cevherdeki bakır, çinko ve demir katı fazdan çözelti ortamına geçer. Cevherdeki malahit minerali ile perklorik asit arasındaki reaksiyon basitçe aşağıdaki gibi yazılabilir.

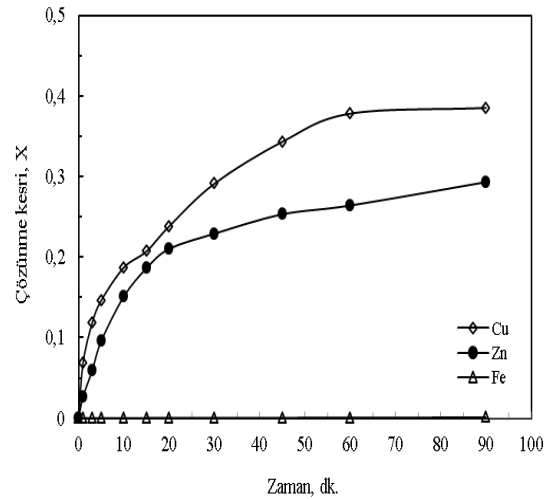


Toplam reaksiyon aşağıdaki gibi yazılabilir.

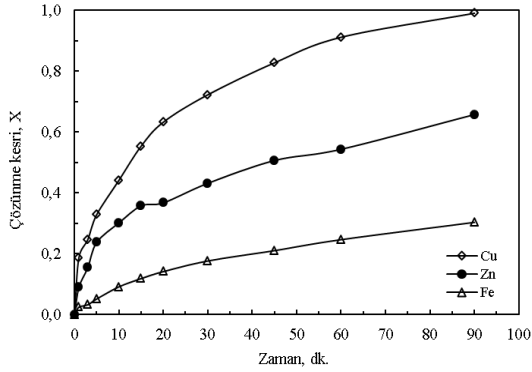


Esas liç deneyleri yapılmadan önce cevherin bünyesinde bulunan Cu, Fe ve Zn'nun perklorik asit çözeltilerinde çözünme davranışının nasıl olduğunu görmek için bazı ön denemeler yapılmıştır. Bu deneylerde karıştırma hızı, katı/sıvı oranı ve parçacık boyutu sırasıyla 400 rpm, 2/500 g/mL, 214 µm değerlerinde sabit tutulmuş, perklorik asit derişimi ve reaksiyon sıcaklığı ise farklı değerlerde alınmıştır. Elde edilen deneysel veriler Şekil 2'de gösterilmiştir.

Birinci grup deneylerde, sıcaklık 20 °C'de sabit iken asit derişimi 0,01 mol/L'den 0,05 mol/L'ye artırıldığında bakır, çinko ve demirin çözünürlüğünde artış olduğu Şekil 2 ve 3'den gözlenmektedir. Asit derişimi 0,01 mol/L'den 0,05 mol/L'ye artırıldığında 90 dakikalık liç süresinde bakır çözünürlüğü %38,5'den %99'a, çinko çözünürlüğü ise %29,3'den %65,7'ye artmıştır. Aynı deney süresi için demir çözünürlüğü 0,01 mol/L asit derişiminde %0,1, 0,05 mol/L asit derişiminde %30,3 olarak gerçekleşmiştir.

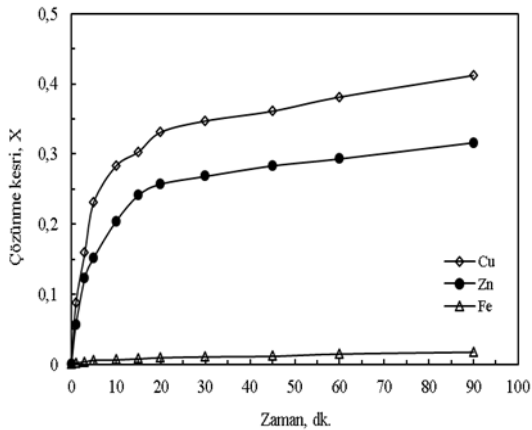


Şekil 2. Malahit cevherindeki Cu, Zn ve Fe'in 20 °C sıcaklık ve 0,01 mol/L perklorik asit çözeltisinde çözünme kesri değerlerinin zamana karşı grafiği



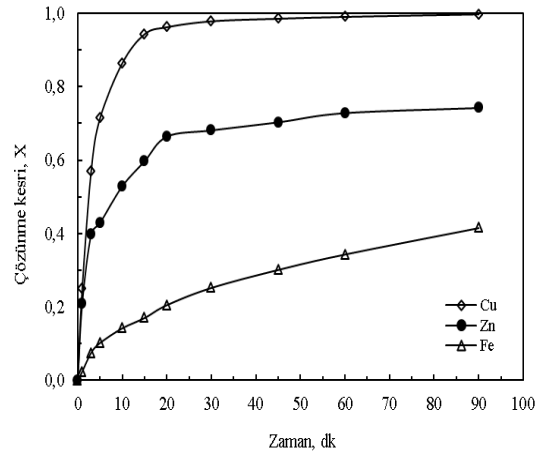
Şekil 3. Malahit cevherindeki Cu, Zn ve Fe'nin 20 °C sıcaklık ve 0,05 mol/L perklorik asit çözeltisinde çözünme kesri değerlerinin zamana karşı grafiği

İkinci grup deneylerde, sıcaklık 60 °C'de sabit tutularak derişim 0,01 mol/L'den 0,05 mol/L'ye arttırılmıştır. Şekil 4 ve 5'den görüleceği gibi, sıcaklık 60 °C'de sabit iken asit derişimin arttırılması bakır ve çinkonun çözünürlüğünde artışa sebep olmuş fakat demir çözünürlüğündeki artış daha yüksek oranda gerçekleşmiştir. Asit derişimi 0,01 mol/L iken 90 dakikalık liç süresinde bakır %41,2, çinko %31,6 ve demir %1,8 düzeyinde çözünmüştür. Derişim 0,05 mol/L'ye arttırıldığında aynı liç süresi için bakır, çinko ve demir çözünürlüğü sırasıyla %99,7, %74,2 ve %41,5 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4. Malahit cevherindeki Cu, Zn ve Fe'nin 60 °C sıcaklık ve 0,01 mol/L perklorik asit çözeltisinde çözünme kesri değerlerinin zamana karşı grafiği

Bu sonuçlardan görüleceği gibi reaksiyon sıcaklığı sabit iken çözücü derişiminin arttırılması malahit cevherindeki bakır, çinko ve demir çözünürlüğü üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Asit derişiminin arttırılması bakır ve çinkoya nazaran özellikle demir çözünmesi üzerinde çok daha fazla bir etki göstermektedir. Esasen bu durum liç işlemleri için olumlu olabilir. Zira asit derişiminin düşük tutulmasıyla 90 dakikadan biraz daha uzun reaksiyon sürelerinde cevherdeki bakır ve çinkonun tamamen çözünmesi temin edilebileceği gibi demirin ise ihmal edilebilecek düzeyde çözünmesi sağlanabilir. Bu ise liç çözeltilerinden bakır ve çinko kazanılmasında önemli bir avantaj sağlayabilir. Bu bulgu ile çalışmada kullanılan malahit cevherinden seçici liç gerçekleştirilerek bakır ve çinko kazanılabileceği söylenebilir.



Şekil 5. Malahit cevherindeki Cu, Zn ve Fe'nin 60 °C sıcaklık ve 0,05 mol/L perklorik asit çözeltisinde çözünme kesri değerlerinin zamana karşı grafiği

Yukarıda verilen iki grup deney derişim sabit iken sıcaklığın arttırılması durumu için değerlendirilecek olursa benzer yorumlar aşağıdaki gibi yapılabilir. Derişim 0,01 mol/L değerinde sabit iken sıcaklık 20 °C'den 60 °C'ye arttırıldığında bakır çözünürlüğünün %38,5'den %41,2'ye bir miktar arttığı, çinko çözünürlüğünün %29,3'den %31,6'ya çok az bir artış gösterdiği ve demir çözünürlüğünün ise %0,1'den %1,8'e arttığı tespit edilmiştir. Benzer değerlendirme 0,05 mol/L sabit derişimde sıcaklığın 20 °C'den

60 °C'ye artırıldığı deneyler içinde yapılabilir. Bu deneylerde 90 dakikalık deney süresi sonunda bakır çözünürlüğünde %99'dan %99,7'ye çok az bir artış gözlenmiş olmakla birlikte hemen hemen aynı olduğu söylenebilir. Çinko çözünürlüğü ise %65,7'den %74,2'ye yükselmiştir. Burada demir çözünürlüğü %30,3'den %41,5 değerine artış göstermiştir.

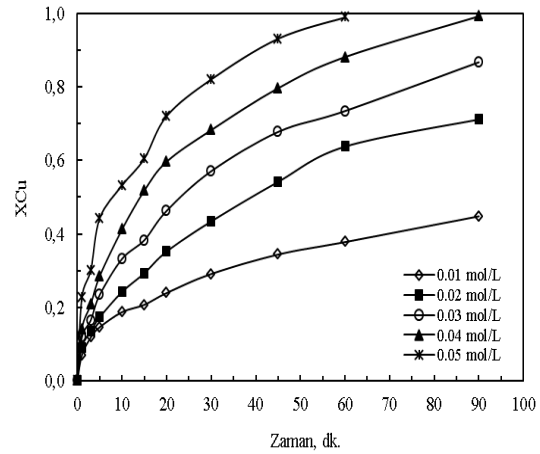
Derişim sabit iken sıcaklığın artırılması ile ilgili deneylerin sonuçlarından görüleceği gibi, sıcaklığın artırılmasının liç verimi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı söylenebilir. Her ne kadar reaksiyon sıcaklığının artmasıyla bakır, çinko ve demir çözünürlüğü artmış olsa bile, bu artış asit derişiminin etkisinin yanında daha düşük seviyede kalmaktadır. Bu durum liç çalışmasında önemli bir avantaj sağlayabilir. Çözünmenin sıcaklıktan fazla etkilenmemesi ile liç işlemleri düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilebilir ve proste daha az enerji harcanması sağlanabilir.

Böylece deney koşullarının kontrol edilmesiyle malahit cevherindeki bakırın tamamen çinkonun kısmen çözümlenebileceği ve demirin ise hemen hemen hiç çözünmeden cevherde kalmasının sağlanabileceği söylenebilir. Cevherdeki demirin düşük seviyelerde çözünmesi, liç işleminden sonra elde edilen çözeltilerin saflaştırılması için uygulanacak işlem basamaklarının sayısının azalmasını sağlayabilir. Ayrıca demir içermeyen bir çözeltiden bakır ve/veya çinko bileşiklerinin yüksek saflıkta kazanılması sağlanabileceği gibi, elektrolitik bir işlem uygulanacağı zaman akım veriminin de bundan olumlu etkilenmesi söz konusu olabilir. Her ne kadar düşük asit derişimlerinde çalışıldığında demirin çözünürlüğü çok düşük seviyelerde tutulabilse de, malahit cevheri bazik bir cevher olduğundan liç işlemi esnasında aşırı asit tüketimine sebep olabileceğinden bakır için yeterli çözünme değerlerine ulaşamayabilir. Ayrıca düşük asit derişimlerinde liç hızı asit harcanmasından dolayı yavaşlayabilir ve yüksek bakır dönüşüm değerlerine ulaşmak için liç işlemi daha uzun sürelerde yapmak gerekebilir. Bu gibi sakıncaların önüne geçmek için deney parametrelerinin malahitin çözünmesi üzerine etkisinin incelendiği deneylerde 0,01 mol/L asit derişiminden daha

yüksek değerlerde çalışılmışken, sıcaklığın çözünme üzerinde çok fazla bir etkisinin olmaması sebebiyle düşük sıcaklık değerlerinde liç işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Malahit cevherinin perklorik asit çözeltilerinde çözümlenmesinde deney parametrelerinin çözünme verimi üzerine olan etkileri incelenirken sadece bakırın çözünürlüğü izlenmiştir.

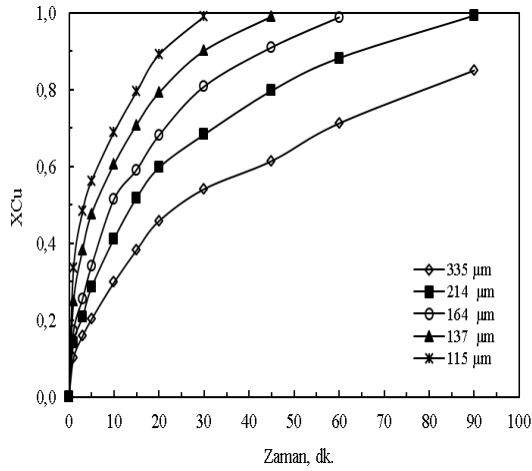
Malahit cevherinden bakır liç üzerine perklorik asit derişiminin etkisi 0,01-0,05 mol/L aralığında farklı asit derişimi değerlerinde incelenmiştir. Deneylerde diğer parametreler olan reaksiyon sıcaklığı, karıştırma hızı, katı/sıvı oranı ve katı tanecik boyutu ise sırasıyla 20 °C, 400 rpm, 2/500 g/mL ve 214 µm değerlerinde sabit tutulmuştur. Derişim etkisinin araştırıldığı deneylerden elde edilen veriler Şekil 6'da grafiğe geçirilmiştir. Söz konusu şekilden görüleceği gibi, perklorik asit derişiminin artması ile katı fazdan sıvı faza geçen bakır miktarı artmaktadır.



Şekil 6. Malahit cevherinden bakırın çözünmesi üzerine perklorik asit derişiminin etkisi

Reaksiyon hızı reaktanların derişiminin bir fonksiyonu olduğundan perklorik asit derişiminin artması ile malahitin çözünme hızı artmaktadır. Malahit cevheri bazik karaktere sahip olduğundan çözücü olarak kullanılan asidin harcanmasına sebep olur. Bu sebeple düşük asit derişimlerinde uzun sürelerde dahi yeterli çözünme değerlerine ulaşamayabilir. Bununla birlikte asit derişiminin

artmasıyla daha önce verilen Şekil 3 ve 5'den görüleceği gibi liç esnasında çözeltiye geçen demir miktarı artmaktadır. Bu durum liç çözeltisinin kirlenmesine sebep olur ve çözeltinin saflaştırılması için ilave işlemlerin yapılmasını gerektireceğinden proses ekonomisini olumsuz yönde etkileyebilir. Ayrıca çözeltiden elektroliz yoluyla bakır kazanılmasında aşırı enerji tüketimine sebep olabilir. Çözünen demir miktarını düşük tutmak buna karşılık bakır miktarını ise yüksek tutmak ve liç esnasında asit harcanmasının liç hızı üzerine etkisini en aza indirmek düşüncesiyle diğer parametrelerin etkileri incelenirken asit derişimi 0,04 mol/L olarak alınmıştır.

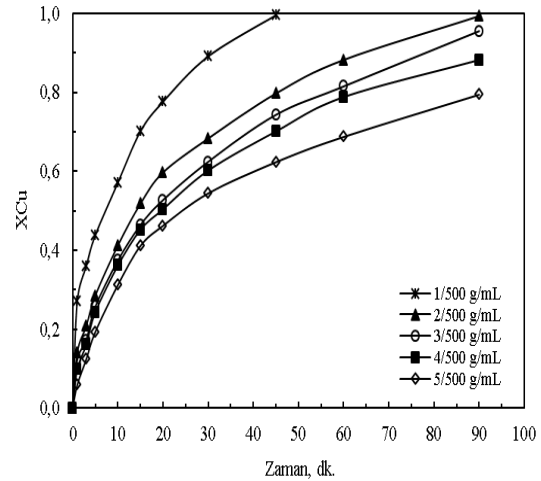


Şekil 7. Malahit cevherinden bakırın çözünmesi üzerine katı tanecik boyutunun etkisi

Malahit cevherinden bakırın çözünmesi üzerine ortalama katı parçacık boyutunun etkisi 335, 214, 164, 137 ve 115 µm değerlerine sahip cevher örnekleri kullanılarak incelenmiştir. Bu parametrenin çözünme üzerine olan etkisi çalışılırken asit çözeltisi derişimi 0,04 mol/L, karıştırma hızı 400 rpm, reaksiyon sıcaklığı 20 °C ve katı/sıvı oranı ise 2/500 g/mL değerlerinde sabit tutulmuştur. Deneylerden elde edilen çözünme kesri değerleri Şekil 7'de zamana karşı grafiğe geçirilmiştir. Şekil 7'den görüleceği üzere ortalama katı parçacık boyutunun küçülmesi ile bakırın çözünme kesri değerinin arttığı gözlenmektedir. Katı parçacıkların ortalama boyutu küçüldükçe taneciklerin toplam yüzey alanı

ve dolayısıyla katı ile sıvı reaktanlar arasında temas yüzeyi büyüyeceğinden çözünme hızı artmış olur.

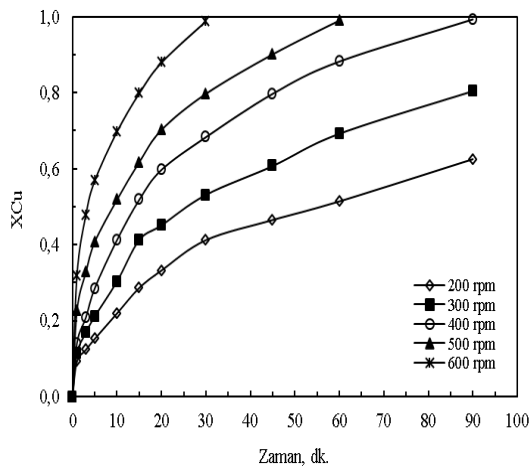
Malahit cevherinden bakırın çözünmesi üzerine katı/sıvı oranının etkisi 1/500-5/500 g/mL aralığında incelenmiştir. Bu deneylerde çözelti derişimi, reaksiyon sıcaklığı, karıştırma hızı ve parçacık boyutu sırasıyla 0,04 mol/L, 20 °C, 400 rpm ve 214 µm değerlerinde sabit tutulmuştur. Elde edilen deneysel bulgular Şekil 8'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil 8'den görüldüğü üzere katı/sıvı oranının azalmasıyla bakırın çözünme kesri artmaktadır. Katı/sıvı oranının azalmasıyla çözünmenin birim hacmi başına düşen tanecik miktarı azalacağından ve katı ile akışkanın teması iyileşeceğinden dolayı çözünme hızının artması beklenen bir sonuçtur. Ancak endüstriyel uygulamalarda mümkün olduğu kadar yüksek katı/sıvı oranlarında çalışılması istenir. Şekil 8'den görüleceği gibi, katı/sıvı oranının incelendiği deneysel şartlarda 90 dakika'lık liç süresi sonunda 2/500 g/mL için %99,3 çözünme değerine ulaşılmışken 5/500 g/mL için bu değer %79,4 olarak gerçekleşmiştir. Böylece yüksek katı/sıvı oranları içinde kısa sürelerde makul bir liç verimine ulaşıldığı söylenebilir.



Şekil 8. Malahit cevherinden bakırın çözünmesi üzerine katı/sıvı oranının etkisi

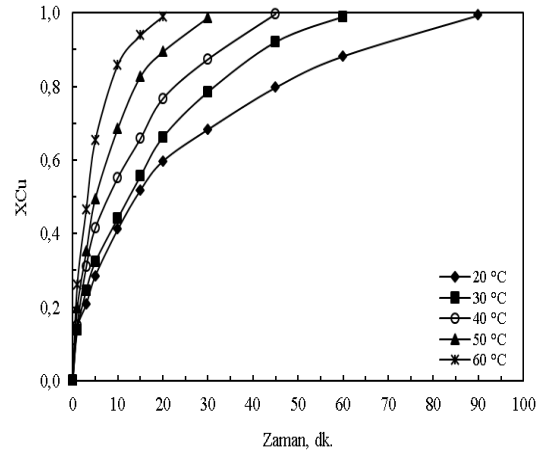
Malahit cevherinden bakırın çözünmesi üzerine karıştırma hızının etkisi 200-600 rpm aralığında

farklı karıştırma hızları uygulanarak incelenmiştir. Deneylerde perklorik asit derişimi 0,04 mol/L, katı/sıvı oranı 2/500 g/mL, reaksiyon sıcaklığı 20 °C ve tanecik boyutu ise 214 µm değerlerinde sabit tutulmuştur. Bu deneylerden elde edilen veriler Şekil 9'da grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil 9'dan gözlemediği gibi, reaktör içeriğinin karıştırılma hızı arttıkça malahitin çözünmesiyle çözelti ortamına geçen bakır miktarında da önemli oranda artış olmuştur. 200 rpm karıştırma hızında 90 dakika'lık liç süresinde cevherdeki bakırın ancak %62,5'i çözünerek çözeltiye geçmişken, 600 rpm karıştırma hızında sadece 30 dakika'lık liç süresinde %98,8 çözünme değerine ulaşılmıştır. Bu sonuçlardan da görüleceği gibi mevcut deneysel koşullarda karıştırma hızının malahitin çözünmesi üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Reaktör içeriğinin karıştırılmasıyla, katı reaktan etrafındaki durgun akışkan filminin kalınlığı azaltılmak suretiyle katı yüzeyine doğru dış difüzyon direnci azaltılmış olacağından çözünme hızında bir artış söz konusu olacaktır. Ayrıca karıştırma hızının artırılması katı parçacıkların reaktör dibinde toplanmasını engellemiş olacak ve çözeltide asılı halde olmalarını sağlayacaktır. Bu durumda çözücü ile katı arasındaki temas iyileşeceğinden çözünme hızının artması söz konusu olacaktır. Mevcut çalışmada 400 rpm karıştırma hızında katı parçacıkların çözelti ortamında asılı halde oldukları gözlemlenmiştir



Şekil 9. Malahit cevherinden bakırın çözünmesi üzerine karıştırma hızının etkisi

Malahit cevherinden bakırın çözünmesi üzerine reaksiyon sıcaklığının etkisi 20-60 °C aralığında farklı sıcaklıklarda belirlenmiştir. Sıcaklık etkisi incelenirken perklorik asit çözeltisi derişimi 0,04 mol/L, karıştırma hızı 400 rpm, katı parçacık boyutu 214 µm ve katı/sıvı oranı 2/500 g/mL değerlerinde sabit tutulmuştur. Reaksiyon sıcaklığının etkisine ilişkin deney sonuçları Şekil 10'da gösterilmiştir. Zamana karşı bakırın çözünme kesri değerlerinin verildiği Şekil 10'dan görüleceği gibi reaksiyon sıcaklığının artmasıyla cevherden çözünerek çözeltiye geçen bakır miktarında artış olmaktadır. Sıcaklığın artmasıyla reaktan molekülleri daha hızlı hareket ederek birbirleriyle daha sık çarpışmalar ve bunun sonucunda moleküllerin reaksiyona girme olasılıkları artmış olur. Bir kimyasal reaksiyonun hızının sıcaklığa bağıllığı reaksiyonun hız sabiti ile belirtilir. Arrhenius teorisine göre reaksiyon hız sabiti sıcaklığa üstel olarak bağıdır ve bu bağıllıktan dolayı sıcaklıktaki küçük artışlar bile reaksiyon hızında önemli bir yükselmeye sebep olabilir.



Şekil 10. Malahit cevherinden bakırın çözünmesi üzerine reaksiyon sıcaklığının etkisi

Liç reaksiyonları heterojen reaksiyonlar olduğundan bu tip proseslerin kinetik analizi genellikle katalitik olmayan katı akışkan heterojen reaksiyon modelleri kullanılarak yapılmaktadır. Bu modeller arasında büzülen çekirdek modeli liç reaksiyonlarının kinetik analizi için başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir. Büzülen çekirdek

modeline göre bir liç reaksiyonunun hızı akışkan filminden difüzyon, kimyasal reaksiyon veya ürün tabakasından difüzyon basamaklarından biri veya birkaçı tarafından kontrol edilebilir. Bu modeller için integre edilmiş hız ifadeleri Eşitlik (5-7)'deki gibi yazılabilir [18,19].

$$x=k_1.t \quad (\text{akışkan filminden difüzyon}) \quad (5)$$

$$1-(1-x)^{1/3}=k_r.t \quad (\text{kimyasal reaksiyon}) \quad (6)$$

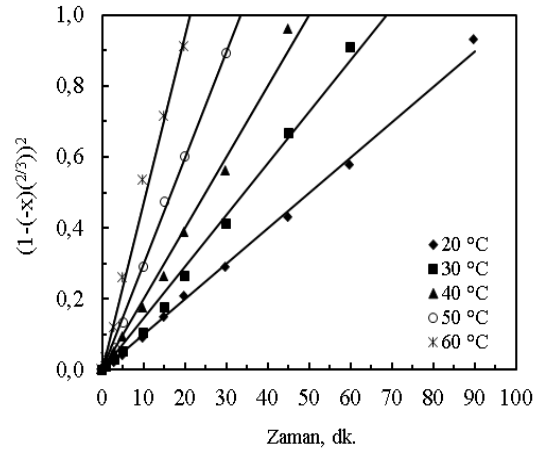
$$1-3(1-x)^{2/3}+2(1-x)=k_d.t \quad (\text{ürün tabakasından difüzyon}) \quad (7)$$

Bu eşitliklerde, x dönüşüm kesrini, k_1 akışkan filminden difüzyon için görünür hız sabitini, k_r yüzey kimyasal reaksiyonu için görünür hız sabitini, k_d ürün veya kül tabakasından difüzyon için görünür hız sabitini ve t reaksiyon süresini temsil etmektedir. Deneysel olarak bulunan dönüşüm kesri değerleri kullanılarak Eşitlik 5, 6 ve 7'nin sol taraflarının t zamanına karşı grafikleri çizildiğinde orijinden geçen düz doğrular hangi model için elde ediliyorsa reaksiyon hızını o basamak kontrol etmektedir. Bu çalışmada elde edilen deneysel verilere yukarıda sözü edilen modeller uygulandığı zaman orijinden geçen düz doğruların elde edilmediği görülmüştür. Literatürde, yukarıdaki modeller haricinde bu tür heterojen reaksiyonların kinetiğini açıklamak için karışık kinetik modeller de geliştirilmiştir [20]. Bu modeller deneysel verilere uygulandığı zaman perklorik asit çözeltilerinde malahitin liç kinetiğini ifade etmek için en uygun modelin integre edilmiş şekli Eşitlik 8'deki gibi yazılabilecek olan karışık kinetik modelin olduğu gözlenmiştir.

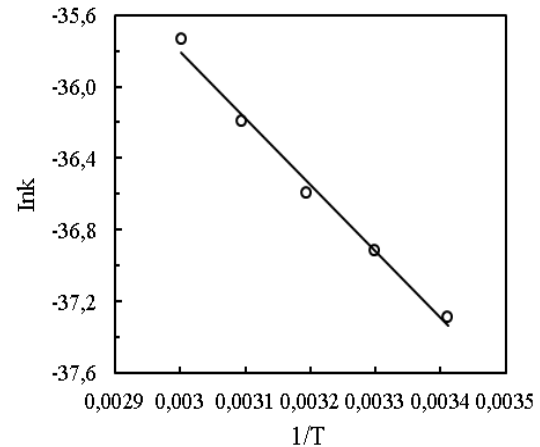
$$[1-(1-x)^{2/3}]^2=k.t \quad (\text{karışık kinetik model}) \quad (8)$$

Eşitlik 8'de x dönüşüm kesrini, k reaksiyonun görünür hız sabitini ve t reaksiyon süresini temsil etmektedir. Farklı reaksiyon sıcaklıkları için Eşitlik 8'in sol tarafının t 'ye karşı grafiğe geçirilmesiyle elde edilen durum Şekil 11'de gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi orijinden geçen yüksek korelasyon katsayılı düz doğrular elde edilmiştir. Liç prosesinin aktivasyon

enerjisini hesaplamak için Şekil 11'de görülen düz doğruların eğimlerinden görünür hız sabitleri (k) belirlenmiş ve Şekil 12'de verilmiş olan Arrhenius grafiği oluşturulmuştur. Şekil 12'deki doğrunun eğiminden liç prosesi için aktivasyon enerjisi 30,94 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Bu aktivasyon enerjisinin değerinden liç prosesinin difüzyon kontrollü olduğu ifade edilebilir.



Şekil 11. Farklı sıcaklıklar için reaksiyon süresine karşı $[1-(1-x)^{2/3}]^2$ grafiği



Şekil 12. Liç prosesi için Arrhenius grafiği

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, malahit cevherinin perklorik asit çözeltilerindeki çözünürlüğü incelenmiş ve cevherindeki bakır, çinko ve demirin çözünme

davranışı belirlenmiştir. Cevherin liç işlemi üzerine asit derişimi, reaksiyon sıcaklığı, ortalama katı tanecik boyutu, katı/sıvı oranı ve karıştırma hızının etkileri, cevherdeki bakırın çözünürlüğü izlenerek tespit edilmiştir. İncelenen bütün deneysel parametrelerin bakırın çözünmesi üzerinde önemli bir etkiye sahip oldukları gözlenmiştir. Asit derişimi, reaksiyon sıcaklığı ve karıştırma hızının artmasıyla, katı/sıvı oranı ve katı tanecik boyutunun ise azalmasıyla cevherdeki bakırın çözünürlüğünün arttığı tespit edilmiştir. Cevherdeki demirin çözünürlüğünün asit derişiminden oldukça etkilendiği gözlenmiştir. Reaksiyon koşullarının kontrol edilmesiyle çözelti ortamına geçen bakır miktarının yüksek, demir miktarının ise düşük seviyelerde tutulabileceği belirlenmiştir. Liç prosesinin kinetik analizi sonucunda reaksiyon hızının karışık kinetik modelle ifade edilebileceği belirlenmiştir. Proses için aktivasyon enerjisi 30,94 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bulgulara göre perklorik asit çözeltilerinin malahit cevherinden bakırı seçici bir şekilde çözmek amacıyla kullanılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Venkatachalam, S., 1998. Hydrometallurgy, Narosa Publishing House, India.
2. Han, K.N., 2002. Fundamentals of Aqueous Metallurgy, SME Inc., USA.
3. Naguman, P.N., 2008. The Chemistry and Kinetics of Oxidized Copper Sulfiding by Sodium Thiosulfate, *Russ. J. Non-Fer. Met.*, 49, 433-437.
4. Tsogtkhankhai, D., Mamyachenkov, S.V., Anisimova, O.S., Naboichenko, S.S., 2011. Thermodynamics of Reactions During Nitric Acid Leaching of Minerals of a Copper Concentrate, *Russ. J. Non-Fer. Met.*, 52, 135-139.
5. Cui, J., Zhang, L., 2008. Metallurgical Recovery of Metals from Electronic Waste: A Review, *J. Hazard. Mater.*, 158, 228-256.
6. Song, S., Rao, F., Zhang, X., 2011. Effect of Morphology on Sulphuric Acid Leaching of Malachite Ores, *Miner. Process. Extractive Metall.*, 120, 85-89.
7. Gupta, C.K., Murkherjee, T.K., 1990. *Hydrometallurgy in Extraction Processes*, CRC Press, USA.
8. Rosenqvist, T., 2004. *Principles of Extractive Metallurgy*, Tapir Academic Press, USA.
9. Bingöl D., Canbazoğlu, M., 2004. Dissolution Kinetics of Malachite in Sulphuric Acid, *Hydrometallurgy*, 72, 159-165.
10. Ata, O.N., Çolak S., Çopur M., 2001. Determination of the Optimum Conditions for Leaching of Malachite Ore in H₂SO₄ Solutions, *Chem. Eng. Technol.*, 24, 409-413.
11. Künkül, A., Kocakerim, M.M., Yapıcı, S., Demirbağ, A., 1994. Leaching Kinetics of Malachite in Ammonia Solutions, *Int. J. Miner. Process.*, 41, 167-182.
12. Oudenne, P.D., Olson, F.A., 1983. Leaching Kinetics of Malachite in Ammonium Carbonate Solutions, *Metall. Trans. B.*, 14B, 33-40.
13. Ekmekyapar, A., Oya, R., Künkül, A., 2003. Dissolution Kinetics of an Oxidized Copper Ore in Ammonium Chloride Solution, *Chem. Biochem. Eng. Q.*, 17, 261-266.
14. Lui, W., Tang, M.T., Tang, C.B., He, J., Yong, S.H., Yang, J.G., 2010. Dissolution Kinetics of Low Grade Complex Copper Ore in Ammonia-Ammonium Chloride Solution, *Trans. Nonfer. Met. Soc. China*, 20, 910-917.
15. Liu, Z.X., Yin, Z.L., Hu, H.P., Chen, Q.Y., 2012. Leaching Kinetics of Low-Grade Copper Ore with High-Alkalinity Gangues in Ammonia-Ammonium Sulphate Solution, *J. Cent. South. Univ.*, 19, 77-84.
16. Ekmekyapar, A., Aktaş, E., Künkül, A., Demirkıran, N., 2012. Investigation of Leaching Kinetics of Copper from Malachite Ore in Ammonium Nitrate Solutions, *Metall. Mater. Trans. B.*, 43B, 764-772.
17. Künkül, A., Gülezgin, A., Demirkıran, N., 2013. Investigation of the Use of Ammonium Acetate as an Alternative Lixiviant in the Leaching of Malachite Ore, *Chem. Ind. Chem. Eng. Q.*, 19, 25-35.
18. Wen, C.Y., 1968. Noncatalytic Heterogeneous Solid-Fluid Reaction Models, *Ind. Eng. Chem.*, 60, 34-54.
19. Levenspiel, O., 1972. *Chemical Reaction Engineering*, John Wiley, New York.

- 20.** Dickinson, C.F., Heal, G.R., 1999. Solid-liquid Diffusion Controlled Rate Equation, *Thermochim. Acta*, 340-341, 89-103.

Horzum Yaylasındaki Pb-Zn Madeninin Atıkları ve Drenaj Sularındaki Arsenik ve Ağır Metallerin İncelenmesi

Mesut BAŞIBÜYÜK¹, Başak Deniz ERGÜN*¹

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

Geliş tarihi: 08.06.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Öz

Maden atıkları ve drenaj suları, ağır metal ve arsenik içerikleri dolayısıyla çevre ve halk sağlığı açısından tehlike arz etmektedir. Maden drenaj sularının nehirlerle ulaşması ile yüzey sularında taşınabileceği gibi, sızma ve süzülme ile yeraltı sularına da karışabilir. Adana'nın Kozan ilçesine bağlı Horzum Yaylası'nda mevcut bulunan işletimi durmuş bir Pb-Zn madeni civarında yapılan analizlerde yüksek miktarlarda ağır metal iyonuna rastlanmıştır. Maden atıklarına kireç eklenmesi, ağır metallerin ve özellikle de arseniğin alıcı ortamlara karışmasını engelleyici bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Analiz sonucunda tespit edilen konsantrasyonlar, jeokimyasal olarak mevcut koşullarda bir değişikliğin oluşmaya başladığını dolayısıyla sudaki ağır metal ve arsenik iyonu konsantrasyonlarının artabileceğine yönelik işaretler vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal ekstraksiyonu, Toprak kirliliği, Kohezyon suyu, Terkedilmiş maden ocağı

Investigation of Arsenic and Heavy Metals in Mine Wastes and Drainage Waters at a Pb-Zn Mine at Horzum Plateau

Abstract

In this Mining is one of the most developed sectors in Turkish industry. Mining wastes and drainage waters are a big concern in terms of environment and public health due to their heavy metals and arsenic content. Mine drainage waters can be transported to surface waters by rivers as well as to groundwater by infiltration and percolation. Mine waste samples and drainage water samples are collected at a currently non-operating Pb-Zn mine at Horzum Plateau in Kozan, Adana. Analysis resulted high concentrations of heavy metal in the vicinity of mining area. Lime addition have been used as a preventative method for metals and arsenic dissolution from the mine wastes at the mine. However, the concentrations determined suggests some sort of geochemical change in the present conditions of the mine wastes and drainage waters which could result in higher metals and arsenic concentrations in receiving waters.

Keywords: Heavy metal extraction, Soil contamination, Pore water, Abandoned mine site

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mesut BAŞIBÜYÜK, basibuyuk@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Türkiye madenler bakımından zengin bir ülkedir, yataklarında pek çok mühim cevheri bulundurmaktadır. Ülkemizde madencilik, sanayinin gelişmiş kollarından birisidir. Madencilikle uğraşan kuruluşların ülke ekonomisine ve bölge insanlarına başlıca iki önemli etkisi bulunmaktadır. Olumlu etkileri arasında, bölgede istihdam yaratması, işsizliği azaltması ve sanayi dallarını geliştirmesi gibi etkiler sayılabilirken; olumsuz etkileri arasında, yer altı ve yer üstü maden işletmelerinin arazi yapısını bozduğu, ekolojik dengeye zarar verdiği (kontrolsüz maden atıkları dolayısıyla tarım alanlarına, akarsulara ve canlılara geri dönüşü olmayan zararlar vermektedir) ve turistik bölgelerde doğal ve tarihi yapıyı bozduğu söylenebilmektedir.

