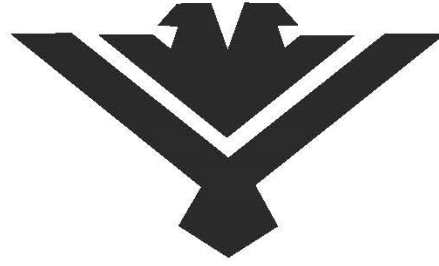


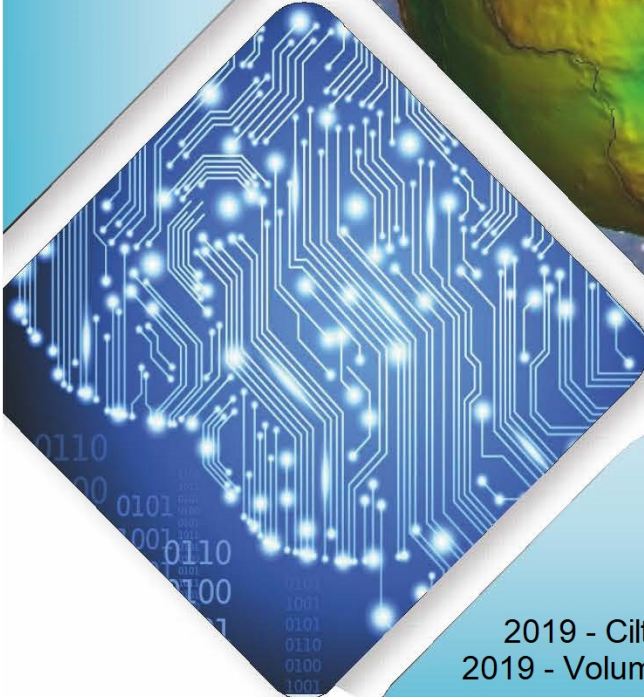


Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi

Konya Journal of Engineering Sciences



(KONJES)
E-ISSN: 2667-8055



2019 - Cilt : 7 Sayı : 4
2019 - Volume : 7 Issue : 4

HAKEMLİ DERGİDİR

OWNER/SAHİBİ

Owner on Behalf of Engineering and Natural Sciences Faculty of Konya Technical University **Prof. Dr. Ferruh YILDIZ**
Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Adına Dekan **Prof. Dr. Ferruh YILDIZ**

Chief Editor/Sef Editör

Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ

Editors/Editörler

Prof. Dr. Mustafa TABAKCI
Assoc. Prof. Dr. Halife KODAZ
Assist. Prof. Dr. Omer Kaan BAYKAN

Section Editors/Alan Editörleri

Prof. Dr. Halil Kursad ERSOY
Prof. Dr. Ihsan OZKAN
Prof. Dr. Mustafa TABAKCI
Assoc. Prof. Dr. Ahmet Afsin KULAKSIZ
Assoc. Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Assoc. Prof. Dr. Volkan KALEM
Assist. Prof. Dr. Alpaslan YARAR
Assist. Prof. Dr. Ömer Kaan BAYKAN
Assist. Prof. Dr. Selim DOĞAN

Advisory Board/Danışma Kurulu

Prof. Dr. Dervis KARABOGA, Erciyes University
Prof. Dr. Ibaraki SOICHI, Kyoto University
Prof. Dr. Matchavariani LIA, Tbilisi State University
Prof. Dr. Seref SAGIROGLU, Gazi University
Prof. Dr. Vijay P. SINGH, Texas A and M University

Prof. Dr. Ercan AKSOY, Bitlis Eren University
Prof. Dr. Lena HALOUNOVA, Czech Technical University
Prof. Dr. Petros PATIAS, The Aristotle University
Prof. Dr. Sitki KULUR, Istanbul Technical University

Language Editing/Yabancı Dil Editörü

Prof. Dr. Ali BERKTAY

Composition and Printing/Baskı ve Dizgi

Res. Assist. Ismail KOC
Res. Assist Emir Ali DINSEL
Res. Assist. Aybüke BABADAG

Correspondance Address/ Yazışma Adresi

Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Dekanlığı
42075-Kampüs, Selçuklu, Konya-TURKEY

Tel : 0 332 223 88 18
Fax : 0 332 241 06 35
E-mail : konjes@ktun.edu.tr
Web : <http://dergipark.org.tr/konjes>

Editorial Board/Yayın Kurulu

Ahmet Afsin Kulaksiz, Konya Technical University, TURKEY

Alla Anohina-Naumeca, Riga Technical University, LATVIA

Ashok K. Mishra, Clemson University, USA

Baris Binici, Middle East Technical University, TURKEY

Coskun Bayrak, University of Arkansas, USA

Demetrio Fuentes Ferrera, University of Castilla-La Mancha, SPAIN

Fahrettin Ozturk, The Petroleum Institute, UAE

Haci Murat Yilmaz, Aksaray University, TURKEY

Heinz Ruther University of Cape Town, SOUTH AFRICA

Homayoun Moghimi, Payame Noor University, IRAN

Ihsan Ozkan, Konya Technical University, TURKEY

John Trinder, The University of New South Wales, AUSTRALIA

Kerim Kocak, Konya Technical University, TURKEY

Loredana Judele, Technical University of Iasi, ROMANIA

Mohamed Bouabaz, Université 20 août 1955-Skikda, ALGERIA

Mohd Arif Wani, California State University, USA

Mortaza Yari, University of Tabriz, IRAN

Ömer Aydan, University of the Ryukyus, JAPAN

Sanchoy K. Das, New Jersey Institute of Technology, USA

Selim Dogan, Konya Technical University, TURKEY

Spase Shumka, Agricultural University of Tirana, ALBANIA

Tahira Geroeva, Baku State University, AZERBAIJAN

Vladimir Androkhonov, Novosibirsk Soil Research Institute, RUSSIA

Ali Kocak, Yildiz Technical University, TURKEY

Alpaslan Yarar, Konya Technical University, TURKEY

Ataur Rahman, University of Western Sydney, AUSTRALIA

Cihan Varol Sam Houston State University, USA

Dan Stumbea, Alexandru Ioan Cuza University of Iasi, ROMANIA

Eva Burgetova, Czech Technical University, CZECH REPUBLIC

Georgieva Lilia, Heriot-Watt University, UNITED KINGDOM

Halil Kursad Ersoy, Konya Technical University, TURKEY

Hi-Ryong Byun, Pukyong National University, SOUTH KOREA

Huseyin Devenci, Konya Technical University, TURKEY

Iraida Samofalova, Perm University, RUSSIA

Juan Maria Menendez Aguado, University of de Oviedo, SPAIN

Laramie Vance Potts, New Jersey Institute of Technology, USA

Mila Koeva, University of Twente, NETHERLANDS

Mohamed Metwaly Abu Anbar, Tanta University, EGYPT

Moonis Ali Khan, King Saud University, KSA

Murat Karakus, University of Adelaide, AUSTRALIA

Saadettin Erhan Kesen, Konya Technical University, TURKEY

Selcuk Kursat Isleyen, Gazi University, TURKEY

Shukri Maxhuni, Prizen University, KOSOVA REPUBLIC

Syed Tufail Hussain Sherazi, University of Sindh, PAKISTAN

Thomas Niedoba, AGH University of Science and Technology, POLAND

Zoran Sapuric, University American College Skopje, MACEDONIA

KONYA MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ
Konya Journal of Engineering Sciences
(KONJES)

ISSN 2667 – 8055 (Elektronik)

Cilt	7	Aralık	2019	Sayı	4
Volume	7	December	2019	Number	4

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Araştırma Makalesi (Research Article)

BÜYÜK ÖLÇEKLİ KÖMÜR ARININDA GERÇEKLEŞTİRİLEN SCHMIDT SERTLİK İNDEKSİ VE NOKTA YÜKLEME DAYANIMI DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

An Evaluation on In-situ Schmidt Hardness Index and Point Load Strength Test Results Performed in Large Scale Coal Face

.....Mehmet MESUTOĞLU, İhsan ÖZKAN 681-695

FACILE AND TEMPLATE-FREE SYNTHESIS OF CuO NANOPARTICLES

CuO Nanoparçacıkların Kolay ve Amorf Yapıda Sentezi

.....Tugay ÜSTÜN, Volkan ESKİZEYBEK, Ahmet AVCI (English) 696-704

GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİNDEKİ İLLERİN KURAKLIK ANALİZİ

Drought Analysis of Provinces in Southeastern Anatolia Region

.....Türker TUĞRUL, Selim DOĞAN, Şükrü DURSUN 705-712

ŞEBEKE ETKİLEŞİMLİ EVİRİCİLER İÇİN FAZ KİLİTLEME DÖNGÜSÜ YÖNTEMLERİNİN PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Performance Comparison of Phase Locked Loop Methods for Grid Interactive Inverters

.....Fehmi SEVİLMİŞ, Hulusi KARACA 713-728

TÜRKİYE'DE VE DÜNYADA ÇEVRE KORUMA HARCAMALARININ MUKAYESELİ DEĞERLENDİRİLMESİ

Comparative Evaluation of Environmental Protection Expenditures in Turkey and the World

.....Büşra ÇİÇEKALAN, Hale ÖZGÜN, İzzet ÖZTÜRK 729-741

NAFTALİN-BAĞLI MAKROHALKALI KOMPLEKSLERİN SENTEZİ VE SPEKTROSKOPİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Synthesis of Naphthalene-Bonded Macrocyclic Complexes and Investigation of Spectroscopic Behaviors

.....Aslıhan YILMAZ OBALI 742-748

KONUTLARDA PAKET TİPİ KOJENERASYON İLE YERİNDE ENERJİ ÜRETİMİ – KONYA ŞARTLARINDA UYGULAMA

Packaged Cogeneration Systems for Energy Production in the Residential Buildings – A Case Study in Konya

.....Mehmet KAPLAN, Mahmut Sami BÜKER 749-767

UTILIZATION OF ROBOTICS FOR SOLAR PANEL CLEANING AND MAINTENANCE

Güneş Paneli Temizliği ve Bakımı için Robotik Sistemin Uygulanması

...Haon PARK, Abdullah ÖZTÜRK, Hajun PARK, Muhammed Umer KHAN (English) 768-775

SOIL CORROSION PROTECTION BY NICKEL ELECTROPLATING

Nikel Elektro Kaplama ile Toprak Korozyonuna Karşı Koruma

.....Ebru SARALOĞLU GÜLER (English) 776-783

İNŞAAT ATIKLARININ YERALTI MADENİ ÜRETİM BOŞLUKLARINDA DOLGU MALZEMESİ OLARAK KULLANIMI

Utilisation of Construction and Demolition Waste as Backfill Material in Underground Mine Openings

.....Tekin YILMAZ, Bayram ERÇIKDI, Ferdi CİHANGİR 784-796

POZİSYON TABANLI ÖĞRENME VE DOĞRUSAL OLMAYAN BOZULMA ETKİSİ ALTINDA İŞ REDDETME Lİ TEK MAKİNE ÇİZELGELEME PROBLEMİ

Under Position Dependent Learning and Nonlinear Deterioration Effect on a Single Machine Scheduling Problem with Job Rejection

.....M. Duran TOKSARI, Berrin ATALAY 797-805

FİYAT TAHMİNLEMESİNDE MAKİNE ÖĞRENMESİ TEKNİKLERİ VE DOĞRUSAL REGRESYON YÖNTEMLERİNİN KİYASLANMASI; TÜRKİYE'DE SATILAN İKİNCİ EL ARAÇ FİYATLARININ TAHMİNLENMESİNE YÖNELİK BİR VAKA ÇALIŞMASI

A Comparative Study of Machine Learning and Linear Regression in Prediction of Pricing: A Case Study of Used Cars Price Prediction in Turkey

.....Ersin NAMLI, Ramazan ÜNLÜ, Ecem GÜL 806-821

INVESTIGATION OF THE SOLID WASTE LANDFILL SITE SELECTION USING THE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM IN THE CITY OF NİĞDE

Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla Niğde Kentinde Katı Atık Depolama Alanı Yer Seçiminin İncelenmesi

.....Ela ERTUNÇ, Aslı BOZDAĞ, Öznur Begüm GÖKÇEK (English) 822-838

KAYAÇLARIN S_{20} KIRILGANLIK İNDEKSİ İLE SCHMIDT SERTLİĞİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İSTATİSTİKSEL OLARAK BELİRLENMESİ

Determining the Statistical Relationship between the S_{20} Brittleness Index and Schmidt Hardness of Rocks

.....Hakan ÖZŞEN, Abdullah UYSAL, Arif Emre DURSUN 839-846

ÇELİK ÇERÇEVELERİN FARKLI STOKASTİK YÖNTEMLER KULLANILARAK OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI

Optimum Design of Steel Frames Using Different Stochastic Techniques

.....Aybike ÖZYÜKSEL ÇİFTÇİOĞLU, Erkan DOĞAN 847-861

BÜYÜK ÖLÇEKLİ KÖMÜR ARININDA GERÇEKLEŞTİRİLEN SCHMIDT SERTLİK İNDEKSİ VE NOKTA YÜKLEME DAYANIMI DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

¹Mehmet MESUTOĞLU, ²İhsan ÖZKAN

^{1,2}Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya, TÜRKİYE

¹mmesutoglu@ktun.edu.tr, ²iozkan@ktun.edu.tr

(Geliş/Received: 07.01.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 21.03.2019)

ÖZ: Kömür ve kömür damarı içerisinde konumlanan ara kesmelerin ($t=0,5m$) yerinde malzeme özelliklerinin belirlenmesine yönelik bu çalışma, TKİ-GLİ-Ömerler yeraltı maden ocağında gerçekleştirilmiştir. Kömür arın yüksekliği 3,5 m ve uzunluğu ise 110 m olan A1 hazırlık panosunda, yaklaşık 385 m²'lik yüzey alanı üzerinde her biri yaklaşık 15 m² olan 4 deney alanı belirlenmiştir. Bu deney bölgeleri arının iki kenar uç tarafında ve arın ortasında konumlanmıştır. Deney bölgeleri kendi içlerinde toplam 238 birim hücreye bölünmüştür. Birim hücrelerin orta noktasında en az üç kez tekrarlanmak kaydı ile Schmidt sertlik belirleme deneyleri yapılmıştır. Nokta yükleme dayanımı indeksi deneyi için A1 panosunun kömür arını yaklaşık 5'er metre aralıklar ile toplam 21 birim bölgeye ayrılmıştır. Her birim bölge ise kendi içerisinde beş alt birim hücreye bölünerek her bir alt birim hücreden alınan düzensiz örnekler ile toplam 563 adet nokta yükleme dayanımı belirleme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak yapılması pratik olan Schmidt sertlik ölçümleri ile nokta yükleme dayanım deney sonuçları arasındaki mekanik ilişkiler ve bu deney sonuçlarına dayalı kazı kolaylığına ait bir sınıflama bu çalışmada önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: *Kaya mekaniği, Kazı sınıflaması, Kömür, Nokta yükleme dayanımı, Schmidt sertlik, Yerinde deneyler.*

An Evaluation on In-situ Schmidt Hardness Index and Point Load Strength Test Results Performed in Large Scale Coal Face

ABSTRACT: This study, which was performed to determine the material characteristics of coal and inner burdens ($t=0.5 m$) located in coal seam, was carried out in TKİ-GLİ-Ömerler underground mine. Four test areas, which were each having an approximate area of 15 m², were determined on the A1 panel which with a height of 3.5 m and a length of 110 m. The total area for coal face in A1 panel is 385 m². These test regions were located on mid part and two edges of the tested long wall face. The experimental regions were divided into 238 measuring areas, cells, within themselves. In-situ Schmidt Hardness tests were then performed, at least three times at the mid-point of each cell, to find final test values for these cells, which were end up totally 238 test values. For the point load strength index test, the coal face of A1 panel was divided into 21 unit regions with approximately 5 meter intervals. Each of these regions divided into five sub-units. Then a total of 563 point load tests were performed by irregular samples selected from each subunit. After that, relations between the results of Schmidt Hardness and Point Load Strength tests were determined to evaluate their mechanical interrelations. In this study, additionally, new classification method was offered to evaluate excavation properties of coal seams.

Key Words: *Rock mechanics, Excavation classification, Coal, In-situ tests, Schmidt hardness, Point load strength.*

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kaya mühendislik yapılarının tasarımlarında kaya malzeme ve kütle özelliklerinin belirlenmesi çok büyük önem taşımaktadır. Tasarım mühendisleri tarafından öncelikle dikkate alınan laboratuvar deneyleri için ISRM (2007) ve ASTM (1993) tarafından düzgün geometriye sahip örneklerin hazırlanması istenmektedir. Ancak zayıf kaya malzemelerinde düzgün geometriye sahip örneklerin hazırlanmasında ciddi zorluklar ile karşılaşmaktadır (Broach ve Franklin, 1972; Unal ve diğ., 1992; Ulusay ve diğ., 1995; Ozkan ve Bilim, 2008). Bunun için dolaylı yoldan dayanım sonuçlarına götürecekt alternatif deney yöntemleri, ISRM (2007) ve ASTM (1993) tarafından önerilmiştir.

MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Kaya mühendislik yapılarının tasarım çalışmalarında kaya malzemesinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Homojen bir yapıya sahip olmayan kaya malzemesinin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde örneklerin hazırlanması ve deneylerin gerçekleştirilmesi konusunda ISRM (2007) ve ASTM (1993) tarafından ortaya atılan öneriler mevcuttur. Yeraltı ve yerüstü kaya mühendislik yapılarının tasarımında ihtiyaç duyulan kaya mekaniği özellikleri arasında ilk sırada yer alan Tek Eksenli Basma Dayanımı, Çekme Dayanımı, Elastik Modülü, Poisson Oranı, Kohezyon, İçsel Sürtünme Açısı, Asal Gerilme değerlerinin belirlenmesi için önerilen deneylerde düzgün örneklerin hazırlanması gerekmektedir. Tasarım çalışmalarında çok sık kullanılan tek eksenli basma dayanımı değerinin özellikle, zayıf, kil içerikli, tabakalı, yoğun süreksizlik içeren kaya malzemeleri için belirlenmesi, örnek hazırlama da karşılaşılan zorluklar nedeni ile çoğu zaman olanaksız olmaktadır. Bu tür malzemeler için öncelikle yapılması önerilen tek eksenli basma dayanımı gibi deneylerin ihtiyaç duyduğu düzgün silindirik veya küp şekilli örneklerin hazırlanması her zaman mümkün olamamaktadır. Bu sorunun aşılması için ISRM (2007) ve ASTM (1993) tarafından dolaylı deney yöntemleri önerilmektedir. Bu deney yöntemlerinden iki tanesi nokta yükleme dayanımı ve Schmidt sertlik indeks deneyleridir. Laboratuvar ölçekli bu iki deney cihazı hafif ve taşınabilir özelliğe sahiptir. Bu cihazlar için gerekli deney örneği hazırlaması ve bu cihazlarla deneylerin yapılması pratik olduğu için saha çalışmalarında da sıklıkla kullanılmaktadır. Büyük ölçekli bir kömür arınında kömür ve ara kesme malzemesinin malzeme özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak planlanan bu çalışmada, yukarıda sıralanan avantajları nedeniyle, ilgili iki deney yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Daha sonra, kömür ocağında yapılan bu deneylerin sonuçları kullanılarak, kömür arınında kazı kolaylığının belirlenmesine yönelik özel bir sınıflandırma ortaya konularak değerlendirmeler yapılmıştır.

Nokta Yükleme Dayanımı İndeks Deneyi (Point Load Strength Index Test)

Kömür malzemesine ait tek eksenli basma dayanımı değerini belirlemek bu çalışmanın ilk amacını oluşturmuştur. Kömür malzemesinin zayıf, kil içerikli, tabakalı, yoğun süreksizlik içeren bir yapı içermesi nedeni ile karot örneklerinin hazırlanması için gerçekleştirilen sondaj uygulaması başarısız olmuştur. Sahadan temin edilen kömür bloklarından sınırlı sayıda tek eksenli basma dayanımı örneği hazırlanabilmiştir. Yetersiz olan veri tabanını güçlendirmek amacıyla, küçük ve düzensiz örnekler üzerinde pratik olarak deney yapılabilen nokta yükleme dayanımı indeks deneylerinin yapılmasına karar verilmiştir. Bu deneyde örnek, iki konik uç tarafından noktasal olarak baskıya maruz bırakılmaktadır. Dolaylı yoldan tek eksenli basma dayanımı değerini bulmak amacıyla nokta yükleme dayanım indeks deneyi ile tek eksenli basma ve çekme dayanımı değerleri arasında doğrusal bir yaklaşım olduğu birçok araştırmacı tarafından ortaya konmuştur (Bienawski, 1975; Chau ve Wong, 1996; Hawkins, 1998; Kahraman, 2001; Öztürk ve diğ., 2004). Bunların genel tanımı aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$\sigma_c = k I_{s(50)} \quad (1)$$

$$\sigma_t = I_{s(50)} / \beta \quad (2)$$

Eşitlik 1’de σ_c ; Tek Eksenli Basma Dayanımı, σ_t ; Çekme Dayanımı, $I_{s(50)}$; Nokta Yükleme Dayanımı ve k ; bir katsayı olup yapılan birçok araştırma sonucuna göre k katsayısı 8-24 arasında değişmektedir. Kaya malzemesinin dayanım değeri arttıkça k katsayısı büyümektedir. Eşitlik 2’de β bir katsayı olmakla birlikte bu değerin 0,8 olduğu ISRM (2007) tarafından önerilmektedir.

Schmidt Sertlik Belirleme Deneyi (Schmidt Hardness Test)

Özellikle zayıf-tabakalı-yoğun süreksizlik içeren kaya malzemeleri ve süreksizlik yüzeylerinin dolaylı yoldan dayanım değerlerinin belirlenmesinde kullanılan Schmidt sertlik çekici, pratik bir deney cihazıdır. Bugün oldukça yaygın kullanılan bu deney cihazıyla kaya malzemelerinin dayanımı dolaylı yoldan belirlenebilmektedir. Deney cihazında sıkıştırılmış yay serbest kalarak ucundaki pim ile hızla kaya yüzeyine vurmakta ve kaya yüzeyinin dayanımına bağlı olarak pim geriye sıçramaktadır. Sıçrama mesafesi ilgili yüzeyin sertliği olarak tanımlanmaktadır. ISRM (2007) ve ASTM (1993), sertlik değeri belirlenecek malzemede en az 20 ölçümün alınmasını ve bu ölçümlerin küçük olan en az %50’sinin atılarak geriye kalan verilerin ortalamasının alınmasını önermektedir. Geliştirilen bir abak yardımıyla malzemenin yoğunluk ve ölçülen Schmidt sertlik değeri ile dolaylı yoldan tek eksenli basma dayanımı değeri belirlenebilir. Bu deney sonucuna bağlı geliştirilen en önemli yaklaşımlar bir tanesi Barton (1973) tarafından geliştirilen kaya kütesinin makaslama dayanımı davranışdır (Eşitlik 3). Buna göre, τ_d ; makaslama dayanımı, σ_n ; normal gerilme, JRC; süreksizlik bozunma derecesi, JCS; süreksizlik yüzeyinin Schmidt sertlik çekici ile belirlenen dayanım, φ_r ; kalıcı içsel sürtünme açısının fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır.

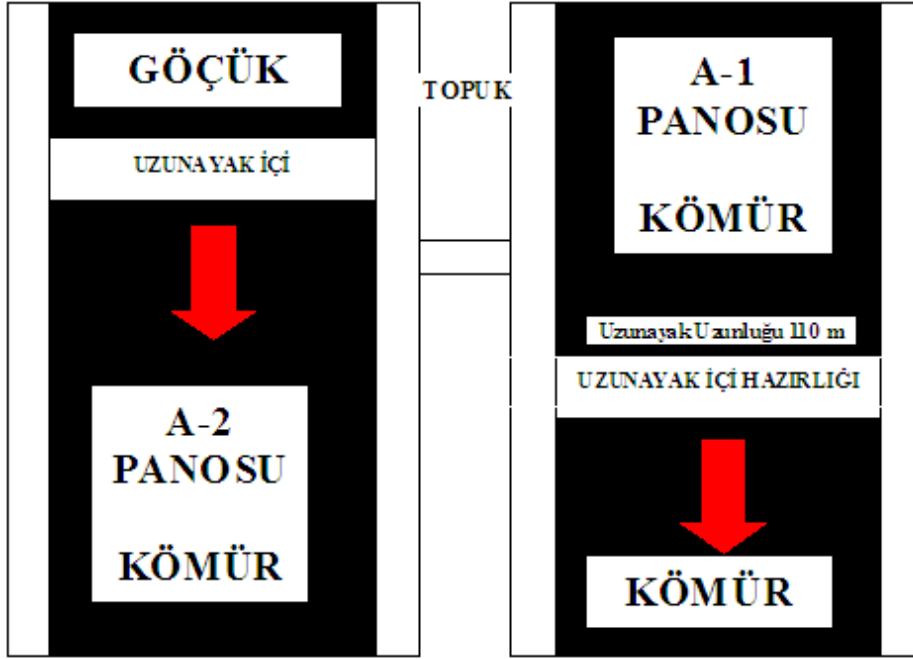
$$\tau_d = \sigma_n (JRC \log_{10} (JCS/\sigma_n) + \varphi_r) \quad (3)$$

Yeraltı Deney Alanı Hakkında Genel Bilgi (The General Information about Underground Test Area)

Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ)’ne bağlı Kütahya Tunçbilek kömür ocağında kömür üretimi, açık ocak ve yeraltı madenciligi ile yapılmaktadır. Ömerler yeraltı maden ocağında, mekanize kazı sistemi ile geri dönümlü göçertmeli uzun ayak üretim yöntemi kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan üretim yönteminde önce arındaki kömür tamburlu kesici-yükleyici ile bir have kesilmekte (yaklaşık 1 m) daha sonra ayak içindeki zincirli konveyör-tamburlu kesici yükleyici- yürüyen tahkimat üniteleri yeni arına yaklaştırmak için öne çekilmektedir. Uzunayak arkasında boşta kalan bölge üzerinde bulunan kömür ve onun üzerinde bulunan kaya katmanları yer çekimi etkisi ile kırılarak aşağıya kırılıp düşmektedir. İlk düşen kömür ayak arkasından alındıktan sonra üst kısımda kırılmış vaziyette bekleyen kaya blokları aşağıya inmiş olmaktadır (Şekil 1). Böylelikle üretimde bir üretim periyodu tamamlanmış olmakta yeni kazı aşamasına geçilmektedir. Uzunayak arkasındaki bölge göçmüş kaya blokları ile dolmakta ve böylelikle gerileme dağılımları belirli bir dengeye ulaşmış olmaktadır (Peng ve Chiang, 1984).

Bölgede kömür kalınlığı 8-10 m aralığında olup kömür damarının alt kısmındaki 3,5 metrelik dilimi kazılarak alınırken bu dilimin üstünde kalan 5-6 metrelik kısım yürüyen tahkimat birimlerinin arkasından göçertilerek alınmaktadır. Üretilen kömür bölgede kurulu olan termik santrale verilmektedir.

Bu makalede verilen deneysel çalışmaların yerini gösteren bir plan görünüş Şekil 1’de verilmiştir. Bu araştırma sırasında, Ömerler yeraltı ocağındaki A2 panosunda mekanize kazı çalışmaları sürdürülürken, A1 panosunda da hazırlık çalışmaları devam etmiştir. A2 ve A1 panosu arasında topuk bırakılmaktadır. Bu makalede ifade edilen deneysel çalışmalar 110 m uzunluğunda ve 3,5 m yüksekliğindeki A1 panosu için hazırlanmakta olan uzunayağın kılavuz galerisinde gerçekleştirilmiştir. Kömür damarı ve kömür malzemesine ait bir fotoğraf Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 1. Deneysel çalışmaların yürütüldüğü bölgeye ait plan görünüş
 Figure 1. Mine plan shows the locations of experimental studies



Şekil 2. Deneysel çalışmaların yürütüldüğü bölgedeki kömür damarı ve kömür malzeme örnekleri
 Figure 2. Photographs presenting the coal face and the coal material from the field test location

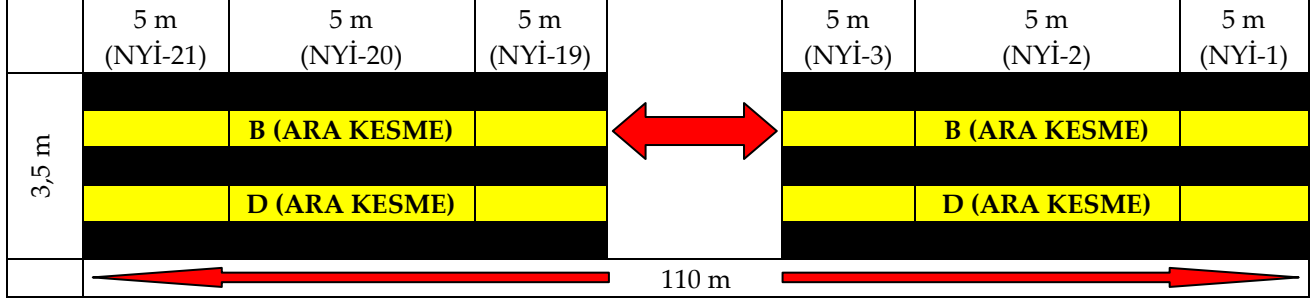
YERİNDE DENEYSEL ÇALIŞMALAR (IN-SITU TEST STUDIES)

Şekil 1' de belirtilen A1 panosuna ait hazırlık çalışması ile oluşturulan kazı arınında nokta yükleme dayanımı ve Schmidt sertlik belirleme deneyleri planlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda gerçekleştirilen deneysel çalışmalar yardımıyla bir veri tabanı hazırlanmıştır (Özkan ve Mesutoğlu, 2018). Aynı kömür arınında gerçekleştirilen her iki deney için ISRM (2007) tarafından önerilen deney yöntemleri dikkate alınmıştır.

Nokta Yükleme Dayanımı İndeks Deneyleri (Point Load Strength Index Tests)

TKİ-Tunçbilek Ömerler yeraltı kömür ocağında A1 uzunyak hazırlık panosu kılavuz galerisinde gerçekleştirilmesi planlanan nokta yükleme dayanımı deneyleri için öncelikle 110 m uzunluğundaki ve 3,5 m yüksekliğindeki kömür yüzeyi ara kesmelerle birlikte bölümlere ayrılmıştır. Bu bölümlerin genişlikleri yaklaşık 5 m yükseklikleri 3,5 m olmuştur. Sonuç olarak kömür yüzeyinde toplam 21 deney

bölgesi (NYİ) oluşturulmuştur. Her bir bölüm (NYİ) içerisinde Şekil 3’de görüldüğü üzere ayrıca kömür tabakaları (A, C, E) ve ara kesme tabakaları (B, D) mevcut olup her bir tabakadan en az 3 düzensiz nokta yükleme deney örneği arından koparılarak alınmıştır. Alınan örneklere ait genel bilgi Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil 3. A1 pano arınında gerçekleştirilen nokta yükleme deneyleri için planlanan deney bölgeleri

Figure 3. Planned point load testzones selected on the longwall face of A1 panel

Çizelge 1. A1 panosu arınında hazırlanan nokta yükleme dayanımı için deney bölgeleri ve sayıları

Table 1. Experimental test zones and number of tests performed for point load tests results on the coal face in A1 panel

Ölçüm bölgesi	Genişlik (m)	Yükseklik (m)	Toplam alan (m ²)	Kömür deney alanı kodu	Ara kesme deney alanı kodu	Kömür deney sayısı (#)	Ara kesme deney sayısı (#)	Toplam deney sayısı (#)
NYİ-1	2,2	3,1	6,82	A, C, E	B, D	23	17	40
NYİ-2	2,4	3,15	7,56	A, C, E	B, D	28	15	43
NYİ-3	2,52	3,2	8,064	A	B	11	7	18
NYİ-4	4,95	3,25	16,088	A, C	B	10	5	15
NYİ-5	4,6	3,25	14,95	A, C	B	10	7	17
NYİ-6	6	3,25	19,5	A, C	B	12	9	21
NYİ-7	5,5	3,25	17,875	A, C	B	15	9	24
NYİ-8	6,6	3,25	21,45	A, C	B	17	7	24
NYİ-9	6	3,25	19,5	A, C	B	19	7	26
NYİ-10	5,6	3,2	17,92	A, C, E	B, D	14	9	23
NYİ-11	6,5	3,15	20,475	A, C, E	B, D	17	11	28
NYİ-12	6,2	3,1	19,22	A, C, E	B, D	17	11	28
NYİ-13	6,45	3	19,35	A, C	B	15	5	20
NYİ-14	6,85	2,9	19,865	A, C, E	B, D	20	13	33
NYİ-15	5	2,8	14	A, C, E	B, D	15	11	26
NYİ-16	5	2,7	13,5	A, C, E	B, D	19	11	30
NYİ-17	5,4	2,5	13,5	A, C, E	B, D	20	11	31
NYİ-18	5,56	2,4	13,344	A, C, E	B, D	18	11	29
NYİ-19	5,82	2,3	13,386	A, C, E	B, D	20	12	32
NYİ-20	5,8	2,25	13,05	A, C, E	B, D	20	10	30
NYİ-21	6,3	2,2	13,86	A, C, E	B, D	13	12	25
TOPLAM			325,54			353	210	563

Toplam 563 adet örnek üzerinde nokta yükleme deneyi gerçekleştirilmiş olup örneklerin doğal özellikleri bozulmaması için deneyler sahada gerçekleştirilmiştir. Tabakalara paralel ve dik yönde yüklemelerin yapıldığı nokta yükleme deney sonuçları Çizelge 2 ve 3’de sunulmuştur. Buna göre, kömür malzemesi için nokta yükleme dayanımı ($I_{s(50)}$) değerleri 0,10–0,875 MPa aralığında değişirken,

ortalama değerinin 0,35 MPa olduğu belirlenmiştir. Anizotropi indeks (I_a) değerleri 1,1–3,49 aralığında değişirken, ortalama anizotropi indeks değerinin 1,38 olduğu görülmektedir (Çizelge 2).

Kömür arınında oluşturulan 21 birim ölçüm bölgelerinde (NYİ) mevcut olan kömür tabakalarında (A, C, E) gerçekleştirilen nokta yükleme dayanım değerlerindeki değişimler Şekil 4’de sunulmuştur. Kömür yüzeyinde malzeme galeri (taban yolu) girişinden itibaren NYİ-3, NYİ-11, NYİ-19 ve NYİ-21 nolu bölgelerde nokta yükleme dayanım değerlerinin yüksek olduğu ($0,5 \text{ MPa} < I_{s(50)} < 0,9 \text{ MPa}$) buna karşın diğer tüm bölgelerde nokta yükleme dayanım değerlerinin düşük olduğu Şekil 4 ve Çizelge 2’den anlaşılmaktadır ($0,1 \text{ MPa} < I_{s(50)} < 0,37 \text{ MPa}$). Benzer bir değerlendirme anizotropi indeksi için Şekil 5 ve Çizelge 2 dikkate alınarak yapılabilir. NYİ-2 ve NYİ-3 için anizotropi indeks değerlerinin büyük olduğu ($I_a=2,89$ ve $3,49$) diğer bölgelerde ise I_a değerlerinin 1,10-1,90 aralığında değiştiği görülmüştür.

Ara kesme malzemesinde ortalama $I_{s(50)} = 0,82 \text{ MPa}$, anizotropi indeksi değeri $I_a=1,17$ olarak belirlenmiştir (Çizelge 3). Kömür arınında oluşturulan birim ölçüm bölgelerinde mevcut olan ara kesme tabakalarında (B, D) gerçekleştirilen nokta yükleme dayanım değerlerindeki değişimler Şekil 4’de sunulmuştur. Malzeme galeri (taban yolu) girişinden itibaren NYİ-4, NYİ-10, NYİ-19 ve NYİ-20 nolu bölgelerde nokta yükleme dayanım değerlerinin yüksek olduğu ($1,19 \text{ MPa} < I_{s(50)} < 1,78 \text{ MPa}$) anlaşılmaktadır. Buna karşın diğer tüm bölgelerde nokta yükleme dayanım değerlerinin düşük olduğu anlaşılmaktadır ($0,285 \text{ MPa} < I_{s(50)} < 0,90 \text{ MPa}$). Benzer bir değerlendirme anizotropi indeksi için Şekil 5 dikkate alınarak yapılabilir. NYİ-7, NYİ-10, NYİ-17, NYİ-18, NYİ-20 ve NYİ-21 için anizotropi indeks değerlerinin büyük olduğu ($I_a=1,85$ ve $4,33$) diğer bölgelerde ise genel olarak I_a değerlerinin 1,04 – 1,50 aralığında değiştiği görülmüştür.

Kömür malzemesinin zayıflık yapısını-yönünü gösteren klivaj yapısı ve dayanımı kömürün mekanik kazısında belirleyici faktörlerdir. Farklı yönlerdeki dayanım farkını ortaya koyan anizotropi indeksi, malzemenin hangi yönde oluşacak darbeye karşı daha zayıf olduğunu göstermektedir. Bu zayıf yön, kazının planlanmasında önemlidir. Burada belirlenen anizotropi indeks sonuçlarına göre kazı kolaylığı açısından kazı yönünün en düşük nokta yükleme dayanımı gösteren kömür tabakalanmasına paralel yönde olduğu söylenebilir. Anizotropi indeks değerinin 1’e yaklaşması ile kazının zorlaşacağı uzaklaşması ile kazının kolaylaşacağı düşünülebilir. Bu yaklaşıma göre maden ocağında kullanılan tamburlu kesici yükleyici kazı makinesinin A1 panosunda çalıştırılması durumunda, NYİ- 2 ve 3 bölgelerinde oldukça kolay kazı yapabileceği söylenebilir (Çizelge 2, Şekil 5). Kömür damarında konumlanan ara kesme malzemesine ait anizotropi indeks değerlerine göre (Çizelge 3 ve Şekil 5) indeks değerlerinin genel olarak birbirine yakın olduğu görülmektedir. Buna karşın, NYİ-7, NYİ-10, NYİ-17, NYİ-18, NYİ-20 ve NYİ-21 bölgelerinde bu değer kömür malzemesine göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Ara kesme malzemesi için nokta yükleme dayanımı ($I_{s(50)}$) değerlerinin yüksek olduğu NYİ-4, NYİ-10, NYİ-19 ve NYİ-20 bölgelerinde, kazı kolaylığını ifade eden anizotropi değerlerinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Buradan tamburlu kesici yükleyicinin I_a değerlerinin yüksek olduğu bu bölgelerde nispeten daha kolay kazı yapabileceği söylenebilir.

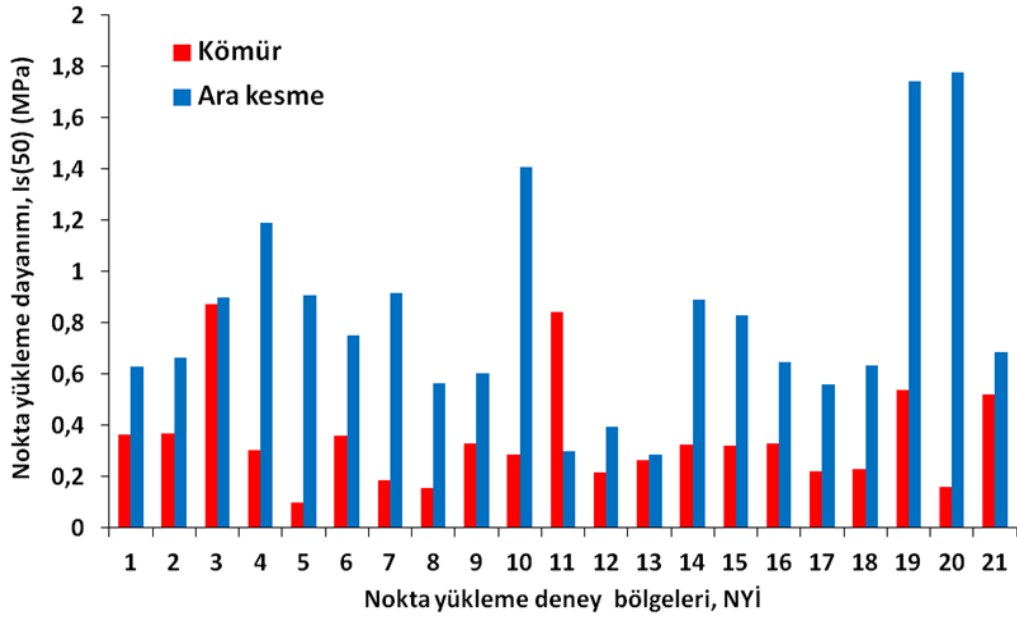
Schmidth Sertlik İndeks Deneyleri (Schmidt Hardness Index Tests)

TKİ-Tunçbilek Ömerler yeraltı kömür ocağında hazırlık çalışmaları yürütülen A1 panosu uzunayak arınında (110 m arın uzunluğu, 3,5 m arın yüksekliği) planlanan Schmidt sertlik belirleme deneyleri için öncelikle kömür yüzeyi üzerinde dört deney bölümü oluşturulmuştur. Bu bölümlerin arındaki görünüşleri Şekil 6’da sunulmuştur. Her bir deney bölümünde (SH-1, SH-2, SH-3 ve SH-4) kömür tabakaları (A, C, E) ve ara kesme tabakaları (B, D) mevcut olup her bir tabaka alt birim hücrelere bölünmüştür. Her bir birim hücreden üç kez Schmidt sertlik deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney alanları ve Schmidt sertlik deney sonuçları Çizelge 4 ve 5’te verilmiştir.

Çizelge 2. A1 pano arınında gerçekleştirilen kömür nokta yükleme dayanım deney sonuçları

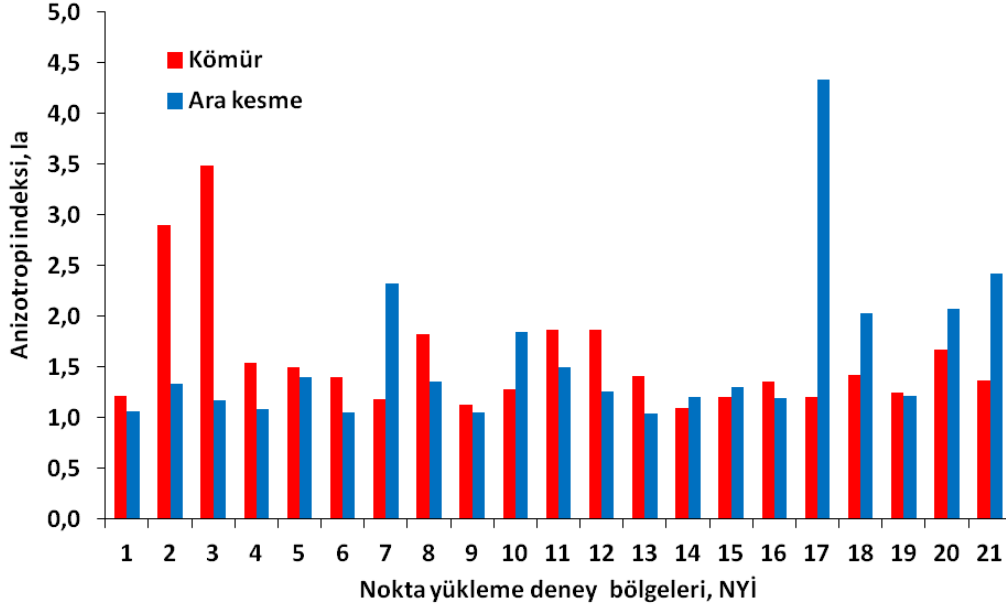
Table 2. Point load tests results carried out on the coal face in A1 panel

Ölçüm bölgesi	Çapsal Nokta Yükleme Dayanımı				Eksenel Nokta Yükleme Dayanımı				Genel Sonuç	
	Toplam alan	Deney alanı	Deney sayısı	Çapsal $I_{s(50)}$	Toplam alan	Deney alanı	Deney sayısı	Eksenel $I_{s(50)}$	Ortalama $I_{s(50)}$	Anizotropi indeksi, Ia
	(m ²)		(#)	(MPa)	(m ²)		(#)	(MPa)	(MPa)	
NYİ-1	2,22	A, C, E	13	0,4	1,7	A, C, E	10	0,33	0,365	1,21
NYİ-2	2,64	A, C, E	15	0,55	2,29	A, C, E	13	0,19	0,37	2,89
NYİ-3	2,69	A	6	1,36	2,24	A	5	0,39	0,875	3,49
NYİ-4	6,44	A, C	6	0,37	4,29	A, C	5	0,24	0,305	1,54
NYİ-5	5,28	A, C	6	0,08	3,52	A, C	5	0,12	0,1	1,50
NYİ-6	6,5	A, C	7	0,3	4,64	A, C	6	0,42	0,36	1,40
NYİ-7	6,7	A, C	9	0,2	4,44	A, C	7	0,17	0,185	1,18
NYİ-8	9,83	A, C	11	0,2	5,36	A, C	7	0,11	0,155	1,82
NYİ-9	7,5	A, C	10	0,35	3	A, C	5	0,31	0,33	1,13
NYİ-10	5,45	A, C, E	7	0,32	5,45	A, C, E	8	0,25	0,285	1,28
NYİ-11	6,58	A, C, E	9	1,1	5,84	A, C, E	9	0,59	0,845	1,86
NYİ-12	6,86	A, C, E	10	0,28	4,12	A, C, E	7	0,15	0,215	1,87
NYİ-13	9,68	A, C	10	0,31	4,84	A, C	6	0,22	0,265	1,41
NYİ-14	6,02	A, C, E	10	0,34	6,02	A, C, E	10	0,31	0,325	1,10
NYİ-15	3,77	A, C, E	7	0,29	4,31	A, C, E	8	0,35	0,32	1,21
NYİ-16	4,5	A, C, E	10	0,38	4,05	A, C, E	9	0,28	0,33	1,36
NYİ-17	5,23	A, C, E	12	0,24	3,48	A, C, E	8	0,2	0,22	1,20
NYİ-18	4,14	A, C, E	9	0,27	4,14	A, C, E	9	0,19	0,23	1,42
NYİ-19	4,6	A, C, E	11	0,48	3,76	A, C, E	9	0,6	0,54	1,25
NYİ-20	4,79	A, C, E	11	0,2	3,92	A, C, E	9	0,12	0,16	1,67
NYİ-21	3,33	A, C, E	6	0,44	3,28	A, C, E	7	0,6	0,52	1,36
TOPLAM	114,75		195	0,40	84,69		163	0,29	0,35	1,38



Şekil 4. Deney bölgelerinde (NYİ) gerçekleştirilen nokta yükleme deney sonuçları

Figure 4. The results of point load tests carried out on experimental test areas (NYI)

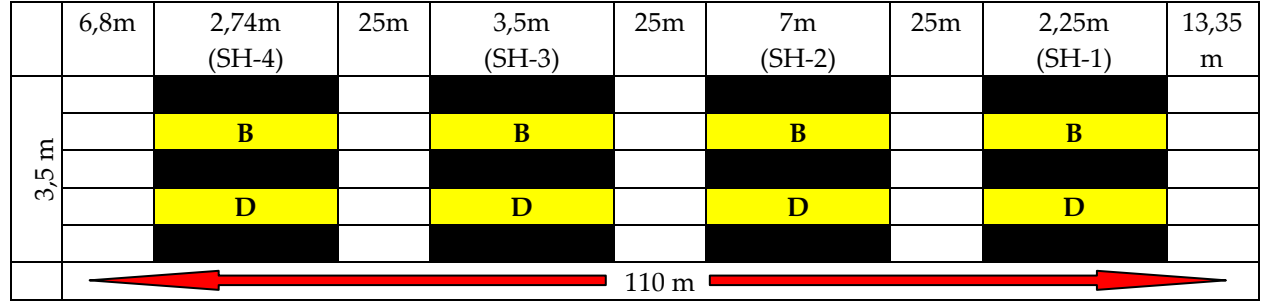


Şekil 5. Deney bölgelerinde (NYİ) belirlenen anizotropi indeksi değerleri
Figure 5. The anisotropy index values determined in the experimental regions (NYI)

Çizelge 3. A1 pano arınında ara kesme nokta yüklenme dayanım sonuçları
Table 3. Point load tests results carried out for intermediate rock layers in the coal seam in A1 panel

Ölçüm bölgesi	Çapsal Nokta Yüklenme Dayanımı			Eksenel Nokta Yüklenme Dayanımı				Genel Sonuç		
	Toplam alan	Deney alanı	Deney sayısı	Çapsal $I_{s(50)}$	Toplam alan	Deney alanı	Deney sayısı	Eksenel $I_{s(50)}$	Ortalama $I_{s(50)}$	Anizotropi indeksi, I_a
	(m ²)		(#)	(MPa)	(m ²)		(#)	(MPa)	(MPa)	
NYİ-1	2,22	B, D	9	0,65	1,36	B, D	8	0,61	0,63	1,07
NYİ-2	2,64	B, D	7	0,76	1,41	B, D	8	0,57	0,665	1,33
NYİ-3	2,69	B	5	0,97	1,34	B	4	0,83	0,9	1,17
NYİ-4	6,44	B	4	1,14	2,15	B	3	1,24	1,19	1,09
NYİ-5	5,28	B	4	1,06	3,52	B	5	0,76	0,91	1,39
NYİ-6	6,5	B	6	0,73	2,79	B	4	0,77	0,75	1,05
NYİ-7	6,7	B	6	1,28	2,23	B	4	0,55	0,915	2,33
NYİ-8	9,83	B	6	0,65	1,79	B	3	0,48	0,565	1,35
NYİ-9	7,5	B	5	0,62	2,25	B	4	0,59	0,605	1,05
NYİ-10	5,45	B, D	5	1,83	3,9	B, D	6	0,99	1,41	1,85
NYİ-11	6,58	B, D	6	0,36	4,39	B, D	7	0,24	0,3	1,50
NYİ-12	6,86	B, D	6	0,35	4,12	B, D	7	0,44	0,395	1,26
NYİ-13	9,68	B	4	0,29	1,94	B	3	0,28	0,285	1,04
NYİ-14	6,02	B, D	7	0,97	4,21	B, D	8	0,81	0,89	1,20
NYİ-15	3,77	B, D	8	0,94	2,15	B, D	5	0,72	0,83	1,31
NYİ-16	4,5	B, D	8	0,7	1,8	B, D	5	0,59	0,645	1,19
NYİ-17	5,23	B, D	6	0,91	2,61	B, D	7	0,21	0,56	4,33
NYİ-18	4,14	B, D	7	0,42	2,3	B, D	6	0,85	0,635	2,02
NYİ-19	4,6	B, D	7	1,91	2,51	B, D	7	1,58	1,745	1,21
NYİ-20	4,79	B, D	6	1,16	2,18	B, D	6	2,4	1,78	2,07
NYİ-21	3,33	B, D	7	0,97	3,33	B, D	7	0,4	0,685	2,43
TOPLAM	114,75		129	0,89	54,28		117	0,76	0,82	1,17

Schmidt sertlik deney sonuçları grafiksel olarak Şekil 7'de sunulmuştur. Kömür malzemesinin Schmidt sertlik değerleri (N), ara kesme malzemesine göre oldukça düşük ve bölgeler arasında farkların (N=18,29 – 20,93) az olduğu anlaşılmaktadır. Malzeme galeri (taban yolu) girişinden itibaren ara kesme Schmidt sertlik değerlerinin (N), SH-2 ölçüm bölgesi hariç diğer üç bölgede yakın olduğu (N=29,60 – 30,80) ancak SH-2 bölgesinde Schmidt sertlik değerinin N=43 olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, tamburlu kesici yükleyicinin arında kömür malzemesini keserken aynı seviyede zorlanacağı beklenirken, kömür içerisinde konumlanan ara kesmelerin kesilmesinde nispeten daha fazla zorlukla karşılaşabileceği söylenebilir.



Şekil 6. A1 pano arınında gerçekleştirilen Schmidt sertlik deneyleri için planlanan deney bölgeleri
Figure 6. The planned experiment zones for the Schmidt hardness tests carried out on coal face in A1 panel

Çizelge 4. A1 pano arınında gerçekleştirilen kömür Schmidt sertlik belirleme deneyleri

Table 4. Schmidt hardness tests results carried out on the coal face in A1 panel

Ölçüm bölgesi	Deney alanı	Toplam alan	Deney sayısı	Ortalama birim deney hücre alanı	Ortalama Schmidt sertlik deney sonucu N
		m ²	#	m ²	
SH-1	A, C, E	7,5	45	0,167	18,29±3,05
SH-2	A, C, E	23,65	69	0,343	20,93±5,06
SH-3	A, C, E	11,88	54	0,220	19,26±3,42
SH-4	A, C, E	8,56	45	0,190	19,42±3,54

Çizelge 5. A1 pano arınında gerçekleştirilen ara kesme Schmidt sertlik belirleme deneyleri

Table 5. Schmidt hardness tests results carried out for intermediate rock layers in the coal face of A1 panel

Ölçüm bölgesi	Ara kesme deney alanı	Toplam alan	Ara kesme deney sayısı	Ortalama birim deney hücre alanı	Ortalama Schmidt sertlik deney sonucu N
		m ²	#	m ²	
SH-1	B, D	0,35	5	0,070	29,60±4,07
SH-2	B, D	1,16	8	0,145	43,00±4,90
SH-3	B, D	0,49	7	0,070	30,43±2,32
SH-4	B, D	1,02	5	0,204	30,80±2,04

BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

TKİ-Tunçbilek Ömerler yeraltı kömür ocağında A1 uzunayak hazırlık panosu arınında nokta yükleme dayanımı ve Schmidt sertlik belirleme deneyleri, 110 m uzunluğa ve 3.5 m yüksekliğine sahip toplam 385 m² yüzey alanına sahip arında gerçekleştirilmiştir. Nokta yükleme deneyleri tüm arında sistematik olarak oluşturulan 21 adet birim bölgede (yaklaşık; genişlik 5 m, yükseklik 3.5 m) gerçekleştirilirken Schmidt sertlik belirleme deneyleri, arın yüzeyinde sistematik olarak belirlenen sadece dört bölgede gerçekleştirilmiştir. Her iki deneyin gerçekleştirildiği ortak deney bölgeleri ve bu ortak deney bölgelerinde gerçekleştirilen deneylere ait ortalama sonuçlar Çizelge 6'da verilmiştir. Kömür ve ara kesme malzemesi için gerçekleştirilen Schmidt sertlik belirleme ve nokta yükleme

dayanımı deney sonuçları arasındaki matematiksel ilişkiler, SPSS v17.0 paket program ile araştırılmıştır (Çizelge 7). Bu analizlerde Çizelge 6' da sunulan ortalama değerler dikkate alınmıştır.

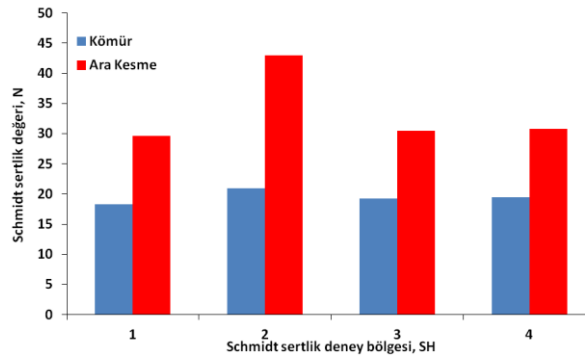
Kömür arınında gerçekleştirilen Schmidt sertlik (N) değerleri ile nokta yükleme dayanımı indeks ($I_{s(50)}$) değerleri arasında güçlü bir istatistiksel ilişkinin olduğu belirlenmiştir (Çizelge 7). Üstel karakter ile ifade edilen bu eşitlikte, bilinen N değerleri ile $I_{s(50)}$ değerleri 0,93 başarı (R^2) ile tahmin edilebilmektedir.

Malzemenin farklı yönlerde mekanik açıdan gösterdiği farklı dayanım davranışı anizotropi (Ia) olarak tanımlanmakta ve bunun için sıklıkla nokta yükleme dayanım deney sonuçları kullanılmaktadır. Anizotropi (Ia) değeri, eksenel nokta yükleme değerlerinin çapsal yükleme değerlerine oranları ile belirlenmektedir. Bu çalışmada $I_{s(50)}$ değerleri ile Ia arasındaki istatistiksel ilişki değerleri belirlenmeye çalışılmıştır (Çizelge 7). Belirlenen matematiksel eşitlikte bilinen bir $I_{s(50)}$ değeri ile Ia değeri 0,78 (R^2) doğrulukta tahmin edilebilmektedir.

Özkan (1989) tarafından yapılan bir çalışmada, nokta yükleme dayanımı değerleri fazla çıkan örneklerde, tek eksenli basma dayanım değerlerinin de arttığı gözlenirken, aynı deney örneklerinde elastik modül değerlerinin de arttığı ve buna bağlı olarak sistematik bir şekilde Poisson oranlarının da değiştiği vurgulanmıştır. Bu çalışmada Özkan (1989), nokta yükleme dayanım değerlerinin azalması ile anizotropi indeks değerlerinin büyüdüğünü belirleyerek anizotropi indeksi (Ia) ile elastik modül (E) değerinin Poisson (ν) değerine bölünmesiyle (E/ν) ortaya çıkan sayı, oran, arasında güçlü bir ilişki ($R^2=0,75$) olduğunu vurgulamıştır.

$$E/\nu = 869 I_a^{(-3,186)} \quad (4)$$

Yatay eksenin x, düşey eksenin y kabul edildiği tek eksenli bir deformabilite deneyinden belirlenen elastik modül ($E=\Delta\sigma/\Delta\varepsilon_y$) ve Poisson oranı ($\nu=\Delta\varepsilon_x/\Delta\varepsilon_y$) değerlerinin oranı (E/ν) için bir sadeleştirme yapılırsa, bu oranının aslında $\Delta\sigma/\Delta\varepsilon_x$ olduğu görülecektir. Eşitlik 4' te verilen oran (E/ν) özünde gerilmeye maruz kalan malzemenin yatay ekseninde (x-ekseni) oluşan deformasyon miktarını ifade etmektedir. E/ν oran değerlerinin küçük olması bir birim gerilme (σ) altında yatay yönde oluşan birim deformasyon değerlerinin (ε) oldukça büyük olduğunu, bu oran değerlerinin büyük olduğu durumdase aynı bir birim gerilme (σ) altında yatay yönde çok küçük birim deformasyonların (ε) olduğunu ifade edecektir. İlk durum için malzeme çok fazla yanal yönde genişlerken ikinci durumda çok az yanal yönde genişleyecektir. Burada verilen örnek tanımlama temel alınarak E/ν oranının arında kazının kolaylığı ve zorluğuna işaret eden bir parametre olduğu kabul edilmiştir. Kazıcı makinenin uç darbelerine maruz kalan kömür malzemesi, düşük E/ν oranına sahipse yatay yönde çok deforme olarak kazıyı kolaylaştıracaktır. Buna karşın E/ν oranının büyük olması durumunda kazıcı makinenin uç darbelerine maruz kalan kömür malzemesi daha az yanal deformasyona uğrayarak kazıyı zorlaştıracaktır. Bu çalışmada Özkan (1989) tarafından önerilen Eşitlik 4 kullanılmıştır (Çizelge 7). Saha çalışmaları ile belirlenen Ia değerleri önerilen, matematiksel eşitlikte kullanılmış ve kömür ve ara kesme malzemesinin E/ν oranları 0,75 (R^2) doğruluk oranı ile belirlenmiştir.



Şekil 7. Deney bölgelerinde (SH) gerçekleştirilen Schmidt sertlik deney sonuçları

Figure 7. The results of Schmidt hardness tests carried out on experimental test areas (SH)

Çizelge 6. Her iki deneyin ortak gerçekleştirildiği deney bölgeleri, deney sayıları ve deney sonuçları
Table 6. Number of performed tests and their results at joint test locations where both tests were carried out

Malzeme galeri girişinden mesafe	Ortak deney bölgeleri				Ortak deney bölgeleri	
	Nokta yükleme dayanım deney bölgesi ve deney sayısı		Schmidt sertlik belirleme deney bölgesi ve deney sayısı		Ortalama nokta yükleme dayanımı değeri	Ortalama Schmidt sertlik değeri
m	#		#		$I_{s(50)}$ (MPa), Ia	N
13,35	NYİ-3	Kömür	SH-1	Kömür	Kömür	Kömür
	NYİ-4	21		45	0,59; 2,59	18,29
		Ara kesme		Ara kesme	Ara kesme	Ara kesme
		12		5	1,045; 1,13	29,60
40,60	NYİ-9	Kömür	SH-2	Kömür	Kömür	Kömür
	NYİ-10	33		69	0,3075; 1,31	20,93
		Ara kesme		Ara kesme	Ara kesme	Ara kesme
		16		8	1,008; 1,45	43,00
72,60	NYİ-15	Kömür	SH-3	Kömür	Kömür	Kömür
	NYİ-16	34		54	0,31; 1,29	19,26
		Ara kesme		Ara kesme	Ara kesme	Ara kesme
		22		7	0,7375; 1,25	30,43
101,10	NYİ-19	Kömür	SH-4	Kömür	Kömür	Kömür
	NYİ-20	40		45	0,35; 1,46	19,42
		Ara kesme		Ara kesme	Ara kesme	Ara kesme
		32		5	1,7625; 1,64	30,80

Çizelge 7. Gerçekleştirilen istatistiksel analiz sonuçları

Table 7. Results of statistical analyses

Dikkate alınan parametreler	Belirlenen istatistiksel eşitlik	R ²
Schmidt Sertlik (N) ve Nokta yükleme dayanımı ($I_{s(50)}$)	$I_{s(50)} = 0,125 e^{(0,064 \times N)}$	0,93
Anizotropi indeksi (Ia) ve Nokta yükleme dayanımı ($I_{s(50)}$)	$Ia = 1 + 0,362 I_{s(50)}^{(-0,457)}$	0,78
Elastik Modül Poisson oranı (E/v) ve Anizotropi indeksi (Ia)	$E/v = 869 Ia^{(-3,186)}$	0,75
Schmidt Sertlik (N) ve Elastik Modül Poisson oranı (E/v)	$E/v = 12,79N - 9,6976$	0,51

Bu çalışmada, kömür arınında gerçekleştirilen Schmidt sertlik (N) deney sonuçları ile anizotropi indeks değerlerine bağlı olarak Eşitlik 4 kullanılarak belirlenen E/v oranı değerleri arasındaki matematiksel ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Her iki parametre arasında doğrusal karakterde matematiksel bir ilişki olduğu ve bunun ancak 0,51 (R²) başarı ile açıklanabildiği tespit edilmiştir.