Madenler, arkalarında bozunmuş bir arazi, kirlenmiş su ve zarar görmüş komüniteler bırakan yapılardır. Madencilikte altın, gümüş ve bakır gibi metallerin çıkarımı, çevreyi inanılmaz bir şekilde etkilemektedir; yüzey ve yeraltı suları, sucul yaşam, vejetasyon, toprak, hava, vahşi yaşam ve insan sağlığı üzerine etkileri bulunmaktadır. Maden faaliyetleri çevreye, cevher çıkarma işlemleri sırasında öğütücüler ve kırıcılar ile kaynaktan kimi zaman yüzlerce kilometre öteye kadar taşınabilen, ağır metal döküntüleri ve toksik bileşenler salmaktadırlar. Madenlerin çevreye uzun vadede pek çok etkisi bulunmaktadır. Madencilik faaliyetleri sonucu açığa çıkan ağır metaller taşınabilir özellikleri ile etrafa yayılmakta ve uzun yıllar boyunca doğada kalabilmektedir. Böylece madenler, ağır metal kirliliğine sebep olmaktadır. Maden şirketleri cevherden hedef minerali ayırmak için siyanür ya da sülfürik asit gibi kimyasalların kullanılmaktadırlar, bu tip kimyasallar da doğa ve vahşi yaşam için oldukça toksiktir. Bir çay kaşığı kadar %2'lik bir siyanür çözeltisi insanı öldürmeye yeterlidir. Kuş ve memeliler litrede miligram (ppm) konsantrasyonlarında ölümle sonuçlanırken, balık ve diğer sucul organizmalar litrede mikrogram seviyesindeki konsantrasyonlarda ölebilmektedirler. Madencilik endüstrisi her yıl 180.000 ton gibi büyük miktarlarda siyanür

kullanmaktadır ve sorumsuzca kullanımın sonucu olarak pek çok doğa felaketi görülebilmektedir

Madencilik, Türkiye'nin gelişmiş sanayi kollarından birisidir. Aynı zamanda çevre için en önemli ağır metal kaynağıdır. Madencilik faaliyetleriyle, çok geniş toprak alanları kirlenebilmektedir. Topraklardaki kirleticiler, üzerinde yetişen bitkilerin bünyelerine, civardaki yüzey sularına dolayısıyla ortamda yaşayan hayvanlara ve oradan da bu bitki ve hayvanların besin olarak tüketilmesiyle insana geçmektedir. Türkiye kurşun rezervi 140 milyon ton civarındadır. Türkiye'de ise toplamda 3.250.000 ton kurşun rezervi bulunmaktadır. Türkiye'de çinko metali rezervi 5471338 ton olup araştırma alanımız olan Horzum Bölgesi'ndeki madenin çinko-kurşun rezervi görünür 50 bin ton, muhtemel 100 bin ton ve toplam 250 bin tondur. Ortalama metal içeriği ise %15-40 Pb, %30 Zn'dir [1]. Yaklaşık 240 tanesi aktif, çok büyük bir kısmı on yıllardır kapalı şekilde olan çinko-kurşun madenleri dünya genelinde yaygın madenler arasındadır [2].

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Önceki çalışmalar, doğadaki ağır metal kirliliğinin genellikle maden ve metalurjik faaliyetlerden kaynaklandığını göstermektedir [3-8]. Ağır metaller çoğunlukla çevreye rüzgar ya da su yoluyla dağılmışlardır. Son zamanlardaki su kıtlığı, nehirlerde meydana gelen kuraklık ve su kirliliği nedeniyle büyük bir sorun haline gelmiştir. Ağır metaller uzun süreli maruz kalma merkezi ve periferik sinir sistemi ve dolaşımı etkileyen kanserojen olabilir. Yüksek ağır metal konsantrasyonları insanda olumsuz sağlık etkilerine sebep olabilir [9].

Kum, çakıl gibi gevşek sedimentlerden çıkarılan kohezyon sularında yüksek miktarlarda As konsantrasyonuna rastlanmıştır, Widerlund ve Ingri (1995) Kuzey İsveç'de Kalix Nehri'nde 1,3-166 µg/l aralığında As oranı rapor etmişlerdir [10]. Yan ve arkadaşları (2000) Kanada'daki Saskatchewan'daki kil sedimentlerinin kohezyon suyunda 3,2-99 µg/l aralığında As konsantrasyonu bulmuşlardır [11].

Maden etrafındaki toprak ve bitkilerdeki arsenik kirliliği üzerine yapılan çalışmalar mevcuttur.

Bech ve arkadaşları, 1997'de Kuzey Peru'daki bakır madeni çevresindeki bitki örtüsü ve toprağı arsenik ve ağır metal kirliliği yönünden araştırmışlardır. Bitki analizleri sonucunda numune alınan pek çok alanda, yapraklarda alışılmışın dışında yüksek miktarlarda Fe ve Al elementleri saptanmıştır. Maden civarındaki farklı alanlardan toplanan toprak örneklerindeki As, Cd, Zn, Cu, Pb, Mn konsantrasyonları en fazla sırasıyla 7670, 499, 772, 5270, 285, 965 mg/kg olmakla birlikte Fe ve Al konsantrasyonları %5,95 ile 9,14 olarak bulunmuşlardır [12].

Jung ve arkadaşları, Kore'de Au-Ag-Pb-Zn madeni olan Daduk Madeni ve çevresinin ağır metal kirliliğini araştırmışlardır. Toprak örneklerinde de yapmış oldukları ağır metal tayinleri sonucu, Cd, Cu, Pb, Zn kirlenmesi bulunmuş ve bunların konsantrasyonlarının sırasıyla 8,57; 481; 4450 ve 753 mg/kg olduğu tespit edilmiştir [13].

Rotkittikhun ve arkadaşlarının 2005 yılında Tayland Bo Ngam Madeni'nde yapmış oldukları çalışmada, toprak numuneleri, bitki çevresinden; yüzeyden 0-10 cm ve yüzey altı 10-40 cm olmak üzere toplanmış ve kurşun konsantrasyonları tayin edilmiştir. En yüksek Pb, yüzey toprakta 142400 ve yüzey altı toprakta 120850 mg/kg olmak üzere cevher zenginleştirme tesis alanında tespit edilmiştir. Maden civarında en düşük Pb konsantrasyonu ise yüzey toprak numunesinde 325, yüzey altı numunede 86 mg/kg doğal gölet alanında bulunmuştur [14].

Madzin ve ark, Malezya Selangorda, Betari Jaya bölgesinde terkedilmiş maden alanları civarında ağır metal üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırma sonucunda terkedilmiş maden bölgesindeki sulardan alınan örneklerdeki ağır metal miktarlarının, Sağlık Bakanlığı'nın hamsu için bildirmiş olduğu kalite standartlarının altında olduğunu tespit etmişlerdir. pH değişimi metal çözünürlüğünü etkilediğinden su ve sedimentlerdeki ağır metal miktarları arasında pH'a göre ters bir ilişki olduğunu bildirmişlerdir [9].

Fas, Zaida'da 1972 ila 1985 yılları arasında işletilmiş kurşun madeninde bölgedeki toprakların ağır metal kirlilikleri araştırılmıştır. Çizelge 1'de toprak numunelerinin ortalama ve maksimum ağır metal konsantrasyonları verilmiştir [15].

Çizelge 1. Toprak numunelerinin ağır metal konsantrasyonları (mg/kg)

	Cd	Co	Cr	Cu
Ortalama	0,99	5,42	47,35	15,31
Maksimum	3,00	20,40	777,20	77,2
	Ni	Zn	Pb	
Ortalama	13,12	48,50	94,49	
Maksimum	48,90	206,0	830,95	

Gutierrez ve arkadaşlarının 2016 yılında terkedilmiş Pb-Zn madeninde yaptıkları araştırmada, toprak ve sedimentlerdeki ağır metal konsantrasyonlarının çoğunlukla 1000 mg/kg Zn, 100 mg/kg Pb ve 10 mg/kg Cd sıralamasıyla olduğu ve mobilitelevlerinin ise Cd>Zn>Pb şeklinde olduğu raporlanmıştır [2].

Monterroso ve ekibi, İspanya'da Pb-Zn maden topraklarında ağır metal yayılımını araştırmışlardır. Maden topraklarının yüksek heterojenlikte olduğu ve ana olarak Cd, Hg, Pb ve Zn metal içerdiklerini bulmuşlardır. Toplam ağır metal konsantrasyonları ise 2-95 mg/kg Cd, 0,2-24,8 mg/kg Hg, 46-6100 mg/kg Pb ve 340-52000 mg/kg Zn olarak raporlanmıştır [16].

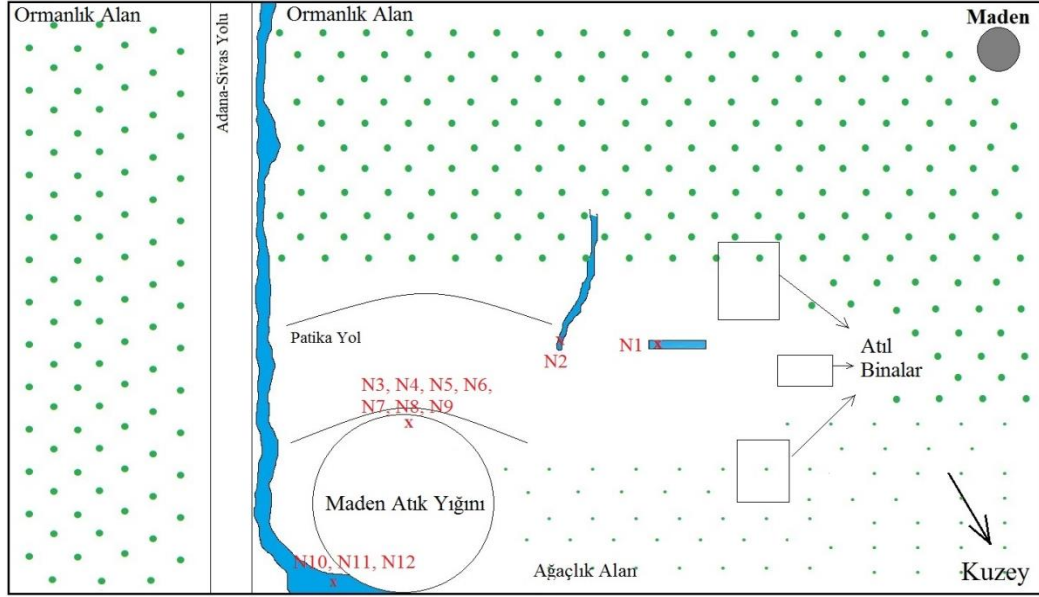
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Araştırma alanı olan işletimi durmuş çinko-kurşun madeni Horzum yaylasında yer alıp, Adana'nın Kozan ilçesine bağlıdır. 35°50'52.66" doğu boylamı ile 37°38'16.53" kuzey enlemi arasında yer almaktadır. Kozan, Adana şehir merkezine yaklaşık 70 km uzaklıkta bulunmaktadır. Maden atık kümeleri hem işletimde olduğu dönemde, hem

de her hangi bir zamanda ihtiyaç duyulduğunda kireç eklenerek nötralize edilmektedir. Bu uygulamayla ağır metallerin hidroksit formunda çöktürülmesi sağlanmakta ve böylece alıcı ortamlara ulaşması engellenmektedir.

Horzum Yaylası bölgesinde işletimi durmuş çinko-kurşun madeninden, Şekil 1’de gösterildiği gibi maden atık kümesinden ve drenaj suyundan seçilen noktalardan toprak, sediment ve su numuneleri toplanmıştır.



Şekil 1. Numune alım noktaları

Çizelge 2. Numune adlandırmaları

Kodu	Numune Uzun Tanımı
N1	Maden drenaj suyu
N2	Maden drenajı sediment numunesi/kohezyon suyu
N3	Maden drenaj atık kümesinden alınan Carex bitkisinin toprağı
N4	Maden drenaj atık kümesinin tepesinden alınan kırmızı toprak
N5	Toprak yığını
N6	Atık kümesinden alınan 1. bitki toprağı
N7	Maden drenaj atık kümesinden alınan ikinci bitki toprağı
N8	Kaya numunesi
N9	Atık kümesinin tepesindeki sert toprak
N10	Atık kümesinin drenaj kanalından alınan toprak
N11	Maden atık drenajının aktığı kanal sedimenti /kohezyon suyu
N12	Maden atık kümesi drenaj suyu

3.1. Metot

Tespit edilen noktalardan numuneler alınırken yüzeydeki taş, çakıl, bitki örtüsü v.s. temizlendikten sonra toprak numuneleri 0-15 cm derinlikten toplanmış [17] ve toprak numune kaplarına koyularak Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Kimya Laboratuvarına getirilmişlerdir. Sediment ve toprak numuneleri oda sıcaklığında kurutulmaya bırakılmış ve 2 mm (10 mesh) boyutlu elekten geçirilerek ekstraksiyona hazır hale getirilmişlerdir. Laboratuvara getirilen sıvı örnekler, saklama koşulları için uygun pH seviyelerine düşürülerek, +4 C°’de muhafaza edilmişlerdir. Kohezyon suyu numuneleri, sediment numunelerinin 5000 rpm devirde 5 dakikalık santrifüj işlemi sonrası elde edilmişlerdir.

Toprak ve sediment numunelerinin ICP-OES’deki ağır metal tayini için yapılan ön hazırlık işlemidir.

Bunun için BERGHOF marka MWS-2 model mikrodalga fırın kullanılmış ve parçalama işlemi EPA 3051A'ya göre yapılmıştır [18].

Mikrodalga haznelerine alınan yaklaşık 0,45 g toprak ve sediment numunelerinin her birinin üzerine EPA 3051A'ya uygun olarak 3 ml %30 HCl ve 9 ml %70 HNO₃ eklenerek mikrodalgaya yerleştirilmiş ve mikrodalgaya önceden yüklenmiş EPA 3051A'ya göre uygun basınç, sıcaklık, güç ve diğer parametre ayarlarının kayıtlı olduğu program (P2), teknik föy yardımıyla seçilmiştir [19]. Parçalama işlemlerinden çıkan çözelti ise Whatman GF/C filtre kağıdı ile filtre edilerek 100 ml'ye saf su ile tamamlanmış ve ICP-OES'de ağır metal analiz tarihine kadar 4 °C'de HDPL-plastik şişelerde saklanmışlardır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

US EPA Sediment Kalite Kılavuzu sedimentlerde arsenik, krom, bakır, nikel, kurşun ve çinko konsantrasyonları sırasıyla 8, 75, 50, 50, 60 ve 200 mg/kg'in üzerinde olan sınıfı "çok kirli" olarak tanımlamıştır [19]. Araştırma alanındaki sediment ve toprak numuneleri arsenik konsantrasyonu 30-3320 mg/kg arasında değişmekte olup alınan numunelerin ortalama arsenik konsantrasyonu 630 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Fas, Zaida'da 1972 ila 1985 yılları arasında işletilmiş kurşun madeninde bölgedeki toprakların ağır metal kirlilikleri araştırılmıştır. Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Zn ve Pb konsantrasyonları belirlenen araştırmada sırasıyla 0,99; 5,42; 47,35; 15,31; 13,12; 48,50; 94,49 mg/kg ortalama değerler bulunmuştur (Çizelge 1) [15].

Çizelge 3. Topraktaki ağır metal sınır değerleri [20].

Metal	Birim	pH 5-6 fırın kuru toprak	pH>6 fırın kuru toprak
Kadmiyum	mg/kg	1	3
Krom	mg/kg	100	100
Bakır	mg/kg	50	140
Kurşun	mg/kg	50	300
Civa	mg/kg	1	1,5
Çinko	mg/kg	150	300
Nikel	mg/kg	30	75

Çizelge 4. U.S. EPA sediment kalite kılavuzu (mg/kg kuru ağırlık) [19]

U.S. EPA Toksikite Sınıflandırması	Kirli Olmayan	Kısmen Kirilenmiş	Çok Kirli
Pb	<40	40-60	>60
As	<3	3-8	>8
Cd	-	-	>6
Cr	<25	25-75	>75
Cu	<25	25-50	>50
Ni	<20	20-50	>50
Zn	<90	90-120	>200

Maden atık kümesi ve maden çevresinden toplanan toprak ve sediment örneklerinin içeriğinde yer alan ağır metal konsantrasyonları Çizelge 5'de; maden ve maden atık kümesi drenaj suları ile sediment numunelerinin santrifüjlenmesi sonucu elde edilen kohezyon suyu ağır metal konsantrasyonları Çizelge 6'da verilmektedir.

Çizelge 5. Toprak ve sediment numunelerinin ağır metal konsantrasyonları

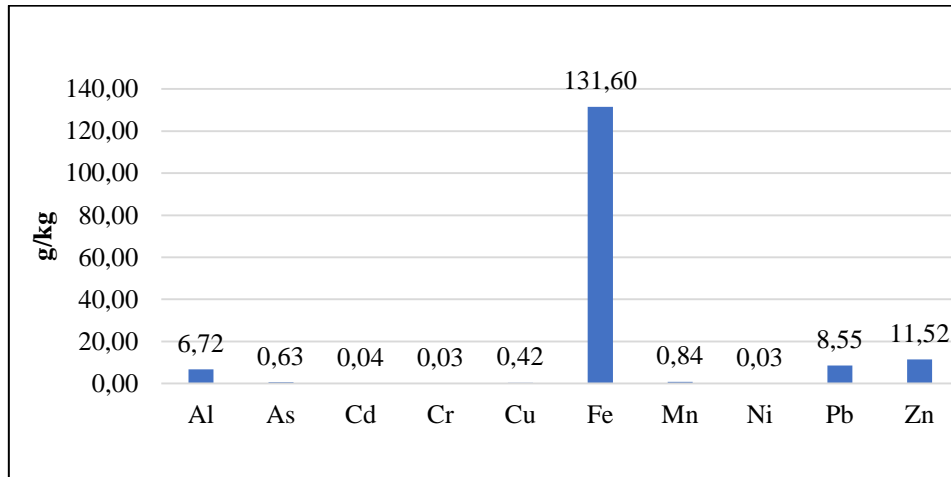
Numune (g/kg)	Al	As	Cd	Cr	Cu
N2	24,38	0,024	0,013	0,032	0,1
N3	18,5	0,03	0,008	0,024	0,095
N4	5,86	3,32	0,079	0,099	0,545
N5	0,1	0,17	0,005	0,007	0,108
N6	0,19	0,14	0,0014	0,021	0,09
N7	0,6	0,25	0,015	0,027	0,221
N8	3,233	1,524	0,193	0,042	2,6
N9	0,22	0,17	ND	0,027	0,091
N10	ND	0,24	ND	0,024	0,122
N11	7,39	0,45	0,01	0,034	0,205
Ortalama	6,72	0,63	0,04	0,03	0,42
Numune (g/kg)	Fe	Ni	Mn	Pb	Zn
N2	41,35	0,043	0,665	0,032	5,48
N3	31,15	0,03	0,641	0,34	3,73
N4	297,89	0,045	0,175	79,67	32,12
N5	52,43	ND*	1,97	0,36	2,91
N6	51,5	ND	1,443	1,15	2,18
N7	63,97	0,003	1,85	0,7	9,01
N8	309,33	ND*	0,8	0,313	45,04
N9	70,55	ND*	0,19	0,74	2,34
N10	277,02	ND	0,119	0,56	2,57
N11	120,76	0,01	0,562	1,63	9,84
Ortalama	131,60	0,03	0,84	8,55	11,52

*ND=Cihaz, ölçüm değerinin altında sonuçlar elde edilmiştir.

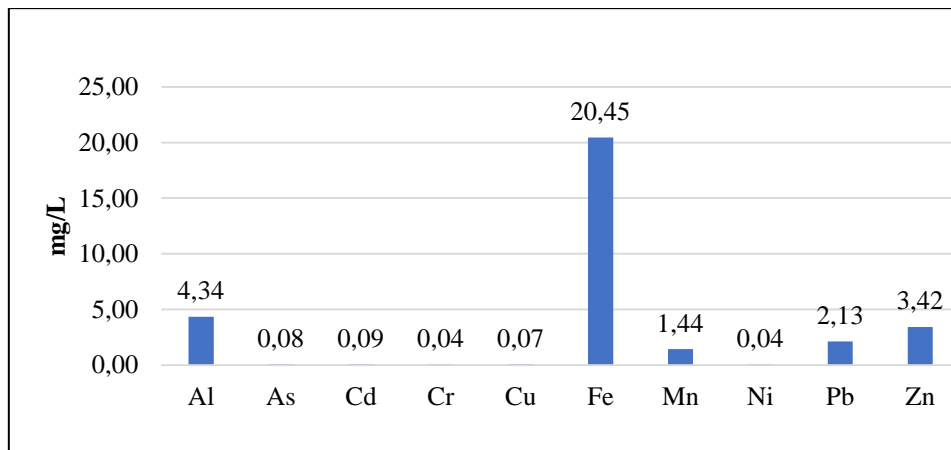
Çizelge 6. Su ve kohezyon suyu numuneleri ağır metal konsantrasyonları

Numune (mg/L)	Al	As	Cd	Cr	Cu
N1	ND	ND	0,006	0,009	ND
N2	7,05	ND	0,34	0,12	0,08
N11	1,62	0,075	0,011	0,019	0,061
N12	ND	ND	0,002	0,009	ND
Ortalama	4,34	0,08	0,09	0,04	0,07
Numune (mg/L)	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
N1	0,07	0,01	ND	ND	1,75
N2	2,73	1,01	0,08	3,43	7,2
N11	71,87	2,71	0,008	0,83	3,54
N12	7,12	2,023	ND	ND	1,18
Ortalama	20,45	1,44	0,04	2,13	3,42

*ND=Cihaz, ölçüm değerinin altında sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 2. Toprak ve sediment numunelerinin ortalama metal içerikleri



Şekil 3. Su ve kohezyon suyu numunelerinin ortalama metal içerikleri

Çizelge 7. 1993 WHO, 1998 AB, 2005 TSE 266 Standartları karşılaştırılması

Metal	Birim	WHO	AB	TSE
Antimon	µg/L	5	5	5
Arsenik	µg/L	10	10	10
Benzen	µg/L	-	1	1
Bor	µg/L	0,3	1	1
Bromat	µg/L	-	10	10
Kadmiyum	µg/L	3	5	5
Krom	µg/L	50	50	50
Bakır	µg/L	2000	2000	2000
Siyanür	µg/L	70	50	50
Florür	µg/L	1,5	1,5	1,5
Kurşun	µg/L	10	10	10
Civa	µg/L	1	1	1
Nikel	µg/L	20	20	20
Nitrat	µg/L	50	50	50

Maden civarından toplanan toprak ve sediment numuneleri incelendiği zaman bazı numunelerde US EPA sediment kirlilik sınıflandırmasında ve Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilen topraktaki ağır metal sınır değerlerine göre yüksek konsantrasyonlarda, çinko (2.180- 45.040 mg/kg), bakır (90-2.600 mg/kg), kadmiyum (1,4-193 mg/kg), kurşun (32-79.670 mg/kg) mevcut olduğu belirlenmiştir.

Şekil 3 incelendiğinde ortamdan alınan su numunelerinde Fe, Zn, Pb ve Al içerikleri göze çarparken; kohezyon su numunelerinde özellikle Mn içeriği dikkat çekmektedir.

Araştırma bölgesinden alınan toprak ve sediment numunelerinin Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Mn, Pb ve Zn içerikleri sırasıyla 6,72; 0,63; 0,04; 0,03; 0,42; 131,6; 0,03; 0,84; 8,55 ve 11,52 g/kg'dır. Su ve kohezyon suyu numuneleri ağır metal konsantrasyonları ise sırasıyla 4,34; 0,08; 0,09; 0,04; 0,07; 20,45; 0,04; 1,44; 2,13 ve 3,42 mg/l'tir.

Söz konusu çalışma alanındaki maden drenaj atıkları yerleştirilirken ve yerleştirildikten sonra üzerlerine kireç eklenmesi ile ortam pHı nötral düzeylere yükseltilmekte dolayısıyla ağır metallerin ortamda çökelmiş veya adsorblanmış halde bulunması ve suya karışmaması sağlanmaktadır [21,22].

Alınan toprak ve sediment numunelerinde tespit edilen arsenik konsantrasyonları, maden atıklarında yüksek miktarda arsenik bulunduğunu zaten ortaya koymaktadır. Ancak atıklara kireç eklenmesi ile pH'ın nötral düzeyde tutulması ve dolayısıyla oluşan demir hidroksit ve mangan oksit (minerallerinin arseniği adsorplanmış halde bulunduracağı düşünüldüğünden, maden atık drenajı kohezyon suyunda ölçülen bu arsenik değeri ortamda farklı bir jeokimyasal aktivitenin gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Arseniğin suda çözünmesi ancak bu demir hidroksit ve/veya mangan oksitlerin çözünmesi ile gerçekleşebilir. Kohezyon suyu demir konsantrasyonlarına baktığımız zaman 71,87 mg/L görülmektedir. Bu değer yine maden atık kümesi drenaj suyundaki demir (7,12 mg/L) değerleri ile karşılaştırıldığında yaklaşık on katı bir değere sahiptir. Bu değerler, sediment kohezyon sularındaki demir (hidr)oksitlerin bir jeokimyasal değişiklik sonucu çözünüp suya karıştığını göstermektedir. Nitekim, maden atık kümesinde ölçülen demir konsantrasyonları da, bu elementlerin oksitlerinin çözünmekte olduğunu doğrulamaktadır. Maden atık kümesi drenaj kanalında yoğun miktarda yaprak ve bitki kalıntıları gözlemlenmiş ve bu kalıntıların çürümesi dolayısıyla sedimentlerdeki organik karbon miktarının yükseldiği ve bir indirgeyici ortam oluştuğu düşünülmektedir. Demir ve mangan oksitlerin bu koşullarda indirgenmesi ve çözünmesi dolayısıyla arseniğin de suya, kohezyon suyuna karışması muhtemeldir.

Adana'nın Horzum Yaylası civarında bulunan işletimi durmuş bir çinko-kurşun madeni, maden drenaj ve maden atık kümesi drenaj bölgesinden alınan toprak, su, sediment ve bitki toprağı numunelerinde yapılan ağır metal ve arsenik analizleri sonucuna göre gerek maden drenaj suyu ve gerekse maden atık kümesi drenaj suyunda alıcı ortamlara ulaşacak yükseklikte bir kirlilik yüküne

rastlanmamıştır. Maden atık kümesi üzerine eklenen kireç ilavesi ile pH yükseltilerek metallerin hidrokisit formunda çöktürülmesi veya çöken metal hidrokisitlerin üzerine adsorplanması sağlanmıştır.

4. KAYNAKLAR

1. MTA, Adana İli Maden ve Enerji Kaynakları, 2001.
2. Gutierrez M., Mickus K., 2016. Abandoned Pb- Zn Mine Mining Wastes and Their Mobility As Proxy to Toxicity : A Review, Science of the Total Environment 565, 392-400.
3. Kusin, F.M., Jarvis, A.P., Gandy, C.J., 2012. Hydraulic Performance Assessment of Passive Coal Mine Water Treatment Systems in the UK, Ecological Engineering; 49: 233-243.
4. Kusin, F.M., Jarvis, A.P., Gandy, C.J., 2014. Hydraulic Performance and Iron Removal in Wetlands and Lagoons Treating Ferruginous Coal Mine Waters, Wetlands; 34: 555-564.
5. Benvenuti, M., Mascaro, I., Lattanzi, P., Parrini P., Tanelli, G., 1997. Mine Waste Dumps and Heavy Metal Pollution in Abandoned Mining District of Boccheggiano Southern Tuscany, Italy, Environmental Geology, 30: 238-24.
6. Wang, S., Mulligan, C.N., 2005. Occurrence of Arsenic contamination in Canada: Sources Behavior and Distribution. Science of the total Environment, 366: 701-721.
7. Navarro, M.C., Perez-Sirvent, C., Martinez-Sainchez, M.J ., 2007. Abandoned Mine Sites as a Source of Contamination by Heavy Metals: A Casestudy in a Semi-Arid Zone. Journal of Geochemical Exploration, 96: 183-193.
8. Schwab, P., Zhu, D., 2007. Heavy Metal Leaching from Mine Tailings as Affected by Organic Amendments, 98: 2935-2941.
9. Madzin, Z., Shai-In M., Kusin, F., 2015. Comparing Heavy Metal Mobility in Active and Abandoned Mining Sites at Bestari Jaya, Selangor, Procedia Environmental Sciences, 30: 232-237.
10. Widerlung, A., Ingri, J., 1995. Early Diagnosis of Arsenic in Sediments of the Kalix River Estuary, Northern Sweden, Chemical Geology, Vol. 125, 3-4,185-196.
11. Yan, X.P., Kerrich, R., Hendry, M.J., 2000. Distribution of Arsenic (III), Arsenic (IV) and Total Inorganic Arsenic in Porewaters from a Thick Till and Clay-Rich Aquitard Sequence, Saskatchewan, Canada, Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol 62, No 15, 2637-2648.
12. Bech, J., Poschenrieder, C., Llugany, M., Barcelo, J., Tuma, P., Tobias, F.J., Barranzuela, J.L., Vasquez, E.R., 1997. Arsenic and Heavy Metal Contamination of Soil and Vegetation Around a Copper Mine in Northern Peru, The Science of the Total Environment 203, 83-91.
13. Lee, C.G., Chon, H.T., Jung, M.J. 2001. Heavy Metal Contamination in the Vicinity of the Daduk Au-Ag-Pb-Zn Mine in Korea. Applied Geochemistry, 16;1377-1386.
14. Rotkittikhun, P., Kruatrachue, M., Chaiyarat, R., Ngernsarsaruay, C., Pokethitiyook, P., Pajitprapaporn, A., Baker, A.J.M., 2006. Uptake and Accumulation of Lead by Plants from the Bo Ngam Lead Mine Area in Thailand, Environmental Pollution, 144, 681-688.
15. Laghlimi, M., Baghdad, B., 2015. Characterization of Soil Heavy Metal Contamination in the Abandoned Mine of Zaida (High Moulouya, Morocco), International Research Journal of Earth Sciences, Vol 3(3), 1-3.
16. Monterroso, C., Rodriguez, F., 2014. Heavy Metal Distribution in Mine-Soils and Plants Growing in a Pb/Zn Mining Area in NW Spain, Applied Geochemistry , 44, 3-11.
17. Liu, Y.G., Zhang, H.Z., Zeng, G.M., Huang, B.R., Li, X., 2006. Heavy Metal Accumulation in Plants on Mn Mine Tailings, Soil Science Society of China, 16(1), 131-136.
18. Environmental Protection Agency (EPA), Method 3051A. 2007. Microwave Assisted Acid Digestion Of Sediments, Sludges, Soils and Oils.
19. Perin, G., Bonardi, M., Fabris, R., Simoncini, B., Manente, S., Tosi, L., Scotto, S., 1997. Heavy Metal Pollution in Central Venice Lagoon Bottom Sediments: Evaluation of

- Metal Bioavailability by Geochemical Speciation Procedure. Environmental Technology 18; 593-604.
20. Çevre ve Orman Bakanlığı. 2005. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete (25831).
 21. De Andrade, R.P., Figueiredo, B.R., De Mello, J.W.V., Santos, J.C.Z., Zandonadi, L.U., 2008. Control of Geochemical Mobility of Arsenic by Liming in Materials Subjected to Acid Mine Drainage. Journal of Soils and Sediments. 8, 2; 123-129.
 22. Perez-Lopez, R., Quispe, D., Castillo, J., Nieto, J.M., 2011. Acid Neutralization by Dissolution of Alkaline Paper Mill Wastes and Implications for Treatment of Sulfide-Mine Drainage. American Minerologist. 96; 5-6, 781-791.

Killi Zeminlerde Permeabilite ve Efektif Gerilmenin Kompaksiyon Enerjisine Bağlı Olarak Değişimi

Emre PINARCI^{*1}, Meltem TAŞÇI¹, Hasan ÇETİN¹

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

Geliş tarihi: 29.05.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Özet

Bu çalışmada kompaksiyonun önemli parametrelerinden biri olan sıkıştırma enerjisinin farklı oranlarda zemine uygulanması sonucu, zeminin mühendislik özelliklerinden permeabilite ve ön konsolidasyon basıncında (σ_{on}) meydana gelen değişiklikler araştırılmıştır. Çalışmada Atatürk Barajı kil çekirdeğinde kullanılan Sam-Tekin ariyet ocağından örselenmiş zemin numuneleri alınmıştır. Killi zemini sınıflamak için kıvam, tane boyu ve özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır. Standart Proctor deneyleri yapılarak zeminin farklı kompaksiyon enerjisinde (15, 25, 35, 45 ve 55 vuruşlarda) maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ve optimum su içerikleri belirlenmiştir. Belirlenen bu maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su içeriği değerlerinde tekrar Standart Proctor deneyleri yapılmış ve konsolidasyon ringlerine numuneler alınarak permeabilite ve konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak zemine uygulanan kompaksiyon enerjisi arttıkça; zeminin kuru birim hacim ağırlığının arttığı, optimum su içeriğinin azaldığı, ön konsolidasyon basıncının arttığı, boşluk oranının azaldığı ve permeabilitesinin tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompaksiyon enerjisi, Permeabilite, Efektif gerilme

Changes of Permeability and Effective Stress Compacted Clayey Soils Depending on the Compaction Energy

Abstract

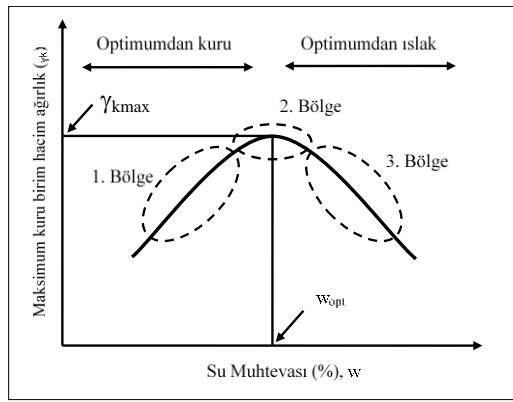
In this study changes in engineering parameters such as permeability and effective stress due to application of the compaction energy, one of the important parameters of compaction in different proportions have been investigated. Undisturbed clay samples obtained from the Sam-Tekin clay quarry, where the clay core material of the Atatürk Dam was taken, have been used in the study. In order to classify the samples, Atterberg Limits, grain size analysis and specific gravity tests have been performed. The maximum dry unit weights and optimum moisture contents of compacted samples for 5 different compaction energies (15, 25, 35, 45, 55 blows) have been determined by means of compaction tests. Permeability and consolidation tests have been performed on compaction samples taken from the compacted at the determined dry unit weights and optimum moisture contents. In conclusion, it was determined that as the higher the compaction energy increases, the dry unit weight and preconsolidation pressure increase and the optimum moisture content, void ratio and permeability decrease.

Keywords: Compaction energy, Permeability, Effective stress

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Emre PINARCI, epinarci@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

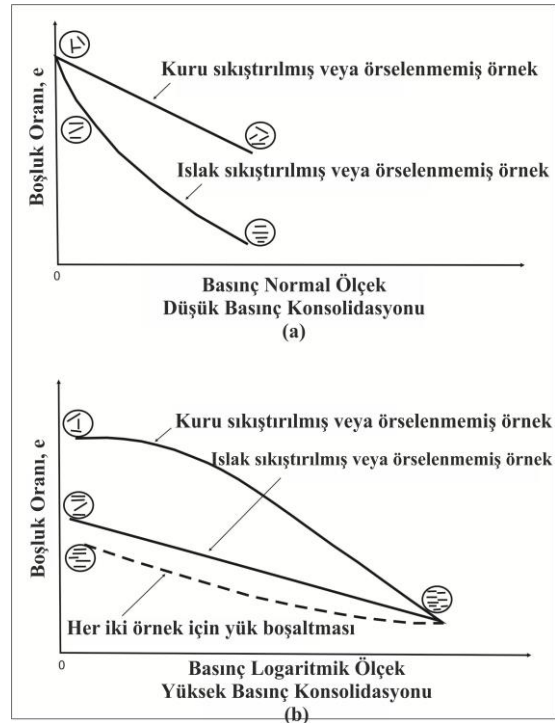
Kompaksiyon genel olarak mekanik enerji uygulama yoluyla zeminin içerisindeki havanın uzaklaştırılmasıyla yoğunlaştırılması işlemidir [1]. Sıkıştırılmış zeminler türlerine ve sıkıştırma yöntemlerine göre farklı özellikler gösterir ve projelendirmelerde sıkıştırılmış zemin özellikleri önemli bir etkidir. Söz konusu özellikler permeabilite, şişme-büzülme, sıkışabilirlik, gerilme deformasyon ilişkisi ve kayma direncidir.



Şekil 1. Sıkıştırılmış bir zeminde γ_k - ω ilişkisi

Baraj ve bentler gibi su tutma yapılarında yer alan kil çekirdekler yapının en önemli kısmını oluşturmaktadır. Kil çekirdeğin gerekenden az enerji ile sıkıştırılması önemli mühendislik problemlerine yol açmaktadır. Laboratuvarında belirlenen maksimum kuru birim hacim ağırlığa (γ_k) arazide yetersiz sıkıştırma veya optimum su içeriğinden (ω_{opt}) farklı su içeriğinde sıkıştırma nedeniyle ulaşılamaması durumunda hedeflenen efektif gerilmelere ulaşılmayacağından ilerleyen zamanlarda baraj gövdesinde ciddi deformasyonların gözlenmesi kaçınılmazdır. Aynı şekilde yetersiz sıkıştırma sonucunda kil çekirdek olması gerekenden daha yüksek bir boşluk oranında olacak ve permeabilite problemleri yaşanacaktır. Zeminin permeabilitesi ile boşluk oranı arasında yaklaşık bağıntı göz önüne alınırsa, kuru birim hacim ağırlığın artması ile porozitenin azalması dolayısıyla permeabilitenin de azalması beklenir [2]. Kompaksiyon eğrileri optimumdan kuru, optimumda ve optimumdan ıslak olmak

üzere üç kısma ayrılır (Şekil 1). Lambe [3] optimumdan kuruda sıkıştırılan zeminin su içeriği arttıkça permeabilitenin azaldığını, optimumda minimum olduğunu, optimumdan ıslakta bir miktar azaldığını daha sonra arttığını tespit etmiştir (Şekil 1). Zeminlerin ağır enerjilerde sıkıştırılması da kuru birim hacim ağırlıklarının artmasına ve boşlukların azalmasına yol açar. Optimumdan ıslakta ağır enerjide sıkıştırılan zeminlerin tane diziliminin paralel duruma geçmesiyle tanelere dik yönde permeabilitenin azalmasına karşın diğer yönde önemli bir değişiklik olmaz [2-5].