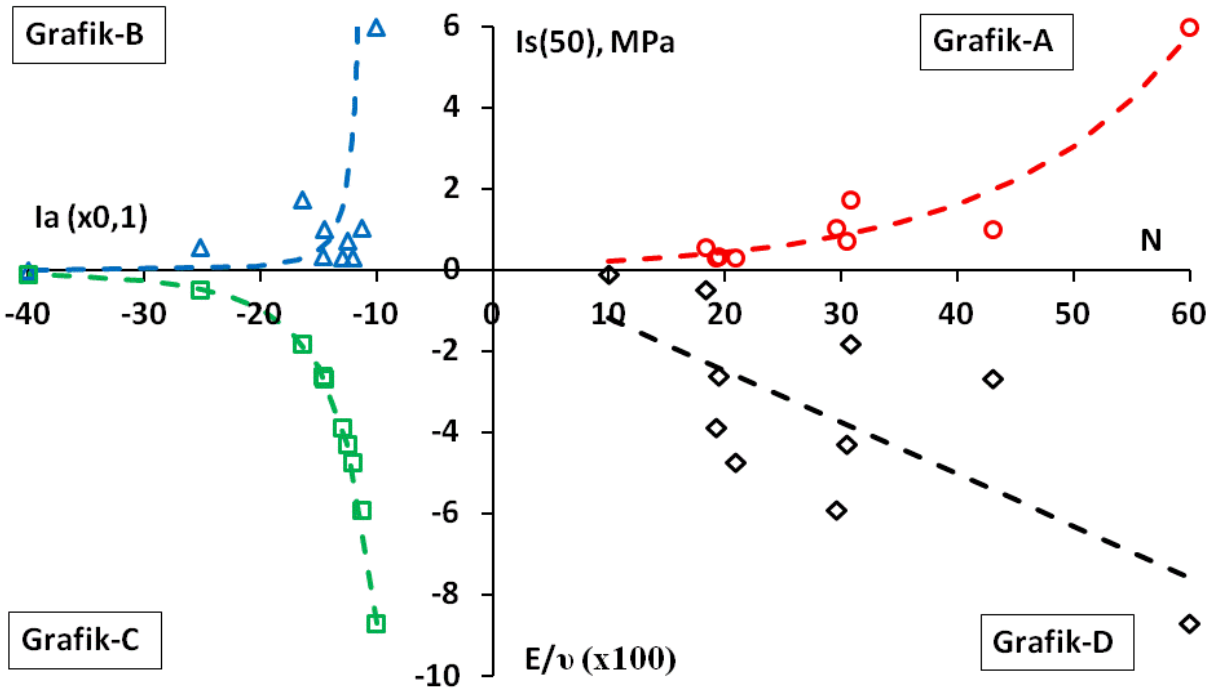
SPSS v17.0 istatistiksel analiz paket programı yardımıyla gerçekleştirilen analizler sonucunda belirlenen dört farklı matematiksel analiz sonucu topluca Çizelge 7’de sunulmuştur. A1 panosuna ait kömür arınında (385 m²) mevcut olan kömür ve ara kesme malzemesi için yerinde gerçekleştirilen Schmidt sertlik (N), nokta yükleme dayanımı ($I_{s(50)}$), anizotropi indeks (Ia) ve Elastik Modül Poisson oranına (E/v) bağlı bütüncü yaklaşım Şekil 8’de sunulmuştur.

Bütüncü yaklaşımın geliştirilmesinde kullanılan eşitliklerin (Çizelge 7), ilk üçü doğrusal olmayan karakterde iken sonuncu olan N-E/v ilişkisi, doğrusal bir karakter sergilemektedir. Bütüncü yaklaşımın son alt bölümünde N ve E/v arasında verilerin dağılımını en iyi açıklayan modelin diğerlerinin aksine doğrusal olduğu görülmüştür.

TKİ-Tunçbilek yeraltı kömür madeni kömür arınında gerçekleştirilen Schmidt sertlik belirleme deney sonucu, eğer Şekil 8’de Grafik-A kullanılırsa, $I_{s(50)}$ değeri belirlenebilecek, Grafik-B kullanıldığında anizotropi indeks değeri (Ia) belirlenebilecektir. Anizotropi indeks değeri ($1 \leq Ia \leq 4$) arttıkça kömür malzemesinin farklı yönlere dayanam farklılığı kömürün kazı kolaylığını ifade edecektir. Grafik-C ile

E/v oran değeri belirlenebilecektir. Bu oran tek yönlü yük altında kalan malzemedeki yanal birim deformasyonları tanımladığı için, ilgili değer azaldıkça kömür malzemesinin kazı kolaylığı artacaktır. Benzer şekilde, Schmidt sertlik deney sonucu (N), Grafik-D'de kullanılarak E/v oranı belirlenebilecektir. ISRM (2007) ve ASTM (1993) tarafından önerilen özellikle arazi uygulaması pratik olan Schmidt sertlik ve nokta yükleme deneylerinin sahada gerçekleştirilmesi durumunda, yukarıda sunulan bütüncü yaklaşım ile, kazı yapılacak arında kazı kolaylığı ve zorluğu kazı öncesi kolayca tahmin edilebilecektir. Bu ise etkin bir üretim planlamasının yapılmasında yardımcı olacaktır.

Bu deneysel çalışmaların yapıldığı ancak hazırlık aşamasında olduğu için henüz kazı çalışmalarının başlatılmadığı A1 panosu için yukarıda verilen değerlendirmeler yapılmıştır. Sahada gerçekleştirilen deney sonuçlarına ve Şekil 8'de sunulan bütüncü yaklaşım dikkate alınarak kazı kolaylığı/zorluğunu tanımlayan yeni bir sınıflama geliştirilmeye çalışılmıştır (Çizelge 8).



Şekil 8. Schmidt sertlik değeri, nokta yükleme dayanımı, anizotropi indeksi, elastik modülüne Poisson oranı değerlerine bağlı bütüncü yaklaşım

Figure 8. Integral approach based on Schmidt hardness, point load strength, anisotropy index, elastic module and Poisson ratio

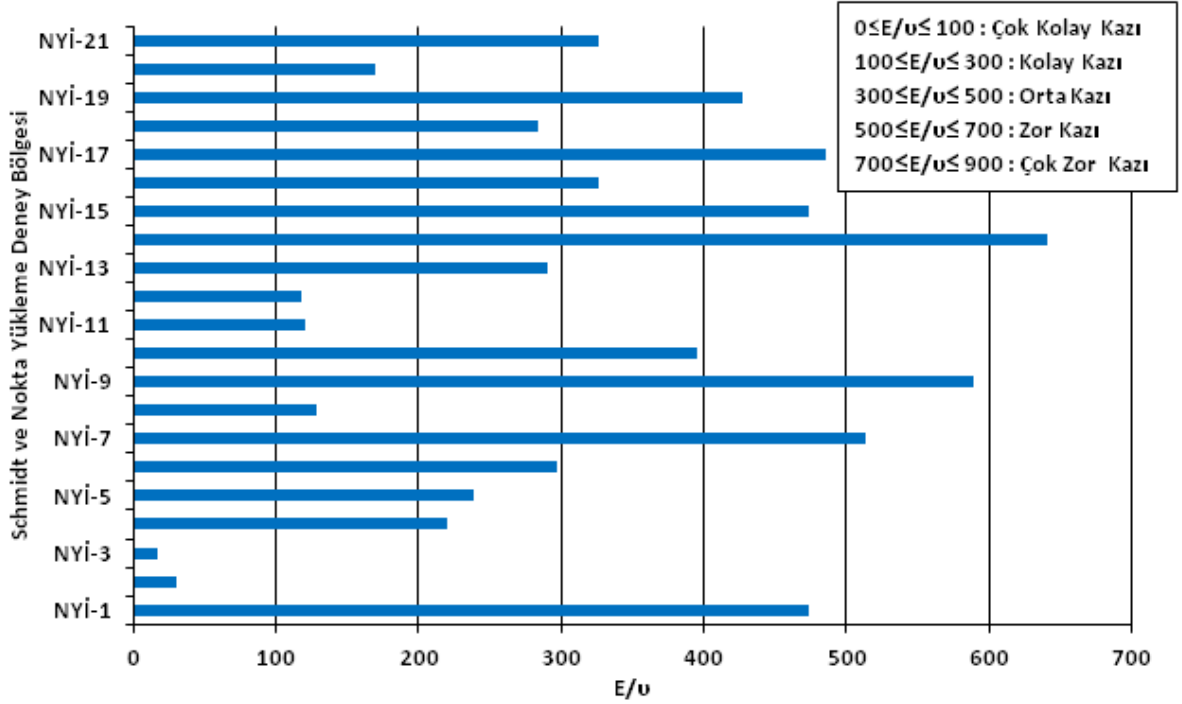
Çizelge 8. Kömür ve ara kesme malzemesinin bazı mekanik özelliklerine bağlı kazı sınıflaması

Table 8. Excavation classification based on some rock mechanic properties of coal and intermediate rock layer materials

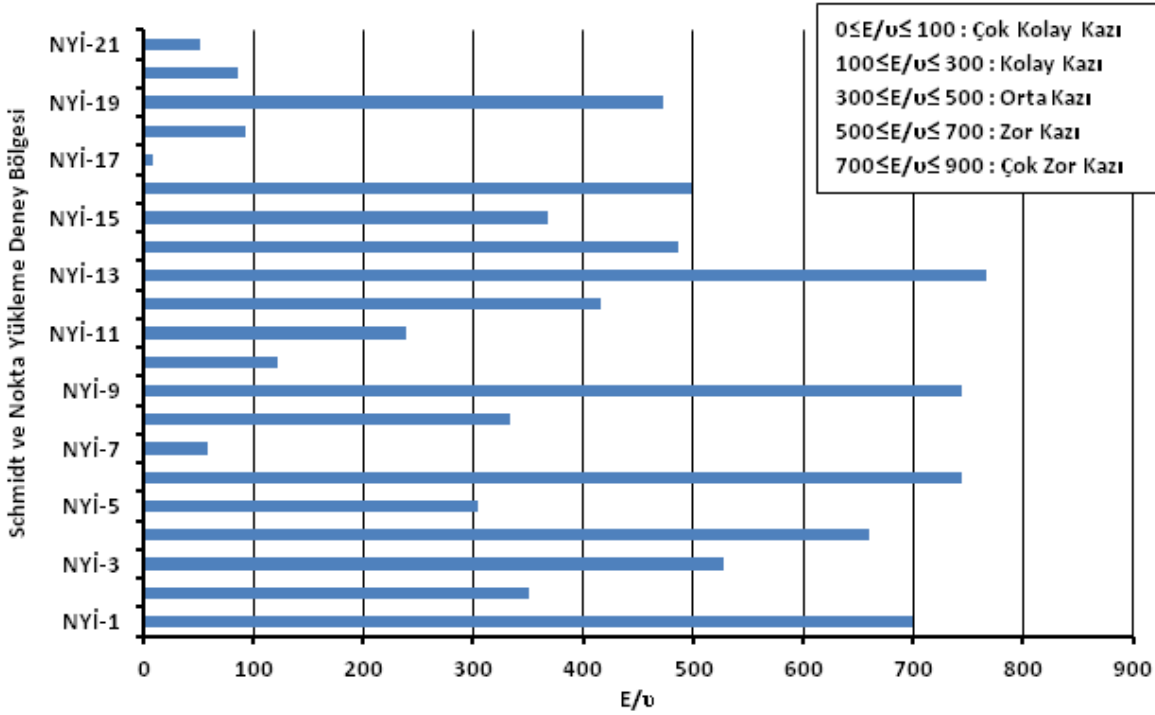
Schmidt sertlik belirleme deney sonuçlarına bağlı aralık	Nokta yükleme dayanımı deney sonuçlarına bağlı aralık (MPa)	Anizotropi indeksi değerlerine bağlı aralık	Elastik modülü, Poisson oranı değerlerine göre bulunan oran aralığı	Kazı Kolaylığı/zorluğu sınıflaması
N	$I_s(50)$	I_a	E/ν	
≤ 10	$\leq 0,115$	$\geq 2,00$	0-100	Çok kolay kazı
10 – 25	0,115 – 0,85	1,40 – 2,00	100-300	Kolay kazı
25 – 40	0,85 – 4	1,20 – 1,40	300-500	Orta zor kazı
40 – 55	4 - 40	1,07 – 1,20	500-700	Zor kazı
55 – 60	≥ 40	1,00 – 1,07	700-869	Çok zor kazı

Çizelge 8'de sunulan kazı sınıflaması dikkate alınarak bu makalede çalışılan A1 panosu kazı arını değerlendirilmeye çalışılmıştır. Daha önce belirtildiği gibi toplam 385 m² alana sahip kazı arını,

belirtildiği üzere her biri yaklaşık 5 m genişliğe sahip toplam 21 adet deney bölgesine bölünmüştür. Şekil 9' da kömür malzemesinin, Şekil 10' da ara kesme malzemesinin kazı kolaylıkları E/u oranları dikkate alınarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Kömür malzemesi için NYİ-2 ve NYİ-3 bölgesinde kazı çok kolay (arın yüzeyinin %9'u), NYİ-1, NYİ-9, NYİ-14'de kazının çok zor olacağı (arın yüzeyinin % 13,6'sı) ifade edilebilir. Diğer bölgeler (arın yüzeyinin % 77,4'ü) genel olarak kolay ve orta kazı sınıfında değerlendirilebilir. NYİ-1, NYİ-3, NYİ-4, NYİ-6, NYİ9 ve NYİ-13 bölgelerinde mevcut ara kesmelerin kazısında kazı makinesinin zorlanacağı söylenebilir. Bu sonuçların nokta yükleme dayanımı ve anizotropi indeks değerleri için verilen Şekil 4 ve 5 ile de uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Kömür arınında kömür malzemesi için kazı kolaylığı
Figure 9. The ease of excavation for coal layers in coal face



Şekil 10. Kömür arınında ara kesme malzemesi için kazı kolaylığı

Figure 10. The ease of excavation for intermediate rock layer materials in coal face

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışma, Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ)'ne bağlı yeraltı kömür ocağının hazırlık çalışmalarının yürütüldüğü A1 panosunda gerçekleştirilmiştir. 110 m uzunluğuna ve 3,5 m yüksekliğe sahip yaklaşık 385 m²'lik yüzey alanını öncelikle belirli bölgelere bölmüş ve bu birim alanlarda toplamda 563 adet nokta yükleme dayanımı ve 238 adet Schmidt sertlik değeri belirleme deneyleri yapılmıştır. Her iki deney sonuçları arasında ilişkinin varlığı, gerçekleştirilen bir seri istatistiksel analizlerden tespit edilmiştir. Tamburlu kesici-yükleyicinin kullanılmadığı maden işletmesinde henüz hazırlık aşamasında bulunan A1 panosuna ait bir kazı performansının tahmini için bir bütüncü yaklaşım geliştirilmiştir. Dört alt bölümden oluşan bu bütüncü grafikte, Schmidt sertlik değerine bağlı nokta yükleme dayanımını belirleyebilen eşitlik ve eğrisi, nokta yükleme dayanımına bağlı anizotropi indeks değerlerini hesaplayabilen eşitlik ve eğrisi, anizotropi indeks değerine bağlı E/v oranını belirleyebilen eşitlik ve eğrisi ile son olarak Schmidt sertlik değerlerine bağlı E/v oranının belirlenmesi için önerilen eşitlik ve eğrisi bulunmaktadır. Bunlardan ilk üç alt bölümde sunulan davranışlar doğrusal olmayan karakterde iken sonuncu olan alt bölümde (N-E/v) doğrusal karakterde bir davranış sergilendiği tespit edilmiştir. Bütüncü yaklaşımın son alt bölümünde N ve E/v arasında verilerin dağılımını en iyi açıklayan model, diğerlerinin aksine doğrusal davranış olmuştur.

Ömerler maden sahasında çalışan mühendisler önerilen bütüncü yaklaşım ile sahada yapacakları pratik Schmidt sertlik belirleme ve nokta yükleme dayanımı deneyleri yardımıyla kolayca E/v oranını belirleyebilecekler ve sonuçta tamburlu kesici-yükleyicinin kazıda zorlanabileceği bölgeleri önceden tahmin edip kazı makinesinin kazı operasyonu planlayabileceklerdir.

Yerinde tamburlu-kesici kazı makinalarının kazı performanslarının ölçülmesi ile bu makalede öne sürülen yaklaşımın denenmesi ve ihtiyaç dahilinde revize edilmesi gereklidir. Bunun için ek çalışmalara ihtiyaç duyulacaktır. Bu çalışmalar ilerisi için şimdiden öngörülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Saha çalışmalarının yürütüldüğü TKİ-GLİ İşletme Müdürlüğüne, saha mühendislerine, bu çalışmalara 116M698 nolu proje ile destek veren TÜBİTAK'a ve makale değerlendirmesinde bulunan hakemlere yazarlar teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- ASTM, 1993, *Rock Testing Handbook, Test Standards*, ASTM Publication, 947 p.
- Barton, N., 1973, "Review of A New Shear Strength Criterion for Rock Joints", *Engineering Geology*, Elsevier, Amsterdam, Vol. 7, pp. 287-332. Also NGI Publ. 105, 1974.
- Bieniawski, Z.T., 1975, "Point Load in Geotechnical Practice", *Eng. Geol.*, Vol. 9, pp. 1-11.
- Broch, E., Franklin, J. A., 1972, "The Point Load Strength Test", *Int. J. Rock Mech. Mining Sci.*, Vol. 9, pp. 669-697.
- Chau, K.T., Wong, R.H.C., 1996, "Uniaxial Compressive Strength and Point Load Strength", *Int. J. Rock. Mech. Min. Sci.*, Vol. 33, pp. 183-189.
- Hawkins, A.B., 1998, "Aspects of Rock Strength, Bulletin of Engineering Geology and the Environment", *Bull Eng Geol Env.*, Vol. 57, pp. 17-30
- ISRM, 2007, *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006*, International Soc. for Rock Mechanics, Commission on Testing Methods, Editor: R. Ulusay and John A. Hudson, ISBN: 978-975-93675-4-1, 628p.
- Kahraman, S., 2001, "Evaluation of Simple Methods for Assessing the Uniaxial Compressive Strength of Rock", *International Journal of Rock Mechanics*, pp. 981-994.
- Özkan, İ., 1989, *Determination of Classification Parameters for Weak and Stratified Rocks Based on RMR and Q-Systems*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, 156s.
- Ozkan, I., Bilim, N., 2008, "A New Approach for Applying the in-situ Schmidt Hammer Test on a Coal Face", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 45, (6), pp. 888-898
- Özkan İ., Mesutoğlu M., 2018, TÜBİTAK 116M698 nolu proje çalışması 1. Gelişme Raporu (yayınlanmamış).
- Öztürk, C.A., Özbakır, A. D., Nasuf, E., 2004, "Nokta Yük ve Tek Eksenli Basınç Dayanımları Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi", 6. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu.
- Peng, S.S., Chiang, H.S., 1984, *Longwall Mining*, John Wiley & Sons, New York.
- Ulusay, R., Özkan, İ., Ünal, E., 1995, "Characterization of Weak, Stratified and Clay Bearing Rock Masses for Engineering Applications", *Fractured and Jointed Rock Masses Conference*, June 3-5, 1992, L.R. Mayer, N.W. Cook, R.E. Goodman and C.F. Tsang (eds.), Lake Tahoe, California, A.A. Balkema, pp. 233-240.
- Ünal, E., Özkan, İ., Ulusay, R., 1992, "Characterization of Weak Stratified and Clay-Bearing Rock Masses", *ISRM Symposium: EUROCK'92-Rock Characterization*, Chester, UK, 14-17 Sept. 1992, J.A. Hudson (ed.), British Geotechnical Society, London, pp. 330-335.

FACILE AND TEMPLATE-FREE SYNTHESIS OF CuO NANOPARTICLES

¹Tugay ÜSTÜN, ²Volkan ESKİZEYBEK, ³Ahmet AVCI

¹Başkent University, Kahramankazan Vocational School, Mechatronics Program, Ankara, TURKEY

²Çanakkale Onsekiz Mart University, Engineering Faculty, Material Science and Engineering Department,
Çanakkale, TURKEY

³Necmettin Erbakan University, Engineering and Architecture Faculty, Biomedical Engineering Department,
Konya, TURKEY

¹tugayustun@baskent.edu.tr, ²veskizeybek@comu.edu.tr, ³ahmetavci@erbakan.edu.tr

(Geliş/Received: 01.11.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 22.03.2019)

ABSTRACT: Copper oxide (CuO) nanoparticles were synthesized successfully by arc discharge method in an aqueous medium. Arc discharge was ignited between two copper electrodes and an exhaustive characterization of morphology and crystalline structure of the drawn up copper oxide nanoparticles were studied. Electron microscopy analyses revealed that the grown CuO nanoparticles are irregularly shaped with nominal diameters in the interval of 10-50 nm. XRD results show the as-synthesized particles contain only CuO peaks without any impurities. The results procure a simple, cheap and responsive method for preparing single-phase CuO nanoparticles.

Key Words: Arc Discharge, Copper Oxide (CuO), Nanoparticles

CuO Nanoparçacıkların Kolay ve Amorf Yapıda Sentezi

ÖZ: Bakır oksit (CuO) nanoparçacıkları, sıvı bir ortamda ark deşarj yöntemi ile başarılı bir şekilde sentezlendi. İki bakır elektrot arasında ark boşalması gerçekleşerek üretimi tamamlanan bakır oksit nanoparçacıkların morfolojisi ve Kristal yapısı ayrıntılı bir şekilde incelenmesi yapıldı. Elektron mikroskobu incelemeleri sonucunda üretilen CuO nanoparçacıkların 10-50 nm aralığında nominal çaplarda düzensiz şekilli olduğu görülmektedir. XRD sonuçları ise sentezlenen parçacıkların herhangi bir safsızlık olmadan sadece CuO piklerini içerdiğini göstermektedir. Sonuçlara göre tek fazlı CuO nanoparçacıkların üretilmesi için ark deşarj yöntemi basit, ucuz ve esnek bir yöntemdir.

Anahtar Kelimeler: Ark Deşarj, Bakır Oksit (CuO), Nanoparçacık

INTRODUCTION

Metal oxides are a significant class of semiconductors and have been concentratedly studied because of their specific properties for prospective applications, such as solar cells, electronics, and photocatalysis (Tai et al., 2012; Panuthai et al., 2014). Cu-based materials grow into increasingly attracting for both primary research and practical purposes. As compared to palladium, platinum and gold, copper oxide nanostructures are relatively cheap with high stability and nontoxicity; they encourage the performance of the works on improvement of the existing methods for their formation. Copper oxides (Cu_xO) can exist in various stoichiometries and in phases such as Cu₂O (cuprous oxide) and CuO (cupric oxide). CuO has an equanimeous band gap energy, cost-efficient production and high optical transparency. Many new endeavors have been used in the syntheses of copper oxide nanostructures with diverse morphologies, such as particles (Wu et al., 2010; Zhang et al., 2008; Lanje et

al., 2010), hollow spheres (Wu et al., 2010; Qin et al., 2012), rods (Shrestha et al., 2010), tubes (Lee et al., 2011), wires (Chen et al., 2008; Shi et al., 2011) and flowers (Zhang et al., 2012). Furthermore, multiple methods have been devoted to synthesise CuO nanowires, such as thermal decomposition (Zhang et al., 2012), heat treatment (Xu et al., 2002), self-catalytic growth (Wang et al., 2002), hydrothermal methods (Hsieh et al., 2003), wet chemical methods (Zhang et al., 2016), and shape evolution via γ -irradiation (Singh et al., 2009). As for the above common methods, elevated temperature, high-pressure and comparatively secular are presupposed for the prepping of copper oxide nanomaterials (Hai et al., 2010). The arc discharge methods have been comprehensively utilized for the fabrication of carbon nanotubes (CNTs) (Qiu et al., 2011; Krätschmer et al., 1990; Zhao et al., 1997; Iijima et al., 1993; Liu et al., 1999; Liu et al., 2007), carbon nano-onions (Huang et al., 2003; Sano et al., 2001), molybdenum disulfide fullerenes (Sano et al., 2002), ZnO (Eskizeybek et al., 2012; Ashkarran et al., 2010; Fang et al., 2009) and Cd(OH)₂ nanoparticles (Eskizeybek et al., 2011). The arc discharge method can be utilized in various mediums such as vacuum, organic solvents, and liquid nitrogen. For this reason, different structures can be synthesized such as Cu, CuO and Cu₂O (You et al., 2005). Among these, the arc discharge method in de-ionized water is characterized by high productivity, relatively low costs, a possibility of scaling and performing one stage synthesis of nanomaterials. The disadvantage of this method is obtainment of nanoparticles with a broad size distribution (Tepanov et al., 2014).

In this study, we report the syntheses of CuO nanoparticles by arc discharge immersed in de-ionized water. The idea is to use de-ionized water as an oxygen source and the fabrication of nanoparticles in a liquid setting to secure their isolation from air atmosphere. The structural, morphological and optical peculiarities of the produced CuO nanoparticles were carried out.

MATERIALS AND METHODS

In this study, high purity copper (Cu) rods (Alfa Aesar, 99.99%) were utilized qua electrodes to synthesize CuO nanoparticles. All reagents were of analytic phase and used without further decontamination.

The CuO nanoparticles have been produced by the lab made arc discharge apparatus immersed in de-ionized water (Figure 1). Two Cu electrodes were used in the instrument as anode and cathode. The arc discharge was initialized in de-ionized water by contacting the anode to the cathode and at that rate the openness among the electrodes were inspected by measurement discharge voltage to retain resolute about arc during the experiment. When arc discharge is performed in aqueous solution, H₂O decomposes into H⁺, O²⁻ and OH⁻ ions and then Cu atoms react with O to form CuO nanoparticles. A direct current (DC) welding power source provided the arc current and it was fixed to 50 A since 50 A is the optimum amperage value for the production of large amounts and effective nanoparticle (Eskizeybek et al., 2011). The voltage remains constant throughout the arc process and is significant for the reproducibility of the nanoparticles synthesis. Arc discharge was sustained until the anode electrode consumed. The resulted particles were withheld in the room temperature to consummate decantation at the fog end of the reaction vessel for 24 h. The stagnant particles were picked up and washed with de-ionized water. After all, the particles were desiccated at 40 °C under vacuum for 24 h (Eskizeybek et al., 2012).

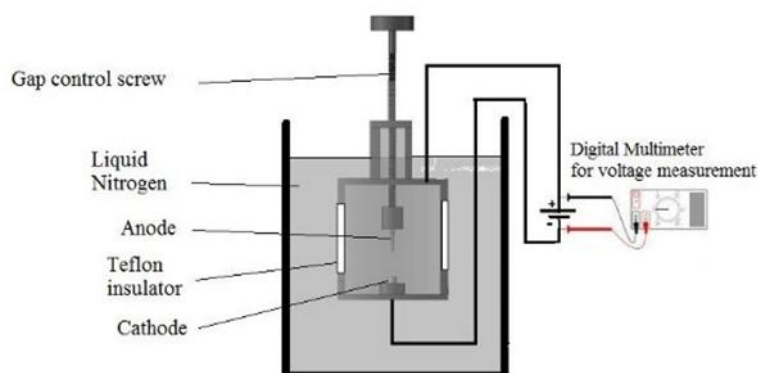


Figure 1. The schematic view of the arc discharge instrument.

Shimadzu XRD-6000 performed X-Ray Diffraction (XRD) analysis. X-ray diffractometer exploiting Cu $K\alpha$ radiation ($\lambda=0.15418$ nm) the functioning conjuncture were 40 kV and 30 mA in the scanning interval from 10° - 80° at a ratio of $2^\circ/\text{min}$. The morphology of the synthesized outputs were implemented exploiting a JEOL/JSM-6335F-EDS SEM. The Transmission Electron Microscope (TEM) images of the CuO nanoparticles were carried out exploiting JEOL-2100 HRTEM at 300kV. The Diffuse Reflectance (FTIR) spectra of all materials were inscribed by a Perkin Elmer 1725 spectrophotometer.

RESULTS AND DISCUSSIONS

XRD pattern of the synthesized products by arc-discharge is designated in Figure 2a. The low weak intensities and wider peak widths indicate the low crystalline quality of the sample. All diffraction peaks in the pattern can be indexed to a pristine monoclinic crystalline of CuO with lattice parameters $a=4.68370$ Å, $b=3.42260$ Å, $c=5.12880$ Å and $\beta=99.540$ (JCPDSNo. 45-0937; Abaker et al., 2011). Two dominated peaks which appears at $2\theta=35.6^\circ$ and 38.8° are indexed as (111)-(002) and (111)-(200) planes and regarded in the surveyed XRD pattern. These peaks are the characteristic peaks for pristine monoclinic CuO crystalline phase and enumerate that they are privileged crystalline planes of the nanoplates (Bayansal et al., 2011). Importantly, no definite peaks of impureness are seen in this pattern. The average particle size is computed to be 37.5 and 40.6 nm using Scherrer formula for the (002) and (111) planes, alternately. In addition to XRD analysis, EDS analysis was also fulfilled to monitor the composition and pureness of the synthesized outputs (Figure 2b). The EDS spectrum indicates the explicit peaks related to copper and oxygen confirming the contamination with the presence of Si attributable resulting from the Si wafer, which was at the furthest of the detection limit of EDS.

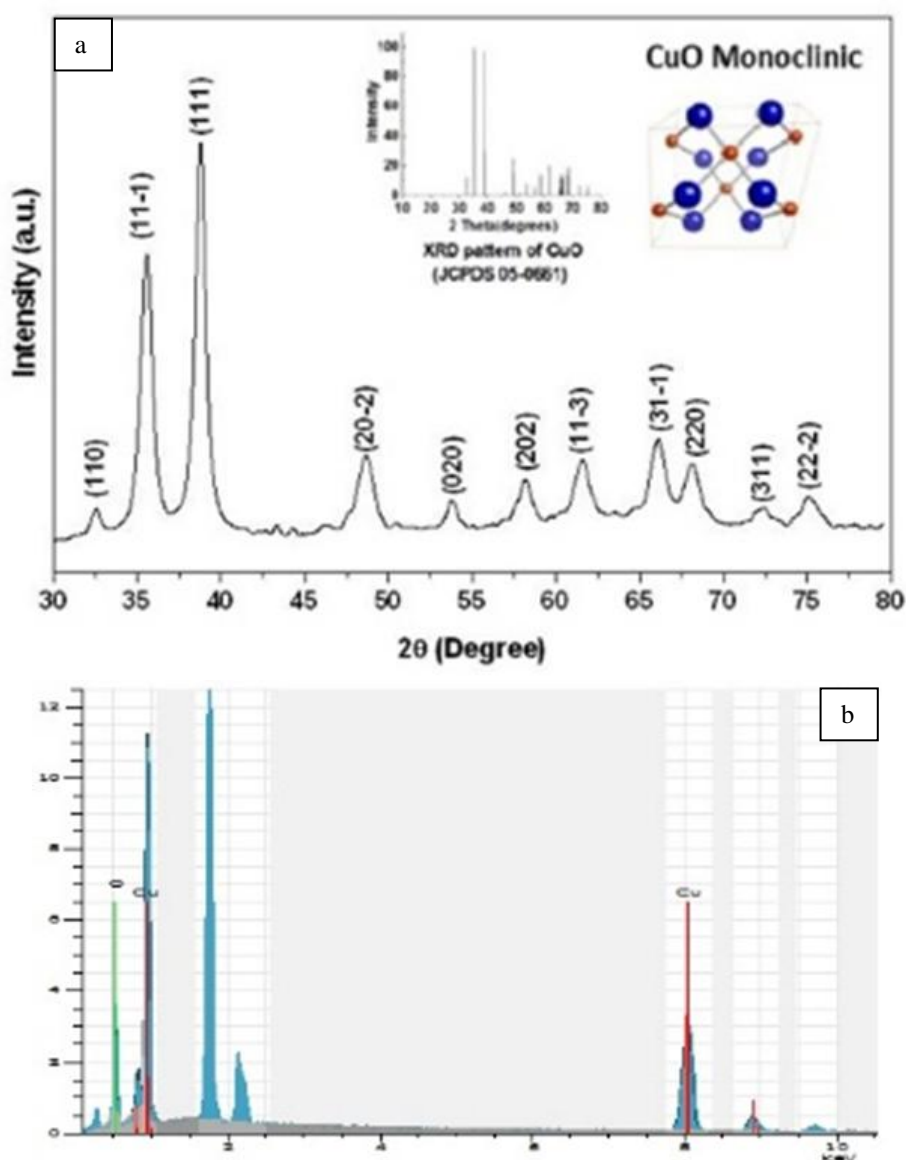


Figure 2. (a) XRD pattern of the prepared nanoparticles presenting monoclinic CuO (b) The EDS spectrum of nanoparticles showing copper and oxygen

The morphologies of CuO nanostructures were characterized by SEM and TEM. Figure 3a indicates the low-magnification SEM image of as-grown CuO structures. The as-synthesized CuO nanoparticles consist of the conglomerated particles. It is important to note that no specific morphology is observed (Figure 3a). The magnified image shows that the nanostructure has a stack formation with 10–40 nm average particle size (Figure 3b).

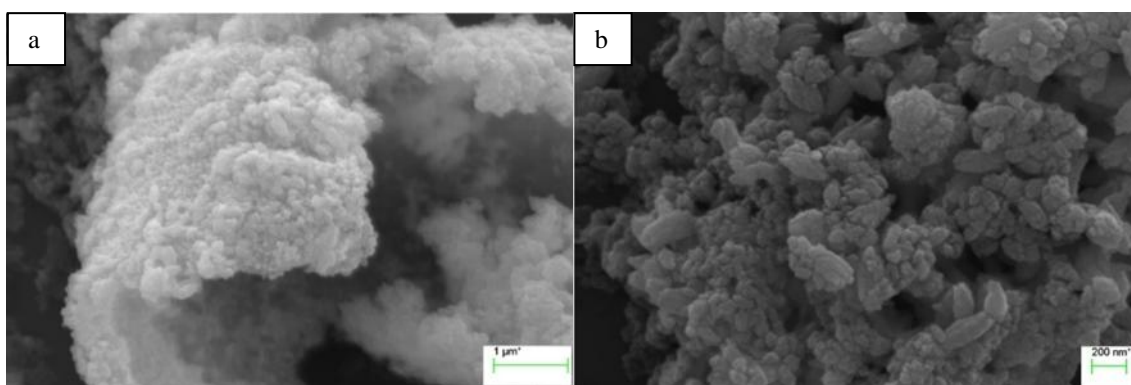


Figure 3. SEM images of CuO nanoparticles

The CuO nanostructures were also characterized by TEM and high-resolution TEM (HRTEM). Figure 4a indicates the low-resolution TEM image of CuO clusters. The average size of CuO clusters is measured as of 100–150 nm (Figure 4a) and showing that the structure is associated from various numbers of nanoparticles. Figure 4b manifests the HRTEM image of the ersatz CuO nanostructure. The micrograph reveals the formation of irregularly shapely nanoparticles. The dimension of the nanoparticles aline amongst 10 and 50 nm which is in decent compliance with the centreing particle sizes assessed by Scherrer's equation. The smooth and parallel lattice fringes of the swelled structures exposed that the synthesised nanoparticles exhibit semi-crystalline nature as seen upper inset in Figure 4b. The weighed spacing of the crystallographic plane is about 0.27 nm, ersatz to the [110] lattice fringes of the monoclinic CuO. No dislocations in the lattice fringes are beheld which predicates that the synthesised structures are pristine without any impureness or structural imperfections (Abaker et al., 2011). Figure 4c proves the structural details of high-resolution lattice fringes from another agglomerated CuO nanostructures. The interplanar spacings for the two sides are 0.252 and 0.232 nm, which are analogue the spacings for [002] or [-111] and [111] planes in monoclinic CuO (Zou et al., 2011). This further validates the multi-crystallinity of the as-prepared nanoparticles. Extended defects such as twins are not found in HRTEM observations. More thorough structural data on the CuO nanocrystal is supplied by selected area electron diffraction (SAED) analysis. The conforming SAED pattern of the CuO nanocrystal is indicated in the Figure 4d. The SAED pattern proves ordinate dot alignment and the diffraction dots can be appointed to the [200], [002], [111] crystal planes of monoclinic CuO along the [100] axis (Liu et al., 2006; Zhang et al., 2005; Xu et al., 2007).

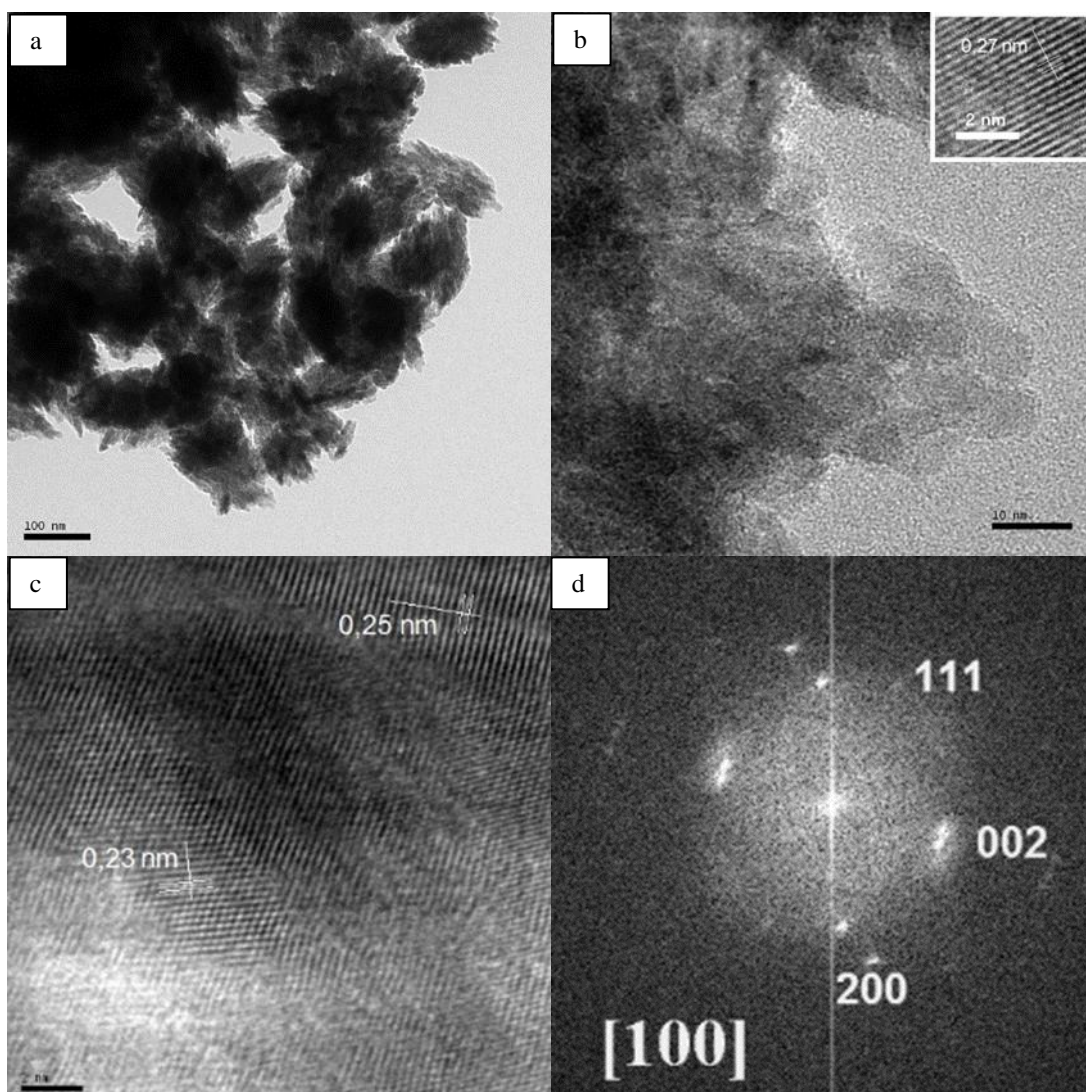


Figure 4. TEM images of (a), (b) CuO nanoparticles, (c) HR-TEM image of CuO nanoparticles, (d) SAED pattern. The scale bars are 100 nm, 10 nm and 2 nm for a, b and c respectively

The grade and composition of as-synthesized of CuO nanostructures were characterized further by FTIR spectroscopy and the indicated in Figure 5. The availability of absorption bands at 511 and 592 cm^{-1} are in view of $\nu(\text{Cu-O})$ modes which approve the composition of monoclinic CuO crystals (Zhang et al., 2016). The absorption band nascence at 1401 cm^{-1} was arisen based on the existence of $(\text{CO}_3)^{2-}$ (Abaker et al., 2011). The band broadly transpires in the FTIR spectrum, if the specimens are synthesized in the presence of the oxygen atmosphere (Singh et al., 2009; Hai et al., 2010). The absorption peak at 1568 cm^{-1} is attributed for bending vibration of absorbed water and surface hydroxyl. A wide peak in the interval $\sim 3000\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$ was by the reason of the O-H stretching mode (Abaker et al., 2011; Vaseem et al., 2008).

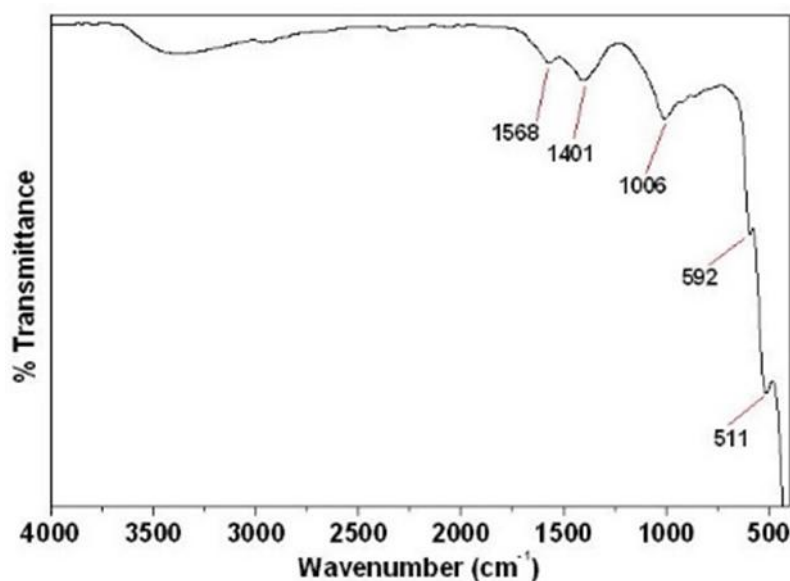


Figure 5. FTIR spectra of CuO nanoparticles

CONCLUSIONS

In summary, CuO nanoparticles have been fabricated via arc discharge method in de-ionized water as a simple, low temperature owing to liquid medium and cost-effective solution method. The crystal structure and morphology of copper oxide nanoparticles were characterized by XRD, SEM, TEM and FTIR spectroscopy. XRD shows that CuO nanoparticles have monoclinic crystal system as a single phase without impurities. The as-synthesized CuO nanoparticles consist of irregularly shaped nanoparticles with diameters from through 10 to 50 nm. HRTEM survey revealed that the copper oxide nanoparticles represent multi-crystal formation and these values are consistent with the literature.

REFERENCES

- Abaker, M., Umar, A., Baskoutas, S., Kim, S. H., Hwang, S. W., 2011, "Structural and optical properties of CuO layered hexagonal discs synthesized by a low-temperature hydrothermal process", *Journal of Physics D: Applied Physics*, 44(15), 155405.
- Ashkarran, A. A., Mahdavi, S. M., Ahadian, M. M., 2010, "Photocatalytic activity of ZnO nanoparticles prepared via submerged arc discharge method", *Applied Physics A*, 100(4), 1097-1102.
- Bayansal, F., Kahraman, S., Çankaya, G., Çetinkara, H. A., Güder, H. S., Çakmak, H. M., 2011, "Growth of homogenous CuO nano-structured thin films by a simple solution method", *Journal of Alloys and Compounds*, 509(5), 2094-2098.
- Chen, J., Wang, K., Hartman, L., Zhou, W., 2008, "H₂S detection by vertically aligned CuO nanowire array sensors", *The Journal of Physical Chemistry C*, 112(41), 16017-16021.
- Eskizeybek, V., Sari, F., Gülce, H., Gülce, A., Avci, A., 2012, "Preparation of the new polyaniline/ZnO nanocomposite and its photocatalytic activity for degradation of methylene blue and malachite green dyes under UV and natural sun lights irradiations", *Applied Catalysis B: Environmental*, 119, 197-206.
- Eskizeybek, V., Demir, O., Avci, A., Chhowalla, M., 2011, "Synthesis and characterization of cadmium hydroxide nanowires by arc discharge method in de-ionized water", *Journal of Nanoparticle Research*, 13(10), 4673-4680.
- Fang, F., Futter, J., Markwitz, A., Kennedy, J., 2009, "UV and humidity sensing properties of ZnO nanorods prepared by the arc discharge method", *Nanotechnology*, 20(24), 245502.
- Hai, Z., Zhu, C., Huang, J., Liu, H., Chen, J., 2010, "Controllable Synthesis of CuO Nanowires and Cu₂O Crystals with Shape Evolution via γ -Irradiation", *Inorganic chemistry*, 49(16), 7217-7219.

- Hsieh, C. T., Chen, J. M., Lin, H. H., Shih, H. C., 2003, "Field emission from various CuO nanostructures", *Applied Physics Letters*, 83(16), 3383-3385.
- Huang, H., Kajjura, H., Tsutsui, S., Murakami, Y., Ata, M., 2003, "High-quality double-walled carbon nanotube super bundles grown in a hydrogen-free atmosphere", *The Journal of Physical Chemistry B*, 107(34), 8794-8798.
- Iijima, S., Ichihashi, T., 1993, "Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter", *Nature*, 363(6430), 603.
- Joint Committee on Powder Diffraction Standards 1991 Diffraction Data File No. 45-0937 (Newtown Square, PA: International Centre for Diffraction Data (ICDD, formerly JCPDS))
- Krätschmer, W., Lamb, L. D., Fostiropoulos, K., Huffman, D. R., 1990, "Solid C60: a new form of carbon", *Nature*, 347(6291), 354.
- Lanje, A. S., Sharma, S. J., Pode, R. B., & Ningthoujam, R. S., 2010, "Synthesis and optical characterization of copper oxide nanoparticles", *Adv Appl Sci Res*, 1(2), 36-40.
- Lee, Y. I., Goo, Y. S., Chang, C. H., Lee, K. J., Myung, N. V., Choa, Y. H., 2011, "Tunable Synthesis of Cuprous and Cupric Oxide Nanotubes from Electrodeposited Copper Nanowires", *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 11(2), 1455-1458.
- Liu, C., Cong, H. T., Li, F., Tan, P. H., Cheng, H. M., Lu, K., Zhou, B. L., 1999, "Semi-continuous synthesis of single-walled carbon nanotubes by a hydrogen arc discharge method", *Carbon*, 37(11), 1865-1868.
- Liu, J., Huang, X., Li, Y., Sulieman, K. M., He, X., Sun, F., 2006, "Self-assembled CuO monocrystalline nanoarchitectures with controlled dimensionality and morphology", *Crystal growth & design*, 6(7), 1690-1696.
- Liu, Q., Ren, W., Li, F., Cong, H., Cheng, H. M., 2007, "Synthesis and high thermal stability of double-walled carbon nanotubes using nickel formate dihydrate as catalyst precursor", *The Journal of Physical Chemistry C*, 111(13), 5006-5013.
- Panuthai, N., Savanglaa, R., Prasertdam, P., Kheawhom, S., 2014, "Characterization of copper-zinc nanoparticles synthesized via submerged arc discharge with successive reduction process", *Japanese Journal of Applied Physics*, 53(5S3), 05HA11.
- Qiu, G., Dharmarathna, S., Zhang, Y., Opembe, N., Huang, H., Suib, S. L., 2011, "Facile microwave-assisted hydrothermal synthesis of CuO nanomaterials and their catalytic and electrochemical properties", *The Journal of Physical Chemistry C*, 116(1), 468-477.
- Qin, Y., Zhang, F., Chen, Y., Zhou, Y., Li, J., Zhu, A., Yang, J., 2012 "Hierarchically porous CuO hollow spheres fabricated via a one-pot template-free method for high-performance gas sensors", *The Journal of Physical Chemistry C*, 116(22), 11994-12000.
- Sano, N., Wang, H., Alexandrou, I., Chhowalla, M., Teo, K. B. K., Amaratunga, G. A. J., Iimura, K., 2002, "Properties of carbon onions produced by an arc discharge in water", *Journal of Applied Physics*, 92(5), 2783-2788.
- Sano, N., Wang, H., Chhowalla, M., Alexandrou, I., Amaratunga, G. A. J., 2001, "Nanotechnology: Synthesis of carbon 'onions' in water", *Nature*, 414(6863), 506.
- Shi, W., Chopra, N., 2011, "Surfactant-free synthesis of novel copper oxide (CuO) nanowire-cobalt oxide (Co₃O₄) nanoparticle heterostructures and their morphological control", *Journal of Nanoparticle Research*, 13(2), 851-868.
- Shrestha, K. M., Sorensen, C. M., Klabunde, K. J., 2010, "Synthesis of CuO nanorods, reduction of CuO into Cu nanorods, and diffuse reflectance measurements of CuO and Cu nanomaterials in the near infrared region", *The Journal of Physical Chemistry C*, 114(34), 14368-14376.
- Singh, D. P., Ojha, A. K., Srivastava, O. N., 2009, "Synthesis of different Cu (OH)₂ and CuO (nanowires, rectangles, seed-, belt-, and sheetlike) nanostructures by simple wet chemical route", *The Journal of Physical Chemistry C*, 113(9), 3409-3418.
- Tai, Y. L., Yang, Z. G., 2012, "Preparation of stable aqueous conductive ink with silver nanoflakes and its application on paper-based flexible electronics", *Surface and Interface Analysis*, 44(5), 529-534.

- Tepanov, A. A., Krutyakov, Y. A., Lisichkin, G. V., 2014, "Electric discharge in liquids as technique to obtain high-dispersed materials based on metals of IB group", *Russian Journal of General Chemistry*, 84(5), 986-997.
- Vaseem, M., Umar, A., Kim, S. H., Hahn, Y. B., 2008, "Low-temperature synthesis of flower-shaped CuO nanostructures by solution process: formation mechanism and structural properties", *The Journal of Physical Chemistry C*, 112(15), 5729-5735.
- Wang, S., Huang, Q., Wen, X., Li, X. Y., Yang, S., 2002, "Thermal oxidation of Cu₂S nanowires: a template method for the fabrication of mesoscopic Cu_xO (x= 1, 2) wires", *Physical Chemistry Chemical Physics*, 4(14), 3425-3429.
- Wu, R., Ma, Z., Gu, Z., Yang, Y., 2010, "Preparation and characterization of CuO nanoparticles with different morphology through a simple quick-precipitation method in DMAC-water mixed solvent", *Journal of Alloys and Compounds*, 504(1), 45-49.
- Xu, C., Xu, G., Liu, Y., Wang, G., 2002, "A simple and novel route for the preparation of ZnO nanorods", *Solid State Communications*, 122(3-4), 175-179.
- Xu, H., Wang, W., Zhu, W., Zhou, L., Ruan, M., 2007, "Hierarchical-oriented attachment: from one-dimensional Cu(OH)₂ nanowires to two-dimensional CuO nanoleaves", *Crystal Growth and Design*, 7(12), 2720-2724.
- Yao, W. T., Yu, S. H., Zhou, Y., Jiang, J., Wu, Q. S., Zhang, L., & Jiang, J., 2005, "Formation of uniform CuO nanorods by spontaneous aggregation: Selective synthesis of CuO, Cu₂O, and Cu nanoparticles by a solid-liquid phase arc discharge process", *The Journal of Physical Chemistry B*, 109(29), 14011-14016.
- Zhang, K., Zhang, N., Cai, H., Wang, C., 2012, "A novel non-enzyme hydrogen peroxide sensor based on an electrode modified with carbon nanotube-wired CuO nanoflowers", *Microchimica Acta*, 176(1-2), 137-142.
- Zhang, M., Tu, X., Wang, J., Fang, T., Wang, Y., Xu, X., Chen, Y., 2016, "Hydrothermal syntheses of CuO, CuO/Cu₂O, Cu₂O, Cu₂O/Cu and Cu microcrystals using ionic liquids", *Chemical Research in Chinese Universities*, 32(4), 530-533.
- Zhang, X., Zhang, D., Ni, X., Song, J., Zheng, H., 2008, "Synthesis and electrochemical properties of different sizes of the CuO particles", *Journal of Nanoparticle Research*, 10(5), 839-844.
- Zhang, Z. P., Sun, H. P., Shao, X. Q., Li, D., Yu, H., Han, M., 2005, "Three-Dimensionally Oriented Aggregation of a Few Hundred Nanoparticles into Monocrystalline Architectures", *Advanced Materials*, 17(1), 42-47.
- Zhao, X., Ohkohchi, M., Wang, M., Iijima, S., Ichihashi, T., Ando, Y., 1997, "Preparation of high-grade carbon nanotubes by hydrogen arc discharge", *Carbon*, 35(6), 775-781.
- Zou, Y., Li, Y., Zhang, N., Liu, X., 2011, "Flower-like CuO synthesized by CTAB-assisted hydrothermal method", *Bulletin of Materials Science*, 34(4), 967.

GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİNDEKİ İLLERİN KURAKLIK ANALİZİ

¹Türker TUĞRUL, ²Selim DOĞAN, ³Şükrü DURSUN

¹Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Rektörlük, Kırşehir, TÜRKİYE

^{2,3}Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Konya, TÜRKİYE

¹turkertugrul@ahievran.edu.tr, ²sdogan@ktun.edu.tr, ³sdursun@ktun.edu.tr

(Geliş/Received: 17.07.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 26.03.2019)

ÖZ: Bu çalışmada Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki illerin kuraklık analizi yapılmıştır. Çalışmada 9 istasyondan alınan 1960-2016 yılları arasındaki aylık toplam yağış verileri kullanılmıştır. Analiz için en az 30 senelik kesintisiz veri setine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu koşul Şirnak istasyonunda sağlanamamıştır. Analizde Efektif Kuraklık İndeksi (EKİ) yönteminden yararlanılmıştır. Çalışma sonucunda Adıyaman istasyonunda 22, Batman istasyonunda 15, Diyarbakır istasyonunda 24, Gaziantep istasyonunda 25, Kilis istasyonunda 20, Mardin istasyonunda 9, Siirt istasyonunda 18, Şanlıurfa istasyonunda 21 olmak üzere toplamda 154 kuraklık olayı tespit edilmiştir. 1970-1979 dönemi kuraklık olaylarının en fazla yaşandığı dönemdir. Analiz yapılan 681 aylık zaman periyodu göz önüne alındığında; bu periyotta tüm zamanların ortalama %19'luk zaman diliminin bölgeyi etkileyen kuraklıklarla geçtiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık İndeksi, Yağış, Kuraklık, Efektif kuraklık indeksi (EKİ)

Drought Analysis of Provinces in Southeastern Anatolia Region

ABSTRACT: In this study, the drought analysis of Southeastern Anatolia Region was conducted. Monthly total rainfall data of 1960-2016 taken from 9 stations were used in the paper. At least 30 years of continuous data set is needed for the analysis. This requirement was not met for Sirnak station. For the analysis, the Effective Drought Index (EDI) method was used. As a result of this study, in Adıyaman 22; Batman 15; Diyarbakır 24; Gaziantep 25; Kilis 20; Mardin 9; Siirt 18; Şanlıurfa 21, total of 154 drought events were detected. The period of 1970-1979 was the period in which drought events were experienced the most. Droughts were detected for 19% out of all times which was 681-month.

Key Words: Drought Index, Rainfall, Drought, Effective Drought Index (EDI)

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kuraklık insanlık için tehlikeli doğal felaketler arasında yer alır. Çevre ve ekonomik olarak en yıkıcı olanıdır. Son zamanlarda iklim değişikliği ile kendisini iyice hissettirmektedir (Tsakiris ve diğ., 2007). Kuraklık hakkında birçok tanım yapılmıştır. Bazı tanımlara göre belirli tarihlerdeki yağış eksikliği, bazılarına göre ise uzun zaman boyunca yağışların olmamasıdır (Byun ve Wilhite, 1999). Kuraklık tanımlarından biriside; belirli bir zaman dilimindeki ortalama yağış miktarındaki azalmadır (Doğan, 2013).

Kuraklık ilk başladığında fark edilmeyebilir. Kuraklık hakkında bilgi sahibi olabilmemiz için istatistiksel metotlar (kuraklık indeksleri) geliştirilmiştir. Bu istatistiksel metotlarla kuraklığın sınıfı, şiddeti, keskinliği, başlangıç ve bitiş süresi, hatta matematiksel modeller yardımıyla ileriye yönelik tahminler

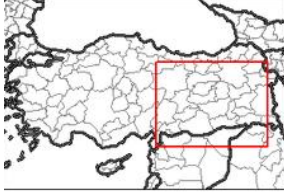
bile yapılabilir. Kuraklık indeksi belirlemede onlarca metot türetilmiştir(Lee ve diğ., 2012). Standart Yağış İndeksi (SYİ), Efektif Kuraklık İndeksi (EKİ), Z-skoru, Palmer Kuraklık İndeksi bunlardan bazılarıdır.

ÇALIŞMA ALANI (STUDY AREA)

Türkiye'de kuraklığa yol açan temel faktörler arasında; atmosferik ve topoğrafik koşulların (yükselti, baki, eğim vb.) rolü öne çıkmaktadır. Mevsimlik kuraklık söz konusu olduğunda Güneydoğu Anadolu ve İç Anadolu bölgeleri önde gelen bölgeler arasında yerini korurken Doğu Anadolu'da da son yıllarda hissedilir derecede yağış azalmasına bağlı mevsimlik kuraklık eğilimi dikkat çekmektedir (Çelik ve diğ., 2018).

Türkiye farklı coğrafi bölgelerden oluşmaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde su varlığının önemi bir hayli fazladır. Dolayısıyla bu bölgede su ile ilgili birçok çalışma, plan ve proje yapılmış ya da yapılmaktadır. Bu nedenle bu makalede çalışma alanı olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi seçilmiştir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Türkiye'yi oluşturan yedi coğrafi bölgeden en küçüğüdür. Suriye'nin kuzeyinden, Güneydoğu Toroslarının güneyine kadar olan alanı kapsamaktadır. Kuzeyinde Doğu Anadolu, Batısında Akdeniz Bölgesi yer almakla birlikte, çoğunluğunu Suriye ile oluşturduğu bir sınır bölgesidir (Şekil 1). Bu bölge ülkemizin en düzlük bölgelerinden birisidir. Hint Okyanusu'na kadar bu düzlük gitmektedir (Hınıs, 2013).

Bölge'nin yüzölçümü 75,6 km² olup, 2015 yılı adrese dayılı nüfus tespitine göre nüfusu yaklaşık olarak 8 milyondur. Ülke topraklarının %9,7'si, nüfusun da %9,8'i bu bölgede bulunmaktadır. Hem ülke genelinde hem de bölgede km² başına 81 kişi düşmektedir. Ortalama yıllık nüfus artış hızı Bölge'de %2,4, ülke genelinde ise %1,5 olup, Bölge'nin yıllık nüfus artış hızı ülke ortalamasından yüksektir.



Şekil 1. Güneydoğu Anadolu Bölgesi

Figure 1. Southeast Anatolia Region

MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada EKİ yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin diğer hesaplama yöntemlerine göre üstünlükleri vardır (Byun ve Wilhite, 1999). Çünkü diğer metotlar ile aylık toplam yağış verisine göre hesaplama yapılırken, Efektif Kuraklık İndeksi ile hem günlük yağış verisiyle hem de aylık toplam yağış verisiyle hesaplama yapılabilir. Literatürdeki birçok çalışmada da Efektif Kuraklık İndeksi'nin diğer yöntemlere göre korelasyonunun yüksek olduğu vurgulanmıştır (Lee ve diğ., 2015).

Bu çalışmada kullanılan veriler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün online veri tabanından alınmıştır. Toplamda bu bölgede 22 istasyon bulunmaktadır. Bunların 21'i aktif şekilde çalışmaktadır. Bu istasyonlardan elde edilen verilerin bir kısmında eksiklikler vardır. Analizin doğruluğu için en az 30 senelik eksiksiz bir veriye ihtiyaç vardır (Palmer, 1965). Bu kapsamda; il merkezlerindeki istasyonlardan alınan verilerin eksikliklerin daha az olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak 8 il merkezine ait istasyondan yararlanılmıştır. İstasyon bilgileri Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Bu analiz için 9 il ait istasyonlardan 1960-2016 yılları arasındaki aylık toplam yağış verilerinden yararlanılmıştır (Tuğrul, 2017). İl merkezleri istasyonlarından alınan verilerin bir kısmında eksiklikler vardır. Bu eksiklikler istasyonların bakım ya da onarımından kaynaklanabilmektedir. Eksiklikler giderilirken; veri setinde eksik olan istasyonun komşu istasyonlarından yararlanılmıştır. Örneğin; A istasyonunda Kasım 1975 tarihinin verisi kaydedilmemiş olsun. Eksikliği tamamlamak için; A istasyonuna yakın olan en az 3 istasyon belirlenir. Bu istasyonların Kasım 1975 tarihindeki verilerinin aritmetik ortalaması alınır. Böylece verisi eksik A istasyonunun ilgili tarihini temsil edebilecek yakın değer bulunmuş olur.