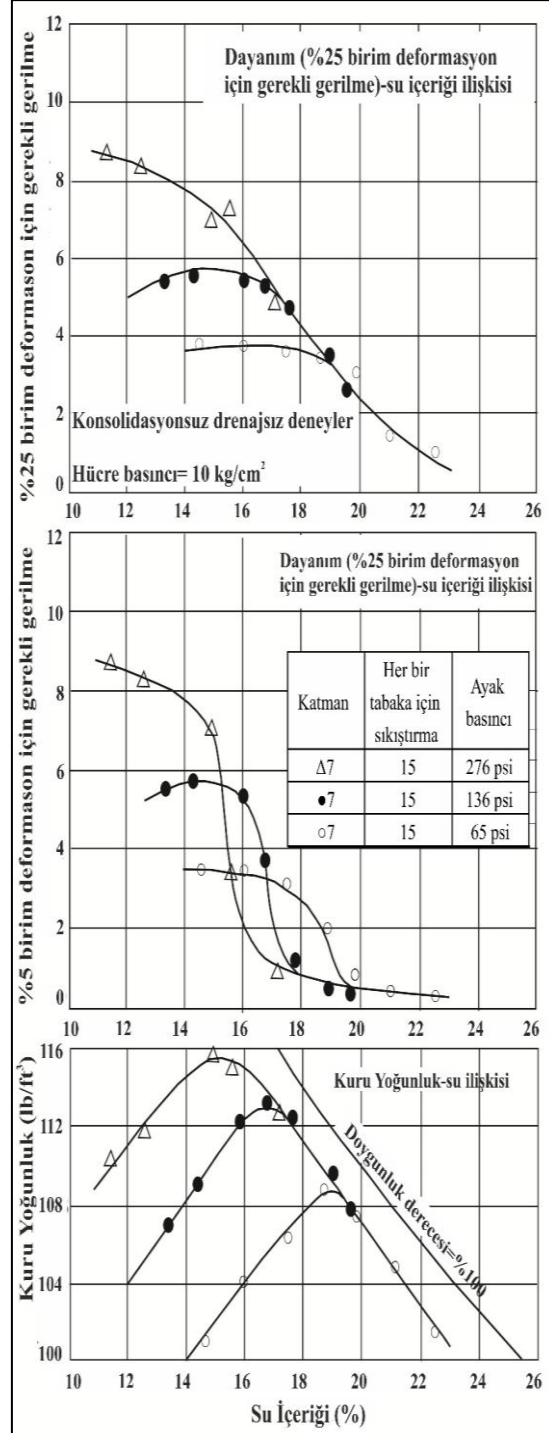
Şekil 2. Sıkıştırmanın bir boyutlu konsolidasyona etkisi a) düşük basınçta b) yüksek basınçta [4]

Sıkıştırılmış kilde yapının ve su içeriğinin belirgin şekilde etkilendiği diğer bir özellik sıkışabilirliktir. Lambe [3], aynı birim hacim ağırlıkta optimumdan ıslakta sıkıştırılan kilin sıkışabilirliğinin optimumdan kuruda sıkıştırılan kilin sıkışabilirliğinden fazla olduğunu belirtmiştir. Şekil 2a'da düşük basınç altında optimumdan kuruda ve optimumdan ıslakta sıkıştırılmış kilin

bir boyutlu konsolidasyon özelliği görülmektedir. Bunun karşısı yüksek basınçlarda optimumdan kuruda sıkıştırılan kilin sıkışabilirliği optimumdan ıslakta sıkıştırılandan fazladır (Şekil 2b) [3].

Seed ve Chan [6] sıkıştırılmış killerin şişme büzülme özellikleri üzerinde yaptıkları çalışmada optimumdan kuru sıkıştırılmış killerde şişme potansiyelinin daha büyük olduğunu bulmuşlardır. Optimumdan kuru bölgede su açığı daha büyüktür ve dolayısıyla daha fazla su emme ve daha fazla şişme eğilimindedir. Optimumdan daha kuru zeminler, su içeriğindeki değişim gibi çevresel şartlara daha duyarlıdır. Optimumdan ıslak zeminlerde büzülme maksimumdur. Sıkıştırılmış killerin dayanım özellikleri oldukça karışıktır. Ancak optimumdan kuru sıkıştırılmış numunenin dayanımı optimumdan ıslak sıkıştırılmış numunenin dayanımından daha yüksektir. Optimumdan ıslak sıkıştırılmış numunenin dayanımı kompaksiyon yöntemine de bağlıdır. Bunun nedeni zemin yapısındaki farklılıktan ileri gelmektedir. Yoğrulmalı kompaksiyon ile sıkıştırılmış bir siltli kilin değişik sıkıştırma enerjilerinde elde edilen dayanım eğrileri Şekil 3'de verilmiştir. Bu eğrilerde üç değişik sıkıştırma enerjisi durumunda %25 birim deformasyon için gerekli gerilme ve %5 birim deformasyon için gerekli gerilme düzeyleri görülmektedir. Dayanımlar optimumdan ıslak durumlar için yaklaşık aynı iken optimumdan kuru durumlarda hafifçe artış göstermektedir. Optimumdan daha ıslak su içeriğinde %5 birim deformasyon için gerekli gerilme düzeyi yüksek sıkıştırma enerjilerinde daha düşüktür [7]. Eğrilerin optimum kısımlarına bakıldığında ise kompaksiyon enerjisi arttıkça hem %5 birim deformasyon için gerekli gerilme hem de %25 birim deformasyon için gerekli gerilme değerleri artış göstermiştir.

Bu çalışma ile farklı enerjilerde sıkıştırılan Atatürk barajında kullanılan kil çekirdek malzemesindeki efektif gerilme ve permeabilite değerlerinin ne ölçüde değiştiği buna bağlı olarak arazi sıkıştırmasının yetersiz yapılmasının bu önemli iki parametreyi ne ölçüde etkilediği tespit edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3. Su içeriği ve sıkıştırma enerjisinin fonksiyonu olarak dayanım [6]

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Bu çalışmada Şanlıurfa Bozova ilçesinde Sam-Tekin kil ocağında bulunan killi zeminden alınan numuneler kullanılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Sam-Tekin ariyet ocağının görünümü

Zeminin indeks özelliklerinin belirlenmesinde standart laboratuvar araç ve gereçleri kullanılmıştır. Kompaksiyon karakteristiklerini belirlemek için yapılan Standart Proctor deneyinde 4" Proctor kalıbı ve 2,5 kg'lık tokmak kullanılmıştır. Konsolidasyon deneyleri sabit halkalı ödometre cihazında yapılmıştır. Permeabilite deneyleri aynı ödometre cihazında düşen seviyeli permeabilite cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.2. Metot

Ocaktan kıvam (Atterberg) limitleri, özgül ağırlık deneyi, tane boyu analizi ve kompaksiyon, konsolidasyon ve permeabilite deneylerinde kullanılmak üzere örselenmiş numuneler alınmıştır. Bu numuneler standartlara uygun olarak izole edilmiş ve taşımaya hazır hale getirilmiştir. Killi zeminin indeks özelliklerini belirlemek için Atterberg (kıvam) limitleri deneyi, tane boyu (hidrometre ve elek) analizi ve özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır.

Hesaplanan farklı kompaksiyon enerji değerleri (Çizelge 1) kullanılarak kompaksiyon deneyleri yapılmış olup, her bir enerji miktarı için kompaksiyon grafikleri çizilmiş ve bu grafiklerden maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su içeriği değerleri belirlenmiştir. Belirlenen bu değerlerde tekrar sıkıştırılan numuneler üzerinde, konsolidasyon ve konsolidasyon cihazında düşen seviyeli permeabilite deneyleri yapılmıştır.

Çizelge 1. Kullanılan vuruş sayıları ve kompaksiyon enerjileri

Vuruş Sayısı	Kompaksiyon Enerjisi (CE) (kJ/m ³)
15	357,14
25	595,24
35	833,33
45	1071,42
55	1309,52

3. BULGULAR

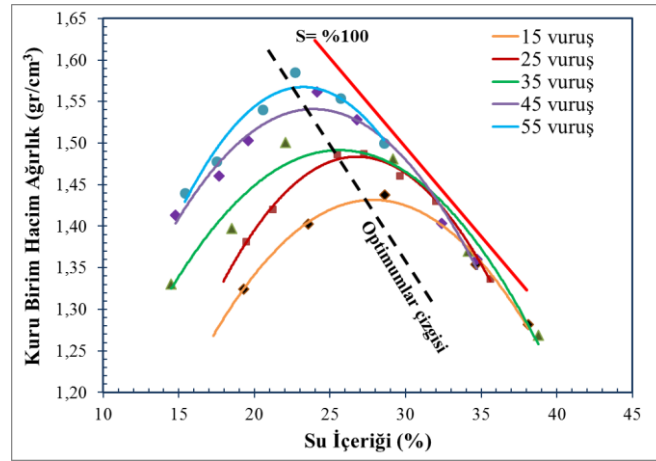
Zeminin sınıflaması için yapılan deneyler sonucunda bulunan değerler Çizelge 2.'de verilmiştir. Bu değerlere göre zeminin Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi'ne (USCS) göre yüksek plastisiteli kil (CH) olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 2. Sınıflama deney sonuçları

Likit Limit	%62,4
Plastik Limit	%28,5
Plastisite İndisi	%33,9
Özgül Ağırlık	2,65
Tane Boyu	
Kil	%47,0
Silt	%42,4
Kum	%10,6
Çakıl	%0

Zemine uygulanacak kompaksiyon enerjileri belirlenirken, standart olarak kullanılan 25 vuruşun altında ve üstünde değerler seçilmiştir. Zeminde meydana gelecek değişimlerin daha sağlıklı yorumlanabilmesi için kullanılacak enerjiler arasındaki farkın sabit bir değer olmasına dikkat edilmiş olup, iki enerji arasındaki fark 238 kJ/m^3

olarak seçilmiştir. En yüksek vuruş sayısı değeri kullanılan numunenin kil olmasından ve fazla sıkışmadan dolayı çarpmalı kompaksiyonda tokmak sekmeleri oluşmasından dolayı 55 vuruş olarak sınırlandırılmıştır. Belirlenen kompaksiyon enerjilerinde numuneler sıkıştırılmış ve zeminin mühendislik özellikleri belirlenmiştir.



Şekil 5. Farklı enerjilerdeki kompaksiyon eğrileri

Şekil 5'deki grafikte kompaksiyon eğrileri yorumlanırken eğriler üç kısma ayrılarak her kısım kendi içinde değerlendirilmiştir.

Optimum bölgeleri incelendiğinde kompaksiyon enerjisi arttıkça eğrilerin pik noktalarının yükseldiği ve sola doğru kaydığı gözlenmektedir. Bu durum vuruş sayısı ve buna bağlı olarak kompaksiyon enerjisi arttıkça kuru birim hacim ağırlığının arttığını, buna karşın optimum su içeriğinin azaldığını göstermektedir.

Kuru birim hacim ağırlıkların enerji arttıkça birbirlerine göre artış miktarları yüzde olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamada 15 vuruşa karşılık gelen maksimum kuru birim hacim ağırlığa göre, diğer enerjilerdeki maksimum kuru birim hacim ağırlıkların artış miktarları sırasıyla %3,23-%5,59-%8,09-%9,62 olarak bulunmuştur.

Optimum su içeriklerinin enerji arttıkça birbirlerine göre azalma miktarları yüzde olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamada 15 vuruş karşılık gelen optimum su içeriğine göre, diğer

enerjilerdeki optimum su içeriği azalma miktarları sırasıyla %4,13-%7,36-%13,46-%16,05 olarak bulunmuştur.

Optimumlar çizgisi %100 doyumluk çizgisine yaklaşık paralel konumdadır. Bu paralelliğin sebebi her ikisinde de kuru birim hacim ağırlığının artmasına karşın su içeriğinin düşmesidir. Hiçbir eğrinin %100 doyumluk çizgisine değmediği gözlenmektedir. Bu durum kompaksiyon enerjisi ne kadar artarsa artsın zeminin hiçbir zaman %100 doyumluğa ulaşmayacağını, zemin içerisinde daima bir miktar hava kalacağını göstermektedir.

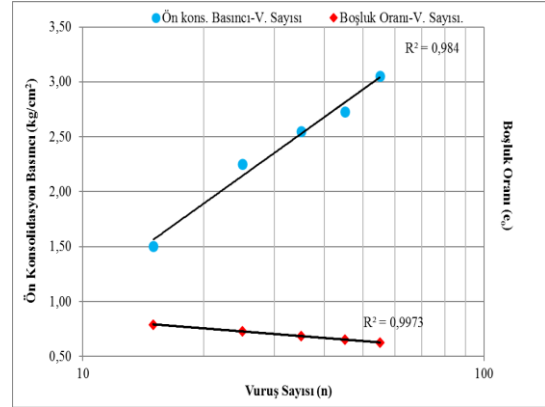
Eğrilerin optimumdan kuru tarafları incelendiğinde eğri kollarının birbirine yaklaşık paralel olduğu gözlenmektedir. Kolların birbirine paralel olması enerjideki farkların gözle görülür boyutta olduğunu göstermektedir.

Dolgular sıkıştırılarak oluşturulmuş yapılardır. Buna rağmen zamanla dolguda gerek kendi ağırlıklarından gerekse üzerlerine yapılan

yapılardan kaynaklanan oturmalar meydana gelebilir. Bu oturmanın mühendislik yapısına zarar vermemesi için belli sınırlarda kalması istenir. Bu nedenle dolguda meydana gelecek oturmanın hesaplanması gerekir. Bir zeminde meydana gelecek oturma konsolidasyon deneyi ile belirlenir. Ön konsolidasyon basıncı ya da efektif gerilme ($\sigma_{\text{ön}}$) zeminde meydana gelecek oturmanın bir ölçüsüdür.

Farklı enerjilerde yapılan kompaksiyon deneylerinde elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlık ve buna karşılık gelen optimum su içeriğinde tekrar sıkıştırılan numuneler ile her enerji seviyesi için ikişer adet (toplam 10 adet) konsolidasyon deneyi yapılmıştır. Bu deneyler ile farklı sıkılıkta olan dolgu malzemelerinin gerilme koşullarındaki davranışları ve Casagrande [8] yöntemiyle de ön konsolidasyon basınçları belirlenmiştir (Şekil 6).

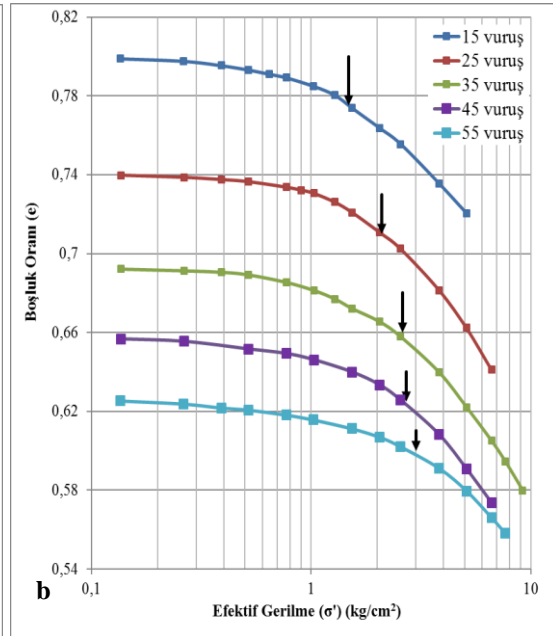
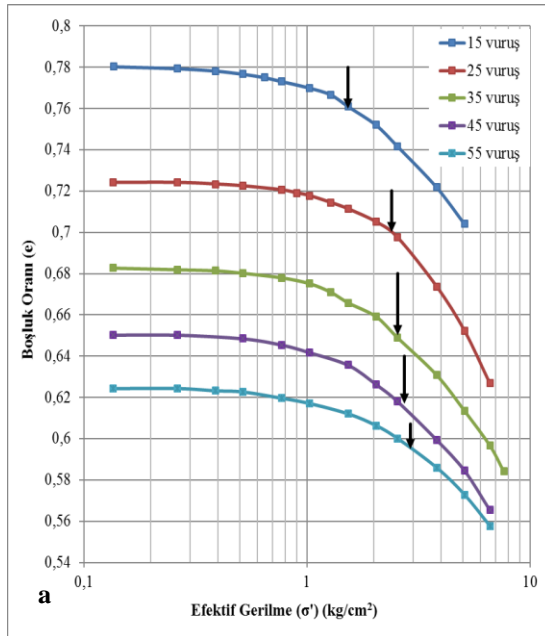
Şekil 6 ve Şekil 7'de görüldüğü gibi kompaksiyon enerjisinin artmasıyla zeminin boşluk oranı önemli ölçüde azalmış buna bağlı olarak oluşan efektif gerilmeler önemli derecede artmıştır (Çizelge 3)



Şekil 7. Kompaksiyon enerjisi-efektif gerilme ve boşluk oranı ilişkisi

Çizelge 3. Farklı enerjilerde yapılan Proctor deneylerinden elde edilen ön konsolidasyon basınçları

Vuruş Sayısı	15	25	35	45	55
$\sigma_{\text{ön}}$ (kg/cm ²)	1,51	2,25	2,56	2,73	3,06



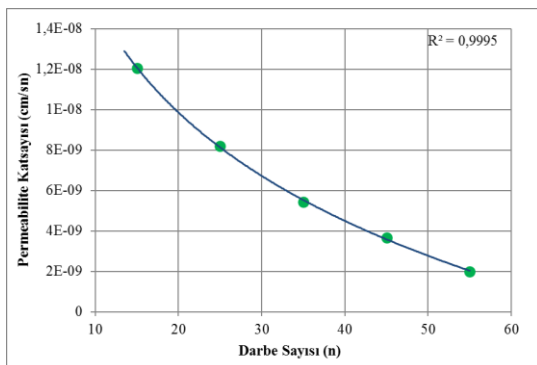
Şekil 6. Konsolidasyon deneyi sonucunda elde edilen boşluk oranı-efektif gerilme eğrileri a) 1. deney b) 2. deney

Farklı oranlarda uygulanan kompaksiyon enerjileri sonucunda zeminde oluşan efektif gerilmeler standarttan düşük enerjiye göre (15 vuruş) kıyaslandığında 25 vuruşta ortalama %49,01, 35 vuruşta %69,85, 45 vuruşta %81,43, 55 vuruşta %103,20 artış göstermiştir. Efektif gerilmedeki en büyük artışın standarttan düşük olan 15 vuruşta yapılan deney ile standart 25 vuruşluk deney arasında olduğu görülmüştür (Çizelge 4).

Çizelge 4. Farklı vuruş sayıları arasındaki efektif gerilmeler artışları ($\Delta\sigma_{\text{ön}}$)

Vuruş Sayıları	15-25	25-35	35-45	45-55
$\Delta\sigma_{\text{ön}}$ (kg/cm ²)	0,74	0,3	0,17	0,33

Boşluk oranı ve efektif gerilmedeki bu değişim aynı şekilde zeminin permeabilite değerlerine de yansımıştır (Şekil 8). Kompaksiyon enerjisi arttıkça zeminin permeabilitesi beklendiği şekilde düşmüştür. 15 vuruşluk deneyden elde edilen permeabilite katsayısına göre diğer enerjilere karşılık gelen permeabilite değerlerinin azalış miktarları yüzde olarak hesaplanmış ve sırasıyla %31,92, %55,01, %69,47, %83,43 olarak bulunmuş olup vuruş sayısına bağlı olarak enerji miktarı arttıkça permeabilite katsayılarının giderek azaldığı gözlenmiştir. Kompaksiyon enerjisi permeabilite katsayıları kullanılarak çizilen eğri incelendiğinde permeabilitedeki azalışın logaritmik olduğu gözlenmiştir. Eğrinin 55 vuruştan sonra (1309,52 kJ/m³) asimptotik olduğu dolayısıyla bu enerji değerinden sonra permeabilite değerinin sabit kalacağı tespit edilmiştir.



Şekil 8. Kompaksiyon enerjisi permeabilite ilişkisi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmanın sonucunda; Standart Proctor deneyi sırasında optimumdan kuru bölgede kompaksiyon enerjisi arttıkça eğrilerin birbirine paralel optimumdan ıslak bölgede ise eğrilerin birbirini kestiği görülmüştür. Bu durum optimumdan kuru bölgede enerji artışının gözle görülür etkisi olduğunu, optimumdan ıslak bölgede ise enerji artışının boşlukların bir kısmının su ile dolmasından dolayı önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

%100 doygunluk çizgisinin hiçbir eğriyi kesmediği yani kompaksiyon enerjisi ne kadar artsa da boşlukların tamamen su ile dolmadığı belirlenmiştir.

Konsolidasyon deneylerinde zemin Standart Proctor deneyinden (25 vuruş) elde edilen optimum su içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlığa sıkıştırılmıştır ve elde edilen ön konsolidasyon basınçlarının artan enerji ile önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Standart enerjiden daha düşük enerji ile sıkıştırılan numunenin (15 vuruş) efektif gerilme değerinin %48,9 daha düşük elde edildiği tespit edilmiştir.

Standart Proctor enerjisi ile sıkıştırılan zemin üzerine yapılan permeabilite deneylerinde azalan boşluk oranı ile zeminin permeabilitesinde ciddi azalışlar gözlenmiştir. 45 ve 55 vuruşta yapılan deneylerden sonra zeminin permeabilitesindeki azalmanın yavaşladığı gözlenmiştir. Standart Proctor enerjisinden daha düşük enerjide yapılan (15 vuruş) deneyde permeabilite değerinin %34,8 daha düşük bir değer olduğu belirlenmiştir.

Bu veriler ışığında arazide sıkıştırma yaparken ekipmanların verimsizliği, personelin yeterli deneyime sahip olmaması gibi nedenlerle sıkıştırmanın yeterli miktarda yapılmamasının zeminin permeabilitesi ve efektif gerilmesi üzerinde önemli etkilerinin olacağı tespit edilmiştir. Beklenenden daha düşük efektif gerileme ve permeabiliteye sahip olan kil çekirdek dolgularının stabilitesi üzerinde olumsuz etkiler neden olması kaçınılmaz olduğundan sıkıştırma

enerjisinin doğru uygulanmasına azami dikkat gösterilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Mechanics and Foundation Engineering, Cambridge, Vol. 3 60–64.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: MMF2010YL19).

6. KAYNAKLAR

1. Das, B., M., 2010. Principles of Geotechnical Engineering, 7th Edition. Cengage Learning 200 First Stamford Place, Suite 400 Stamford, CT 06902 USA.
2. Lambe, T.W., 1958a. The Structure of Compacted Clay. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Paper 1654, Vol. 84, No. SM 2, 1–34.
3. Lambe, T.W., 1962. Soil Stabilization, Chapter 4 of Foundation Engineering, G.A. Leonards (ed) Mc. Graw-Hill, New York.
4. Lambe, T.W., 1958b. The Engineering Behavior of Compacted Clay. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Paper 1655, Vol. 84, No. SM 2, 1–34.
5. Cetin, H., Fener, M., Soylemez, M., Gunaydın, O., 2007. Soil Structure Changes During Compaction of a Cohesive Soil. Engineering Geology 92, 38–48.
6. Seed, H.B., Chan, C.K., 1959. Structure and Strength Characteristics of Compacted Clays. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 85, No. SM 5, 87–128.
7. Holtz, R.D., Kovacs, W.D., 1981. (Çeviri: Kayabalı, K., 2002). Geoteknik Mühendisliğine Giriş, Gazi Kitabevi, Ankara 723. III. 60-64.
8. Casagrande, A., 1936. The Determination of the Pre-Consolidation Load and its Practical Significance, Discussion D-34, Proceedings of the First International Conference on Soil

Feldispat Cevherinin Flotasyon ile Zenginleştirilmesinde Tane Boyutu Değişiminin Etkisi

Fırat BURAT*¹

¹*Istanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

Geliş tarihi: 13.03.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Öz

Bu çalışma kapsamında farklı boyut aralıklarında hazırlanmış feldispat cevherinin flotasyon ile zenginleştirilmesi amaçlanmıştır. İlk aşamada mika, ikinci aşamada demirli ve renk verici mineraller yüzdürülmüş, son aşamada da feldispat/kuvars ayrımı yapılmıştır. Flotasyon işlemleri sonucunda, tüm boyut grupları için geçerli olmak üzere, ortalama %11,4 Na₂O, %0,02 Fe₂O₃ ve %0,03 TiO₂ içeren seramik ve cam endüstrisinin talep ettiği albit konsantreleri üretilmiştir. 300 µm altında yapılan flotasyon deneylerinde, her bir boyut grubunda elde edilen feldispat konsantrelerinin Na₂O içerikleri birbirine çok yakın olarak bulunmuş, -300+53 µm boyut grubunda yüzdürülen feldispat miktarının artmasıyla birlikte verim %90,2'ye yükselmiştir. -212+75 µm boyut grubunda yapılan deney sonucunda ise %80,8 miktarında bir feldispat konsantresinin %85,3 Na₂O verimi ile üretilebileceği anlaşılmıştır. -150+75 µm boyut grubunda yapılan deney sonucunda ise %77,4 miktarında bir feldispat konsantresi %79,6 Na₂O verimi ile alınmıştır. Doğrudan öğütülmüş malzeme ile yapılan flotasyon deneylerinde ise şlam kaplama durumundan dolayı Na₂O veriminde yaklaşık %10 oranında düşüş görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Feldispat, Flotasyon, Demir, Titan, Şlam

The Effect of Particle Size Change on Enrichment of Feldspar Ore by Flotation

Abstract

In this study, it was aimed to enrich the feldspar ore prepared in different size fractions by flotation method. In the first stage mica was floated, at second stage ferrous and coloring minerals were floated, and finally feldspar/quartz was separated. As a result of the flotation process, the glass and ceramics industry that demand albite concentrates containing averagely 11.4% Na₂O, 0.02% Fe₂O₃ and 0.03% TiO₂ were produced for all size groups. In flotation experiments which were carried out below 300 µm feed size, Na₂O contents of feldspar concentrates were found very close for each size group. Na₂O recovery increased to 90.2% with increasing amount of feldspar floated in -300 + 53 µm size group. A feldspar concentrate with the amount of 80.8% was produced with 85.3% Na₂O recovery at -212 + 75 µm size fraction. Similarly, 77.4% amount of feldspar concentrate was obtained with 79.6% Na₂O recovery in the -150 + 75 µm size fraction. Flotation experiments conducted with ground material directly showed that recovery falls about 10% due to the slime coating.

Keywords: Feldspar, Flotation, Iron, Titanium, Slime

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Fırat BURAT, buratf@itu.edu.tr

1. GİRİŞ

Feldispatlar içermiş oldukları Na, K veya Ca oranına göre albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), ortoklaz/mikroklin (KAlSi_3O_8), ve anortit ($\text{CaAlSi}_3\text{O}_8$) olarak isimlendirilmektedir. Na-feldispat minerali olan albit, alümina kaynağı olarak cam üretiminde, K-feldispat minerali olan mikroklin ve ortoklaz ise, daha çok porselen ve seramik üretiminde kullanılmaktadır. Ticari anortit yatağı bulunmadığından Ca-feldispat üretimi yapılmamaktadır [1, 2]. Feldispatlar başlıca cam (kristal ve optik, levha, TV, pencere), seramik ve porselen (mutfak eşyası, karo fayans, karo seramik, porselen) sektörlerinde kullanılmaktadır. Diğer sanayi dallarında sertliği, beyaz rengi ve bağlama özelliği nedeniyle aşındırıcı olarak kullanılan feldispat; kaynak çubuklarının kaplanmasında, yapay mermer imalinde, tuğla imalinde, plastik imalinde de dolgu malzemesi olarak tercih edilmektedir [3,4]. Feldispatların satılabilirliğini etkileyen başlıca kimyasal bileşenlerin başında alkali (Na_2O , K_2O), demir (Fe_2O_3) ve titan (TiO_2) içerikleri gelmektedir. Cam endüstrisi için ilave olarak alümina (Al_2O_3) içeriği önemlidir [5]. Alümina cam ve seramiğin dayanımını artırırken alkali içeriği ise erime sıcaklığını düşürerek pişme, ya da ergime süresinin kısalmasına imkan verir. Feldispatın en çok tüketildiği seramik ve cam sektörlerindeki en önemli ortak nokta demir ve titan içeriğidir. Züccaciye camında demirin 400 ppm'in altında olması gerekmektedir. Seramik endüstrisinde ise, titan oksit içeriği de demir kadar belirleyici olup, demir ve titan içeriği düştükçe pişme rengi beyazlaşmakta ve feldispatın fiyatını arttırıcı bir unsur olmaktadır. Seramik sanayi hammaddesi için Na ve K feldispatlarının içindeki safsızlıkların giderilmesi, K_2O ve Na_2O içeriklerinin Çizelge 1'de verilen sınırlarda ve ürünlerin beyaz pişme renginde olması gerekmektedir [6,7]. Cam üretiminde kullanılacak feldispat üretimi için, kuru manyetik ayırma işlemi ile mika (biyotit, muskovit) ve demir oksit mineralleri ayrılabilen; seramik endüstrisinin talep ettiği ($\text{TiO}_2 < 0,10$) yüksek kaliteli Na-feldispat konsantresi üretilmesi, rutil ve sfenin manyetik alınganlıklarının çok düşük olması nedeniyle ancak flotasyonla mümkün olmaktadır.

Çizelge 1. Seramik sektöründe kullanılan feldispat cevherleri kimyasal bileşimleri [7]

Bileşim, %	Na-feldispat	K-feldispat
SiO_2	65-70	65-70
$\text{CaO} + \text{MgO}$	<1,5	<1,5
Al_2O_3	17-18	13-15
K_2O	0,5-3	>8
Na_2O	7-11	<4
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$	<0,1	<0,1

Bayraktar vd. [6], Seyrankaya vd. [8] ve Çelik vd. [9] titan minerallerini yüzdürmek amacıyla zayıf asidik pH'da sukkinamat, alkil sülfat ve sülfonat, çeşitli bitkisel yağlar ve bunların sabunlarını kullanarak flotasyon çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Genel olarak, titan-demir oksit mineralleri ile mikanın birlikte yüzdürülmesi amacıyla yapılan flotasyon çalışmalarında tam başarı sağlanamamıştır. Bu nedenle mika ve oksit minerallerini birlikte içeren cevherlerin flotasyonunda mikanın ve sonra da demir-titan oksitli minerallerin yüzdürülmesi ile daha başarılı sonuçlar alınmaktadır. Mika flotasyonu için pH, sülfürik asitle 2,5-3'e ayarlanmakta ve amin türü bir toplayıcı ile mika, verimli bir şekilde yüzdürülebilmektedir. İkinci aşamada demir içeren mineraller pH 3-3,5 arasına ayarlanarak anyonik toplayıcılar (yağ asitleri veya petrol sülfonatları) ile yüzdürülür [6,10]. Feldispat içerisindeki serbest kuvars hammaddenin kalitesini düşürmektedir. Manyetik ayırma veya flotasyonla elde edilen konsantrelerden renkli minerallerin ayrılmasından sonraki son aşama kuvarsın flotasyonla ayırımıdır. Feldispat kuvars ayırımında geleneksel olarak HF (hidroflorik asit) kullanılan amin flotasyonu uygulanmaktadır. Bu amaçla, ortam pH'sı 2,5-3'e ayarlandıktan sonra HF varlığında feldispat, uzun zincirli bir amin ve köpürtücü ile yüzdürülerek kuvarstan ayrılmaktadır [10,11]. Bu işlemin en olumsuz tarafı çevresel açıdan sorunlu olan HF kullanımınıdır [6,12,13]. Son yıllarda çevresel zararı

çok daha az olan farklı reaktifler ile feldispat kuvars ayırımını sağlayabilecek alternatif yöntemler araştırılmıştır. HF kullanılmadan yapılan feldispat kuvars ayırımında Duomeen TDO (dimindioleat) ile başarılı sonuçlar elde edilmesine karşılık, feldispat/kuvars ayırımında seçimliliğin pH 3 üzerinde tamamen kaybolduğu belirtilmiştir [2]. Kalyon ve Gülsoy [2] feldispat kuvars ayırımında hidroflorik asit kullanmadan yapılan flotasyon çalışmalarının sonuçlarını karşılaştırmıştır. Bu çalışmanın sonucunda feldispat-kuvars ayırımındaki en başarılı yöntemin HF/amin yöntemi olduğu; Duomeen TDO'nun ise en başarılı ayırımın sağlandığı HF'siz ayırım yöntemi olduğunu belirtmişlerdir. Flotasyon sistemlerinin başarısını sağlayan diğer önemli olaylardan biri, serbestleşme derecesidir. Menderes bölgesindeki albit cevherinin yeterli serbestleşme derecesine gelmesi için cevherin 300 mikron (μm) altına öğütülmesi gerekmektedir. Oksit flotasyonunda, bazı bölgelerde 300 μm tane boyutu istenmeyen minerallerin serbestleşmesine yetmemekte ve daha ince boyutlara da öğütme gerekmektedir. Genel olarak cevher 200 μm altına öğütüldüğünde ise serbestleşme açısından hiç bir problem kalmamaktadır. Daha ince boyutlara öğütme işlemi ise daha fazla şlam yapıcı malzemenin oluşmasına sebep olmaktadır. Flotasyon sırasında şlamla kaplanma, yüzmesi istenen mineralin köpüğe bağlanmasını önleyebildiği gibi, bu mineralle birlikte şlam teşkil eden minerallerin de köpük fazında toplanmasına sebep olabilmekte, şlamı meydana getiren minerallerle yüzdürülmek istenen mineraller, benzer mineralojik yapıda olduğundan seçimli ayırma güçleşmektedir. Geniş yüzey alanı oluşturan şlam, kollektörü adsorbe ederek kullanılan kollektör miktarlarını artırır. Bu nedenle şlam, genellikle flotasyon öncesi uzaklaştırılır [6,14].

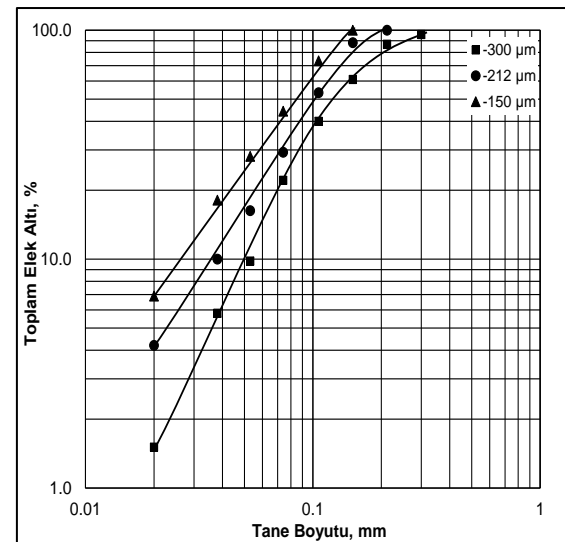
Bu çalışma kapsamında, Muğla-Milas bölgesinden temin edilen ve esas olarak albit (sodyum feldispat) içeren cevherin flotasyon ile zenginleştirilmesinde tane iriliğinin etkisi araştırılmıştır. Üç aşamalı flotasyon deneylerinde mika minerallerini yüzdürmek amacıyla asidik ortamda amin, ağır mineralleri yüzdürmek için yine asidik ortamda sülfonat kullanılmıştır. Son

aşamada ise HF varlığında feldispat/kuvars ayırımı yapılmış, elde edilen ürünlerin Na_2O , Fe_2O_3 ve TiO_2 içerikleri ve verimleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzeme

Çalışmalarda, Muğla-Milas Bölgesi'nde faaliyet gösteren özel bir şirkete ait flotasyon tesisine beslenen feldispat (albit) cevheri kullanılmıştır. Cevher, tesiste boyut küçültme işleminden sonra Slon manyetik ayırıcısından geçirilmekte ve elde edilen manyetik olmayan ürün flotasyon ile zenginleştirilmektedir. Deneylere esas olan numunenin tane boyut dağılımının tespiti amacıyla ilk olarak yaş elek analizi gerçekleştirilmiştir. Elek analizi sonuçlarına göre malzemenin yaklaşık 300 μm altına bulunduğu, d_{80} boyutunun ise 200 μm olduğu tespit edilmiştir. Tane boyutunun flotasyondaki etkisinin belirlenmesi amacıyla, ayrıca seramik bilyalı değirmen kullanılarak farklı sürelerde kademeli öğütme işlemleri yapılmış ve malzemenin tamamı 212 ve 150 μm altına öğütülmüştür. Deneysel çalışmalarda kullanılan 3 farklı boyuttaki numunenin elek analiz eğrileri Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Flotasyon çalışmalarında kullanılan numunelerin elek analiz eğrileri

Öğütme sonuçlarına göre, -212 μm ve -150 μm boyutundaki numunelerin d_{80} boyutları sırasıyla, 160 ve 120 μm olarak bulunmuştur. Tane boyutu alt sınırının değişiminin flotasyon üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla, 3 farklı boyuta sahip numuneler 75, 53, 38 ve 20 μm açıklığındaki elekler kullanılarak ince malzeme uzaklaştırılmış ve flotasyon deneylerinde üst ve alt boyut grubu farklı malzemeler kullanılmıştır.