Şırnak istasyonuna ait verilerin büyük bir çoğunluğunda eksiklikler göze çarpmıştır. Bu istasyonun verileri tamamlanmamış analiz dışında tutulmuştur.

Çizelge 1. GAP illerine ait istasyonların bilgileri

Table 1. Information on stations located in the Southeastern Anatolia Region

İstasyon	Rakım (m)	Koordinatlar			Aylık Yağış İstatistikleri			Standart Sapma
		Enlem	Boylam	Ort. (mm)	Max. (mm)	Veri serisi aralığı		
1) Adıyaman	677	37,74	38,47	59,2	97,5	09/1962-09/2016	15,2	
2) Batman	555	37,92	41,11	41,2	68,4	01/1963-09/2016	11,3	
3) Diyarbakır	697	37,94	40,30	30,9	62,4	01/1960-09/2016	11,7	
4) Gaziantep	706	36,95	37,46	46,5	82,2	01/1960-09/2016	11,4	
5) Kilis	643	36,71	37,11	40,9	67,9	01/1960-09/2016	11,3	
6) Mardin	528	37,23	40,64	54,8	99,5	01/1960-09/2016	17,8	
7) Şanlıurfa	817	37,45	38,90	37,6	71,2	01/1960-09/2016	11,5	
8) Siirt	603	37,98	41,84	57,6	102,4	01/1960-09/2016	14,4	

EFEKTİF KURAKLIK İNDEKSİ (EFFECTIVE DROUGHT INDEX)

EKİ kuraklık karakterizasyonu için kullanılır ve normale dönüş yağışının (NDY) bir fonksiyonudur. Aylık Efektif yağışlar (EY) kullanılarak NDY hesaplanır. İlk başta Denklem (1)'de gösterildiği gibi EY hesaplanır. Buradaki P_i aylık yağış miktarı (mm), N hesaplanacak olan ayların süresidir.

$$EY = \sum_{k=0}^N [(\sum_{i=0}^m P_i / m)] (1)$$

Bir sonraki adımda ise EY'nin ortalaması (EYo) bulunur. EY'nin ortalamadan sapması (EYS), Denklem (2) ile hesaplanır. NDY değeri ise Denklem (3) ile hesaplanır. En son adımda ise EKİ değeri NDY'nin standart sapması olan σ_{NDY} değerine bölünerek bulunur Denklem (4).

$$EYS = EY - EYo(2)$$

$$NYD = \frac{EYS}{\sum_{i=2}^N \frac{1}{i}}(3)$$

$$EKİ = NDY/\sigma NDY(4)$$

Elde edilen EKİ değerleri kuraklık sınıflarını belirlemek için kullanılır. Efektif kuraklık indeksi değerlerine göre kuraklık sınıfları Çizelge 2’de gösterilmiştir(Byun ve Wilhite, 1999).

Çizelge 2. EKİ değerine göre kuraklık sınıfları

Table 2. Drought classes by EDI values	
Kuraklık Sınıfları	İndeks Değeri
Çok Şiddetli	$\leq (-2)$
Şiddetli Kuraklık	$(-1.99) - (-1.5)$
Orta Şiddetli	$(-1.49) - (-1)$
Normal	$(-0.99) - (0.99)$

BULGULAR (RESULTS)

Kuraklık niceliklerinin değerlendirilmesi için bu terimlerin ifade edilmesi gerekmektedir. Kuraklık ile ilgili nicelikler; süre (kuraklık süresi (S)), genlik (toplam indeks değerleri (G)), şiddet (indeks değerinin tanımlandığı sınıf) ve geri dönüş süresi (kuraklık başlangıcı ile bitişi arasında süre (L)) şeklindedir. EKİ değeri 0’ın altına düştüğü andan itibaren kuraklık başlamış olmaz. Kuraklık olayının başlayabilmesi için EKİ’nin -1 değerinin altına düşmüş olması gerekmektedir. Kuraklığın sonlandığını anlamak içinde EKİ değerinin 0’ın üzerine çıkması gerekmektedir. Buradaki süre kuraklığın başladığı ve bittiği zaman arasındaki zaman dilimini, genlik EKİ değerlerinin toplamını, şiddet ise kuraklığın sınıfını yani EKİ değerinin en düşük değerinin işaret ettiği büyüklüğü belirtmektedir (Çizelge 2., Şekil 2). Bu başlık altında analizi yapılan istasyonlar ayrı ayrı ve zamansal olarak yorumlanmıştır.

Özet tablosu Çizelge 3’te gösterilen analize göre; 20 çok şiddetli kuraklık, 49 şiddetli kuraklık ve 85 orta şiddetli kuraklık olmak üzere toplamda 154 kuraklık olayı tespit edilmiştir. Kuraklık olayı sınıflarına göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Çok şiddetli kuraklık sınıfında ortalama kuraklık olayı sayısı 2,5, ortalama kuraklık süresi 35,62 ay, ortalama genliği 55,44’tür. Mardin istasyonunda çok şiddetli kuraklık olayı tespit edilememiştir. Bu sınıfta en fazla kuraklık olayı sayısı Adıyaman, Diyarbakır, Gaziantep istasyonunda tespit edilmiştir. En büyük toplam süreye sahip istasyon ise Diyarbakır istasyonudur. Ayrıca bu istasyon 114,05 değeri ile de en büyük toplam genliğe sahiptir.

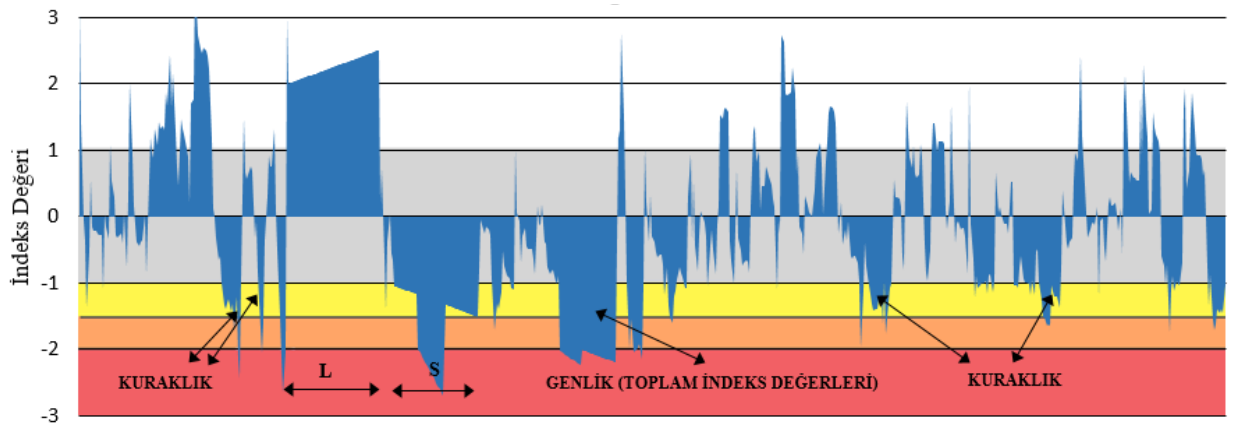
Şiddetli kuraklık olaylarının en fazla tespit edildiği istasyon Gaziantep’tir. Bu istasyonda 12 şiddetli kuraklık olayı tespit edilmiştir. Toplam süresi 80 ay, toplam genliği 96,24’tür. Bu sınıfta en büyük toplam kuraklık süresine Siirt istasyonu sahiptir. Bu istasyonun toplam genliği ise 129,31’tir. En büyük toplam genliğe bu istasyon sahiptir. Bu kuraklık sınıfında kuraklık olayı sayısının ortalama değeri 6,13, istasyon başına ortalama süresi 68,13 ay ve ortalama genliği ise 80,81’dir. Mardin istasyonu en az sayıda şiddetli kuraklık olayının görüldüğü istasyondur. Yine en az kuraklık süresine sahip olan istasyondur.

Orta şiddetli kuraklık sınıfında istasyon başına ortalama kuraklık sayısı 10,63, ortalama kuraklık süresi 50,25 ay ve ortalama genlik 43,72’dir. Bu sınıfta en fazla kuraklık olayı Diyarbakır istasyonunda en az kuraklık olayı Mardin istasyonunda tespit edilmiştir. Ayrıca bu sınıfın en fazla toplam kuraklık süresine Kilis istasyonu sahiptir.

Çizelge 3. EKİ hesap yöntemi ile aylık olarak tespit edilen kuraklık bilgileri**Table 3.** Information of Droughts Identified by EDI

İstasyon	Çok Şiddetli Kuraklık			Şiddetli Kuraklık		
	Olay Adedi	Süresi (ay)	Genliği	Olay Adedi	Süresi (ay)	Genliği
1) Adıyaman	4	38	63,36	7	95	104,64
2) Batman	2	34	37,00	4	73	88,30
3) Diyarbakır	4	64	114,05	6	49	56,20
4) Gaziantep	4	47	78,91	12	80	96,24
5) Kilis	1	14	23,92	7	58	64,03
6) Mardin	0	0	0,00	2	33	52,50
7) Siirt	1	37	50,36	6	103	129,31
8) Şanlıurfa	4	51	75,94	5	54	55,25
Ortalama	2,50	35,63	55,44	6,13	68,13	80,81

İstasyon	Orta Şiddetli Kuraklık			Toplam		
	Olay Adedi	Süresi (ay)	Genliği	Olay Adedi	Süresi (ay)	Genliği
1) Adıyaman	11	67	59,17	22	200	227,17
2) Batman	9	34	27,48	15	141	152,78
3) Diyarbakır	14	46	42,75	24	159	213,00
4) Gaziantep	9	52	41,74	25	179	216,89
5) Kilis	12	71	65,00	20	143	152,95
6) Mardin	7	34	32,31	9	67	84,81
7) Siirt	11	54	41,36	18	194	221,03
8) Şanlıurfa	12	44	39,94	21	149	171,13
Ortalama	10,63	50,25	43,72	19,25	154,00	179,97

**Şekil 2.** Kuraklık ile ilgili nicelikler**Figure 2.** Quantities of drought

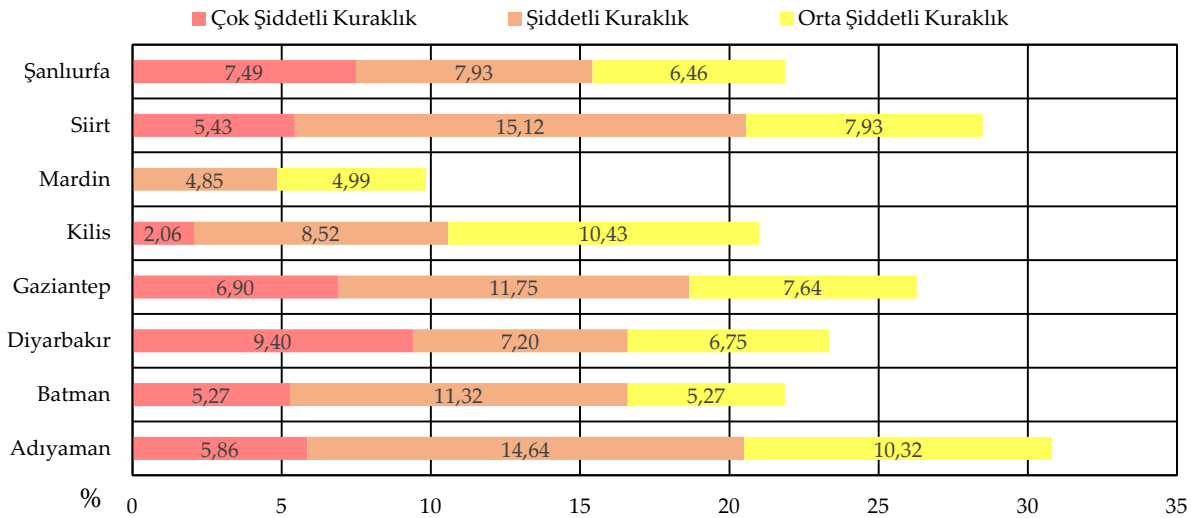
Çizelge 4'te ise kuraklıkların zamansal dağılımı gösterilmiştir. Çizelgede en fazla kuraklık olayının 1970-1979 yılları arasında yaşandığı görülmektedir. Ayrıca bu zaman periyodunda en fazla çok şiddetli kuraklık olayı ve orta şiddetli kuraklık olayı tespit edilmiştir. Şiddetli kuraklıkların en çok tespit edildiği zaman periyodu ise 1980-1989 ve 1990-1999 yıllarıdır. 1960-1969 dönemi ise kuraklık olaylarının en az tespit edildiği dönem olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4. EKİ yöntemi ile analizi yapılan kuraklık olaylarının sınıflara göre zamansal dağılımı**Table 4.** Temporal distribution of drought events by classes identified by EDI

İstasyon	1960-1969			1970-1979			1980-1989		
	ÇŞK	ŞK	OŞK	ÇŞK	ŞK	OŞK	ÇŞK	ŞK	OŞK
1) Adıyaman	0	0	2	3	1	3	1	1	1
2) Batman	0	0	1	1	1	3	0	1	1
3) Diyarbakır	0	2	2	2	1	3	0	3	2
4) Gaziantep	0	3	1	2	3	1	1	0	3
5) Kilis	0	0	2	0	1	4	0	2	1
6) Mardin	0	0	0	0	0	2	0	1	0
7) Siirt	0	1	2	1	1	2	0	2	2
8) Şanlıurfa	0	0	2	2	1	3	0	0	3
Ara toplam	0	6	12	11	9	21	2	10	13
Genel toplam	18			41			25		

İstasyon	1990-1999			2000-2009			2010-2016			TOPLAM
	ÇŞK	ŞK	OŞK	ÇŞK	ŞK	OŞK	ÇŞK	ŞK	OŞK	
1) Adıyaman	0	2	3	0	1	1	0	2	1	22
2) Batman	0	1	2	1	0	1	0	1	1	15
3) Diyarbakır	1	0	4	1	0	1	0	0	2	24
4) Gaziantep	0	2	1	0	2	3	1	2	0	25
5) Kilis	0	2	1	0	2	3	1	1	0	20
6) Mardin	0	0	3	0	1	1	0	0	1	9
7) Siirt	0	1	2	0	1	1	0	0	2	18
8) Şanlıurfa	0	2	2	1	0	2	1	2	0	21
Ara toplam	1	10	18	3	7	13	3	8	7	154
Genel toplam	29			23			18			

*ÇŞK; Çok şiddetli kuraklık, ŞK; Şiddetli kuraklık, OŞK; Orta şiddetli kuraklık

**Şekil 3.** Kuraklık sınıflarının mekânsal dağılımı**Figure 3.** Spatial distribution of droughts

Toplam kuraklıkların en fazla tespit edildiği istasyon Gaziantep, en az tespit edildiği istasyon ise Mardin'dir. Kuraklıkların olay bazlı yüzdeleri ise Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu yüzdeler istasyonlarda tespit edilen kuraklıkla geçen sürenin analiz edilen toplam süreye bölümü şeklinde hesaplanmıştır. Örneğin; istasyondan alınan aylık toplam yağış verisi 400 ay ve toplam 40 ay çok şiddetli kuraklık olayı belirlenmiş olsun. Hesaplaması $40/400 * 100 = \%10$ şeklinde olur.

Olay bazlı kuraklıklarda orta şiddetli kuraklık sınıfında en yüksek yüzdesel zaman Kilis (%10,43) istasyonunda, en düşük yüzdesel zaman ise Mardin (%4,99) istasyonunda tespit edilmiştir. Şekil 3'te gösterildiği gibi şiddetli kuraklık sınıfında en yüksek yüzde Siirt (%15,12) istasyonunda, en düşük yüzde Mardin (%4,85) istasyonunda bulunmaktadır. Diyarbakır istasyonu çok şiddetli kuraklık sınıfında en yüksek yüzdeye sahiptir. Mardin istasyonunda çok şiddetli kuraklık olayı tespit edilememiştir. Ayrıca kuraklıkla geçen toplam yüzdesel zaman olarak en büyük değer tespit edildiği istasyon Adıyaman (%30,82), en küçük değer tespit edildiği istasyon ise Mardin (%9,84)'dir.

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapılan analiz sonucunda çarpıcı olarak Mardin istasyonunun diğer istasyonlara göre en az kuraklık yaşanan il olduğu tespit edilmiştir. Kuraklık olaylarının genliği ve süresi bakımından en fazla etkili olduğu istasyonlar Adıyaman, Siirt ve Gaziantep olarak bulunmuştur. Olay bazlı değerlendirmede ise kuraklık olayları en fazla Adıyaman istasyonunu etkilemiştir. Bölgede kuraklık olayları 1970-1979 periyodunda diğer dönemlere göre daha fazla yaşanmıştır. Ayrıca bölgedeki tüm zamanların %19'unda kuraklık olaylarının baş gösterdiği tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR ve BİLDİRİM (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma; yazarlardan Türker Tuğrul'un Yüksek Lisans Tezinden yararlanılarak hazırlanmıştır. Yazarlar, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne sağlanan veri için teşekkür eder.

KAYNAKLAR(REFERENCES)

- Byun, H. R. ve Wilhite, D. A., 1999, Objective quantification of drought severity and duration, *Journal of Climate*, 12 (9), 2747-2756.
- Çelik, M., Kopar, İ. ve Bayram, H., 2018, Doğu Anadolu Bölgesi'nin Mevsimlik Kuraklık Analizi, *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 22 (3), 1741-1761.
- Doğan, S., 2013, Konya Kapalı Havzası Kuraklık Karakterizasyonunun Zamansal-Konumsal Analizi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 123.
- Hınıs, M. A., 2013, Hydrometeorological Drought Analysis in Aksaray by Aggregate Drought Index, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28 (4), 711-721.
- Lee, B. R., Oh, S. B. ve Byun, H. R., 2015, The characteristics of drought occurrence in North Korea and its comparison with drought in South Korea, *Theoretical and Applied Climatology*, 121 (1-2), 199-209.
- Lee, S. M., Byun, H. R. ve Tanaka, H. L., 2012, Spatiotemporal Characteristics of Drought Occurrences over Japan, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51 (6), 1087-1098.
- Palmer, W. C., 1965, Meteorological Drought, *US Department of Commerce*, 45, 40-55.
- Tsakiris, G., Pangalou, D. ve Vangelis, H., 2007, Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI), *Water Resources Management*, 21 (5), 821-833.

Tuğrul, T., 2017, Güneydoğu Anadolu Projesi İllerinin Kuraklık Analizinin Günlük ve Aylık Efektif Kuraklık İndeksi Kullanılarak Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 98.

ŞEBEKE ETKİLEŞİMLİ EVİRİCİLER İÇİN FAZ KİLİTLEME DÖNGÜSÜ YÖNTEMLERİNİN PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

¹Fehmi SEVİLMİŞ, ²Hulusi KARACA

^{1,2}Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kampüs-Konya,
TÜRKİYE

¹fehmisevilmis@selcuk.edu.tr, ²hkaraca@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 17.01.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 29.03.2019)

ÖZ: Şebeke etkileşimli güç dönüştürücü uygulamalarında, şebeke senkronizasyonunun gerçekleştirilebilmesi için faz kilitleme döngüsü (PLL) yöntemleri oldukça önemlidir. Kullanılan PLL'nin performansı; gerilim dengesizliği, harmonikler, frekans ve faz değişimi vb. olumsuz durumlardan etkilenmemelidir. Üstelik bu olumsuz durumlarda, şebeke faz açısının ve temel şebeke frekansındaki pozitif sıralı bileşen geriliminin hızlı ve doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir. Aksi durumda, şebeke etkileşimli dönüştürücü ile şebeke arasında senkronizasyon hataları meydana gelmektedir.

Bu makalede, farklı PLL yöntemlerinin MATLAB/Simulink'te benzetimi yapılmıştır. Dengesiz, harmonikli ve değişken frekanslı şebeke durumu gibi üç farklı şebeke koşulu altında PLL yöntemlerinin performansları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Ayrıca, elde edilen sonuçlara dayanarak PLL yöntemlerinin artı ve eksi yönleri ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: *Evirici, Faz Kilitleme Döngüsü(PLL), Senkronizasyon.*

Performance Comparison of Phase Locked Loop Methods for Grid Interactive Inverters

ABSTRACT: In grid interactive power converter applications, phase locked loop (PLL) methods are very important to realize grid synchronization. The performance of PLL which is used should be affected by adverse conditions such as voltage unbalance, harmonics, frequency and phase changes. Furthermore, in these adverse conditions, the phase angle of grid voltages and positive sequence component of grid voltages in fundamental grid frequency are needed to determine quickly and accurately. Otherwise, synchronization errors occur between the grid interactive inverter and the grid.

In this paper, different PLL methods are simulated under MATLAB/Simulink. The performances of the PLL methods are comparatively presented under three different conditions such as unbalanced, harmonics and variable frequency grid. It has also put forward the positive and negative aspects of the PLL methods based on the obtained results.

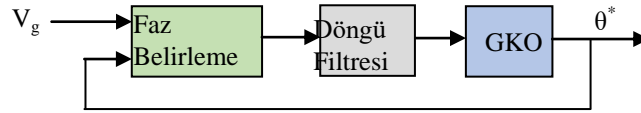
Keywords: *Inverter, Phase Locked Loop (PLL), Synchronization.*

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Faz kilitleme döngüsü (Phaselockedloop, PLL) yöntemi ilk kez 1923 yılında Appleton tarafından ortaya atılmıştır (Appleton, 1923). Daha sonra 1932 yılında Bellescize, radyo sinyallerinin senkronizasyonu için PLL yöntemini kullanmıştır (Bellescize, 1932). 1970'li yıllara kadar PLL, uygulanmasının zorluğundan dolayı geniş bir kullanım alanı bulamamıştır. 1970'li yıllar ile birlikte tüm devre teknolojisinin hızlı gelişmesi sonucu PLL uygulamaları modern haberleşme sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra PLL yöntemi, elektrik motorlarının hız kontrolü, kontaklı güç kaynakları gibi farklı endüstriyel alanlarda da kullanılmıştır (Blaabjerg ve diğ., 2006).

Günümüzde, PLL yöntemleri, şebeke etkileşimli eviricilerin şebeke senkronizasyonu için çok fazla kullanılmaktadır. Kullanılan PLL yöntemleri, evirici ile şebeke arasında hızlı ve hassas bir şekilde senkronizasyon sağlamaktadır. Şebeke gerilim dengesizliklerine, harmoniklere ve çeşitli bozucu etkilere karşı iyi bir tepkiye sahiptir (Blaabjerg ve diğ., 2006).

Şekil 1’de, PLL’nin temel blok yapısı verilmiştir. Bu yapı, geri beslemeli bir sistem olduğundan çıkış sinyalinin fazını, giriş sinyalinin fazına otomatik olarak senkronize eder. PLL yapısı, faz belirleme (FB), döngü filtresi (DF) ve gerilim-kontrollü osilatör (GKO) bloklarını içermektedir (Nicastri ve Nagliero, 2010).



Şekil 1. Temel PLL blok yapısı

Figure 1. Basic block structure of PLL

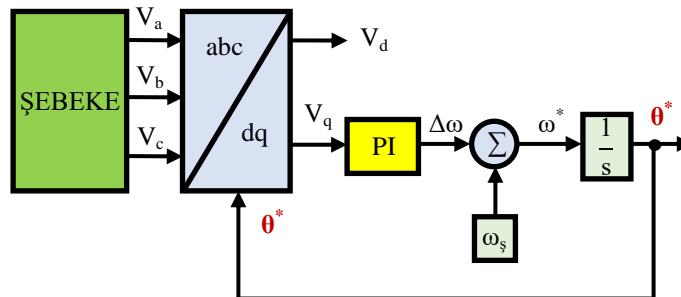
Giriş sinyalinin (V_g) faz açısı ile çıkış sinyalinin faz açısı arasındaki fark, FB bloğu yardımıyla tespit edilir. FB bloğu aynı zamanda uygun bir hata sinyali üretir (Karimi-Ghartemani ve diğ., 2004; Devi ve Kadam, 2015). Bu hata sinyali, döngü filtresine aktarılır. DF bloğu, gürültü ve yüksek frekanslı bileşenleri azaltmak ve sistemin kararlılığını sağlamak için alçak geçiren filtre özelliği gösterir ve bu blok tipik olarak birinci dereceden alçak geçiren filtre veya PI kontrolörden meydana gelir. Ayrıca, DF bloğu sistemin dinamiklerini belirler (Freijedo ve diğ., 2009; Amin ve Mohammed, 2010). DF bloğu çıkışındaki sinyal, gerilim-kontrollü osilatörü sürerek giriş sinyali ile aynı fazda olacak şekilde çıkış sinyali üretir. Böylece çıkış sinyali, giriş sinyalini takip etmiş olur (Teodorescu ve diğ., 2011; Aydemir, 2014).

Bu makale şu şekilde organize edilmiştir: Makalenin ikinci bölümünde, farklı PLL yöntemlerine yer verilmiştir ve her bir PLL yönteminin blok yapıları ele alınmıştır. Üçüncü bölümde, blok yapıları verilen PLL yöntemlerinin dengesiz, harmonikli ve değişken frekanslı şebeke koşulları altında MATLAB/Simulink’te benzetimi yapılmıştır ve performansları karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise PLL yöntemlerinin artı ve eksi yönleri vurgulanmıştır.

FAZ KİLİTLEME DÖNGÜSÜ YÖNTEMLERİ (PHASE LOCKED LOOP METHODS)

SRF-PLL

Dönen eksen takımlı faz kilitleme döngüleri (SRF-PLL) üç fazlı sistemlerde sıkça kullanılmaktadır. Şekil 2’de SRF-PLL’nin blok yapısı görülmektedir.



Şekil 2. SRF-PLL’nin blok yapısı

Figure 2. The block structure of the SRF-PLL

SRF-PLL, şebeke geriliminin faz açısını (θ) anlık olarak takip etmek için geri beslemeli servo sistemi gibi çalışır. Bu sistemde 3-faz şebeke gerilimleri ölçülür. Ardından denklem (1)’de verilen Clarke dönüşüm matrisi yardımıyla ölçülen 3-faz şebeke gerilimleri, durağan eksen takımı değişkenlerine (V_α ve V_β) dönüştürülür. Daha sonra, denklem (2)’deki Park dönüşüm matrisi ile V_α ve V_β gerilimleri dönen

eksen takımı değişkenlerine (V_d ve V_q) çevrilir. abc/dq bloğu aynı zamanda FB bloğu gibi çalışmaktadır (Timbus ve diğ., 2005; Iov ve Blaabjerg, 2008; Sevilmiş ve Karaca, 2015).

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta^*) & \sin(\theta^*) \\ -\sin(\theta^*) & \cos(\theta^*) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} \quad (2)$$

SRF-PLL yönteminde V_d ve V_q gerilimleri, DC bileşenler olarak ortaya çıkmaktadır. Şebeke gerilimlerin dengeli olduğu, harmoniklerin veya bozunumların olmadığı ideal koşullarda tespit edilen faz açısı (θ^*), şebekenin faz açısına (θ) eşit olmaktadır. Denklem (3) ve (4)'ten görüldüğü gibi idealde V_q , sıfır iken V_d , şebeke geriliminin tepe değerine eşit olur. Denklemlerden de anlaşıldığı gibi V_q , şebekenin faz açısı hatası hakkında bilgi içerir. V_d ise sürekli durumda şebeke geriliminin genlik bilgisini verir (Sevilmiş ve Karaca, 2015; Xiong ve diğ., 2010; Adzic ve diğ., 2013).

$$V_q = V_m \sin(\theta - \theta^*) \quad (3)$$

$$V_d = V_m \cos(\theta - \theta^*) \quad (4)$$

Kapalı döngü kontrol sisteminde elde edilen faz açısı, Park dönüşümünün gerçekleştirilebilmesi için geri besleme yapılar abc/dq bloğuna aktarılır. Belirlenen faz açısı, şebekenin V_d geriliminin faz açısı ile aynı olmaktadır. SRF-PLL yöntemi, şebekenin faz açısının haricinde şebeke geriliminin genliği ve frekans bilgisini de vermektedir (Nicastri ve Nagliero, 2010; Sevilmiş ve Karaca, 2015).

SRF-PLL'nin döngü filtre tasarımında, elde edilen faz açısının şebekenin faz açısına hızlı kilitlenmesi ve iyi bir filtreleme karakteristiği göstermesi, sistemin dinamik performansı açısından oldukça önemlidir. Ancak, SRF-PLL'de bu iki durum aynı anda yerine getirilemez. İdeal koşullarda, filtrenin yüksek bant-genişliğine sahip olması, şebeke geriliminin genliğini ve faz açısını hızlı ve doğru bir şekilde belirlenmesini sağlar (Teodorescu ve diğ., 2011). Şebeke geriliminin yüksek dereceli harmonikler ile bozulması durumunda bant-genişliği azaltılarak SRF-PLL'nin kararlı çalışması sağlanır, fakat bu durumda senkronizasyon süresi artmaktadır. Şebeke geriliminde dengesizlikler baş gösterdiği zaman bant-genişliğinin azaltılması sistemi kararlı hala getiremez. Bu sorun, sisteme basit bir alçak geçiren filtre eklenmesiyle çözülebilir. Alçak geçiren filtre eklenmesi ile meydana gelen değişimler sistemin kararlılığını geliştirirken sistemin dinamik cevap tepkisini büyük ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca, şebeke gerilimlerine, gerilim sensörlerinden kaynaklı DC-offset gerilimlerinin eklenmesi de sistemi kararsızlaştırır (Teodorescu ve diğ., 2011; Meersman ve diğ., 2010; Guerrero-Rodriguez ve diğ., 2014).

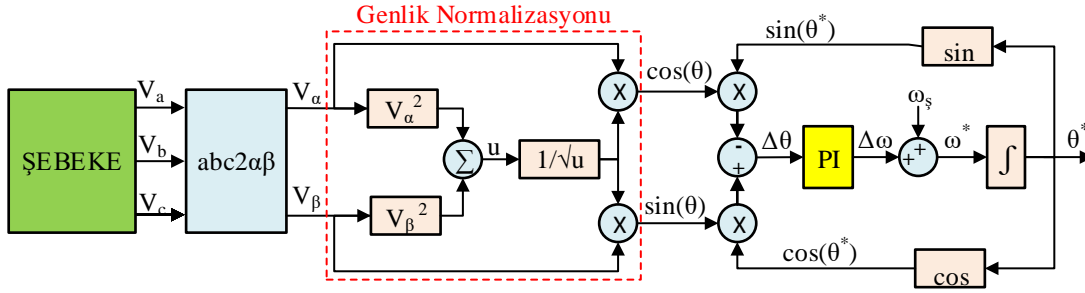
SRF-PLL'nin kontrol algoritmasında genellikle PI denetleyici kullanılmaktadır. PI denetleyici, sistemde aynı zamanda döngü filtresi olarak da çalışmakta olup V_q geriliminin denetimini sağlar ve sistemin dinamiklerini belirler. Şebekenin faz açısının hızlı ve doğru bir şekilde belirlenebilmesi için PI parametrelerinin uygun seçilmesi gerekir. Değişken koşullarda, PI parametrelerin uygun seçilmemesi durumunda belirlenen faz açısında hatalar meydana gelmekte ve sistem kararsız çalışmaktadır (Blaabjerg ve diğ., 2006; Adzic ve diğ., 2013; Sevilmiş, 2016).

Bu yöntem, ideal şebeke koşulları altında iyi bir tepki gösterirken, harmonikli ve/veya dengesiz şebeke durumu gibi olumsuzluklar meydana geldiği zaman şebekenin faz açısını belirlemede hatalara sebep olmaktadır (Nagliero ve diğ., 2009; Sevilmiş, 2016). İdeal olmayan şartlarda farklı filtreleme yapıları kullanılması gerekmektedir (Blaabjerg ve diğ., 2006; Nicastri ve Nagliero, 2010).

SRF-PLL yönteminin dengeli şebeke ve değişken frekanslı şebeke durumundaki etkinliği ile dengesiz ve harmonikli şebeke durumundaki yetersizliğini kanıtlayan sonuçlar, Bölüm 3'te verilmiştir.

$\alpha\beta$ -PLL

$\alpha\beta$ -PLL yöntemi (Teodorescu ve Blaabjerg, 2004; Hadjidemetriou ve diğ., 2013), SRF-PLL yönteminin bir çeşit varyasyonudur. Bu yöntemin önemli farklarından birisi Park dönüşümüne gereksinim duyulmamasıdır. SRF-PLL'den bir diğer farkı ise üç faz şebeke gerilimleri, abc eksen takımından $\alpha\beta$ eksen takımına dönüştürüldükten sonra genlik normalizasyonu yapılmasıdır. Şekil 3'te, $\alpha\beta$ -PLL yöntemin blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 3. $\alpha\beta$ -PLL'nin blok yapısı
Figure 3. The block structure of the $\alpha\beta$ -PLL

$\alpha\beta$ -PLL yönteminde ilk önce üç faz şebeke gerilimleri ölçülür. Ölçülen bu gerilimler V_a ve V_β gerilimlerine çevrilerek genlik normalizasyonu yapılır. Genlik normalizasyonu sonucunda V_a gerilimine karşılık olarak $\cos(\theta)$, V_β gerilimine karşılık olarak $\sin(\theta)$ elde edilir. Döngüden elde edilen şebeke faz açısının (θ^*) sinüs ve cosinüs değerleri anlık olarak geri besleme yapılarak $\cos(\theta)$ ve $\sin(\theta)$ değerleri ile çarpılır. Bunun sonucunda;

$$\begin{aligned}\Delta\theta &= \sin(\theta) \cos(\theta^*) - \sin(\theta^*) \cos(\theta) \\ \Delta\theta &= \sin(\theta - \theta^*)\end{aligned}\quad (5)$$

elde edilir. $\theta^* = \theta$ olduğu zaman $\Delta\theta$ sıfır olur. $\Delta\theta$, PI denetleyici tarafından kontrol edilir. Genlik normalizasyonu yapılmasından dolayı PI katsayıları birim genliğe göre hesaplanmalıdır. Dengesiz ve harmonikli şebeke durumlarında $\Delta\theta$ sıfıra yakınsamamaktadır.

$\alpha\beta$ -PLL yöntemiyle elde edilen sonuçların SRF-PLL yöntemindekilere çok fazla benzediği, Bölüm 3'te gösterilmektedir.

DDSRF-PLL

Dengesiz şebeke gerilimlerinde, şebeke geriliminin pozitif sıralı ve negatif sıralı bileşenleri meydana gelmektedir. SRF-PLL ve $\alpha\beta$ -PLL yöntemleriyle bu bileşenler bağımsız olarak kontrol edilemediği için evirici ile şebeke arasındaki senkronizasyonda hatalar oluşmaktadır. Bağımsız dönen çift eksenli PLL (Decoupled double synchronous reference frame PLL, DDSRF-PLL) yönteminin temeli, şebeke geriliminin pozitif sıralı ve negatif sıralı bileşenlerinin dönüştürülmesine ve bağımsız olarak kontrol edilmesine dayanmaktadır. Bu yöntem, klasik SRF-PLL'de şebekenin faz açısı belirlenirken meydana gelen hataları ortadan kaldırmaktadır (Rodriguez ve diğ., 2007). Üstelik şebeke frekansı değişimlerine de çok iyi bir tepki göstermesinden dolayı rüzgâr enerji sistemlerinde kullanılabilir (Rodriguez ve diğ., 2005).

DDSRF-PLL, pozitif yönde dönen (açısı θ olan) dq^{+1} eksen takımından ve negatif yönde dönen (açısı $-\theta$ olan) dq^{-1} eksen takımından oluşmaktadır. dq^{+1} ve dq^{-1} eksen takımlarının bileşenleri (6) ve (7) nolu denklemler ile verilmiştir (Teodorescu ve diğ., 2011; Rodriguez ve diğ., 2007).

$$\begin{bmatrix} V_{d^{+1}} \\ V_{q^{+1}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{d^{+1}}^* \\ V_{q^{+1}}^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(2\theta^*) & \sin(2\theta^*) \\ -\sin(2\theta^*) & \cos(2\theta^*) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{V_{d^{-1}}} \\ \overline{V_{q^{-1}}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

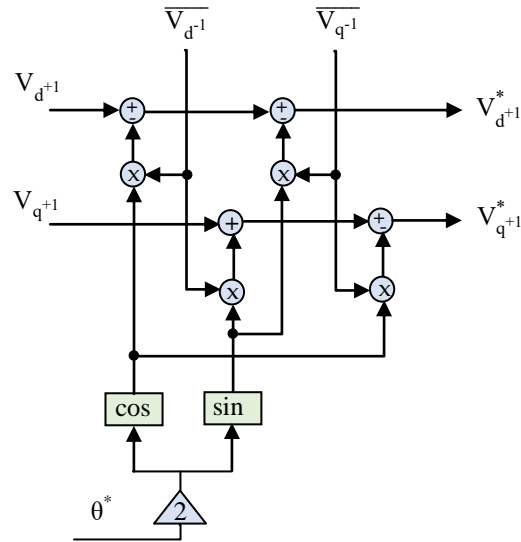
$$\begin{bmatrix} V_{d^{-1}} \\ V_{q^{-1}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{d^{-1}}^* \\ V_{q^{-1}}^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(-2\theta^*) & \sin(-2\theta^*) \\ -\sin(-2\theta^*) & \cos(-2\theta^*) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{V_{d^{+1}}} \\ \overline{V_{q^{+1}}} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Denklemlerden görüldüğü gibi V_d ve V_q gerilimlerinin pozitif ve negatif sıralı bileşenlerine, bağımlı ikinci harmonik bileşenleri (2ω) eklenmektedir. Bu bağımlı bileşenler yok edilerek şebeke geriliminin pozitif ve negatif sıralı bileşenleri bağımsız bir şekilde elde edilir (Rodriguez ve diğ., 2007).

(6)-(7) nolu denklemler yeniden düzenlenerek (8) ve (9) nolu denklemlerdeki bağımsız bileşenler tespit edilir. Şekil 4 ve 5'te, bu bağımsız bileşenlere ait blok şema verilmiştir.

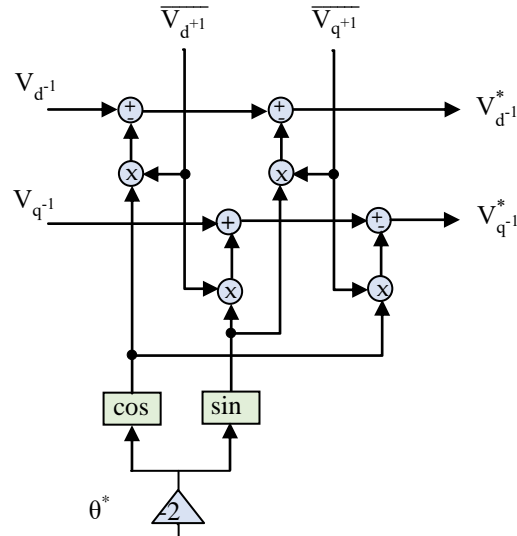
$$\begin{bmatrix} V_{d^{+1}}^* \\ V_{q^{+1}}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{d^{+1}} \\ V_{q^{+1}} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \cos(2\theta^*) & \sin(2\theta^*) \\ -\sin(2\theta^*) & \cos(2\theta^*) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{V_{d^{-1}}} \\ \overline{V_{q^{-1}}} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} V_{d^{-1}}^* \\ V_{q^{-1}}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{d^{-1}} \\ V_{q^{-1}} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \cos(-2\theta^*) & \sin(-2\theta^*) \\ -\sin(-2\theta^*) & \cos(-2\theta^*) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{V_{d^{+1}}} \\ \overline{V_{q^{+1}}} \end{bmatrix} \quad (9)$$



Şekil 4. dq^{+1} bağımsız bileşenlere ait blok şema

Figure 4. dq^{+1} decoupled component of the block diagram



Şekil 5. dq^{-1} bağımsız bileşenlere ait blok şema

Figure 5. dq^{-1} decoupled component of the block diagram

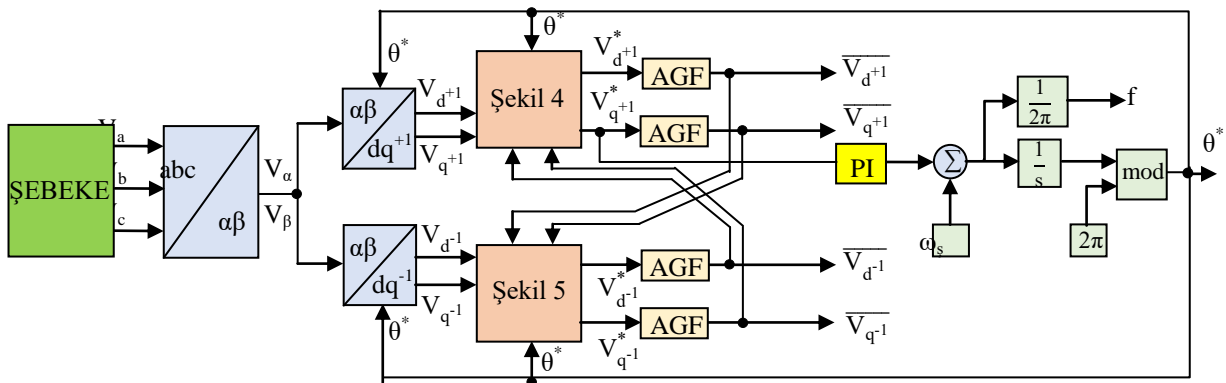
Şekil 6'da, DDSRF-PLL'nin blok yapısı verilmiştir. Bu blok yapısı, klasik SRF-PLL blok yapısının genişletilmiş şeklidir. DDSRF-PLL yöntemi ile pozitif sıralı gerilim bileşenin gerçek genlik değeri tam olarak elde edilmektedir. Şekildeki birinci dereceden alçak geçiren filtrenin (AGF) ifadesi (10) nolu denklem ile verilmiştir.

$$AGF(s) = \frac{\omega_f}{s + \omega_f} \quad (10)$$

Burada, ω_f filtrenin kesim frekansdır.

Şekil 6'daki pozitif sıralı bileşenler için kullanılan Park dönüşüm bloğunun matematiksel ifadesi $(\alpha\beta/dq^{+1})$, (2) nolu denklemdeki gibidir. Negatif sıralı bileşenler için kullanılan Park dönüşüm bloğunun matematiksel ifadesi $(\alpha\beta/dq^{-1})$ ise (11) nolu denklem ile verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} V_{d^{-1}} \\ V_{q^{-1}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta^*) & -\sin(\theta^*) \\ \sin(\theta^*) & \cos(\theta^*) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{\alpha} \\ V_{\beta} \end{bmatrix} \quad (11)$$



Şekil 6. DDSRF-PLL'nin blok yapısı

Figure 6. The block structure of the DDSRF-PLL

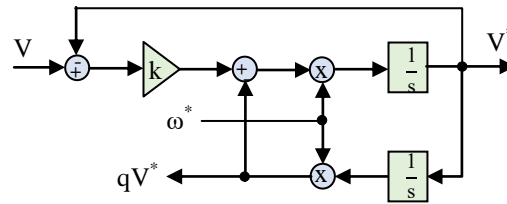
DSOGI-PLL

DSOGI-PLL yönteminde ilk önce 3-fazlı şebeke gerilimleri Clarke dönüşümü ile V_α ve V_β gerilimlerine dönüştürülür. Bu yöntemde, iki adet ikinci dereceden genelleştirilmiş integratör (Second order generalized integrator, SOGI) tabanlı quadratik sinyal üretici (Quadrature signal generator, QSG) kullanılır. SOGI-QSG kullanılmasının amacı filtreleme yapmak ve V_α ile V_β gerilimlerinin 90° 'lik ötelenmiş şeklini elde etmektir. Şekil 7'de SOGI-QSG'nin blok yapısı ve (12) nolu denklemde karakteristik transfer fonksiyonları verilmiştir (Rodriguez ve diğ., 2006a; Rodriguez ve diğ., 2006b).

$$D(s) = \frac{V^*}{V} = \frac{k\omega^*s}{s^2 + k\omega^*s + \omega^{*2}} \quad (12a)$$

$$Q(s) = \frac{qV^*}{V} = \frac{k\omega^{*2}}{s^2 + k\omega^*s + \omega^{*2}} \quad (12b)$$

Bu denklemlerde ω^* , SOGI-QSG'nin rezonans frekansını; k ise sönüm oranını ayarlar. k değerinin azaltılması filtrenin tepkisini iyileştirirken kararlılığa ulaşma zamanını uzatır. Yani, k 'nin değeri geri beslemeli sistemin bant genişliğini etkiler. Bu yüzden, kritik sönüm tepkisi $k = 2\xi = \sqrt{2}$ iken başarıya ulaşmaktadır (Rodriguez ve diğ., 2006a; Rodriguez ve diğ., 2006b; Ciobotaru ve diğ., 2006).



Şekil 7. SOGI-QSG'nin blok yapısı
Figure 7. The block structure of the SOGI-QSG

Üç fazlı gerilim vektörü, (13) nolu denklem ile ifade edilmektedir ve bu gerilimlerin pozitif sıralı bileşenleri (14) nolu denklem ile elde edilmektedir.

$$V_{abc} = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = V_m \begin{bmatrix} \cos(\omega t) \\ \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$V_{abc}^+ = \begin{bmatrix} V_a^+ \\ V_b^+ \\ V_c^+ \end{bmatrix} = [T]V_{abc} \quad (14)$$

$$[T] = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a^2 & a \\ a & 1 & a^2 \\ a^2 & a & 1 \end{bmatrix}, \quad a = e^{-j\frac{2\pi}{3}}$$

V_α ile V_β gerilimlerinin pozitif sıralı bileşenlerini elde etmek için (1) ve (14) nolu denklemleri kullanarak V_{α^+} ve V_{β^+} gerilimleri (15)'teki gibi elde edilebilir.

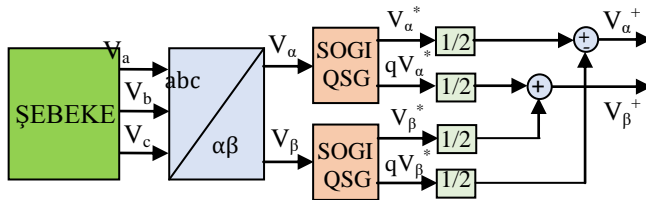
$$\begin{bmatrix} V_{\alpha^+} \\ V_{\beta^+} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} [T] \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

$$= \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} [T] \left(\frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} V_\alpha^+ \\ V_\beta^+ \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & -q \\ q & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix}, \quad q = e^{-j\frac{\pi}{2}}$$

Burada q , faz öteleme operatörüdür ve gerçek faz gerilimlerinden 90° geri fazlı gerilim elde etmeye yarar. Ayrıca, Şekil 7'de de görüldüğü gibi qV^* gerilimi k ve ω^* değerlerinden bağımsız olarak her zaman V^* geriliminden 90° geri fazdadır.

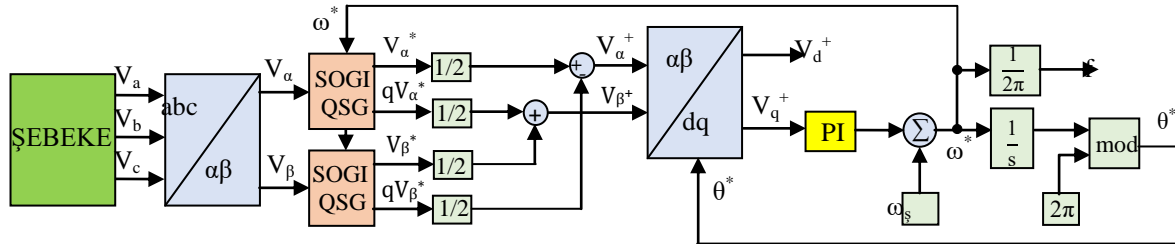
Şekil 8'de, V_{α^+} ve V_{β^+} gerilimlerini elde etmek için gerekli blok şema görülmektedir. Bu şemada, iki adet (dual) SOGI kullanıldığı için DSOGI olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 8. $V_{\alpha\beta^+}$ gerilimlerinin elde edilmesine ait blok şema

Figure 8. Obtained the $V_{\alpha\beta^+}$ voltages of the block diagram

Daha sonra V_{α^+} ve V_{β^+} gerilimleri (2) nolu denklemdeki Park dönüşümü ile V_d^+ ve V_q^+ pozitif sıralı bileşenlerine çevrilir ve SRF-PLL algoritması sisteme ilave edilir. Şekil 9'da, DSOGI-PLL'nin blok yapısı verilmiştir. Bu blok yapıda tahmin edilen şebeke frekansı (ω^*), DSOGI-QSG'nin rezonans frekansına senkron olabilmesi için geri besleme yapılıır.



Şekil 9. DSOGI-PLL'nin blok yapısı

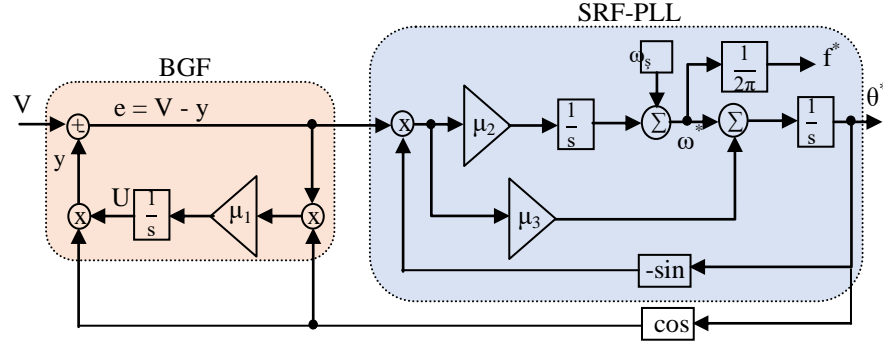
Figure 9. The block structure of the DSOGI-PLL

DSOGI-PLL, dengesiz ve harmonikli şebeke gerilimlerinde pozitif sıralı bileşenleri hızlı ve doğru bir şekilde belirlenmektedir ve şebeke senkronizasyonunda iyi bir çözüm sağlamaktadır. Üstelik şebeke arıza durumlarında bile etkili sonuç vermektedir (Rodriguez ve diğ., 2006a).

E-PLL

Geleneksel tek fazlı E-PLL (Enhanced-PLL) yöntemi (Karimi-Ghartemani ve Iravani, 2001), SRF-PLL ile bant geçiren filtre (BGF) yapılarının birleşiminden meydana gelmektedir. E-PLL, şebeke frekansı değişimlerine uyum sağlayabilen lineer olmayan bir senkronizasyon yöntemidir. BGF'nin üstün filtreleme kabiliyeti sayesinde dengesiz, harmonikli ve değişken frekanslı şebeke koşullarında şebeke geriliminin genlik, faz açısı ve frekansı hızlı ve doğru bir şekilde belirlenebilmektedir (Karimi-Ghartemani ve Iravani, 2002; Karimi-Ghartemani ve Iravani, 2004).

Şekil 10'da, tek fazlı E-PLL'nin blok yapısı verilmiştir ($V=V_m \cos(\theta)$). Şekilden de görüldüğü gibi tek fazlı şebeke gerilimi (V) ilk önce BGF'den geçirilir ve filtrelenmiş $y=U\cos(\theta^*)$ gerilimi elde edilir. İdeal şebeke koşullarında y , V ile aynı faz ve genlikte olmaktadır. Gerilim hatası ($e = V - y$), PI denetleyici tarafından kontrol edilmesi için SRF-PLL yapısına iletilmektedir. Ayrıca, y geriliminden 90° ileri ötelenmiş ve filtrelenmiş quadratik gerilim de elde edilmektedir ($U\cos(\theta^*+90^\circ) = -U\sin(\theta^*)$).



Şekil 10. Tek fazlı E-PLL'nin blok şeması

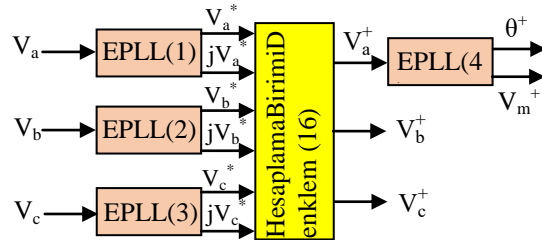
Figure 10. Block scheme of the single-phase EPLL

E-PLL'nin dinamik tepkisini kontrol eden üç adet sabit (μ_1 , μ_2 ve μ_3) vardır. μ_1 , oransal (P) denetleyici gibi çalışmakta olup U geriliminin kararlılığını sağlamaktadır. μ_1 değerinin artırılması U geriliminin yakınsama hızını artırırken U geriliminde dalgalanmalara neden olmaktadır. Bu yüzden, hız ile doğruluk arasında ödünleşim (trade-off) vardır. μ_2 ve μ_3 sabitleri ise sırasıyla giriş geriliminin frekansının ve faz açısının yakınsama hızını kontrol etmektedir.

Şekil 11'de, üç-fazlı E-PLL'nin blok şeması verilmiştir (Karimi-Ghartemani ve Iravani, 2004; Karimi-Ghartemani, 2014). SRF-PLL'nin aksine E-PLL yönteminde Clarke ($\alpha\beta$) ve Park (dq) dönüşümlerine gerek yoktur. Üç fazlı EPLL yönteminde her bir faza (V_a , V_b ve V_c) ayrı ayrı EPLL uygulanır ve her bir faz gerilimlerinin filtrelenmiş (V_a^* , V_b^* ve V_c^*) ve 90° ileri ötelenmiş (filtrelenmiş) halleri (jV_a^* , jV_b^* ve jV_c^*) elde edilir. EPLL(1), EPLL(2) ve EPLL(3) blokları çıkışında elde edilen 6-adet gerilim, hesaplama birimine gönderilir. Hesaplama biriminde, quadratik gerilimler kullanılarak anlık simetrik bileşenler (instantaneous-symmetrical-components, ISC) yöntemi işletilir ve üç-fazlı şebeke gerilimlerinin pozitif sıralı bileşenleri (V_{abc}^+) elde edilir. ISC yöntemine göre pozitif sıralı bileşenler aşağıdaki gibi elde edilir (Luna ve diğ., 2015).

$$\begin{aligned} V_a^+ &= \frac{1}{3}V_a^* - \frac{1}{6}(V_b^* + V_c^*) + \frac{1}{2\sqrt{3}}j(V_b^* - V_c^*) \\ V_b^+ &= -(V_a^+ + V_c^+) \\ V_c^+ &= \frac{1}{3}V_c^* - \frac{1}{6}(V_a^* + V_b^*) + \frac{1}{2\sqrt{3}}j(V_a^* - V_b^*) \end{aligned} \quad (16)$$

Burada, j faz öteleme operatörüdür. Şebeke gerilimlerinin 90° ileri fazlı halleri j çarpanı ile ifade edilir. Şekil 11'den görüldüğü gibi şebeke gerilimlerinin pozitif sıralı bileşenleri elde edildikten sonra dördüncü bir E-PLL kullanılarak şebeke geriliminin genlik (V_m^+) ve faz açısı (θ^+) tespit edilmektedir.



Şekil 11. Üç fazlı E-PLL'nin blok şeması

Figure 11. Block scheme of the three-phase EPLL

BENZETİM SONUÇLARI (SIMULATION RESULTS)

Bu bölümde, faz kilitleme döngüsü yöntemlerinin performansları farklı koşullar altında test edilmiştir. Bunlar; dengesiz şebeke durumu, harmonikli şebeke durumu ve değişken frekanslı şebeke durumudur. PLL yöntemlerinin benzetimi, MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Tüm simülasyonlarda, 0,1 saniyeye kadar şebeke dengeli olup faz gerilimleri 220 V (faz-nötr) ve 50 Hz'ye ayarlanmıştır. PLL yöntemlerinin performansını gözlemleyebilmek için 0,1-0,2 saniye zaman aralığında anormal test koşulları oluşturulmuştur ve 0,2. saniyeden sonra şebeke tekrar dengeli hale getirilmiştir. Tüm şekillerde 1. satır şebeke gerilimlerini, 2. satır tespit edilen temel şebeke genliğini, 3. satır faz açısı hatasını ve 4. satır ise tespit edilen temel şebeke frekansını ifade etmektedir.

Çizelge 1'de her bir PLL yöntemi için kullanılan PI parametreleri verilmiştir. PI parametreleri, PLL yöntemlerinin oturma süresi (t_s) 40 ms ve sönüm oranı (ξ) 0.707 olacak şekilde ayarlanmıştır. Sadece DSOGI-PLL'de yer alan k katsayısı 2ξ olarak alınmıştır.

Çizelge 1. PLL'nin PI parametreleri

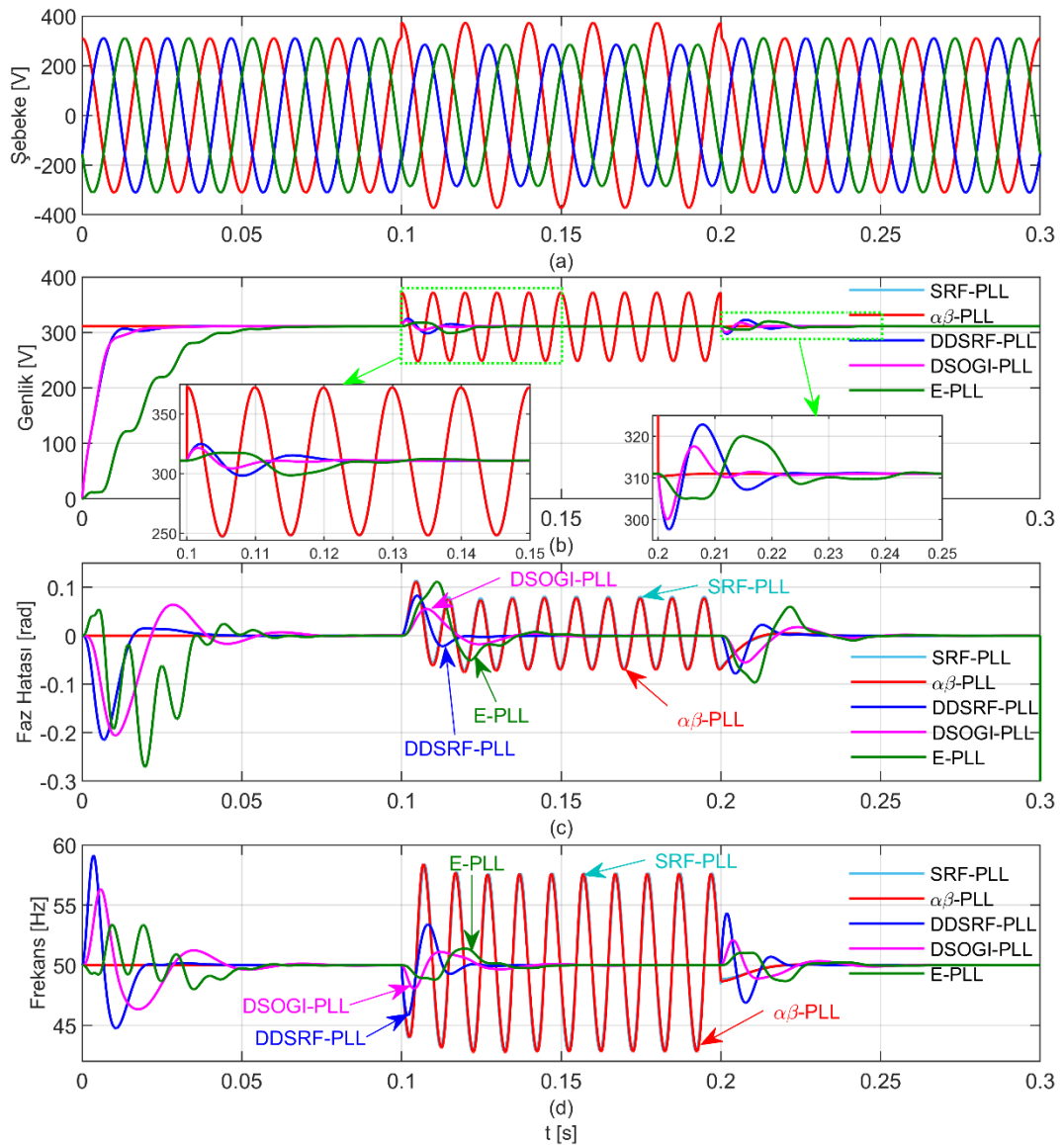
Table 1. PI parameters of the PLL

PLL Yöntemi	K_P	K_I	$\mu_1-\mu_2-\mu_3$
SRF-PLL	0,74	85,05	-
$\alpha\beta$ -PLL	230,14	26450,55	-
DDSRF-PLL	0,74	85,05	-
DSOGI-PLL	0,74	21,26	-
E-PLL	-	-	250-200,96-1,61

Dengesiz Şebeke Durumu (Unbalanced Grid Condition)

Bu kısımda, şebeke gerilimlerinde dengesizlik meydana geldiği durumda, PLL yöntemlerinin verdiği tepki test edilmiştir. Şekil 12(a)'da görüldüğü gibi dengesiz şebeke olarak A-fazı için 265 V faz-nötr gerilimi, B-fazı ve C-fazı için 200 V faz-nötr gerilimi kullanılmıştır. Şebeke gerilimlerinde dengesizlik meydana geldiği zaman SRF-PLL ve $\alpha\beta$ -PLL yöntemleri, şebeke faz açısını belirlemede hatalara sebep olmaktadır.