Deneylere esas olan numunenin kimyasal analizi XRF metodu kullanılarak gerçekleştirilmiş, sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Numunenin kimyasal analizi

Eleman	İçerik, %	Eleman	İçerik, %
SiO ₂	68,95	CaO	0,60
Al ₂ O ₃	18,84	K ₂ O	0,21
Fe ₂ O ₃	0,10	MgO	0,18
TiO ₂	0,28	K.K.	0,63
Na ₂ O	10,21	Toplam	100,0

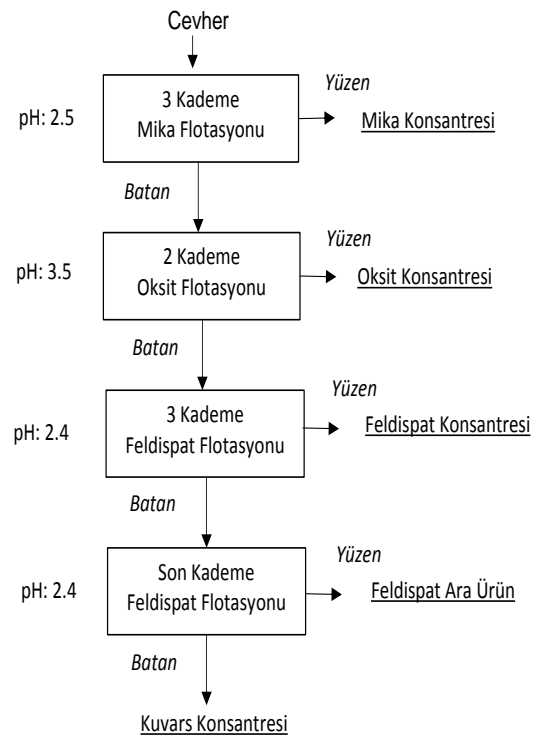
2.2. Flotasyon Çalışmaları

Flotasyon çalışmaları, Denver tipi kendinden havalandırılmalı laboratuvar ölçekli flotasyon makinesi ile 1500 dev/dk’da 2 litrelik flotasyon hücresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Flotasyon deney koşulları benzer numune ile -300+63 μm boyut grubunda yapılan bir çalışmaya göre esas alınmıştır. Flotasyon koşulları Çizelge 3’de, deneysel çalışmalar ise Şekil 2’de verilen akım şeması izlenerek gerçekleştirilmiştir.

Flotasyon deneylerinde pH ayarlayıcı olarak NaOH ve H₂SO₄ tercih edilmiştir. Mika flotasyonunda katyonik bir toplayıcı olan DAHC (dodesil amonyum hidroklorit) kullanılmış, demirli ve renk verici minerallerin flotasyonunda ise toplayıcı olarak sülfonatlar (R801+R825) tercih edilmiştir. Deneylerde köpürtücü olarak MIBC (Metil İso Butil Karbinol) kullanılmış, feldispatı

canlandırmak ve kuvarısı bastırmak amacıyla feldispat devresinin ilk kademesinde HF ilave edilmiştir. Ayrıca, seçimli olarak feldispat minerallerinin yüzdürülmesi için katyonik bir toplayıcı olan Flotigam V-4343 kullanılmıştır.

Mika, oksit ve feldispat/kuvars ayırımı olmak üzere 3 aşamada gerçekleştirilen deneylerin ilk aşamasında mika mineralleri pH 2,5’de amin türü DAHC kullanılarak 3 kademe seçimli olarak yüzdürülmüştür. İkinci aşamada Fe ve Ti oksit mineralleri pH 3,5’de petrol sülfonatlar (R-801 ve R-825) ile 2 kademe sonunda ayrılmış, son aşamada ise pH 2,4’e indirilerek, HF varlığında katyonik bir toplayıcı olan V-4343 ile feldispat-kuvars ayırımı yapılmıştır. Bu devre 4 kademe olarak gerçekleştirilmiştir. İlk 3 kademe feldispat konsantresi alınmış, feldispat devresinin son kademesinde ise kuvars tanelerinin bulunduğu gözlemlendiğinden bu ürün feldispat ara ürün olarak adlandırılmıştır.



Şekil 2. Feldispat flotasyonu akım şeması

Çizelge 3. Flotasyon deneyinin şartları

Boyut, μm	-300+63
Başlangıç PKO, %	20
Başlangıç pH	7,35
Karıştırma Hızı, dev./dak.	1500
Mika Devresi	
pH	2,5
DAHC, g/t	100+100+100
MIBC, g/t	60+0+0
Kıvam Süresi	5+3+3
Flotasyon Süresi	2+2+2
Oksit devresi	
pH	3,4
R801, g/t	400+400
R825, g/t	400+400
Kıvam Süresi, dakika	3+3
Flotasyon Süresi, dakika	3+3
Feldispat Devresi	
pH	2,5
HF, g/t	1000
Kıvam Süresi, dakika	15
V4343, g/t	400+400+400+400
MIBC, g/t	0+20+20+0
Kıvam Süresi, dakika	2+1+1+1
Flotasyon Süresi, dakika	2+1+1+1

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

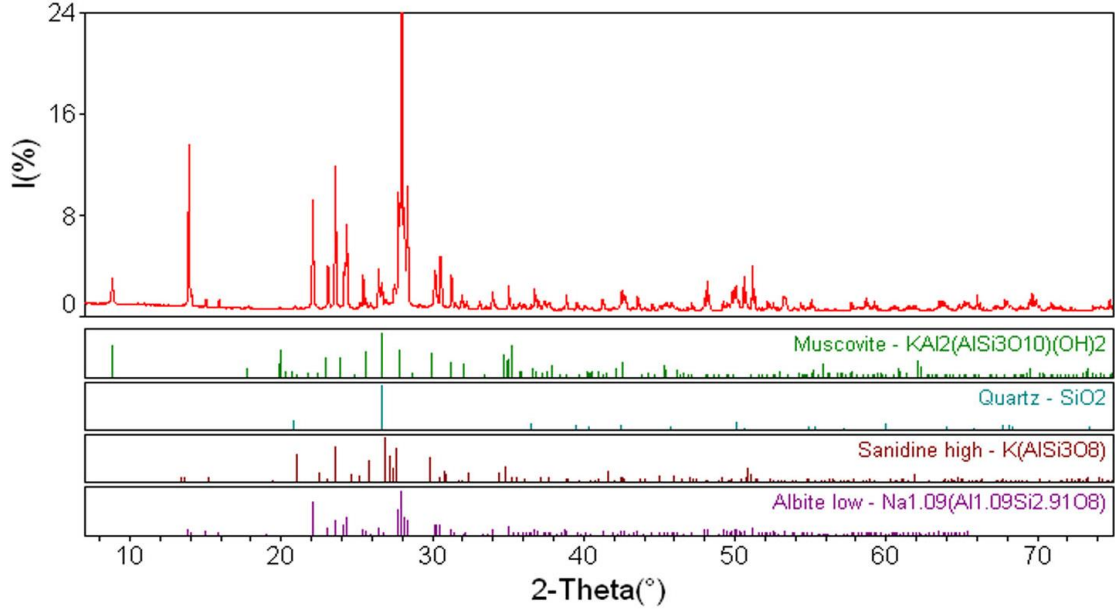
3.1. -300 μm Boyutunda Yapılan Deneyler

Gülsoy ve arkadaşları [15] ile Terzi ve Kurşun [1] çalışmalarında feldispat cevherinin farklı besleme boyutlarındaki flotasyon davranışlarını incelemiştirler. -0,5 mm boyut grubundaki numune ile gerçekleştirilen flotasyon deneyi sonucunda tane serbestleşmesinin yeterli düzeyde olmamasından dolayı konsantre içerisindeki demir ve titan oksit içeriği yüksek bulunmuş, -300 μm 'dan daha küçük boyutlarda ise tane serbestleşmesi arttığından çok daha temiz bir konsantre elde edilmiştir. Bu amaçla, ilk grup

flotasyon deneyleri -300 μm boyutundaki malzeme ile gerçekleştirilmiştir. Elek yardımıyla -300+75 μm , -300+53 μm , -300+38 μm ve -300+20 μm boyut aralıklarına sınıflandırılan numune ile sabit tutulan flotasyon koşullarında deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda elde edilen ürünlerin Fe_2O_3 , TiO_2 ve Na_2O içerik ve verimleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Kalyon ve Gülsoy [2] feldispat kuvars ayırımı üzerinde çok başarılı olduğu bilinen HF-Amin yöntemini uygulamışlardır. Deneylerinde amin türü, katyonik bir toplayıcı olan Armac TD (tallow amin asetat) kullanmışlardır. pH 2,5-3,0 arasında 250 g/t Armac TD ve 800 g/t HF ekleyerek yaptıkları deney sonucunda %10,51 K_2O ve %2,43 Na_2O içerikli bir feldispat konsantresi elde etmişlerdir. Hücrede kalan ürünün alkali içeriği (%0,64 K_2O ve %0,15 Na_2O) düşük düzeydedir.

HF-Amin yönteminin kullanıldığı bu çalışmanın ilk grup deneylerinde elde edilen Na_2O içeriklerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. -300+75 μm boyut grubunda %89,4 Na_2O verimi elde edilirken, benzer içerikte daha fazla miktarda feldispat konsantresinin elde edilmesiyle -300+53 μm boyut grubunda Na_2O verimi %90,2'ye yükselmiştir. Daha küçük alt boyutlarda yapılan deneylerde ise yüzen feldispat miktarı azalmış ve Na_2O verimi düşmüştür. Bu durumun sebebinin ince boyutlu feldispat minerallerinin mika ve oksit devresinde yüzmesidir. Benzer olarak, son devrede yapılan feldispat flotasyonun ilk kademesinde feldispat araürüne kaçmış ve Na_2O verimi düşmüştür. 300 μm altında bütün boyut gruplarında yapılan flotasyon işlemleri sonucunda, ortalama %0,03 Fe_2O_3 , %0,04 TiO_2 ve %11,4 Na_2O içeren seramik ve cam endüstrisinin talep ettiği albit konsantrelerinin üretimi mümkün olmuştur. Cevher içindeki mika kaynaklı demir ve Al^{+3} ile yer değiştirerek mika bünyesine giren Ti^{+4} 'ün manyetik ayırma uygulaması ile uzaklaştırılması mümkündür. Flotasyon işlemlerinin ilk kademesi olan mika devresinde muskovit ve biyotit gibi mika minerallerinin yüzmesi sonucunda Fe_2O_3 ve TiO_2 içerikleri artabilmektedir [5-6,8].



Şekil 3. -300+75 µm boyutundaki mika konsantrasyonunun XRD analizi

Çizelge 4. -300 µm’da farklı boyut grupları ile yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları

Boyut Arağı µm	Ürünler	Miktar %	Fe ₂ O ₃ , %		TiO ₂ , %		Na ₂ O, %	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-300+75	Feldispat	85,5	0,03	37,7	0,03	21,6	11,02	89,4
	Feldispat AÜ	4,8	0,05	4,2	0,10	4,0	9,93	4,5
	Kuars	2,2	0,03	1,1	0,18	3,3	1,07	0,2
	Oksit	5,2	0,18	15,3	0,51	22,3	11,17	5,5
	Mika	2,3	1,11	41,7	2,52	48,8	1,94	0,4
	Toplam	100,0	0,06	100,0	0,12	100,0	10,55	100,0
-300+53	Feldispat	87,5	0,02	23,1	0,04	17,3	11,38	90,2
	Feldispat AÜ	2,0	0,06	1,6	0,07	0,7	8,63	1,6
	Kuars	2,0	0,04	1,1	0,16	1,6	1,01	0,2
	Oksit	6,1	0,51	41,0	1,15	34,7	12,86	7,1
	Mika	2,4	1,05	33,2	3,85	45,7	4,05	0,9
	Toplam	100,0	0,08	100,0	0,20	100,0	11,03	100,0
-300+38	Feldispat	80,4	0,02	19,5	0,03	11,5	11,56	84,1
	Feldispat AÜ	2,1	0,05	1,3	0,09	0,9	9,36	1,8
	Kuars	2,0	0,05	1,2	0,10	1,0	2,28	0,4
	Oksit	10,4	0,27	34,1	0,22	10,9	11,65	11,0
	Mika	5,1	0,71	43,9	3,10	75,7	5,81	2,7
	Toplam	100,0	0,08	100,0	0,21	100,0	11,04	100,0
-300+20	Feldispat	77,0	0,03	25,1	0,03	9,1	11,24	80,3
	Feldispat AÜ	2,6	0,04	1,1	0,10	1,0	10,85	2,6
	Kuars	2,5	0,03	0,8	0,15	1,5	1,04	0,2
	Oksit	11,4	0,23	28,5	0,45	20,3	11,54	12,2
	Mika	6,5	0,63	44,5	2,65	68,1	7,82	4,7
	Toplam	100,0	0,09	100,0	0,25	100,0	10,79	100,0

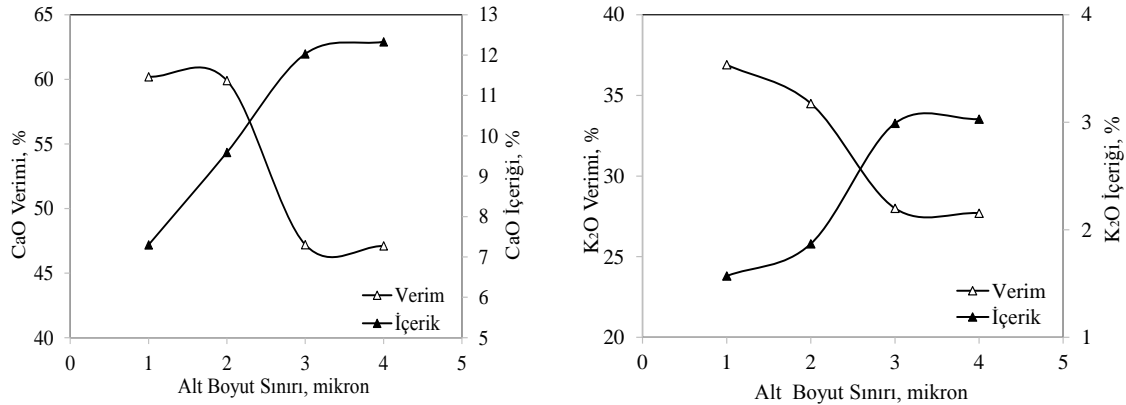
Deneysel çalışmalar sonucunda tüm boyut gruplarında elde edilen feldispat konsantrelerinin demir ve titan oksit içeriği cam ve seramik sanayinin limitlerinin (Çizelge 1) altında kalmakta ve ayrıca yüksek Al_2O_3 (ortalama %19,4) içeriği de ek bir avantaj sağlamaktadır. Özellikle, mika konsantrelerindeki demir ve titan içerikleri çok yüksek bulunmuştur. Bu sebeple, -300+75 μm boyutundaki mika konsantreresinden alınan örnek numunenin XRD analizi yaptırılarak bunun sebebi araştırılmıştır.

Şekil 3'de gösterilen feldispat pikleri, plajiolaz grubunda yer alan albit ve oligoklaz mineralleri ile alkali feldispat grubunda olan ortoklaz minerallerini, mika pikleri ise muskovit ve biyotit mineralini göstermektedir. Ayrıca, mika konsantresindeki K_2O ve CaO içeriklerinin beslenen malzemeye oranla 10 kat daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sebeple K_2O ve CaO içerik ve verimlerinin değişimi incelenmiş ve sonuçlar Şekil 4'te gösterilmiştir. Alt boyut sınırının artmasıyla K_2O ve CaO verimleri düşmekte, içerikleri ise artmaktadır. İnce boyut miktarının fazla olduğu düşük alt sınırlarda ortoklaz ve anortit mineralleri mika devresinde yüzmekte, bu nedenle K_2O ve CaO verimleri

yüksek olmaktadır. Bununla beraber, mika konsantresinde yoğun olarak bulunan muskovit minerali ($KAl_2(OH)_2(AlSi_3O_{10})$) K_2O içeriğini, aynı şekilde sfen ($CaTiSiO_5$) mineralinin ise TiO_2 ve CaO içeriğini arttırdığı düşünülmektedir.

Boyut alt sınırı küçüldükçe mika konsantrisinin miktarında meydana gelen artış dikkat çekmektedir. Bu artışın sebebi beslenen malzeme içerisindeki ince boyutlu feldispat miktarının artması ve mika devresinde yüzmesidir. -300+75 μm boyut aralığında Na_2O içeriği %1,94 iken, -300+20 μm boyut aralığında %7,82'ye kadar çıkmıştır.

Benzer olarak Kangal ve arkadaşları [16] Muğla-Milas bölgesi gnays cevherinden feldispat-kuvars ayırımını HF ve HF'siz ortamda amin tipi reaktifler kullanılarak çalışmışlardır. -300+63 μm ve -200+63 μm boyutlarında yapılan deneyler sonucunda feldispat konsantrisinin toplam alkali içerikleri birbirlerine yakın olarak bulunmuş, ancak -200+63 μm boyut aralığında feldispatın oksit devresinde yüzen ürüne kaçmasından dolayı -300+63 μm aralığında elde edilen feldispat konsantrisinin verimi çok daha yüksek olmuştur.



Şekil 4. Mika konsantrelerinde tane boyutu alt sınırının değişiminin CaO ve K_2O tenörü ve dağılımına etkisi

3.2. -212 μm Boyutunda Yapılan Deneyler

Tamamı 212 μm altındaki numune; -212+75, -212+53, -212+38 ve -212+20 μm boyut

aralıklarına sınıflandırılmış ve her boyut grubu ile sabit tutulan flotasyon koşullarında deneyler yapılmıştır. Tane boyutunun küçülmesi ve alt boyut sınırının etkisiyle birlikte feldispat-kuvars

devresinde çok az miktarda (%0,3'den az) feldispat araürünü ve kuvars konsantresi elde edilmiş ve bu nedenle son devre yapılmamıştır. Deneyler mika ve oksit flotasyonu olmak üzere 2 aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara ait sonuçlar Çizelge 5'de verilmiştir

Çizelge 5 incelendiğinde, alt boyut sınırının artması ile feldispat konsantresinin miktarının arttığı görülmektedir. Tüm boyut gruplarındaki feldispat konsantrelerinin Fe₂O₃, TiO₂ ve Na₂O içeriklerinin birbirine yakın olduğu, -212+75 µm boyut grubunda yapılan deney sonucunda ise %80,8 miktarda bir feldispat konsantresinin %85,3 Na₂O verimi ile üretilebileceği

anlaşılmıştır. Daha düşük alt boyut sınırlarında yapılan beslemede artan ince boyutlu malzemenin mika ve oksit devresinde yüzen ürüne kaçarak Na₂O içeriğini arttırdığı görülmüştür. Buna paralel olarak feldispat devresindeki yüzen ürün azalmış ve bir önceki üst besleme boyutuna göre Na₂O veriminde düşüş gözlemlenmiştir. Ayrıca, mika ve renk verici minerallerin uzaklaştırılması açısından -300 µm boyutuna göre daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bunun sebebi ise besleme boyutunun küçülmesine bağlı olarak tane serbestleşmesinin artmasıdır [1, 15, 17]. Tüm boyut gruplarında ortalama olarak %0,02 Fe₂O₃ ve %0,03 TiO₂ içerikleri ile kaliteli bir feldispat konsantresi elde edilmiştir.

Çizelge 5. -212 µm'da farklı boyut grupları ile yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları

Boyut Aralığı µm	Ürünler	Miktar %	Fe ₂ O ₃ , %		TiO ₂ , %		Na ₂ O, %	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-212+75	Feldispat	80,8	0,02	33,2	0,03	19,9	11,33	85,3
	Oksit	8,7	0,06	10,7	0,1	7,1	11,01	8,9
	Mika	10,5	0,26	56,1	0,85	73,0	5,92	5,8
	Toplam	100,0	0,05	100,0	0,12	100,0	10,73	100,0
-212+53	Feldispat	71,6	0,02	21,2	0,03	11,3	11,28	75,0
	Oksit	10,8	0,07	11,2	0,12	6,8	11,3	11,3
	Mika	17,6	0,26	67,6	0,88	81,9	8,4	13,7
	Toplam	100,0	0,07	100,0	0,19	100,0	10,78	100,0
-212+38	Feldispat	68,7	0,02	17,3	0,03	9,4	11,39	72,3
	Oksit	11,5	0,09	13,0	0,12	6,3	10,86	11,5
	Mika	19,8	0,28	69,7	0,93	84,3	8,85	16,2
	Toplam	100,0	0,08	100,0	0,22	100,0	10,83	100,0
-212+20	Feldispat	65,8	0,02	13,9	0,03	8,0	11,21	70,1
	Oksit	13	0,12	16,5	0,09	4,8	10,97	13,5
	Mika	21,2	0,31	69,6	1,01	87,2	8,14	16,4
	Toplam	100,0	0,09	100,0	0,25	100,0	10,53	100,0

3.3. -150 µm Boyutunda Yapılan Deneyler

Tamamı 150 µm boyutu altındaki numune; 75, 53, 38 ve 20 µm elek açıklığına sahip elekler kullanılarak -150+75 µm, -150+53 µm, -150+38 µm ve -150+20 µm boyut aralıklarında sınıflandırılmış ve her boyut grubu ile sabit tutulan flotasyon koşullarında deneyler yapılmıştır. Tane

boyutunun küçülmesi ve alt boyutun etkisiyle birlikte feldispat-kuvars devresinde çok az miktarda (%0,1'den az) feldispat araürünü ve kuvars konsantresi elde edildiğinden son devre yapılmamış, deneyler mika ve oksit flotasyonu olmak üzere 2 devrede gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara ait sonuçlar Çizelge 6'da verilmiştir.

Numunenin daha uzun sürede öğütülmesi sonucunda ince boyutlu malzeme miktarı ve buna bağlı olarak da şlam miktarı artmaktadır. Çizelge 6'da görüldüğü üzere, ince boyutlu malzeme özellikle oksit devresinde kaybedilmiş ve feldispat devresinde yüzen miktarı azalmıştır. Boyut gruplarında elde edilen Na₂O içeriği benzer olduğundan Na₂O verimi de alt boyut sınırının küçülmesiyle giderek azalmaktadır. Feldispat konsantrilerinin Fe₂O₃, TiO₂ ve Na₂O içeriklerinin

birbirine yakın olduğu, -150+75 µm boyut grubunda yapılan deney sonucunda ise %77,4 miktarında bir feldispat konsantrisinin %11,45 Na₂O içeriği ve %79,6 Na₂O verimi ile üretilebileceği anlaşılmıştır. -150+20 µm boyut grubunda serbestleşmenin yüksek ve beslenen malzemenin çoğunun oksit ve mika devresinde kaybedilmesinden dolayı Fe₂O₃ ve TiO₂ içeriği yaklaşık %0,01 olan bir feldispat konsantrisi elde edilmiştir.

Çizelge 6. -150 µm'da farklı boyut grupları ile yapılan flotasyon deneylerinin sonuçları

Boyut Aralığı µm	Ürünler	Miktar %	Fe ₂ O ₃ , %		TiO ₂ , %		Na ₂ O, %	
			İçerik	Verim	İçerik	Verim	İçerik	Verim
-150+75	Feldispat	77,4	0,02	38,4	0,03	22,5	11,45	79,6
	Oksit	19,9	0,08	39,5	0,13	25,0	10,95	19,6
	Mika	2,7	0,33	22,1	2,01	52,5	3,54	0,9
	Toplam	100,0	0,04	100,0	0,10	100,0	11,14	100,0
-150+53	Feldispat	69,8	0,02	20,3	0,02	8,2	11,48	73,1
	Oksit	25,5	0,14	51,8	0,26	39,0	10,87	25,3
	Mika	4,7	0,41	28,0	1,91	52,8	3,74	1,6
	Toplam	100,0	0,07	100,0	0,17	100,0	10,96	100,0
-150+38	Feldispat	64,3	0,02	15,5	0,03	9,2	12,11	69,9
	Oksit	27,8	0,15	50,2	0,36	47,8	10,99	27,4
	Mika	7,9	0,36	34,3	1,14	43,0	3,67	2,6
	Toplam	100,0	0,08	100,0	0,21	100,0	11,13	100,0
-150+20	Feldispat	45,2	0,01	5,5	0,01	1,8	11,87	50,5
	Oksit	33,2	0,13	52,5	0,26	34,4	11,47	35,8
	Mika	21,6	0,16	42,0	0,74	63,8	6,73	13,7
	Toplam	100,0	0,08	100,0	0,25	100,0	10,63	100,0

3.4. Şlamın Etkisinin Araştırıldığı Flotasyon Çalışmaları

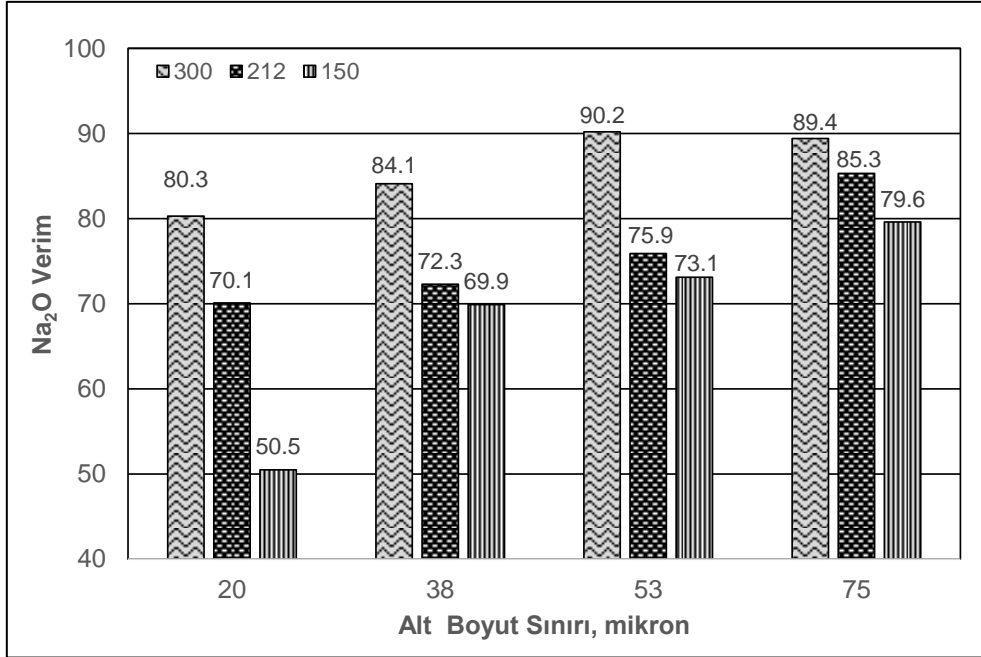
Geniş yüzey alanı oluşturan ince boyutlu mineral parçacıkları kollektörü adsorbe ederek ve iri boyuttaki mineral parçacıklarının yüzeylerini kaplayarak flotasyonu olumsuz yönde etkilemeleri nedeniyle flotasyon işlemi öncesi atılmaları gerekir [17,18]. Fuerstenau ve arkadaşları [19] çalışmalarında şlam kaplama yoğunluğu (miligram şlam/gram mineral) ile flotasyon randımanı ve elektriksel çift tabaka arasında bağıntı kurmuş ve şlam kaplama mekanizmasını elektriksel çift

tabaka yardımıyla açıklamaya çalışmışlardır. Tefek [20] şlamın kollektör tüketiminden ziyade mineral yüzeylerini kaplama nedeniyle flotasyonu olumsuz yönde etkilediğini belirtmiştir.

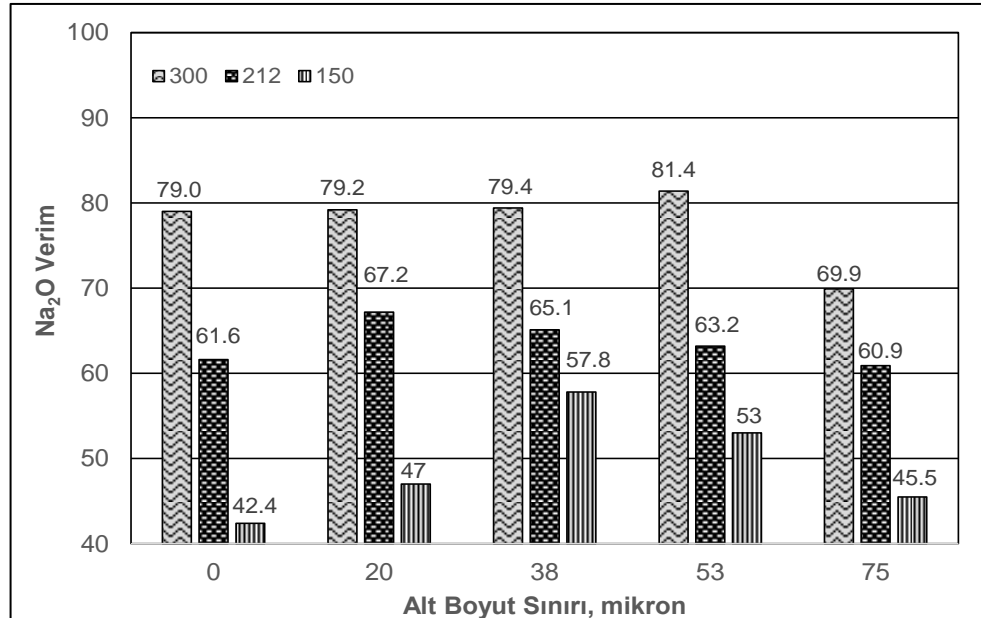
Şlamın flotasyon üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla, tamamı 300, 212 ve 150 µm altına hazırlanmış numuneler ile şlam oluşturan ince boyutlu malzeme uzaklaştırılmadan, doğrudan daha önce sabit tutulan şartlarda flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma yapılması amacıyla daha önceki deneylerde elde edilen ürünlerin alt boyut sınırlarındaki miktarlar

toplam beslenene dahil edilerek değerlendirme yapılmıştır. Şekil 5 ve 6'da farklı besleme ve alt boyut gruplarında yapılan flotasyon işlemleri

sonucunda elde edilen feldispat konsantrelerinin deneye ve toplam beslenene göre Na₂O veriminin değişimi gösterilmektedir.



Şekil 5. Deneye göre Na₂O verimi değişimi



Şekil 6. Toplam beslenene göre Na₂O verimi değişimi

Şekil 5'te görüldüğü üzere alt boyut küçüldükçe elde edilen feldispat konsantrisinin Na₂O verimi azalmaktadır. -150+38 µm aralığında yaklaşık %70 Na₂O verimi ile bir feldispat konsantrisi elde edilirken, bu değer -150+20 µm aralığında yaklaşık %20 azalarak %50,5'e düşmüştür. Öğütme süresinin artması ile daha fazla üretilen ince boyutlu malzeme iri boyutlu feldispat tanelerinin üzerine kaplamış ve flotasyon verimini düşürmüştür. Bu gruplardaki en iyi sonuç olan %90,2 Na₂O verimine -300+53 µm grubunda ulaşılmıştır. Şekil 6'da gösterildiği üzere, alt boyut sınırındaki miktarlar hesaba dahil edildiğinde toplam girene göre en sert düşüş 75 µm boyutunda olmuştur. Bunun nedeni 75 µm altına geçen malzemenin miktarının diğer alt boyutlara göre çok daha fazla oluşudur. 300, 212 ve 150 µm altındaki malzemenin 75 µm elenmesi suretiyle malzemenin %22, %29 ve %44'ü elek altına geçmektedir. Bu nedenle; -300, -212 ve -150 µm üst besleme boyutları için sırasıyla yaklaşık %20, %24 ve %34 verim düşüşü gerçekleşmiştir. Toplam beslenene göre bir değerlendirme yapıldığında, en yüksek Na₂O verimine (%81,4) -300+53 µm boyut grubunda ulaşılmıştır. Şlam uzaklaştırılmadan, doğrudan yapılan flotasyon deneylerinde ise Na₂O verimleri bir önceki gruba göre yaklaşık %10 azalmaktadır. Şlam miktarının çok daha fazla olması durumunda ise Na₂O verimlerinin orantılı olarak düşmesi beklenmektedir.

4. SONUÇLAR

Muğla-Milas yöresi feldispat cevherinin flotasyon yöntemi ile zenginleştirilmesinde tane iriliği değişiminin etkisinin araştırıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- %10,21 Na₂O, %0,28 TiO₂, %0,10 Fe₂O₃ içeriği bulunan albit içerikli feldispat cevheri flotasyonla zenginleştirilerek yüksek kalitede feldispat konsantrisi üretilmiştir.
- Flotasyon işlemi 3 aşamada yapılmış; ilk aşamada mika flotasyonu, ikinci aşamada oksit flotasyonu ve son aşamada feldispat/kuvars ayırımı gerçekleştirilmiştir.

- Mika devresinde amin türü toplayıcı olan DAHC kullanılmıştır. Muskovit'in bünyesinde bulunan titan ile biyotit'te bulunan demirden dolayı Fe₂O₃ ve TiO₂ içerikleri yüksek bulunmuştur.

- Oksit devresinde sülfonatlar ile yapılan flotasyon sonucunda özellikle ince boyutlu albit minerali oksit mineralleri ile yüzerek Na₂O veriminin düşmesine sebep olmuştur.

- Tüm boyut gruplarında yapılan flotasyon ile zenginleştirme çalışmaları sonucunda elde edilen feldispat konsantrilerinin seramik ve cam sanayiinin gereksinimini karşılayabilecek özellikte olduğu belirlenmiştir.

- Alt boyut sınırı küçüldükçe elde edilen feldispat konsantrisinin Na₂O veriminin azaldığı görülmüştür. En yüksek Na₂O verimine (%90,2) -300+53 µm grubunda yapılan flotasyon deneyi ile ulaşılmıştır.

- Alt boyut miktarları hesaba dahil edildiğinde toplam beslenene göre en sert düşüş elek altına geçen malzemenin çok fazla olmasından dolayı 75 µm boyutunda olmuştur.

- Toplam beslenene göre en iyi Na₂O verimi olan %81,4'e -300+53 µm boyut grubunda ulaşılmıştır.

- Şlam uzaklaştırmadan, doğrudan öğütülmüş malzeme ile yapılan flotasyon deneylerinde ise bir önceki alt boyut grubuna göre ortalama %10 oranında verim düşüşü olmuştur. Şlam miktarının artması ile verim düşüşünün devam edeceği görülmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Terzi, M., Kurşun, İ., 2013. Feldispat Zenginleştirme Tesisi Atıklarının Değerlendirilebilirliğinin Araştırılması, MT Bilimsel, Yer Altı Kaynakları Dergisi, Yıl: 2, Sayı: 3, 41-50.
2. Kalyon, D., Gülsoy, Ö., 2005. Feldispat-Kuvars Ayırımında Hidroflorik Asit Kullanılmayan Flotasyon Yöntemlerinin

- Karşılaştırılması, Yerbilimleri (Earth Sciences), 26, 1, 49-59.
3. Kumbasar, I., 1977. Silikat Mineralleri, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Yayınları, 1098, İstanbul.
 4. Çoğulu, E., 1976. Petrografi ve Petroloji, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Yayınları, İstanbul.
 5. Gülsoy, Y.Ö., Orhan, C., Can, M., Bayraktar, İ., 2004. Manyetik Ayırma ve Flotasyonla Magmatik ve Metamorfik Kayaçlardan Feldspat Üretimi, Yerbilimleri, 30, 49-61.
 6. Bayraktar, İ., Ersayın, S., Gülsoy, Ö.Y., 1997. Upgrading Titanium Bearing Na-Feldspar by Flotation Using Sulphonates, Succinamate and Soaps of Vegetable Oils. Minerals Engineering, 1, 12, 1363-1374.
 7. Roger A.K., Van Dyk, D., 1994. Feldspars, Industrial Minerals and Rocks, 6th ed. Ed. Donald D. Carr, 473-481.
 8. Seyrankaya, A., Akar, A., Akar, G., Güler, E., 1997. Aydın-Çine ve Muğla-Milas Feldspatlarının Flotasyonla Zenginleştirilmesi. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Ekim, İzmir, 236-252.
 9. Çelik, M.S., Can, I., Eren, R.H., 1998. Removal of Titanium Impurities from Feldspar Ores by New Flotation Collectors. Minerals Engineering, 12, 1201-1208.
 10. Gence, N., 2003., Feldspat Cevherinin Zenginleştirilmesinde Flotasyon ve Multigravite Separatör Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Anadolu University Journal of Science and Technology, 4, 1:67-74.
 11. Fuerstenau, M.C., Miller, J.D., Khun, M.C., 1985. Chemistry of Flotation. Society of Min. Eng., New York, 97.
 12. Akar, A., Kemal, M., Malayoğlu, U., Seyrankaya, A., 1994. Gördes-Köprübaşı (Manisa) Feldspatlarının Flotasyonla Zenginleştirilmesinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fak. 15. Yıl Sempozyumu, 4-7 Nisan, Adana, 459-471.
 13. Karagüzel, C., Yamık, A., Bentli, İ., 2000. Beneficiation of Simav-Dağardı Feldspar by Flotation. Proceedings of the 8th International Mineral Processing Symposium, 16-18 October, Antalya, 331-334.
 14. Atak, S., 1982. Flotasyon İlkeleri ve Uygulamaları, İTÜ Maden Fakültesi Yayınları, Sayı 101, İstanbul.
 15. Gulsoy, O.Y., Can, N.M., Bayraktar, I., Ersayın, S., Hizal, M., Sahin, A.I., 2004. Two Stage Flotation of Sodium Feldspar from Laboratory to Industrial Application, Mineral Processing and Extractive Metallurgy, Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy: Section C, Vol: 113, Issue 3.
 16. Kangal, M.O., Bulut, G., Yeşilyurt, Z., Güven, O., Burat, F., 2007. An Alternative Source for Ceramics and Glass Raw Materials: Augen-Gneiss, Minerals, 7, 70.
 17. Burat, F., Kokkilic, O., Kangal, O., Gurkan, V., Celik, M.S., 2007. Quartz-feldspar Separation for the Glass and Ceramics Industries. Miner. Metal. Process., 24, 75-80.
 18. Kursun I., Ozkan S.G., Cıncı K., Eskıbalcı M.F., 2003. Application of Novel Flotation Process for Removal of Feldspathic Minerals From Quartz Sands, Proceedings of X Balkan Mineral Processing Congress, Mineral Processing in the 21st Century, 15-20 June 2003, Varna, Bulgaria, 137-140.
 19. Fuerstenau, D.W., Guadin, AM., Miaw, L., 1958. Iron Oxide Slime Coatings in Flotation. Trans. A.I.M.E. 792.
 20. Tefek, M., 1978. Studies of the Processing of Ferruginous Bauxite Ores. Ph. D. Thesis, Univ. of Wales, Cardiff.

Süs Bitkisi Toprağında Arıtma Çamuru Stabilizasyonu

Gülğün DEDE*¹

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Sakarya

Geliş tarihi: 06.04.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Öz

Günden güne artan miktarlarda oluşan arıtma çamurlarının çevreye zarar vermeyecek bir şekilde bertarafı önemli bir konu haline gelmiştir. Arıtma çamurlarının en ekonomik ve sürdürülebilirliği en yüksek bertaraf seçeneği ise tarımsal amaçlı olmaktadır. Son yıllarda ekonomik bir değere sahip olan süs bitkileri yetiştiriciliğinde yüksek üretim girdi maliyetlerinin azalmasına yardımcı olan arıtma çamuru kullanımı ile hem ülke ekonomisine katkı sağlanmakta, hem de çamurun bertarafı konusunda yeni bir alternatif saha oluşturulmaktadır. Bu amaç doğrultusunda süs bitkisi olarak değerlendirilen *Yucca massengena*, *Areca lutescens*, *Chlorophytum comosum*, *Ficus elastica*, *Dieffenbachia maculata*, *Croton petra* ve *Sansevieria trifasciata* türleri topraklarına 2 farklı dozda (%25 ve %50) ilave edilen evsel nitelikli arıtma çamurunda zamana bağlı fekal indikatör mikroorganizma giderimi incelenmiştir. *E. coli* en hassas mikroorganizma olarak belirlenmiş ve 5 haftalık periyotta büyük oranda giderilmiştir (>%90). Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, başlangıçta B sınıfı kategorisinde yer alan arıtma çamurunun deneme sonunda incelenen mikroorganizmalar bazında A sınıfı özelliği taşıdığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arıtma çamuru, Yetiştirme ortamı, Süs bitkisi, Fekal mikroorganizma

Stabilization of Sewage Sludge in Ornamental Plant Soil

Abstract

The harmless elimination of sewage sludge that occurs in increasing quantities day to day has become an important issue. The most economical and sustainable disposal option of the sewage sludge is agricultural usage. In recent years, the use of sewage sludge as growing media for ornamental plants has reduce the high production input costs with an economic value, that contributes the economy and creates a new alternative site for the disposal. For this purpose, the time-based inactivation of fecal indicator microorganisms was investigated for two different doses (25% and 50%) of sewage sludge in growing substrates of *Yucca massengena*, *Areca lutescens*, *Chlorophytum comosum*, *Ficus elastica*, *Dieffenbachia maculata*, *Croton petra* and *Sansevieria trifasciata*. *E. coli* has been identified as the most sensitive microorganism and has been largely eliminated in the 5-week period (>90%). As a result, sewage sludge that initially Class B category have been Class A at the end of the experiments.

Keywords: Sewage sludge, Growing media, Ornamental plant, Fecal microorganism

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Gülğün DEDE, gulgunk@sakarya.edu.tr

1. GİRİŞ

Dünya genelinde artan nüfus ve şehirleşmeye paralel olarak arıtma sistemlerinden oluşan arıtma çamuru miktarı her geçen gün artmaktadır. Oluşan arıtma çamurlarının bu kısa süre içindeki artışları bunların bertarafalarında da ciddi problemlere yol açmaktadır. Özellikle düzenli depolama alanlarını hızla doldurmaları ve bu alanlarda yol açtıkları ciddi problemler nedeniyle son yıllardaki yasal düzenlemeler ile arıtma çamurlarının içerdikleri organik maddenin tümü giderilmeden düzenli depolama alanlarına gönderilmeleri birçok ülkede yasaklanmıştır [1]. Arıtma çamurlarının yakılarak bertaraf edilmesi ise, gerek maliyetinin yüksek olması gerekse yakma işlemi sırasında açığa çıkan zehirli gazların hava kirliliği problemi oluşturması ile düşük sürdürülebilirliğe sahip bir seçenek olmaktadır. Arıtma çamurlarının geri dönüşüm gerekliliği ve çevresel sınırlamalar ise bu atıkların gübre alternatifi olarak önerilmelerine neden olmuş bilhassa Dünya çapında süs bitkileri yetiştiriciliğinde yetiştirme ortamı olarak başarıyla kullanılmış, kompost yapımı ile de ticari boyut değeri artırılmıştır [2, 3]. Avrupa Birliği ülkelerindeki yaklaşım da arıtma çamurlarının gübre amaçlı tarımda değerlendirilmesi yönünde olup bunun sonucunda arıtma çamurlarının, İngiltere’de %52, İspanya’da %65, Fransa’da %70 oranında tarımsal amaçlı kullanımları söz konusu olup Almanya’da bitki yetiştirmede yaygın şekilde kullanılmaktadır. Su Çevre Federasyonu tarafından özetlenen günümüz EPA verilerine göre de Amerika’da üretilen arıtma çamurlarının %60’ından fazlası tarımsal amaçlı kullanılmaktadır [3].

Ülkemizde süs bitkisi yetiştiriciliğinde yetiştirme ortamı olarak çoğunlukla toprak ve torf kullanılmaktadır. Ancak bu materyallerin kullanılması hem tarım alanlarında bir çeşit erozyona sebep olmakta hem de yetiştirme ortamı olarak istenen özellikleri tek başına sağlayamadıklarından, bitkiler yeterli büyüme performansı gösterememektedir. Bununla birlikte sürdürülebilir tarım ve çevre bir arada düşünüldüğünde doğal toprak kullanımı uygun

değildir. Diğer yandan doğal torf yatakları yenilenebilir kaynak olsa da kısıtlı olan yatakları oluşumunun uzun zaman alması ve kazıların çevre bütünlüğünü bozarak doğayı tahrip etmesi ve karbondioksit döngüsünü bozması gibi nedenlerle sürdürülebilir bir seçenek olmamaktadır. Ayrıca yerel torf kaynaklarının yetersizliği de tüketiciyi ithal torfa yönlendirmekte bu durum da maliyetleri arttırmaktadır [1,3].

Bununla birlikte süs bitkisi sektörünün sürdürülebilirliğinin ve kendi kendine yeterliliğinin sağlanması ile çevreye olan etkilerinin oradan kaldırılması için yerel materyal ve teknolojilerle desteklenmesi gereklidir. Bu sebeple içerdikleri yüksek konsantrasyonlardaki organik madde nedeniyle arıtma çamurlarının bertarafı için en uygun yöntemlerden biri ülkemizde de geliştirmekte olan sektörlerden süs bitkisi yetiştiriciliğinde kullanılmalarıdır [1,4-6]. Bunun yanı sıra toprağın fiziksel ve kimyasal yapısını düzeltme özelliği, arıtma çamurunun organik gübreleme için alternatif bir kaynak olarak kullanılması olanağı da sunmaktadır [7,8]. Bu açıdan bakıldığında bu yöntem, önemli bir gider olan yetiştirme ortamı ve gübreleme maliyetlerinin düşürülmesini sağlamanın yanı sıra her geçen gün artan miktarlara ulaşarak çevresel bir sorun haline gelen arıtma çamurlarının bertarafında ekolojik ve ekonomik bir çözüm niteliği de taşımaktadır.

Süs bitkilerinin üretiminde yavaş salımlı gübre büyük öneme sahiptir. Yavaş salımlı gübre özelliği taşıyan arıtma çamurlarının süs bitkisi yetiştiriciliğinde ticari gübrelerin yerine kullanılmaları pek çok çalışmada denenmiş ve ortak bulgu çamurların bitki yetiştirmede ekonomik bir değer taşıdığı hususunda hiçbir kuşkunun bulunmaması olmuştur [9]. Bilhassa arıtma çamurunun bitki besin değerinin ahır gübresi ve organik komposta benzer olduğu ve bitkilerin gelişimi için gerekli tüm elementleri içerdiği bildirilmiştir [9]. Ayrıca arıtma çamurlarının besin olarak tüketilen ürünlerin yerine süs bitkisi yetiştiriciliğinde kullanılması psikolojik kabul edilebilirliği de sağlamaktadır [1,10].

Bunun yanı sıra ağır metal kapsamı ve sentetik organik kimyasallar bakımından bitkilere uygulanabilir arıtma çamurlarındaki patojen mikroorganizmalar, bu zengin organik madde kaynağının kullanımında sınırlayıcı unsur olarak değerlendirilmektedir [11,12]. Göreceli olarak yüksek düzeylerde patojen mikroorganizma içeren arıtma çamurlarının büyük miktarlardaki üretimi de bu materyalin yeni ekolojik sorunlara yol açmaksızın güvenli bertarafı için çözüm gereksinimini artırmaktadır. Bu açıdan arıtma çamurlarının en ekonomik bertaraf yöntemi olarak görülen süs bitkisi yetiştiriciliğinde kullanımının getireceği olumlu ve olumsuz etkilerin halk sağlığı açısından iyi belirlenmesi gerekmektedir.

Bu açıdan USEPA yönetmeliğinde arıtma çamurları, içerdikleri patojenlere bağlı olarak A sınıfı (doğrudan temas için güvenli) ve B sınıfı (arazide ve bitkisel üretimde kısıtlı kullanım) olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Buna göre A sınıfı arıtma çamurlarında <1000 EMS fekal koliform/1 g KM veya <3 EMS Salmonella/4 g KM seviyelerinde bakteri varlığına izin verilmektedir. B sınıfı arıtma çamurlarında ise fekal koliform sayısının geometrik ortalamasının 2.000.000 EMS /gr KM'den daha az olması istenmektedir [10].

Normal koşullarda 10^5 ila 10^7 EMS/gram (kuru ağırlık) fekal mikroorganizma içeren arıtma çamurunun araziye uygulandığında zamana ve bölgesel iklim koşullarına bağlı olarak içerdiği fekal indikatör mikroorganizmaların azaldığı ve güvenli sınırlara çekildiği yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır [13,14]. Özellikle yaz aylarında patojen mikroorganizmaların yaşama sürelerinin 1 ayı geçmediği, solar etki ile giderildiği tespit edilmiştir [12]. Bu çalışmada da, evsel nitelikli arıtma çamurlarının nihai bertaraf olarak süs bitkilerinde gübre amaçlı yetiştirme ortamı olarak değerlendirilmesi hedeflenerek mikrobiyal açıdan risk değerlendirmesi gerçekleştirilmiş, fekal orjinli bakteri popülasyonunun zamana bağlı değişimi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada kullanılan evsel nitelikli arıtma çamuru, Adapazarı Büyükşehir Belediyesi'ne ait Karaman Evsel Atıksu Arıtma Tesisi'nden temin edilmiştir. Sistem arıtma tipi açısından uzun havalandırmalı aktif çamur sistemi olduğundan arıtmadan çıkan çamur USEPA'ya göre B sınıfı kategorisindedir. Arıtma çamuru tarımsal amaçlı bertaraf risk oluşturmayacak şekilde limit değerleri sağlamanın yanı sıra içerdiği ağır metal seviyeleri bakımından da tarımsal arazide uygulanmasında bir sakınca bulunmamaktadır. Çamur yoğunlaştırma prosesinden sonra belt filtreden çıkan yaklaşık %20 kuru maddeye sahip ham çamur kekleri deneylerde kullanılmıştır. Karışımlarda, toprak ana bileşen, arıtma çamuru gübre sağlayıcı olarak düşünülerek hazırlanan yetiştirme ortamlarında toprağa hacimsel olarak (v/v) %25 ve %50 oranında arıtma çamuru ilave edilmiş ve denemeler 3 tekrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Malzemeler hava kuru olarak karıştırılmıştır. Çamur ilave edilmemiş toprak uygulaması kontrol olarak alınmıştır.

Çalışmada bitkisel materyal olarak bölgede en çok rastlanan iç mekân süs bitkilerinden *Yucca massengena*, *Areca lutescens*, *Chlorophytum comosum*, *Ficus elastica*, *Dieffenbachia maculata*, *Croton petra* ve *Sansevieria trifasciata* kullanılmıştır. Bitkiler 4,5 litrelik saksılara aktarılmış ve iç ortamda tutulmuştur. Bitkilere ek gübreleme yapılmamış sadece kontrollü sulama gerçekleştirilmiştir. Yetiştirme ortamlarından alınan numunelerde, fekal koliform (termotolerant koliform) ve *Escherichia coli* (*E. coli*) tespiti 1,5 ay (6 hafta) boyunca haftalık olarak gerçekleştirilmiş, ilk numune alımı bitkilerin hazırlanan yetiştirme ortamlarına ekimlerinden 2 hafta sonra alınmıştır. Mikrobiyolojik analiz amacıyla alınan numuneler zaman kaybedilmeden işleme tabi tutulmuştur. Kimyasal ve fizikokimyasal analizler için alınan numuneler ise ilk olarak 48 saat 70 °C'de kurutulduktan sonra porselen havanda öğütülen kuru numuneler 2 mm gözenekli elekten geçirilmiş ve elekten geçen kısım analizlerinde kullanılmıştır [15].

Denemede kullanılan arıtma çamurunun kimyasal ve fizikokimyasal özellikleri Çizelge 1’de yer almaktadır. pH, 1:5 (w/v) metoduna göre pH metre ile ölçülmüştür [15,16]. EC, 1:5 (w/v) metoduna uygun olarak sıcaklık dikkate alınarak EC elektrotu ile tespit edilmiştir [15]. Organik madde muhtevası; Walkley-Black metoduna göre % organik maddesinin tespiti ve fırın kuru ağırlık ilkesine göre (LOI) % olarak hesaplanması şeklinde iki farklı metot uygulanarak saptanmıştır [15-17]. Toplam azot içeriği, bileşikler içindeki azotun derişik sülfirik asit ile amonyağa dönüştürülmesi ve amonyağın ortam içinde amonyum sülfat halinde tutulması prensibine dayanan Kjeldahl metodu ile belirlenmiş ve % olarak ifade edilmiştir [15,18]. Fosfor içeriği, Bingham metoduna (suda çözünür P metodu) uygun olarak spektrofotometrik olarak tespit edilmiştir [19]. Potasyum içeriği, ICP (Perkin Emler, Optima 2100 DV) plazma yayım spektroskopisi ile tespit edilmiştir [16].

Çizelge 1. Deneyleerde kullanılan arıtma çamurunun kimyasal ve fizikokimyasal özellikleri

Parametreler	Ortalama
pH	7,6
İletkenlik (mS cm ⁻¹)	1,09
Organik madde (%)	54,6
Kjeldahl azotu (%)	3,34
Fosfor (%)	3,15
Potasyum (%)	0,12
Cd (mg kg ⁻¹)	3,4
Cr (mg kg ⁻¹)	243
Cu (mg kg ⁻¹)	19
Ni (mg kg ⁻¹)	79
Pb (mg kg ⁻¹)	34
Zn (mg kg ⁻¹)	1435

Arıtma çamurundaki toplam ağır metal konsantrasyonlarının tespiti için, 250 mg numune üzerine 6 ml HNO₃ (%65), 1 ml H₂O₂ (%30) eklenerek mikrodalga fırınında (Sorisoİe-Bg İtaly)) 10 dakika 170 °C, 15 dakika 200 °C, 10 dakika 100 °C ve 10 dakika 100 °C olmak üzere toplam 45 dakika yakılmıştır. Numuneler soğutulduktan sonra ultra saf su ile 25 ml’ye tamamlanmış ve ağır metal absorbanları ICP-OES (Spectro Arcos,

Kleve-Germany) spektroskopisinde ölçülmüştür [15].

Mikrobiyolojik analizler, hazır besiyerleri kullanılarak gerçekleştirilmiş, alınan örnekler yeterli seyreltmelerin (x10²) yapılmasının ardından aranan mikroorganizma türüne göre seçici bir besiyeri üzerine yerleştirilmiştir. 35 °C ve 41 °C’lerde 24 saatlik inkübasyonun ardından besiyeri üzerindeki kareler yardımı ile sayım yapılmış, fekal koliform (termotolerant koliform) ve *E. coli* miktarları CFU/1 g (kuru madde) olarak tespit edilmiştir [20,21].

2.1. İstatistiksel Analiz

Uygulama boyunca her bir patojen mikroorganizmanın inaktivasyon oranı log N/No olarak hesaplanmıştır. Burada t=0 anında yaşayan mikroorganizma konsantrasyonu No ve t anındaki konsantrasyonu ise N olarak tanımlanmaktadır. Çalışmada en uygun mikrobiyal inaktivasyon model tipini belirlemek için GİnaFiT inaktivasyon model oluşturma programı kullanılmıştır. *E.coli* ve termotolerant koliform için log-lineer regresyon gerçekleşen inaktivasyon denklemini en uygun inaktivasyon modeli olarak seçilmiştir. En uygun inaktivasyon eğrilerini belirlemede hata kareler ortalaması (RMSE) baz alınmıştır. İnaktivasyon hızı (kmax) değerleri GİnaFiT programından elde edilen en uygun modele ait değerlerdir.

Bitki farklılığına bağlı olarak patojen giderim etkinliği ANOVA analizi ile belirlenmiştir. Bakteri sayıları istatistiki analize tabi tutulmadan önce normallik ve homojenliği sağlamak için Xi=log(ni+1) formülü ile logaritmik tabana dönüştürülmüştür. Her bir bitki ve sürede tespit edilen ortalama değerler asgari önemli fark (LSD) testi ile belirlenmiştir ($p<0,05$).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneyleerde kullanılan arıtma çamurunun başlangıç termotolerant koliform popülasyonu 25x10⁵ CFU/g KM, *E. coli* sayısı ise 15x10⁵ CFU/g KM olarak tespit edilmiştir. Bitkiler temin edildiklerinde mevcut yetiştirme ortamları olan torfun

termotolerant popülasyonu ise 2×10^2 CFU/g KM iken *E. coli*'ye rastlanmamıştır.

7 farklı bitki çeşidi için elde edilen inaktivasyon kinetiği, GInaFiT inaktivasyon model seçimi için geliştirilmiş araç çubuğu kullanılarak belirlenmiştir. *E. coli* ve termotolerant koliform için inaktivasyon kinetiğini belirleyen model her bitki ve çamur ilave oranı için log-lineer model olarak bulunmuştur. (1) nolu inaktivasyon model denklemini en uygun model olarak seçilmiştir.

$$N = N_0 * e^{(-k_{max} * t)} \quad (1)$$

Çizelge 2. %25 arıtma çamuru ilavesinde *E. coli*'nin maksimum inaktivasyon hızı, RMSE değerleri ve giderim verimleri

Bitki çeşidi	k_{max}	RMSE	Verim (%)
<i>Yucca massengena</i>	2,29	2,423	80
<i>Areca lutescens</i>	2,04	2,744	80
<i>Chlorophytum comosum</i>	1,41	1,773	88
<i>Ficus elastica</i>	1,71	2,129	93
<i>Dieffenbachia maculata</i>	1,49	1,385	79
<i>Croton petra</i>	2,03	2,05	91
<i>Sansevieria trifasciata</i>	1,26	1,368	95

Bu denkleme göre %25 arıtma çamuru ilavesinde tüm bitkilerdeki *E. coli* giderimi benzerlik göstermiştir. %25 arıtma çamuru ilavesinde *E. coli* ve termotolerant koliformların farklı süs bitkilerindeki inaktivasyonları Şekil 1'de verilmiştir. %25 arıtma çamuru uygulamasında, farklı bitki çeşitlerinin zamana bağlı *E. coli* maksimum inaktivasyon hızları Çizelge 2'de verilmiştir. En yüksek giderim verimi (%95) *Sansevieria trifasciata* bitkisinde tespit edilmiş, deneyin başlangıcında $20 \log_{10}$ CFU/g KM olarak ölçülen *E. coli* sayısı 6 haftalık deney süresinin sonunda $1 \log_{10}$ CFU/g KM'ye düşmüştür (Çizelge 2, Şekil 1). Bu bitkiyi takiben en yüksek giderim verimi (%93) *Ficus elastica* bitkisinde tespit edilmiş, *E. coli* popülasyonu $28 \log_{10}$ CFU/g KM'den $2 \log_{10}$ CFU/g KM'ye düşmüştür. *Croton petra* bitkisi de yüksek *E. coli* giderim verimi (%91) sergilemiş deney sürecinde *E. coli* popülasyonu $32 \log_{10}$ CFU/g KM'den $3 \log_{10}$ CFU/g KM'ye azalmıştır (Şekil 1). Tüm bitkiler genel olarak incelendiğinde zamana bağlı en

yüksek *E. coli* inaktivasyonu 5. haftada belirlenmiş, bu dönemde *E. coli* popülasyonunda en yüksek inaktivasyonlar elde edilmiştir (%44-71). Deneyin devam eden günlerinde ise giderim verimi azalmıştır (%20-50) (Şekil 1).

Çalışmada maksimum inaktivasyon hızı 2,29 ile *Yucca massengena* bitkisinde tespit edilmiştir. Bitki çeşitlerine bağlı olarak maksimum inaktivasyon hızları arasındaki ilişki göz önüne alındığında, istatistiksel olarak *Areca lutescens* ve *Croton petra*'daki k_{max} değerleri arasında benzerlik tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda çeşitli bitki profillerinde belirlenen *E. coli* sayısı zamana bağlı olarak hızlı bir azalış göstermiştir. Lineer regresyon analizlerinde de *E. coli*'nin logaritmik sayısında bitki çeşidi ve bekleme süresi ile ilişkili olarak büyük bir azalma olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 3. %50 arıtma çamuru ilavesinde *E. coli*'nin maksimum inaktivasyon hızı, RMSE değerleri ve giderim verimleri

Bitki çeşidi	k_{max}	RMSE	Verim (%)
<i>Yucca massengena</i>	2,85	0,905	47
<i>Areca lutescens</i>	2,15	1,555	38
<i>Chlorophytum comosum</i>	1,75	2,697	47
<i>Ficus elastica</i>	2,06	1,555	50
<i>Dieffenbachia maculata</i>	1,80	1,708	46
<i>Croton petra</i>	2,35	1,902	49
<i>Sansevieria trifasciata</i>	1,63	1,348	56

%50 arıtma çamuru uygulamasında, farklı bitki çeşitlerinin zamana bağlı *E. coli* maksimum inaktivasyon hızları Çizelge 3'de verilmiştir. %50 arıtma çamuru ilavesinde *E. coli* ve termotolerant koliformların farklı süs bitkilerindeki inaktivasyonları Şekil 2'de verilmiştir. %50 arıtma çamuru ilavesinde en yüksek giderim verimi (%56) *Sansevieria trifasciata* bitkisinde olmuş, deneyin başlangıcında $45 \log_{10}$ CFU/g KM olarak ölçülen mikroorganizma sayısı deney süresinin sonunda $20 \log_{10}$ CFU/g KM'ye düşmüştür. Bu bitkiyi takiben en yüksek inaktivasyon verimleri sırasıyla *Ficus elastica* (%50) ve *Croton petra* (%49) bitkilerinde saptanmıştır. *Chlorophytum comosum* ve *Yucca massengena* bitkilerinde ise aynı giderim verimleri tespit edilmiştir (%47) (Çizelge 3, Şekil 2).

Bitkiler genel olarak incelendiğinde zamana bağlı en yüksek *E. coli* inaktivasyonu bitkiden bitkiye farklılık göstermiştir. Çalışmada maksimum inaktivasyon hızı 2,85 ile *Yucca massengena* bitkisinde tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda bitki çeşitlerinde belirlenen *E. coli* sayısı zamana bağlı olarak yavaş bir azalış göstermiş, giderim verimleri çok yüksek tespit edilmemiştir (%38-56) (Şekil 2). Lineer regresyon analizlerinde de *E. coli*'nin logaritmik sayısında, bitki çeşidi ve uygulama süresi ile ilişkili olarak yavaş bir azalma olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4. %25 arıtma çamuru ilavesinde termotolerant koliformun maksimum inaktivasyon hızı, RMSE değerleri ve giderim verimleri

Bitki çeşidi	k_{max}	RMSE	Verim (%)
<i>Yucca massengena</i>	7,73	9,211	89
<i>Areca lutescens</i>	6,55	6,312	91
<i>Chlorophytum comosum</i>	4,61	5,601	92
<i>Ficus elastica</i>	4,57	3,643	90
<i>Dieffenbachia maculata</i>	5,16	2,403	90
<i>Croton petra</i>	6,80	7,367	90
<i>Sansevieria trifasciata</i>	3,55	2,129	93

%25 arıtma çamuru ilavesinde en yüksek giderim verimi (%93) *E. coli* ile benzer şekilde *Sansevieria trifasciata* bitkisinde tespit edilmiş, deneyin başlangıcında 60 log₁₀ CFU/g KM olarak ölçülen mikroorganizma sayısı 6 haftalık deney süresinin sonunda 4 log₁₀ CFU/g KM'ye düşmüştür. Bu bitkiyi takiben en yüksek inaktivasyon verimleri sırasıyla *Chlorophytum comosum* (%92) ve *Areca lutescens* (%91) bitkilerinde saptanmıştır. *Ficus elastica*, *Dieffenbachia maculata* ve *Croton petra* bitkilerinde ise benzer giderim verimleri tespit edilmiştir (%90). Tüm bitkilerdeki termotolerant koliform giderimi ise benzerlik göstermiştir (Çizelge 4, Şekil 1).

Bitkiler genel olarak incelendiğinde zamana bağlı en yüksek termotolerant koliform inaktivasyonu *E. coli*'den farklı olarak 6. haftada belirlenmiş, bu dönemde tüm bitkilerde en yüksek inaktivasyonlar elde edilmiştir (%44-71) (Şekil 1). *E. coli*

popülasyonları için yeterli gelen 5 haftalık sürede termotolerant koliformların giderilmesi için yeterli gelmemiş, bu fekal mikroorganizmaların büyük oranda (>%90) inaktivasyonları için 6 hafta gerekli görülmüştür (Şekil 1). %25 arıtma çamuru uygulamasında, farklı bitki çeşitlerinin zamana bağlı termotolerant koliform maksimum inaktivasyon hızları Çizelge 4'de verilmiştir. Çalışmada maksimum inaktivasyon hızı 7,73 ile *Yucca massengena* bitkisinde tespit edilmiştir.

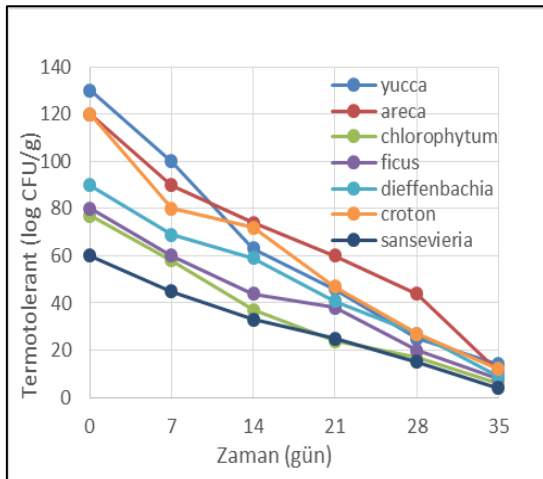
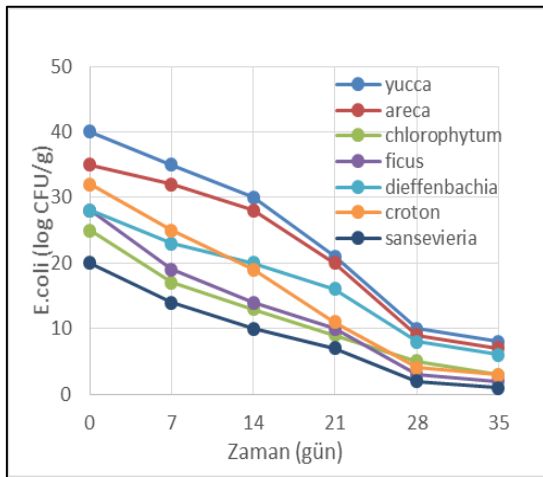
Elde edilen sonuçlar doğrultusunda bitki çeşitlerinde belirlenen termotolerant koliform sayısı zamana bağlı olarak hızlı bir azalış göstermiştir. Lineer regresyon analizlerinde de termotolerant koliform'un logaritmik sayısında, bitki çeşidi ve uygulama süresi ile ilişkili olarak büyük bir azalma olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 5. %50 arıtma çamuru ilavesinde termotolerant koliformun maksimum inaktivasyon hızı, RMSE değerleri ve giderim verimleri

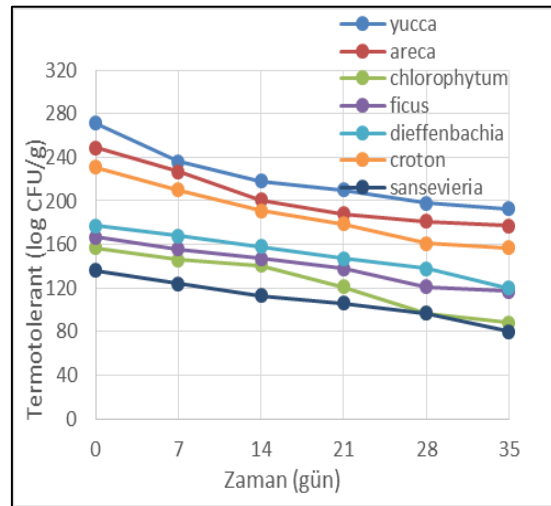
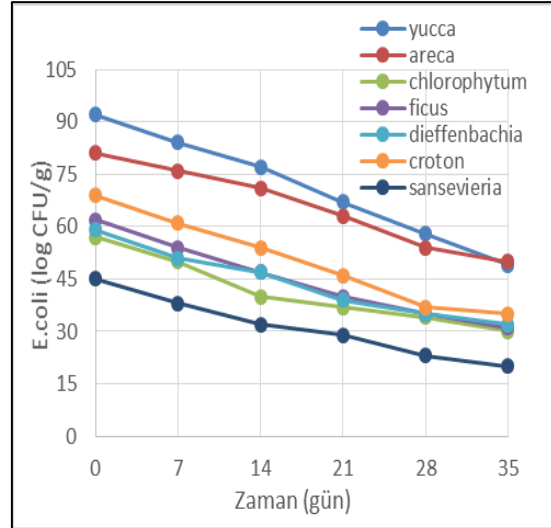
Bitki çeşidi	k_{max}	RMSE	Verim (%)
<i>Yucca massengena</i>	4,81	10,284	29
<i>Areca lutescens</i>	4,80	9,307	29
<i>Chlorophytum comosum</i>	4,81	6,022	44
<i>Ficus elastica</i>	3,42	2,702	30
<i>Dieffenbachia maculata</i>	3,63	2,776	32
<i>Croton petra</i>	4,97	5,364	32
<i>Sansevieria trifasciata</i>	3,46	2,678	41

%50 arıtma çamuru uygulamasında, farklı bitki çeşitlerinin zamana bağlı termotolerant koliform maksimum inaktivasyon hızları Çizelge 5'de verilmiştir. %50 arıtma çamuru ilavesinde en yüksek giderim verimi (%44) *Chlorophytum comosum* bitkisinde olmuş, deneyin başlangıcında 157 log₁₀ CFU/g KM olarak ölçülen mikroorganizma sayısı deney süresinin sonunda 88 log₁₀ CFU/g KM'ye düşmüştür. Bu bitkiyi takiben en yüksek inaktivasyon verimleri sırasıyla *Sansevieria trifasciata* (%41) ve *Croton petra* (%32) bitkilerinde saptanmıştır. *Areca lutescens* ve *Yucca massengena* bitkilerinde ise aynı giderim verimleri tespit edilmiştir (%29) (Çizelge 5, Şekil 2).

Bitkiler genel olarak incelendiğinde zamana bağlı en yüksek termotolerant koliform inaktivasyonu bitkiden bitkiye farklılık göstermiştir. Çalışmada maksimum inaktivasyon hızı 4,97 ile *Croton petra* bitkisinde tespit edilmiştir (Şekil 2). Elde edilen sonuçlar doğrultusunda bitki çeşitlerinde belirlenen termotolerant koliform sayısı zamana bağlı olarak yavaş bir azalış göstermiş, giderim verimleri çok yüksek tespit edilmemiştir (%29-44) (Şekil 2). Lineer regresyon analizlerinde de termotolerant koliform'un logaritmik sayısında, bitki çeşidi ve uygulama süresi ile ilişkili olarak yavaş bir azalma olduğu gözlenmiştir.



Şekil 1. %25 arıtma çamuru ilavesinde *E. coli* ve termotolerant koliformların farklı süs bitkilerindeki inaktivasyonları



Şekil 2. %50 arıtma çamuru ilavesinde *E. coli* ve termotolerant koliformların farklı süs bitkilerindeki inaktivasyonları

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada başlıca indikatör mikroorganizmalardan *E. coli* ve termotolerant koliform'un süs bitkisi toprağına ilave edilerek bekleme süresine bağlı her bir bitki çeşidi için elde edilen inaktivasyon kinetikleri belirlenmiştir. İncelenen mikroorganizmaların popülasyonlarının sayılarındaki azalma zaman ile pozitif korelasyon gösterirken, bitkiden bitkiye çeşitlilik sergilemiştir.

E. coli gideriminde çeşitli parametrelerin etkin olduğu aşıkardır. Bu çalışmada zamana bağlı giderim verimliliği farklı süs bitkileri bazında ele alınmış olsa da sıcaklığın fekal indikatör mikroorganizma giderimi üzerindeki baskın etkisini destekleyecek çalışmalarda gerçekleştirilmiş bilhassa topraktaki CO₂ seviyesindeki artışların da patojen yıkım veriminde etkili olduğu ispatlanmıştır [22,23]. Deney sürecinde iç mekân sıcaklık değerlerinde çok büyük değişimler gerçekleşmemiş, ortam sıcaklığı sabit tutulmuştur (21 °C). Buna bağlı olarak mikroorganizma gideriminin sıcaklıktan ziyade bekleme süresi ve çamurda gerçekleşen biyokimyasal etkileşimler gibi diğer faktörlere bağlı olarak gerçekleştiği düşünülebilir. Anaerobik koşulların oluşması ile beraber ortamda oluşan CO₂ ve mikrobiyal türler arasındaki rekabet patojen gideriminde etkilidir. Bunun yanı sıra bitkilerin köklerinden salgıladıkları organik asitler ile kök bölgesini asitlendirmeleri, patojen gideriminde önemli bir parametredir. Ancak termotolerant koliform sayısındaki bu düşük azalış, ortama adaptasyon gösteren fraksiyonunun varlığını devam ettirmesine bağlanmıştır. Sonuç olarak B sınıfı standartları sahip arıtma çamuru, A sınıfı özelliklere kavuşmuş, süs bitkisi toprağı kullanımına yönelik bir sakınca oluşturmamasının yanı sıra insan tüketimine yönelik ürünlerin yetiştirilmesinde de güvenle kullanılabilceğı ispatlanmıştır.