Ayrıca, şebeke fazının pozitif sıralı ve negatif sıralı bileşenleri bağımsız bir şekilde elde edilemediği için genlik, faz açısı ve frekansta 2. harmonik bileşenin etkisi net bir şekilde görülmektedir. DDSRF-PLL, DSOGI-PLL ve E-PLL yöntemlerinde ise şebeke fazının pozitif sıralı ve negatif sıralı bileşenleri bağımsız bir şekilde elde edildiği için 2. harmonik bileşen etkisi ortadan kalkmaktadır. Bu sayede, şebeke genliği, faz açısı ve frekansı hatasız bir şekilde belirlenmektedir. Şekil 12(b)'de görüldüğü gibi DDSRF-PLL ve DSOGI-PLL gerilim dengesizliklerine karşı hızlı bir tepki göstererek kararlılığa ulaşmaktadır. E-PLL, daha yavaş bir şekilde kararlılığa ulaşmaktadır. Ayrıca, DSOGI-PLL en düşük maksimum aşma (%3,4) ile genlik bilgisini elde etmektedir. Şekil 12(c)'deki faz hatalarına bakıldığında DDSRF-PLL en küçük oturma süresine (30 ms) sahip iken DSOGI-PLL en küçük maksimum aşmaya (3,15°) sahiptir. Şekil 12(d)'de görüldüğü gibi DDSRF-PLL daha hızlı kararlılığa ulaşırken (30 ms), DSOGI-PLL daha düşük aşma (%4) ile frekansı ortaya çıkarmaktadır. DSOGI-PLL ile E-PLL'nin oturma süresi 50 ms civarındadır. Genel olarak, dengesiz şebeke durumunda DDSRF-PLL hızlı tepkisi ile ön plana çıkarken DSOGI-PLL düşük aşma yüzdesi ile ön plana çıkmaktadır. SRF-PLL ve $\alpha\beta$ -PLL'nin dengesiz şebeke durumunda performanslarının kabul edilebilir olmadığı ve aşırı derecede salınımlara sebebiyet verdiği açıkça ortaya çıkmıştır.



Şekil 12. Dengesiz şebeke durumunda PLL yöntemlerinin performansı

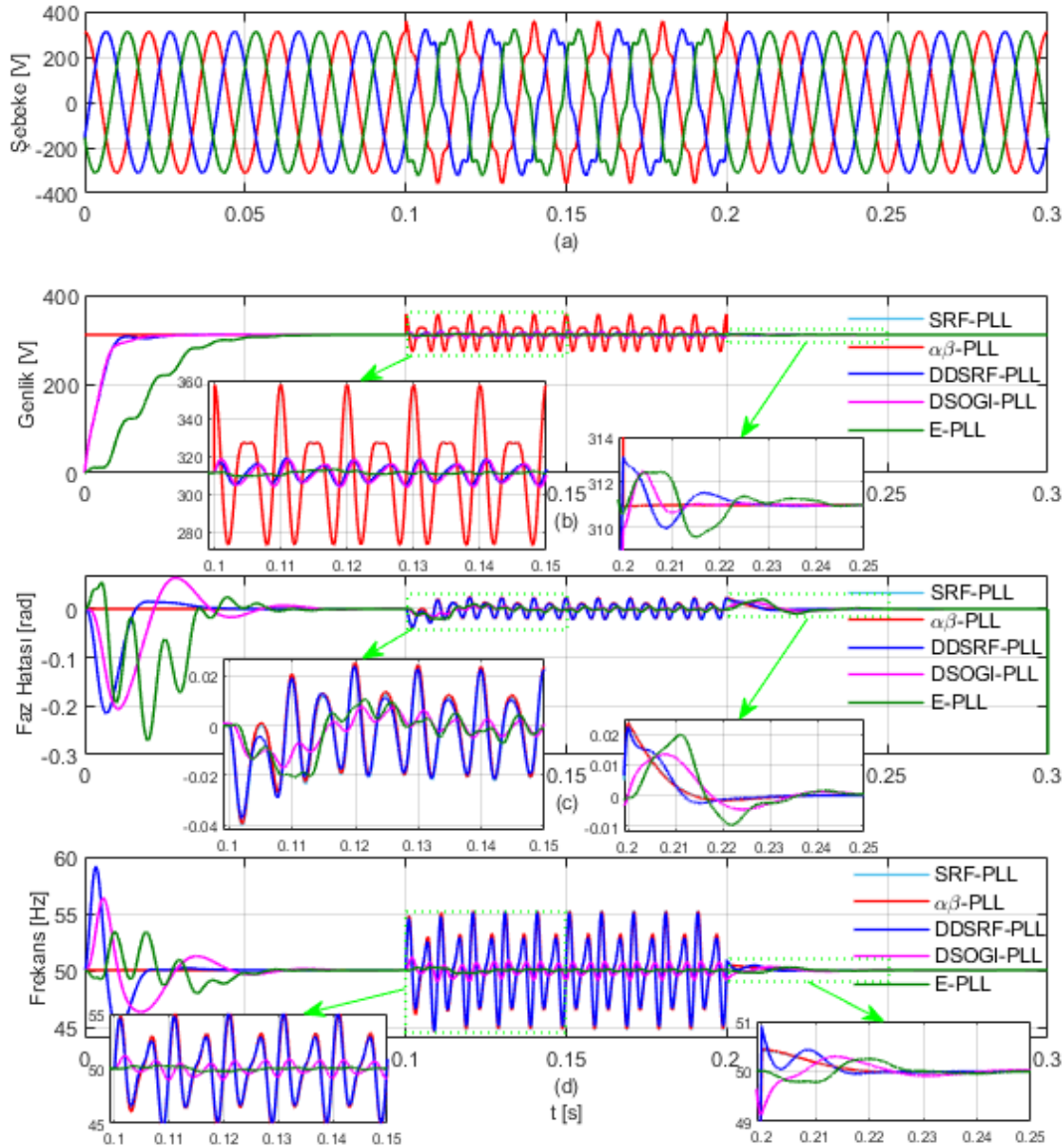
Figure 12. Performances of the PLL methods under unbalanced grid condition

Harmonikli Şebeke Durumu (Grid Condition with Harmonics)

Bu testte, Şekil 13(a)'da görüleceği üzere şebeke gerilimlerine 5. ve 7. harmonik bileşenler eklenerek PLL yöntemlerinin gösterdikleri tepkiler incelenmiştir. 5. ve 7. harmonik bileşenlerin genliği sırasıyla şebeke geriliminin %10'una (22 V) ve %5'ine (11 V) tekabül etmektedir.

Şebeke gerilimleri dengeli olup şebeke frekansında değişim meydana gelmemektedir. Şekillerden de anlaşılacağı üzere harmonikli şebeke durumunda bağımsızlığı en fazla olan yöntem, bant geçiren filtreye sahip olmasından dolayı E-PLL'dir. Şekil 13(b)'ye bakıldığında SRF-PLL ile $\alpha\beta$ -PLL ve DDSRF-PLL ile DSOGI-PLL benzer genlik dalgalanmalarına sahiptir. Şekil 13(c)'deki faz hataları incelendiğinde, SRF-PLL, $\alpha\beta$ -PLL ve DDSRF-PLL'nin; DSOGI-PLL ve E-PLL'nin benzer tepkilere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 13(d)'de ise SRF-PLL, $\alpha\beta$ -PLL ve DDSRF-PLL'nin benzer frekans dalgalanmalarına sebebiyet verdiği, E-PLL'nin neredeyse hiç dalgalanmadan frekansı tespit ettiği ve DSOGI-PLL'nin ortalama bir başarıya sahip olduğu net bir şekilde görülmektedir. Şekil 13, E-PLL'nin harmoniklere karşı performansının diğer yöntemlere çok üstün olduğunu ve çok düşük hata ile genlik, faz açısı ve frekansı tespit ettiğini kanıtlamaktadır. DDSRF-PLL, genlik değerini SRF-PLL ve $\alpha\beta$ -PLL'ye göre daha doğru

tespit etmesine rağmen faz açısı ve frekans tespitinde SRF-PLL ve $\alpha\beta$ -PLL ile benzer hatalara sahip olduğu anlaşılmaktadır. DSOGI-PLL'nin ise ortalama bir başarıya sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 13. Harmonikli şebeke durumunda PLL yöntemlerinin performansı

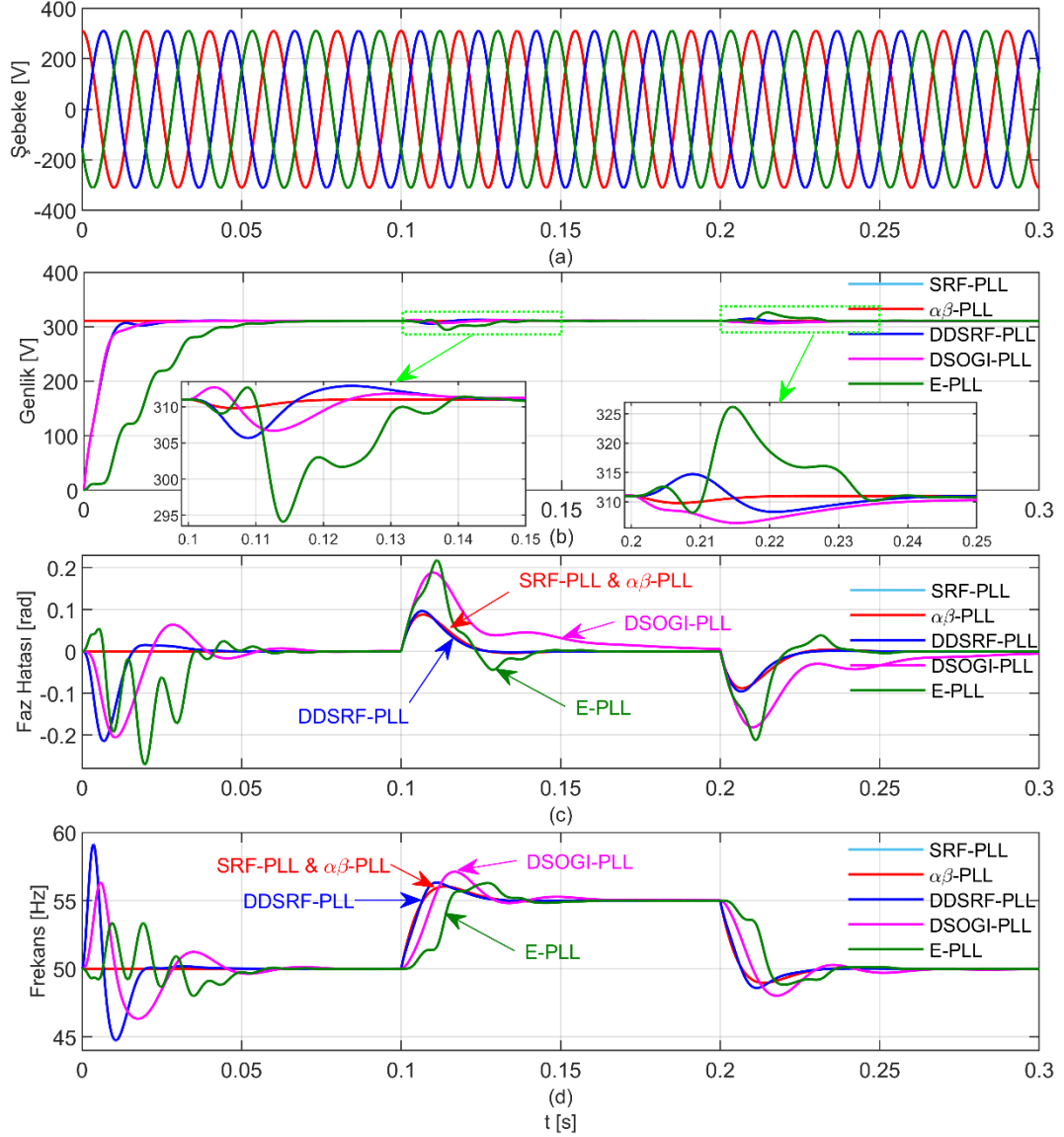
Figure 13. Performances of the PLL methods under grid condition with harmonics

Değişken Frekanslı Şebeke Durumu (Frequency Changes Grid Condition)

Son testte, şebeke frekansında değişimler meydana getirilerek PLL yöntemlerinin performansları incelenmiştir. Şekil 14(a)'da test aralığında şebeke gerilimlerinin frekansı 50 Hz'den 55 Hz'ye yükseltilmiştir ve sonra frekans tekrar 50 Hz'ye düşürülmüştür. Şebeke gerilimlerinin dengeli olduğu ve harmonik vb. bozucu etkilerin olmadığı varsayılmıştır.

Şekil 14(b)'den anlaşıldığı gibi SRF-PLL ve $\alpha\beta$ -PLL en düşük aşmaya (%0,4), E-PLL ise en büyük aşmaya (%5,5) sahiptir. Şekil 14(c)-(d) incelendiğinde SRF-PLL, $\alpha\beta$ -PLL ve DDSRF-PLL'nin, daha düşük oturma süresine (35 ms) ve maksimum aşmaya sahip olduğu net bir şekilde görülmektedir. DSOGI-PLL'nin yüksek aşma miktarlarına ulaştığı ve senkronizasyon süresinin çok uzun olduğu anlaşılmaktadır. E-PLL'nin ise ortalama bir başarısının olduğu ortaya çıkmaktadır. İncelenen tüm PLL yöntemlerinde sürekli durum hatası yoktur. Böylece, tüm PLL yöntemleri ile şebekenin genlik, faz açısı ve frekansı hatasız bir şekilde belirlenebilmektedir. Özetlemek gerekirse, SRF-PLL, $\alpha\beta$ -PLL ve DDSRF-

PLL'nin frekans değişimlerine karşı daha hızlı adapte olabildiği, DSOGI-PLL'nin kararlılığa ulaşma süresinin oldukça uzun olduğu ve E-PLL'nin performansının DSOGI-PLL'ye göre göreceli olarak daha iyi olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 14. Değişken frekanslı şebeke durumunda PLL yöntemlerinin performansı

Figure 14. Performances of the PLL methods under frequency changes grid condition

SEMBOLLER(SYMBOLS)

- f : Frekans
- k : Sönüm oranı faktörü
- K_p : Oransal katsayı
- K_i : İntegral katsayısı
- t_s : Oturma süresi
- V_a : Şebeke A-fazı
- V_b : Şebeke B-fazı
- V_c : Şebeke C-fazı
- V_d : d-gerilimi
- V_g : Giriş gerilimi

- V_q : q-gerilimi
 V_α : α -gerilimi
 V_β : β -gerilimi
 V_m : Maksimum gerilim
 V_{abc^+} : Üç faza ait pozitif sıralı bileşenler
 ω : Açısal frekans
 ω_f : Filtre kesim frekansı
 ω_s : Şebeke açısal frekansı
 ω^* : Rezonans frekans
 θ : Şebeke geriliminin faz açısı
 θ^* : Tahmin edilen faz açısı
 q : Faz öteleme operatörü
 ξ : Sönüm oranı katsayısı
 $\Delta\theta$: Faz açısı değişimi
 μ_1, μ_2, μ_3 : Denetleyici sabitleri

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, şebeke senkronizasyonu için farklı faz kilitleme döngüsü yöntemleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Ele alınan tüm PLL yöntemlerinin, MATLAB/Simulink'te benzetimi yapılmıştır ve farklı koşullar altında performansları incelenmiştir.

Elde edilen bulgular sonucunda SRF-PLL ve $\alpha\beta$ -PLL, basitliği, kolay uygulanabilirliği, dengeli ve değişken frekanslı şebekelerdeki tepkisi ile ön plana çıkmaktadır. Fakat dengesiz ve/veya harmonikli şebeke gerilimleri gibi olumsuz durumlarda sistemin kararlılığı oldukça kötüleşmektedir. Diğer yandan, DDSRF-PLL, DSOGI-PLL ve E-PLL yöntemlerinin pozitif sıralı bileşeni tam olarak ortaya çıkarabilmesi ve filtreleme kabiliyetlerinin yüksek oluşundan dolayı bu tür olumsuz durumlara karşı tepkileri ve doğrulukları arzu edilen düzeydedir. Fakat özellikle harmonikli şebeke durumunda DDSRF-PLL'nin performansının tatmin edici olmadığı ortadadır. Genel olarak, E-PLL'nin diğer yöntemlere göre daha yüksek aşma ve uzun oturma süresine sahip olmasına rağmen harmoniklere karşı bağışıklığı oldukça iyidir. DDSRF-PLL'nin frekans değişimlerine karşı tepkisinin çok iyi olduğu, DSOGI-PLL'nin ise uzun senkronizasyon süresi ile frekans değişimlerine yavaş adapte olabildiği sonucuna varılmaktadır. Karşılaştırmalı benzetimler neticesinde elde edilen sonuçlar, çalışılacak şebekeye göre tercih edilmesi gereken PLL yönteminin önemini açıkça ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR(REFERENCES)

- Adzic, E., Porobic, V., Dumnic, B., Celanovic, N., Katic, V., "PLL Synchronization in Grid-connected Converters", *The 6th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology (ICET-2013)*, Novi Sad, Serbia, 1-5, 15-17 May 2013.
- Amin, M. M., Mohammed O. A., "Software Phase Locked Loop Technique for Grid-connected Wind Energy Conversion Systems", *IEEE 12th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL)*, Boulder, USA, 1-8, 28-30 June 2010.
- Appleton, E. V., 1923, "Automatic Synchronization of Triode Oscillators", *Proc. Cambridge Phil. Soc.*, Vol.21, No.3, pp. 231.
- Aydemir, M., 2014, *Rüzgâr Türbinlerinde Kullanılan DA/AA Evirici Modellenmesi ve Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli.
- Bellesize, H. de, 1932, "La Reception Synchrone", *OndeElectr.*, Vol. 11, pp. 230-240.
- Blaabjerg, F., Teodorescu, R., Liserre, M., Timbus, A., 2006, "Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation Systems", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol.53, No. 5, pp. 1398-1409.

Ciobotaru, M., Teodorescu, R., Blaabjerg, F., "A New Single-Phase PLL Structure Based on Second Order Generalized Integrator", *IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC'06)*, Jeju, South Korea, 1-6, 18-22 June 2006.

Devi, R. J., Kadam, S. S., 2015, "Phase Locked Loop for Synchronization of Inverter with Electrical Grid: A Survey", *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol. 4, No. 2, 352-358.

Freijedo, F. D., Doval-Gandoy, J., Lopez, O., Martinez-Penalver, C., Yepes, A. G., Fernandez-Comesana, P., Malvar, J., Nogueiras, A., Marcos, J., Lago, A., "Grid-synchronization Methods for Power Converters", *IECON'09: 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics*, Vigo, Spain, 522-529, 3-5 November 2009.

Guerrero-Rodriguez, N. F., Rey-Boue, A. B., Rigas, A., Kleftakis, V., "Review of Synchronization Algorithms Used in Grid-connected Renewable Agents", *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'14)*, Cordoba, Spain, 1-6, 8-10 April 2014.

Hadjidemetriou, L., Kyriakides, E., Blaabjerg, F., 2013, "A New Hybrid PLL for Interconnecting Renewable Energy Systems to the Grid," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, Vol. 60, No. 6, pp. 2709-2719.

Iov, F., Blaabjerg, F., "Power Electronics Control of Wind Energy in Distributed Power Systems", *11th International Conference on Optimization of Electrical and Electronics Equipment (OPTIM)*, Brasov, Romania, 29-44, 22-24 May 2008.

Karimi-Ghartemani, M., Iravani, M. R., "A New Phase-locked Loop (PLL) System", *Proceedings of the 44th IEEE Midwest Symposium on Circuits and Systems*, Dayton, OH, USA, 421-424, 14-17 August 2001.

Karimi-Ghartemani, M., Iravani, M. R., 2002, "A Nonlinear Adaptive Filter for Online Signal Analysis in Power Systems: Applications", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 17, No. 2, 617-622.

Karimi-Ghartemani, M., Iravani, M. R., 2004, "A Method for Synchronization of Power Electronic Converters in Polluted and Variable-frequency Environments", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 19, No. 3, 1263-1270.

Karimi-Ghartemani, M., 2014, *Enhanced Phase-locked Loop Structures for Power and Energy Applications*, Wiley-IEEE Press.

Luna, A., Rocabert, J., Candela, J. I., Hermoso, J. R., Teodorescu, R., Blaabjerg, F., Rodriguez, P., 2015, "Grid Voltage Synchronization for Distributed Generation Systems under Grid Fault Conditions", *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 51, No. 4, 3414-3425.

Meersman, B., De Kooning, J., Vandoor, T., Degroote, L., Renders, B., Vandeveld, L., "Overview of PLL Methods for Distributed Generation Units", *2010 45th International Universities Power Engineering Conference (IUPEC)*, Cardiff, Wales, 1-6, 31 August-3 September 2010.

Nagliero, A., Mastromauro, R. A., Liserre, N., Dell'Aquila, A., "Synchronization Techniques for Grid Connected Wind Turbines", *IEEE Annual Conference of Industrial Electronics 35th (IECON)*, Porto, Portugal, 4606-4613, 3-5 November 2009.

Nicastro, A., Nagliero, A., "Comparison and Evaluation of the PLL Techniques for the Design of the Grid-connected Inverter Systems", *IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, Bari, Italy, 3865-3870, 4-7 July 2010.

Rodriguez, P., Pou, J., Bergas, J., Candela, J. I., Burgos, R., Boroyevich, D., "Double Synchronous Reference Frame PLL for Power Converters Control", *IEEE 36th Power Electronics Specialists Conference (PESC)*, Recife, Brazil, 1415-1421, 16 June 2005.

Rodriguez, P., Teodorescu, R., Candela, I., Timbus, A. V., Liserre, M., Blaabjerg, F., "New Positive Sequence Voltage Detector for Grid Synchronization of Power Converters Under Faulty Grid Conditions", *IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC'06)*, 1-7, 18-22 June 2006a.

Rodriguez, P., Luna, A., Ciobotaru, M., Teodorescu, R., Blaabjerg, F., "Advanced Grid Synchronization System for Power Converters under Unbalanced and Distorted Operating Conditions", *32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics, IECON 2006*, Paris, France, 5173-5178, 6-10 November 2006b.

Rodriguez, P., Pou, J., Bergas, J., Candela, J. I., Burgos, R. P., Boroyevich, D., 2007, "Decoupled Double Synchronous Reference Frame PLL for Power Converters Control", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 22, No. 2, pp. 584-592.

Rodriguez, P., Luna, A., Ciobotaru, Candela, I., Teodorescu, R., Blaabjerg, F., "Grid Synchronization of Power Converters using Multiple Second Order Generalized Integrators", *34th IEEE Annual Conference of Industrial Electronics, IECON 2008*, Orlando, USA, 755-760, 10-13 November 2008.

Sevilmiş, F., Karaca, H., "Simulation of Three-phase Grid Interactive Inverter for Wind Energy Systems", *2015 IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering Conference Proceedings*, Rome, Italy, 1169-1174, 10-13 June 2015.

Sevilmiş, F., 2016, *Rüzgâr Enerji Sistemlerinin Şebekeye Senkronize Edilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Teodorescu, R., Blaabjerg, F., 2004, "Flexible Control of Small Wind Turbines with Grid Failure Detection Operating in Stand-Alone and Grid-Connected Mode" *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 19, No. 5, pp. 1323 – 1332.

Teodorescu, R., Liserre, M., Rodriguez, P., 2011, *Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems*, John Wiley & Sons, Ltd, Publication, United Kingdom.

Timbus, A., Teodorescu, R., Blaabjerg, F., Liserre, M., "Synchronization Methods for Three Phase Distributed Power Generation Systems. An Overview and Evaluation", *IEEE 36th Power Electronics Specialists Conference (PESC)*, Recife, Brazil, 2474-2481, 16 June 2005.

Xiong, F., Yue, W., Ming, L., Ke, W., Wanjun, L., "A Novel PLL for Grid Synchronization of Power Electronics Converters in Unbalanced and Variable-frequency Environment", *2010 2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems*, Hefei, China, 466-471, 16-18 June 2010.



TÜRKİYE'DE VE DÜNYADA ÇEVRE KORUMA HARCAMALARININ MUKAYESELİ DEĞERLENDİRMESİ

¹Büşra ÇİÇEKALAN, ²Hale ÖZGÜN, ³İzzet ÖZTÜRK

^{1,2,3}*İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE*

cicekalan@itu.edu.tr, ²ozgunha@itu.edu.tr, ³ozturkiz@itu.edu.tr

(Geliş/Received:14.08.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 02.04.2019)

ÖZ: Çevre koruma harcamaları; su ve atıksu hizmetleri ile atık hizmetleri başta olmak üzere çevresel hizmetler için yapılan cari ve yatırım harcamalarını kapsamaktadır. Bu çalışmada, 2008-2015 yılları arasında Türkiye'nin kamu ve özel sektördeki çevre koruma harcamaları analiz edilmiştir. Bu harcamaların toplam bugünkü değeri 2018 yılı esas alındığında ~200 milyar TL'dir. Harcamaların %67'sini cari, %33'ünü ise yatırım harcamaları oluşturmaktadır. Çevre koruma harcamalarının büyük bir kısmı (~%80) kamu sektörü tarafından gerçekleştirilmektedir. 2008-2015 yılları arasında Türkiye'deki çevre koruma harcamalarının gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH) içerisindeki oranı sırasıyla kamu sektörü için %0,99, %1,06, %0,93, %0,88, %0,92, %0,88 ve %1,00; Özel sektör için ise %0,10, %0,18, %0,18, %0,29, %0,31, %0,31, %0,31 ve %0,33'tür. Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde kamu ve özel sektör için bu oranların ortalamaları 2014 yılı için sırasıyla %0,8 ve %1,28 seviyelerinde iken, Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (The Organization for Economic Co-operation and Development-OECD) ülkelerinde kamu sektörü için ~%0,77'dir. 2014 yılında Türkiye'de toplam çevre koruma harcamaları için GSYİH'den ayrılan pay kamu sektörü için AB ve OECD ülkelerine göre daha yüksek olup, özel sektör için ise AB ülkelerine göre oldukça düşük seviyelerde kalmaktadır. Türkiye'deki mevcut çevresel hizmetlerin özellikle kırsal kesimlerde yetersiz olduğu görülmekte, kamu sektöründe yapılacak çevre koruma harcamalarının bu bölgeler üzerine yoğunlaşması gerektiği sonucuna varılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Atık hizmetleri, atıksu hizmetleri, su hizmetleri, Çevre koruma harcamaları, gayri safi yurtiçi hasıla, kamu sektörü, özel sektör.*

Comparative Evaluation of Environmental Protection Expenditures in Turkey and the World

ABSTRACT: Environmental protection expenditures involve current and investment expenditures for environmental services including particularly water, wastewater, waste services. In this study, these expenditures of public and private sectors were analyzed between 2008 and 2015 in Turkey. Total present value of these expenditures for 2018 is found to be ~200 billion TL. 67% of that amount belongs to current expenditures, while 33% of it is composed of investment expenditures. Biggest fraction of those expenditures (~80%) belongs to public sector. Share of environmental protection expenditures of public sector in gross domestic product (GDP) between 2008 and 2015 in Turkey is 0.99%, 1.06%, 0.93%, 0.88%, 0.88%, 0.92%, 0.88% and 1.00%, while that of private sector is 0.10%, 0.18%, 0.18%, 0.29%, 0.31%, 0.31%, 0.31% and 0.33%, respectively. For 2014, average value of share for public and private sectors in European Union (EU) is 0.8% and 1.28%, respectively, while that for public sector in Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) is ~0.77%. Based on the data for 2014, Turkey has lower share of environmental protection expenditures on GDP for private sector in comparison to EU, while this value in Turkey for public sector is higher in comparison to EU and OECD. It is concluded

that existing environmental protection expenditures for especially rural areas is inadequate in Turkey and thus, special attention should be given to environmental protection expenditures of public sector for these areas.

Key Words: *Waste services, wastewater services, water services, environmental protection expenditures, gross domestic product, public sector, private sector.*

GİRİŞ(INTRODUCTION)

Sanayi devrimi ile birlikte dünyada nüfus, üretim ve tüketim faaliyetlerinde önemli bir artış gözlenmiştir. Bu artış beraberinde pek çok soruna yol açmış olup, bu sorunların en önemlilerinden biri çevre kirlenmesi olmuştur. Günümüzde çevre kirlenmesinin önlenmesi için gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler tarafından uygulanan vergi, sübvansiyon ve teşvik gibi farklı finansal mekanizmalar bulunmaktadır (Yalçın ve Gök, 2015). Çevrenin korunmasında devlet vergi ve harcamalarıyla etkin bir rol oynarken, özel sektör de oldukça önemli katkılar sağlamaktadır.

Çevre koruma harcamaları, ülkelerin çevresel performansları ve ekonomik refah düzeyleri ile doğrudan ilişkili olan, çevresel değerlerin korunmasına yönelik tepki göstergeleridir (ÇŞB,2014). Çevre koruma harcamaları; cari ve yatırım harcamaları olmak üzere iki temel sınıfa ayrılmaktadır.Cari harcamalar,mevcut üretim kapasitesini kullanmak için gerekli olan mal ve hizmetlerin satın alınması için yapılan, üretimi doğrudan arttırıcı etkisi olmayan, faydaları kullanıldıkları yıl tükenen ve süreklilik arz eden harcamalar iken; yatırım harcamaları, her yıl tekrarlanmayan, mevcut üretim kapasitesini arttırmaya yönelik olan, üretkenliği olumlu etkileyen ve faydaları birden fazla yıla yayılan harcamalardır (GözeKaya ve diğ., 2015; KPSS Alan Dersleri, 2016).

Çevre koruma harcamalarının gayri safi yurtiçi hasıla (GSYİH) içerisindeki payı, çevre yönetiminin önemini ortaya koyan önemli bir göstergedir. AB-28 ülkelerinde kamu ve özel sektörün yaptığı çevre koruma harcamaları GSYİH içerisindeki oranı sırasıyla %0,67'si ve %1,11'sinekarşılık gelmektedir (Eurostat,2013). OECD (Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü -The Organization for Economic Co-operation and Development) ülkelerinde ise kamu sektörü için bu oran yaklaşık %0,76'dır (OECD,2018).

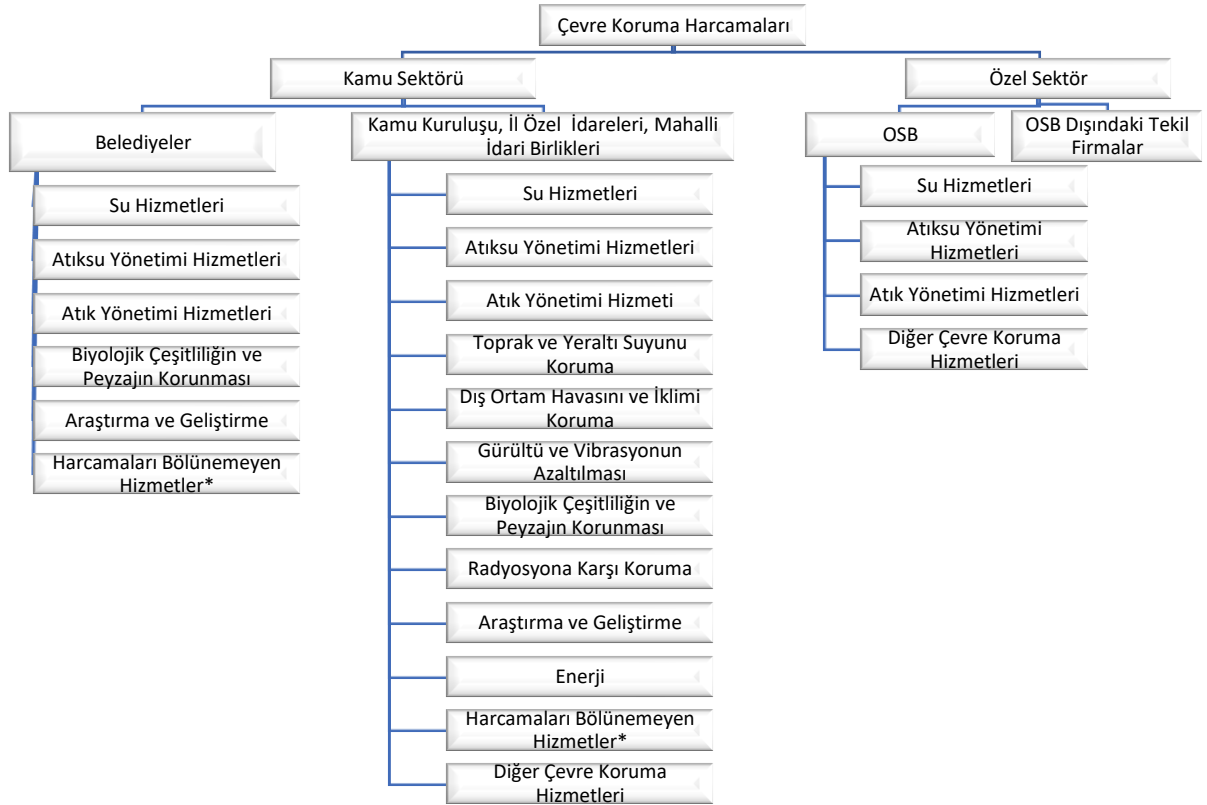
Türkiye'de çevre koruma harcamalarının büyük bir kısmı mevzuatta yer alan sorumlulukların gerçekleştirilmesi amacıyla yerel yönetimler tarafından gerçekleştirilmektedir. Çevre koruma harcamaları genellikle belediyeler tarafından üstlenildiğinden, çevre yönetim politikalarının oluşturulmasında belediyeler önemli bir rol oynamaktadır (Kahraman, 2017). Çevre koruma harcamaları; su hizmetleri, atıksu yönetimi, atık yönetimi ve diğer harcamalardan (toprak/yeraltı suyunu koruması, biyolojik çeşitliliğin ve peyzajın korunması, araştırma ve geliştirme, enerji vb.) oluşmaktadır. TUİK verileri incelendiğinde; en yüksek olan çevre koruma harcaması %38,7 ile atık hizmetlerine aittir (TUİK, 2016a). Özel sektörde de çevre koruma harcamaları, su hizmetleri, atıksu yönetimi hizmetleri, atık yönetimi hizmetleri ve diğer hizmetlerden oluşmaktadır. Özel sektördeki çevre koruma harcamalarının çoğu da Organize Sanayi Bölgeleri (OSB) tarafından yapılmaktadır. OSB'ler tarafından yapılan çevre koruma harcamalarının çevresel hizmetlere göre dağılımında en yüksek pay %59 ile atıksu hizmetine aittir (TUİK, 2017a).

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'deki çevre koruma harcamalarının kamu ve özel sektördeki durumunun ve bu harcamaların GSYİH içerisindeki paylarının yıllara göre değişiminin incelenmesidir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ile Avrupa Birliği ülkeleri ve Türkiye'de çevre koruma harcamaları için GSYİH'den ayrılan paylar karşılaştırılacak, Türkiye'deki çevre koruma harcamalarının boyutu ortaya konacaktır.

MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Analizlerde İncelenen Veriler(Analyzed Data)

Çalışma kapsamında; çevre koruma harcamaları kamu ve özel sektör harcamaları olmak üzere iki ayrı kategoride sınıflandırılmıştır (Şekil 1). Kamu sektöründeki çevre koruma harcamaları; kamu kuruluşları, İl Özel İdareleri ve Mahalli İdare Birlikleri ile belediyelerin harcamalarını içermektedir. Özel sektördeki çevre koruma harcamaları ise OSB ve OSB dışındaki tekil firmaların harcamalarını kapsamaktadır.



* Birden fazla çevresel konuyu içeren ve harcamaların konulara göre ayrıştırılmadığı faaliyetler

Şekil 1. Kamu ve özel sektördeki çevre koruma harcamaları

Figure 1. Environmental protection expenditures in public and private sector

Çalışma Metodolojisi(Study Methodology)

Kamu ve özel sektördeki çevre koruma harcamaları Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)'ndan 2008-2015 yılları arası için temin edilerek analiz edilmiştir. 2008-2015 dönemi için kamu ve özel sektör toplam çevre koruma harcamalarının net bugünkü değeri 2008-2017 yılları arasındaki ortalama faiz oranı (%9,46) (TÜİK, 2017b) kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamada 2008-2015 yılları arasında yapılan tekil harcamalar 2018 yılına ötelenmiştir. 2008-2015 yılları arasında yapılmış P TL olan bir meblağın %i faiz oranıyla N. yılın sonunda elde edeceği değeri hesaplamada aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$F = P (1 + i)^N$$

(Öztürk ve diğ., 2016)

i = Faiz oranı

N = Analiz süresi

P = Bir nakit akış diyagramında, serinin veya seri içerisindeki nakit akışlarının değeri

F = Paranın (P değerinin) N yıl sonra sahip olacağı değer

Ayrıca, su hizmetleri, atıksu yönetimi hizmetleri, atık yönetimi hizmetleri ve diğer hizmetler için bu dönem aralığında yapılan cari ve yatırım harcamalarının net bugünkü değeri de hesaplanmıştır.

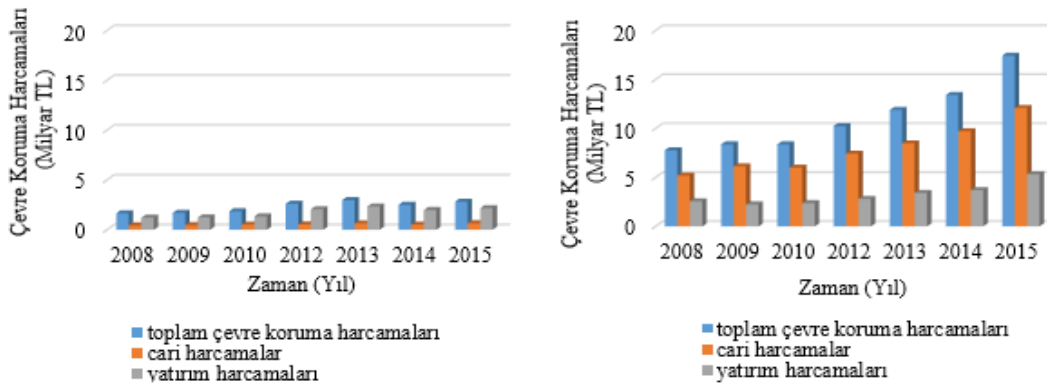
Türkiye'deki çevre koruma harcamalarını AB ve OECD ülkeleri ile karşılaştırmak amacıyla bu harcamaların GSYİH içerisindeki oranı hesaplanmıştır. Türkiye GSYİH değeri OECD (2016) verilerinden temin edilmiştir.

BULGULAR (RESULTS)

Türkiye'deki Çevre Koruma Harcamaları (Environmental Protection Expenditures in Turkey)

Kamu Sektöründeki Çevre Koruma Harcamaları (Environmental Protection Expenditures in Public Sector)

Kamu Kuruluşları, İl Özel İdareleri ve Mahalli İdari Birlikleri ile belediyelerin çevre koruma harcamalarının yıllara göre değişimi Şekil 2'de verilmektedir. Şekil 2 incelendiğinde; belediyeler tarafından yapılan toplam çevre koruma harcamalarının; kamu kuruluşları, İl Özel İdareleri ve Mahalli İdari Birlikleri tarafından yapılan harcamaların yaklaşık 4-5 katı seviyelerinde olduğu görülmektedir. Kamu kuruluşları, İl Özel İdareleri ve Mahalli İdari Birlikleri'nin toplam çevre koruma harcamalarının en yüksek olduğu yıl 2013 yılı olup, bu yıldaki harcamaların toplamı 2985 milyon TL'dir. Buna karşın; belediyelerin toplam çevre koruma harcamalarının en düşük olduğu 2008 yılındaki toplam harcama 7763 milyon TL'dir. Kamu kuruluşları, İl Özel İdareleri, Mahalli İdari Birlikleri'nde yıllara bağlı çevre koruma harcamalarındaki değişim değişken bir yapıya sahip iken, belediyelerde doğrusal bir artış eğilimi görülmektedir. Kamu kuruluşları, İl Özel İdareleri ve Mahalli İdari Birlikleri'nde, 2010 yılında cari ve yatırım harcamaları arasındaki fark en düşük seviyelerdedir. Belediyelerde ise cari ve yatırım harcamalarının birbirine en fazla yaklaştığı yıl 2008 yılı olup, bu yılda cari harcamaların oranı %67 iken, yatırım harcamalarının oranı %33'tür (TÜİK, 2017a).



(a)

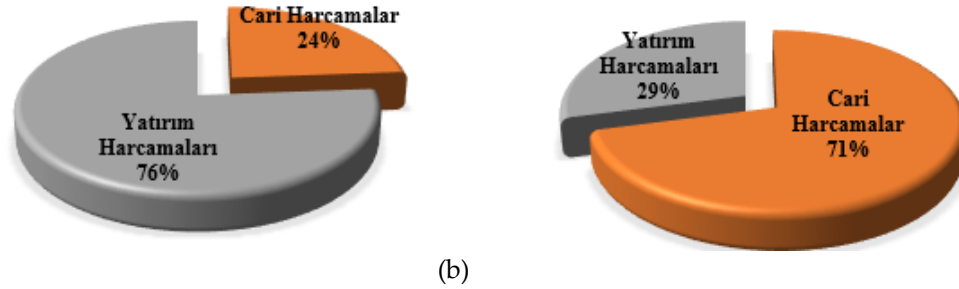
(b)

Şekil 2. Kamu sektöründeki çevre koruma harcamalarının yıllara göre değişimi (2008-2015):

(a) Kamu Kuruluşları, İl Özel İdareleri ve Mahalli İdari Birlikler; (b) Belediyeler

Figure 2. Change of environmental protection expenditures by years in public sector (2008-2015); (a) Public Institutions, Provincial Special Administrations and Local Administrative Unions; (b) Municipalities

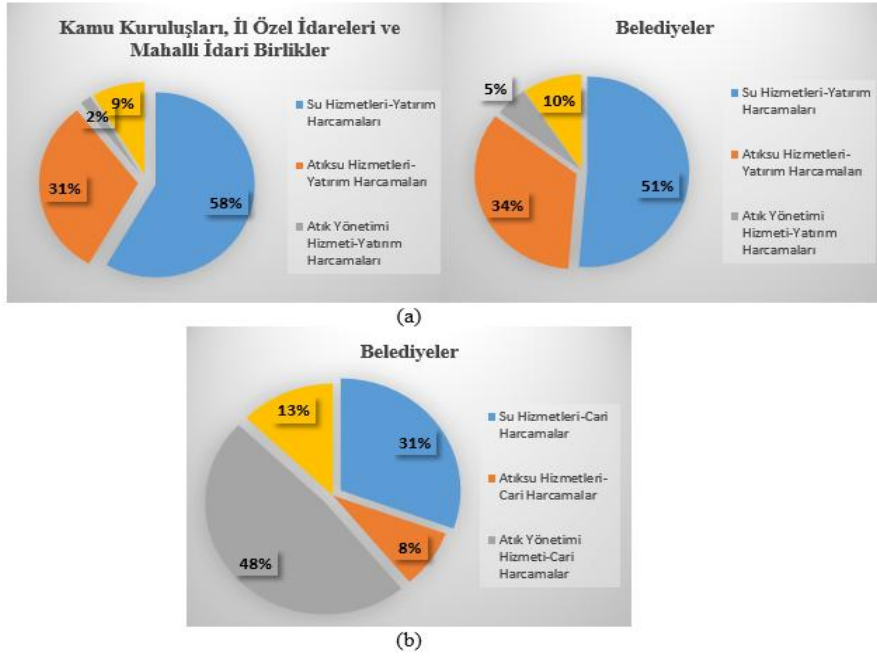
Karşılaştırmanın aynı yıl esas alınacak şekilde gerçekleştirilebilmesi için; 2008-2015 yılları arasındaki bütün yıllık harcamalar 2018 yılına ötelenmiştir. 2018 yılına ötelenmiş toplam çevre koruma harcamaları kamu kuruluşları, İl Özel İdareleri ve Mahalli İdari Birlikleri’nde 28237milyon TL, Belediyelerde ise 133765milyon TL’dir. 2018 yılına ötelenmiş çevre koruma harcama dağılımları incelendiğinde; belediye genelinde cari harcama oranının %71, kamu kuruluşları, İl Özel İdareleri ve Mahalli İdari Birlikleri’nde ise yatırım harcamalarına ayrılan oranın %76 olduğu görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Kamu sektöründe yatırım ve cari harcamaların dağılımı (2018): (a)Kamu Kuruluşları, İl Özel İdareleri ve Mahalli İdari Birlikleri; (b)Belediyeler

Figure 3. Distribution of investment and current expenditures in the public sector (2018); (a) Public Institutions, Provincial Special Administrations and Local Administrative Unions; (b) Municipalities

2018 yılına ötelenmiş veriler esas alınarak kamu sektöründe çevresel hizmetlerin dağılımı belirlenmiştir (Şekil 4). Şekil 4(a) incelendiğinde; kamu kuruluşları, İl Özel İdareleri ve Mahalli İdari Birlikleri ile belediyelerde yatırım harcamalarının çevresel hizmetlere göre dağılımın benzer olduğu ve dağılım oranlarının sırasıyla su hizmetleri, atıksu hizmetleri, diğer harcamalar ve atık yönetimi hizmetine ait olduğu görülmektedir. TÜİK’te, kamu kuruluşları, İl Özel İdareleri ve Mahalli İdari Birlikleri için çevresel hizmetlerin alt bileşenleri ile ilgili harcamalar sadece yatırım harcamaları için verilmiş olup, cari harcamalara ait veriler bulunmamaktadır. Bu nedenle; cari yatırım değerlerinin çevresel hizmetlere göre dağılımı sadece belediyeler için hesaplanabilmektedir (Şekil 4(b)). Belediyelerin cari yatırımlarının alt bileşenlere göre dağılımı incelendiğinde, en yüksek payın %48 ile atık yönetimi hizmetine ait olduğu görülmektedir. Harcamalarda en düşük pay ise %8 ile atıksu hizmetine aittir.

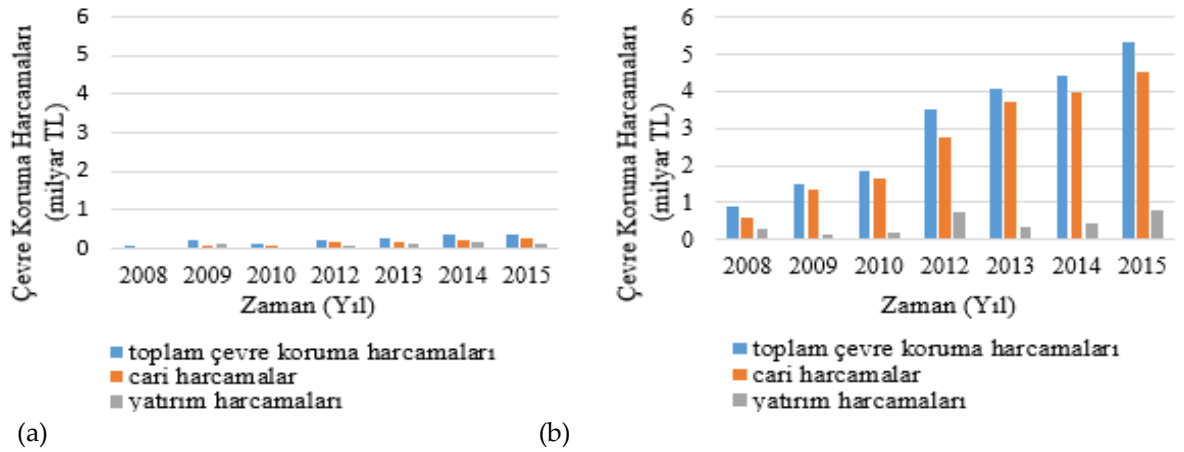


Şekil 4.Kamu sektöründe çevre koruma harcamalarının çevresel hizmetlere göre dağılımı: (a) Yatırım harcamaları; (b) Cari harcamalar

Figure 4.Distribution of environmental protection expenditures according to Environmental services in public sector: (a) Investment expenditures; (b) Current expenditures

Özel Sektördeki Çevre Koruma Harcamaları (Environmental Protection Expenditures in Private Sector)

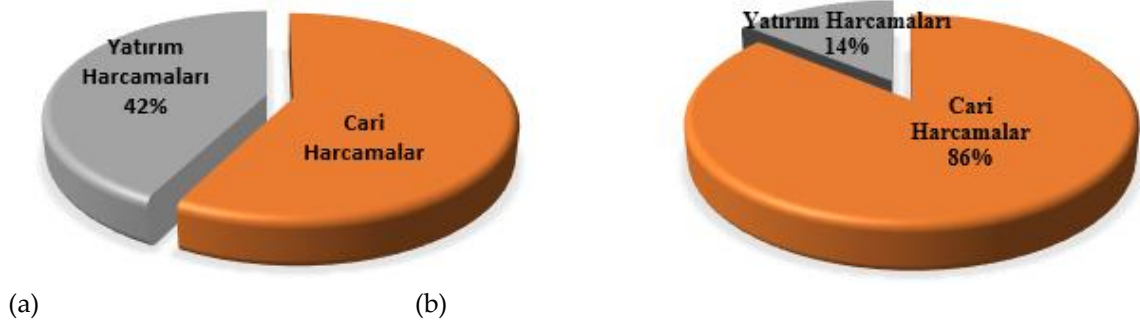
OSB ve OSB dışındaki tekil firmaların çevre koruma harcamalarının 2008-2015 yılları arasındaki değişimi Şekil 5'te verilmektedir. Şekil 5 incelendiğinde; OSB dışındaki tekil firmaların çevre koruma harcamalarının OSB'ler tarafından yapılan harcamalara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. 2015 yılında OSB dışındaki tekil firmalarda yapılan çevre koruma harcamaları OSB'lerdeki toplam çevre koruma harcamalarının yaklaşık 14 katıdır. 2010 yılından itibaren özel sektördeki çevre koruma harcamalarının büyük bir bölümü cari harcamalardan oluşmaktadır. 2008-2015 döneminde OSB'lerdeki cari harcamaların toplam harcama içerisindeki payları sırasıyla %47, %25, %62, %73, %64, %57 ve %66 olurken, OSB dışındaki tekil firmalarda bu oranlar sırasıyla %70, %90, %91, %78, %91, %90 ve %85'tir (TÜİK, 2017a).



Şekil 5. Özel sektördeki çevre koruma harcamalarının yıllara göre değişimi (2008-2015):(a)OSB; (b)OSB dışındaki tekil firmalar

Figure 5. Change of environmental protection expenditures by years in private sector (2008-2015); (a) Organized industrial site; (b) Individual companies apart from Organized industrial site

2018 yılına ötelenmiş çevre koruma harcamaları OSB ve OSB dışındaki tekil firmalarda sırasıyla 2790 milyon TL ve 35100milyon TL’dir. Özel sektörde çevre koruma harcamalarının OSB’lerde %58’i ve OSB dışındaki tekil firmalarda ise %86’sı cari harcamalardan oluşmaktadır (Şekil 6). OSB’lerde yatırım harcamaları ile cari harcamaların dağılımı birbirine yakın iken, OSB dışındaki tekil firmalarda cari harcamalar yatırım harcamalarının yaklaşık 6 katıdır.

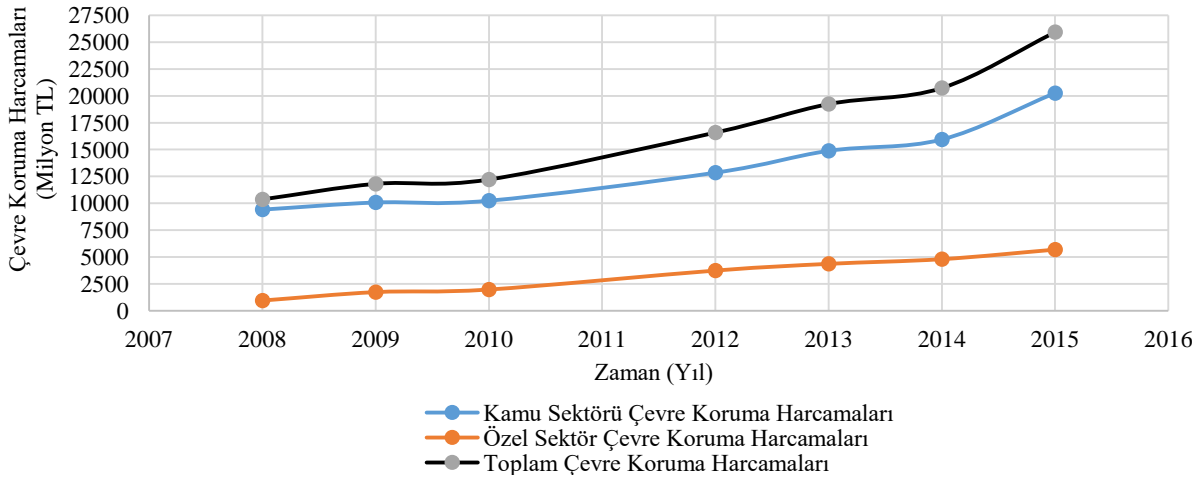


Şekil 6. Özel sektörde yatırım ve cari harcamaların dağılımı (2018): (a) OSB; (b) OSB dışındaki tekil firmalar

Figure 6. Distribution of investment and current expenditures in the public sector (2018); (a) Organized industrial site; (b) Individual companies apart from Organized industrial site

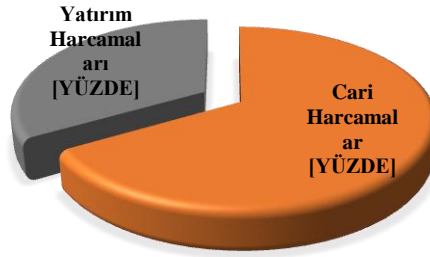
Türkiye’nin Çevre Koruma Harcamaları Açısından Diğer Ülkelerle Karşılaştırılması (Comparison with other countries in terms of Turkey’s Environmental Protection Expenditures)

2008-2015 yılları arasında kamu ve özel sektörünün çevre koruma harcamalarının değişimi Şekil 7’de verilmektedir. Şekil 7 incelendiğinde; kamu sektörü çevre koruma harcamalarının özel sektör çevre koruma harcamalarından oldukça yüksek seviyede olduğu görülmektedir. 2015 yılında toplam çevre koruma harcamaları kamu sektöründe 20249 milyon TL iken, özel sektörde 5686 milyon TL’dir.



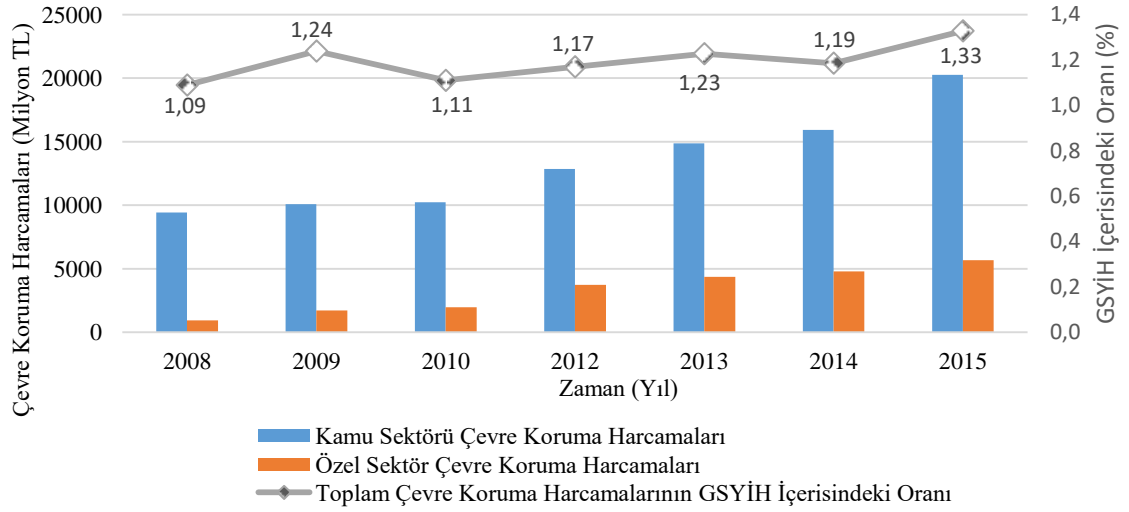
Şekil 7. 2008-2015 yılları arasında kamu ve özel sektördeki çevre koruma harcamalarının değişimi
Figure 7. Change of public and private sector environmental protection expenditures between 2008 and 2015)

2018 yılına ötelenmiş çevre koruma harcamaları, kamu ve özel sektör toplandığında yaklaşık 200 milyar TL olup, bu değer %67'si cari harcamalar, %33'ü ise yatırım harcamalarından oluşmaktadır (Şekil 8) (TÜİK, 2017a).



Şekil 8. Kamu ve özel sektördeki toplam çevre koruma harcamalarının dağılımı (2018)
Figure 8. Distribution of total environmental Protection expenditures in public and private sector (2018)

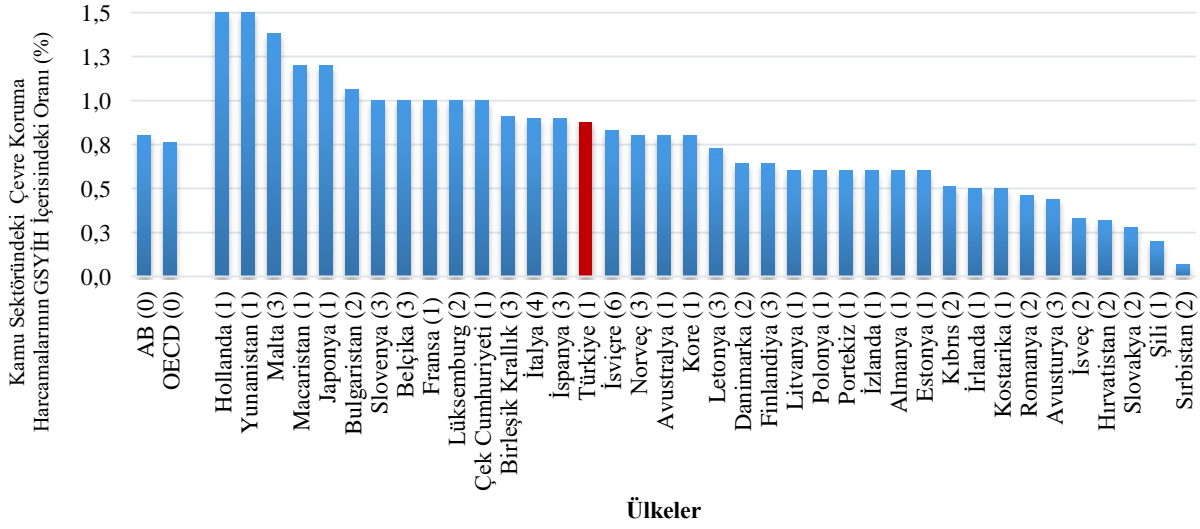
Türkiye'deki çevre koruma harcama büyüklüklerinin uluslararası örneklerle karşılaştırılabilmesi için Türkiye'de 2008-2015 yılları arasında gerçekleşen çevre koruma harcamalarının GSYİH içerisindeki oranları hesaplanmıştır (Şekil 9). Kamu ve özel sektörde 2008-2015 yılları arasında gerçekleşen çevre koruma harcamalarının GSYİH içerisindeki oranları sırasıyla %1,09, %1,24, %1,11, %1,17, %1,23, %1,19 ve %1,33'tür. Çevre koruma harcamalarının büyük bir bölümünü kamu sektörü harcamaları oluşturmakta olup, sadece kamu sektöründeki çevre koruma harcamalarının GSYİH içerisindeki oranları sırasıyla, %0,99, %1,06, %0,93, %0,88, %0,92, %0,88 ve %1,00'dir.



Şekil 9. Türkiye’de kamu ve özel sektördeki çevre koruma harcamalarının GSYİH içerisindeki oranları (2008-2015)

Figure 9. The proportion of environmental protection expenditure in GDP in the public and private sectors in Turkey)

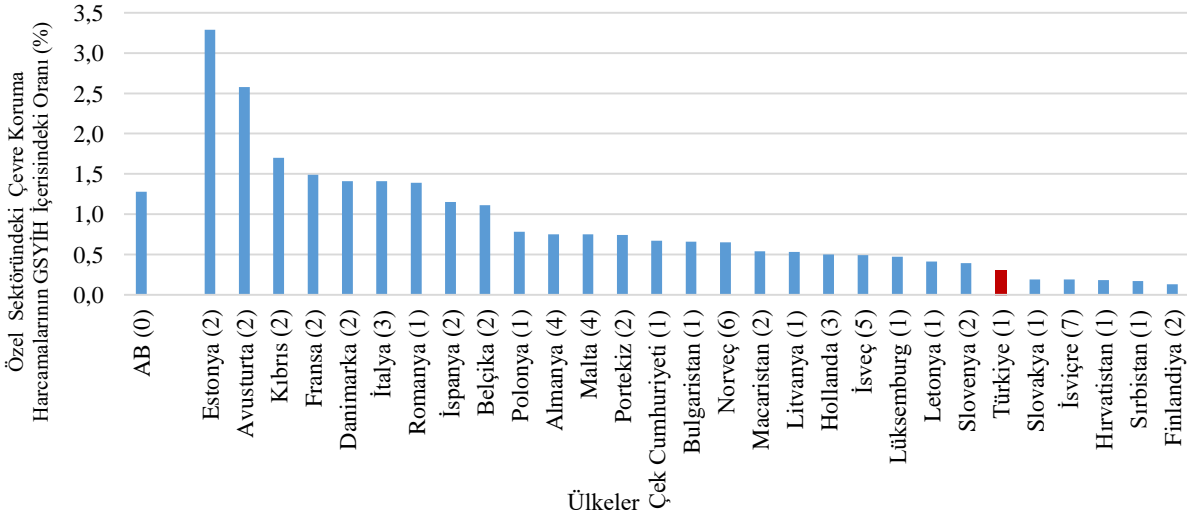
Şekil 10’da Türkiye, AB ve OECD ülkeleri için kamu sektöründeki çevre koruma harcamalarının GSYİH içerisindeki oranları verilmektedir. Türkiye’de 2014 yılı için kamu sektöründeki çevre koruma harcamalarının GSYİH içerisindeki oranı (%0,88), AB ve OECD ülkelerinin ortalama değerlerine (AB: %0,80; OECD: %0,77) göre yüksek seviyelerde kalmaktadır. 2014 yılı için 28 AB ülkesinden yüksek orana sahip ülke %1,50 ile Hollanda ve Yunanistan olup, en düşük orana sahip ülke ise %0,50 ile İrlanda’dır. Özel sektör çevre koruma harcamaları incelendiğinde; İrlanda, Yunanistan ve Birleşik Krallık dışındaki AB ülkelerindeki GSYİH içerisindeki özel sektör çevre koruma harcamalarının oranı 2014 yılı için ortalama %1,28 olup, Türkiye’de bu oran yaklaşık %0,31 seviyelerindedir (Şekil 11). Bu sonuçlar, Türkiye’de kamu sektöründeki çevre koruma harcamalarının GSYİH içerisindeki oranının AB ve OECD ülkelerine göre yüksek kaldığını, özel sektörde ise bu oranın AB ülkelerine göre oldukça düşük seviyelerde kaldığını göstermektedir. Türkiye’de özel sektörde yapılan çevre yatırımlarının daha önceki yıllarda tamamlanmış olması, özel sektördeki bu oranın AB ülkelerine göre oldukça düşük seviyelerde kalmasına neden olmuştur.