5. KAYNAKLAR

1. Arıkan, O.A., Öztürk, İ., 2005. Arıtma Çamuru Kompostlaştırılmasında Organik Evsel Katı Atık İlavesinin Etkisi, İTÜ Dergisi/d, 4(1): 15-24.
2. Uzun, P., Bilgili, U., 2011. Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılma Olanakları. U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 25(2): 135-146.
3. Demirkan, Ç.G., Akat, H., Yokaş, İ., 2014. Atık Su Arıtma Çamurunun *Clarkia amoena* (yer açelyası) Türünde Bitki Gelişimi ve Çiçeklenme Üzerine Etkisi, U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 28(2): 49-57.
4. Bozdoğan, E., Çetinkale, G., Söğüt, Z., 2009. Atık Su Arıtma Çamurlarının Yeniden Kullanımları, Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi-UKAY, 334-342, Eskişehir.
5. Akat, H., Demirkan, Ç.G., Yokaş, İ., 2013. Atık Çamurun '*Matthiola incana*' Yetiştiriciliğinde Bitki Gelişimi ve Kalite Üzerine Etkisi, 5. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi, 508-520, Kocaeli.
6. Demirkan, Ç.G., Akat, H., Yokaş, İ., 2013. Atık Çamurun Kapak Malzemesi Olarak Kullanımının Bazı Çim Türlerine Etkisi, V. Süs Bitkileri Kongresi, Yalova.
7. Akat, H., Demirkan, Ç.G., Akat, Ö., Yokaş, İ., 2015. *Limonium sinuatum* Yetiştiriciliğinde Farklı Ortamlara İlave Edilen Atık Su Arıtma Çamurunun Süs Bitkisi Yetiştirme Materyali Karışımı Olarak Kullanımı, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 12(1): 81-90.
8. Yaman, K. ve Olhan, E., 2011. Arıtma Çamuru Kullanımının Buğdayın Verim, Fiziki Girdi ve Maliyetleri Üzerindeki Etkisi, Tarım Bilimleri Dergisi, 17: 157-166.
9. Önal, K.M., Topçuoğlu, B., Arı, N., 2003. Toprağa Uygulanan Kentsel Arıtma Çamurunun Domates Bitkisine Etkisi, II. Gelişme ve Meyve Özellikleri ile Meyvede Mineral İçerikleri, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16(1): 97-106.
10. Dede, G., 2016. Biyokatıların Mera Islahında Değerlendirilmesi-Risk Potansiyeli, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 6(1): 168-173.
11. Cabaret, J., Geerts, S., Madeline, M., Ballandonne, C., Barbier, D., 2002. The Use of Urban Sewage Sludge on Pastures: The Cysticercosis Threat, Vet. Res., 33: 575-597.
12. Serrao, M.G., Domingues, H., Fernandes, M., Martins, J., Pires, F., Saraiva, I., Fareleira, P., Matos, N., Ferreira, E., Campos, A.M., 2009. Contribution to the Improvement of Degraded Soils Under Pastures Through Sewage Sludge Application, Without Environmental Risks, Rev. Cien. Agric., 32: 258-272.
13. Serrao, M.G., Martins, J.C., Fareleira, P., Branco M.A.C., Varela, A., Domingues, H., Fernandes, M., Pires, F., Guerreiro, A., Ramos, J., 2010. Impact of Sewage Sludge and Mineral Fertilizers Application in Soils Under Pasture

- from the Alentejo Region, Rev. Cien. Agric., 33: 139-149.
14. Famens, G.J., Waldron, A.M., 2008. Salmonella Uptake in Sheep Exposed to Pastures After Biosolids Application to Agricultural Land, Aust. J. Soil Res., 46: 302-308.
 15. Kalra, Y.P., Maynard, D.G., 1991. Methods Manual for Forest Soil and Plant Analysis, Forestry Canada, Northwest Region, Northern forest Centre, Edmonton, Alberta, Information Report NOR-X319.
 16. Ryan, J., Estefan, G., Rashid, A., 2001. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. Second Edition. Jointly Published by the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) and the National Agricultural Research Center (NARC), Available from ICARDA, Aleppo, Syria.
 17. Schulte, E.E., 2009. Recommended Soil Organic Matter Tests, Chapter 8. University of Delaware Cooperative Extension, College of Agriculture & Natural Resources.
 18. Craft, C.B., Seneca, E.D., Broome, S.W., 1991. Loss on Ignition and Kjeldahl Digestion for Estimating Organic Carbon and Total Nitrogen in Estuarine Marsh Soils: Calibration with Dry Combustion, Estuaries, Vol. 14, No. 2, 75-179.
 19. Pierzynski, G.M., 2000. Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals, and Waters, Southern Cooperative Series Bulletin, No. 396, June.
 20. ISO 9308-1, 2014. Water quality - Detection and Enumeration of *Escherichia Coli* and Coliform Bacteria, Part- 1: Membran Filtration Method.
 21. ISO 16649-2, 2001. Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs-Horizontal Method for the Enumeration of Beta-Glucuronidase-Positive *E. coli*. Part 2: Colony-Count Technique at 44 Degrees C Using 5-Bromo-4-Chloro-3-Indolyl Beta-D-Glucuronide.
 22. Emmoth, E., Dergel, I., McNeilly, F., Allan, G.M., Albiñ, A., Klingeborn, B., 2004. Heat Inactivation of Porcine Circovirus type 2, 11th International Conference Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture, Murcia, Spain.
 23. Jones, K., 2001. Campylobacter in Water, Sewage and the Environment, J Appl Microbiol., 90: 68-79.

Stator Feedforward Voltage Estimation Based Sensorless Permanent Magnet Synchronous Generator Drive using Multi-Parameter Estimation Based on MRAS

Ömer Cihan KIVANÇ¹, Salih Barış ÖZTÜRK^{*1}

¹*Okan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul*

Geliş tarihi: 17.05.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Abstract

A simple and efficient position sensorless control method based on feedforward voltage estimation for PMSG improved with multi-parameter estimation using MRAS is proposed in this paper. The dynamically enhanced stator feedforward dq-axes voltages that are derived from steady-state PMSG model are modified for the sensorless drive. In direct-drive wind turbine systems, because of low back-EMF amplitude in the generator output at very low speed operation, the rotor flux linkage cannot be predicted correctly. Vector control is often used in PMSG control, because it has a simple structure and is suitable for various industrial systems. In the power equation, maximum power is obtained as a function of torque and speed. In the proposed method, a variable-speed wind turbine system with back to back converter structure is connected to common DC-link. In this paper, the proposed sensorless control scheme has been implemented with 1 kW PMSG drive controlled by a TMS320F28335 DSP for low speed at 0.1 p.u. (300 rpm) is achieved under multi-parameter variations.

Keywords: Model reference adaptive system (MRAS), PMSG, Sensorless control, Feedforward voltage estimation, Multi-parameter estimation

MRAS Tabanlı Çoklu-Parametre Tahmini ile Güçlendirilmiş İleri Beslemeli Stator Gerilim Tahminine Dayanan Sensörsüz Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatör Kontrolü

Öz

Bu makalede MRAS tabanlı çoklu-parametre tahmini ile güçlendirilmiş ileri beslemeli stator gerilim tahminine dayanan basit ve verimli bir sensörsüz sürekli mıknatıslı senkron generatör (SMSG) kontrol metodu geliştirilmiştir. Sürekli mıknatıslı senkron generatörün sürekli hal dq-ekseni stator gerilim eşitlikleri önerilen kontrol metoduna uygun olarak ileri beslemeli stator gerilim eşitlikleri haline

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Salih Barış ÖZTÜRK, baris.ozturk@okan.edu.tr

dönüştürülmektedir. Çeşitli endüstriyel uygulamalar için uygun ve basit bir yapısı olması nedeniyle SMSG'nin kontrolünde vektör kontrol sıkça kullanılmaktadır. Güç eşitliğinde maksimum güç, moment ve hızın bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Önerilen yöntemde, arka arkaya bağlı konvertör yapısına sahip değişken hızlı rüzgar türbini sistemi, ortak DC-baraya bağlanmıştır. Bu makalede, önerilen sensörsüz kontrol metodu TMS320F28335 DSP tarafından kontrol edilen 1 kW PMSG sürücü ile gerçek zamanlı deneysel olarak nominal hızın %10'u (300 rpm) değerindeki düşük hızda çoklu parametre değişimi altında başarı ile gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Model referans adaptif sistem (MRAS), SMSG, Sensörsüz kontrol, İleri beslemeli gerilim tahmini, Çoklu parametre tahmini

1. INTRODUCTION

The difference between fossil energy sources and demanded energy needs is rapidly increasing. This increase leads to alternative search and solutions in energy production. With the integration of smart grid to energy production at the macro level, individual energy production is supported by companies and governments [1]. Utilization of the wind turbines in small energy production is increasing rapidly. In US, the small wind turbine market shares in 2014 reached \$60 million. In England, energy capacity of wind turbines ranging between 0 and 1.5 kW is recorded as 1.84 MW in 2013. In small wind turbines, Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) is preferred for high performance, high power density, reliability, and high efficiency. The outer rotor and the inner rotor PMS generators that have axial flow direction are used in various industries with wide power ranges as direct-drive [2]. In small PMSG systems that generate less than or equal 10 kW power, there is no need for gearbox and the connection can be made directly to the turbine [2–10]. This is an important factor lowering the cost in small wind turbine systems [8–10]. PMSG is suitable for wind power generation allowing maximum power generation in a wide speed range and at different wind speeds [11]. Efficient wind turbine system can be constructed by adjusting the speed of the generator shaft optimally for variable wind speeds at maximum power operating point [12]. In variable-speed PMSG control, it is required to know the rotor position information and wind speed [13]. Because the working conditions of the turbine changes so often, changes in speed and torque reduce the control

performance. Moreover, in order to ensure power generation at wide speed range, sensitive and high resolution position control is performed by encoder, resolver or hall sensors. On the other hand, sensorless PMSG control can be accomplished without using position sensors [10]. In the control of PMSGs, with the elimination of the position sensor, cost, maintenance and robustness problems of the overall system are reduced [8–10]. Because no initial position problem and operating at flux-weakening region exist, sensorless control is a significant cost reductive solution for the control of PMSG drives. Determining the wind speed and rotor position can be accomplished with the methods which are Direct Torque Control (DTC), Model Reference Adaptive System (MRAS), and Sliding Mode Observer (SMO) depending on back-EMF prediction [8, 14–18]. Because these methods are often affected by parameter variation and cause loss of stability at low speeds, they have severe disadvantages in sensorless PMSG control [19–21]. Moreover, because of complex calculation and the difficulty of adjusting control parameters, the methods like EKF, FL and ANN are not preferred in industrial applications [9, 22–27]. Since the amplitude of the back-EMF is poor and fluctuates at low generator operating speeds in sensorless control algorithms that are based on back-EMF estimation, it is difficult to predict the rotor position [28]. Thus, stability of the entire system can be increased and efficient and stable power generation can be achieved at lower speeds. In order to provide parameter adaptation in sensorless control methods, rotor flux linkage estimation and stator resistance adaptation are performed with MRAS, observer based methods, and genetic algorithms [28–32].

In this study, in order to obtain the position and speed information of the driven PMSG directly, feedforward voltage estimation method is suggested. With the proposed method even in the situations where the wind speed is low, it is ensured that a superior PMSG control performance is achieved compared to other sensorless control methods based on back-EMF prediction. Because the rotor flux and the stator resistance undergo a change due to the effects of the loss of magnetic properties of magnets and temperature rise, a highly efficient control is ensured by estimating the rotor flux linkage and stator resistance using MRAS observer [30–34]. In this study, in order to get the maximum efficiency from PMSG, MPPT curve of the wind turbine is obtained in the real system. Active power reference that is required for power control is obtained from this curve after predicting the generator speed. Compared to other position sensorless control algorithms in which the majority of the methods require rotor position estimation first and then the speed is obtained by derivation of the position, in the proposed method primarily the speed is estimated, the position is then estimated with the help of a simple integration and first degree low pass filter without using any derivative term.

This paper is organized as follows. The principle of PMSG and proposed sensorless control method and MPPT studies are presented in Section 2. In Section 3, MRAS method is presented for estimation of stator flux linkage and stator resistance. In Section 4, the proposed speed sensorless control scheme based on MRAS has been implemented with 1 kW PMSG drive controlled by a TMS320F28335 DSP. The hardware implementation and experimental results of the proposed sensorless PM synchronous generator drive including steady-state load disturbance are presented and discussed. Experimental results demonstrate the feasibility and effectiveness of the proposed stator feedforward voltage estimation (FFVE) based position sensorless control scheme improved by MRAS multi-parameter estimation for permanent magnet synchronous generator under various load condition.

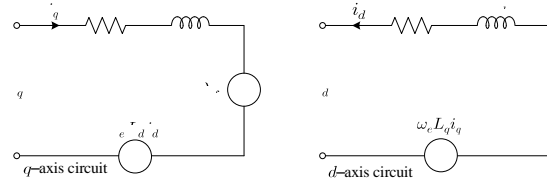


Figure 1. Equivalent electrical circuit diagrams of quadrature q- and d- axes synchronous reference frame of PMSG

2. PROPOSED SENSORLESS CONTROL METHOD AND MPPT STUDIES

The dq model in the rotating synchronous reference frame is used to analyze the PMSG for the proposed speed and position estimations, as shown in Figure 1. The stator voltage equations of the PMSG in the rotating dq reference frame are given by Eq. (1) and Eq. (2), omitting the influences of magnetic field saturation and magnetic hysteresis as

$$v_q = i_q R_s + L_q \frac{di_q}{dt} + (\omega_e L_d i_d + \omega_e \lambda_f) \quad (1)$$

$$v_d = i_d R_s + L_d \frac{di_d}{dt} - \omega_e L_q i_q \quad (2)$$

where v_d , v_q , i_d , i_q are the stator d- and q-axes voltages and currents in the rotor reference frame, respectively; R_s is the stator winding resistance; L_d and L_q denote the d- and q-axes inductance, respectively; ω_e is the rotor angular electrical velocity; and λ_f is the flux linkage due to the permanent magnet rotor flux [35, 36]. The steady-state form of dq-axes stator voltage equations can be derived from Eq. (3) and Eq. (4) by making derivative terms equal to zero in each equation as

$$v_q = i_q R_s + (\omega_e L_d i_d + \omega_e \lambda_f) \quad (3)$$

$$v_d = i_d R_s - \omega_e L_q i_q \quad (4)$$

2.1. Wind Turbine Characteristics and MPPT Algorithm Based on Indirect Speed Control

The energy produced in wind turbine systems is not only based on the turbine characteristics, but also based on the control method. Output mechanical power of wind turbine is shown as

$$P_{tur} = P_{wind} C_p = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v_w^3 C_p(\lambda, \beta) \quad (5)$$

where ρ is the air density, r is the radius of wind turbine rotor plane, πr^2 is the area swept by the blades, v_w is the wind speed, C_p is the turbine power coefficient, λ is the tip-speed ratio, and β is the pitch angle. In small wind turbines, fixed pitch angle is used because of cost and restrictions. Thus, in Eq. (4), $\beta=0$ is assumed. The aerodynamic model of a wind turbine can be characterized by the well-known $C_p(\lambda, \beta)$ curves. λ is defined by

$$\lambda = \frac{\text{Tip Speed}}{\text{Wind Speed}} = \frac{\omega_e r}{v_w} \quad (6)$$

Considering the relationship between λ and C_p as the speed changes for a given wind velocity, there is a unique turbine speed which gives the maximum output power. The peak power for each wind speeds occurs at the point where C_p is maximum. In order to maximize the generated power, it is desirable for the generator to have a power characteristic that follows the maximum C_p curve [18]. C_p is the sixth order polynomial of the tip-speed ratio. C_p curve is modeled based on the sixth order polynomial expression [16]. Curve fitting is a good approximation for wide wind speed values between 2 m/s and 15 m/s. The results of the C_p vs. tip speed ratio λ simulation is shown in Figure 2.

$$C_p(\lambda) = \lambda \left(c_0 + \sum_{i=1}^{i=6} c_i \lambda_i \right) \quad (7)$$

$$C_p(\lambda) = c_1 \left(\frac{c_2}{\lambda_i} - c_3 \beta - c_4 \right) e^{-\frac{c_5}{\lambda_i}} + c_6 \lambda_i \quad (8)$$

The $C_p(\lambda)$ curves expressed in Eq. (7) and Eq. (8) depend on the blade design and are given by the wind turbine characteristic [13].

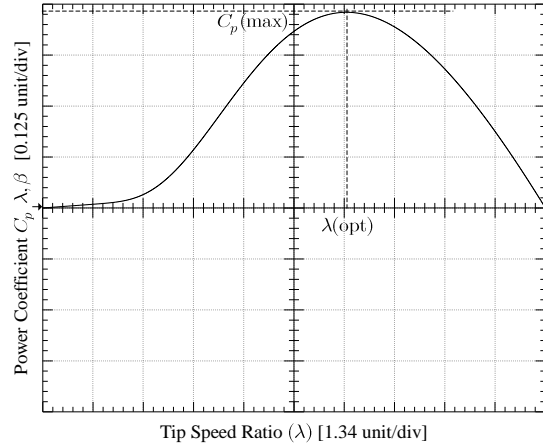


Figure 2. Power coefficient and tip speed ratio curve

The purpose of the proposed sensorless MPPT algorithms is to control the shaft speed of the PMSG to maintain the optimal tip-speed ratio without the knowledge of the PMSG rotor speed and wind speed. In the literature, researchers recommended various methods for sensorless control of PMSG with MPPT control. Optimal torque control, perturbation and observation control, fuzzy logic control and some genetic algorithms are certain methods.

In this study, torque reference is provided by reference speed command called indirect speed control with MPPT [37].

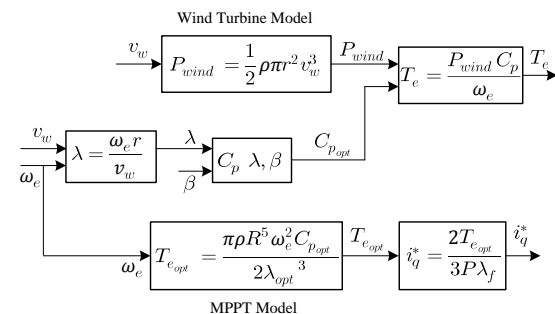


Figure 3. Block diagram of MPPT control algorithm

The prediction of wind speed and rotor speed are important parameters for maximum power output. To obtain maximum active power for variable wind speed, λ_{opt} can be calculated from the roots of the derivative of the polynomial in Eq. (8). Then, based on the reference wind speed v_w the corresponding optimal generator speed is obtained. Figure 2 shows that the proposed MPPT algorithm is based on the reference wind turbine. The equation Eq. (9) shows torque calculation based on P_{wind} and C_p .

$$T_e = \frac{3p}{2} \lambda_f i_q = \frac{P_{wind} C_p}{\omega_e} \quad (9)$$

Reference current is generated from the outer voltage loop via regulating the DC-link voltage based on control error. In both voltage control loops, the PI feedback controllers are enhanced simply by robust control scheme, as shown in Figure 3 to yield good dynamic performance. Reference current is generated based on the specific wind speed with MPPT mechanism. In order to produce maximum DC-power in DC-link at variable speeds, proposed sensorless control method that is capable of obtaining precise position estimation at different wind speeds is proposed.

$$T_{e_{opt}} = \frac{\pi p R^5 \omega_e^2 C_{p_{opt}}}{2 \lambda_{opt}^3} \quad (10)$$

$$i_q^* = \frac{2 T_{e_{opt}}}{3 p \lambda_f} = \frac{\pi C_{p_{opt}} R^5 \omega_e^2}{3 p \lambda_f \lambda_{opt}^3} \quad (11)$$

The equations Eq. (10) and Eq. (11) show optimal torque and optimal q-axis current command that are given as reference variable wind speed.

dq-axes stator feedforward voltages are normally used in the FOC of AC machines at the output of the inner dq-axes PI current regulators to enhanced the dynamic performance of the machine [38]. In this method, feedforward voltages are not only used for the dynamic performance improvements, but also used to achieve a simple

but effective position sensorless speed control of PMSG drive.

It is visible that stator d- and q-axes currents can be controlled by the d- and q-axes voltages and speed ω using Eq. (12) and Eq. (13). The control principle is adopted where the current in q-axis is controlled by speed of rotation or frequency of stator voltage applied to q-axis winding [19]. The amplitude of q-axis voltage is obtained by neglecting the derivative term and assuming that real currents closely follow reference values $i_q = i_q^*$ and $i_d = i_d^*$ (reference values are marked with * in the superscript and hat ^ above is the symbol indicates estimates) [38]. Below are the modified stator feedforward voltage equations for the proposed speed sensorless scheme given in dq reference frame,

$$v_q^* = i_q^* \hat{R}_s + (\omega_e L_d i_d^* + \omega_e \hat{\lambda}_f) + K \Delta v \quad (12)$$

$$v_d^* = i_d^* \hat{R}_s - \omega_e L_q i_q^* + \Delta v \quad (13)$$

where Δv is the output of the d-axis PI current regulator and ω_e is the output of the q-axis PI current regulator. Δv is multiplied by gain K and added to q-axis voltage equation v_q^* representing the part of the derivative term in the dynamic voltage equation given in (1). Similarly, Δv term in Eq. (12) also acts as the derivative representation given in Eq. (2) for achieving a better transient response in the sensorless operation.

The dq frame stator voltages given in Eq. (12) and Eq. (13) are obtained by modifying the dynamic machine model and used as the basic reference signals to control the PM machine without requiring a position sensor. The signals depend on machine parameters. At any operating point, the machine itself determines the required voltages at its terminal by letting the inverter duplicate the voltages. This process is so called as self-control. The components of the dq frame voltage reference signals given in Eq. (12) and Eq. (13) are derived from Eq. (1) and Eq. (2), respectively under the assumption of steady-state conditions where

derivative terms are replaced with the regulator correction terms and a relevant gain.

In stator voltage estimation, stator resistance is arranged depending on the error between reference d-axis current and feedback d-axis current component. Since the stator resistance variation has a minimal effect on the control, the method provides high dynamic control capability. Moreover, q-axis current is controlled by speed feedback. The method proposed by Okuyama et al. [39] has been applied for induction machine. The variation of the rotor flux linkage is estimated by observer and updated online. According to the proposed method based on stator voltage estimation, the voltage signal is added to v_q as a feedforward signal. In this study, a high performance sensorless operation is performed in a wide speed range without using high-frequency signal injection. In speed estimation, Δv is taken as the reference which varies proportional to speed. In the proposed method, while the stator resistance change effects are not taken into consideration continuously, the rotor flux linkage variation determines the performance of the proposed control method [33, 40]. The rotor flux linkage is controlled by an additional feedforward voltage signal. K value is a gain which is determined based on the variable speed region. Start-up performance of the generator relies on K value that should be fixed properly as an important parameter in the proposed sensorless control.

Note that estimation of rotor speed $\hat{\omega}_r$ is obtained by passing ω_e obtained from output of the PI current regulator in q-axis through a first order filter. The time constant of the filter depends on the overall system mechanical characteristics and heavily affects the dynamics and stability of the sensorless control scheme.

3. ROTOR FLUX LINKAGE AND STATOR RESISTANCE ESTIMATOR BASED ON MRAS

PMSG motor parameters vary depending on temperature, frequency, load conditions and work

zone [41, 42]. In order to eliminate the effects of parameter changes, an MRAS observer structure is suggested for the proposed sensorless control scheme. While the rotor position errors occur from stator resistance change at low speeds, this problem is eliminated with multi-parameter estimation; the effects of the rotor flux linkage change caused from permanent magnets are also eliminated [43–45].

A high performance PI regulator is used for PMSM sensorless speed control; for low speeds and transients an adaptive MRAS observer is used, as shown in Figure 4. In addition to rotor flux linkage and stator resistance change, feedforward voltage estimation method is used together with MRAS in order to eliminate disturbance effects in position estimation. Principally, MRAS depends on the principle that reference and estimation models are compared and the obtained error is regulated by an adaptive model until stability is achieved [46].

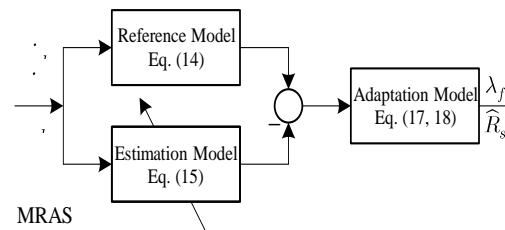


Figure 4. MRAS principle block diagram

MRAS adaptation mechanism estimates slowly varying parameters based on the hyperstability theory [47]. In the proposed method, MRAS is superior to feedforward voltage estimation. It provides prevention of disruptive effects caused from parameter variation. MRAS basic equation consists of feedforward linear model and non-linear feedback components. G_1 and G_2 coefficient in G matrix ensures feedforward linear model to be a positive and real number [48]. Non-linear block is solved according to POPOV integral equation. Equations for reference and estimation models shown in Figure 4 are expressed in Eq. (14) and Eq. (15), respectively.

$$\begin{bmatrix} \frac{di_q}{dt} \\ \frac{di_d}{dt} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{-R_s}{L_q} & \frac{-L_d}{L_q} \omega_e \\ \frac{L_q}{L_d} \omega_e & \frac{-R_s}{L_d} \end{bmatrix}}_A \begin{bmatrix} i_q \\ i_d \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{1}{L_q} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_d} \end{bmatrix}}_B \begin{bmatrix} v_q \\ v_d \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{-\lambda_f}{L_q} \omega_e \\ 0 \end{bmatrix}}_C \quad (14)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{d\hat{i}_q}{dt} \\ \frac{d\hat{i}_d}{dt} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{-\hat{R}_s}{L_q} & \frac{-L_d}{L_q} \omega_e \\ \frac{L_q}{L_d} \omega_e & \frac{-\hat{R}_s}{L_d} \end{bmatrix}}_{\hat{A}} \begin{bmatrix} \hat{i}_q \\ \hat{i}_d \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{1}{L_q} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_d} \end{bmatrix}}_{\hat{B}} \begin{bmatrix} v_q \\ v_d \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{-\hat{\lambda}_f}{L_q} \omega_e \\ 0 \end{bmatrix}}_{\hat{C}} + \underbrace{\begin{bmatrix} G_1 & 0 \\ 0 & G_2 \end{bmatrix}}_G \begin{bmatrix} \hat{i}_q - i_q \\ \hat{i}_d - i_d \end{bmatrix} \quad (15)$$

where \hat{R}_s and $\hat{\lambda}_f$ are the estimated stator resistance and rotor flux linkage, respectively which are the outputs of the adaptation model. \hat{R}_s and $\hat{\lambda}_f$ are updated in the estimation block in the closed loop system, as a result \hat{i}_q and \hat{i}_d currents are predicted.

$$\dot{\hat{e}} = \begin{bmatrix} \frac{d(\hat{i}_q - i_q)}{dt} \\ \frac{d(\hat{i}_d - i_d)}{dt} \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} \frac{-R_s}{L_q} & \frac{-L_d}{L_q} \omega_e \\ \frac{L_q}{L_d} \omega_e & \frac{-R_s}{L_d} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G_1 & 0 \\ 0 & G_2 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} \hat{i}_q - i_q \\ \hat{i}_d - i_d \end{bmatrix} + \left(\begin{bmatrix} \frac{-R_s}{L_q} & \frac{-L_d}{L_q} \omega_e \\ \frac{L_q}{L_d} \omega_e & \frac{-R_s}{L_d} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \frac{-\hat{R}_s}{L_q} & \frac{-L_d}{L_q} \omega_e \\ \frac{L_q}{L_d} \omega_e & \frac{-\hat{R}_s}{L_d} \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} \hat{i}_q \\ \hat{i}_d \end{bmatrix} + \left(\begin{bmatrix} \frac{-\lambda_f}{L_q} \omega_e \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \frac{-\hat{\lambda}_f}{L_q} \omega_e \\ 0 \end{bmatrix} \right) \quad (16)$$

In Eq. (16), the errors of the MRAS current estimators are given. Selection of accurate values of G_1 and G_2 gains given in Eq. (15) eliminate the algebraic loop problem occurs in simulation and experimental studies [48]. The error correction is accomplished by an adaptation model. G matrix given in Eq. (15) is an observer gain matrix in which the parameters should be adjusted properly [46]. False selection of the G matrix parameters causes algebraic loops. Adaptation equations for \hat{R}_s and $\hat{\lambda}_f$ are given in Eq. (17) and Eq. (18), respectively where $k_{p_{res}}$, $k_{i_{res}}$, $k_{p_{flux}}$, $k_{i_{flux}}$, \hat{R}_0 , $\hat{\lambda}_{f0}$ are the estimated resistance proportional regulator coefficient, estimated resistance integrator regulator coefficient, estimated rotor flux linkage proportional regulator coefficient, rotor flux linkage integrator regulator coefficient, and the estimated previous stator resistance and rotor flux linkage, respectively.

$$\hat{R}_s = -(k_{p_{res}} + \frac{k_{i_{res}}}{s})(L_s \hat{i}_d(i_d - \hat{i}_d) + \hat{i}_q(i_q - \hat{i}_q)) + \hat{R}_0 \quad (17)$$

$$\hat{\lambda}_f = -\left(k_{p_{flux}} + \frac{k_{i_{flux}}}{s}\right) \omega_e (i_q - \hat{i}_q) L_s + \hat{\lambda}_{f0} \quad (18)$$

Stator resistance and rotor flux linkage estimation values in Eq. (17) and Eq. (18) guarantees to give faster response than the closed loop cycle. Since large selected state errors are constantly growing and small selected estimation time gets longer, selection of proper regulator parameters are crucial for minimizing the steady-state error [49]. In the proposed MRAS method, a low-pass filter (LPF) is used to overcome the rise of the estimated rotor flux linkage value at low speed and at zero crossing and distortion effects caused from stator resistance estimation. In the situations where LPF is not used at low speed, the estimation values are small and cause the output of the feedforward voltage estimation values to be faulty [50].

4. EXPERIMENTAL RESULTS

To show validity of the proposed control scheme, the experimental studies are carried out for the systems shown in Figure 5 under various operation

conditions. A sensorless drive system for a PMSG, in which stator resistance and rotor flux linkage variation are estimated, is proposed in this section. In this study, the value of stator resistance and rotor flux linkage are estimated using MRAS. However, inductance variation is neglected because the influence of the q-axis inductance is independent from the speed and position estimation, but variation of stator resistance and rotor flux linkage increases errors in low speed region. Figure 6 shows the schematic diagram of the proposed overall control system. The complete system is experimented for various conditions. The control algorithm is implemented on TMS320F28335 DSP and the proposed method is validated through experimental results.

In PMSG sensorless drive system, stator resistance and flux linkage variation depend on temperature rise and affect the sensorless control. These parameters are estimated using MRAS in order to improve the accuracy of position estimation.

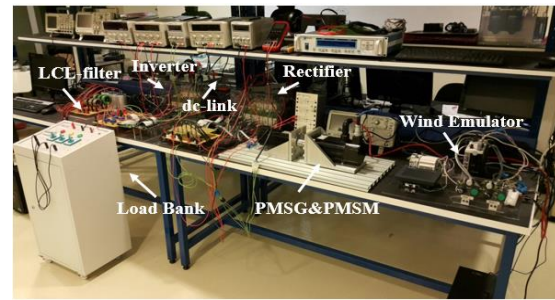


Figure 5. Experimental test-bed

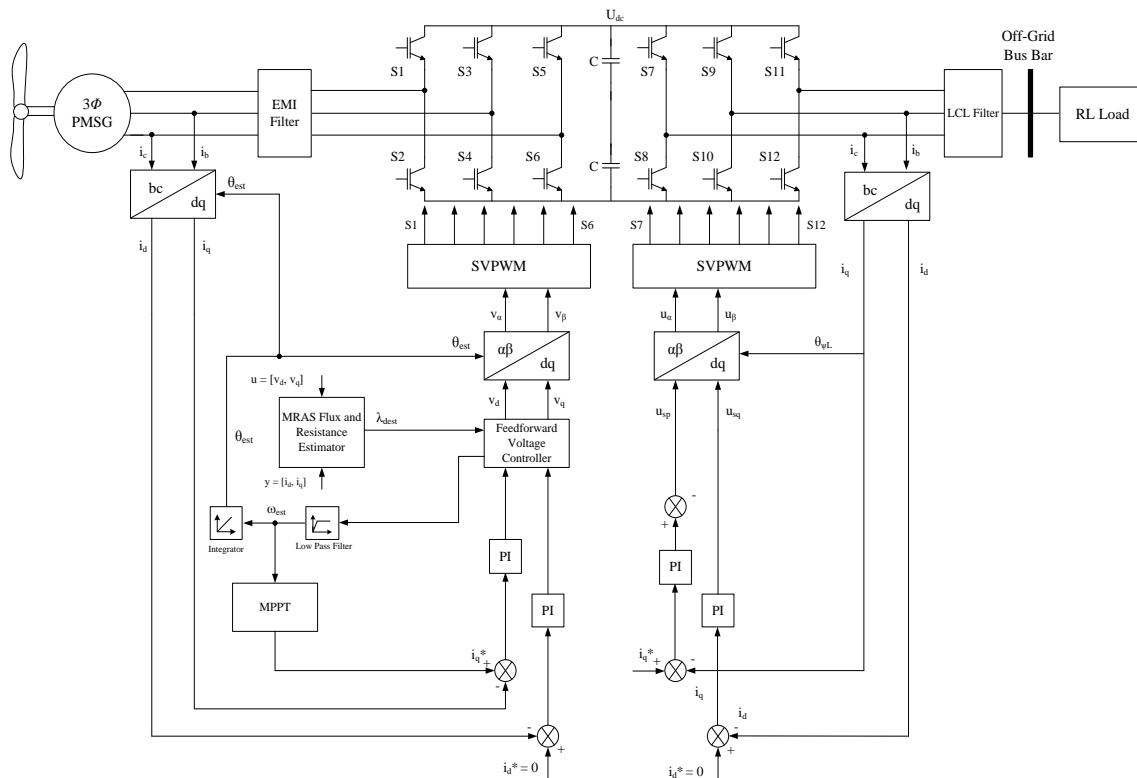


Figure 6. Overall block diagram of proposed sensorless PMSG drive model based on MRAS parameter estimation

The parameter estimation of the stator resistance and rotor flux linkage is important because of their effects in the reference PMSG equations shown in

Eq. (1) and Eq. (2). The experimental results verify the validity of the parameter estimation and the effectiveness of the proposed sensorless control

system. Figure 7 and Figure 8 show variations in the estimated stator resistance measured initially as 3.4 Ω and rotor flux linkage as 0.094 Wb during the experiment, respectively.

While the stator resistance is measured as about 3.4 Ω, it has been observed that it reaches to 3.77 Ω depending on thermal change during the experiment. This corresponds to the pre-estimated temperature values. In case of demands of high current in wind turbines, stator resistance changes depend on the temperature. Therefore, the stator winding temperature estimation can be modeled as

$$T_{est} = \frac{\hat{R}_s - R_0}{R_0 \alpha} + T_0 \quad (19)$$

where, R_0 is the initial resistance value at temperature T_0 , \hat{R}_s is the estimated stator winding resistance at temperature T_{est} using MRAS and α is the temperature coefficient of copper (3.93×10^{-3} per °C). Point temperature measurements has revealed to be 44 °C on the surface temperature. When the estimated stator resistance value is placed in Eq. (19), it is seen that the estimated temperature has been calculated to be 47 °C. Considering that the temperature of stator winding is high, estimated stator resistance value is proved to be correct. The estimation error of the position and speed appears at the transient state. However, at steady-state speed and position, errors decrease and stable sensorless PMSG control is achieved.

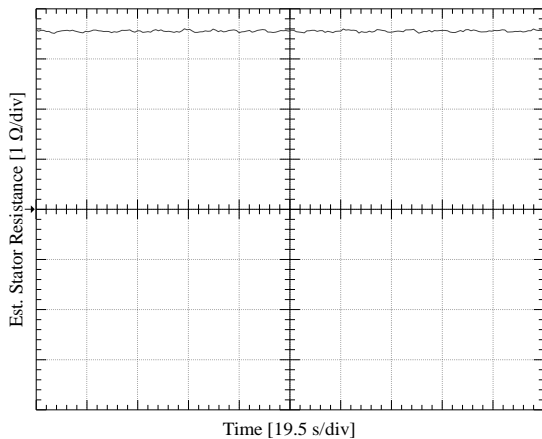


Figure 7. Estimated initial stator resistance

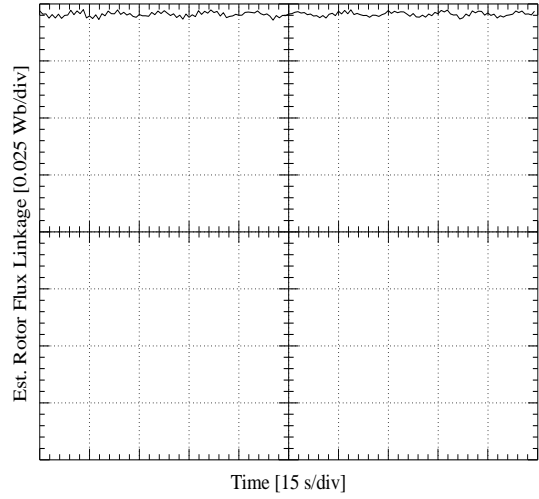


Figure 8. Estimated initial rotor flux linkage

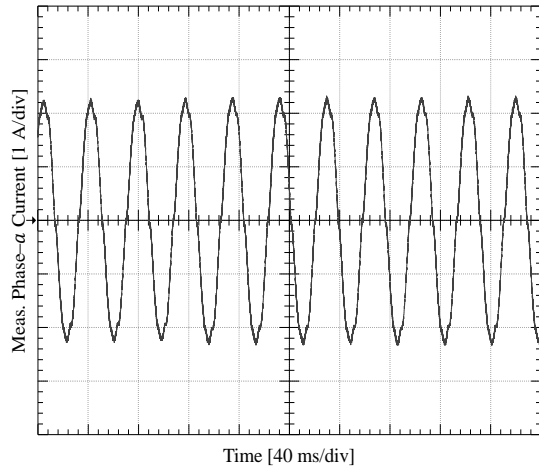


Figure 9. Experimental PMSG phase-a current, ($U_{DC} = 50$ V) and ($R_{Load} = 22$ Ω)

In Figure 9, phase-a current waveform of PMSG driven at 400 r/min under 50 V DC-link is represented. U_{DC} is the DC-link voltage of PMSG forming at the power stage output. Measurements have been done by connected loads ($R_{Load} = 22$ Ω) to the DC-link that PMSG is connected to, and current with 2.28 A peak value has been obtained. Figure 10 shows phase-a current for PMSG driven at 1050 r/min. Measurements have been done by connecting the load ($R_{Load} = 43$ Ω) to the DC-link and current with 2.12 A peak value has been obtained.

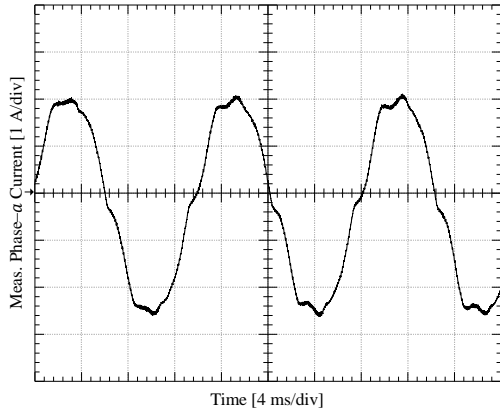


Figure 10. Experimental PMSG phase-*a* current ($U_{DC} = 100$ V) and ($R_{Load} = 43$ Ω)

In Figure 11, off-grid generator measurements are seen. “*m*” represents modulation index which is defined by the rate of the reference signals and the carrier signal amplitudes. The peak phase-*a* to phase-*c* voltage has been measured as 117 V. Phase-*a* current has been measured to be 2.8 A. DC-link voltage can be controlled by calculating the peak voltage value at the DC-link using Eq. (20).

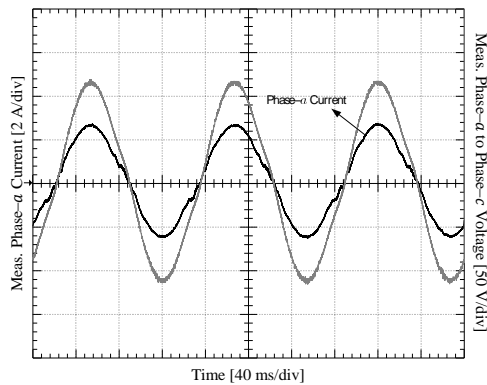


Figure 11. Experimental off-grid side phase-*a* current and phase-*a* to phase-*c* voltage for $m = 0.6$, ($U_{DC} = 225$ V) and ($R_{Load} = 43$ Ω)

The RMS value of 117 V phase voltage ($V_{LL(rms)}$) is 82.73 V, and the DC-link voltage ($m = 0.6$) is 225 V. In Figure 11, $R_{Load} = 43$ Ω which is connected as star has been used at the *LCL* filter output.

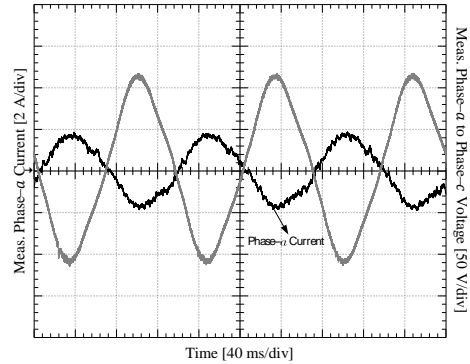


Figure 12. Experimental off-grid side phase-*a* current and phase-*a* to phase-*c* voltage for $m = 0.6$, ($U_{DC} = 225$ V) and ($R_{Load} = 43$ Ω and $L_{Load} = 50$ mH)

$$U_{DC} = 2\sqrt{2}V_{LL(rms)}/(\sqrt{3}m) \quad (20)$$

In Figure 12, phase-*a* current for the off-grid part of PMSG driven at 1000 r/min, and the voltage waveform of phase-*a* to phase-*b* are illustrated. While phase to phase peak voltage value is 117 V, the DC-link voltage has been measured as 225 V. Resistive and inductive loads have been connected to the *LCL* filter output.

In Figure 13, phase-*a* current for the off-grid side of PMSG driven at 500 r/min, and the voltage waveform of phase-*a* to phase-*b* are shown. Phase to phase peak voltage value is 73 V and the DC-link voltage has been measured as 210 V.

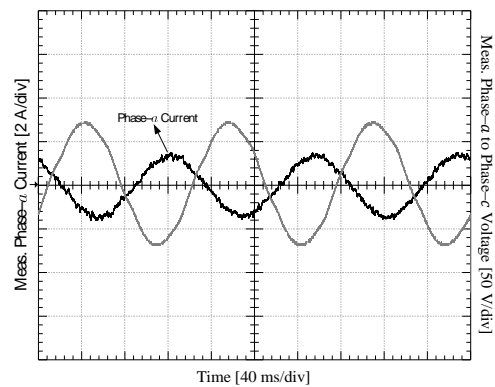


Figure 13. Experimental off-grid side phase-*a* current and phase-*a* to phase-*b* voltage for $m = 0.4$, ($U_{DC} = 210$ V) and ($R_{Load} = 43$ Ω and $L_{Load} = 50$ mH)

In Figure 14, phase-*c* current and voltage modulation index of phase-*a* to phase-*c* has been adjusted to be 1.0 for the same conditions. Under this working condition, phase to phase peak value of voltage is 101 V, and the peak current value is 2.1 A.

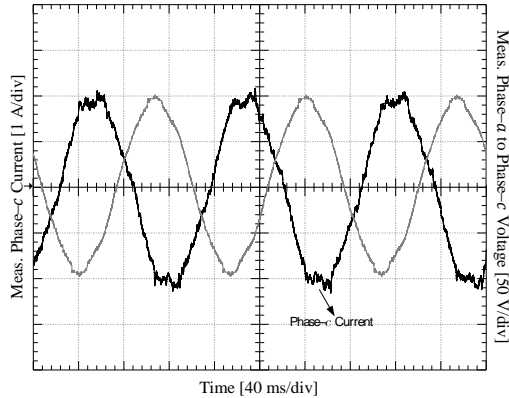


Figure 14. Experimental off-grid side phase-*c* current and phase-*a* to phase-*c* voltage for $m = 1.0$, ($U_{DC} = 210$ V) and ($R_{Load} = 43 \Omega$ and $L_{Load} = 50$ mH)

In Figure 15, phase-*c* current for the off-grid side of PMSG driven at 300 r/min and voltage waveform of phase-*a* to phase-*c* are given. Peak phase to phase voltage value has been measured as 51 V while DC-link voltage is 59 V and phase-*c* current is 1.28 A.

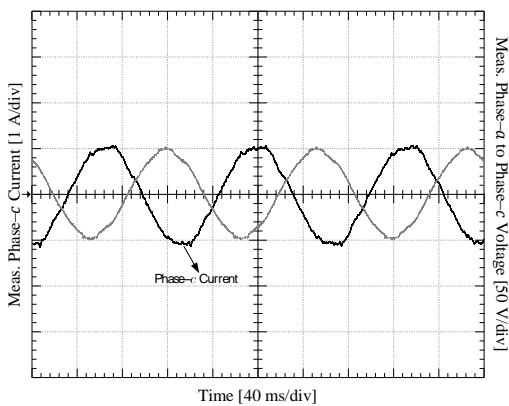


Figure 15. Experimental off-grid side phase-*c* current and phase-*a* to phase-*c* voltage for $m = 1.0$, ($U_{DC} = 59$ V) and ($R_{Load} = 43 \Omega$ and $L_{Load} = 50$ mH)

In Figure 16, phase-*c* current for the off-grid side of PMSG driven at 400 r/min and voltage waveform of phase-*a* to phase-*c* are illustrated. Peak phase to phase voltage value has been measured as 79 V while DC-link voltage is 91 V and phase-*c* current is 1.88 A.

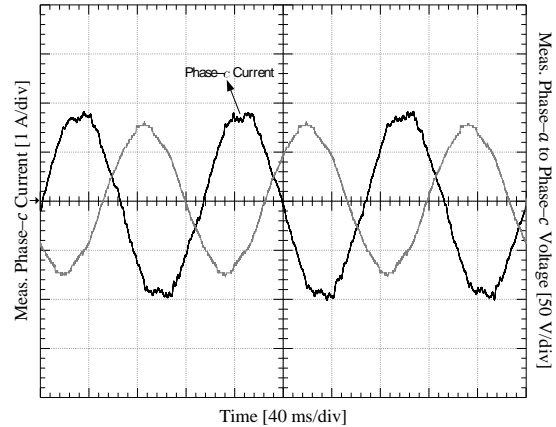


Figure 16. Experimental off-grid side phase-*c* current and phase-*a* to phase-*c* voltage for $m = 1.0$, ($U_{DC} = 59$ V) and ($R_{Load} = 43 \Omega$ and $L_{Load} = 50$ mH)

In Figure 17, phase-*c* current of the off-grid side of PMSG driven at 750 r/min and voltage waveform of phase-*a* to phase-*c* are given.

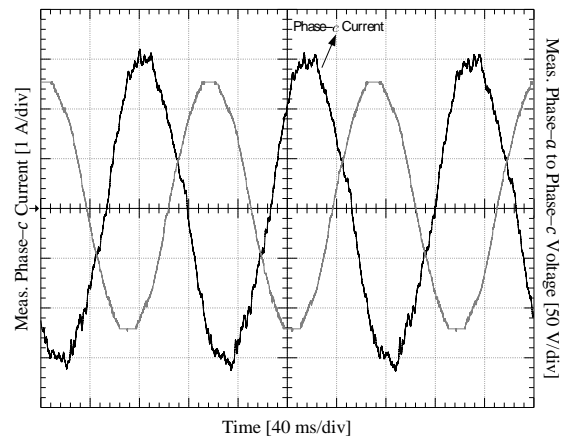


Figure 17. Experimental off-grid side phase-*c* current and phase-*a* to phase-*c* voltage for $m = 1.0$, ($U_{DC} = 127$ V) and ($R_{Load} = 43 \Omega$ and $L_{Load} = 50$ mH)

Peak voltage value between phase-*a* to phase-*c* has been measured as 127 V while DC-link voltage is 147 V and phase-*c* current is 3.24 A. Measurements reflect that THD of the voltage between phase-*a* to phase-*b* at the LCL-filter input in the off-grid side of SSTP (assuming there is no LCL filter) is 51.15% and it is considered too high. The THD of the voltage phase-*a* to phase-*b* at the LCL filter output in the off-grid side of SSTP is around 4%.

4. CONCLUSION

The rotor flux linkage that changes due to aging, vibration, humidity and temperature reduces the drive control performance. So, the effects of aging are tried to be eliminated and the control performance is increased with life estimation algorithms in the literature using online-learning methods and parameter estimation methods. Because the rotor flux and the stator resistance undergo a change due to the effects of the loss of magnetic properties of magnets and temperature rise, a highly efficient control is ensured by estimating the rotor flux linkage and stator resistance using MRAS observer. In order to obtain the position and speed information of the driven PMSG directly, feedforward voltage estimation method is suggested. With the proposed method even in the situations where the wind speed is low, it is ensured that a superior PMSG control performance compared to other sensorless control methods based on back-EMF prediction is achieved.

Using the proposed method, maximum power generation with 4% THD in the line voltages is achieved by using the designed LCL filter compared to other back-EMF estimation methods even under low wind speeds at 0.1 p.u. (300 rpm) of the PMSG drive.

5. ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) funded project (112E263).

APPENDIX

Parameters of the PM Synchronous Machine

Number of poles	: 8
Rated torque (N·m)	: 2
Rated rms current (A)	: 4
Stator inductance (mH)	: 0.0033
Stator resistance (Ω)	: 3.4
Rotor magnetic flux linkage (Wb)	: 0.095
Moment of inertia ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)	: 0.0075

6. REFERENCES

1. Dasgupta, S., Mohan, S.N., Sahoo, S.K. Panda, S.K., 2013. Application of Four-Switch-Based Three-Phase Grid-Connected Inverter to Connect Renewable Energy Source to a Generalized Unbalanced Microgrid System. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 60(3), 1204–1215.
2. Iov, F., Blaabjerg, F., 2009. *Power Electronics and Control for Wind Power Systems*, IEEE Power Electronics and Machines in Wind Applications, PEMWA, 1–16.
3. Parviainen, A., Pyrhonen, J., Kontkanen, P., 2005. Axial Flux Permanent Magnet Generator with Concentrated Winding for Small Wind Power Applications, 1187–1191.
4. Bumby, J.R., Stannard, N., Dominy, J., McLeod, N., 2008. A Permanent Magnet Generator for Small Scale Wind and Water Turbines, 1–6.
5. Andriollo, M., De Bortoli, M., Martinelli, G., Morini, A., Tortella, A., 2008. Permanent Magnet Axial Flux Disc Generator for Small Wind Turbines, 1–6.
6. Olano, A., Moreno, V., Molina, J., Zubia, I., 2008. Design and Construction of an Outer-Rotor PM Synchronous Generator for Small Wind Turbines; Comparing Real Results with Those of FE Model, 1–6.
7. Haraguchi, H., Morimoto, S., Sanada, M., 2009. Suitable Design of a PMSG for a Small-Scale Wind Power Generator, 1–6.
8. Zhang, Z., Zhao, Y., Qiao, W., Qu, L., 2014. A Space-Vector-Modulated Sensorless Direct-Torque Control for Direct-Drive PMSG Wind

- Turbines, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 50(4), 2331–2341.
9. Benadja, M., Chandra, A., 2014. Sensorless Control for Wind Energy Conversion System (WECS) with Power Quality Improvement, *IEEE PES General Meeting| Conference & Exposition*, 1–5.
 10. Hu, K.W., Liaw, C.M., 2015. Position Sensorless Surface-Mounted Permanent-Magnet Synchronous Generator and its Application to Power DC Microgrid. *IET Power Electronics*, 8(9), 1636–1650.
 11. Baroudi, J.A., Dinavahi, V., Knight, A.M., 2007. A Review of Power Converter Topologies for Wind Generators. *Renewable Energy*, 32(14), 2369–2385.
 12. Muller, S., Deicke, M., De Doncker, R.W., 2002. Doubly Fed Induction Generator Systems for Wind Turbines. *IEEE Industry Applications Magazine*, 8(3), 26–33.
 13. Qiao, W., Zhou, W., Aller, J.M., Harley, R.G., 2008. Wind Speed Estimation Based Sensorless Output Maximization Control for A Wind Turbine Driving a DFIG. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 23(3), 1156–1169.
 14. Guo, L., Zhang, X., Yang, S., Xie, Z., Qi, L., Wang, L., 2015. Super-Twisting Sliding Mode Observer Based Speed Sensorless Torque Control for PMSG Used in Wind Turbines, 2457–2462.
 15. Ding, Z., Wei, G., Ding, X., 2014. PMSM Control System Based on Sliding Mode Technology and MRAS Method. *IEEE International Conference on Mechatronics and Control (ICMC)*, 1276–1281.
 16. Koch, G., Gabbi, T., Henz, G., Vieira, R.P., Pinheiro, H., 2015. Sensorless Technique Applied to PMSG Of WECS Using Sliding Mode Observer. *IEEE 13th Brazilian Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC)*, 1–6.
 17. Han, Y.S., Choi, J.S., Kim, Y.S., 2000. Sensorless PMSM Drive with a Sliding Mode Control Based Adaptive Speed and Stator Resistance Estimator. *IEEE Transactions on Magnetics*, 36(5), 3588–3591.
 18. Yan, J., Lin, H., Feng, Y., Guo, X., Huang, Y., Zhu, Z.Q., 2013. Improved Sliding Mode Model Reference Adaptive System Speed Observer for Fuzzy Control of Direct-Drive Permanent Magnet Synchronous Generator Wind Power Generation System. *IET Renewable Power Generation*, 7(1), 28–35.
 19. Akatsu, K., Kawamura, A., 2000. Sensorless Very Low-Speed and Zero-Speed Estimations with Online Rotor Resistance Estimation of Induction Motor Without Signal Injection. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 36(3), 764–771.
 20. Eskola, M., Tuusa, H., 2003. Comparison of MRAS and Novel Simple Method for Position Estimation in PMSM Drives, vol. 2, 550–555.
 21. Burth, M., Verghese, G.C., Vélez-Reyes, M., 1999. Subset Selection for Improved Parameter Estimation in On-line Identification of a Synchronous Generator, *IEEE Transactions on Power Systems*, 14(1), 218–225.
 22. Liu, K., Zhu, Z.Q., Stone, D.A., 2013. Parameter Estimation for Condition Monitoring of PMSM Stator Winding and Rotor Permanent Magnets, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 60(12), 5902–5913.
 23. Chan, T.F., Wang, W., Borsje, P., Wong, Y.K., Ho, S.L., 2008. Sensorless Permanent-Magnet Synchronous Motor Drive Using a Reduced-Order Rotor Flux Observer. *IET Electric Power Applications*, 2(2), 88–98.
 24. Rigatos, G., Siano, P., Zervos, N., 2014. Sensorless Control of Distributed Power Generators with the Derivative-free Nonlinear Kalman Filter, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61(11), 6369–6382.
 25. Shasadeghi, M., Mardanah, M., Nayeripour, M., Mansuri, M., 2015. Sensor Less Control of PMSG-based Wind Turbine with Parallel Distributed Compensator with Fuzzy Observer, 35–40.
 26. Benadja, M., Chandra, A., 2015. Adaptive Sensorless Control of Pmsg-Based Offshore Wind Farm and VSC-HVDC Stations, *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 3(4), 918–931.

27. Li, H., Shi, K.L., McLaren, P.G., 2005. Neural-Network-Based Sensorless Maximum Wind Energy Capture with Compensated Power Coefficient. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 41(6), 1548–1556.
28. Inoue, Y., Yamada, K., Morimoto, S., Sanada, M., 2007. Accuracy Improvement of IPMSM Sensorless Drives with On-line Parameter Identification, 860–866.
29. Colovic, I., Kutija, M., Sumina, D., 2014. Rotor Flux Estimation for Speed Sensorless Induction Generator Used in Wind Power Application, 23–27.
30. Liu, K., Zhu, Z.Q., 2014. Online Estimation of the Rotor Flux Linkage and Voltage-source Inverter Nonlinearity in Permanent Magnet Synchronous Machine Drives, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 29(1), 418–427.
31. Lei, T., Barnes, M., Smith, S., Hur, S.H., Stock, A., Leithead, W.E., 2015. Using Improved Power Electronics Modeling and Turbine Control to Improve Wind Turbine Reliability. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 30(3), 1043–1051.
32. Jung, S.M., Park, J.S., Kim, H.W., Cho, K.Y., Youn, M.J., 2013. An MRAS-Based Diagnosis of Open-circuit Fault in PWM Voltage-source Inverters for PM Synchronous Motor Drive Systems, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28(5), 2514–2526.
33. Xiao, X., Chen, C., Zhang, M., 2010. Dynamic Permanent Magnet Flux Estimation of Permanent Magnet Synchronous Machines. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 20(3), 1085–1088.
34. Dumnic, B., Katic, V., Vasic, V., Milicevic, D., Delimar, M., 2012. An Improved MRAS Based Sensorless Vector Control Method for Wind Power Generator, *Journal of Applied Research and Technology*, 10(5), 687–697.
35. Bose, B.K., 1997. *Power Electronics and Variable Frequency Drives: Technology and Applications*, 36–76.
36. Krishnan, R., 2009. *Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives*, CRC Press.
37. Diaz, S.A., Silva, C., Juliet, J., Miranda, H.A., 2009. Indirect Sensorless Speed Control of a PMSG for Wind Application, 1844–1850.
38. Holtz, J., 2002. Sensorless Control of Induction Motor Drives, *Proceedings of the IEEE*, 90(8), 1359–1394.
39. Okuyama, T., Fujimoto, N., Fujii, H., 1990. A Simplified Vector Control System Without Speed and Voltage Sensors-effect of Setting Errors of Control Parameters and Their Compensation. *Electrical Engineering in Japan*, 110(4), 129–139.
40. Akatsu, K., Kawamura, A., 2000. Online Rotor Resistance Estimation Using the Transient State Under the Speed Sensorless Control of Induction Motor, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 15(3), 553–560.
41. Underwood, S.J., Husain, I., 2010. Online Parameter Estimation and Adaptive Control of Permanent-magnet Synchronous Machines, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57(7), 2435–2443.
42. Bolognani, S., Peretti, L., Zigliotto, M., 2008. Parameter Sensitivity Analysis of an Improved Open-Loop Speed Estimate for Induction Motor Drives. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 23(4), 2127–2135.
43. Ozturk, S.B., Akin, B., Toliyat, H.A., Ashrafzadeh, F., 2006. Low-cost Direct Torque Control of Permanent Magnet Synchronous Motor Using Hall-effect Sensors, 7–14.
44. Lu, Z., Sheng, H., Hess, H.L., Buck, K.M., 2005. The Modeling and Simulation of a Permanent Magnet Synchronous Motor with Direct Torque Control Based on Matlab/simulink, *IEEE International Conference on Electric Machines and Drives*, 7.
45. Seok, J.K., Lee, J.K., Lee, D.C., 2006. Sensorless Speed Control of Nonsalient Permanent-magnet Synchronous Motor Using Rotor-position-tracking PI Controller, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 53(2), 399–405.
46. Stumberger, B., Stumberger, G., Dolinar, D., Hamler, A., Trlep, M., 2003. Evaluation of Saturation and Cross-magnetization Effects in Interior Permanent-magnet Synchronous

- Motor, IEEE Transactions on Industry Applications, 39(5), 1264–1271.
47. Rusu, C., Radulescu, M.M., Enikö, S., Melinda, R.K., Jakab, Z.L., 2014. Embedded Motor Drive Prototype Platform for Testing Control Algorithms, International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), 1–6.
 48. Marcetic, D.P., Vukosavic, S.N., 2007. Speed-sensorless AC Drives with the Rotor Time Constant Parameter Update, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 54(5), 2618–2625.
 49. Mouna, B.H., Lassaad, S., 2006. Speed Sensorless Indirect Stator Field Oriented Control of Induction Motor Based on Luenberger Observer, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, vol. 3, 2473–2478.
 50. Shi, Y., Sun, K., Huang, L., Li, Y., 2012. Online Identification of Permanent Magnet Flux Based on Extended Kalman Filter for IPMSM Drive with Position Sensorless Control, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 59(11), 4169–4178.

A New Adaptive Particle Swarm Optimization Based on Self-Tuning of PID Controller for DC Motor System

Hussein ALRUIM ALHASAN¹, Mahit GÜNEŞ^{*1}

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

Geliş tarihi: 10.05.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Abstract

This paper presents a new adaptive particle swarm optimization algorithm for optimal self-tuning of PID controller in dc motor system. Manual tuning of PID controllers does not provide good performance, time consuming, difficult and tedious. The tuning process of PID controller is done by PSO algorithm. Inertia weight is the most important parameter in PSO algorithm, which gives a control of the exploration-exploitation characteristics of PSO algorithm. Since the beginning of Inertia Weight in PSO algorithm, Different strategies of PSO algorithm have been proposed in order to determine the inertia weight. In this paper, we propose a completely new strategy to adapt the inertia weight based on the fitness value of the particles. Comparing with standard PSO algorithm and time varying inertia weight PSO algorithm, the proposed adaptive PSO algorithm gives better performance in terms of quick convergence capability and continues movement toward the optimal solution region.

Keywords: PID controller, Adaptive particle swarm optimization, Inertia weight, DC motor

Yeni Bir Adaptif Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Kullanarak DC Motor için Öz Ayarlamalı PID Kontrolör Tasarımı

Öz

Bu çalışmada, DC motor sisteminde yeni bir adaptif parçacık sürü optimizasyon algoritması kullanarak öz ayarlamalı PID kontrolör tasarlanmıştır. PID kontrolörleri parametre ayarlarının manuel yapılması zaman alıcı olması, uzun sürmesi ve hassas olmaması gibi nedenlerden dolayı her zaman iyi bir performans sağlamaz. Bu çalışmada PID kontrolörün parametre ayarları, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması ile yapılmıştır. Eylemsizlik ağırlığı PSO algoritmasında en önemli parametredir. Eylemsizlik ağırlığı, PSO algoritmasının arama özelliğini kontrol eder. PSO algoritmasının başlangıcından bu yana, uygun eylemsizlik ağırlığı belirlemek için farklı PSO algoritması stratejileri önerilmiştir. Bu çalışmada, parçacıkların uygunluk değerlerinin karşılaştırılmasına dayanılarak eylemsizlik ağırlığı ayarlamak için yeni bir strateji önerilmiştir. Standart PSO algoritması (S-PSO) ve zaman değişen eylemsizlik ağırlığı PSO algoritması (TVIW-PSO) ile karşılaştırıldığında, önerilen adaptif PSO algoritması, hızlı yakınsama ve optimal çözüme doğru harekete devam etmesi açısından daha iyi performans verdiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: PID Kontrolör, Adaptif Parçacık Sürü Optimizasyonu, Eylemsizlik Ağırlığı, DC motor

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mahit GÜNEŞ, mgunes@ksu.edu.tr,

1. INTRODUCTION

DC motors have been widely used in many industrial applications such as lathe machines, centrifugal pumps, fans and robotic manipulators due to simple and wide control characteristics. There are different controller types used to control the DC motor such as PID Controller, LQR Controller, Fuzzy Logic Controller. PID controllers are widely used in industrial process because of its simplicity of implementation, remarkable effectiveness and broad applicability. The performance of a PID controller completely depends on the tuning process of the proportional, integral and derivative gains. Manual tuning of PID controllers requires experienced personnel in order to provide acceptable performance. A lot of intelligent approaches have been proposed to improve the capabilities of PID controller by tuning its parameters such as PSO based PID [1], bees algorithm based PID [2], Neural Networks based PID [3] and Genetic Algorithm based PID [4]. Particle swarm optimization (PSO) is a population based computational search and optimization method. The PSO algorithm have been applied widely to solve many complex optimization problems. This algorithm is used to improve the performance and enhance the efficiency of different controllers such as PID controller [1], LQR controller [5], Fuzzy logic controller [6] and artificial neural network controller [7].

In this paper, A mathematical modelling of dc motor system and investigations of performance comparison between different strategies to adapt the inertia weight in PSO algorithm [8]. The inertia weight is the most important parameter in particle swarm optimization. It is the key to balance the global search ability or exploration and local search ability or exploitation. Many researchers have recommended that the value of inertia weight should be large in the exploration state and small in the exploitation state [9-11]. The proper adapting of inertia weight increase the efficiency of PSO. Where the efficiency of PSO is determined as the number of iterations to reach the optimal solution.

2. MATHEMATICAL MODEL OF DC MOTOR

In this model, the dc motor dynamics are idealized; for instance, the magnetic field is assumed to be constant. Figure 1 shows the schematic diagram of a separately excited dc motor driving an inertial load. The torque T_m generated by a dc motor is proportional to the armature current (i) induced by the applied voltage.

$$T_m(t) = K_m i(t) \quad (1)$$

Symbol K_m is the armature constant. The back electromotive force V_{emf} is a voltage proportional to the angular velocity w of the shaft.

$$V_{emf}(t) = K_b w(t) \quad (2)$$

Where K_b , the emf constant. The mechanical part of the motor equations is derived using Newton's law.

$$J \frac{dw}{dt} = -K_f w(t) + K_m i(t) \quad (3)$$

Where K_f is a linear approximation for viscous friction. The following equation describes the electrical part of the motor.

$$V_{app}(t) - V_{emf}(t) = L \frac{di}{dt} + Ri(t) \quad (4)$$

After simplifying the above equations, we will obtain a two differential equations that describe the dynamics of the motor. The first for the induced armature current,

$$\frac{di}{dt} = -\frac{R}{L} i(t) - \frac{K_b}{L} w(t) + \frac{1}{L} V_{app}(t) \quad (5)$$

and the second for the angular velocity,

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{K_f}{J} w(t) + \frac{K_m}{J} i(t) \quad (6)$$

The above (5) and (6) equations show the dynamics of the DC motor system. A state-space representation of the DC motor system is obtained from the two linear differential equations. The induced armature current (i) and the angular velocity w are the state variables. The applied voltage, V_{app} , is the system input, while the angular velocity w is the system output.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R/L & -K_b/L \\ K_m/J & -K_f/J \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1/L \\ 0 \end{bmatrix} V_{app}(t) \quad (7)$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} V_{app}(t)$$

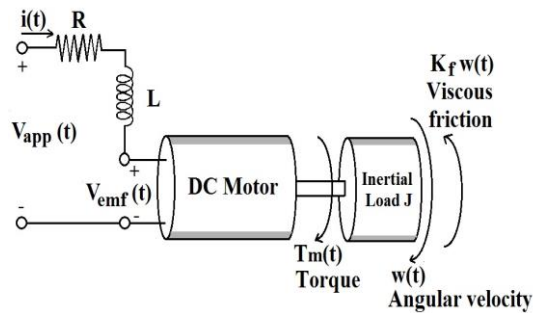


Figure 1. The schematic diagram of a separately excited DC motor driving an inertial load

The dc motor parameters and constants used in simulation are detailed below in Table 1.

Table 1. Parameters of separately excited DC motor model

Parameter	Symbol	Value	Unit
The armature resistance	R	2	Ω
The armature inductance	L	0.5	Henry
The armature constant	K_m	0.1	
The emf constant	K_b	0.1	
Friction coefficient	K_f	0.2	N.m.s
Moment of inertia	J	0.02	Kg.m^2

3. PID CONTROLLER DESIGN

The PID control is a common strategy to control of dc motor for wide range of industrial processes due to its functional simplicity, applicability and ease of use [12]. PID controller is a type of feedback controllers. It has a single output which is the control variable (u) and a single input which is the error (e) between a reference variable (r) and measured process variable (y). The transfer function of the PID controller is expressed as follows:

$$u = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (8)$$

Where the tuning parameters K_p , K_i and K_d refer to the proportional, integral and derivative gains respectively. The PID controller computes the error value (e) as the difference between a desired input value and measured output. The aim is to minimize the error over time by modifying the control variable (u).

Manual tuning of PID controllers does not provide good performance, time consuming and difficult. In this paper, the tuning process for the PID gains is performed through standard PSO algorithm, time varying inertia weight PSO algorithm and the proposed adaptive PSO algorithm.

4. STANDARD PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Particle swarm optimization algorithm is an evolutionary computational strategy that optimizes a problem by iteratively improving a particle solution inspired by the flocking and schooling patterns of birds and fish. The PSO algorithm was first introduced by Erberhart and Kennedy in 1995 [13,14].

During each iteration of the PSO algorithm, each single solution in the search space is evaluated by its fitness function being optimized. Particles have velocities to direct them toward the optimal solution. Figure 2 presents the flow chart of a particle swarm optimization process.

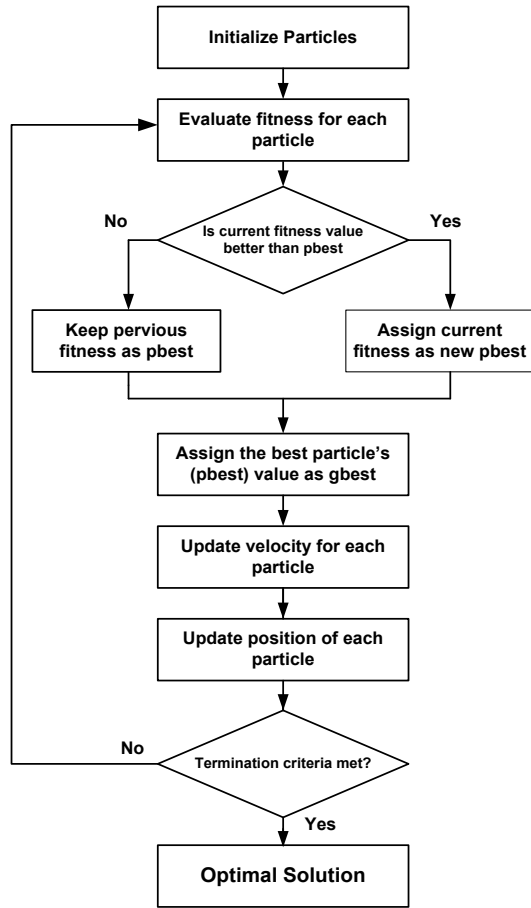


Figure 2. Flow chart of Particle Swarm Optimization algorithm

PSO algorithm is initialized with random particles, then it searches for the optimal solution by updating generations. Each particle represent the proportional, integral and derivative gains of PID controller. In every iteration, each particle is updated by two significant values pbest and gbest. pbest is the particle's best known position, while gbest is the swarm's best known position. Each particle updates its positions and velocities according to the two best values with following equations:

$$V_i^{(t+1)} = w * V_i^{(t)} + c_1 * r_1 * (x_{i,best}^{(t)} - x_i^{(t)}) + c_2 * r_2 * (x_{gbest}^{(t)} - x_i^{(t)}) \quad (9)$$

$$x_i^{(t+1)} = x_i^{(t)} + V_i^{(t+1)} \quad (10)$$

Where (w) is the inertia weight, (c₁) and (c₂) are acceleration coefficients; while r₁ and r₂ are two independently generated random numbers within the range [0, 1]. In standard PSO algorithm, the inertia weight and acceleration coefficients are constants. Generally, w=1 and c₁=c₂=2.

The fitness value of particles is evaluated in each iteration. If the fitness value of particle is smaller than gbest fitness value, then the new particle's position becomes gbest. If the same particle's fitness value is smaller than pbest fitness value, then pbest is replaced by the current position.

PSO algorithm is continuing until stopping condition is met. The most common stopping condition is a preset number of iterations.

5. PROPOSED ADAPTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Since the initial development of particle swarm optimization by Kennedy and Eberhart, several methods to improve this algorithm have been proposed by researchers. The experiments show that inertia weight is the key to balance the global search ability (exploration) and local search ability (exploitation). When inertia weight is higher, the global search ability is strong but the local search ability is weak. Likewise, when inertia weight is lower, the local search ability is strong and global search ability is weak. This balancing improves the performance of PSO.

Eberhart and Shi [15] proposed a random inertia weight strategy and experimentally found that this strategy increases the convergence of PSO in early iterations of the algorithm.

$$w = 0.5 + \frac{rand()}{2} \quad (11)$$

The linearly decreasing strategy [16] enhances the efficiency and performance of PSO. It is found experimentally that the decreasing of inertia

weight from '0.9' to '0.4' provides the excellent results. In spite of its ability to converge optimum, it gets into the local optimum solving the question of more apices function.

$$w_k = w_{\max} - (w_{\max} - w_{\min}) \times \frac{iter}{iter_{\max}} \quad (12)$$

In this paper, we suppose that the value of the inertia weight (ω) is adaptively adjusted by the proposed equation:

$$\lambda_{1,i}^K = \frac{1}{1 + e^{\alpha(F_{p,i}^K - F_{pbest,i}^K)}} \quad (13)$$

$$\lambda_{2,i}^K = \frac{1}{1 + e^{\alpha(F_{pbest,i}^K - F_{gbest}^K)}}$$

$$w_i^K = w_{\max} - (w_{\max} - w_{\min}) \times (\lambda_{1,i}^K + \lambda_{2,i}^K)$$

The inertia weight (w) ranges from ' $w_{\max}=0.9$ ' to ' $w_{\min}=0.3$ ' according to the values of (λ_1, λ_2) every iteration (K). The values of (λ_1, λ_2) refer to the evolutionary states of the swarm i.e. exploration or exploitation state. Where (α) is a constant to adjust sharpness of the sigmoid function. We suggest that this constant should achieve the following conditions ($\alpha < 1$). In this paper, we suggest that ($\alpha=0.1$).

If Particles are too far from the solution (exploration state), the fitness of particles are bigger than the fitness of Pbest particles and the fitness of Pbest particles are bigger than the fitness of gbest particle ($F_{p,i} > F_{pbest,i} > F_{gbest}$), so the values of (λ_1, λ_2) are close to zero. In this condition, the inertia weight should be set to larger value. The larger value of inertia weight enhance the global search ability.

If Particles are close to the gbest solution (exploitation state), the fitness of particles are close to the fitness of Pbest particles and the fitness of Pbest particles are also close to the fitness of gbest particle ($F_{p,i} \approx F_{pbest,i} \approx F_{gbest}$), so the values of (λ_1, λ_2) are close to (0.5). In this condition, the inertia weight should be set to

smaller value. The smaller value of inertia weight enhance the local search ability.

The fitness function used to evaluate particles in PSO algorithm is the integrated absolute error (IAE). The integrated absolute error (IAE) formula is as follows:

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (14)$$

As a result of this method, the balancing between exploration and exploitation abilities can be regulated depending on the inertia weight.

6. SIMULATION RESULTS

In this section a comparison and simulation results for three techniques of PSO to design PID controller of dc motor system. PID controller is designed by optimal tuning the parameters K_p, K_i and K_d . These techniques are standard particle swarm optimization (S-PSO), time-varying inertia weight particle swarm optimization (TVIW-PSO) and the proposed adaptive particle swarm optimization (A-PSO).

PID controller of dc motor system is modelled and simulated in the MATLAB/Simulink environment. The speed response of PID Controller tuned by three particle swarm optimization strategies are shown in Figure 3.

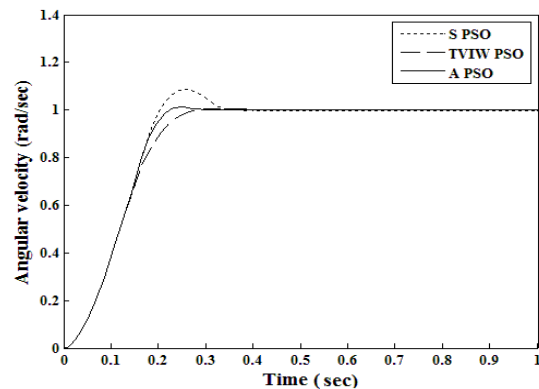


Figure 3. The time response of the angular velocity of the dc motor system with PID controller

The standard PSO is the first algorithm. The inertia weight is set to '1' and the acceleration coefficients are set to '2'. By tuning the PID gains using standard particle swarm optimization, the resulting PID gains are:

$$K_p = 2181, K_i = -1.74, K_d = 33.59$$

In the second method, time-varying inertia weight PSO algorithm is used to tune the PID gains. The inertia weight is adapted according to equation (12). The acceleration coefficients are set to '2'. At the end of this algorithm, the resulting PID gains are:

$$K_p = 39.41, K_i = 33.66, K_d = 1.83$$

The last algorithm is the proposed adaptive PSO algorithm. The inertia weight is adapted according to equation (13). The acceleration coefficients are set to '2'. At the end of algorithm, the resulting PID gains are:

$$K_p = 485.55, K_i = 34, K_d = 14.24$$

The best fitness value of the three PSO algorithms across number of iterations is presented in Figure 4. According to the fitness function described in equation (14), it is aimed to minimize the integrated absolute error of the output over time.

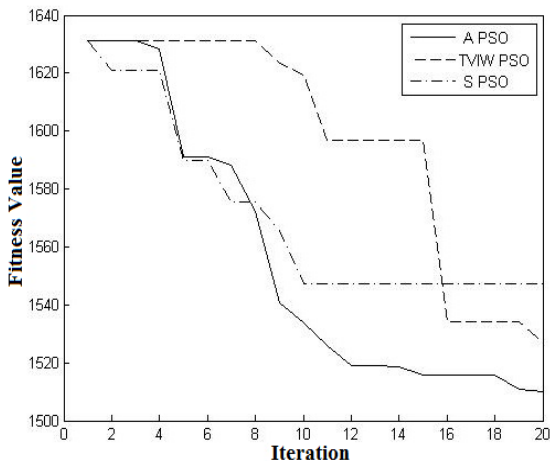


Figure 4. The best fitness value of the three PSO algorithms across '20' iterations

The time response specification of dc motor system with PID controllers tuned by standard PSO, time varying inertia weight PSO, and the proposed adaptive PSO techniques are given in Tables 2.