(0) AB, OECDülkelerinin tahminiortalaması; (1) 2014; (2) 2013; (3) 2012; (4) 2011; (5) 2010; (6) 2003

Şekil 10. Türkiye, AB (Eurostat, 2018a; Eurostat, 2018b) ve OECD ülkelerinde (OECD, 2018) kamu sektöründeki çevre koruma harcamalarının GSYİH içerisindeki oranı

Figure 10. The proportion of environmental protection expenditure in GDP in the public sectors in Turkey, EU (Eurostat, 2018a; Eurostat, 2018b) and OECD(OECD, 2018) Countries)



(0) AB ülkelerinin tahmini ortalaması; (1) 2013; (2) 2012; (3) 2011; (4) 2010; (5) 2006; (6) 2005; (7) 2003

Şekil 11. Türkiye ve AB ülkelerinde (Eurostat, 2013; Eurostat, 2018b; Eurostat, 2018c) özel sektördeki çevre koruma harcamalarının GSYİH içerisindeki oranı

Figure 11. The proportion of environmental protection expenditure in GDP in the private sectors in Turkey and EU (Eurostat, 2018a; Eurostat, 2018b))

TÜRKİYE'DE ÇEVRESEL HİZMETLERİN DURUMU VE YATIRIM İHTİYAÇLARI(SITUATION OF ENVIRONMENTAL SERVICES IN TURKEY AND INVESTMENT REQUIREMENT)

Türkiye'de su kaynaklarından çekilen toplam suyun %33,7'sini belediyeler, %49,7'sini termik santraller, %12,2'sini imalat sanayi işyerleri, %2,2'sini köyler, %0,9'unu OSB'ler ve %1,3'ünü maden işletmeleri kullanmaktadır. İçme ve kullanma suyu şebekesi ile nüfusun %98'ine, belediye nüfusunun ise %98,2'sine hizmet verilmektedir. İçme suyu temini köy nüfusunun %99,2'sine sağlanmaktadır (TUİK, 2016b).

Türkiye’de 258 adet içme suyu arıtma tesisi ile toplam ülke nüfusunun %47’sine hizmet verilmekte olup, nüfusun %50’si için yeni içme ve kullanma suyu arıtma tesisi yatırımlarına gerek duyulmaktadır (IWE, 2018).

Türkiye’de atıksu toplama hizmeti ise nüfusun %88’ine verilmektedir. Kanalizasyon şebekesi ile belediye nüfusunun %90’ına, köy nüfusunun %54’üne hizmet sağlanmaktadır. Belediye nüfusunun %75’i, köy nüfusunun ise %8’ine atıksu arıtma hizmeti verilmektedir (TUİK, 2016b).

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2023 yılı Atıksu Arıtma Eylem Planı’na göre; 653 olan (2015) atıksu arıtma tesisi sayısının 2023 yılına kadar 2154’e çıkarılması planlanmaktadır. Bu arıtma tesislerinden 83’ünün yenilenmesi, 1418’inin ise yeniden yapılması öngörülmektedir (IWE,2018).

Belediye nüfusunun %99’unda atık toplama hizmeti verilmekte olup, toplanan atığın %61,2’si düzenli depolama tesislerine, %28,8’i belediye çöplüklerine ve %9,8’i geri kazanım tesislerine gönderilirken, %0,2’si açıkta yakarak, gömerek ve araziye dökülerek bertaraf edilmektedir (TUİK, 2016b).

Ulusal Atık Yönetimi Eylem Planı’na göre; 2023 yılı için tüm atık türleri için geri kazanım, ön işlem, ara depolama ve bertaraf yöntemleri bölgesel olarak planlanmıştır. Teknoloji seçimine bağlı olarak kamu yatırımı ihtiyacının yaklaşık 2 ile 3 milyar € arasında olacağı öngörülmektedir. Diğer belediyelere göre gelirleri nispeten daha yüksek olan Büyükşehir belediyelerinin bulunduğu alt bölgeler için yatırım maliyeti yüksek olan termal ve biyolojik yöntemler planlanırken, düzenli depolama sahası olmayan il Belediyelerinin yer aldığı alt bölgeler için sadece düzenli depolama sahaları planlanmaktadır. Marmara 1.Bölge, Ege 1. Bölge ve İç Anadolu 1. Bölgesi termal tesis ve biyolojik yöntem yatırımlarının yüksek kapasitede planlandığı bölgelerdir (ÇŞB, 2018).

Türkiye için gerçekleştirilmesi planlanan AB Entegre Çevre Uyum Stratejilerine göre (2007-2023) (IWE,2018);

- 2023 yılına kadar Türkiye’nin çevre hizmetleri yatırımının 58,5 Milyar Avro’yu aşması,
- 2023 yılına kadar su ve atıksu hizmetleri için yatırım ihtiyacının 33,9 Milyar Avro olması,
- Bu yatırımların %80’nin kamu, %20’sinin özel sektör tarafından yapılması öngörülmektedir.

SONUÇLAR VE GENEL DEĞERLENDİRME (CONCLUSIONS AND DISCUSSIONS)

Türkiye’deki 2008-2015 yılları arasında kamu sektöründeki çevre koruma harcamaları değerlendirildiğinde, kamu kuruluşları, İl Özel İdareleri ve Mahalli İdari Birlikleri tarafından yapılan harcamaların yıllara bağlı dalgalı bir eğilim gösterdiği, buna karşın belediyeler tarafından yapılan harcamaların doğrusal bir artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Kamu kuruluşları, İl Özel İdareleri ve Mahalli İdari Birlikleri ile belediyeler tarafından yapılan çevre koruma harcamaları 2008-2015 dönemi için karşılaştırıldığında; belediye harcamaları daha yüksek seviyelerde kalmaktadır. 2018 yılına ötelenmiş verilere göre, kamu kuruluşları, İl Özel İdareleri ve Mahalli İdari Birlikleri ile belediyelerin çevresel hizmetlere göre yatırım harcamalarındaki dağılım benzerlik göstermekte olup, dağılım büyükten küçüğe sırasıyla; su hizmetleri, atıksu hizmetleri, diğer harcamalar ve atık yönetimi hizmeti şeklindedir.

Belediyelerin çevresel hizmetlere göre cari yatırımları incelendiğinde, en yüksek pay atık yönetimi hizmetine (%48) ve en düşük pay ise atıksu hizmetine (%8) aittir. Özel sektördeki OSB ve OSB dışındaki tekil firmaların çevre koruma harcamaları incelendiğinde, OSB dışındaki tekil firmalar tarafından yapılan toplam çevre koruma harcamalarının OSB’lere göre daha yüksek, ortalama 12-14 katı, olduğu görülmektedir. Özel sektördeki çevre koruma harcamalarının daha çok cari yatırım üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Kamu ve özel sektörde yapılan toplam çevre koruma harcamasının 2018 yılı değeri yaklaşık 200 milyar TL olup, bu değerinin %67’sini cari harcamalar, %33’ünü ise yatırım harcamaları oluşturmaktadır.

2014 yılındaki veriler incelendiğinde; Türkiye’de çevre koruma harcamalarının GSYİH içerisindeki payının, kamu sektöründe AB ülkelerinin ve OECD ülkelerinin ortalamasına göre yüksek olduğu, özel sektörde ise AB ülkelerindeki ortalama değerden oldukça düşük seviyelerde kaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Kamu ve özel sektör harcamaları birlikte değerlendirildiğinde; Türkiye’deki toplam çevre

koruma harcamalarının GSYİH içerisindeki oranının AB ülkelerinin ortalama oranına göre oldukça düşük seviyelerde kaldığı görülmektedir.

Türkiye'deki mevcut çevresel hizmetlerin durumu incelendiğinde; özellikle su ve atıksu yönetimi ile ilgili kırsal kesimlerde ciddi bir ihtiyacın söz konusu olduğu görülmekte, kamu sektöründe yapılacak çevre koruma harcamalarının bu bölgelere yoğunlaşması beklenmektedir. Özel sektörde ise çoğu OSB'lerin kendi arıtma tesislerine sahip olmaları nedeniyle yapılacak çevre koruma harcamalarının kısıtlı kalacağı öngörülmektedir. Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı, Atıksu Arıtma Eylem Planı ve AB Entegre Çevre Uyum Stratejileri incelendiğinde; çevre yatırımlarının özellikle su, atıksu ve atık yönetimi üzerine yoğunlaşacağı ve kırsal kesimdeki mevcut çevresel hizmetlerin (özellikle atıksu hizmetleri) yetersiz olması nedeniyle bu bölgelere yapılacak çevre koruma harcamalarında kamu sektörünün önemli bir paya sahip olacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR(REFERENCES)

- ÇŞB, 2014,Çevresel Göstergeler-2014, T.C. Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin Ve Denetim Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri Ve Bilgi Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye.
- ÇŞB, 2018, Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı 2023, TC. Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- Eurostat, 2013, Environmental Protection Expenditure Statistics,http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Archive:Environmental_protection_expenditure, ziyaret tarihi: 18 Temmuz 2018.
- Eurostat, 2018a, Environmental Protection Expenditure Statistics, http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Evolutionof_total_general_government_expenditure,_EU-28,_2002-2016,_%25_of_GDPand_%25_of_total_expenditure.png, ziyaret tarihi: 20 Temmuz 2018.
- Eurostat, 2018b, Environmental Protection Expenditure Statistics, <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>, ziyaret tarihi: 20 Temmuz 2018.
- Eurostat, 2018c, Environmental Protection Expenditure Statistics, http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=File:Environmental_protection_expenditure_accounts_YB2018_V3.xlsx, ziyaret tarihi: 20 Temmuz 2018.
- Göze Kaya, D., Durgun Kaygısız, A., Altuntepe, N., 2015, "Türkiye'de Kamu Harcamalarının Toplam İstihdama Etkisi Üzerine Bir Değerlendirme", Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt. 17, Sayı.1, ss. 83-96.
- IWE, 2018, IWE Istanbul Water Expo 2018, <http://istanbulwaterexpo.com/Katilimci/neden-turkiye-1>, ziyaret tarihi: 25 Temmuz 2018.
- Kahraman, A.C., 2017, "Çevre Yönetiminde Sorumlulukların Dağılımı ve Ekonomik Araçların Önemi", Şehir & Toplum, Cilt. 7, ss. 75-95.
- KPSS Alan Dersleri, 2016, <https://www.kpssaladersleri.com/2016/12/kamu-harcamalarinin-siniflandirilmesi.html>, ziyaret tarihi: 16 Haziran 2018.
- OECD, 2016, "Türkiye Gayri Safi Yurtiçi Hasıla, 1998 – 2015".
- OECD, 2018, The Organisation for Economic Co-operation and Development, <https://data.oecd.org/gga/general-government-spending.htm>, ziyaret tarihi: 16 Temmuz 2018.
- Öztürk, İ., Kınacı, C., Ateş-Genceli, E., Özgün, H., Cüceloğlu, Özabalı-Sabuncugil A.,2016, Çevre Ekonomisi Ve Tam Maliyet Esaslı Tarife Hesabı (El Kitabı), Türkiye Belediyeler Birliği, Ankara, Türkiye.
- TÜİK, 2016a, TÜİK, Çevresel İstihdam, Gelir ve Harcama İstatistikleri-2015, Basın Odası Haberleri, Sayı: 118/2016.

- TUİK, 2016b, İstatistiklerle Çevre, 2016, Haber Bülteni, Sayı: 27685, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=27685>, ziyaret tarihi: 20 Mayıs 2018.
- TUİK, 2017a, Çevresel Harcama İstatistikleri Veritabanı, http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019, ziyaret tarihi: 20 Mayıs 2018.
- TUİK, 2017b, Tüketici Fiyat Endeksi (2003=100) Bir Önceki Yılın Aynı Ayına Göre Değişim (Yıllık Değişim) (%).
- Yalçın, Z., Gök, M., 2015, “Avrupa Birliği ve Türkiye’de Kamu ve Çevre Koruma Harcamalarının Analizi”, *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, Cilt. 11, Sayı. 25, ss. 65-89.

NAFTALİN-BAĞLI MAKROHALKALI KOMPLEKSLERİN SENTEZİ VE SPEKTROSKOPİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

¹Aslıhan YILMAZ OBALI

¹Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, 42075, Kampüs, Konya, TÜRKİYE

¹aslihan.yilmaz@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 07.02.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 19.04.2019)

ÖZ: Naftalin-bağlı makrohalkalı ligant (E)-N-(naftalin-9-ilmetilen)-2-(1,4,7,10-tetraazabisiklo[8.2.2]tetradekan-4-il)-etanamin (**4**) ve Cu(II), Ni (II), Zn (II) komplekslerinin sentez ve karakterizasyonları yapılmıştır. Schiff bazı kondenzasyon reaksiyonuyla elde edilen (E)-N-(naftalin-9-ilmetilen)-2-bromoetanamin (**2**) molekülü ve glioksal-köprülü tetraaza molekülünün reaksiyona tabi tutulmasıyla monokuaterner amonyum tuzu (**3**) elde edilmiştir. Daha sonra indirgenme reaksiyonu ile (E)-N-(naftalin-9-ilmetilen)-2-(1,4,7,10-tetraazabisiklo[8.2.2]tetradekan-4-il)-etanamin (**4**) makrohalkalı ligantın sentezi tamamlanmıştır. Geçiş metal iyonlarına karşı seçici duyarlılığa sahip olması için konformasyonel olarak kısıtlandırılmış olan bu makrohalkalı liganta (1,4,7,10-tetraazacyclododekan) floresans özellikteki naftalin bağlanmıştır. Bu makrohalkalı ligantın ve komplekslerinin floresans özellikleri araştırılmıştır. Bulunan sonuçlara göre bu ligantın Zn(II) iyonlarına karşı seçici özellikte olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Tetraaza, naftalin, floresans, metal, kompleks.

Synthesis of Naphthalene-Bonded Macrocyclic Complexes and Investigation of Spectroscopic Behaviors

ABSTRACT: Synthesis and characterizations of naphthalene-bonded macrocyclic ligand (E)-N-(naphthalene-9-ylmethylene)-2-(1,4,7,10-tetraazabicyclo[8.2.2]tetradecan-4-yl)-ethanamine (**4**) and Cu(II), Ni (II), Zn (II) complexes were performed. By the reaction of (E)-N-(naphthalene-9-ylmethylene)-2-bromoethylamine (**2**), which was obtained by the Schiff base condensation reaction, and the glyoxal-bridged tetraaza molecule, the monoquaternary ammonium salt (**3**) was obtained. The synthesis of (E)-N-(naphthalene-9-ylmethylene)-2-(1,4,7,10-tetraazabicyclo[8.2.2]tetradecan-4-yl)-ethanamine (**4**) macrocyclic ligand was then completed by the reduction reaction. Fluorescence naphthalene group was bonded to this conformationally constrained macrocyclic ligand (1,4,7,10-tetraazacyclododecane) because of getting selectivity towards transition metal ions. The fluorescence properties of this macrocyclic ligand and its complexes were investigated. According to the results, it was found that this ligand was selective towards Zn (II) ions.

Keywords: Tetraaza, naphthalene, fluorescence, metal, complex.

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Biyolojik sistemler ve çevre bilimi araştırmalarında metal katyonlarının tespiti için floresan özellikli makrohalkalı ligantların tasarımı büyük önem taşımaktadır. Makrohalkalı ligantlar, halkalı yapıları ve

yapılarındaki elektron verici atomları ile küçük metal iyonlarını kuvvetli şelatlama etkisine sahiptirler. (Amorim, 1991, Aoki, 2005, Aoki 2004, Koike 1996). 1,4,7,10-tetraazasiklododekan bileşiği de en yaygın çalışılan makrohalkalı ligantlardan birisidir ve birçok küçük geçiş metali katyonuyla kuvvetli bağ yapar (Aoki, 2008, Shiraishi, 2008).

Makrohalkalı ligantın sentezinin ilk basamağında sentezlenen floresan özellikli naftalin-bağlı molekül bir Schiff bazı kondenzasyon reaksiyonu ile sentezlenmiştir. Schiff bazları biyolojik sistemler için oldukça önemli bileşiklerdir. Gerek organizma için önemli α -amino asitlerin elde edilmesi sırasındaki rolü, gerekse bazı Schiff bazların ve metal komplekslerinin sahip olduğu antitümör, antikanser ve antimikrobiyel özellikler nedeniyle oldukça geniş çalışma aralığına sahiptirler (da Silva, 1996, Obalı, 2012 ve 2015). Makrohalkalı sistemlerin geliştirilmesinde de liganta seçicilik ve duyarlılık kazandırmak çok önemlidir. Seçici özellik ise yapıya antrasen, naftalin veya piren gibi bir floresan grup bağlanmasıyla sağlanabilir (Gunnlaugsson, 2001). Bu çalışmada metal iyonları için geliştirilen floresan makromolekül ligant supramoleküler yaklaşımla uyumlu olarak sentezlenmiştir. Burada naftalin-bağlı grup florofor olarak, tetraaza makrohalkalı ligant ise reseptör olarak tasarlanmıştır. Metallerin eklenmesiyle de floresans şiddetlerindeki artma veya azalma geliştirilen makrohalkalı ligantın bazı metallere karşı seçiciliğini göstermektedir.

MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

Kullanılan Kimyasal Maddeler ve Cihazlar: Kullanılan tüm reaktifler, Alfa Aesar, Sigma Aldrich, Merck'ten standart analitik kalitede saflaştırılmadan kullanılmıştır. $^1\text{H-NMR}$ spektrumları Varian 400 MHz Spektrometre kullanılarak alınmıştır. FT-IR spektrumları Perkin Elmer Spectrum 100 FT-IR spektrometresi kullanılarak kaydedilmiştir. UV-vis spektrumları, Perkin Elmer Lambda 25 UV-Vis Spektrometresi ile floresans ölçümleri de Perkin Elmer LS 55 Lüminesans Spektrometresi kullanılarak elde edilmiştir. Elementel analiz LECO-CHNS-932 cihazı ile yapılmıştır. 1,4,7,10-tetraazasiklododekan ana reaktifi ticari olarak alınmıştır.

Glioksal-köprülü 1,4,7,10-tetraazasiklododekan (1) Sentezi: 45 mL metanolde çözünmüş 1,4,7,10-tetraazasiklododekan (1.0 g, 5.8 mmol) üzerine, damla damla metanol (20 mL) içindeki glioksal çözeltisi (%40 sulu) 0°C ' de buz banyosunda ilave edildi. Karışım, 0°C ' de 30 dakika, daha sonra oda sıcaklığında 3 saat karıştırıldı. Çözücüler uzaklaştırıldı ve oluşan katı dietil eter (2x30 mL) ile yıkandı. (Weisman, 1980, Le Baccon, 2001) $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ (ppm): 2.3-3.6 (m, 18H, $\text{CH}_2\text{-N}$ ve CH-N).

(E)-N-(Naftalin-9-ilmetlen)-2-bromoetanamin (2) Sentezi: 2-bromoetilaminhidrobromür (0.6 g, 4.8 mmol) 50 mL su içerisinde çözüldü ve NaOH ile $\text{pH}=14$ ' e ayarlandıktan sonra diklorometan (3 x 30 mL) ile ekstrakte edildi. Ekstrakte edilen fazlar birleştirildi ve MgSO_4 ile kurutuldu. Çözücüsü uzaklaştırılan madde 20 mL diklorometan datekrar çözüldü. 1-naftaldehit bu çözeltiye ilave edildikten sonra 1 gün boyunca karıştırıldı. Karışım Na_2SO_4 üzerinde kurutuldu, süzülde ve çözücüsü uzaklaştırıldı. Oluşan katı madde n-hekzan/ dietileter (1/1) ile yeniden kristallendirildi. Pamuksu sarı katı elde edildi (0.49 g, verim %32). FT-IR (cm^{-1}): 294 (Aromatik C-H), 1745 (C=N), 690 (C-Br). $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ (ppm): 8.3 (s, 1H, CH=N), 7.3-7.9 (m, 7H, naftalin-H). Elementel Analiz ($\text{C}_{13}\text{H}_{12}\text{BrN}$, 261.02 g/mol), Hesaplanan (Bulunan) %: C, 65.40 (64.89), H, 4.52 (4.48), N, 4.49 (4.32).

Monokuaterner Amonyum Tuzunun (3) Sentezi: 30 mL sıcak asetonitril içinde karıştırılan (1) molekülüne (0.25 g, 1.3 mmol), (2) molekülününün 10 mL metanoldeki çözeltisi (0.41 g, 1.3 mmol) ilave edildi ve çözelti 25 saat karıştırıldı. Çözücü uzaklaştırıldıktan sonra oluşan sarı renkli katı, dietil eter ile yıkandı ve (0.61 g, verim %93) kurutuldu. FT-IR (cm^{-1}): 2953 (Aromatik C-H), 1701 (C=N), 1213 (-N-C-). $^1\text{H-NMR}$ (400 MHz, CDCl_3) δ (ppm): 8.5 (s, 1H, CH=N), 8.4-7.9 (m, 7H, naftalin-H), 2.6 (m, 18H, $\text{CH}_2\text{-N}$ ve CH=N). Elementel Analiz ($\text{C}_{23}\text{H}_{32}\text{N}_5^+$, 378.27 g/mol), Hesaplanan (Bulunan) %: C, 76.02 (75.99), H, 7.56 (7.43), N, 16.42 (16.31).

(E)-N-(Naftalin-9-ilmtilen)-2-(1,4,7,10-tetraazabisiklo[8.2.2]tetradekan-4-il)-etanamin (4) Sentezi: 50 mL etanol içinde karıştırılan mono kuarterner amonyum tuzu (3) (0.6 g, 1.18 mmol) üzerine yavaşça sodyum borhidrür (1.34 g, 35.5 mmol) ilave edildi ve çözelti oda sıcaklığında 30 dakika karıştırıldı. Sonrasında 1.5 saat boyunca geri soğutucuda karıştırıldı. Çözelti oda sıcaklığına soğumaya bırakıldı ve çözücü uzaklaştırıldı. Elde edilen katıya su (30 mL) ilave edildi, çözelti bazik hale getirildi (NaOH, pH=14) ve benzen (4 x 40 mL) ile ekstrakte edildi. Organik fazlar birleştirildi, kurutuldu, çözücü uzaklaştırıldıktan sonra sarı yağmsı madde elde edildi (0.4 g, verim %78). FT-IR (cm⁻¹): 2960(Ar C-H), 3082 (NH), 1215 (-N-C-). ¹H-NMR (400 MHz, CDCl₃) δ (ppm): 8.66 (s, 1H, NH), 7.39-7.91 (m, 7H, naftalin-H), 2.52-2.34 (m, 24H, CH₂-N). Elementel Analiz (C₂₃H₃₅N₅, 381.29 g/mol), Hesaplanan (Bulunan) %: C, 75.40 (74.92), H, 8.21 (8.01), N, 16.30 (16.12).

Metal (II) Komplekslerinin Genel Sentezi: Makromolekül(4) (75 mg, 0.174 mmol) 25 mL metanol içerisinde çözüldükten sonra üzerine 20 mL metanoldeki metal çözeltisi (nikel (II) perklorat çözeltisi (63 mg, 0.174 mmol) / bakır (II) nitrat çözeltisi (78 mg, 0.174 mmol) / çinko (II) perklorat çözeltisi (78 mg, 0.174 mmol)) damla damla ilave edildi. Meydana gelen çözelti, oda sıcaklığında 24 saat karıştırıldı. Daha sonra çözücü uzaklaştırıldı ve katı elde edildi (**Ni (II)** kompleksi sarı renklidir, (0.08 g, verim %94), **Cu (II)** kompleksi mavi renklidir (0.07 g, verim %81), **Zn(II)** kompleksi sarı renklidir (0.08 g, verim %94). FT-IR (cm⁻¹)(4-Ni): 622 (Ni-C). Elementel Analiz (C₂₃H₃₄N₅Ni, 439.25 g/mol), Hesaplanan (Bulunan) %: C, 66.55 (65.45), H, 7.03 (7.01), N, 14.37 (14.27). FT-IR (cm⁻¹)(4-Cu): 624 (Cu-C). Elementel Analiz (C₂₃H₃₄N₅Cu, 443.21 g/mol), Hesaplanan (Bulunan) %: C, 65.89 (65.72), H, 6.96 (6.71), N, 14.23 (14.14). FT-IR (cm⁻¹) (4-Zn): 620 (Zn-C). Elementel Analiz (C₂₃H₃₄N₅Zn, 445.21 g/mol), Hesaplanan (Bulunan) %: C, 65.62 (65.41), H, 6.94 (6.65), N, 14.18 (14.03).

BULGULAR VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (RESULTS AND EVALUATION OF RESULTS)

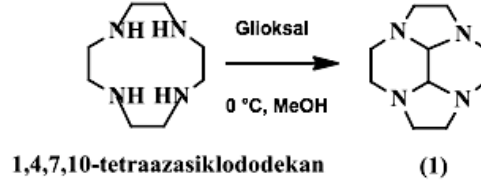
Sentez ve Karakterizasyon (Synthesis and Characterization)

Hedeflenen naftalin-bağlı makrohalkalı ligantın sentezinde ilk olarak glioksal-köprülü 1,4,7,10-tetraazasiklododekan (1) sentezlenmiştir (Şekil 1). Reaksiyon metanol ortamında, 0 °C' de buz banyosunda 3 saat karıştırılarak gerçekleştirilmiştir. Polimerizasyon reaksiyonlarını önlemek için glioksal çözeltisinin eklenmesi aşamasında düşük sıcaklık çok önemlidir. Karışım 0 °C' de 30 dakika, daha sonra oda sıcaklığında 3 saat karıştırılarak gerçekleştirilmiştir. Glioksal kondenzasyonu, halkalı yapının türevlendirilmesinde kolaylık sağlamaktadır. Makrohalkalı yapının glioksal ile bağlanması iki karbonlu köprü oluşumu ile cis konfigürasyonuna yol açar. Cis konfigürasyonu, oluşturulan bis-aminaller üzerinde katlanmış bir geometriye sahiptir ve bu da azot reaktivitesini artırır (Abdulwahaab, 2016).

Florofor grup (E)-N-(naftalin-9-ilmtilen)-2-bromoetanamin molekülü (2), 2-bromoetilamin hidrobromür ve 1-naftaldehit' in diklorometan ortamında Schiff bazı kondenzasyon reaksiyonu ile sentezlenmiştir. Bu bileşik bir başlangıç maddesi olarak tasarlanmıştır. FT-IR spektrumu incelendiğinde molekülün (2) 1745 cm⁻¹ de C=N ve 690 cm⁻¹ de C-Br titreşimlerine sahip olduğu görülmüştür. ¹H-NMR spektrumuna bakıldığında 8.3 ppm'deki kimyasal kayma değeri CH=N bağındaki 1 protona karşılık gelmektedir. Bu bulgular molekülün (2) sentezinin oluştuğunu kanıtlamaktadır. Daha sonraki basamakta, mono kuarterner amonyum tuzu (3), molekül (2) ve glioksal-köprülü tetraaza (1) molekülünün metanol ortamındaki reaksiyonu ile sentezlenmiştir. FT-IR spektrumunda 1701 cm⁻¹deki titreşim C=N bağına aittir. ¹H-NMR spektrumundaki 8.5 ppm'deki kimyasal kayma değeri CH=N bağındaki 1 protona karışık gelir. Son olarak monokuarterner amonyum tuzu sodyum borhidrür ile indirgenerek hedeflenen (4) ligantı elde edilmiştir. ¹H-NMR spektrumuna bakıldığında molekül (3)' e ait olan 8.5 ppm' deki CH=N bağına ait tekli kimyasal kaymanın kaybolduğu ve 8.66 ppm'de yeni NH

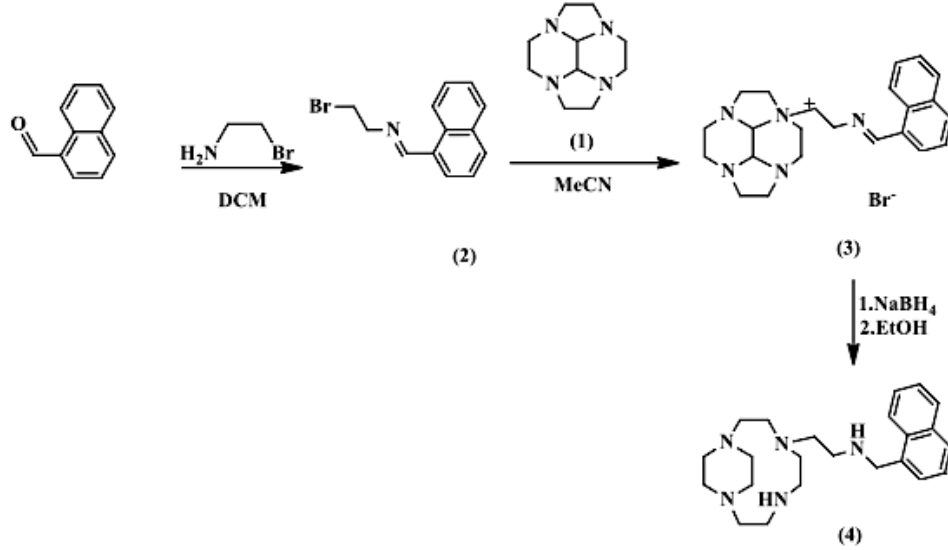
bağına ait geniş kimyasal kaymanın oluştuğu görülmüştür (Şekil 2). Bu da hedeflenen molekül (4)' ün indirgenliğini kanıtlamaktadır.

Daha sonra (4) ligantının Cu (II), Ni (II) ve Zn (II) metalleriyle komplekslerinin sentez ve karakterizasyonları tamamlanmıştır. Ligant (4) ve komplekslerinin 1×10^{-4} M' deki sulu çözeltilerinin pH değerleri ölçülmüştür, pH (4): 6.51, pH (4-Zn): 6.28, pH (4-Cu): 7.02, pH (4-Ni): 8.75 (Şekil 3).



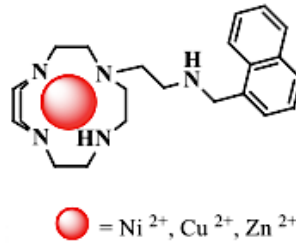
Şekil 1. Glioksal-köprülü tetraaza bileşiğinin (1,4,7,10-tetraazasiklododekan), 1, sentez şeması.

Figure 1. Synthesis scheme of the glyoxal-bridged tetraaza compound, 1,4,7,10-tetraazacyclododecane.



Şekil 2. Floresans özellikli naftalin-bağlı makrohalkalı ligantın sentez şeması.

Figure 2. Synthesis scheme of the fluorescent naphthalene-bonded macrocyclic ligand.

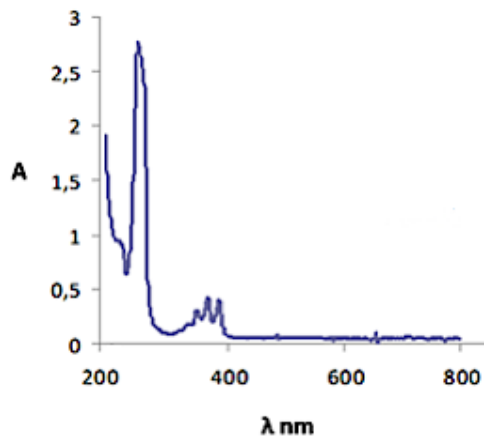


Şekil 3. Ligantın metallerle bağlanarak yaptığı kompleks bileşiğin genel gösterimi.

Figure 3. General display of the complex compound formed by the ligand and metals.

Spektroskopik Çalışmalar (Spectroscopic Studies)

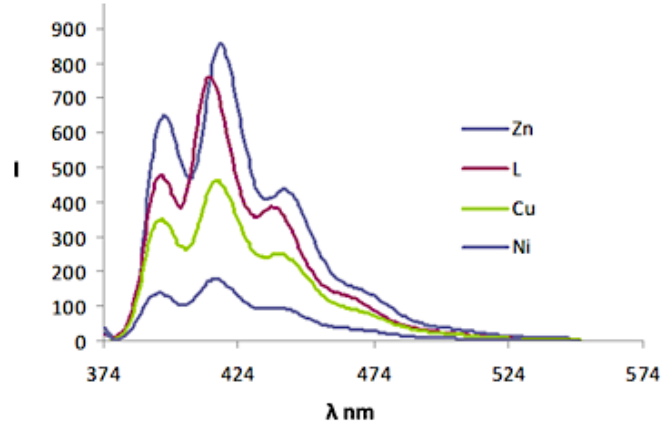
Naftalin bağlı makromolekül(E)-N-(Naftalin-9-ilmetlen)-2-(1,4,7,10-tetraazabisiklo[8.2.2]tetradekan-4-il)etanamin (4), UV-vis spektroskopisi ile analiz edilmiştir.Çözelti suda hazırlanmıştır ve konsantrasyon $1 \times 10^{-4} M'$ dir. Aşağıdaki absorban spektrumundan görüldüğü üzere (Şekil 4) maksimum dalga boyu $\lambda_{max} = 270 \text{ nm}'$ dir. Molekülün (4) molar absorptivitesi (ϵ) Lambert-Beer yasasına göre hesaplanmıştır. $A = \epsilon \cdot C \cdot d$ formülünden yapılan hesapta $d=1 \text{ cm}$ alınmıştır. A ölçülen absorbanstır, ϵ çözeltinin molar absorbtivitesidir ve birimi $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$ dir. Formüldeki d ışığın numune içinde aldığı yolunun uzunluğunu belirtir ve cm olarak ölçülür. C, çözeltideki bileşiğin konsantrasyonu anlamına gelir ve birimi $mol \cdot L^{-1}$ dir. Molekülün (4) molar absorptivitesi $270 \text{ nm}'$ de $\epsilon = 3340 M^{-1} \cdot cm^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. (E)-N-(Naftalin-9-ilmetlen)-2-(1,4,7,10-tetraazabisiklo[8.2.2]tetradekan-4-il)-etanamin (4) makromolekülünün UVvis spektrumu.

Figure 4. Spectrum of the macromolecule (E)-N-(naphthalene-9-ylmethylene)-2-(1,4,7,10-tetraazabicyclo[8.2.2]tetradecan-4-yl)-ethanamine (4).

Naftalin-bağlı makrohalkalı ligantın(4) ve Cu(II), Ni (II), Zn (II) komplekslerinin floresans ölçümleri ise 270 nm dalgaboyunda uyarılarak yapılmıştır (Şekil 5). Çözeltiler suda hazırlanmıştır ve konsantrasyon $1 \times 10^{-4} M'$ dir. Floresans spektrumuna bakıldığında ligant ve komplekslerin elektronik geçişlere ait üç omuzlu bir spektrum verdikleri görülmüştür. Ligantın maksimum dalgaboyundaki $\lambda_{maks.} = 390 \text{ nm}$, 408 nm ve $441 \text{ nm}'$ deki emisyon bantlarının metallerle yaptığı kompleksler sonucu sağa kayma gösterdiği görülmüştür. 4-Zn, 4-Cu ve 4-Ni komplekslerinin emisyon bantları $\lambda_{maks.} = 393 \text{ nm}$, 416 nm ve $456 \text{ nm}'$ de görülmüştür. Bu makrohalkalı kompleks bileşiklerinin floresans değerlerinin bazı makalelerdeki değerlerle uyumlu olduğu görülmüştür (Fabrizzi, 1998). Floresansı etkileyen birçok faktörün içinde bazik amino gruplarının varlığına bağlı olarak ortamın pH'ının da önemli olduğu bilinmektedir (Huang, 2015). Zn(II) kompleksinin pH' ı, diğer metal komplekslerinden ve ligantın kendisinden daha düşük olarak ölçülmüştür. Floresans spektrumu incelendiğinde de Zn(II) kompleksinin floresans şiddetinin en yüksek olduğu görülmektedir. Cu(II) ve Ni(II) komplekslerinin ligantın floresans şiddetini söndürmesi de liganttan daha yüksek pH' ları ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5. Ligant 4 ve Zn (II), Cu (II), Ni (II) komplekslerinin (1×10^{-4} M, su) floresans spektrumu ($\lambda_{uyarılma} = 270$ nm).

Figure 5. Fluorescence spectrum of the ligand 4 and Zn (II), Cu (II), Ni (II) complexes (1×10^{-4} M, water) ($\lambda_{ext} = 270$ nm).

SONUÇLAR(CONCLUSIONS)

Bu çalışmada naftalin-bağlı makrohalkalı ligant olan (E)-N-(naftalin-9-ilmetlen)-2-(1,4,7,10-tetraaza-bisiklo[8.2.2]tetradekan-4-il)etanamin (4) ve Cu (II), Ni (II), Zn (II) metal kompleksleri sentezlenmiş ve karakterize edilmiştir. Spektroskopik davranışların araştırılması için absorbans ve emisyon çalışmaları yapılmıştır. Sentezlenen ligantın Zn (II) ile olan kompleksinin en fazla floresan özelliğe sahip olduğu görülmüştür.

KATKI BELİRTME(ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma, Selçuk Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü (SUBAP) tarafından 18401062 numaralı Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

KAYNAKLAR(REFERENCES)

- Abdulwahaab, B.H., Burke, B.P., Domarkas, J., Silversides, J.D., Prior, T.J., Archibald, S.J., 2016, "Mono- and Bis-Alkylation of Glyoxal-Bridged Tetraazamacrocycles Using Mechanochemistry", *J. Org. Chem.*, Cilt 81, ss. 890–898.
- Amorim, M.T.S., Chaves, S., Delgado, R., de Silva, J.J.R.F., 1991, "Oxatriaza macrocyclic ligands: studies of protonation and metal complexation", *Dalton Trans.*, Cilt 11, ss. 3065–3072.
- Aoki, S., Zulkefeli, M., Shiro, M., Kohsako, M., Takeda, K., Kimura, E., 2005, "A Luminescence Sensor of Inositol 1,4,5-Triphosphate and Its Model Compound by Ruthenium-Templated Assembly of a Bis(Zn²⁺-Cyclen) Complex Having a 2,2'-Bipyridyl Linker (Cyclen=1,4,7,10-Tetraazacyclododecane)", *J. Am. Chem. Soc.*, Cilt 127, ss. 9129–9139.
- Aoki, S., Kagata, D., Shiro, M., Takeda, K., Kimura, E., 2004, "Metal Chelation-Controlled Twisted Intramolecular Charge Transfer and Its Application to Fluorescent Sensing of Metal Ions and Anions", *J. Am. Chem. Soc.*, Cilt 126, ss. 13377–13390.
- Aoki, S., Sakurama, K., Ohshima, R., Matsuo, N., Yamada, Y., Takasawa, R., Tanuma, S., Takeda, K., Kimura, E., 2008, "Design and synthesis of a caged Zn²⁺ probe, 8-benzenesulfonyloxy-5-N,N-dimethylaminosulfonylquinolin-2-ylmethyl-pendant 1,4,7,10-tetraazacyclododecane, and its hydrolytic uncaging upon complexation with Zn²⁺", *Eur. J. Inorg. Chem.*, Cilt 47, ss. 2747–2754.

- de Silva, A.P., Gunaratne, H.Q., McCoy, C.P., 1996, "Direct visual indication of pHwindows: "off-on-off" fluorescent PET (photoinduced electron transfer) sensors/switches", *Chem. Commun.*, ss. 2399.
- Fabbrizzi, L., Licchelli, M., Pallavicini, P., Parodi, L., 1998, "Controllable Intramolecular Motions That Generate Fluorescent Signals for a Metal Scorpionate Complex", *Angew. Chem. Int. Ed.*, Cilt 37, ss. 800.
- Gunnlaugsson, T., Davis, A.P., Glynn, M., 2001, "Fluorescent photoinduced electron transfer (PET) sensing of anions using charge neutral chemosensors", *Chem. Commun.*, ss. 2556.
- Huang, Zheng, Liu, Yan-Hong, Zhang, Yi-Mei, Zhang Ji, Liu, Qiang, Yu, Xiao-Qi, 2015, "Cyclen-based cationic lipids containing a pH-sensitive moiety as gene delivery vectors", *Org. Biomol. Chem.* Cilt 13, ss. 620-630.
- Koike, T., Watanabe, T., Aoki, S., Kimura, E., Shiro, M., 1996, "A Novel Biomimetic Zinc(II)-Fluorophore, Dansylamidoethyl-Pendant Macrocyclic Tetraamine 1,4,7,10-Tetraazacyclododecane (Cyclen)", *J. Am. Chem. Soc.*, Cilt 118, ss. 2696-2703.
- Obalı, A.Y., Uçan, H.İ., 2012, "Aromatic Chromophore-Tethered Schiff Base Ligands and Their Iron(III)/Chromium(III) Salen and Saloph Capped Complexes", *Journal of Fluorescence*, Cilt 22, ss. 1357-1370.
- Obalı, A.Y., Uçan, H.İ., 2015, "Novel dipodal Schiff base compounds: Synthesis, characterization and spectroscopic studies", *Journal of Molecular Structure*, Cilt 1081, ss. 74-78.
- Le Baccon, M., Chuburu, F., Toupet, L., Handel, H., Soibinet, M., Dechamps-Olivier, I., Barbier, J.P., Aplincourt, M., 2001, "Bis-aminals: efficient tools for bis-macrocyclic synthesis", *New J. Chem.*, Cilt 25, ss. 1168.
- Shiraishi Y., Sumiya S., Kohno Y., and Hirai T., 2008, "A Rhodamine-Cyclen Conjugate as a Highly Sensitive and Selective Fluorescent Chemosensor for Hg(II)", *J. Org. Chem.*, Cilt 73, ss. 8571-8574.
- Weisman, G.R., Ho, S.C.H. and Johnson, V., 1980, "Tetracyclic Tetraamines by Glyoxal-Macrocyclic Tetraamine Condensation", *Tetrahedron Lett.*, Cilt 21, ss. 335.



KONUTLARDA PAKET TİPİ KOJENERASYON İLE YERİNDE ENERJİ ÜRETİMİ – KONYA ŞARTLARINDA UYGULAMA

¹Mehmet KAPLAN, ²Mahmut Sami BÜKER

¹Elektrik Grup Şefi, Seha Yapı, İttifak Holding, Konya, TÜRKİYE

²Necmettin Erbakan Üniversitesi, Enerji ve Yarı İletken Teknolojileri Araştırma Grubu, Konya, TÜRKİYE

¹mehmet.kaplan@sehayapi.com, ²msbuker@erbakan.edu.tr

(Geliş/Received: 15.12.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 27.04.2019)

ÖZ: Kojenerasyon, bileşik ısı-güç üretim sistemleri (CHP-Combined Heat and Power) ısı ve elektriğin birlikte üretildiği modüler yapıli sistemlerdir. Konutlarda uygulanan, gazla çalışan ve genellikle küçük kapasiteli bu üniteler kurulduğu binalarda tüketilmesi amacıyla elektrik üretirler. Elektrik üretiminde açığa çıkan atık ısı, neredeyse hiç kayba uğramadan, ısıtma için kullanılarak enerji verimliliği sağlanır. Oldukça çevre dostu olan bu sistemlerin CO ve NO_x salınımları diğer fosil yakıtlı sistemlere göre ihmal edilebilir seviyelerdedir, toz ve kükürt salınımları da yoktur.

Bu çalışmada, Türkiye’de ilk defa, Konya’da inşa edilen 137 dairelik konut projesinde uygulanan 71 kWe ve 115 kWt kapasiteye sahip mikro kojenerasyon sistemine ait performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Aylık tüketilen ortalama 6.998 m³/ay doğalgaza karşılık yine ortalama 18.480 kWh/ay elektrik enerjisi elde edilmiştir. Mikro kojenerasyonun devreye girmesi ile şebekeden çekilen elektrik enerjisinde %51 oranında azalma gözlemlenmiştir. Kış sezonunda mikro kojenerasyon ünitesinin saatlik güç üretimi ortalama 48 kW iken bu oran yaz sezonunda saatlik ortalama 30,54 kW olarak tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, toplam verimlilik oranının %87 civarında olduğu saptanmıştır. Ekonomik göstergelere göre, daire başı aylık ortalama \$22,10 civarında bir ekonomik getirisinin olduğu hesaplanmıştır. Yaz döneminde mikro kojenerasyon ünitesi uyku modunun kış dönemine oranla ortalama %44 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma da ayrıca mikro kojenerasyonun konutlara uygulanabilirliği konusu analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Konut, paket tip, mikro-kojenerasyon, performans analizi, Konya

Packaged Cogeneration Systems for Energy Production in the Residential Buildings – A Case Study in Konya

ABSTRACT: Cogeneration (CHP-Combined Heat and Power) is a modular system where heat and electricity are produced jointly. These units, building types with small capacity, utilise natural gas to generate electricity to be consumed in the buildings. They also generate waste heat during electricity production, which is exploited for heating and domestic hot water needs. CO and NO_x emissions of these environmentally friendly systems are negligible as compared to conventional counterparts. In addition, there is no dust and sulphur emissions arouse through these systems.

In this study, the performance evaluation of a micro cogeneration system for residential sector in Konyacity has been conducted. The micro-cogeneration system, having 71 kWe of electrical and 115 kWt of thermal capacity, was implemented in a housing project with 137 flats. The corresponding findings from the system operation show that 18.480 kWh of electricity was generated per month against 6.998 m³/month of natural gas consumption. Moreover, the electricity withdrawn from the network decreased 51% with the introduction of micro-cogeneration system. While the average hourly power production of the micro cogeneration unit was 48 kW in winter

season, it was 30.54 kW per hour in summer season. According to the analysis results, it was observed that the total system efficiency of 87% was attained. Corresponding economic indicators reveal that an average economic return of \$22.10 per flat was obtained. In addition, the sleep mode of cogeneration unit was observed to be 44% higher in summer season. Overall, the aim of this study is to shed light on the applicability of this system in residential sector in Turkey.

Key Words: Micro-cogeneration, package type, residential buildings, performance analysis, Konya

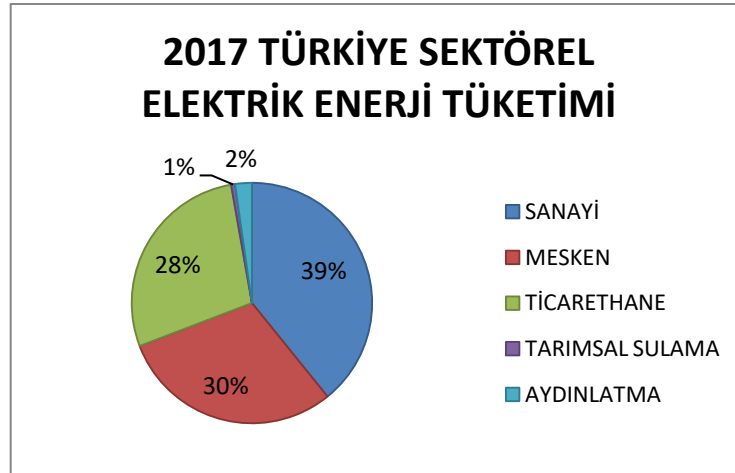
GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektriği bulan Thomas Edison, 1882'de Pearl Street istasyonunda dünyada ilk kez elektrik ve ısıyı kombine şekilde üretebilen bir tesis kurmuş ve tesiste elektrik üretimi esnasında oluşan atık ısıyı da değerlendirerek, komşularının ihtiyacı olan elektrik ve ısı enerjisini bu tesisten karşılamıştır. Kojenerasyon kavramı yüzyılı aşkın bir süredir bilinmesine rağmen, popüleritesini ve yükselen ilgiyi 70'lerin ikinci yarısı ve 80'lerin başlarında yaşanan petrol krizinin yarattığı şoka borçludur. Bu durumu iyi değerlendiren Kuzey ve Doğu Avrupa ülkeleri, ısınma sistemlerini tek merkezde toplamışlar ve bu sayede atık ısı kayıplarını minimumda tutabilmişlerdir (Kanoğlu, 2005).

Günümüzde tüm ülkeler sürdürülebilir enerji politikaları oluşturmak için çalışmalar yürütmektedir. Enerji kaynaklarının verimli kullanımı enerji israfını önlediği gibi çevreye olan zararlı gaz emisyonlarını da azaltmaktadır. Termik santralde kömür yakılarak elde edilecek 1 kWh elektrik üretimi için 0,915 kg. CO₂ havaya salınımı öngörülmüştür. Yakıt kaynağına bağlı olarak 1 kWh enerji üretimi için ortalama 0,50-0,44 kg arasında CO₂ salındığı kabul edilmektedir. (<https://arge7.com/detay.asp?id=2648>)

Küresel çevre kirliliğinin azaltılması sadece endüstriyel ve ticari alanlarda değil, aynı zamanda konut uygulamalarındaki eski teknolojilerin birincil enerji tüketiminin azaltılmasına da bağlıdır. Zararlı gaz emisyonlarının insan ve çevre üzerindeki etkisinin azaltılması için konvansiyonel sistemler ile yakıt tüketiminin azaltılmasına yönelik çalışmalar sürdürülmektedir. Yüksek verimli düşük emisyonlu mikrokojenerasyon sistemleri üzerinde dünya çapında çalışmalar sürmekte ve analizler yapılmaktadır (Wang ve diğ., 2015; Kannan ve Strachan, 2009). Bu bağlamda, konutlardaki birleşik ısı güç sistem uygulamaları son zamanlarda yapılan çok sayıda çalışmaya konu olmuştur. Ren ve Gao (2010) çalışmalarında konutlarda iki farklı mikro-CHP uygulamasını analiz etmiştir. Analiz edilen mikro kojenerasyonlar gaz motorlu ve yakıt hücreli sistemlerdir. Sonuç olarak yakıt hücresinin daha iyi bir seçim olacağına dikkat çekmişlerdir. Pilavachi ve diğ. (2006) ise kojenerasyon uygulamaları için sürdürülebilirlik endeksi kullanarak çeşitli teknolojileri değerlendirmişlerdir. Merkel ve diğ. (2015) İngiltere'de binalar için merkezi olmayan mikro-CHP sistemlerinin planlanması, kapasitesi ve sevkıyatı ile ilgili optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Alahäivälä ve diğ. (2015) konut mikro-CHP uygulamasında elektrik üretim fazlasının kullanılması sorununu ele aldılar. Smith ve Mago (2014) hibrit bir mikro-CHP'nin operasyonel performansını yani elektrik ve termik yükünü irdelemiştir. Noussan ve diğ. (2014) bir yerleşke bölgesinde biyokütle ateşlemeli CHP için optimum özellikleri incelemiştir. Onovwiona ve Ugursal (2006) mikro kojenerasyon ünitelerini içten yanmalı pistonlu motor bazlı (IC), mikro türbin bazlı, yakıt hücresi bazlı (FC), stirling motor bazlı (SE) olarak dört sınıfa ayırarak incelemiştir.

İtalya'da toplam enerji tüketiminin %32'si konut sektöründe harcanırken (Badami ve diğ., 2018) bu oran 2017 verilerine göre Türkiye'de %30,01 olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle son yıllarda araştırmalar mikro kojenerasyon sistemlerinin geliştirilmesi gerekliliğini doğurmuştur. Şekil 1'de 2017 yılı itibarıyla sektörel elektrik enerji tüketimi oranları sunulmuştur.



Şekil 1.2017 yılı itibariyle Türkiye’de sektörel elektrik enerji tüketim oranları

Figure 1. Sectoral electricity energy consumption rates in Turkey as of 2017

Geleneksel olarak büyük ölçekli CHP sistemler endüstride ve ticari uygulamalarda yaygındır (Horlock, 1997). Son zamanlarda enerji piyasasındaki rekabet ve yeni teknolojilerin gelişmesi ile küçük ölçekli CHP sistemler oluşmuştur (Rosselli ve diğ., 2011; Mongibello ve diğ., 2016). Çok konutlu yapılarda kullanımı verimli olan küçük ölçekli CHP içten yanmalı (IC) mikro kojenerasyon sistemleridir (Wakui ve Yokoyama, 2014). Aslında konutların düzensiz yük profili nedeniyle muhtemel mikro kojenerasyon güç seçimi oldukça zordur (Barbieri ve diğ., 2012). Bunun için, genellikle simülasyon verilerine dayalı veya enerji analizörleri yardımıyla elde edilen veriler ışığında sistem kurgulanmaktadır. Bazı uygulamaların başarısını elektrik ve termal yüklerin eşzamanlı kullanımı belirlemektedir. Ayrıca kısmi yükler ile ilgili olarak ev ahalisinin sayısı önemli olup küçük aile yapılı sistemlerde enerji kullanım oranı düşeceğinden sistem verimi düşecek buda yatırımın geri dönüş süresini uzatmış olacaktır (Shimoda ve diğ., 2017). Mikro kojenerasyon sisteminin veriminin artması termal enerji ile (Riva ve diğ., 2013) elektrik enerjisine olan talebin senkronize olmasına bağlı olduğu gibi oluşan enerjilerin depolanmasına da bağlıdır (Bianchi ve diğ., 2012). CHP ünitelerinin konutlarda daha uzun süreli çalışması için yani sistemin uyku moduna düşmemesi için ünitenin en kazançlı zaman dilimlerinde çalışması sağlanmalıdır (Arteconi ve diğ., 2012).

Elektrik ve ısı enerjisine ihtiyaç duyulan yapılarda, ısı ve elektriğin birbirinden bağımsız ünitelerde üretilerek tüketilmesi yerine tek bir santralde aynı anda verimli bir şekilde üretilip tüketime sunulmasına olanak sağlayan kojenerasyon sistemlerine gün geçtikçe ilgi artmaktadır. Dolayısıyla, kojenerasyon sistemlerinde, tek enerji kaynağı kullanımı ile iki farklı enerji türü açığa çıkmaktadır. Konutlarda yaygınlaştırılması planlanan kojenerasyon uygulamalarında doğalgaz kullanımı ile elektrik üretilmekte ve yararlı ısı açığa çıkmaktadır. Yani doğalgaz çevrim içerisinde elektrik enerjisi üretilirken, mekanik kayıpların açığa çıkardığı kayıp ısı enerjisi faydalı ısı enerjisine dönüştürülür. Konvansiyonel sistemlerde güç üretiminde atık ısıdan yararlanılmazken kojenerasyon sistemlerinde atık ısıdan da faydalanılır. Böylece toplam sistem verimliliği konvansiyonel güç üretim sistemlerine kıyasla önemli ölçüde artar (Pravadalioğlu, 2011). Bir mikro kojenerasyon sisteminde açığa çıkan elektrik ve termal enerji toplam verimi %80’lerde iken geleneksel yöntemlerle aynı miktar fosil yakıt tüketen bir sistemde elde edilen elektrik enerji verimi %30-35 seviyesindedir (Onowwiona ve Ugursal, 2006). Net-sıfır enerji tüketim dereceli binalara ulaşma fikri yeni teknolojiler üzerinde araştırma yapılmasını gerekli kılmaktadır (Asae ve diğ., 2015).

Bu çalışmada, Türkiye’de ilk kez 2016 yılında SehaYapı’nın konut yapımında hayata geçirmiş olduğu mikro kojenerasyon uygulaması (≤ 100 kWe) mesken tipi konutlara uygulanabilirliği açısından etüt edilmiştir. Söz konusu mikro kojenerasyon sistemi ayrıca, işletme performansı, enerji verimliliği ve toplam enerji tüketiminde sağlamış olduğu tasarruf açısından incelenmiştir. Böylelikle gelecekte elektrik enerjisi üretimi ve tüketimine ilişkin bazı alışkanlıkların değişerek, alışlagelen üretim anlayışının dışında yerinde elektrik üretip tüketmenin üstün geleceği vurgulanmış ve doğalgaz ile

beslenen bir mikro kojenerasyon ünitesinden elde edilen elektrik ve termal enerjilerin maksimum tüketilebilirliği irdelenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM(MATERIAL and METHOD)

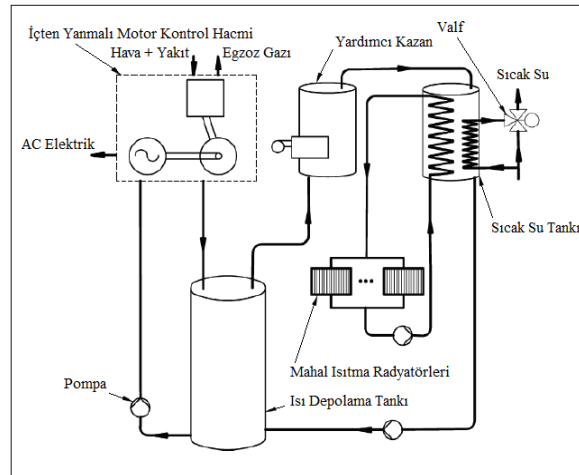
Kojenerasyonlar şehir, bölge veya sitenin ısıtma ve/veya soğutma ile güç ihtiyacını karşılamak üzere kurulur. Merkezi ısıtma denilen bu sistem pek çok ülkede kullanılmaktadır. Özellikle ısı yükü fazla ve kış mevsimi uzun süren şehirlerde bu sistem ile hem enerji ekonomisi sağlanmış hem de çevre kirliliği büyük ölçüde azaltılmıştır. Rusya'nın toplam binalarının yaklaşık %70'i merkezi ısıtma ile ısıtılmaktadır. İskandinav ülkelerinde ise toplam binaların %30 ila %80'i bu sistemle ısıtılmakta olup ısıtma merkezleri bileşik ısı güç üretimi şeklinde tesis edilmiştir (Yöntem, 2011).

Ülkemizde ise meskenlerde kojenerasyon sistemleri uygulaması ilk kez SehaYapı eli ile gerçekleşmiştir. Meskenlerin elektrik ve ısı enerjisi ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için mikro kojenerasyon sistemi oluşturulmuş, toplam 137 dairede uygulaması yapılmıştır. Bu bölümde genel olarak tercih edilen kojenerasyon sistemi için geçerli olan yöntemlerden bahsedilmektedir.

Motor Bazlı Kojenerasyon Sistemleri(Engine Based Cogeneration Systems)

Kullanımı gerçekleşen mikro kojenerasyon sistemi içten yanmalı pistonlu motor olup yanma sonucu silindir içinde oluşan artı basıncın pistonu hareket ettirmesi prensibine dayanır. İçten yanmalı motorlar mikro kojenerasyon uygulamalarında daha çok tercih edilir (Possidente ve diğ., 2006; Asaee ve diğ., 2015). Kurulumu gerçekleşen sistemin şematik gösterimi Şekil 2'de yer almaktadır (Asaee ve diğ., 2015).

İçten yanmalı motorlar olduğu gibi dıştan yanmalı motorlarda kojenerasyon sistemlerinde kullanılmaktadır. Dıştan yanmalı mikro kojenerasyon uygulamalarında daha çok Stirling motor kullanılmaktadır (Cioccolanti ve diğ., 2015; Renzi ve diğ., 2014). Stirling motorlu mikro kojenerasyon ünitelerinin boyutlarının küçük olması ve sessiz çalışmaları konut uygulamalarında kendine yer bulurken ilk yatırım giderlerinin oldukça yüksek oluşu ve termal enerji ihtiyacına göre elektrik üretmesi sistemin dezavantajlı yanını oluşturur. Bu da geri dönüş sürelerini uzattığından kullanımı yaygın değildir.



Şekil 2. İçten Yanmalı Motor Bazlı Mikro Kojenerasyon Sisteminin Şematik Gösterimi (Asaee ve diğ., 2015)

Figure 2. Schematic representation of internal combustion engine based micro cogeneration system

Isıl Güç (Kojenerasyon) Sistem Yapısı Ve Çalışma Prensibi(Cogeneration System Structure And Working Principle)

Kojenerasyon sistemlerinin basit çevrimdeki sistemlere nazaran daha yüksek verimle çalışmasının başlıca nedeni egzoz gazlarından ve motor bloku ceket soğutmasından faydalanarak ikincil bir enerji üretimine olanak sağlamasıdır. Basit çevrimlerde sadece elektrik üreten gaz türbini ya da motor, çevrime giren enerjinin yalnızca %30-40'ini elektriğe çevirmekte, geri kalan kısım büyük oranda atık ısı olarak çevreye salınmaktadır. Kojenerasyon sistemlerinde ise bu atık enerjinin büyük kısmı kullanılabilir enerji olarak geri kazanılmaktadır (Rahim ve Gündüz, 2013).

Kojenerasyon sistemi; Motor-Alternatör, radyatör ve motor soğutmasında su devridaim pompası ve borulama sistemi ile suyun egzoz gazı ısı ile ısıtılmasını sağlayan eşanjörden oluşan bir set şeklindedir. Gaz motorunun egzozundan çıkan yüksek güçteki sesin engellenmesi için ilave olarak susturucu da kullanılmaktadır. İlave tedbirler ile kullanılan modülün ses seviyesi 52 dB olarak tespit edilmiştir.