Table 2. The time response specification for the angular velocity of the dc motor system

	Standard PSO	TVIW-PSO	Adaptive PSO
Settling time(s)	0.32	0.25	0.21
Rise time(s)	0.13	0.15	0.13
Overshoot(%)	8.53	0.61	1.27
Steady state error	0	0	0

7. CONCLUSION

In this study, PID controller is designed and applied to the dc motor system. PID controller is tuned by standard particle swarm optimization (S-PSO), time-varying inertia weight particle swarm optimization (TVIW-PSO) and the proposed adaptive particle swarm optimization (A-PSO). The proposed adaptive PSO algorithm has a great improvement in quick convergence capability and continues movement toward the optimal solution region.

Adaptive particle swarm optimization algorithm (APSO) provides automatic control of inertia weight, acceleration coefficients and other algorithmic parameters over time to improve search efficiency and convergence speed. The inertia weight in PSO algorithm is used to balance the global and local search capabilities. In this paper, the proposed adaptive PSO algorithm controls the inertia weight by evaluating the fitness information of particles in order to determine the situation of the swarm at each iteration. The value of inertia weight should be large in the exploration state and small in the exploitation state.

From the performance indices of the angular velocity, the rise time for the three PID controllers is similar to be equal. The settling time for the PID controller using the proposed adaptive PSO is better than the PID controller using standard PSO and the time varying inertia weight PSO. Overshoot for the PID controller using standard

PSO algorithm is the worst. Overshoot for the PID controllers using APSO and TVIW PSO is too low. In addition, steady state error is zero for all of the PID controllers.

Figure 4 shows that, the adaptive PSO algorithm has quick convergence toward the optimal solution region better than time varying inertia weight PSO and standard PSO. The adaptive PSO algorithm reaches the best and lowest fitness value.

As a result, the proposed adaptive PSO algorithm is trustworthy to solve the different optimization problems. It is still simple and almost as easy to use as the standard PSO, whereas it improves performance in terms of convergence speed, solution accuracy and global optimality.

8. REFERENCES

- Berber, Ö., Ateş, M., Alhassan, H.A., Güneş, M., 2016. Parçacık Sürü Optimizasyonu ve PID ile Mobil Robotun Optimum Yörünge Kontrolü, Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences, 19(3), 165-169.
- Çoban, R., Erçin, Ö., 2012. Multi-objective Bees Algorithm to Optimal Tuning of PID Controller, Cukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, 27(2), 13-26.
- Chang, W.D., Hwang, R.C., Hsieh, J.G., 2003. A Multivariable On-line Adaptive PID Controller Using Auto-tuning Neurons, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 16(1), 57-63.
- Gündoğdu, Ö., 2005. Optimal-tuning of PID Controller Gains Using Genetic Algorithms, Journal of Engineering Sciences, 11(1), 131-135.
- Hassani, K., Lee, W.S., 2014. May. Optimal Tuning of Linear Quadratic Regulators Using Quantum Particle Swarm Optimization, In Proceedings of the International Conference on Control, Dynamic Systems, and Robotics (CDSR'14) 14-15.
- Çoban, R., 2011. A Fuzzy Controller Design for Nuclear Research Reactors using the Particle Swarm Optimization Algorithm, Nuclear Engineering and Design, 241(5), 1899-1908.
- Çoban, R., 2014. Power Level Control of the TRIGA Mark-II Research Reactor Using the Multifeedback Layer Neural Network and the Particle Swarm Optimization, Annals of Nuclear Energy, 69, 260-266.
- Bansal, J.C., Singh, P.K., Saraswat, M., Verma, A., Jadon, S.S., Abraham, A., 2011. October. Inertia Weight Strategies in Particle Swarm Optimization, In Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC), 633-640.
- Shi, Y., 2001. Particle Swarm Optimization: Developments, Applications and Resources. In Evolutionary Computation, vol. 1, 81-86.
- Shi, Y., Eberhart, R., 1998. A Modified Particle Swarm Optimizer, In Evolutionary Computation Proceedings, IEEE World Congress on Computational Intelligence, 69-73.
- Shi, Y., Eberhart, R.C., 1999. Empirical Study of Particle Swarm Optimization. In Evolutionary Computation, vol. 3, 1945-1950.
- Meshram, P.M., Kanojiya, R.G., 2012. Tuning of PID Controller Using Ziegler-Nichols Method for Speed Control of DC Motor, In Advances in Engineering, Science and Management (ICAESM), 117-122.
- Kennedy, J., Eberhart, R., 1995. Particle Swarm Optimization, Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Neural Networks, 1942-1948.
- Eberhart, R., Kennedy, J., 1995. A New Optimizer Using Particle Swarm Theory, In Micro Machine and Human Science, MHS'95, 39-43.
- Eberhart, R.C., Shi, Y., 2001. Tracking and Optimizing Dynamic Systems With Particle Swarms, In Evolutionary Computation, vol. 1, 94-100.
- Xin, J., Chen, G., Hai, Y., 2009. A Particle Swarm Optimizer With Multi-stage Linearly-decreasing Inertia Weight, In Computational Sciences and Optimization, 2009. vol. 1, 505-508.

Kükürt ve Kül Giderimi Yapılmış Pirolitik Karbon Siyahı Katkılı MgO-C Refrakterlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Tuba BAHTLI^{*1}, Veysel Murat BOSTANCI², Derya Yeşim HOPA³,
Şerife YALÇIN YASTI⁴

¹Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Konya

²Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Konya

³Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

⁴Selçuk Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, Konya

Geliş tarihi: 13.03.2017

Kabul tarihi: 25.08.2017

Öz

Lastik atıklarının refrakter sektöründe geri kazanımını sağlamak amacı ile yapılan bu çalışmada, piroliz reaktöründe 500 °C sıcaklık, 15 °C/dk ısıtma hızı ve 0,5L/dk N₂ akış hızı parametrelerinde elde edilen katı ürünün kükürt ve kül miktarları azaltılmış ve daha sonrasında MgO-C refrakter malzemelerinin üretiminde karbon kaynağı olarak kullanılmıştır. Üretilen refrakterlerin yoğunluk, % açık gözenek ve soğuk basma mukavemeti (SBM) değerlerinin kükürt ve kül miktarı ile değişimi incelenmiştir. Piroliz sonrası atık lastiğin ve kükürt ve kül giderimi sonrası elde edilen pirolitik karbon siyahı malzemelerinin X-Işını Difraktometresi (XRD) ile faz analizleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile mikroyapı analizleri ve Enerji Dağılımlı X-Işını Analizi (EDX) ile kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. Kükürt ve kül miktarları azaldıkça, bu ürünlerin kullanıldığı refrakter malzemelerin % açık gözenek miktarının ve yoğunluk değerlerinin yaklaşık aynı olmasına rağmen soğuk basma mukavemeti değerlerinin arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Piroliz, MgO-C, Refrakter, Soğuk basma mukavemeti

Investigation of Mechanical Properties of MgO-C Refractories Produced by Pyrolytic Carbon Black with Removal of Sulfur and Ash

Abstract

In this study, which aims recycling/regaining tire waste in the refractory sector, the amounts of sulfur and ash of the solid products obtained from the pyrolysis reactor at 500 °C, 15 °C/min heating rate and 0.5 L/min N₂ flow rate were reduced and then used in MgO-C refractory materials as a carbon source. The exchange of density, % open porosity and cold compressive strength (CCS) values with the amount

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Tuba BAHTLI, taksoy@konya.edu.tr

of sulfur and ash of the produced refractories were investigated. Phase analysis by X-ray diffractometry (XRD), microstructure analysis by scanning electron microscopy (SEM), and chemical analysis by energy diffraction X-Ray analysis (EDX) of pyrolytic carbon black materials obtained after waste tire pyrolysis and sulfur and ash removal were obtained. As the amounts of sulfur and ash decreased, the cold compressive strength values increased, although the open porosity and density values of the refractory materials used for these products were approximately the same.

Keywords: Pyrolysis, MgO-C, Refractory, Cold compressive strength

1. GİRİŞ

Magnezit karbon refrakterler, magnezya, pul grafit ve bağlayıcı içeren karbon bağlı malzemelerdir ve kolay üretilirler. Üretim prosesi, karıştırma, presleme ve yaklaşık 200 C'de gerçekleştirilen temperlemeden ibarettir [1].

Bu iki ana bileşen (MgO ve grafit) oldukça değişik yapılara sahiptirler. Presleme işlemi sırasında grafit pulları deforme olup magnezya tanelerinin etrafını sararlar. Bu tip bir davranış, presleme kabiliyetinin artmasına ve dolayısıyla preslenen malzemedeki porozite miktarının azalmasına neden olur. Porozite miktarının azalması cüruf ve korozyon direncinin artması için önemli bir parametredir [1].

Ayrıca, MgO-C refrakterlerde kullanılan grafit ve MgO gibi refrakter oksitler, iyi termal şok direnci (grafitin düşük termal genişleme ve yüksek termal iletkenliği) ve mükemmel cüruf direnci (grafitin düşük ısılatılabilirliği) gibi değerli özellikler sağlar [2,3].

Cürufa ve korozyona karşı direnci artırmak için kullanılan karbonun 3 türü bulunmaktadır. Bunlar:

- Bağlayıcı karbon: Bir katran veya reçinenin karbonlaştırılması sonucu ortaya çıkan karbon fazıdır [4].
- Karbon siyahı
- Doğal grafitir [5].

Bu çalışmada, karbon kaynağı olarak kullanılan karbon siyahı atık lastiklerden piroliz işlemi sonucu elde edilmiştir. Her yıl Türkiye' de yaklaşık olarak 300.000 ton ömrünü tamamlamış lastik

(ÖTL) oluşmaktadır [6]. Çevreye de pek çok zararları olan atık lastiklerin geri kazanımları ile çevresel problemlerin önlenmesi ve aynı zamanda ekonomiye kazandırılması önem arz etmektedir. Atık lastiklerin sıvı, gaz ve katı ürünlere dönüşümünü mümkün kılan piroliz yöntemiyle, atık lastiğin ağırlıkça yaklaşık %40'lık bölümü katı ürüne dönüştürülmektedir. Geriye kalan %60'lık bölümü sıvı ve gaz ürünlere dönüşmektedir [7].

Piroliz sırasında oluşan kükürt içerikli bileşiklerin yüksek termal dayanımı nedeniyle, kükürdün büyük bölümü katı ürün içerisinde yer almıştır [8].

Katı üründeki bir diğer problem olan yüksek kül içeriğinin büyük bölümünü, lastik üretim aşamasında vulkanizasyon işlemi hızlandırıcı olarak ilave edilen çinko oksit oluşturmaktadır [9].

Lastik pirolizi ile elde edilen pirolitik karbon siyahındaki kükürt ve kül miktarının azaltılması ile MgO-C refrakterlerin mekanik özelliklerinin iyileşip iyileşmediği bu çalışma ile incelenmiş, kükürt ve kül miktarlarının azalması ile yoğunluk ve SBM değerlerinin arttığı, % açık gözenek değerlerinin ise azaldığı gözlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Pirolitik Katı Ürün Kükürt ve Kül Giderimi

Kullanılan atık lastik ince ve kalın olmak üzere iki tür tane boyutuna sahiptir. Kalın atık lastiğin elek analizi sonuçlarına göre; $0,850 \text{ mm} < D_p < 1,6 \text{ mm}$ aralığında tane boyutuna sahip olduğu

görülmüştür. İnce atık lastik ise $70 \mu\text{m} < D_p < 850 \mu\text{m}$ aralığında tane boyutuna sahiptir.

Afyon Kocatepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümündeki reaktör ile lastik atığının pirolizinden 500°C sıcaklık, $15^\circ\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızı ve $0,5 \text{ L}/\text{dk}$ N_2 akış hızında pirolitik katı elde edilmiştir.

Piroliz sonrası elde edilen bu katı ürüne öncelikle kükürt daha sonra kül giderimi işlemleri uygulanmıştır. Kükürt ve kül giderimleri için farklı tür ve konsantrasyonlardaki asitler kullanılarak ekstraksiyon işlemi uygulanmıştır.

Kükürt giderimini sağlayabilmek için 1 gr karbon siyahı başına 20 ml'lik %37'lik HCl ve %65'lik HNO_3 asitlerinin 1:1 hacim oranında bir araya getirilmesiyle oluşturulan asit karışımı kullanılmıştır. 15 dakika boyunca 175°C 'ye ayarlanmış etüvde ısıtma işlemi tabi tutulmuştur. Isıl işlem sırasında kükürt gaz halinde karbon siyahından uzaklaştırılmıştır. Daha sonra, 1000 ml kadar saf suyla, adi süzgeç kâğıdı kullanılarak süzme işlemi tamamlanmıştır. Süzme işleminin ardından karbon siyahı 100°C 'ye ayarlanmış etüvde 24 saat boyunca kurutulmuştur.

Kükürt giderme işleminden sonra pirolitik karbon siyahının kül giderimi için iki aşamalı asitle ekstraksiyon işlemi uygulanmıştır:

Öncelikle 1 gr karbon siyahına 20 ml asit karışımı ilave edilecek şekilde, kükürtü giderilmiş olan karbon siyahı %37'lik HCl ve %65'lik HNO_3 asitlerinin 1:1 hacim oranında karıştırılmasıyla oluşturulan asit karışımında 175°C 'de etüvde 30 dakika boyunca ısıtma işlemi tabi tutulmuş, adi süzgeç kâğıdından süzülerek saf su ile yıkama işlemi gerçekleştirilmiş, son olarak 100°C 'ye ayarlanmış etüvde 24 saat boyunca kurutulmuştur.

Sonrasında 1N H_2SO_4 ve 10N NaOH çözeltileri hacimce 1:1 oranında karıştırılarak bir karışım elde edilmiştir. 1 gram pirolitik karbon siyahı ile 10 ml karışım bir beherde bir araya getirilerek 30 dakika boyunca 60°C 'de etüvde ısıtma işlemi tabi tutulmuştur. Adi süzgeç kâğıdından süzme işleminden sonra süzgeç kâğıdı üzerindeki karbon

siyahı 1500 ml saf su ile yıkanmış, 100°C 'ye ayarlanmış etüvde 24 saat boyunca kurutulmuştur.

2.2. Kül ve Kükürt Giderim Sonrası Katı Ürün Analizleri

- Kül analizi ağırlıkça yüzde olarak ASTM D 3174 test metoduna uygun olarak Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.
- Kükürt miktarı ise Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (TUAM) karbon-kükürt analiz cihazı (Met, Multilab) ile gerçekleştirilmiştir.
- Kül ve kükürt giderim işlemlerinden sonra karbon siyahı için: i) faz analizi Bruker/D8 Advance XRD (X-ışınları difraksiyonu) cihazında $\text{Cu K}\alpha$ ışınımı kullanılarak ve 10° - 100° kırınım açısı aralığında gerçekleştirilmiştir, ii) mikroyapı incelemesi ile Enerji Dağılımlı X-ışını (EDX) analizleri LEO 1430 VP model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazı ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (TUAM) karakterize edilmiştir.

2.3. Şekillendirme

%10 karbon içeren MgO-karbon refrakter tuğla malzemesi olacak şekilde, ağırlıkça %50 (1-4) mm MgO, %30 (0-1) mm MgO ile %10 (0-1) mm pirolitik katı, %10 toz (63 μm altı) MgO hammaddeleri tartılmış, %2 toz novalak ve %2 sıvı fenolik reçine ile karıştırılmış, Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi laboratuvarında özel yapım pres ile $\sim 100 \text{ MPa}$ (35 bar) basınç uygulanarak $\sim 50 \text{ mm}$ çapında ve $\sim 50 \text{ mm}$ boyunda silindirik şekilde şekillendirilmiştir.

2.4. Temperleme

Şekillendirilen numuneler Selçuk Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Seramik bölümündeki Nüve marka MF 120 model kül fırını içerisinde 1.kademede 250°C 'de 3 saat bekletilerek temperlenmiştir. Temperlemede $5^\circ\text{C}/\text{dk}$ 'lık ısıtma hızı kullanılmıştır.

2.5. Açık Gözenek ve Yoğunluk Ölçümü

Bu çalışmada, farklı kompozisyonda hazırlanan parçalar 2'şer saat kaynatılmıştır. Böylece porlarda yer alan havanın çıkarılması ve porların su ile dolması sağlanmıştır. Daha sonra Archimedes düzeneği hazırlanmıştır ve numuneler düzeneğe yerleştirilerek hassas terazide tartılmıştır ve kaynatılan numunelerin su içerisindeki ağırlıkları belirlenmiştir (W_b). Daha sonra sudan çıkarılan numunelerin yüzeyi kâğıt mendil ile silinerek yüzeylerindeki suyu alınıp, yaş ağırlıkları hassas terazi yardımıyla tespit edilmiştir (W_c). Son aşama olarak parçalar etüvde kurutulduktan sonra, kuru ağırlıkları hassas terazide tartılarak belirlenmiştir (W_a). % görünen porozite ve bulk yoğunluk aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\% \text{ Görünen Porozite} = [(W_c - W_a) / (W_c - W_b)] * 100 \quad (1)$$

$$\text{Yığınsal (Bulk) Yoğunluk} = [W_a / (W_c - W_b)] \quad (2)$$

2.6. Mekanik Özelliklerin (Soğuk Basma Mukavemeti) Belirlenmesi

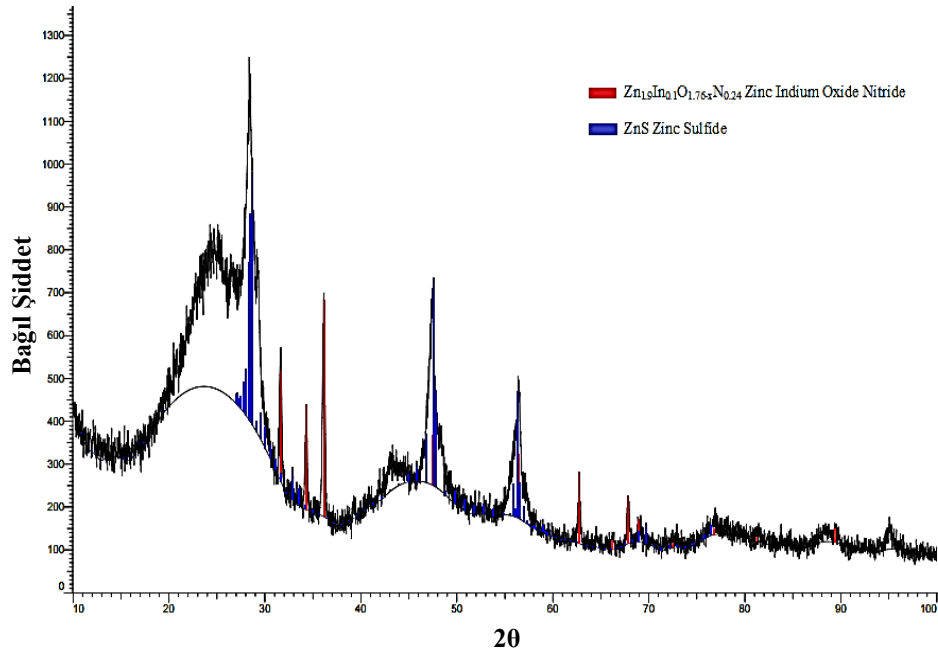
Şekillendirilen numunelere Necmettin Erbakan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm

Laboratuvarında Liya marka basma test cihazı kullanılarak 4 kN/sn hızda 200 ton yük uygulanmıştır. Okunan basınç değerleri (N); kesit alanına (mm^2) bölünerek mukavemet değeri (MPa) hesaplanmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Piroliz sonrası katı ürünün elek analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarında ince ürünün $70 \mu\text{m} < D_p < 180 \mu\text{m}$ aralığında tane boyutuna sahip olduğu, kalın ürünün ise $0,090 \text{ mm} < D_p < 1,6 \text{ mm}$ aralığında tane boyutuna sahip olduğu görülmüştür.

Piroliz sonrası katı ürüne uygulanan XRD analizi sonucu Şekil 1'de verilmiştir. Katı ürün içerisinde amorf yapıda karbon, $\text{Zn}_{1,9}\text{In}_{0,1}\text{O}_{1,76-x}\text{N}_{0,24}$ ile ZnS fazlarına ait pikler gözlenmiştir. Lastik üretiminde vulkanizasyon işlemini kontrol etmek için ilave edilen ZnO, yine lastik üretiminde eklenen kükürt ile reaksiyona girerek ZnS oluşturmaktadır [8]. XRD sonuçlarına göre; piroliz işlemi sırasında ZnS kararlılığını koruyarak katı ürün içerisinde yer almaktadır.



Şekil 1. Piroliz sonrası atık lastik XRD analiz sonucu

Piroliz sonrası en düşük oranda kükürt içeren katı numunelere, kükürt oranını ve kül oranını daha da düşürmeye yönelik iyileştirme çalışmaları uygulanmıştır.

Piroliz reaktöründe 500 °C piroliz sıcaklığında, 15 °C/dk ısıtma hızında; 0,5 lt/dk N₂ akış hızında elde edilen D1: piroliz sonrası iri karbon siyahı, D2: piroliz sonrası ince karbon siyahı, D3: kükürt ve kül giderimi yapılarak iyileştirme yapılan iri karbon siyahı, D4: kükürt ve kül giderimi yapılarak iyileştirme yapılan ince karbon siyahı kullanılarak üretilen MgO-C refrakterler için % açık gözenek, yoğunluk, Soğuk Basma Mukavemeti (SBM) değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

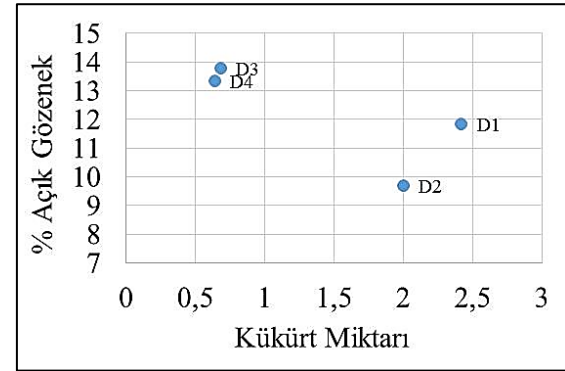
Çizelge 1. Piroliz sonrası ve iyileştirme sonucu elde edilen karbon siyahı denemelerinin gözenek, yoğunluk ve Soğuk Basma Mukavemeti (SBM) sonuçları

Numune Numarası	Piroliz Sonrası		İyileştirme Sonrası	
	D1 (iri)	D2 (ince)	D3 (iri)	D4 (ince)
Açık Gözenek %	11,85	9,69	13,79	13,34
Arşimet Yoğunluğu (g/cm ³)	2,47	2,50	2,50	2,47
Soğuk Basma Mukavemeti (MPa)	45,18	42,34	56,33	59,57
Kükürt Miktarı %	2,42	2,00	0,68	0,64
Kül Miktarı (%)	23	22	9,02	8,16

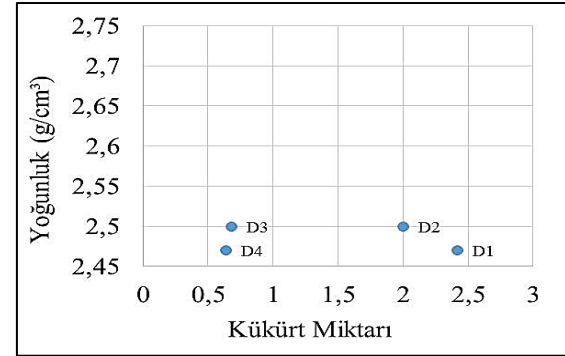
Piroliz sonrası elde edilen karbon siyahının kullanıldığı MgO-C refrakterler ile iyileştirme sonucu başka bir ifade ile kükürt ve kül giderimleri yapıldıktan sonra elde edilen karbon siyahının kullanıldığı MgO-C refrakterlerin yoğunluk ve % açık gözenek değerleri birbirine yakın olmasına rağmen, kül ve kükürt uzaklaştığı için daha yüksek soğuk basma mukavemeti değerlerine ulaşılmıştır.

İyileştirme sonrası (kükürt giderimi ve ardından iki aşamalı kül giderimi) katı ürünün kükürt miktarına bağlı açık gözenek, yoğunluk ve soğuk basma mukavemeti grafikleri ile kül giderim sonrası kül miktarına bağlı % açık gözenek, yoğunluk ve soğuk basma mukavemeti grafikleri sırası ile Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir.

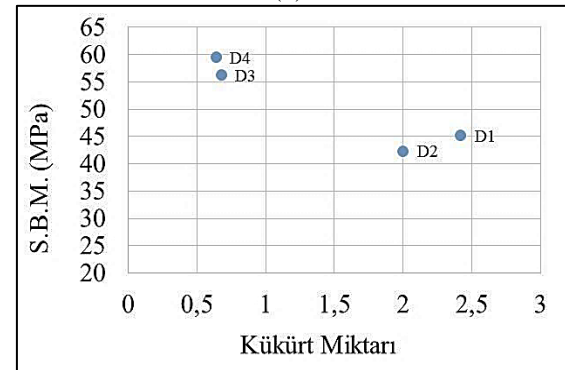
Kükürt ve kül miktarları azaldıkça, bu ürünlerin kullanıldığı refrakter malzemelerin % açık gözenek miktarının ve yoğunluk değerlerinin yaklaşık aynı olmasına rağmen Soğuk Basma Mukavemeti değerlerinin arttığı görülmüştür.



(a)

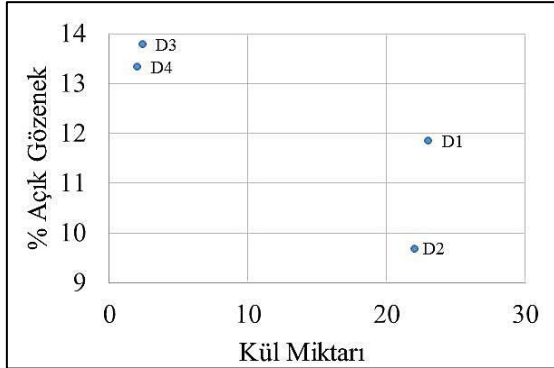


(b)

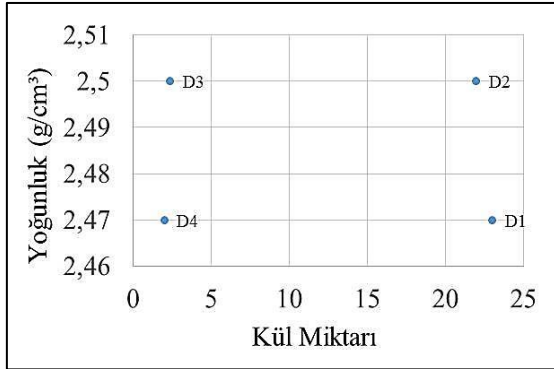


(c)

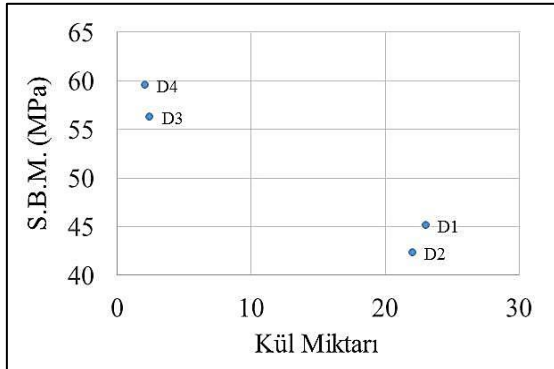
Şekil 2. Kükürt miktarı en düşük olan katı ürün için iyileştirme öncesi ve sonrası, a) % Açık gözenek b) Yoğunluk ve c) Soğuk Basma Mukavemeti (SBM) grafikleri



(a)



(b)

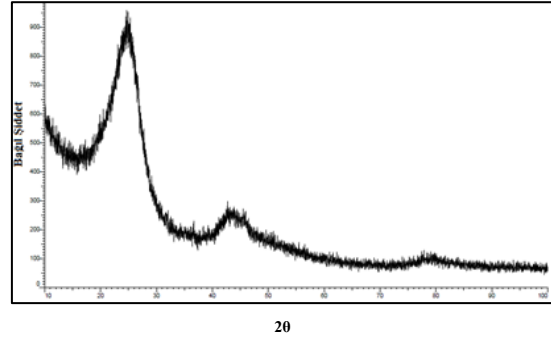


(c)

Şekil 3. Kükürt miktarı en düşük olan katı ürün için iyileştirme öncesi ve sonrası, kül miktarına bağlı a) % Açık gözenek, b) Yoğunluk ve c) Soğuk Basma Mukavemeti (SBM) grafikleri

Pirolitik Karbon Siyahına uygulanan kükürt ve kül giderim işlemlerinin ardından elde edilen son ürünün içerdiği inorganik madde miktarının

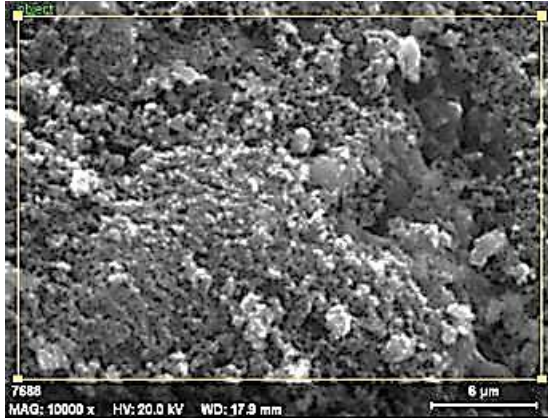
yüksek oranda düşürülmüş olduğu XRD sonucunda görülmektedir. Pirolitik Karbon Siyahına ait kırınım paterni Şekil 4'de sunulmuştur. Pirolitik Karbon Siyahı büyük ölçüde amorf yapı sergilemektedir.



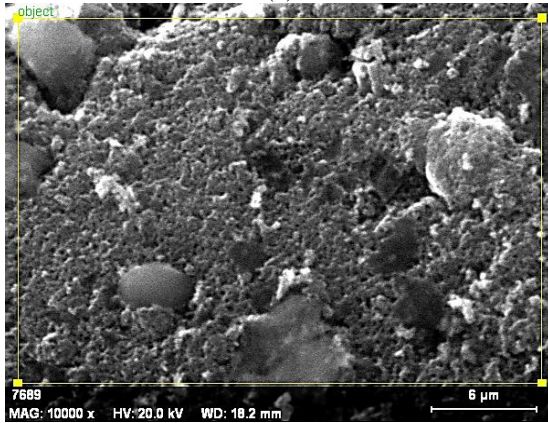
Şekil 4. İyileştirme sonrası (Kükürt ve kül giderimi sonrası) pirolitik karbon siyahı XRD paterni

Piroliz ile üretilen pirolitik karbon siyahının ve yıkanarak kükürt ve kül oranı azaltılan pirolitik karbon siyahlarının morfolojik özelliklerini kıyaslamak amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alınmıştır. Ayrıca, her karbon siyahının içermekte olduğu elementlerin türlerini tespit etmek amacıyla EDX (Enerji Yayımlı X-Işınları) analizi uygulanmıştır. SEM-EDX sonuçları Şekil 5'de ve Çizelge 2'de sunulmuştur.

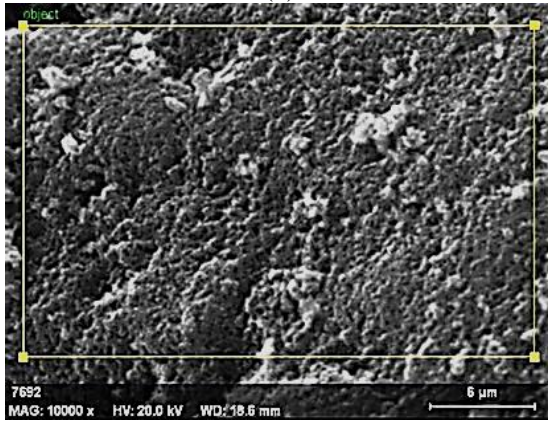
Şekil 5'de yer alan taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, Pirolitik karbon siyahının sahip olduğu pürüzlü yüzey özellikleri ile geniş bir yüzey alanına sahip olarak görünmektedir. Geniş yüzey alanı karbon siyahında istenilen bir özelliktir. Geniş yüzey alanı sayesinde yapı ile etkin bir şekilde bütünleşerek mukavemeti artırabilmektedir. Çizelge 2'de yer alan EDX sonuçlarına bakıldığında, kükürt ve kül giderim işlemleri ile yapıdaki kükürt ve inorganik maddelerin uzaklaştırılması sonucunda karbon miktarının yüzde içerisinde arttığı görülmüştür. Yıkama işlemleriyle, kükürt miktarında belirgin şekilde azalma görülmüştür. Asidik ortamda çözünür olan ZnS katı üründen uzaklaştırılmıştır. Böylelikle, kül miktarının önemli bir bölümünü oluşturan çinko yapıdan uzaklaştırılmıştır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5. Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri: a) Piroliz sonrası karbon siyahı, b) Kükürt giderimi sonrası karbon siyahı, c) Kül giderimi sonrası karbon siyahı

Çizelge 2. Piroliz sonrası karbon siyahı, kükürt giderimi sonrası karbon siyahı ve kül giderimi sonrası karbon siyahı EDX analiz sonuçları

Element	Piroliz sonrası karbon siyahı	Kükürt giderimi sonrası karbon siyahı	Kül giderimi sonrası karbon siyahı
	Ağ.%	Ağ.%	Ağ.%
Karbon	42,82	49,76	69,97
Oksijen	14,75	35,13	21,16
Alüminyum	0,73	0,87	-
Silisyum	1,69	10,48	1,01
Kükürt	13,06	0,71	1,37
Demir	1,05	-	-
Çinko	25,91	-	-
Klor	-	3,04	3,27
Sodyum	-	-	3,23

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yapılan çalışma ile pirolitik karbon siyahı içerisindeki kükürt ve kül miktarlarının MgO-C refrakterlerin % açık gözenek miktarı, yoğunluk ve Soğuk Basma Mukavemeti değerleri için önemli etkisi olduğu belirlenmiştir. Kükürt ve kül miktarlarının azalması ile yoğunluk ve SBM değerlerinin arttığı, % açık gözenek değerlerinin ise azaldığı gözlenmiştir. En iyi sonuçlar iki kez yıkanarak kükürt ve kül miktarları azaltılan pirolitik karbon siyahı kullanımında elde edilmiştir. Piroliz sonrası elde edilen karbon siyahının kullanıldığı MgO-C refrakterlere göre yoğunluk ve açık gözenek değerleri birbirine yakın olmasına rağmen, iri taneli iyileştirilmiş pirolitik karbon siyahı ile üretilen MgO-C refrakterlerin Soğuk Basma Mukavemeti (SBM) değerlerinde iyileştirilmemiş iri taneli karbon siyahı içeren MgO-C refraktere göre yaklaşık 1,25; ince taneli iyileştirilmiş pirolitik karbon siyahı ile üretilen MgO-C refrakterlerin Soğuk Basma Mukavemeti (SBM) değerlerinde iyileştirilmemiş ince taneli

karbon siyahı içeren MgO-C refraktere göre yaklaşık 1,45 kat iyileşme gözlenmiştir.

Tire Rubber and Forestry Biomass Wastes, Procedia Engineering, 42, 1739-1746.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma 115M371 numaralı Tübitak projesi tarafından desteklenmiştir.

6. KAYNAKLAR

1. Gökçe, A.S., 2003. Antioksidan Katkıların Magnezya-karbon Refrakterin Oksidasyon Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
2. Faghihi, M.A., Sani, A.Y., 2002. Oxidation Kinetics of MgO-C Refractory Bricks, Ceramics International, 28, 835-839.
3. Zhang, S., Lee, W.E., 2001. Influence of Additives on Corrosion Resistance and Corroded Microstructures of MgO-C Refractories, Journal of the European Ceramic Society, 21, 2393-2405.
4. Sodyum Hegza Metafosfat Reçine ve Zift Gibi Bağlayıcıların Refraktere Kazandırdığı Özellikler, muhendislik.istanbul.edu.tr/metalurji/wp-content/.../Sodyum-hegza-metafosfat.pptx sitesinden alınmıştır.
5. DPT, 2001. Taş ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu (DPT: 2551 - ÖİK: 567). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2551, 19, <http://ekutup.dpt.gov.tr/imalatsa/tastopra/oik567.pdf> sitesinden alınmıştır.
6. <http://www.lasder.org.tr/otl-2/otl/> (Son erişim tarihi: 02/06/2017).
7. Martinez, J.D., Puy, N., Murillo, R., Garcia T., Navarro, M., N., Mastral A.M., 2013. Waste Tyre Pyrolysis-a Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 23,179-213.
8. Hu, H., Fang, Y., Liu, H., Yu, R., Luo, G., Liu, W., Li, A., Yao, H., 2014. The Fate of Sulfur During Rapid Pyrolysis of Scrap Tires, Chemosphere, 97:102-7.
9. Bernardo, M., Lapa, N., Gonçaves, M., Mendes, B., Pinto, F., 2012. Study of the Organic Extraction and Acidic Leaching of Chars Obtained in the Pyrolysis of Plastics,

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 yayımlanmasın 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 ortamdaki ise:** Bildiri sadece CD/DVD'de yayınlanış 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