Gaz motorları, türbinli sistemlere göre daha düşük atık ısı enerjisi kazanımına olanak sağladıklarından ve daha küçük güç seviyeleri için üretildiklerinden dolayı, özellikle elektrik ihtiyacı ve elektrik ısı oranı yüksek uygulamalarda en uygun çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Türbin esaslı kojenerasyon tesislerinde bir birim elektrik enerjisi alınırken yanında üç birim ısı enerjisi açığa çıkmaktadır. Ancak gaz motorlu kojenerasyon tesislerinde bu oran iki birim elektrik enerjisine karşılık, yaklaşık iki birim ısı enerjisi olarak gerçekleşmektedir. Oransal olarak, pistonlu bir gaz motorunda yanan yakıtın enerjisinin; %35-40'lık kısmı mekanik güce, mekanik güçten alternatör aracılığı ile elektrik gücüne, %30-35'lik kısmı motor gömlek ısısına, %25-30'luk kısmı egzoz ısısına, %7-10'luk kısmı ise radyasyon enerjisi şeklinde kayıp enerjiye dönüşür (İmal ve diğ., 2016).

Şekil 3'te sistem kapasite seçimi diyagramı gösterilmektedir. Sistem kapasitesi seçilirken ısı yükü ihtiyacı ile enerji kullanım miktarları gözetilerek seçilmesi gereken kojenerasyon kapasitesinin yapıya uygunluğu fizibilite aşamalarında tespit edilmelidir. Modülün uyku moduna düşmemesi için hedef 4500 h/yıl olmalıdır.



Şekil 3. Kojenerasyon kapasite seçimi diyagramı (Viessmann Vitobloc 200 PTK)

Figure 3. Cogeneration capacity selection diagram(Viessmann Vitobloc 200 PTK)

Kojenerasyon tesisinde gaz yakıt kullanılmasının nedenleri;

Doğalgaz öncelikle külsüz ve dumansız yandığından sıfır atık bir enerji kaynağıdır. Zararlı gaz emisyonları (CO ve NO_x) diğer yakıt türlerine göre oldukça düşüktür. Dolayısıyla çevreye zararı yok denecek seviyede olup oldukça çevrecidir. Diğer yandan, ulaşılması özellikle günümüz şartlarında oldukça kolaydır. Ayrıca tüketimi sayaçlar aracılığı ile ölçülebilir, dolayısıyla kolaylıkla kontrol edilebilir. Depolama ve taşıma giderleri yoktur. Bu yakıt tipinin kullanımı tüketicilere zahmetsiz, konforlu bir yaşam olarak geri döner. Ek olarak, işletme ve bakım maliyetleri düşüktür. Doğal gaz havadan hafiftir, serbest haldeyken yükselir ve bir yerde birikmez.

Kojenerasyon Sisteminin Bileşenleri(Components of the Cogeneration System)

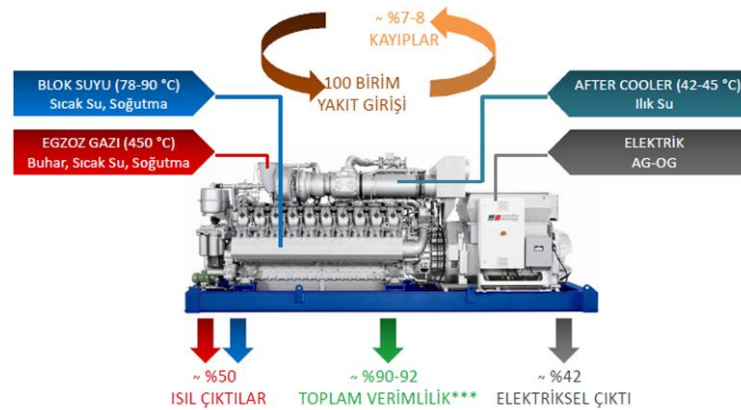
Kojenerasyon sistemi çok çeşitli alt elemanlardan oluşmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir; Yüksek ve düşük sıcaklık devresi elektrik pompaları, ateşleme sistemi, hava yakıt karışımını ayarlayan mikser (AFR), elektronik hız kontrolörü ve aktüatör, değiştirilebilir elemanlı hava filtresi, basınç, sıcaklık ve hız sensörleri, motor, alternatör ve kojenerasyon sistemi şasesi, kojenerasyon sistemi için özel tasarlanmış yüksek verimli alternatör, titreşim takozları, kablo bağlantı kitleri, acil durum radyatörleri, çıkış şalteri, yağ soğutucusu, intercooler, plakalı eşanjör, üç yollu vanalar, genleşme tankı ve egzoz hatları, egzoz eşanjörü, sıcaklık ve basınç sensörleri, aşırı basınç emniyet vanaları, hava deşarj purjörleri, analog basınç ve sıcaklık göstergeleri, kelebek vanalar, filtre, çiftli selenoid valf, gaz regülatörü, preostat, küresel vana ve fleks bağlantı gibi alt modüllerdir. Ek olarak, alternatör nem alıcı, diferansiyel koruma, alternatör diyot koruma, ses izolasyon kabini ve konteyneri, üç yollu katalitik konvertör, silindir vuruntu kontrol ekipmanı, aktif AFR kontrolü, uzaktan izleme, otomatik yağ tamamlama ve boşaltma, ters ozmoz su arıtma sistemi, orta gerilim ekipmanları, tropikal tip yağmurlamalı radyatör, sismik uyarı sistemi, pano ısıtıcısı ve şok dalgası (ROCOF) rölesi gibi çok çeşitli işlevi olan opsiyonel parçalarda uygulamanın çeşitliliğine göre kullanılabilir.

Enerji Üretimi(Energy production)

Aynı anda elektrik ve ısı tüketimine ihtiyaç duyulan tesislerde, ısı ve elektriğin ayrı ayrı santrallerde üretilerek tüketilmesi yerine tek bir santralde aynı anda elektrik ve ısı üretiminin gerçekleştirilip tüketime sunulması çok daha verimli neticeler vermiştir. Bunun için gaz motoru ve alternatör ile elektrik enerjisi üretilirken, çıkan ceket suyu ve egzoz gazlarının ısısından faydalanılarak borulu eşanjörler yardımı ile sıcak su üretilir. Termal enerji geri kazanımı bir sonraki bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.

Temel olarak elektrik enerjisi üretim işlemi; kullanılan yakıtın motor silindirlerinde yanmasıyla mekanik enerji oluşması, bu mekanik dönme hareketinden alternatörlerde faydalanmak suretiyle elektrik enerjisi elde etme yöntemiyle gerçekleşir. Bu işlem sırasında yanma sonucu 400-600°C sıcaklık aralığında egzoz gazı ısısı açığa çıkar. Bu ısının yanında motor ceket suyunun soğutulması sırasında da 80-90°C aralığında sıcak su elde edilir. Elde edilen sıcak su genel ısıtma sistemine beslenerek ısıtmaya katkıda bulunulur. Bu sayede %45-%55 civarı enerji verimliliği sağlanmış olur.

Şekil 4'de gaz yakıtlı Oto-yanma motorlu kojenerasyon gösterilmektedir. Gaz motorları elektrik üretmek amacıyla kullanıldığında verimleri %40-45 dolayındadır. Bu nedenle kojenerasyon sistemlerinde yüksek verimlilikle çalışırlar.



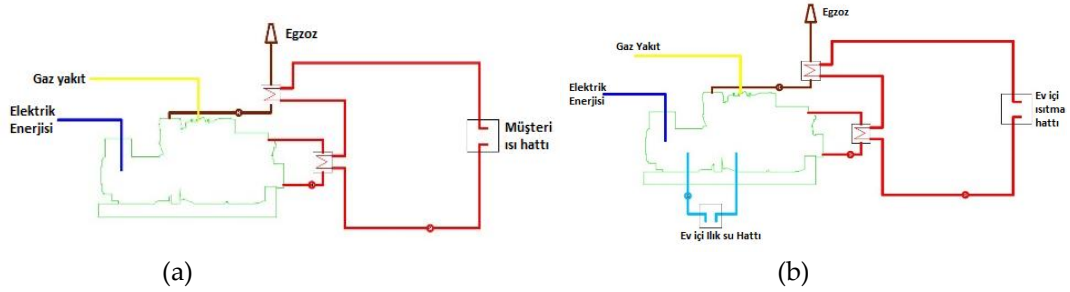
Şekil 4. Gaz yakıtlı kojenerasyon sisteminin ısı ve elektrik çıkış noktalarına ilişkin verim gösterimi(<http://gesenerji.com/istatistik/imag/kojenerasyon.PNG>)

Figure 4. Efficiency of gas-fired cogeneration for heat and electrical output points (<http://gesenerji.com/istatistik/imag/kojenerasyon.PNG>)

Termal Enerji Geri Kazanımı(Heat Recovery)

Kojenerasyon sistemlerinde, motorun verimli ve düzgün çalışabilmesi için motor ceketinin üzerinde oluşan ısının motordan uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu nedenle, motorlarda ceket suyu denilen soğutma suyu dolaştırılır. Bu ortalama 80-95°C sıcaklık aralığındadır. Plakalı eşanjörde soğutulan bu su, eşanjörden çıkışta üç yollu termal vana yardımı ile cekete veya soğutulmak üzere radyatöre gönderilir. Burada soğutulan su (75–80°C) motor ceketine gönderilir. Ek olarak, motorun içinde yanan doğal gazdan dolayı oluşan egzoz gazı yüksek sıcaklığa (400-600°C) sahiptir. Gaz motorlarında, atık ısının 2/3'ü ceket soğutmasından, 1/3'ü ise egzoz gazından geri kazanılmaktadır. Ayrıca, motor üzerindeki yağın soğutulması yoluyla elde edilen ısı geri kazanımı da mevcuttur. Buradan elde edilen termal enerji nispeten düşük seviyelerdedir. İntercooler olarak da bilinen bu ılık su havuz, musluk suyu ısıtması gibi düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılır.

Görüleceği üzere, soğutma devreleri ceket ve yağ soğutulmasından oluşur, dolayısıyla atık ısı geri kazanımı da bu işlemlerden elde edilmektedir. Buna egzoz eşanjöründen elde edilen atık ısı da eklenmektedir. Şekil 5' te hem soğutma devreleri hem de yağ soğutma sistemi sayesinde ısı geri kazanımı gösterilmiştir.



Şekil 5 a. Ceket suyu sıcaklığı ve egzoz ısısı geri kazanımı, b. Intercooler ısı geri kazanımı

Figure 5 a. Jacket water temperature and exhaust heat recovery, b. Intercooler heat recovery

Kojenerasyon Sisteminin Faydaları(Benefits of Cogeneration System)

Kojenerasyon uygulamaları enerji verimliliğinden, sistem verimliliğine, vergi avantajlarından, enerji arz güvenliğine, çevre dostu olmasından sürdürülebilir enerji üretimine ve ekonomik getirileri olmak üzere ülkemizin enerji açığını mikro düzeyde belirli kapasitelere kadar karşılayabilecek bir dizi faydalar barındırmaktadır. Kojenerasyon uygulamaları sayesinde, enerji üretim ve tüketiminin yerinde gerçekleşmesi sonucunda, elektrik enerjisi iletim ve dağıtım kayıplarının yok edilmesi sağlanır. Ayrıca, tüketiciler için vergi avantajı olarak, TRT payı ve ETV' den muaftır.

Bu sistemleri kısa sürede kurmak mümkündür ve devreye alma süresi de oldukça kısadır. Yaklaşık 10–15 sn. içerisinde sistem tamamen devreye alınabilmektedir. Düşük işletme maliyeti sürekli çalışma özelliği ile yatırımı kısa sürede amorti eder.

Doğal gaz başta olmak üzere, propan, çöp gazı, biyogaz vb. yakıtlarla çalışarak kesintisiz, kaliteli ve yüksek verimde enerji üretimi sunmaktadır. Düşük egzoz gazı emisyonları ve yüksek yanma verimi ile çevreci bir sistemdir. Aynı miktarda enerjiyi daha az yakıt tüketerek elde ettiği için CO₂ emisyonu azdır. Toz ve kükürt salınımı yoktur. Atık ısı geri kazanımı sağlandığı için konvansiyonel sistemlere kıyasla atmosferi ısıtmaz.

Konut, ticari ve endüstriyel alandaki enerji tüketicilerinin ihtiyaçlarına cevap verebilmektedir. Elektrik şebekesine paralel, şebekeden bağımsız ya da yedek güç bağlantıları ile çalışabilmektedir. Şebeke elektriği kesilse de kojenerasyon çalışmaya devam edebilir. Stabil ve kaliteli elektrik üretir.

Kojenerasyon Uygulaması (Case study)

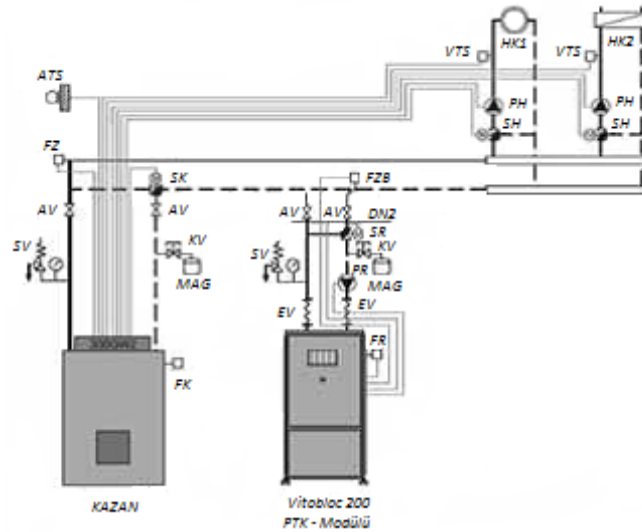
Seha Yapı örneğinde kurulumu gerçekleştirilen gaz motorlu kojenerasyon sistemi Şekil 6' da gösterilmiştir.



Şekil 6. SehaYapı’da kullanılan blok tipi mikro kojenerasyon ünitesi

Figure 6. Block type micro cogeneration unit used in SehaYapı

Sistem Viessmann Vitaobloc 200 PTK-Modülü ile sistem kurgulanmış olup ana yardımcı ekipmanlar sırasıyla kazan, elektrik dağıtım panosu ile yardımcı ekipmanlar; ATS dış hava sıcaklık sensörü, AV kapama ventili, DN2 PTKM (Paket tip kojenerasyon modülü) bağlantı çapı, EV elastik yataklama, FK kazan suyu sıcaklık sensörü, FR dönüş suyu sıcaklık sensörü, FZ ortak giriş sıcaklık sensörü, FZB ilave sıcaklık sensörü, HK ısıtma devresi, KV ventil, MAG membranlı genleşme tankı, PH ısıtma devresi sirkülasyon pompası, PR dönüş suyu sıcaklık kontrolü için pompa, SH ısıtma devresi için 3 yollu vana, SK dönüş suyu kontrolü için 3 yollu vana, SV emniyet ventili ve VTS gidiş suyu sıcaklık sensörüdür. Uygulanan paket tip kojenerasyon sistem şeması Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Kurgulanan paket tipi kojenerasyon sistem şeması

Figure 7. Viessmann Vitaobloc 200 PTK(Constructed package type cogeneration system diagram)

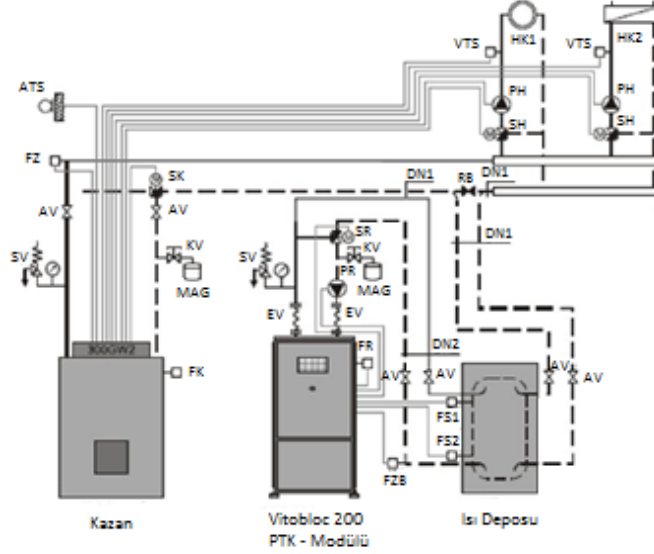
Devreden çıkma sıcaklığı ilk işletmeye almayla ilgili işletme şartlarına göre tam olarak ayarlanır. Bu ayar, mevcut kojenerasyon ilave sensöründe (FZB) ölçülen dönüş suyu sıcaklığı, otomatik kontrol sisteminde ayarlanan değer altındaysa (öneri = 62°C), modül devreye girer. Sensörde ayarlanan devreye girme sıcaklığı ile devreden çıkma sıcaklığı (70°C) arasındaki sıcaklık farkı minimum 5 K olmalıdır. Burada dikkate alınması gereken en önemli konulardan biri tecrübeye dayalı bilgilerin atlanmamasıdır. Yani paket tipi kojenerasyon sisteminin ısı kapasitesi binanın ihtiyacı olan ısının %15’ini geçmemelidir. Aksi takdirde sistem olması gerekenden büyük seçilmiş olacağından uyku modunda geçireceği süre sistemin performansını düşürecektir. Uygulaması yapılan sisteme ait teknik özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Mikro kojenerasyonun teknik özellikleri**Table 1.** Viessmann Vitobloc 200 PTK)(*Technical specifications of the micro cogeneration unit*)

Motor Tipi	MAN E 0836 E
Elektrik Gücü	71 ekW
Termal Gücü	115 tkW ± %5
Yakıt Tüketimi	204 tkW ± %5
Egzoz Çıkış Sıcaklığı	610 °C
Elektriksel Verim	% 34,3
Isıl Verim	% 56,4
Toplam Çevrim Verimi	% 90,7
Geri dönüş sıcaklığı min./max.	60 °C / 70 °C
Isıtma suyu akış hızı	4,9 m ³ /h
Azami işletme basıncı	10 Bar
Gürültü Seviyesi	52 dB

Kazanın Devreye Girmesi ve Devreden Çıkması(Activation and de-activation of the boiler)

Yapıda iki adet kazan mevcut olup çok kazanlı bir sistemdir. Kojenerasyon ısısı sitenin tüm ısı yükünü karşılayabilir olmamakla birlikte sistemi takviye edici özelliğindedir. Yaz ve kış sezonlarında farklı senaryolar ile sistem desteklenmekte olup yaz dönemi sıcak kullanım suyu için çalışması gereken kazan çalışmayacak, mevsimsel geçiş dönemlerinde tek kazan çalışması ve kış döneminde tek kazan kapasitesi sistemin gereksinimlerini karşılayamadığından ikinci kazan devreye girer. Ortak gidiş sıcaklık sensörü olan FZ'deki gidiş sıcaklığı 62°C değerinin altındaysa birinci kazan (kılavuz kazan) devreye girer. Isıtma devresinde istenen yüksek sıcaklık seviyesi, FZ sensörünün veya strateji sensörünün (FVS) istenen sıcaklık değerini belirler. Bu sensörler istenen değer üzerinde sıcaklık tespit ederse sitede yer alan iki kazandan ilk önce biri devre dışı kalır. FZ veya FVS strateji sensörleri yüksek sıcaklık algılamaya devam etmesi halinde ikinci kazanda devre dışı kalır. Kazanların devre dışı kalması PTKM'nin (Paket Tipi Kojenerasyon Modülü) devre dışı kalması anlamına gelmemektedir. FZB sensörü sıcaklığı 70°C olarak algılamadıkça PTKM devrede kalır. Dönüş suyu sıcaklığının FZB sensörü tarafından 70°C algılanmasıyla PTKM devreden çıkar. Bu bahsi geçen PTKM'nin devreye girme ve çıkma sayıları sistem verimini direk ilgilendirdiğinden verim düşüşüne neden olmaktadır. Ortalama 490 saat olarak çalışması planlanan modülün çalışma saati olarak 440 saatlere kadar gerilemiş olduğu gözlemlenmiştir. Devreye girme çıkma sayılarının önüne geçebilmek için Şekil 8'de yer alan ısı deposu sisteme eklenmiştir.



Şekil 8. Kurgulanan ısı deposulu PTKM sistem şeması (Viessmann Vitobloc 200 PTK)

Figure 8. CHP system with heat storage (Viessmann Vitobloc 200 PTK)

Kojenerasyonun kurgulandığı sitede ısıtma devrelerinin ısı tüketimi sürekli olmadığından ısı deposu paket tipi kojenerasyon sisteminin sık sık devreye girip çıkmasını önler. Buda paket tipi kojenerasyonun çalışma süresini maksimum seviyeye taşır. Akümülayon tankı 5 tonluk seçilmiş olup, paket tipi kojenerasyon sistemi elektrik ihtiyacına göre işletilmiştir. Paket tipi kojenerasyon sisteminin dönüş hattına monte edilen ilave sıcaklık sensörü (FZB) akümülayon tankına yakın konumlandırılmalıdır.

Paket Tipi kojenerasyon Sisteminin Devreye Girmesi (Activation of Package type Cogeneration System)

Eğer ısı deposu sıcaklık sensöründe (FS1) ölçülen dönüş suyu sıcaklığı, ayarlanan değerin altındaysa (önerilen 70°C), paket tipi kojenerasyon sistemi devreye girer. Kazanların devreye girme ve çıkma senaryosu ile paket tipi kojenerasyonun devreye girmesi akümülayon tankı olmayan yapı ile aynı olmakla birlikte bu sistemin farklılığı, akümülayon tankı sıcaklık sensörü (FS1) dönüş suyu sıcaklığını ölçer ve bu değer 70°C' nin altında ise paket tipi kojenerasyon modülü (PTKM) devreye girer. Yine aynı şekilde FS2 akümülayon sıcaklık sensöründe ayarlanan devreden çıkma sıcaklığı 62°C üzerinde oluşursa veya FZB sensöründe 70°C sıcaklık değerinin üzerine çıkılırsa PTKM devreden çıkar.

Üretici firmanın motorun teknik kataloğunda vermiş olduğu işletme parametreleri Çizelge 2'de yer almaktadır. Buradan motor çalışma yükleri incelendiğinde motor yükünün %50'nin altında çalıştırılması istenmediğinden motor çalışma sınırı PTKM' de %46'ya ayarlanmıştır. Aksi durumda motor her kademe için çalışmış olacak tüketimi üretiminden fazla olacağından verimsiz çalışacaktır. Bu husus göz önünde bulundurulup motor yükünün %50-100 arasında çalıştırılmasına dikkat edilmiştir.

Çizelge 2. Mikro kojenerasyon sistemine ait işletme parametreleri

Table 2. Viessmann Vitobloc 200 PTK)(Operating parameters of micro cogeneration unit)

PTKM Modülü işletme parametreleri	Vitobloc 200 EM – 70/115		
	%50 Yük	%75 Yük	%100 Yük
Paralel şebeke işletiminde sürekli güç			
Elektrik gücü (kW)	35	53	70
Isı gücü (kW)	66	85	115
Yakıt uygulaması (kW)	122	159	204

Ekonomik Analiz(Economic Analysis)

Üretim tesislerinde atık ısı ortaya çıkıyorsa ve bu ısı yararlı ısıya dönüştürülebiliyorsa yatırım kârlılığı maksimum seviyelere taşınmaktadır. Böylece geri dönüş süresi minimum seviyeye indirilir ki bu da yatırımın yapılabilirliğini ortaya koymaktadır. Atık ısının kullanılabilirliği atık ısının sıcaklığı ile doğrudan orantılıdır. Ayrıca ısıl enerjinin tüketileceği nokta ile santralin birbirine mesafesi, kullanım noktasının elektriğe ve ısıl enerjiye olan talebi, hangi zaman dilimlerinde ne kadar elektrik enerjisi ve ısıl enerji ihtiyacı olduğu gibi bazı etkenler PTKM'nin verimini doğrudan etkiler. PTKM'nin girdilerinden olan yakıt türü ve birim fiyatı da büyük önem taşımaktadır. Temel amortisman süreleri Çizelge 3 ve 4'te verilmiştir.

Kojenerasyon ekonomisinde ana etken parametre, kullanım noktasının elektriğe ve ısıl enerjiye olan talep zamanlamasıdır. Uygulanan sistem yaz için kullanım suyu ısısını karşılamaya yönelik olup kış ve ara mevsimsel geçişlerde mahal ısıtmasında destek sağlayıcı modda çalışarak modülden en yüksek verim elde edilmeye çalışılmıştır.

Kojenerasyon santralının teknik ve ekonomik değerlendirmesi karmaşık bir analiz gerektirir. Karmaşıklık elektrik üretme maliyetinin ısıl enerji üretme maliyetinden oldukça yüksek olmasından ileri gelmektedir (1 ekWh (elektrik üretme maliyeti) > 1tkWh (ısıl enerji üretme maliyeti)).

Sistem verimliliği(System Efficiency)

Atık ısının sıcaklığı 70°C civarlarında ise iç ortam ısıtmalarında kullanılabilir. Ama düşük sıcaklığa (40°C) sahip ise kullanım suyu gibi noktalarda tüketilerek daha düşük verim elde edilir. Atık ısıl enerjinin uzun mesafelere taşınması kayıp-kacak faktörleri de göz önüne alındığında çok maliyetli olabilmektedir.

Bir birleşik santralin verimliliği şu şekilde hesaplanır (Özil ve diğ., 2012);

$$\eta = (H+E) / F$$

Burada η verimi, H üretilen ısıl enerji miktarını, E üretilen elektrik miktarı ve F ise kullanılan yakıt miktarını göstermektedir. Bilindiği gibi, yakıt girdisi çıktı olarak ısı ve elektriğe dönüşür ve aşağıdaki gibi gösterilir;

$$F_h = H / \eta = F [H / (E+H)]$$

$$F_e = [F - H] / \eta = F [E / (E + H)]$$

Bundan dolayı toplam oluşan enerjinin (ısıl + elektrik), sisteme verilen ısıl enerjiye bölünmesi ile basit olarak verim hesaplanır (Özil ve diğ., 2012);

$$\eta_{\text{toplam}} = [(Elektrik \text{ Üretimi} + Isı \text{ Üretimi}) / Sistem \text{ Toplam Isıl Enerji Girişi}] * 100$$

Şekil 9 dikkate alınarak basit aritmetikte konveksiyonel sistem ve kojenerasyonlu bir sistem kıyaslanır ise;

$$\eta_{\text{toplam}} = [(Elektrik \text{ Üretimi} + Isı \text{ Üretimi}) / Sistem \text{ Toplam Isıl Enerji Girişi}] * 100$$

$$\eta_{\text{kon.sis}} = [(33+70)/200]*100$$

$$\eta_{\text{kon.sis}} = \% 51,5$$

Paket tipi kojenerasyon modülünde termal verim %55, Elektriksel verimi %30 olarak belirtilmiş olup 200 birim yakıt girişine karşılık çıktı olarak 110 birim ısı enerji, 60 birim elektrik enerjisi elde edilmiştir.

$$\eta_{\text{toplam}} = [(Elektrik \text{ Üretimi} + Isı \text{ Üretimi}) / Sistem \text{ Toplam Isıl Enerji Girişi}] * 100$$

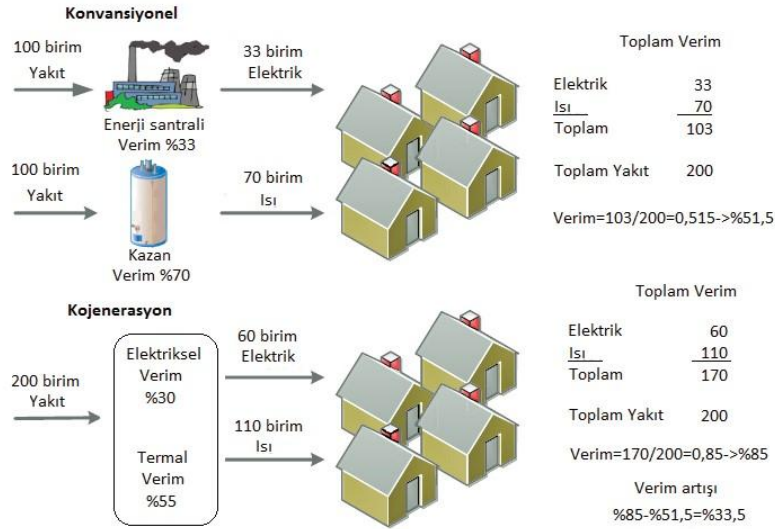
$$\eta_{\text{kojen}} = [(110+60)/200]*100$$

$$\eta_{\text{kojen}} = \% 85$$

Konveksiyonel yapı bir sistemden kojenerasyonlu sisteme geçilerek elde edilen verim artışı;

$$\eta_{\text{toplam}} = \eta_{\text{kojen}} - \eta_{\text{kon.sis}}$$

$$\eta_{\text{toplam}} = \% 85 - \% 51,5 = \% 33,5$$

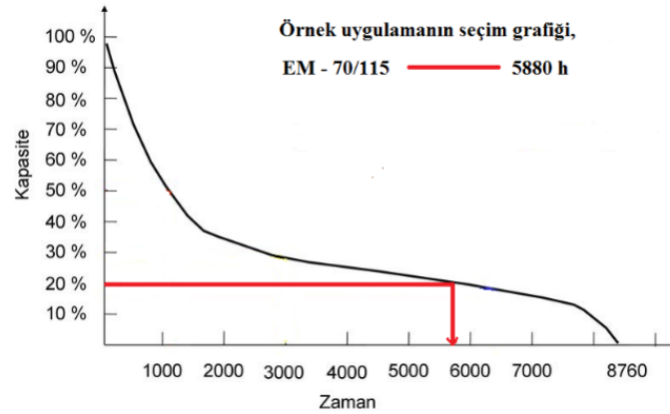


Şekil 9..Konvansiyonel sistem ile Kojenerasyonlu sistem karşılaştırması (Fuentes-Cortés ve diğ., 2015)

Figure 9.Comparison of conventional system with cogeneration system

BULGULAR VE SONUÇLARIN İRDELENMESİ (RESULTS & DISCUSSIONS)

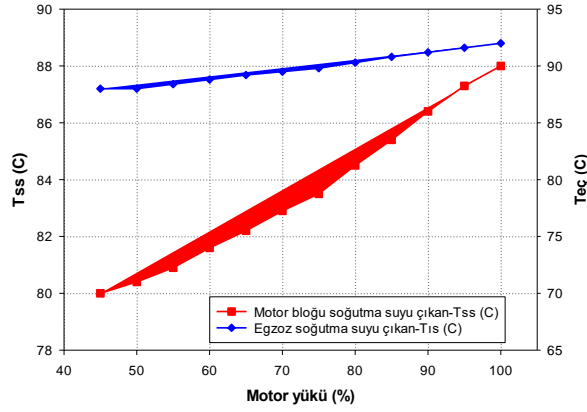
Türkiye’ de ilk mesken uygulaması 2016 yılında yapılmış olan mikro kojenerasyon ünitesine ait analizler bu bölümde sunulmaktadır. Ekonomik bir işletme için yıllık > 4.500 işletme saati hedef alınmalıdır. Seçimi yapılan Viessmann EM-70/115 modülüne ilişkin yıllık ortalama çalışma süresi 5880 h olarak tespit edilmiş olup, elektrik enerjisi üretimi sonucunda oluşan atık ısılar, site içi ısı tüketim noktalarında kullanılarak yüksek verimlilik elde edilmiştir. Kojenerasyon yıllık çalışma saatine göre kapasite seçim grafiği Şekil 10’da gösterilmiştir.



Şekil 10. Kojenerasyon çalışma saatine göre kapasite seçimi

Figure 10.Capacity selection of the cogeneration system based on operating hours

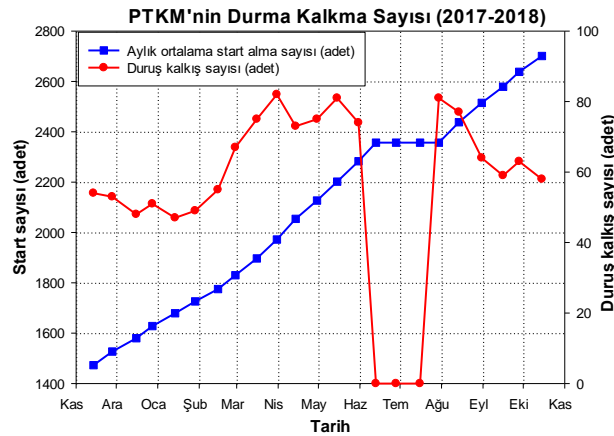
Uygulanan kojenerasyon sisteminde gaz motorlarının çalışma yüklerine karşılık gelen, motor ceket ısısından elde edilen T_{ss} (soğutma suyu sıcaklığı) ve egzozdan elde edilen T_{ec} (egzozdan çıkan suyun sıcaklığı) sıcaklıkları Şekil 11’ de verilmiştir. Ceket soğutmasından yaklaşık olarak 80°C ’ye yükselen sıcak su, egzoz ünitesinden elde edilen ısıyı da geri kazandığında yaklaşık olarak 88°C civarlarına çıkmaktadır. Dikkat edilirse, motor yükü arttıkça karşılık gelen ceket soğutma suyu sıcaklığı ve egzoz gazı ısı geri kazanım miktarı da artış göstermektedir.



Şekil 11.Motor ceket ısı ve egzoz gazı ile ısıtılan suyun çalışma yüküne göre çıkış sıcaklığındaki değişimi

Figure 11.Motor block temperature and exhaust gas output temperature with respect to working load

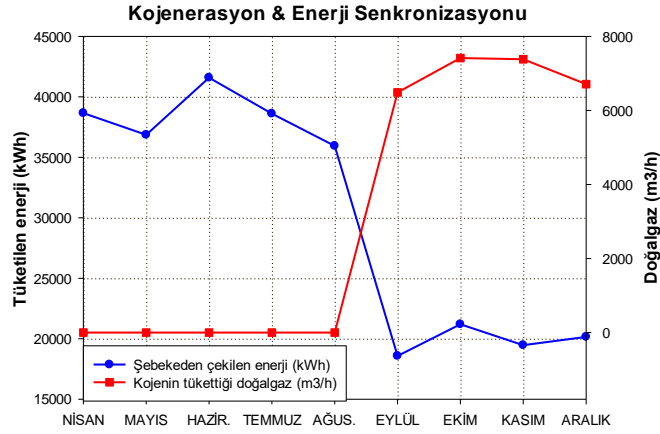
Şekil 12' de sistemin işletme şartlarında toplam duruş kalkış sayısı ile ortalama aylık duruş kalkış sayısı gösterilmiştir. Tüketici yük karakteristiğinin değişkenlik içermesinden dolayı binalarda ki PTKM' de senelik duruş kalkış sayısı fazladır. Bundan dolayı gaz motorlu sistem kurgusu şarttır. Çünkü bu motor tipi daha kolay devreye alınabilmektedir. Duruş kalkış sayısı sistemin uyku modu ile direkt ilişkili olduğundan sistemin verimini etkiler. Dikkat edilirse yaz aylarındaki duruş – kalkış sayısı kış aylarına oranla yaklaşık olarak %44 daha fazla gözlemlenmiştir. Yaz aylarında ihtiyaç duyulan elektrik ve ısı enerjisinin, kış aylarına oranla daha az olması bu durumu etkilemektedir. Yaz sezonunda binanın ihtiyacı olan ısı tüketimi sadece sıcak kullanma suyu ile ilgili olduğundan ayarlı alt limit kilit mekanizması sistemi anlık denetim yapmaktadır. İhtiyacın oluşmadığı zaman dilimlerinde PTKM durur. Buradaki sıcak kullanma suyundan kasit dairelerin tüketmiş olduğu sıcak su ve ortak yaşam alanlarında yer alan havuz, sauna, hamam vb. gibi alanların ısınması tüketim noktalarını kapsar. Kış sezonunda bu durum denetlenmeye muhtaç olmayıp sitenin ısı tüketimi PTKM' nin kullanılabilir faydalı ısınsının yaklaşık 20 katıdır. Kullanılan Vitobloc 200 EM – 70/115 kojenerasyon ünitesinin ısı güç kapasitesi 115 kW'tir. Bu, sitenin kış sezonunda termal enerji tüketiminin 2250 kWt olduğu düşünülürse toplam termal enerji ihtiyacının %5'ine karşılık gelmektedir. Bu termal enerji kapasitesi kış sezonunda ve mevsimsel geçiş dönemlerinde mevcut kazan sistemini takviye edici iken yaz koşullarında sıcak kullanım suyu temini için çalışması muhtemel olan kazanın çalışmamasını sağlamaktadır. Böylelikle mikrokojenerasyon kurulumu gerçekleştirilen sitelerde kazanların bakım süresi gerçek bakım sürelerinden daha uzundur. Fizibilite hesaplarına dâhil olmayan kazançlardan birisi de budur.



Şekil 12.PTKM' nin aylık çalışma durum eğrisi

Figure 12.Monthly working condition curve of CHP unit

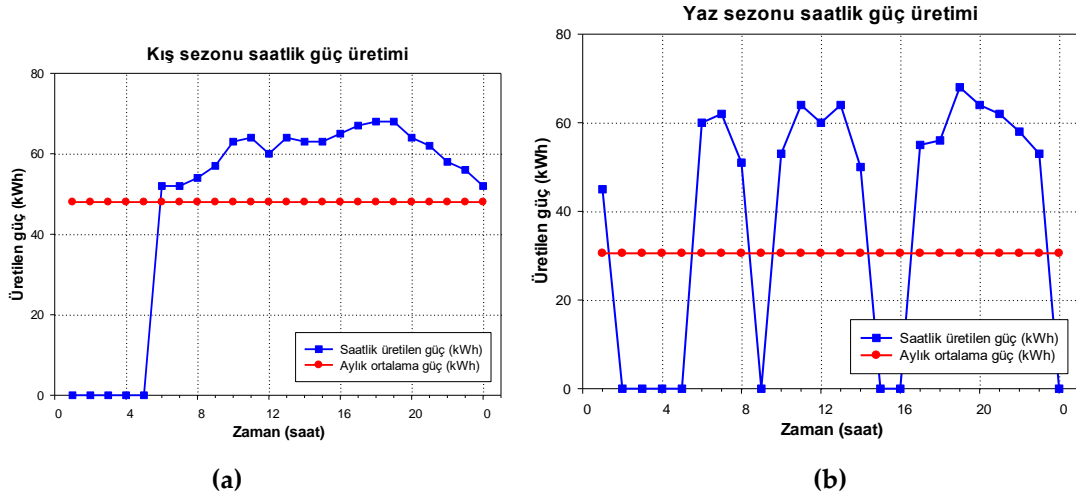
Mikrokojenerasyon modülü devreye alındığı andan itibaren yakıt olarak doğalgaz tüketirken karşılığında ise elektrik enerjisi, egzoz ısı enerjisi ve blok suyu ısıyı açığa çıkarır. Şekil 13' te yer alan veriler test dönemine ilişkin olup tüketilen 6998 m³/ay doğalgaza karşılık üretilen elektrik enerjisi yine ortalama 18480 kWh/ay olarak tespit edilmiştir. Mikrokojenerasyonun devreye alındığı ay itibari ile şebekeden çekilen elektrik enerjisinde ortalama %51 oranında azalma tespit edilmiştir. Bunun yanında yararlı enerjiye çevrilen termal ısı için kullanılması muhtemel ısı üretici (kazan) yaz sezonunda kullanılmayacak ve kış sezonu ve ara geçiş mevsimlerinde 2 adet 1120 kWt kapasiteli kazanlara takviye ısı sağlanacaktır. Böylelikle termal verimin yanında kazanların bakım süreleri de uzamaktadır.



Şekil 13. PTKM' nin enerji senkronizasyonu.

Figure 13. Energy synchronization of CHP unit

Kış sezonunda şekil 14 (a)'da görüldüğü gibi saatlik güç üretimi ortalama 48 kW'dır. Ancak yaz sezonunda şekil 14 (b)'de görüldüğü gibi modülün uyku modu devreye daha fazla girdiğinden sistemin ortalama güç üretimi 30,54 kW olarak tespit edilmiştir. Ortalama güç üretimine karşılık gelen saatlik veriler yine aynı grafiklerde verilmektedir.



Şekil 14a. Kış dönemi ortalama saatlik güç üretimi b. Yaz dönemi ortalama saatlik güç üretimi

Figure 14a. Average hourly power generation in winter b. Average hourly power generation in summer

Paket tipi kojenerasyon modülüne (PTKM) ilişkin veriler ölçümlere dayalı olarak Çizelge 3 ve Çizelge 4'te verilmiştir. İlk uygulama verilerine göre, yatırımın geri dönüş süresi 5,48 yıl ve daire başına düşen aylık kazanç ortalama \$22,10 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 3.Mikro kojenerasyon sistemine ilişkin ilk uygulama verileri**Table 3.**Initial application data on CHP

Parametreler			
Konut sayısı	137 + 4		
Günlük çalışma süresi	15 h		
Veri toplama süresi	980 h		
İç tüketim	1 kW/h		
Koijen gücü		Kojenerasyon verimi	
Elektriksel güç	71 ekW	Elektriksel verim	%34,3
Termal güç	116 tkW	Termal verim	%56,4
Ekonomik Göstergeler		Yatırım Bedeli	
Bakım gideri	0,35 €/h	Trafo ve altyapı yatırım bedeli	\$ 101.694,00
Daire sakininin aylık kazancı	\$ 22,10	Mikrokojenasyon cihaz bedeli	\$ 91.525,00
Sitenin aylık kâr marjı	\$ 3.115,93	Sayaç bedeli	\$ 11.949,00
Yatırımın geri dönüş süresi	5,48 YIL	TOPLAM	\$ 205.168,00
Daire sakininin yıl içi aylık kazanç yüzdesi	%15,34 - %34		

Çizelge 4'te Seha Yapı kojenerasyon uygulamasının devreye alındığı 2016 yılı Ekim ve Kasım aylarına ait performans tablosu verilmiştir. Kojenerasyonlu ve konvansiyonel sistemlerin karşılaştırmasına bakıldığında, doğalgaz gideri, elektrik üretimi ve iç tüketim değerleri göz önünde bulundurularak yapılan değerlendirmelerde, kojenerasyon sistemiyle iki aya ait toplam ekonomik getirinin \$6.232,50, aylık bazda bu getirinin \$3.116,25 ve daire başına aylık getirinin ise \$22,10 olduğu görülmektedir.

Isı ve elektriğe dayalı olarak farklı kapasitelerde çalışma şekilleri kurgusu PTKM'de söz konusu olabilmektedir. Isıya dayalı senaryo modelinde binada ısı kullanılmaz ise elektrik üretimi de oluşmaz, elektrik üretimi oluşmazsa tasarruf da oluşmaz, tasarrufun oluşamayacağı öngörülmüyor ise kojenerasyon kurgusuna gerek kalmaz. Kojenerasyon sisteminin verimli yıllık çalışma saati ne kadar yüksek ise tasarruf o ölçüde artar. Üretilen ısı ve elektrik enerjisinin bina tarafından tüketilme süresine göre amorti süresi uzar veya kısılır. Mevcut yapıda sistem, ısı yükünden ziyade tüketilebilecek elektrik enerjisi senaryosu üzerine kurgulanmıştır. Böylelikle üretilen elektrik enerjisinin tamamının iç tüketimde kullanımı sağlanmış olup oluşan ısı da faydalı ısıya dönüştürülüp kullanıma sunulmuştur.

Çizelge 4.Uygulamaya ilişkin performans ve ekonomik veriler

Table 4.Performance and economic data of CHP application

KOJEN PERFORMANS TABLOSU (10.&11. AY)									
KOJEN OLMASAYDI	KOJEN ELK. ÜRETİM	Elektrik üretim değeri	kwh	46.849,00	KOJEN GETİRİSİ	\$ 40.643,62			
		Elektrik Birim Fiyat	\$	0,157					
		Kojen elektrik katkı TL değeri	\$	7.368,79					
	KOJEN ISIL KAZANÇ	Kojen ısı güç	kwh	115			KOJEN GÖTÜRÜSÜ	\$ 34.411,11	
		Kojen Düzeltmiş tüketim	m ³	13,98					
		Kojen toplam ısıl kazancın TL değeri	\$	4.645,81					
	SITE ELEKTRİK TÜKETİMİ	Sitenin Kojen Harici Elektrik Tüketimi	kwh	39.775,00			KOJEN GÖTÜRÜSÜ	\$ 34.411,11	
		Elektrik Birim Fiyat	\$	0,157					
		Kojen Harici Elektrik Tüketimi	\$	6.256,13					
	KAZAN GAZ TÜKETİMİ	Sitenin Kojen Harici Isı Tüketimi	m ³	66.000,00			KOJEN GÖTÜRÜSÜ	\$ 34.411,11	
		Doğalgaz Birim Fiyatı	\$	0,338					
		Kojen Harici Doğalgaz Tüketimi	\$	22.372,88					
KOJEN PERFORMANS TABLOSU (10.&11. AY)									
KOJEN DEVREDE İKEN	KOJEN DOĞALGAZ TÜKETİM	Kojen doğalgaz tüketim	\$	6.830,33	KOJEN GÖTÜRÜSÜ	\$ 34.411,11			
	KOJEN İÇ TÜKETİM	İç Tüketim	kwh	1,00			KOJEN GÖTÜRÜSÜ	\$ 34.411,11	
		İç Tüketim Elektrik Birim Fiyat	\$	0,118					
		İç tüketim gideri	\$	116,27					
	KOJEN BAKIM GİDERİ	Bakım gideri birim fiyat (Saat)	Euro	0,35			KOJEN GÖTÜRÜSÜ	\$ 34.411,11	
		Bakım gideri	\$	453,45					
	KAZAN GAZ TÜKETİMİ	Sitenin Isınma Tüketim Doğalgaz Miktarı	m ³	66.000,00			KOJEN GÖTÜRÜSÜ	\$ 34.411,11	
		Doğalgaz Birim Fiyatı	\$	0,338					
		Kojen Harici Doğalgaz Tüketimi	\$	22.372,88					
	SITE ELEKTRİK TÜKETİMİ	Sitenin Kojen Harici Elektrik Tüketimi	kwh	39.775,000			KOJEN GÖTÜRÜSÜ	\$ 34.411,11	
		Elektrik Birim Fiyat	\$	0,118					
		Kojen Harici Elektrik Tüketimi	\$	4.638,16					
	KOJEN TOPLAM KAZANÇ						\$6.232,50		
	KOJEN AYLIK KAZANÇ						\$3.116,25		
KONUT SAKİNİNİN AYLIK KAZANÇ				\$22,10					

SONUÇLAR(CONCLUSIONS)

Bu çalışmada ülkemizde ilk kez uygulanan konut tipi bir mikro kojenerasyon sisteminin performansı enerji ve ekonomik açıdan değerlendirilmektedir. Bu teknolojinin yaygınlaşması için, kojenerasyon sisteminin konutlara yönelik uygulaması analiz edilmiş, yol haritası çizilmeye çalışılmıştır. Sisteme giren toplam enerji, çıkan elektriksel güç, çıkan termal güç, sistemin toplam verimi, yatırım maliyeti, basit amortisman süreleri ile ilgili bilgiler verilerek değerlendirmeler yapılmıştır. Genel olarak termal çıkış gücü, tüm mikro kojenerasyon sistemlerinde elektriksel güçten daha yüksektir. Uygulanan sistemin toplam veriminin genel olarak %85'in üzerinde olduğu görülmüştür. Ekonomik veriler, CHP (combined heat and power) uygulaması ile konut başına aylık 22,1\$ kazanç sağlandığını göstermektedir.

Kojenerasyon modülü ısıyı ve elektriği aynı anda tüketim yerinde ve yaklaşık %90'lık bir verimlilikle üreten kompakt bir enerji üretim cihazıdır. Aynı enerji teminine göre (örn. Termik santralden elektrik temini ve bir kazan üzerinden ısı temini) yaklaşık %30 primer enerji tasarruf edilir. Paket tipi kojenerasyon modülü uygulamasında dikkate alınması gereken en önemli konulardan biri de, paket tipi kojenerasyon sisteminin ısı kapasitesi binanın ihtiyacı olan ısıнын %15' ini geçmemelidir.

Yıllık doğalgaz tüketimi 35.000 m³ ve yıllık elektrik tüketimi 80.000 kWh üzerinde ise mikro kojenerasyon sistemi düşünülebilir. Yakıt fiyatı ile elektrik fiyatı oranı 3 ve üzerinde olursa amortisman süreleri kısalır. Kojenerasyon sistemi yıllık çalışma saati en yüksek olacak şekilde seçilmelidir.

Bu sistemin çalışması esnasında yerel idarelerin doğalgaz ile elektrik birim fiyatları devamlı takip edilerek sistemin çalışması veya durdurulması yönünde dönemsel kararlar alınıp, karlılık oranı artırılabilir. Ayrıca, elektrik enerji tarifelerinin daha pahalı olduğu gündüz ve puant saatlerinde sistem maksimum çalıştırılarak, ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi şebekeden çekmek yerine mikro-kojenerasyondan sağlanır. Böylece karlılık oranı yükselmiş olur. Bunun gerçekleştirilebilmesi için site elektrik aboneliğinin çift tarifeli olması gerekir. Böylelikle elektrik birim fiyatı en düşük olan gece tarifesi süresince sistem uyku moduna geçecek ve site en ucuz zaman diliminde elektrik tüketimini şebeke üzerinden sağlayacaktır.

Geleneksel sistemler ile kıyaslandığında, elektrik ve ısı üretimine göre mikro kojenerasyon destekli bir yapıda açığa çıkan CO₂ emisyonları üç kat daha azdır. Emisyon kirleticiler, CHP sistemi aracılığı ile küresel ve yerel ölçekte azaltılmış olacaktır.

Yatırım geri dönüş süresi oldukça kısa olan kojenerasyon uygulamalarının yaygınlaştırılması için bir dizi yönetmelik, mevzuat değişiklikleri gerektiği gibi uygulayıcılara ve kullanıcılara yönelik teşvikler de sağlanmalıdır. Kojenerasyonun konut uygulamalarındaki tespit edilen olumsuz yanı bakım giderlerinin oldukça yüksek olmasıdır. Bakım giderlerinin düşmesi konut uygulamalarının yaygınlaşması ile mümkündür. Böylelikle tüketim yerinde enerji üretimi artacak ve sistem desteklenmiş olacaktır. Toplam elektrik enerji tüketiminin %30'unun konut sektöründe olduğu düşünülürse, yerinde enerji üretiminin önemi ortaya çıkacaktır. Ek olarak, enerji üretildiği yerde tüketildiğinden, elektrik enerji dağıtımından doğan kayıplar da ortadan kalkar, kesintisiz ve kaliteli bir enerji arzı sağlanır. Sonuç olarak, mikro kojenerasyonlu sistemlerde sistem verimi konvansiyonel sistemlere göre daha fazladır ve enerji verimliliğini arttırmada mikro kojenerasyon sistemleri önemli bir potansiyele sahiptir.

Bu çalışmayla ayrıca, öncelikle Türkiye iklim koşullarında IC motor tabanlı mikro-kojenerasyon sisteminin performansına ilişkin bir ön bilgiye sahip olmak amaçlanmıştır. Sistemde gerçekleştirilen enerji üretimlerini ayrı ayrı en üst seviyeye çıkarmak için operasyon çizelgelemesini dengeleme stratejileri, enerji yönetimi ve CHP sistemlerinin operasyonel optimizasyonu konuları, ileri çalışma olarak yapılabilecek araştırma konuları arasındadır.

KATKI BELİRTME(ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde emeği bulunan, değerli bilgilerini ve vaktini bizimle paylaşan İttifak Holding Yönetim kurulu üyesi Sayın Mehmet Ali KORKMAZ'a teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR(REFERENCES)

- Alahäivälä, A., Heß, T., Cao, S., & Lehtonen, M., 2015, "Analyzing the optimal coordination of a residential micro-CHP system with a power sink." *Applied Energy*, 149, 326-337.
- Arteconi, A., Hewitt, N. J., & Polonara, F., 2012, "State of the art of thermal storage for demand-side management.", *Applied Energy*, 93, 371-389.
- Asaee, S. R., Ugursal, V. I., & Beausoleil-Morrison, I., 2015, "Techno-economic evaluation of internal combustion engine based cogeneration system retrofits in Canadian houses—A preliminary study.", *Applied Energy*, 140, 171-183.
- Badami, M., Chicco, G., Portoraro, A., & Romaniello, M., 2018, "Micro-multigeneration prospects for residential applications in Italy.", *Energy Conversion and Management*, 166, 23-36.
- Barbieri, E. S., Spina, P. R., & Venturini, M., 2012, "Analysis of innovative micro-CHP systems to meet household energy demands.", *Applied Energy*, 97, 723-733.
- Bianchi, M., De Pascale, A., & Melino, F., 2013, "Performance analysis of an integrated CHP system with thermal and Electric Energy Storage for residential application.", *Applied Energy*, 112, 928-938.
- Cioccolanti, L., Savoretti, A., Renzi, M., Caresana, F., & Comodi, G., 2015, "Design and test of a single effect thermal desalination plant using waste heat from m-CHP units.", *Applied Thermal Engineering*, 82, 18-29.
- Fuentes-Cortés, L. F., Ávila-Hernández, A., Serna-González, M., & Ponce-Ortega, J. M., 2015, "Optimal design of CHP systems for housing complexes involving weather and electric market variations." *Applied Thermal Engineering*, 90, 895-906.
- Horlock, J. H., 1997, "Cogeneration-Combined Heat and Power (CHP): Thermodynamics and Economics."
- İmal, M., Kısakesen, T., & Kaya, A., 2016, "Enerji Ekonomisi Açısından Kojenerasyon ve Trijenerasyon Teknolojilerinin Isıtma-Soğutma Kapasitelerinin Analizi.", *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 19(2), 9-19.
- Kannan, R., & Strachan, N., 2009, "Modelling the UK residential energy sector under long-term decarbonisation scenarios: Comparison between energy systems and sectoral modelling approaches." *Applied Energy*, 86(4), 416-428.
- Kanoğlu, M., "Jeotermal elektrik üretim sistemleri ve kojenerasyon.", *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 2005.
- Kojenerasyon nedir?, <http://www.yegem.com/bilgidetay/1250/kojenerasyon-nedir>, ziyaret tarihi: 16 Ekim 2018.
- Kojenerasyon sistemlerinde gaz jeneratörü, <http://gesenerji.com/istatistik/imaj/kojenerasyon.PNG>, ziyaret tarihi: 22 Mart 2019.
- Merkel, E., McKenna, R., & Fichtner, W., 2015, "Optimisation of the capacity and the dispatch of decentralised micro-CHP systems: A case study for the UK.", *Applied Energy*, 140, 120-134.
- Mongibello, L., Bianco, N., Caliano, M., & Graditi, G., 2016, "Comparison between two different operation strategies for a heat-driven residential natural gas-fired CHP system: Heat dumping vs. load partialization.", *Applied energy*, 184, 55-67.
- Noussan, M., Abdin, G. C., Poggio, A., & Roberto, R., 2014, "Biomass-fired CHP and heat storage system simulations in existing district heating systems.", *Applied Thermal Engineering*, 71(2), 729-735.
- Onovwiona, H. I., & Ugursal, V. I., 2006, "Residential cogeneration systems: review of the current technology.", *Renewable and sustainable energy reviews*, 10(5), 389-431.
- Özil, E., Şişbot, S., Özpınar, A., & Olgun, B., 2012, "Santral Ekonomisi", *Elektrik Enerjisi Teknolojileri ve Enerji Verimliliği*, Cilt 3, Türkiye Elektrik Sanayi Birliği (TESAB) Ticari İşletmesi, 331-334.
- Pilavachi, P. A., Rومpeas, C. P., Minett, S., & Afgan, N. H., 2006, "Multi-criteria evaluation for CHP system options.", *Energy Conversion and Management*, 47(20), 3519-3529.

Possidente, R., Roselli, C., Sasso, M., & Sibilio, S., 2006, "Experimental analysis of micro-cogeneration units based on reciprocating internal combustion engine.", *Energy and Buildings*, 38(12), 1417-1422.

Pravadalıoğlu, S., Komisyonu, E. M. O. İ. Ş. E., & Şti, Ü. T. E. M. L. (2011). *Yerde Enerji Üretimi-Kojenerasyon Sistemleri*. EMO.

Rahim, M., & Gündüz, D., 2013, "Gaz Türbinli Bir Isıl-Güç (Kojenerasyon) Çevrim Santralinin Enerji Ve Ekserji Analizi: Ankara Şartlarında Uygulama.", *TÜBAV Bilim Dergisi*, 6(2), 19-27.

Ren, H., & Gao, W., 2010, "Economic and environmental evaluation of micro CHP systems with different operating modes for residential buildings in Japan.", *Energy and Buildings*, 42(6), 853-861.

Renzi, M., & Brandoni, C., 2014, "Study and application of a regenerative Stirling cogeneration device based on biomass combustion.", *Applied Thermal Engineering*, 67(1-2), 341-351.

Riva, G., Sotte, M., & Coccia, G., 2014, "L'accumulo di energia termica quale importante strumento per la realizzazione di edifici nZEB.", *Report Ricerca di Sistema Elettrico*, ENEA.

Roselli, C., Sasso, M., Sibilio, S., & Tzscheutschler, P., 2011, "Experimental analysis of microcogenerators based on different prime movers.", *Energy and buildings*, 43(4), 796-804.

Shimoda, Y., Taniguchi-Matsuoka, A., Inoue, T., Otsuki, M., & Yamaguchi, Y., 2017, "Residential energy end-use model as evaluation tool for residential micro-generation.", *Applied Thermal Engineering*, 114, 1433-1442.

Smith, A. D., & Mago, P. J., 2014, "Effects of load-following operational methods on combined heat and power system efficiency.", *Applied energy*, 115, 337-351.

Üretilen birim güç başına eşdeğer karbondioksit salınım miktarı ne kadardır?, <https://arge7.com/detay.asp?id=2648>, ziyaret tarihi: 22 Mart 2019.

Viessmann Vitobloc 200 PTK Modül kullanım kılavuzu.

Wakui, T., & Yokoyama, R., 2014, "Optimal structural design of residential cogeneration systems in consideration of their operating restrictions.", *Energy*, 64, 719-733.

Wang, Q., Su, B., Sun, J., Zhou, P., & Zhou, D., 2015, "Measurement and decomposition of energy-saving and emissions reduction performance in Chinese cities.", *Applied Energy*, 151, 85-92.

Yöntem, M. A., 2011, "Küçük ölçekli kojenerasyon sisteminin verimliliğinin incelenmesi", Doctoral dissertation, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

UTILIZATION OF ROBOTICS FOR SOLAR PANEL CLEANING AND MAINTENANCE

¹Haon PARK, ²Abdullah ÖZTÜRK, ³Hajun PARK, ⁴Muhammed Umer KHAN

^{1,3}OASIS International School, 06830 Ankara, TURKEY

^{2,*}Middle East Technical University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 06800 Ankara, TURKEY

⁴ATILIM University, Faculty of Engineering, Department of Mechatronics Engineering, 06836 Ankara, TURKEY

¹oasishaon@gmail.com, ²abdullah@metu.edu.tr, ³ankarahajun@gmail.com, ⁴umer.khan@atilim.edu.tr

(Geliş/Received: 15.03.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 28.04.2019)

ABSTRACT: In this study, a portable and low-cost solar panel cleaning robot with a functioning to blow away dust was designed and built to incur labor costs. The robot is service effective, environmentally friendly, energy independent, self-automated, long durable, and cost-effective. After cleaning operation, output voltage and current in solar panel increased by 8.02% and 18.78%, respectively. Moreover, the image processing with the photos taken by a camera fixed on the robot made classification according to color changes in the solar panel. Therefore, it can be concluded that the automated and multifunctional robot may facilitate the solar panel surface cleaning and be an applicable maintenance method through remote monitoring of the surface conditions.

Key Words: Solar panel, Robotics, Dust mitigation, Autonomous cleaning system, Image processing.

Güneş Paneli Temizliği ve Bakımı için Robotik Sistemin Uygulanması

ÖZ: Bu çalışmada, taşınabilir, düşük maliyetli ve toz üfleme işlevine sahip bir güneş paneli temizleme robotu tasarlanmış ve üretilmiştir. Robot servis etkin, çevre dostu, enerji bağımsız, kendinden otomatik, uzun ömürlü ve uygun maliyetlidir. Temizleme işleminden sonra, güneş panelinin çıkış voltajında ve akımında sırasıyla %8,02 ve %18,78 artış görülmüştür. Ayrıca, robot üzerindeki kamera ile çekilen fotoğraflara uygulanan görüntü işleme, güneş panellerindeki renk değişimlerine göre sınıflandırma yapmıştır. Dolayısıyla, çok fonksiyonlu otomasyon robotun güneş panellerinin yüzey temizlenmesini kolaylaştıracağı ve yüzey koşullarının uzaktan izlenmesi suretiyle bakımına olanak sağlayan uygulanabilir bir yöntem olacağı sonucuna varılabilir.

Anahtar Kelimeler: Güneş paneli, Robot, Toz azaltma, Özgün temizleme sistemi, Görüntü işleme.

INTRODUCTION

Renewable energy technologies are the center of current concerns regarding energy security, the environment, and global climate change in developed and developing nations. Among these clean-energy approaches, solar energy technologies continue to grow in residential, commercial, agricultural, and industrial applications. The solar energy, which comes from the sun in the form of solar irradiance, can be directly converted to electricity by the use of photovoltaic (PV) solar panel. The PV panels, in general, are made of semiconductors to absorb the irradiance from the sun and convert it into electrical energy. Currently, dominant silicon-based PV panels have 26-27% energy conversion efficiencies which are very close to the theoretical limit (McGehee, 2013; Nakazaki et al., 2018). Thus, in order to increase the

efficiency of the PV system, some improvements should be considered in the maintenance of PV panels. In this regard, keeping the surface of PV solar panel clean for enough solar irradiance absorption is among the encouraging strategies.

The PV based solar power systems possess many advantages including long-lasting, minimum operational control requirement, small maintenance free, and maximum electricity yielding during peak load demand periods like summer or noon (Charfiet.al., 2018; Nandal et.al., 2018; Waqas et.al., 2018). These advantages make them attractive for small and large scale investments. Despite all these benefits, dust accumulation can restrict the expected performance of the solar cells in hot and arid areas (Kaldelliset.al., 2011). Dust is one of the significant challenges for the PV solar panels as large scale solar power plants are established in remote desert areas where dust can be produced and deposited on the solar panels easily. The dust considerably reduced the maximum current from 6.9% to 16.4% depending on the time period of PV panels' exposure in dust affected environment of Iraq (Saidan et. al., 2016). Kalogirou et.al., (2013) have conducted the outdoor test in Cyprus with three different types of PV panels to examine the effect of soiling on their performance. After 10 weeks of exposure to the natural environment without any cleaning, the power output reduction was changed between 8 and 15% depending on the types of PV panels. It has been reported that solar irradiation was reduced 9% with dirt/dust deposition, but within one month because of rain which washed the surface, it reduced to 5% of loss (Al-Helal and Alhamdan, 2009). Ghazi et.al.(2014) carried out a comprehensive review of the dust deposition and settlement effect on the PV panels. They demonstrated the dust phenomenon and showed that the dust accumulation on the surface of solar panels is different in many countries. They also suggested that the appropriate cleaning method suited for the specific location should be chosen.

Several different cleaning methods have been utilized to remove the dust on solar panels (He et.al., 2011; Maghami et.al., 2016). The first and perhaps the most common method is washing the surfaces of solar panels with water. However, for some countries in the Middle East where the cost of water is much expensive than that of petrol, using water will not be practical. The second method is the usage of an air compressor to blow away dust, resulting in dust particles to be suspended in the air and cumulating again within a certain period of time. The third method is to use a manual system whereby the panel is tilted to let the dust fall. It is energy and labor intensive, so it is not feasible. The fourth method is to utilize a self-cleaning film on the solar panel (Gholami et.al.,2017). The coated hydrophobic or hydrophilic nanofilms change the wetting properties of the surface and dust will be removed away easily with rainwater. However, it should be accepted transmission coefficient loss caused by the coated layer. The last method is to incorporate robotic cleaning system to remove dust accumulation. Alshehri et.al. (2014) developed an installed robotic cleaning solution and represented the most promising technology investigated. Although it may be efficient, these fixed robotic systems are expensive and difficult to install over a large PV area.

Considering all these pros and cons, an autonomous cleaning system could be a solution for dust mitigation in PV panels. In this research, a prototype of a portable automated cleaning robot is proposed. This robot utilizes a dry system of blowing to clean the dust on the solar panel, and no water is needed during operation. Moreover, it is able to inspect whether there are any defects or cracks on the surface of the solar panel. The proposed solution is service effective, environmentally friendly, energy independent, self-automated, long durable, and cost-effective. This research is aimed to examine how reliable the motions of the robot will be when travelling on sloped surfaces, to compare the solar power generation efficiency between solar panel receiving maintenance from the robot and the other panel being left unattended, and to incorporate image analysis detection algorithm of faults, cracks and other source of damages that impacts the functionality of PV cell operation.

EXPERIMENTAL PROCEDURE

Cleaning Robot Hardware Implementation

The solar panel cleaning robot is composed of microcontrollers, voltage regulators, DC Motors, servo motors, ultrasonic sensors, blowing fan, Lipo battery and motor drivers. The main body is a hexagon wooden chassis of 30 cm length × 30 cm width × 4 mm thickness to decrease the total weight of the robot. All holes and cavities are carefully designed according to the dimensions of components, and then cut with a laser machine. Arduino Mega2560 has been chosen as a microcontroller because of its functionality as well as its low price. The four DC motors are connected with servo motors to change the direction easily when it needs to go transversely during its operation. Ultrasonic sensors are placed at each end of four sides to protect from falling to the ground. A blowing fan with 1500 rpm and 120 mm diameter is placed at the bottom center of the chassis to remove accumulated dust. As for the image detection, Raspberry Pi 3 along with Noir V2 Night Vision USB camera has been implemented and supported with two servo motors. Figure 1 shows the hardware system schematic.

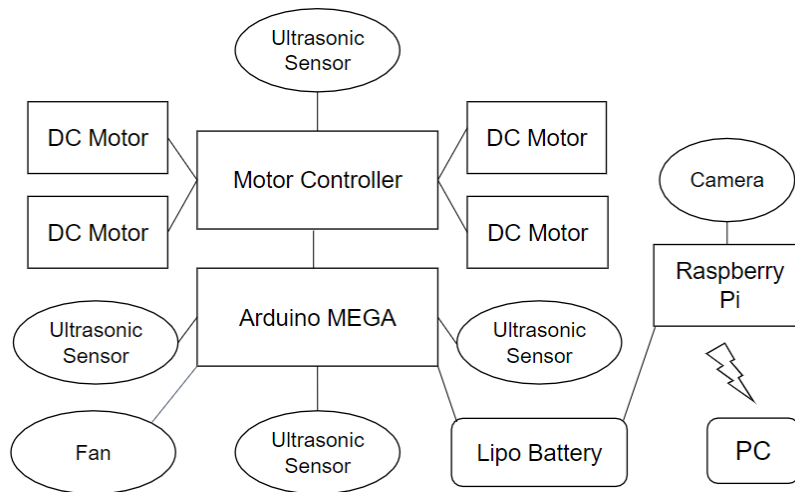


Figure 1. Cleaning robot control system schematic

Software Implementation

The complete programming for the robot control has been implemented with Arduino IDE. A code editor, compiler and serial communication interface with the Arduino boards, are all integrated into a single Java application. The programming language mostly resembles the C/C++, quite practical to build a program for path-planning of robot, and supports common features of modern object-oriented programming languages. These features are of much value for the prototype of an automated portable cleaning robot. The image analysis of the panel surface is conducted with OpenCV 3.0 after installing with Python 3.7 bindings on the Raspberry Pi. The Raspberry Pi USB Camera captures an image in a standard RGB color format at a given interval, and analyze the images to detect abnormalities. These include changes in color, hue, saturation, and blob detection allowing it to detect cracks or damages on the panel surface. Then, the analyzed sections are categorized into 2 different sections: faulty and clean. The results are sent to the client’s computer through a socket server and then displayed on a GUI on the client’s computer. Images of the solar panel that include any abnormalities will be represented by a red box, whereas images of the solar panel without any problems will be represented by a blue box. Figure 2 shows a flowchart of the process of the robot’s cleaning and detecting routine.

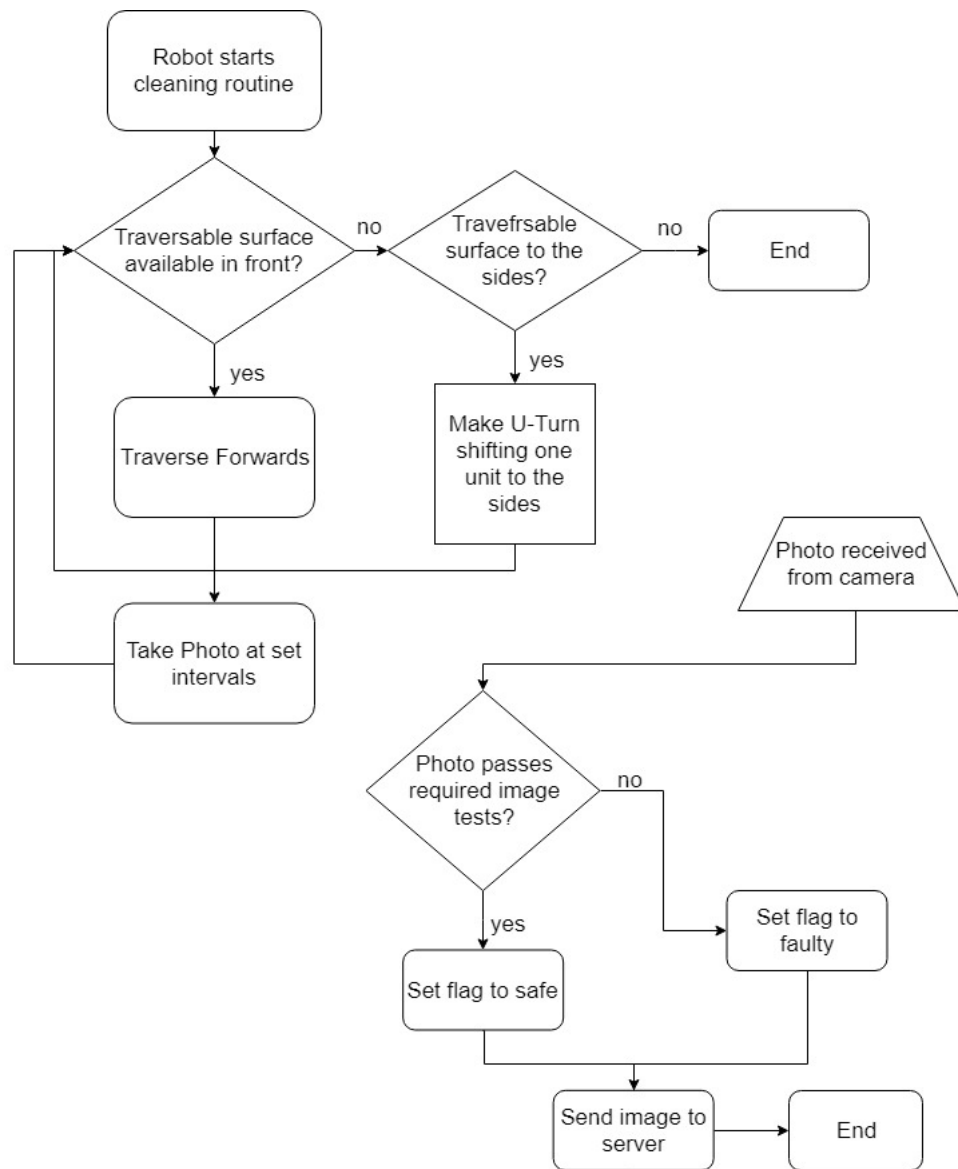


Figure 2. Flowchart of the process of the robot's cleaning and detecting routine

Robot Operation and Cleaning Effectiveness Test

Commercially available polycrystalline solar panel with 36 cells in a 4 x 9 matrix was used as a test platform. The maximum power of this panel is 164W, and open circuit voltage and short circuit current are 23.4 V and 8.98 A, respectively. The dimension of the panel is 148.8 × 67.5 × 3.5 cm in length x width x thickness, respectively. The prototype of the cleaning robot was designed to move straight and transversely with four rubber wheels. In order to examine the robot's climbing ability on the solar panel, it was operated to move forwards and backwards for five seconds each at various inclination angle of the solar panel. Then, the displacement from the original start line of the robot was measured. According to the results, wheel alignment and weight counteraction were conducted to improve the accuracy of the robot motion. As for the cleaning efficient test, 30 g of clay (Kaolin clay, Sigma Aldrich) was equally spread on the PV module to simulate the dust accumulation. After operating robot cleaning, the voltage and current outputs were measured with a digital multimeter (HS8236, Mastech) and compared with those of clean PV module to investigate the effectiveness of the surface cleaning.

RESULTS AND DISCUSSION

Prototype of Cleaning Robot and Its Accuracy Test

The prototype of solar panel cleaning robot implemented in this research is shown in Figure 3. The robot weighs around 8 kg which is reasonable to be placed on the tempered glass of the PV module. Since the tensile strength of tempered glass is about 87.5 MPa (Bouaouadjaet.al., 2000), the current robot can easily move on the PV panel without giving any damage to the module. As for the motion accuracy test, the robot was operated at various inclination angles as shown in Figure 4, and the displacement of the prototype is summarized in Table 1. It was observed that the higher the inclination angle, the larger the average displacement. The displacement can be explained by both friction and wheel alignment. To overcome this error, the first method was to adjust the wheels to 90 degrees with the robot. With the 1st adjustment, the average displacement decreased to 0.96 ± 0.43 cm at a 15-degree inclination, while it was 8.22 ± 1.10 initially. It is deduced that at the initial stage, all motors were set in 90 degrees, but had to be calibrated with the other four motors after implementation due to manufacturer's error of the motors. The second adjustment was aligning the wheels for weight counteraction which doesn't necessarily result in 90 degrees wheels. Weight counteraction took note of the weight distribution on the robot and the average displacement decreased to 0.24 ± 0.05 cm at 15-degree inclination.

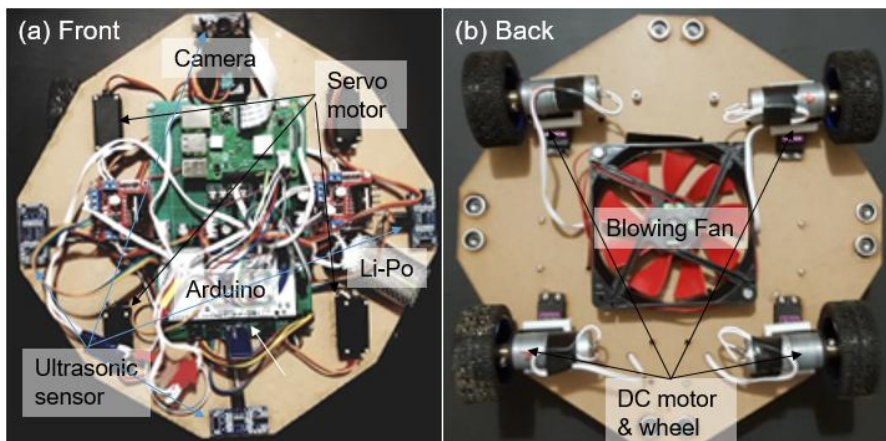


Figure 3. Prototype of solar panel cleaning robot

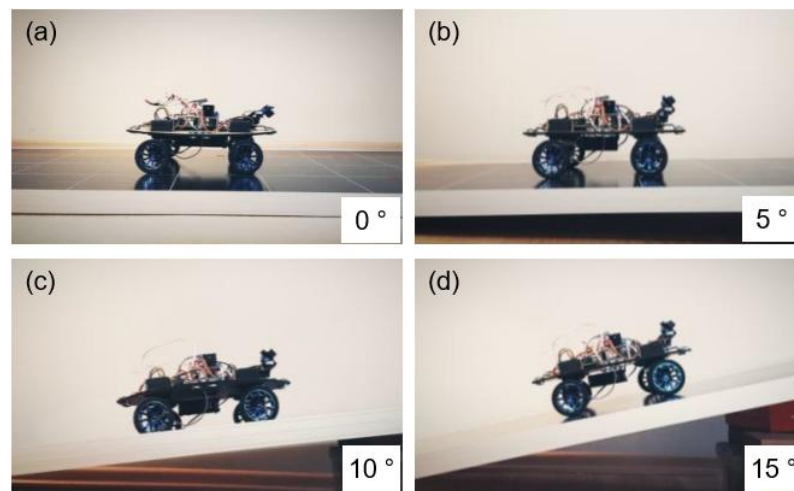


Figure 4. Demonstration of climbing capability test at 0, 5, 10, and 15 inclination angles

Table 1. Directional Motion Displacement of Robot

Robot Operation	Inclination of PV Module (degree)	Displacement Average \pm SD (cm)
Without any adjustment	0	6.22 \pm 0.45
	5	7.23 \pm 0.57
	10	7.81 \pm 1.10
	15	8.22 \pm 1.10
With 1 st adjustment (wheel alignment)	0	0.64 \pm 0.39
	5	0.81 \pm 0.52
	10	0.90 \pm 0.26
	15	0.96 \pm 0.43
With 2 nd adjustment (weight counteraction)	0	0.08 \pm 0.08
	5	0.08 \pm 0.04
	10	0.10 \pm 0.10
	15	0.24 \pm 0.05

Cleaning Effectiveness Test

Cleaning effectiveness test was performed in the afternoon of a day in July when the solar irradiance is high and the panel produces enough voltage and current. Figure 5 (a) shows the surface state of PV solar panels before cleaning and (b) shows that after cleaning with the robot. Figure 6 shows the voltage and current changes after surface cleaning. Without any dust, the voltage and current were 20.7 V and 7.79 A, respectively, while those decreased to 18.7 V and 5.91 A with dust. The clay covered the solar panel block the absorption of solar irradiance; therefore, the performance of the panel became weak. However, after cleaning the surface with the robot, the voltage and current increased immediately to 20.2 V and 7.02 A, respectively. With the surface cleaning, the voltage and current of the solar panel increased by 8.02 and 18.78%, respectively.

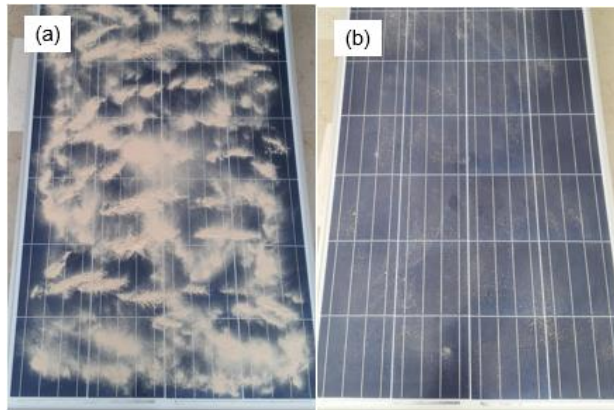


Figure 5. PV solar panel surface with dust (a) and after cleaning with robot (b)

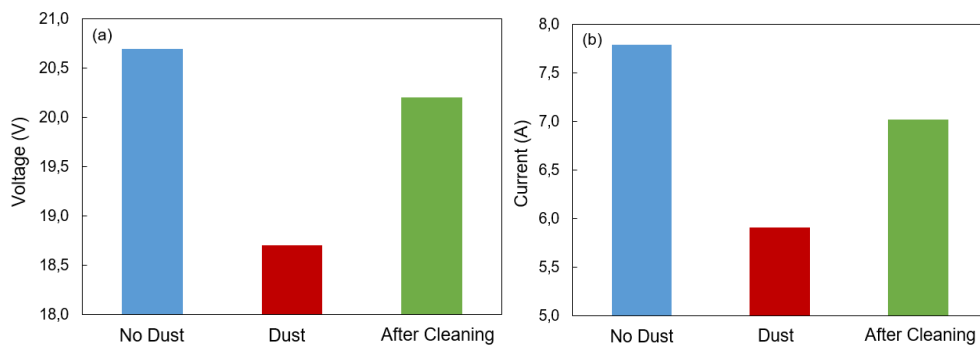


Figure 6. Voltage and ampere change after cleaning

Image Analysis Detection

Figure 7 shows the GUI mockup images taken by the solar panel cleaning robot. To examine the capability of the image analysis, red tape was cut and put on the panel and the robot was operated to take six photographs during moving. Three of the photographs contained the red tape and the other three contained no abnormalities on the clean solar panel surface. After that, on the GUI, all six boxes were formed showing six different parts of the solar panel easily displaying where the abnormalities occurred on the solar panel. When one of the red boxes is clicked, the corresponding image that contains abnormalities, or red tape in the demonstration, is shown on the screen whereas the corresponding image of a clean solar panel is shown when the blue box is clicked. Therefore, it can be said that the image analysis and GUI programs work punctually.



Figure 7. GUI mockup of (a) an image in a red box and (b) an image in a blue box

CONCLUSION

In this study, the autonomous cleaning system was proposed as a solution for dust mitigation in PV solar panels and presented its effectiveness. A low-cost prototype of solar panel cleaning robot was designed and implemented along with image analysis function. With the cleaning effectiveness test, it can be easily witnessed that solar cells covered in dust significantly drop the output voltage, while improvement can be observed in terms of voltage and current lift after the surface cleaning operation. Through the image processing to detect any abnormalities or malfunctions on the solar panel surfaces, the photos taken by the robot camera were accurately classified and properly identified. Therefore, it can be concluded that the robotic system proposed and investigated in this study can be a practical solution for PV panel surface cleaning as well as an applicable maintenance method through remote monitoring of the surface conditions.

REFERENCES

- Al-Helal, I. M., Alhamdan, A. M., 2009, "Effect of arid environment on radiative properties of greenhouse polyethylene cover", *Solar Energy* 83, 790-798.
- Alshehri, A., Parrott, B., Outa, A., Amer, A., Abdellatif, F., Trigui, H., Carrasco, P., Patel, S., Taie, I., "Dust mitigation in the desert: Cleaning mechanisms for solar panels in arid regions", 2014 *Saudi Arabia Smart Grid Conference (SASG)*, Jeddah, Saudi Arabia, 1-6, 14-17 December 2014.
- Bouaouadja, N., Bouzid, S., Hamidouche, M., Bousbaa, C., Madjoubi, M., 2000, "Effects of sandblasting on the efficiencies of solar panels", *Applied Energy* 65, 99-105.
- Charfi, W., Chaabane, M., Mhiri, H., Bournot, P., 2018, "Performance evaluation of a solar photovoltaic system", *Energy Reports* 4, 400-406.
- Ghazi, S., Sayigh, A., Ip, K., 2014, "Dust effect on flat surfaces—A review paper", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 33, 742-751.
- Gholami, A., Alemrajabi, A. A., Saboonchi, A., 2017, "Experimental study of self-cleaning property of titanium dioxide and nanospray coatings in solar applications", *Solar Energy* 157, 559-565.
- He, G., Zhou, C., Li, Z., 2011, "Review of Self-Cleaning Method for Solar Cell Array", *Procedia Engineering* 16, 640-645.
- Kaldellis, J.K., Kapsali, M., 2011, "Simulating the dust effect on the energy performance of photovoltaic generators based on experimental measurements", *Energy* 36, 5154-5161.
- Kalogirou, S. A., Agathokleous, R., Panayiotou, G., 2013, "On-site PV characterization and the effect of soiling on their performance", *Energy* 51, 439-446.
- Maghami, M. R., Hizam, H., Gomes, C., Radzi, M. A., Rezadad, M. I., Hajighorbani, S., 2016, "Power loss due to soiling on solar panel: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 59, 1307-1316.
- McGehee, M. D., 2013, "Fast-track solar cells", *Nature* 501, 323-325.
- Nakazaki, J., Segawa H., 2018, "Evolution of organometal halide solar cells", *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 35, 74-107.
- Nandal, V., Kumar, R., Singh, S. K., 2018, "Solar photovoltaic modeling and simulation: As a renewable energy solution", *Energy Reports* 4, 701-712.
- Saidan, M., Albaali, A. G., Alasis, E., Kaldellis, J. K., 2016, "Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment", *Renewable Energy* 92, 499-505.
- Waqas, A., Ji, J., Xu, L., Ali, M., Alvi, Z. J., 2018, "Thermal and electrical management of photovoltaic panels using phase change materials—A review", *Renewable and Sustainable Energy Review* 92, 254-271.

SOIL CORROSION PROTECTION BY NICKEL ELECTROPLATING

¹Ebru SARALOĞLU GÜLER

¹Baskent University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 06790 Ankara, TURKEY

¹esguler@baskent.edu.tr

(Geliş/Received: 18.02.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 08.05.2019)

ABSTRACT: The corrosion exposure of steels is a common case. The aim of this study is to decrease corrosion rate in soil that is especially critical in submerged steel pipes by nickel electroplating. Nickel electroplating is conducted at two current densities of 1.5 A/dm² and 4 A/dm². It is revealed that the hardness values of the steels that are plated at low current density (1.5 A/dm²) are higher than that of the ones that are plated at high current density (4 A/dm²). The soil corrosion tests were carried out with the electroplated specimens at 1.5 A/dm² to preserve the hardness. Both electroplated and un-plated steel specimens were hold for 624 hours in the soil solution prepared in the laboratory. The soil corrosion behavior of nickel electroplated steels has not been studied in literature. The cell potentials are measured by using Cu-CuSO₄ reference electrode. The corrosion rates for the un-plated and plated specimens are calculated 5.7 and 1.4 µm/year, respectively. Electroplating the pipes and measuring pipe to soil potentials in situ applications can be suggested for future research.

Key Words: Corrosion, Electroplating, Hardness, Vickers indentation, Pipe to soil potential.

Nikel Elektro Kaplama ile Toprak Korozyonuna Karşı Koruma

ÖZ: Çeliklerin korozyona uğraması yaygın bir durumdur. Bu çalışmanın amacı, özellikle gömülü çelik borularda kritik olan korozyon hızının nikel elektro kaplama ile azaltılmasıdır. Nikel kaplama, 1.5 A/dm² ve 4 A/dm² olmak üzere iki akım yoğunluğunda yapılmıştır. Düşük akım yoğunluğunda (1.5 A/dm²) kaplanan çeliklerin sertlik değerleri yüksek akım yoğunluğunda (4 A/dm²) kaplananlarından daha yüksektir. Elektro kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin ikisi de laboratuvarında hazırlanan bir toprak çözeltisinde 624 saat bekletilmiştir. Nikel kaplanmış çeliklerin topraktaki korozyon davranışları literatürde çalışılmamıştır. Hücre potansiyelleri Cu-CuSO₄ referans elektrot kullanarak ölçülmüştür. Kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin korozyon hızları sırasıyla 5.7 ve 1.4 µm/yıl olarak hesaplanmıştır. Boruları elektro kaplama ve borudan toprağa potansiyelleri yerinde ölçme uygulamaları gelecek çalışmalar için önerilebilir.

Anahtar Kelimeler: Korozyon, Elektro kaplama, Sertlik, Vickers indentasyon, Boru toprak potansiyeli.

INTRODUCTION

The corrosion of buried steel pipes is a well-known problem. There are several methods to protect steels from corrosion. The main prevention methods are covering, coating the steel pipe, sacrificing other anodes like magnesium, applying electrical potential that will reverse the flow of current from the pipe. Despite using sacrificial Mg anode is effective, this method is not economical. Bituminous coatings are economical way to protect steel pipes but this time continuity and water adsorption problems arise that led to cracking and flow under pressure ("Underground Corrosion Part 2: Behaviour of Protective Coatings in Soils," 1958).

There are many methods for coating such as hot dip, chemical vapor deposition, physical vapor deposition, sputtering and electrochemical deposition (Davis, 2001). Vapor deposition is more expensive than electroplating. Moreover, amorphous like interfaces can be revealed by vapor deposition techniques and it is the most time consuming process among other deposition techniques (Paunovic & Schlesinger, 2006). In addition, sputtering requires a vacuum system that increases the cost of the process (Nguyen & Wereley, 2013; Paunovic & Schlesinger, 2006). The electrochemical deposition comes into prominence due to its advantages. Various electroplating materials were studied to observe the effect on the corrosion rate in different mediums. Nickel and nickel alloys are preferred to deposit on surfaces in order to achieve improved corrosion and wear resistance (Schlesinger & Paunovic, 2010). The alloys studied and their test mediums are nickel-cobalt alloy electroplating in NaCl solution (Vaezi, Sadmezhaad, & Nikzad, 2008), nickel electroplating in supercritical CO₂ fluid at atmospheric pressure (Benea, Bonora, Borello, & Martelli, 2001), Ni-SiC composite electroplating in 0.5 M NaCl (Vaezi et al., 2008) and in 0.5 M Na₂SO₄ (Benea et al., 2001), Ni-Al₂O₃ coating in 0.5 M solution of Na₂SO₄ (Szczygiel & Kołodziej, 2005). Soil corrosion comes forward when the corrosion of the buried steel pipe is considered. The main parameters in the soil that determine corrosion rate of the buried steel pipes are the content of the moisture and dissolved salts that determine the conductivity (Davis, 2001). In addition, the degree of aeration and pH of the soil can also be listed (Baboian, 2005). Even stainless steels suffer from the high acidity (low pH) and chloride of the soil (Baboian, 2005). Soil samples can be both obtained from a specific location originally or prepared in laboratory during soil corrosion tests ("G 162 Standard Practice for Conducting and Evaluating Laboratory Corrosions Tests in Soils," 1999). The major constituents in the original soils are K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ [10]. The reagents that present in the simulated soil solutions are KCl, NaHCO₃, CaCl₂.2H₂O, MgSO₄.7H₂O (Antunes de Sena, Bastos, & Platt, 2012).

The effect of corrosion protection of the coated sample can be revealed by corrosion tests. The tests can be conducted in outdoor applications, field tests or in the laboratory, accelerated tests like salt spray tests, electrochemical tests (Davis, 2001). Potentiodynamic polarization technique is the most common method among electrochemical tests (Benea et al., 2001; Vaezi et al., 2008). In addition, the degree of the corrosion in a buried steel pipe in soil is determined by measuring the pipe to soil potential (Ahmad, 2006).

In this study, the corrosion behavior of the nickel electroplated steel in soil was studied since there has not been any investigation regarding this. In addition, different electrochemical method was used by measuring the pipe to soil potential. The experiments were conducted in the laboratory but the method can easily be used in situ applications.

EXPERIMENTAL PROCEDURE

Nickel electroplating

Nickel electroplating was performed in an electroplating cell consisting of the steel that will be plated, nickel anode, conducting cables plugged to power source. The nickel electroplating process was conducted at two current densities, 1.5 A/dm² and 4 A/dm² but the thickness of the coating was kept constant at 10 μm. The specimens were hold for 34 and 13 minutes in the electroplating bath when the current densities were set to 1.5 A/dm² and 4 A/dm² respectively (Davis, 2000; Paunovic & Schlesinger, 2006). The nickel plating medium was Watts bath that includes 300 g nickel sulfate, 60 g nickel chloride and 40 g boric acid in 1-liter water. In addition, additives were incorporated such as 10 g carrier, 4 g leveler, 1 g wetting agent and 1.1 g brightener. Wetting agents were added to hinder trapped air and hydrogen bubbles in the coating (Davis, 2000). The aim of the leveler addition was to obtain smoother surfaces (Davis, 2000).

Hardness

The specimens were subjected to hardness tests after electroplating. The hardness of the un-plated steel specimen was also recorded in the same conditions to make a comparison. Micro hardness measurements were carried out by nano-micro mechanic test device to measure the coating thickness. Nano indenter was chosen to hinder the indenter to pass through the coating to the matrix. The load range of the nano-indenter was 0.1mN – 400mN that correspond to minimum and maximum depth, respectively. Three hardness values were obtained from each specimen. The representative average values were calculated.

Laboratory soil preparation

Soil resistivity (ohm-cm) is inversely proportional with the corrosion rate since it expresses the ability of Fe ions to travel from the corrosion spot (Chaker & Palmer, 1989; Fu et al., 2013) Increase in the soil resistivity increases the pipe to soil potential (Baboian, 2005). Therefore, soil type is a very important parameter that has to be considered. For instance, despite the chloride ion which is a constituent of soil makes the effect on the corrosion rate difficult to analyze, the humidity of the soil has an increasing effect on the corrosion rate (White, 1992). Moreover, pH of the soil is another important criterion. It can be concluded that decrease in the pH value has an increasing effect on the corrosion rate (Chaker & Palmer, 1989). In this study, the soil was kept constant to eliminate the effects of soil properties and the soil constituents used in the experiment (Table 1) were determined (Fan et al., 2011). Four types of original soil samples were analyzed and their constituents, pH values, humidity levels, conductivities were listed in the research (Fan et al., 2011). The one with the highest humidity to have increased rate of corrosion that has a resistivity of 314.5 Ω .m is chosen among these soil types (Fan et al., 2011). Glass container for the soil was used to be resistant to the soil environment (“G 162 Standard Practice for Conducting and Evaluating Laboratory Corrosions Tests in Soils,” 1999). The test was carried out at room temperature since the effect of the temperature is not studied (“G 162 Standard Practice for Conducting and Evaluating Laboratory Corrosions Tests in Soils,” 1999).

Table 1. Directional Motion Displacement of Robot

Ions	mg/kg
K ⁺	43.2
Na ⁺	42.7
Ca ²⁺	1119.9
Mg ²⁺	93.4
Cl ⁻	7.5
NO ₃ ⁻	5.4
SO ₄ ²⁻	12.2

Corrosion rate

Both of the un-plated and the electroplated specimens (1.5 A/dm²) connected to a reference electrode were buried in the prepared soil for 26 days. The potential was measured against a reference half-cell and the data can be used to obtain corrosion rate according to Faraday’s Law assuming that all the current that passes through the system is due to the corrosion (“G 162 Standard Practice for Conducting and Evaluating Laboratory Corrosions Tests in Soils,” 1999). The measurements were conducted by connecting the negative end of the voltammeter to the steel pipe and the positive end to the reference

electrode that is Cu- CuSO₄ half cell (Ahmad, 2006). The connection of the system that was used in this experiment is in Figure1.

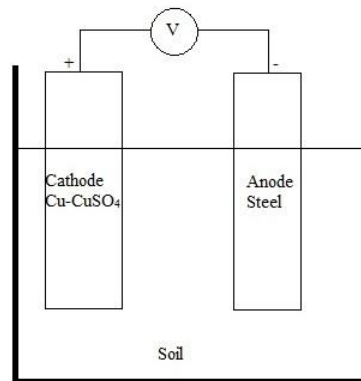


Figure 1. The connection of the Cu-CuSO₄ reference electrode and steel specimen to the voltmeter

The oxidation and the reduction reactions that occur at the anode and the cathode, respectively and the half-cell potentials are given in Table 2 (Stansbury & Buchanan, 2000). The cell potential is the summation of the two half cells which is -0.78V for the cell reaction.

Table 2. Standard aqueous half-cell potentials (Stansbury & Buchanan, 2000)

Electrode Reaction	E ⁰ (V)	Oxidation / Reduction	Electrode Reaction	E ⁰ (V)
Fe → Fe ²⁺ + 2e ⁻	- 0.44	Anode	Fe → Fe ²⁺ + 2e ⁻	- 0.44
Cu → Cu ²⁺ + 2e ⁻	0.34	Cathode	Cu → Cu ²⁺ + 2e ⁻	0.34

Another way to detect the corrosion rate is measuring the mass loss during the exposure time that can be related to the corrosion rate. According to ASTM G1-03 corrosion rate equation is given by the below equation ("G1-03 Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens," 2011).

$$\text{Corrosion rate} = (K \times \Delta m) / (A \times t \times D)$$

("G1-03 Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens," 2011)

where:

K: a constant = $8.76 \times 10^7 \mu\text{m}/\text{year}$ (micrometers per year)

Δm : mass loss (g)

A: area (cm²)

t: time of exposure (hours)

D: density = 8.92 g/cm³

RESULTS AND DISCUSSION

Nickel electroplating

The microstructures of the nickel electroplated steels at two current densities, 1.5 A/dm² and 4 A/dm² are given in Figure 2, respectively. The specimens were prepared with Metcon grinder, polisher

and mounting press prior to the etching process by nital (100mL ethanol + 8mL nitric acid). According to Figure 2.a, the coating thickness is almost 10 μm as expected however the deposit thickness is a little bit less than 10 μm in Figure 2.b. This may stem from the difference between throwing powers. It is known that throwing power is increased by $\sim 38\%$ when the current density is decreased from 4 to 1 A/dm^2 in various plating solutions (Schlesinger & Paunovic, 2010).

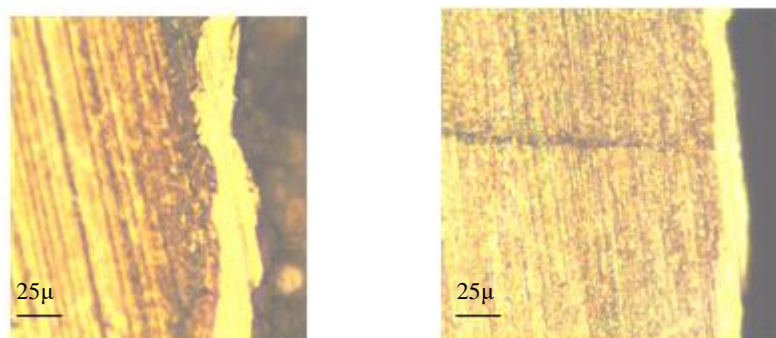


Figure 2. Optical micrographs of the nickel electroplated specimens at current densities of
a. 1.5 A/dm^2 b. 4 A/dm^2

Hardness

As it can be seen, nickel plating has a decreasing effect on the hardness of the steel (Table 3). The hardness values for semi bright and commercial bright nickel deposits have hardness values of 300 HV and 600 HV respectively (Dennis & Such, 1986). The hardness can be controlled by the electroplating parameters (Dennis & Such, 1986). Current density value at which the electroplating carried on is one of the parameters that affect the hardness of the deposit. In addition, the hardness values decrease with an increase in the current density of the electroplating at room temperature (Banovic, Barmak, & Marder, 1998; Dennis & Such, 1986). It was observed that the increase in the current density leads to a decrease in the hardness also in composite coatings (Bahrololoom & Sani, 2005). Table 3 shows that when the plating current density decreased from 4 to 1.5 A/dm^2 , the average hardness values increased 481.47 HV to 548.02 HV. The hardness of the underground steel pipes is preferred to be high so the corrosion experiment was continued with the specimen electroplated at 1.5 A/dm^2 .

Table 3. Vickers nano hardness values of the un-plated and the plated specimens at 1.5 and 4 A/dm^2 current densities

Measurements	Un-plated (HV)	Plated at 1.5 A/dm^2 (HV)	Plated at 4 A/dm^2 (HV)
1	616.72	550.23	415.27
2	665.63	550.23	521.38
3	604.65	546.80	507.78
Average	629.00	548.02	481.47

Pipe to soil potential

The potential of the steel pipe to a copper sulphate reference electrode is measured as 0.76 V in unplated and 0.58 V in the plated specimen (Table 4). The reading of the voltmeter must be 0.78 V theoretically according to the above calculations. There is a decrease in the cell potential when the steel

is electroplated. The drop in the voltage stems from the difficulty of the current to flow meaning that the corrosion is diminished.

In addition, the potential values of the ferrous pipe respect to copper sulphate reference electrode measured in different soils which have low (500-1000 ohm-cm), medium (1000-10000 ohm-cm) and high resistivity (10000-100000 ohm-cm) (Calhoun, 1962). It is found that when the measured voltages (negative) are nearly 0.5 – 0.6 V, the medium is called mildly corrosive however when the voltage values increase up to 0.6 V or higher, the medium is noted as corrosive in the soil that has medium resistivity (Calhoun, 1962). Therefore, it can be concluded that the corrosivity is decreased by electroplating. The model that gives the relation between corrosion rate and voltage measurements is developed in the regression analysis part.

Table 4. The voltammeter readings in the system for electroplated and un-plated steel specimens

Specimen	Voltammeter reading (V)
Un-plated	-0.76
Electroplated	-0.58

Corrosion rate

The mass loss (Δm) and the calculated corrosion rates for both nickel electroplated at 1.5 A/dm² and un-plated steel specimens for 26 days (624 hours) exposure time are given in Table 5. Nickel electroplating decreased the corrosion rate from 5.7 to 1.4 $\mu\text{m}/\text{year}$. This result revealed that the effect of nickel electroplating on the corrosion protection. According to the study of Barbalat et. al., the corrosion rate under cathodic protection was measured $\sim 10 \mu\text{m}/\text{year}$ when the exposed time was 34 days (Barbalat et al., 2012). The difference may stem from the high Cl⁻ content (11.7 mg/l) of the soil in the study of Barbalat et. al. which is an important parameter that increases the corrosivity of the soil (Barbalat et al., 2012). Moreover, it was found that carbon steel has a corrosion rate that is higher than 10 $\mu\text{m}/\text{year}$ whereas copper clad steel lower than 5 $\mu\text{m}/\text{year}$ after 30 days in the soil that has a Cl⁻ content of 8.72 mg/l and pH of 7.87 (Fan et al., 2011). The pH of the prepared soil is measured as 6 in this study. It is stated that the pH values for most of the soils are in the range of 5 – 8 generally that led to decrease in the soil reaction caused by pH and it is concluded that other factors have the important effect on the corrosion rate (Smith, 1981). The corrosion rate for the galvanized steel which is calculated as $7.4 \cdot 10^{-10} \text{ g}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$ in the study of Fu et. al. (Fu et al., 2013), is smaller than the corrosion rate that is calculated as $1.4 \cdot 10^{-7} \text{ g}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$ in this study. One cannot jump into the conclusion that galvanization is a better method for the protection of steel from soil corrosion than nickel coating. Because, the difference may also stem from the high resistivity of the soil which is equal to 579.6 $\Omega \cdot \text{m}$ in the study of Fu et. al (Fu et al., 2013). Therefore, healthy comparison of the corrosion rate cannot be done unless the soil resistivity values are equal.

Table 5. The corrosion rates for electroplated and un-plated steel specimens

Specimen	m_{initial} (g)	m_{final} (g)	Δm	A (cm ²)	Corrosion Rate ($\mu\text{m}/\text{year}$)	Corrosion Rate ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$)
Un-plated	42.336	42.332	0.004	11.03	5.7	$5.8 \cdot 10^{-7}$
Electroplated	42.051	42.050	0.001	11.39	1.4	$1.4 \cdot 10^{-7}$

Regression analysis

Simple linear regression analysis was applied to obtain a model that estimates the relation between pipet to soil potential and corrosion rate. Table 6 shows the dependent (y) and independent variables (x) that are corrosion rates calculated from the mass differences and the corresponding measurements for pipe to soil potentials, respectively. The linear regression model is given in equations 1, 2 and 3 consisting of intercept, b_0 ; slope, b_1 and error, e (Montgomery, Peck, & Vining, 2012). An error can be calculated by the least square method that must be minimized for the model work (Montgomery et al., 2012). Table 7 shows the calculated values for the coefficients and the error. Since the error is minimized the linear regression equation can be simply written as in Equation 5. In this experiment, the data was controllable but when data is huge then statistical programs may be used to obtain regression analysis.

Table 6. Dependent (Y) and independent variables (X) of the model

Y: Dependent (corrosion rate, $\mu\text{m}/\text{year}$)	X: Independent (pipe to soil potential, V)
5.7	0.76
1.4	0.58

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_i + e_i \quad \text{Equation 1}$$

$$\text{Equation 2}$$

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - (n \bar{x} \bar{y})}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - (n \bar{x}^2)}$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

$$\text{Equation 3}$$

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

$$\text{Equation 4}$$

$$\hat{Y} = -12.46 + 23.89X$$

$$\text{Equation 5}$$

CONCLUSION

The hardness of the steel preserved when it is electroplated at 1.5 A/dm². Higher current density decreased hardness. The corrosion rate of the steel specimens in the prepared soil is nearly four times higher than the electroplated specimens. It can be concluded that nickel electroplating is an effective way to protect buried pipes in soil. The linear regression model gives the relation between cell potential and corrosion rate.

REFERENCES

- Ahmad, Z., (2006), Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control. Elsevier Ltd. , 1–656.
- Antunes de Sena, R., Bastos, I. N., & Platt, G., (2012), "Theoretical and Experimental Aspects of the Corrosivity of Simulated Soil Solutions", ISRN Chemical Engineering, 2012, 1–6.
- Baboiian, R., (2005), "Corrosion Tests and Standards: Application and Interpretation", ASTM International.
- Bahrololoom, M. E., & Sani, R., (2005), "The influence of pulse plating parameters on the hardness and wear resistance of nickel-alumina composite coatings", Surface and Coatings Technology, 192, No.2–3, 154–163.

- Banovic, S. W., Barmak, K., & Marder, A. R., (1998), "Microstructural Characterization and Hardness of Electrodeposited Nickel Coatings from a Sulphamate Bath", *Journal of Materials Science*, 33, 639–645.
- Barbalat, M., Lanarde, L., Caron, D., Meyer, M., Vittonato, J., Castillon, F., Refait, P., (2012), "Electrochemical study of the corrosion rate of carbon steel in soil: Evolution with time and determination of residual corrosion rates under cathodic protection", *Corrosion Science*, 55, 246–253.
- Benea, L., Bonora, P. L., Borello, A., & Martelli, S., (2001), "Wear corrosion properties of nano-structured SiC-nickel composite coatings obtained by electroplating", *Wear*, 249, No.10–11, 995–1003.
- Calhoun, C. M., (1962), "Preliminary Fields Survey of Underground Corrosion", *Underground corrosion, cathodic protection, and required field measurements*.
- Chaker, V., & Palmer, J. D., (1989), "Effects of soil characteristics on corrosion".
- Davis, J. R., (2000), "Nickel, Cobalt, and Their Alloys", ASM International.
- Davis, J. R., (2001), *Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance*. Ohio: ASM International.
- Dennis, J. K., & Such, T. E., (1986), *Nickel and Chromium Plating*, Butterworth & Jo. England.
- Fan, X., Wang, J., Zhou, M., Huang, S., Wang, Y., & Dou, P., (2011), "Laboratory soil corrosion test of steel grounding materials", *7th Asia-Pacific International Conference on Lightning*, 706–710.
- Fu, J., Pei, F., Zhu, Z., Tan, Z., Tian, X., Mao, R., & Wang, L., (2013), "Influence of moisture on corrosion behaviour of steel ground rods in mildly desertified soil", *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 60, No.3, 148–152.
- G 162 Standard Practice for Conducting and Evaluating Laboratory Corrosions Tests in Soils, (1999), *Annual Book of ASTM Standards*, 1–4.
- G1-03 Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens, (2011), *Annual Book of ASTM Standards*, 1–9.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G., (2012), *Introduction to Linear Regression Analysis*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Nguyen, N., & Wereley, S. T., (2013), "Fundamentals and applications of microfluidics", *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53, No.9, 1689–1699.
- Paunovic, M., & Schlesinger, M., (2006), *Fundamentals of Deposition*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Schlesinger, M., & Paunovic, M., (2010), *Modern Electroplating*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Smith, C. A., (1981), "Soil in the Corrosion Process", *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 28, No.2, 4–8.
- Stansbury, E. E., & Buchanan, R. A., (2000), "Fundamentals of Electrochemical Corrosion - Ele Eugene Stansbury, Robert Angus Buchanan - Google Books", ASM International.
- Szczygieł, B., & Kołodziej, M., (2005), "Composite Ni/Al₂O₃ coatings and their corrosion resistance", *Electrochimica Acta*, 50, No.20, 4188–4195.
- Underground Corrosion Part 2: Behaviour of Protective Coatings in Soils", (1958), *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 5, No.2, 45–56.
- Vaezi, M. R., Sadrnezhad, S. K., & Nikzad, L., (2008), "Electrodeposition of Ni-SiC nano-composite coatings and evaluation of wear and corrosion resistance and electroplating characteristics", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 315, No.1–3, 176–182.
- White, B. S., (1992), "Influence of Humidity on Corrosion Rate", *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 39, No.8, 1–4.

İNŞAAT ATIKLARININ YERALTI MADENİ ÜRETİM BOŞLUKLARINDA DOLGU MALZEMESİ OLARAK KULLANIMI

¹Tekin YILMAZ, ²Bayram ERÇIKDI, ³Ferdi CİHANGİR

¹Abdullah Gül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği, Kayseri,
TÜRKİYE

^{2,3}Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon, TÜRKİYE

¹tekin.yilmaz@agu.edu.tr, ²bercikdi@ktu.edu.tr, ³cihangir@ktu.edu.tr

(Geliş/Received: 11.03.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 09.05.2019)

ÖZ: Bu çalışmada sülfürlü atık yerine ikame olarak %10, %30 ve %50 oranlarında inşaat atığı (İA) kullanılarak hazırlanan çimentolu macun dolgu (ÇMD) numunelerinin 3-28 gün boyunca tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) ve 28 gün sonunda porozite (MIP) testleri yapılarak İA'nın macun dolgu malzemesi olarak kullanımı araştırılmıştır. Kontrol numuneleri %7,5 ve %8,5 bağlayıcı oranında hazırlanırken, İA ikameli ÇMD numuneleri %7,5 çimento oranında hazırlanmıştır. Bulgular, %10 İA ikameli ÇMD numunelerinin %7,5 ve %8,5 bağlayıcı oranında hazırlanan kontrol numunelerine kıyasla daha yüksek TEBD ve daha düşük porozite üretirken, daha yüksek oranlarda (%30-50) İA kullanımının dolgunun dayanım ve mikroyapı performansını olumsuz etkilediğini göstermiştir. Ayrıca, 1,0 m³ ÇMD üretiminde bağlayıcı oranı %7,5'e düşürülüp atık malzeme yerine %10 İA ikame edildiğinde %13,22 oranında bağlayıcı tasarrufu sağlanmıştır. Sonuç olarak, İA'nın yeraltı üretim boşluklarında ÇMD malzemesi olarak kullanılabilirliği ve yerüstünde oluşabilecek toz, görüntü kirliliği ve depolama alanı yetersizliği vb. problemlerin ortadan kaldırılabileceği/azaltılabileceği öngörülmüştür.

Anahtar kelimeler: İnşaat Atığı, Sülfürlü Atık, Basınç Dayanımı, Porozite, Çimentolu Macun Dolgu.

Utilisation of Construction and Demolition Waste as Backfill Material in Underground Mine Openings

ABSTRACT: In this study, cemented paste backfill (CPB) samples were prepared using the construction and demolition waste (CDW) at 10, 30 and 50 wt.% of replacement ratios to sulphide mine tailings. The unconfined compressive strength (UCS) and porosity (MIP) tests of these samples were practiced at 3-28 days and only 28 days, respectively and the utilization of CDW as paste backfill material were investigated. CPB samples of control were prepared at two different binder dosage (7.5 and 8.5 wt.%), whilst, the other samples substituting CDW were produced at cement dosage of 7.5 wt.%. Findings demonstrated that CPB samples having 10 wt.% CDW produced higher UCS and lower porosity than control samples produced at those binder dosage, whilst, the utilisation of higher replacement ratios of CDW (30-50% byweight) adversely affected the strenght and microstructure performances of paste backfill. When 10 wt.% CDW material to sulphide tailings was also replaced to produce 1.0 m³ CPB at 7.5 wt.% of binder dosage, the binder saving of 13.22% was obtained. As a conclusion, it was foreseen that the CDW can be utilized as CPB material in stopes of underground mine and the problems as dust, visual pollution and inadequancy of storage site etc. which may be occurred in surface can be eliminated or minimised.

Keywords: Construction and Demolition Waste, Sulphide Tailings, Compressive Strength, Porosity, Cemented Paste Backfill.

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ekonomik servis ömrünü tamamlayan yapıların yıkılmasının yanında, kentsel dönüşüm faaliyetleri ve deprem gibi doğal afetler sonucunda büyük miktarlarda inşaat atığı (İA) açığa çıkmaktadır (Tabsh ve Abdelfatah, 2009). Genel olarak beton, tuğla, harç, seramik, kum, çakıl, metal, plastik, odun, moloz vb. malzemeleri içeren İA, %80 oranında beton, seramik, harç ve tuğladan oluşmaktadır (Özalp ve diğ., 2016). Jones ve Çetin (2017) Amerika'da her yıl 200 milyon ton inşaat atığı çıktığını ve bunun %50'sinin tekrar kullanıldığını ifade etmiştir. Avrupa Birliği'nde (AB) her yıl açığa çıkan katı atıkların %25-30'unun inşaat atığı olduğu ve bunun da %10-90 aralığında geri dönüşümünün sağlandığı ifade edilmiştir (Dominguez ve diğ., 2016). Benzer şekilde Özalp ve diğ. (2016) AB bünyesinde bulunan 27 ülkede yılda 531 milyon ton İA'nın oluştuğunu, bunun %46'sının geri kazanıldığını, Danimarka, Estonya ve Hollanda gibi ülkelerde geri kazanım oranının %90'ların üzerinde olduğunu, Portekiz, Yunanistan, İtalya ve İspanya gibi ülkelerde ise bu oranın %5'ler seviyesinde kaldığını belirtmiştir (Çizelge 1). Karaca (2012) 2008-2012 yılları arasında İstanbul'da İA geri dönüşüm tesislerinden 0-12 mm, 12-23 mm ve 22-38 mm boyut kategorisinde toplam 300 bin ton geri kazanılmış agrega (GKA) malzemesi temin edildiğini ve GKA'nın yaklaşık %68'inin beton, %20'sinin harç parçaları, %5'inin tuğla kırığı, %4'ünün de fayans, karo ve mermer kırıklarından oluştuğunu ifade etmiştir. Buna ek olarak, Araştırmacı sadece İstanbul'da 2010-2013 yılları arasında toplam kayıt altına alınan 163 milyon ton İA'nın açığa çıktığını belirtmiştir.

Çizelge 1. AB ülkelerinde açığa çıkan İA ve geri dönüşüm oranları (European Commission, 2011; Özalp ve diğ., 2016)

Table 1. The amount of CDW generated and recycling rates in EU countries (European Commission, 2011; Özalp ve diğ., 2016)

Ülke	İA*	Geri dönüşüm oranı (%)	Ülke	İA*	Geri dönüşüm oranı (%)
Danimarka	5,27	94	Malta	0,8	0
Estonya	1,51	92	Hollanda	23,9	98
Finlandiya	5,21	26	Polonya	38,19	28
Fransa	85,67	45	Portekiz	11,42	5
Almanya	72,40	86	Romanya	21,71	0
Yunanistan	11,04	5	Slovakya	5,38	0
Macaristan	10,12	16	Slovenya	2,00	53
İrlanda	2,54	80	İspanya	31,34	14
İtalya	46,31	0	İsveç	10,23	0
Letonya	2,32	46	İngiltere	99,10	75
Litvanya	3,45	60	AB-27	531,38	46
Lüksemburg	0,67	46	*milyon ton		

Benzer şekilde, ülkemizde devam etmekte olan kentsel dönüşüm projeleri kapsamında eski yapıların yıkımı sonucunda büyük miktarlarda (yıllık 20 milyon ton) İA üretilmektedir. 2018 yılı başına kadar sadece Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 129.307 eski ve/veya riskli yapı yıkılmış ve gelecek 15 yıl içerisinde yıkılmış yapı miktarının 7,5 milyon olabileceği tahmin edilmektedir (Yılmaz ve diğ., 2018). Çalışmanın gerçekleştirildiği Trabzon'da son 5 yıl içerisinde 4 kentsel dönüşüm projesi (Erdoğan, Pelitli, Bahçecik ve Çömlekçi) kapsamında toplam 1288 eski bina yıkılmıştır.

Mevcut yerüstü depolama alanlarının yetersiz olması, içme sularının ve atmosferin kirlenmesi, toz ve görüntü kirliliği, yeni yapılar için gerekli agrega ihtiyacının karşılanamaması ve taşocaklarının şehir merkezlerine uzak mesafede olması gibi nedenlerden dolayı inşaat atıklarının beton, asfalt ve altyapı malzemesi olarak yeniden kullanımına ve geri kazanılmasına yönelik yapılan araştırmalar giderek artmaktadır. Bazı araştırmacılar, inşaat atıklarından GKA ile hazırlanmış oldukları betonun basınç dayanımını inceledikleri çalışmalarında normal agregalı betona kıyasla %10-25 (Tabsh ve Abdelfatah, 2009) ve %25-40 (Katz, 2003) oranlarında dayanım azalması meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Evangelista ve Brito (2007) doğal agrega yerine %30'a kadar İA'dan GKA kullanımının betonun mekanik özelliklerinde önemli bir değişikliğe neden olmadığını belirtmiştir. Benzer şekilde Thomas ve diğ. (2013) %20 oranında GKA ikamesinin betonun dayanımında önemli bir değişiklik oluşturmadığını, ancak ikame oranının artması durumunda karşılaşılan dayanım kaybını engellemek için su/çimento oranının azaltılması gerektiğini belirtmiştir. Bir başka çalışmada, İA'dan elde edilen agrega ile hazırladıkları beton numunelerinin uzun dönem (5 yıl) mekanik performanslarını ve mikroyapısını inceleyen araştırmacılar, İA içeren betonun 5 yıl sonundaki basınç dayanımının normal agregalı betona kıyasla daha düşük olduğunu, buna karşın en düşük porozitenin İA içeren beton numunelerinde elde edildiğini bildirmişlerdir (Kou ve diğ., 2011).

Kentsel dönüşüm sebebiyle ülkemizde meydana gelen bu atıkların yeniden değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmalar oldukça yeni olmakla birlikte son yıllarda giderek artmaktadır. Topçu ve Şengel (2004) doğal agrega ile ve doğal agrega yerine C14 beton kalitesine sahip silindirik beton numunelerini kırarak elde ettiği GKA malzemesini belirli oranlarda (%30, %50, %70 ve %100) doğal agrega yerine ikame ederek C16 ve C20 kalitesinde beton numuneleri hazırlamışlar ve GKA içeren beton numunelerinin doğal agrega ile hazırlanan C16 ve C20 sınıfı beton numunelerine kıyasla sırasıyla %33 ve %23,5 daha düşük dayanım ürettiğini gözlemlemişlerdir. İnşaat atıklarından elde edilen agregaların kullanılmasıyla beton üretimi yapılan bir başka çalışmada doğal agrega ile üretilen betona göre 28 günlük kür süresi sonunda %5,6-7,0 oranında daha düşük basınç dayanımı elde edildiği belirlenmiş ve araştırmacılar dayanımda meydana gelen düşüşü; geri dönüşüm agregasının daha zayıf olması, agreganın şekli ve tane boyut dağılımı ile ilişkilendirmişlerdir (Uygunoğlu ve diğ., 2014). Çakır (2014) ise doğal agreganın yerine ikame olarak %100 oranında GKA kullanarak hazırlanmış olduğu beton numunelerinin dayanımında %24 düşüş meydana geldiğini ve bunun GKA'nın düşük yoğunluğa ve yüksek poroziteye sahip olmasından kaynaklandığını ifade etmiştir. Özalp ve diğ. (2016) doğal agrega yerine ikame olarak %20, %30 ve %40 oranında İA'dan elde edilen agrega kullanarak hazırladıkları beton numunelerinde ikame oranına göre aynı oranlarda (%20, %30 ve %40) doğrusal artan şekilde basınç dayanımı düşüşleri elde etmişlerdir.

İnşaat atıklarının inşaat sektöründe kullanımına yönelik çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen madencilik endüstrisinde çimentolu macun dolgu (ÇMD) malzemesi olarak değerlendirilmesine yönelik araştırmalar oldukça yeni ve kısıtlıdır. Bazı araştırmacılar inşaat atıklarının asit nötralizasyon potansiyeline sahip olduğunu, sülfürlü atıkların/toprakların nötralizasyonunda kullanılabileceğini ve bu sayede AMD oluşumunu engelleyebileceğini/azaltabileceğini belirtmişlerdir (Engelsen ve diğ., 2009; Indraratna ve diğ., 2010; Chen et al., 2012; Bestgen ve diğ., 2016; Jones ve Çetin, 2017). Chen ve diğ. (2018) asidik özelliğe sahip (pH: 2,13) ince taneli fosfojips atıklarına ikame olarak %10-50 oranında İA (<3 mm) kullanımının macun dolgunun dayanım, reoloji ve mikroyapı özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar karışım içerisindeki İA miktarının artmasıyla karışımın katı oranının yükseldiğini ve %40'a kadar İA ikamesinin ÇMD'nin basınç dayanımını arttırdığını, %50 İA ikamesinin ise dayanım

kazanımında azalmaya sebep olduğunu belirtmişlerdir. Bunun dışında belirli miktardaki iri boyutlu (<3 mm) İA ikamesinin ÇMD karışımının tane boyut dağılımını iyileştirdiği ve bu sayede daha düşük poroziteli yapı oluşturduğu belirtilirken, %40'tan fazla İA ikamesinin tane boyut dağılımındaki gradasyonu olumsuz etkileyerek yüksek poroziteli macun dolgu oluşumuna sebep olduğu ve dayanım kazanımının azaldığı bildirilmiştir (Chen ve diğ., 2018).

Bu çalışmada, %7,5 ve %8,5 bağlayıcı oranında kontrol (%100 sülfürlü atık) ÇMD numuneleri ve %7,5 bağlayıcı oranında sülfürlü atık malzeme yerine üç farklı oranda (%10, %30 ve %50) öğütülmüş inşaat atığı ikame edilerek ÇMD numuneleri hazırlanmış ve erken kür süreleri (3, 7, 14 ve 28 gün) sonunda TEBD ve 28 gün sonunda porozite (MIP) testleri yapılarak inşaat atıklarının yeraltı madeninde cevheri alınmış üretim boşluklarında çimentolu macun dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR(EXPERIMENTAL STUDIES)

Malzeme Temini ve Ön Hazırlık(Material Supply and Preliminary Preparation)

ÇMD'nin ana bileşeni olan sülfürlü maden atığı (pirit atık); Kastamonu-Küre'de bulunan Eti Bakır işletmesi cevher hazırlama tesisi çıkışından, atık malzemeye belirli oranlarda ikame olarak kullanılan inşaat atığı; kentsel dönüşüm projeleri kapsamında Trabzon-Çömlekçi bölgesinde yıkılan yapılardan ve bağlayıcı olarak kullanılan CEM I 42,5R tipi Portland çimentosu; Aşkale Çimento Sanayii A.Ş. Trabzon Çimento Fabrikası'ndan temin edilerek Macun dolgu laboratuvarına getirilmiştir. İA malzemesi, içerisinde beton, tuğla, harç, seramik, kum, çakıl, vb. malzemeleri içerecek şekilde seçimli olarak alınmış ve istenmeyen malzemelerin (demir, odun, moloz vb.) alınmamasına özen gösterilmiştir.



Şekil 1.İA'nın beton-agrega (a), beton-tuğla-kiremit (b) ve harç-tuğla-beton (c) karışımı olarak sınıflandırılması, kırma (d), öğütme (e) ve karıştırıldıktan sonraki görünümü (f) (Yılmaz ve diğ., 2018)

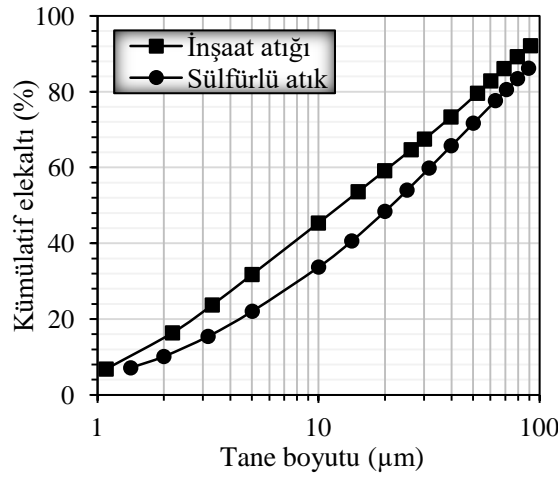
Figure 1.Classification of CDW as the mixture of concrete-aggregate (a), concrete-brick-tile (b) and mortar-brick-concrete (c), crushing (d), grinding (e) and the appearance after mixing (f)(Yılmaz ve diğ., 2018)

Büyük boyutlu (+50 cm) inşaat atığı; beton-agrega karışımı (Şekil 1a), beton-tuğla-kiremit karışımı (Şekil 1b) ve harç-tuğla-beton karışımı (Şekil 1c) olarak sınıflandırılmış ve öncelikle çeneli kırıcı giriş açıklığına uygun olacak şekilde balyoz yardımıyla -10 cm boyutuna kırılmış, sonrasında ise çeneli kırıcıdan geçirilerek -2 mm boyutuna küçültülmüştür (Şekil 1d). Öğütme işleminden önce doğal neminin uzaklaştırılması için etüvde yaklaşık 50°C sıcaklıkta 36 saat kurutulan İA malzemeleri daha sonra bilyalı değirmende öğütmeye tabi tutularak 100 µm altına indirilmiştir (Şekil 1e). Boyut küçültme

işlemlerinden (kıırma ve öğütme) sonra her bir malzemeden eşit miktarda alınarak karıştırılmış ve homojen bir karışım elde edilmiştir (Şekil 1f).

Malzemelerin Karakterizasyonu(Characterization of Materials)

Deneyisel çalışmalarda kullanılan sülfürlü atık, inşaat atığı ve Portland çimentosu fiziksel, kimyasal ve mineralojik karakterizasyona tabi tutulmuştur. Malzemelerin tane boyut dağılımlarını belirlemek için tane boyutu ölçer cihazı (Malvern Mastersizer) kullanılmış ve gerçekleştirilen analizler sonucu sülfürlü atığın ve İA'nın sırasıyla ağırlıkça %48,41 ve %59,12 oranlarında şlam (<20 µm) malzeme içerdiği belirlenmiştir (Şekil 2). Şlam (<20 µm) malzeme miktarlarına göre malzemeler orta boyutlu (-20 µm: %35-60) ÇMD malzemesi sınıfında yer almaktadır. Malzemelerin özgül ağırlık ve özgül yüzey alanı testleri piknometre ve yüzey alanı ölçer cihazı ile yapılmıştır. Özgül yüzey alanı testi sonucuna göre inşaat atığının (6600 cm²/g) sülfürlü atığa göre (4440 cm²/g) daha fazla yüzey alanına sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2).



Şekil 2. İA ve sülfürlü atığın tane boyutu dağılımları

Figure 2. The grain size distribution of CDW and sulphide tailings

XRF ve gravimetrik yöntemle belirlenen kimyasal özellikler Çizelge 2'de verilmiştir. Sülfürlü atık ve İA'nın kimyasal bileşimlerine bakıldığında; atık malzemede baskın olarak demir (III) oksit (Fe_2O_3) ve silisyum dioksit (SiO_2) minerali bulunduğu ve atığın sülfür ($S=15,82$) içeriğinin yüksek olduğu görülürken, İA'nın ise; baskın olarak silisyum dioksit (SiO_2), alüminyum oksit (Al_2O_3) ve kalsiyum oksit (CaO) içerdiği belirlenmiştir. Atık malzemenin mineralojik bileşiminin belirlenmesi amacıyla X- ışınları difraktometre (XRD) cihazı kullanılmış ve atık bünyesinde baskın olarak pirit (%29,66) ve genel olarak silikat minerallerine (kuvars, albit, klorit vb.) rastlanmıştır. İnşaat atığında ise baskın mineral kuvars olmakla birlikte, az miktarda kalsit, albit, mika ve klorit minerallerine rastlanmıştır (Çizelge 2).

Numunelerin Hazırlanması(Preparation of Samples)

Macun dolgu karışımları sabit bir akışkanlıkta (19,05 cm slampta) ve sülfürlü atık yerine belirli oranlarda (ağırlıkça %10, %30 ve %50) İA ikame edilerek hazırlanmıştır. İA içeren numuneler %7,5 çimento oranında, kontrol numuneleri ise %7,5 ve %8,5 çimento oranlarında hazırlanmıştır. Macun dolgu karışımlarının hazırlanması sırasında, bağlayıcı malzeme (çimento) deneylerde kullanılan akışkanlık değerine karşılık gelen katı oranına göre hesaplanarak ilave edilmiş ve deneysel çalışma koşulları Çizelge 3'te detaylı olarak verilmiştir. ÇMD karışımı içerisine yeterli miktarda musluk suyu eklenerek karışımın arzu edilen akışkanlığa (kıvama) gelmesi sağlanmıştır. Sülfürlü atık, İA, çimento ve

sudan oluşan karışım, homojenleştirme işleminin sağlanması için 20,8 lt kapasiteye sahip mikserde (Univex SRMF 20) 105 devir/dk'lık dönme hızı kullanılarak 7 dakika boyunca karıştırılmıştır (Şekil 3a).

Çizelge 2. Atık malzeme, İA ve bağlayıcının fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri

Table 2. The physical, chemical and mineralogical properties of tailings, CDW and binder

Özellikler	AtıkMalzeme (%)	İA (%)	Portland Çimentosu (%)
Kimyasal Bileşim			
SiO ₂	31,89	54,19	21,02
Al ₂ O ₃	8,97	11,67	5,27
Fe ₂ O ₃	33,09	5,44	3,06
MgO	4,08	3,08	2,19
CaO	3,48	12,23	62,91
Serbest CaO	-	0,02	1,19
Kızdırma kaybı	16,10	8,80	3,60
Toplam	99,48	99,92	99,92
Sülfür içeriği (S ²⁻) (%)	15,82	-	-
Fiziksel Bileşim			
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3,37	2,60	3,12
Özgül yüzey alanı (cm ² /g)	4440	6600	4330
Mineralojik bileşim			
	Pirit	Kuvars	C ₃ S= 56,61
	Kuvars	Kalsit	C ₂ S= 13,77
	Albit	Albit	C ₃ A= 8,79
	Kalsit	Mika	C ₄ AF= 9,31
	Klorit	Klorit	

Çizelge3. ÇMD karışımları için kullanılan deneysel çalışma koşulları

Table 3. The experimental study conditions for CPB mixtures

Karışım Tipi	Malzeme Tipi (%)		Kati Oranı (%)		Bağlayıcı Oranı (%)	Slamp (cm)	Kür süresi (gün)
	Atık	İA	8,5	7,5			
Kontrol	100	0	73,70	73,48	7,5-8,5		3
%10 İA	90	10	-	73,63		19,05	7
%30 İA	70	30	-	73,30	7,5		14
%50 İA	50	50	-	72,60			28
Toplam numune sayısı							60



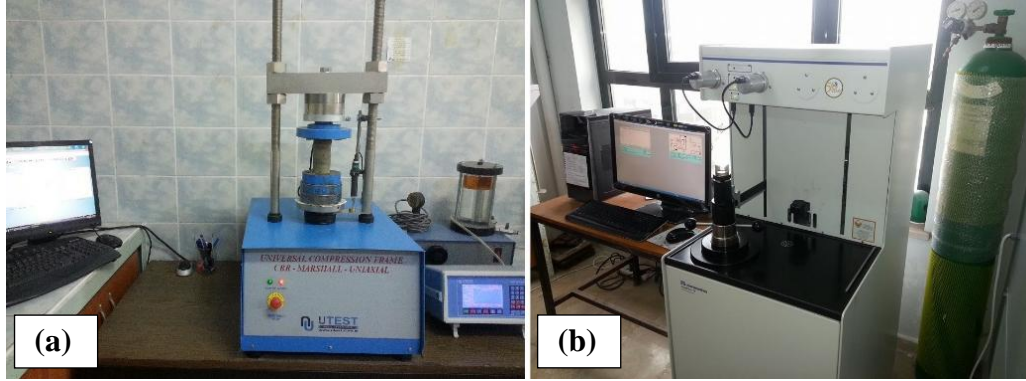
Şekil 3. Karışımların hazırlanmasında kullanılan mikser (a), numunelerin drenaj (b) ve kür işlemi

Figure 3. The blender used for the preparation of mixtures (a), the process of drainage (b) and curing of samples(c)

Hazırlanan ÇMD karışımı 5x10 cm (çap x boy) boyutlu ve alttan drenaj özelliğine sahip silindirik numune kalıplarına dökülmüştür. Yeraltı üretim boşluklarına yerleştirilen macun dolgu malzemelerindeki gibi serbest drenaj koşullarının sağlanabilmesi için numune kalıplarının alt tarafında delikler mevcut olup drenaj koşulları aynıdır. 5x10 cm boyutlu silindirik kalıplarda hazırlanan macun dolgu numuneleri içerisinde bulunan fazlalık suyun drene olması için 24 saat süre ile drenaj masalarında bekletilmiştir (Şekil 3b). Daha sonra numuneler önceden belirlenen kür süreleri (3, 7, 14 ve 28 gün) boyunca yeraltındaki kür koşullarını yansıtmayı amacıyla kür odasında yer alan ve yaklaşık %85 nem ve 20°C sıcaklığa sahip kür dolabında tamamen açık şekilde kür işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 3c).

2.4. Basınç Dayanımı ve Porozite (MIP) Testleri (Compressive Strength and Porosity (MIP) Tests)

TEBD testi öncesinde kalıptan çıkarılmış numunelerin alt ve üst yüzeyleri düzeltilmiş ve yüzeylerin paralelliği sağlanmıştır. Sonrasında, toplam 60 adet numunenin TEBD testi 3, 7, 14 ve 28 gün sonunda 50 kN yük kapasitesi bulunan bilgisayar kontrollü basınç ve deformasyon ünitesinde (UTEST) 1,0 mm/dk'lık yükleme hızı kullanılarak ASTM C 39 (2016) test standardına göre yapılmıştır (Şekil 4a). Her kür süresi için 3 adet numune kullanılmış ve bunların ortalaması alınmıştır.



Şekil 4. Basınç dayanımı (a) ve porozite (MIP) (b) testlerinde kullanılan ekipmanların görünümü
Figure 4. The appearance of apparatus used in the tests of compressive strength (a) and porosity (MIP) (b)

Porozite (MIP) testi için %7,5 ve %8,5 bağlayıcı oranında 2 adet kontrol numunesi ve %7,5 bağlayıcı oranında 3 adet İA ikameli numune olmak üzere 28 günlük kür süresi için toplam 5 adet numune (tahribatsız olarak) hazırlanmıştır. 28 günlük kür süresi tamamlandığında, numuneler 60 saat boyunca 50°C sıcaklığa sahip etüvde kurularak ağırlıklarının sabitlenmesi sağlanmış ve hemen ardından desikatöre yerleştirilerek soğutulmuştur. MIP testi için hazırlanmış numunelerin porozite analizleri ASTM D 4404-10 (2010) standardı çerçevesinde maksimum 60.000 psi (414 MPa) hidrostatik basınç özelliği bulunan cıvalı Porozimetre cihazı (Micromeritics Autopore IV 9410) ile yapılmıştır (Şekil 4b). MIP analizlerinde, Hg yüzey çekimi ve cıva-numune yüzeyleri arasındaki kontak açısı değerleri sırasıyla 0,485 N/m ve 130° olarak belirlenmiştir (Zheng ve diğ., 2016; Cihangir ve Akyol 2018).

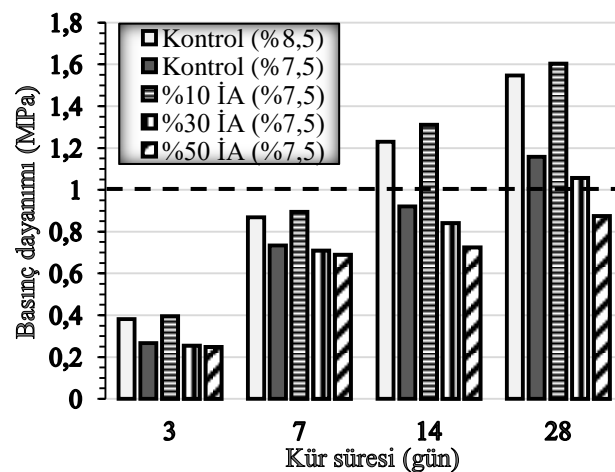
BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSION)

Basınç Dayanımının Değerlendirilmesi (Assessment of Compressive Strength)

Şekil 5, %7,5 ve %8,5 bağlayıcı oranında hazırlanan kontrol numuneleri ve %7,5 çimento oranında sülfürlü atık yerine %10, %30 ve %50 oranında ikame olarak öğütülmüş İA içeren numunelerin 3, 7, 14 ve 28 gün sonundaki TEBD sonuçlarını göstermektedir.

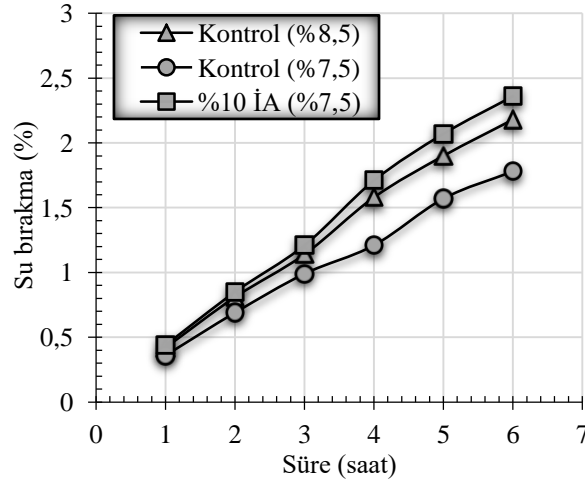
Tüm macun dolgu numunelerinin TEBD değerleri karışım özelliklerinden ve bağlayıcı oranından bağımsız olarak 28 gün boyunca artmıştır. Sülfürlü atık yerine ikame olarak inşaat atığı kullanımı değerlendirildiğinde; %10 İA ikameli ÇMD numunelerinin bağlayıcı oranından bağımsız olarak (%7,5 ve

%8,5) kontrol numunelerine kıyasla sırasıyla %19,4-48,0 ve %2,8-6,7 oranlarında daha yüksek basınç dayanımı ürettiği belirlenmiştir (Şekil 5). Elde edilen bulgularla uyumlu olarak, %7,5 bağlayıcı oranında hazırlanan %10 İA ikameli ÇMD karışımının katı oranının %8,5 bağlayıcı oranındaki kontrol karışımına kıyasla nispeten daha düşük olmasına rağmen sabit bir akışkanlıkta (19,05 cm slamp) ve bağlayıcının olmadığı durumdaki su bırakma verileri (Şekil 6), atık malzeme ile İA'nın kısmi yer değiştirmesi durumunda karışımın su tutma kapasitesinin azaldığını göstermiştir. Böylece daha ince tane boyutuna sahip İA taneleri iri atık taneleri arasını doldurarak karışımın aynı akışkanlıktaki su gereksiniminin azalmasını sağlamış ve dolayısıyla karışımın katı oranında artış, su/çimento oranında azalma meydana geldiğinden dayanım artışıyla sonuçlanan daha düşük poroziteli ve daha yoğun bir matriks oluşmuştur (Çizelge 3) (Ercikdi ve diğ., 2013; Yılmaz ve diğ., 2018). Bu çalışmayla uyumlu sonuçların elde edildiği bir başka çalışmada Zheng ve diğ.(2016) iri taneli atık malzemeye farklı oranlarda öğütülmüş kireçtaşı tozu (KT) ikame ederek hazırladıkları ÇMD numunelerinin dayanım, mikroyapı ve işlenebilirlik testlerini yapmışlar ve %10'a kadar yapılan KT ikamesinin daha ince taneli kireçtaşının iri atık taneleri arasını doldurmasından dolayı dolgunun dayanım ve işlenebilirlik performansını arttırdığını belirtmişlerdir. Buna karşın %30 İA içeren numuneler %7,5 ve %8,5 bağlayıcı oranlarında hazırlanan kontrol numunelerine kıyasla sırasıyla %3,5-8,6 ve %18,4-33,1 oranında daha düşük dayanım üretirken, %50 İA içeren numuneler %6,1-24,5 ve %20,7-43,5 oranında daha düşük TEBD üretmiştir (Şekil 5). Artan İA miktarıyla birlikte meydana gelen dayanım kayıpları; karışım içerisindeki ince taneli malzeme miktarının artmasından dolayı macun dolgu gradasyonunun kötüleşmesi ile ilişkilendirilebilir (Şekil2). Dolgu karışımının tane boyut dağılımının (gradasyonunun) bozulmasıyla ilişkili benzer sonuçların rapor edildiği başka bir çalışmada, Chen ve diğ. (2018) ince taneli fosfojips atıkları yerine daha iri boyutlu İA malzemesinden %10-50 oranında kullanarak ÇMD'nin dayanımına etkisini araştırmışlar ve karışım içerisindeki İA miktarının artmasıyla karışımın katı oranının yükseldiğini ve %40'a kadar İA ikamesinin macun dolgunun basınç dayanımını arttırdığını, %50 İA ikamesinin ise dayanım kazanımında azalmaya sebep olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuçların muhtemel sebebi olarak, İA'nın tane boyut dağılımı ve koagülasyon (katlaşma) özellikleri gösterilmiştir. %40'a kadar ikame edilen daha iri boyutlu İA, dolgu karışımının tane boyut dağılımını iyileştirirken, %40'tan fazla İA ikamesinin tane boyut dağılımındaki gradasyonu olumsuz etkileyerek yüksek poroziteli macun dolgu oluşumuna sebep olduğu ve bu yüzden dayanım kazanımının azaldığı bildirilmiştir.



Şekil 5. İnşaat atığı ikamesinin ÇMD'nin basınç dayanımına etkisi

Figure 5. Effect of CDW on the UCS of CPB



Şekil 6. Kontrol ve %10 İA içeren ÇMD karışımlarının zamana bağlı su bırakma değerleri

Figure 6. The time-depending water release values of control and 10 wt.% CDW of CPB mixtures

Bunlara ek olarak, %7,5 bağlayıcı oranında hazırlanan %10 İA içeren ÇMD numunelerinin %8,5 bağlayıcı içeren kontrol numunelerine kıyasla yaklaşık %7 oranında daha yüksek basınç dayanımı üretmesiyle bağlantılı olarak atık malzeme yerine %10 oranında İA'nın ikame olarak kullanımı sonucunda bağlayıcı tüketiminde önemli miktarda tasarruf sağlanmıştır. %100 oranında sülfürlü atık (kontrol) kullanılarak üretilen 1,0 m³ dolgu karışımı, %8,5 bağlayıcı oranında 130,0 kg çimento içerirken, %7,5 bağlayıcı oranına sahip dolgu karışımının %10 İA içermesi durumunda 112,82 kg çimento kullanılmış ve kontrol karışımına kıyasla %13,22 oranında tasarruf sağlandığı belirlenmiştir (Çizelge 4). Böylece, bağlayıcı sarfiyatının, ÇMD işletme maliyetlerinin yaklaşık %50-80'ini kapsadığı düşünülürse (Kesimal ve diğ., 2005; Yılmaz ve Guresci, 2017), bağlayıcı tüketiminde sağlanan tasarruf ile İA'nın boyut küçültme (kıırma ve öğütme) işlemleri sebebiyle ÇMD işletme maliyetlerinde meydana gelebilecek artış ortadan kaldırılabilir (Ercikdi ve diğ., 2013).

Çizelge 4. 1,0 m³ ÇMD karışımı için bağlayıcı maliyeti analizi

Table 4. The analysis of binder cost for CPB mixture of 1.0 m³

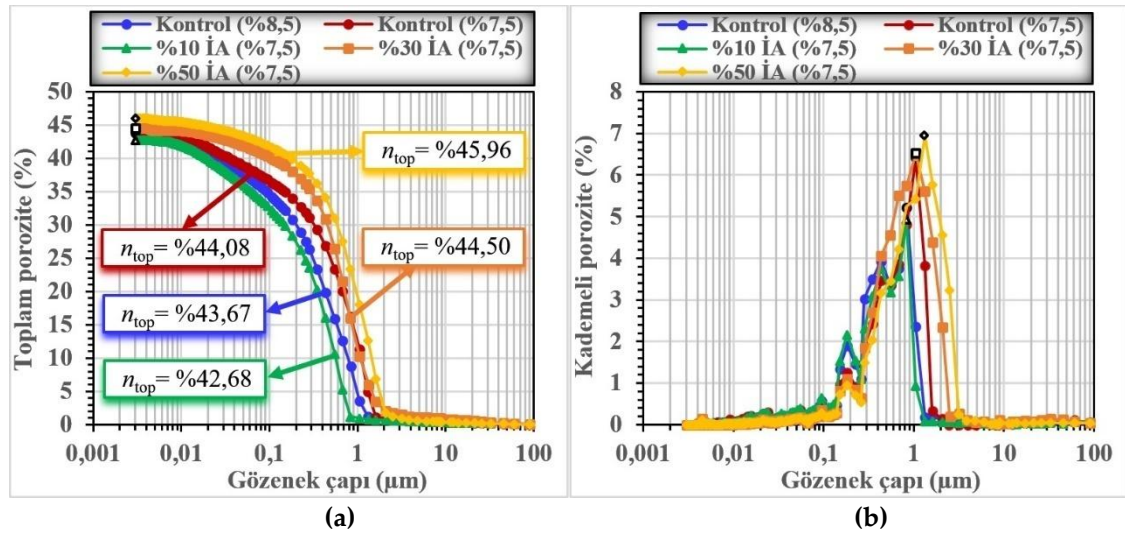
Özellikler	Karışım tipi	
	Kontrol	%10 İA
Katı oranı (%)	73,70	73,63
Akışkanlık (cm)	19,05	19,05
Birim hacim ağırlık (ton/m ³)	2,070	2,043
Bağlayıcı oranı (%)	8,5	7,5
Bağlayıcı miktarı (kg/m ³)	130,0	112,82
Bağlayıcı tasarrufu (%)		13,22

ÇMD uygulamasının kullanıldığı yeraltı maden işletmelerinde cevher üretiminin yapıldığı bölgelere (stope) komşu olan cevheri alınmış üretim açıklıklarına yerleştirilmiş olan dolgunun duraylılığını koruyarak yeraltında güvenli çalışma koşullarının tesis edilmesi ve üretim döngüsünün sorunsuz devam etmesi için gerekli olan basınç dayanımını (28 günde TEBD \geq 1,0 MPa) %50 İA içeren numuneler hariç tüm macun dolgu numunelerinin sağladığı belirlenmiştir (Şekil 5)(Yumlu, 2001).

Porozite (MIP) Sonuçlarının Değerlendirilmesi (Assessment of Porosity (MIP) Results)

İki farklı bağlayıcı oranında (%7,5-8,5) hazırlanan kontrol numunesi ve sülfürlü atık malzemeye belirli oranlarda (%10, %30 ve %50) İA ikame edilerek %7,5 çimento oranında hazırlanan ÇMD numunelerinin 28 günlük kür süresi sonunda gerçekleştirilen MIP testlerinden elde edilen toplam porozite (n_{top}) ve kademeli porozite sonuçları Şekil 7'de gösterilmiştir. Ayrıca, porozite testleri yapılan ÇMD numunelerinin gözenek boyut dağılımlarına ait teknik parametreler Çizelge 5'te verilmiştir.

Şekil 7 ve Çizelge 5'ten görüldüğü üzere; sülfürlü atık yerine yapılan %10 İA ikamesi macun dolgunun porozite gelişimine (toplam ve kademeli porozite) olumlu katkı sağlarken, daha yüksek oranlarda (%30 ve %50) İA ikamesinin tam tersine ÇMD'nin porozitesini arttırdığı belirlenmiştir. Farklı oranlarda (%10, %30 ve %50) İA ikamesi ile hazırlanan ÇMD numunelerinin porozite değerleri %8,5 ve %7,5 bağlayıcı oranına sahip kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığında; %10 İA numunesinin n_{top} değeri sırasıyla %2,27 ve %3,18 oranında düşerken, %30 ve %50 İA numunelerinin porozite değerleri sırasıyla %1,90-0,95 ve %5,24-4,26 oranlarında yükselmiştir (Şekil 7a ve Çizelge 5). Ayrıca, Şekil 7a ve b'den açıkça görüleceği üzere; %10 İA ikamesi ile macun dolgunun gözenek çapları küçülürken, %30 ve %50 İA ikameli numunelerde gözenek çaplarının büyüdüğü tespit edilmiştir. Düşük oranlarda (%10) İA ikamesinin porozite gelişimine yaptığı olumlu katkı, ince taneli İA'nın nispeten iri taneli atık malzeme içerisindeki boşlukları doldurmasıyla aynı akışkanlıkta katı oranının artması ve su/çimento oranının azalması sonucu gözenek yapısının iyileşmesi ve daha yoğun bir mikroyapı oluşması ile açıklanabilir (Ercikdi ve diğ., 2013; Zheng ve diğ., 2016; Yılmaz ve diğ., 2018).



Şekil 7.İA ikamesinin toplam (a) ve kademeli (b) poroziteye etkisi

Figure 7. Effect of CDW replacement on the total (a) and incremental (b) porosity

Porozite testine ait detaylı teknik parametrelerin (toplam porozite; n_{top} , orta boyutlu porozite; n_{Orta} , büyük boyutlu porozite; $n_{Büyük}$, eşik gözenek çapı; $d_{eş}$ ve kademeli porozite) gösterildiği Çizelge 5 incelendiğinde; toplam porozite değerleriyle örtüşen biçimde %8,5 ve %7,5 bağlayıcı oranına sahip kontrol numunelerinin $n_{Büyük}$ değerleri toplam porozitenin %86 ve %88'ini oluştururken %10 İA ikameli ÇMD numunesinin $n_{Büyük}$ değeri azalarak n_{top} değerinin %84'ünü kapsamıştır. Bununla birlikte hem gözeneklerin küçülmesine hem de porozitenin azalmasına işaret olarak gösterilebilen n_{Orta} değerlerine bakıldığında; %10 İA içeren ÇMD numunesinin n_{Orta} değeri kontrol numunelerine kıyasla %12-29 oranında artmıştır (Çizelge 5). Bu çalışmadaki bulgularla uyumlu olarak Zheng ve diğ. (2016) düşük oranda (%5) sülfür içeren atık malzemeye %10 ve %22,5 oranında öğütülmüş KT ikame ederek hazırlamış oldukları 28 günlük numunelerde $n_{Büyük}$ değerlerinin %20,4'ten sırasıyla %16,3 ve %15,6'ya düştüğünü belirlemişlerdir. Buna karşın daha yüksek oranda İA (%30 ve %50) ikameli ÇMD numunelerinde $n_{Büyük}$ değerleri artarken, n_{Orta} değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu durum, atık

malzemeye kıyasla nispeten daha fazla ince tane bulunduran İA'nın macun dolgu karışımının gradasyonunda kötüleşmeye sebep olmasıyla ilişkilendirilebilir.

Çizelge 5. MIP testine ait teknik parametreler

Table 5. The technical parameters of MIP test

Karışım Tipi	Bağlayıcı Oranı (%)	Kür Süresi (gün)	Toplam Porozite (n_{top} ; %)			$d_{eş}$ (μm)	Kademeli Porozite (%)
			n_{top}	n_{Orta}	$n_{Büyük}$		
Kontrol	8,5		43,67	6,08	37,59	0,836	5,21
Kontrol			44,08	5,27	38,81	1,051	6,40
%10 İA	7,5	28	42,68	6,81	35,87	0,834	4,93
%30 İA			44,50	2,64	41,86	1,055	6,52
%50 İA			45,96	2,63	43,33	1,325	6,95

^(a) n_{Orta} (Orta boyutlu gözenek): 0,002-0,05 μm arasındaki gözeneklerin gözeneklilik değeri

^(b) $n_{Büyük}$ (Büyük boyutlu gözenek): 0,05 μm 'den büyük gözeneklere ait gözeneklilik değeri

^(c) $d_{eş}$ (Eşik gözenek çapı): Kademeli porozite eğrisinin en dik noktasına karşılık gelen çap değeri (Everett, 1972)

Bir başka teknik parametre olan ve ÇMD'nin hidrolik iletkenlik özelliklerini kontrol eden eşik gözenek çapı ($d_{eş}$) ve bu gözeneklere karşılık gelen kademeli porozite değerleri incelendiğinde; %10 İA ikameli ÇMD numunelerinin kontrol numunelerine kıyasla daha küçük boyutlu gözeneğe (0,834 μm < 0,836-1,051 μm) ve daha düşük poroziteye (%4,93 < %5,21-6,40) sahip olduğu görülürken, %30 ve %50 İA içeren ÇMD numunelerinde $d_{eş}$ boyutları kontrol numunelerine göre daha büyük ve bu gözeneklere karşılık gelen kademeli porozite değerleri daha yüksektir (Çizelge 5 ve Şekil 7b). Bu bulgular ışığında, belirli oranlarda İA ikameli ÇMD'nin daha yüksek mekanik performans sağlaması, atık malzeme içerisinde bulunan iri tanelerin arasındaki boşlukların daha ince taneli İA ile doldurularak macun dolgunun mikroyapısının (porozitesinin düşürülmesi, daha yoğun ve küçük boyutlu gözenek yapısı oluşturulması) iyileştirilmesi/geliştirilmesi ile mümkün görünmektedir.

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada sülfürlü atık yerine ikame olarak %10, %30 ve %50 oranında inşaat atığı kullanılarak %7,5 bağlayıcı oranında hazırlanan ÇMD numuneleri için 3, 7, 14 ve 28 gün sonunda tek eksenli basınç dayanımı ve 28 gün sonunda porozite testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar %7,5 ve %8,5 bağlayıcı oranında hazırlanan kontrol numunelerinin dayanım ve porozite sonuçları ile karşılaştırılmış ve aşağıda özetlenmiştir.

(i) Tüm ÇMD numunelerinin TEBD değerleri bağlayıcı oranı ve ikame oranından bağımsız olarak kür süresinin artmasıyla birlikte artmıştır. %10 İA içeren ÇMD numuneleri tüm kür sürelerinde %7,5 ve %8,5 bağlayıcı oranlarında hazırlanan kontrol numunelerine göre daha yüksek TEBD üretirken, %30 ve %50 İA ikameli numunelerin basınç dayanımları kontrol numunelerini geçememiştir.

(ii) %50 İA ikameli ÇMD numuneleri haricinde tüm numuneler yeraltına yerleştirilen macun dolgu için 28 günde istenen kritik basınç dayanımını (TEBD \geq 1,0 MPa) sağlamış ve yan üretim odalarındaki cevher alınana ve tekrar dolgu ile dolduruluncaya kadar geçen sürede bütünlüklerini koruyabileceği belirlenmiştir.

(iii) İki farklı bağlayıcı oranında hazırlanan kontrol numunelerine kıyasla düşük oranda (%10) İA ikamesinin ÇMD numunelerinin n_{top} , $n_{Büyük}$, $d_{eş}$ ve kademeli porozite değerlerinde azalma, n_{Orta} miktarında ise artış sağlayarak macun dolgunun mikroyapı gelişimini olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Daha yüksek oranlarda (%30-50) İA kullanımı ise ÇMD'nin mikroyapısını olumsuz etkilemiştir.

Sonuç olarak sülfürlü atıklardan hazırlanan macun dolguda atığa ikame olarak belirli oranlarda (%10 vb.) inşaat atığı kullanımının ÇMD'nin kısa dönem (28 güne kadar) dayanım ve mikroyapı özelliklerini iyileştirdiği/geliştirdiği belirlenmiştir. Bu bağlamda, madencilik alanında yeni bir uygulama alanı olarak inşaat atıklarının yeraltında madeni alınmış boşluklarda ÇMD malzemesi olarak depolanabileceği, bu sayede söz konusu inşaat atıklarının yerüstünde depolanması sonucunda

oluşabilecek toz, görüntü kirliliği vb. problemlerin ortadan kaldırılabileceği/azaltılabileceği ve depolama için ihtiyaç duyulan geniş alan gereksiniminin azalabileceği anlaşılmıştır.

TEŞEKKÜR(ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) (Proje No: 217M025) tarafından desteklenmiştir. Yazarlar, makalenin yayınlanmasına kadarki süreçte emeği bulunan tüm hakemlere ve dergi editörüne teşekkür eder.

KAYNAKLAR(REFERENCES)

- ASTM C39/C39M- 16b, 2016, "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens", Annual Book of ASTM Standards, American Society of Testing Material.
- ASTM D4404-10, 2010, "Standard test method for determination of pore volume and pore volume distribution of soil and rock by mercury intrusion porosimetry", Annual book of ASTM Standards, American Society of Testing Material.
- Bestgen, J., Cetin, B., Tanyu, B.F., 2016, "Effects of Extraction Methods and Factors Leaching of Metals from Recycled Concrete Aggregates", Environmental Science and Pollution Research, Vol. 23, No. 13, pp. 12983-13002.
- Chen, J., Bradshaw, S., Benson, C.H., Tinjum, J.M., Edil, T.B., "pH-dependent Leaching of Trace Elements from Recycled Concrete Aggregate", In GeoCongress 2012: State of the Art and Practice in Geotechnical Engineering, Oakland, California, USA, 3729-3738, 25-29 March 2012.
- Chen, Q., Zhang, Q., Qi, C., Fourie, A., Xiao, C., 2018, "Recycling Phosphogypsum and Construction Demolition Waste for Cemented Paste Backfill and its Environmental Impact", Journal of Cleaner Production, Vol. 186, pp. 418-429.
- Cihangir, F., Akyol, Y., 2018, "Mechanical, Hydrological and Microstructural Assessment of the Durability of Cemented Paste Backfill Containing Alkali-activated Slag", International Journal of Mining, Reclamation and Environment, Vol. 32, No. 2, pp. 123-143.
- Çakır, Ö., 2014, "Experimental Analysis of Properties of Recycled Coarse Aggregate (RCA) Concrete with Mineral Additives", Construction and Building Materials, Vol. 68, pp. 17-25.
- Dominguez, A., Dominguez, M.I., Ivanova, S., Centeno, M.A., Odriozola, J.A., 2016, "Recycling of Construction and Demolition Waste Generated by Building Infrastructure for the Production of Glassy Materials", Ceramics International, Vol. 42, No. 14, pp. 15217-15223.
- Engelsen, C.J., Van Der Sloot, H.A., Wibetoe, G., Petkovic, G., Stoltenberg-Hansson, E., Lund, W., 2009, "Release of Major Elements from Recycled Concrete Aggregates and Geochemical Modelling", Cement and Concrete Research, Vol. 39, No. 5, pp. 446-459.
- Ercikdi, B., Baki, H., İzki, M., 2013, "Effect of Desliming of Sulphide-rich Mill Tailings on the Long-term Strength of Cemented Paste Backfill", Journal of Environmental Management, Vol. 115, pp. 5-13.
- European Commission (DG ENV), "Final Report Task Service Contract on Management of Construction and Demolition Waste", (ENV.G.4/FRA/2008/0112), 2011.
- Evangelista, L., De Brito, J., 2007, "Mechanical Behaviour of Concrete Made with Fine Recycled Concrete Aggregates", Cement and Concrete Composites, Vol. 29, No. 5, pp. 397-401.
- Everett, D.H., 1972, "IUPAC Manual of Symbols and Terminology", Appendix 2, Part 1, Colloid and Surface Chemistry, Pure and Applied Chemistry, Vol. 31, pp. 578-621.
- Jones, S.N., Cetin, B., 2017, "Evaluation of Waste Materials for Acid Mine Drainage Remediation", Fuel, Vol. 188, pp. 294-309.
- Indraratna, B., Regmi, G., Nghiem, L., Golab, A., 2010, "Performance of a PRB for the Remediation of Acidic Groundwater in Acid Sulfate Soil Terrain", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 136, No. 7, pp. 897-906.

- Karaca, F.M., "İstanbul Tuzla-Aydınlı İnşaat ve Yıkıntı Atıkları Geri Kazanım Tesisi İşletimi", Atık Yönetimi Sempozyumu, Antalya, Türkiye, 12-28,24-26 Nisan 2012.
- Katz, A., 2003, "Properties of Concrete Made with Recycled Aggregate from Partially Hydrated Old Concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, pp. 703-711.
- Kesimal, A., Yilmaz, E., Ercikdi, B., Alp, I., Devenci, H., 2005, "Effect of Properties of Tailings and Binder on the Short-and Long-term Strength and Stability of Cemented Paste Backfill", *Materials Letters*, Vol. 59, No. 28, pp. 3703-3709.
- Kou, S.C., Poon, C.S., Etxeberria, M., 2011, "Influence of Recycled Aggregates on Long Term Mechanical Properties and Pore Size Distribution of Concrete", *Cement and Concrete Composites*, Vol. 33, No. 2, pp. 286-291.
- Özalp, F., Yilmaz, H.D., Kara, M., Kaya, Ö., Şahin, A., 2016, "Effects of Recycled Aggregates from Construction and Demolition Wastes on Mechanical and Permeability Properties of Paving Stone, Kerb and Concrete Pipes", *Construction and Building Materials*, Vol. 110, pp. 17-23.
- Tabsh, S.W., Abdelfatah, A.S., 2009, "Influence of Recycled Concrete Aggregates on Strength Properties of Concrete" *Construction and Building Materials*, Vol. 23, No. 2, pp. 1163-1167.
- Thomas, C., Setien, J., Polanco, J.A., Alaejos, P., Sanchez De Juan, M., 2013, "Durability of Recycled Aggregate Concrete", *Construction and Building Materials*, Vol. 40, pp. 1054-1065.
- Topçu, İ.B., Şengel, S., 2004, "Properties of Concretes Produced with Waste Concrete Aggregate", *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, No. 8, pp. 1307-1312.
- Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Çelik, A.G., 2014, "Use of Waste Marble and Recycled Aggregates in Self-compacting Concrete for Environmental Sustainability", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 84, pp. 691-700.
- Yılmaz, T., Ercikdi, B., Devenci, H., 2018, "Utilisation of Construction and Demolition Waste as Cemented Paste Backfill Material for Underground Mine Openings", *Journal of Environmental Management*, Vol. 222, pp. 250-259.
- Yılmaz, E., Guresci, M., 2017, "Design and Characterization of Underground Paste Backfill", *Paste Tailings Management*, Editor: Yilmaz. E., Fall, M., Springer International Publishing, Cham/Switzerland, 111-144.
- Yumlu, M., "Backfill Practices at Cayeli Mine", *Proceedings of the International Mining Conference*, Ankara, Turkey, 333-339, 19-22 June 2001.
- Zheng, J., Zhu, Y., Zhao, Z., 2016, "Utilization of Limestone Powder and Water-reducing Admixture in Cemented Paste Backfill of Coarse Copper Mine Tailings", *Construction and Building Materials*, Vol. 124, pp. 31-36.

POZİSYON TABANLI ÖĞRENME VE DOĞRUSAL OLMAYAN BOZULMA ETKİSİ ALTINDA İŞ REDDETME Lİ TEK MAKİNE ÇİZELGELEME PROBLEMİ

¹M. Duran TOKSARI, ²Berrin ATALAY

^{1,2}Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kayseri, TÜRKİYE
¹dtoksari@erciyes.edu.tr, ²berrinucarkus@erciyes.edu.tr

(Geliş/Received: 02.04.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 23.05.2019)

ÖZ: Klasik çizelgeleme problemlerinde işlerin işlem sürelerinin sabit olduğu varsayılır ancak gerçek hayat problemlerinde işler öğrenme ve bozulma etkileri altında iken işlem süreleri değişebilmektedir. Ayrıca işlerin işlem sürelerinin fazla olması, üretim ve sabit giderlerin yüksek olması, ekipman ve işgücü yetersizliği gibi sebeplerden dolayı işletmeler ürünlerin işletme içerisinde üretilmemesini isteyebilir. Ürünler dışarıda üretildiğinde bu durum, işletmelere fason maliyeti olarak yansımaktadır. Çalışmamızda, pozisyon tabanlı öğrenme ve doğrusal olmayan bozulma etkisi altında iş reddetmeli tek makineli çizelgeleme problemleri ele alınmıştır. Maksimum tamamlanma zamanı ve reddetme maliyeti minimizasyonu; toplam tamamlanma zamanı ve reddetme maliyeti minimizasyonu olmak üzere iki farklı amaç fonksiyonu ele alınmış, matematiksel programlama ile problemin atama problemi olarak çözülebileceği gösterilmiş, modeller LINGO programı ile çözülmüştür. Bunun yanında maksimum tamamlanma zamanı minimizasyonu probleminin kabul edilen işlerin işlem süresine göre azalan sırada sıralandığında optimum çizelgenin elde edileceği ispatlanmıştır. Bununla birlikte toplam tamamlanma zamanı minimizasyonu probleminin kabul edilen işlerin işlem süresine göre artan sırada sıralandığında optimum çizelgenin elde edileceği ispatlanmıştır. İki farklı öğrenme oranı, iki farklı bozulma oranı ve iki farklı doğrusal olmayan bozulma oranı için ele alınan çizelgeleme problemleri çözülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İş Reddetme, Doğrusal Olmayan Bozulma Etkisi, Pozisyon Tabanlı Öğrenme, Tek Makine Çizelgeleme Problemi

Under Position Dependent Learning and Nonlinear Deterioration Effect on a Single Machine Scheduling Problem with Job Rejection

ABSTRACT

Jobs processing times are constant in classical scheduling problems but in real life problems, jobs processing times can vary because of learning and deterioration effects. Managers may also want to ensure that do not produce products within the companies due to reasons such as excessive processing times, high production costs and fixed costs, equipment and labor shortages. If they want to do jobs outside the companies, they face with outsource cost. In this study, we consider single machine scheduling problem with job rejection under position-dependent learning and nonlinear deterioration effect. There are two scheduling problems with different objective functions. They base on minimization of makespan and minimization of total completion time. It is pointed out that the problem can be solve as assignment problem. For this purpose, a mathematical model is constructed and solved by LINGO. It is proved that for this minimization of makespan objective function, optimum schedule can be obtained when the accepted jobs are scheduled decreasing order according to the accepted jobs' processing times. Furthermore it is proved that for this minimization of total completion time objective function, optimum

schedule can be obtained when the accepted jobs are scheduled increasing order according to the accepted jobs' processing times. The scheduling problems under study are solved for two different learning rates, two different deterioration rates and two different nonlinear deterioration rates.

Keywords: Job Rejection, Nonlinear Deterioration Effect, Position-Dependent Learning, Single Machine Scheduling Problem

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Klasik çizelgeleme problemlerinde işlerin işlem sürelerinin sabit olduğu varsayımı vardır ancak gerçek hayat problemlerinde işler öğrenme ve bozulma etkileri altına girebilmekte ve işlerin işlem süreleri değişebilmektedir.

İşçiler zaman içerisinde o işi daha fazla yaptıkları için işi öğrenecek ve işlerin işlem süreleri kısılacaktır. Mosheiov (2001) "öğrenme etkisi" terminolojisini geliştirmiştir. Biskup (1999) öğrenme etkisini çizelgeleme üzerinde kullanan ilk kişidir. Aynı makine özellikleri durumunda, işlerin sayısının fonksiyonuna bağlı olarak işlem zamanının azalacağını varsaymıştır. Gerçek işlem zamanı için aşağıdaki modeli düşünmüştür.

$$p_{j[r]} = (p_j)r^\alpha \quad (1)$$

Burada $p_{j[r]}$, r pozisyonuna atanan J işinin gerçek işlem zamanı, p_j ise temel işlem zamanıdır. α ($\alpha < 0$) öğrenme indeksidir.

Diğer taraftan işlerin işlem sürelerinin fazla olması, üretim ve sabit giderlerin yüksek olması, ekipman ve işgücü yetersizliği gibi sebeplerden dolayı işletmeler ürünlerin işletme içerisinde üretilmemesini isteyebilirler, işlerin fasonda yapılmasını isteyebilirler. Ürünler dışında üretildiğinde bu durum, işletmelere fason maliyeti olarak yansımaktadır. İşletmeler, ürünü üretmek isteyip istemedikleri kararını maliyetlere göre değerlendirerek vermektedirler. Direkt üretim maliyetlerinin yanı sıra, reddedilen işler için ceza maliyetleri oluşmaktadır. Bu ceza maliyetleri gelir kaybına sebep olur. Bu durumda çizelgelemeyi yapan kişi hangi işlerin işleneceği, hangi işlerin reddedileceği kararını öncelikli olarak vermek durumunda kalır. Makine çizelgelemede işlerin reddedilmesi durumu ilk olarak Bartal vd (2000) tarafından düşünülmüştür.

Zhang vd (2010) iş reddetme kısıtı altında tek makine çizelgeleme problemi üzerinde çalışmışlardır. Amaçları, kabul edilen işlerin tamamlanma zamanını minimize etmektir. İş ya reddedilir ve reddetme maliyeti ödenir ya da kabul edilir ve tek makinede işlenir. Ancak, reddedilen işlerin toplam reddetme maliyeti verilen üst sınırı aşamayacak şekilde düşünülmüşlerdir. Gerstl ve Mosheiov (2012) çalışmalarında pozisyon tabanlı işlem süreleri ve işlerin reddedilmesi birleştirilmiştir. İki amaç fonksiyonu vardır; ilk amaç fonksiyonu, akış zamanı toplamını ve reddedilen işlerin maliyetini minimize etmek, ikinci amaç fonksiyonu ise toplam yüklemeyi ve reddedilen işlerin maliyetini minimize etmektir.

Koulamas ve Panwalkar (2015) tek makine çizelgeleme problemleri için iş reddetme ile erken bitirme ve geç tamamlanma durumları için optimum çözüm veren bir algoritma sunmuşlardır.

Toksari (2008) tez çalışmasında pozisyon bağımlı öğrenme etkisi ile doğrusal olmayan bozulma etkisi aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$p_{[r]} = [p_r + (\alpha \times t_r^b)]r^\alpha \quad (2)$$

$p_{[r]}$: r pozisyonunda işlenen işin gerçek işlem zamanı, p_r : r pozisyonunda işlenen işin temel işlem zamanı, a ($a > 0$) bozulma etkisi ve b ($b > 0$) doğrusal olmayan bozulma etkisi, t_r : r pozisyonundaki işin başlangıç zamanı ve a ($a < 0$) öğrenme etkisini ifade etmektedir.

Cheng vd (2013) kontrol parametresi öğrenme fonksiyonu olan ve çizelgede, işin gerçek işlem zamanı ile çizelgelenen iş pozisyonunun fonksiyonu olan 2 makineli akış çizelgeleme problemi düşünmüşlerdir. Problemi çözmek için dal sınır algoritması ve üç tavlama algoritması geliştirmişlerdir. Amaçları toplam tamamlama zamanını minimize etmektir.

Liu (2013) elektronik üretim endüstrisinde, elektromanyetik alana maruz kalan parçalardaki kötü etkileri azaltmak için ekstra zamana ihtiyaç duyulduğunu belirtmiş ve bu ekstra zamanı, geçmiş sıra zamanlı teslimat zamanı olarak modellemiştir. Bekleme zamanının oransal değeri şeklinde ifade etmiş, eş paralel makine düşünmüştür. Makalenin üç amacı vardır; işin toplam sapmalarının zamanını minimize etmek, makinelerin toplam yükünü minimize etmek ve toplam tamamlanma zamanını minimize etmektir. Problemin çözümü için polinomial algoritma geliştirmiştir.

Azzouz vd(2017) öğrenme etkileri literatürünü incelemiş, yaptıkları çalışmada yapılmış olan çalışmalarını sınıflandırmışlardır. İş ya reddedilir ve reddetme maliyeti ödenir ya da kabul edilir ve tek makinede işlenir. Ancak, reddedilen işlerin toplam reddetme maliyetini verilen üst sınırı aşamayacak şekilde düşünmüşlerdir. Toksarı ve Arık (2017) bulanık işlem süreleri ile pozisyon tabanlı bulanık öğrenme etkisi altında tek makine çizelgeleme problemi incelemişlerdir. Bu çalışmada yazarlar maksimum tamamlanma zamanı, toplam tamamlanma zamanı ve toplam ağırlıklandırılmış tamamlanma zamanını minimize etmeyi amaçlamışlardır. Bu üç amaç için bulanık karma tamsayı doğrusal olmayan programlama modeli kullanmışlardır.

Shabtay (2013) reddetme durumunda zaman tetikleyici işlerin olduğu çizelgeleme problemlerinin genel yapısını tanımlamış ve çözümün kalitesini F_1 (işlerin tamamlanma zamanı ile ilgili kriter) ve F_2 (reddetme maliyeti kriteri) şeklinde ölçmüştür.

Çalışmamızda, pozisyon tabanlı öğrenme ve doğrusal olmayan bozulma etkisi altında iş reddetmeli tek makine çizelgeleme problemi incelenmiştir. İki farklı amaç fonksiyonu çalışılmıştır. Bunlardan ilki maksimum tamamlanma zamanı ve reddetme maliyeti minimizasyonu, diğeri ise toplam tamamlanma zamanı ve reddetme maliyeti minimizasyonudur. Bölüm 2'de maksimum tamamlanma zamanı ve reddetme maliyeti minimizasyonu problemi incelenmiştir ve bir örnek uygulama sunulmuştur. Bölüm 3'te toplam tamamlanma zamanı ve reddetme maliyeti minimizasyonu problemi ele alınmıştır. Bölüm 4'te sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bölüm 5'te sonuçlar verilmiştir.

MAKSİMUM TAMAMLANMA ZAMANI VE REDDETME MALİYETİ MİNİMİZASYONU (MAXIMUM COMPLETION TIME AND REJECTION COST MINIMIZATION)

Tek makine ortamından n adet işe sahip çizelgeleme problemi düşünülmüştür. p_j : j işinin işlem zamanını, α : öğrenme etkisini, ($\gamma > 0$) bozulma etkisini ve b ($b > 0$) doğrusal olmayan bozulma etkisini, T_r : r pozisyonundaki işin işe başlama zamanını, r : $1 \dots n$ pozisyonu ifade eder. X_{ijr} : karar değişkenidir, j işinin r pozisyonunda kabul veya red edilme kararıdır. $i = 1$, işin kabul edildiğini, $i = 2$, işin reddedildiğini ifade eder. δ_j : j işinin ceza maliyetidir. Maksimum tamamlanma zamanı C_{max} şeklinde ifade edilmiştir.

Aşağıdaki atama problemi çözüldüğünde, maksimum tamamlanma zamanı ve reddetme maliyeti minimizasyonu problemi için optimum sıralama elde edilecektir:

$$\min \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^n r^2 \cdot (p_j + \gamma \cdot (T_r)^b) r^\alpha \cdot X_{1jr} + \delta_j \cdot X_{2jr} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ijr} \leq 1 \quad (i = 1, 2)(r = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{r=1}^n X_{ijr} = 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

$$T_1 = 0 \quad (6)$$

$$T_r = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{r-1} [(p_j + \gamma \cdot (T_k)^b) \cdot k^\alpha \cdot X_{1jk}] \quad (r = 2, 3, \dots, n) \quad (7)$$

$$X_{ijr} \in \{0, 1\} \quad (8)$$

Amaç, pozisyon tabanlı öğrenme ve doğrusal olmayan bozulma etkisi altında maksimum tamamlanma zamanı ve reddetme maliyetini minimize etmektir. r^2 katsayısı işlem zamanını maliyet fonksiyonuna dönüştüren katsayıdır, aynı zamanda kabul edilen işlerin ilk pozisyondan itibaren atanmasını sağlar. (4) numaralı kısıt bir işin herhangi bir pozisyonda kabul ya da reddedilmesi halinde ilgili pozisyonda başka bir işin kabul ya da reddedilmemesini garanti etmektedir. (5) numaralı kısıt, her işin yalnız bir pozisyona kabul veya ret kararlarından biri ile atanmasını garanti etmektedir. (6) numaralı kısıt atanan ilk işin işe başlama zamanının 0 olduğunu göstermektedir. (7) numaralı kısıt ilk işten sonraki işlerin işe başlama zamanlarını vermektedir. (8) numaralı kısıt, karar değişkeninin 0 veya 1 değeri almasını sağlamaktadır.

Bu atama probleminin çözülmesi için $O(n^3)$ zaman gerekmektedir. Tek makine ortamında maksimum tamamlanma zamanı ve reddetme maliyeti minimizasyonu problemi için aşağıdaki 10 işli örnek çözülmüştür.

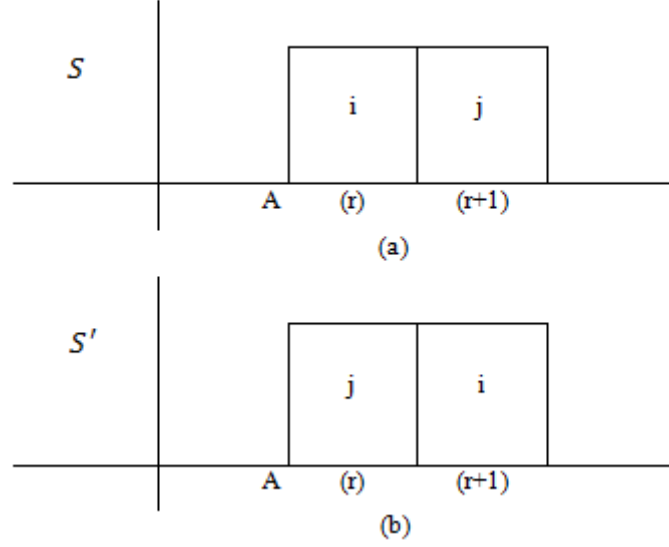
Örnek-1

$\alpha = \log(0.8)/\log(2) = -0,32$, $\gamma = 0.1$, $b = 0.2$ iken, 10 iş için işlem süreleri [1,25] aralığında tam sayılı uniform dağılıma göre üretilmiştir. $p_1 = 15, p_2 = 20, p_3 = 18, p_4 = 8, p_5 = 7, p_6 = 11, p_7 = 13, p_8 = 19, p_9 = 22, p_{10} = 25$. Ceza maliyetleri [20,60] aralığında tam sayılı uniform dağılıma göre üretilmiştir. $\delta_1 = 20, \delta_2 = 30, \delta_3 = 40, \delta_4 = 50, \delta_5 = 45, \delta_6 = 40, \delta_7 = 30, \delta_8 = 60, \delta_9 = 60, \delta_{10} = 55$. Problem atama problemi olarak Hungarian metodu ile çözülmüştür. Kabul edilen işlerin optimum sırası (8, 4) şeklindedir. (1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10) işleri reddedilmiştir ve optimum amaç değeri 365.176 olarak elde edilmiştir.

Sonuçlar gösteriyor ki, kabul edilen işlerin optimum sırası işlerin işlem sürelerinin azalan sırada sıralanması kuralı (SPT-Shortest Processing Time) ile elde edilmektedir. Aşağıda önerilen teoremin geliştirilmesinde Toksarı ve Güner (2009) tarafından önerilen yaklaşımdan esinlenilmiştir.

Teorem 1: $1|r^2(p_j + \gamma(T_r)^b)r^\alpha| C_{max}$ problemi için optimum çözüm işlerin işlem sürelerine göre azalan sırada sıralanmasıyla elde edilir.

İspat:



Şekil 1. i ve j işlerinin S ve S' çizelgesinde gösterimi
Figure 1. Display in S and S' charts of jobs i and j

$p_i < p_j$ olduğu kabul edilsin.

A: r pozisyonunun öncesinde işlenmiş işlerin toplam tamamlanma zamanı.

Şekil 1. (a)'da gösterilen S çizelgesi için;

$$C_i(S) = A + r^2(p_i + \gamma T_r^b)r^\alpha \quad (9)$$

$$C_j(S) = A + r^2(p_j + \gamma T_r^b)r^\alpha + (r+1)^2(p_j + \gamma(p_i + \gamma T_r^b)^b)(r+1)^\alpha \quad (10)$$

Şekil 1. (b)'de gösterilen S' çizelgesi için;

$$C_j(S') = A + r^2(p_j + \gamma T_r^b)r^\alpha \quad (11)$$

$$C_i(S') = A + r^2(p_j + \gamma T_r^b)r^\alpha + (r+1)^2(p_i + \gamma(p_j + \gamma T_r^b)^b)(r+1)^\alpha \quad (12)$$

Eş. (12) ile Eş. (10)'un farklarını aldığımızda;

$$C_i(S') - C_j(S) = A + r^2(p_j + \gamma T_r^b)r^\alpha + (r+1)^2(p_i + \gamma(p_j + \gamma T_r^b)^b)(r+1)^\alpha - A - r^2(p_i + \gamma T_r^b)r^\alpha - (r+1)^2(p_j + \gamma(p_i + \gamma T_r^b)^b)(r+1)^\alpha$$

$$C_i(S') - C_j(S) = r^{\alpha+2}(p_j - p_i) + (r+1)^{\alpha+2}((p_i - p_j) + \gamma(p_j + \gamma T_r^b)^b - (p_i + \gamma T_r^b)^b)$$

elde edilir.

$x \geq y > 0$ ve $z > 0$ iken $(y^z - x^z) \leq 0$ 'dır. Bunun yanında $\alpha < 0$, $p_i < p_j$, $b > 0$ iken, $C_i(S') - C_j(S) < 0$ olur.

S' çizelgesi S çizelgesini domine eder. $1/r^2(p_j + \gamma(T_r)^b)r^\alpha | C_{max}$ problemi için optimum çizelge işlerin işlem sürelerine göre azalan sırada sıralanmasıyla elde edilir.

TOPLAM TAMAMLANMA ZAMANI VE REDDETME MALİYETİ MİNİMİZASYONU (TOTAL COMPLETION TIME AND REJECTION COST MINIMIZATION)

Tek makine ortamında n adet işe sahip çizelgeleme problemi düşünülmüştür. p_j : j işinin işlem zamanını, α : öğrenme etkisini, ($\gamma > 0$) bozulma etkisini ve b ($b > 0$) doğrusal olmayan bozulma etkisini, T_r : r pozisyonundaki işin işe başlama zamanını, r : $1 \dots n$ pozisyonu ifade eder. X_{ijr} : karar değişkenidir, j işinin r pozisyonunda kabul veya ret edilme kararıdır. $i = 1$, işin kabul edildiğini, $i = 2$, işin reddedildiğini ifade eder. δ_j : j işinin ceza maliyetidir.

Aşağıdaki atama problemi çözüldüğünde, toplam tamamlanma zamanı ve reddetme maliyeti minimizasyonu problemi için optimum sıralama elde edilecektir:

$$\min \sum_{j=1}^n \sum_{r=1}^n \frac{r}{2} \cdot (n-j+1) \cdot (p_j + \gamma \cdot (T_r)^b) r^\alpha \cdot X_{1jr} + \delta_j \cdot X_{2jr} \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ijr} \leq 1 \quad (i = 1, 2)(r = 1, 2, \dots, n) \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{r=1}^n X_{ijr} = 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (15)$$

$$T_1 = 0 \quad (16)$$

$$T_r = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{r-1} [(p_j + \gamma \cdot (T_k)^b) \cdot k^\alpha \cdot X_{1jk}] \quad (r = 2, 3, \dots, n) \quad (17)$$

$$X_{ijr} \in (0, 1) \quad (18)$$

Amaç, pozisyon tabanlı öğrenme ve doğrusal olmayan bozulma etkisi altında toplam tamamlanma zamanı ve reddetme maliyetini minimize etmektir.

Bu atama probleminin çözülmesi için $O(n^3)$ zaman gerekmektedir. Tek makine ortamında toplam tamamlanma zamanı ve reddetme maliyeti minimizasyonu problemi için aşağıdaki 10 işli örnek çözülmüştür.

Örnek-2

$\alpha = \log(0.8)/\log(2) = -0,32$, $\gamma = 0.1$, $b = 0.2$ iken, 10 iş için işlem süreleri $[1,25]$ aralığında tam sayılı uniform dağılıma göre üretilmiştir. $p_1 = 15, p_2 = 20, p_3 = 18, p_4 = 8, p_5 = 7, p_6 = 11, p_7 = 13, p_8 = 19, p_9 = 22, p_{10} = 25$. Ceza maliyetleri $[20,60]$ aralığında tam sayılı uniform dağılıma göre üretilmiştir.

$\delta_1 = 20, \delta_2 = 30, \delta_3 = 40, \delta_4 = 50, \delta_5 = 45, \delta_6 = 40, \delta_7 = 30, \delta_8 = 60, \delta_9 = 60, \delta_{10} = 55$. Problem atama problemi olarak Hungarian metodu ile çözülmüştür. Kabul edilen işlerin optimum sırası (8, 9, 10) şeklindedir. (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) işleri reddedilmiştir ve optimum amaç değeri 345.5337 olarak elde edilmiştir.

Sonuçlar gösteriyor ki, kabul edilen işlerin optimum sırası işlerin işlem sürelerinin artan sırada sıralanması kuralı (LPT-Longest Processing Time) ile elde edilmektedir. Aşağıda önerilen teoremin geliştirilmesinde Toksarı ve Güner (2009) tarafından önerilen yaklaşımdan esinlenilmiştir.

Teorem 2: $1 \lfloor \frac{r}{2}(n-j+1)(p_j + \gamma(T_r)^b)r^\alpha \rfloor \sum C$ problemi için optimum çözüm işlerin işlem sürelerine göre artan sırada sıralanmasıyla elde edilir.

İspat:

$p_i < p_j$ olduğu kabul edilsin.

A: r pozisyonunun öncesinde işlenmiş işlerin toplam tamamlanma zamanı.

Şekil 1. (a)'da gösterilen S çizelgesi için;

$$C_i(S) = A + \frac{r}{2}(n-j+1)(p_i + \gamma T_r^b)r^\alpha \quad (19)$$

$$C_j(S) = A + \frac{r}{2}(n-j+1)(p_i + \gamma T_r^b)r^\alpha + \frac{r+1}{2}(n-j+1)(p_j + \gamma(p_i + \gamma T_r^b)^b)(r+1)^\alpha \quad (20)$$

$$\sum C(S) = 2A + r(n-j+1)(p_i + \gamma T_r^b)r^\alpha + (r+1)(n-j+1)(p_j + \gamma(p_i + \gamma T_r^b)^b)(r+1)^\alpha \quad (21)$$

Şekil 1. (b)'de gösterilen S' çizelgesi için;

$$C_j(S') = A + \frac{r}{2}(n-j+1)(p_j + \gamma T_r^b)r^\alpha \quad (22)$$

$$C_i(S') = A + \frac{r}{2}(n-j+1)(p_j + \gamma T_r^b)r^\alpha + \frac{r+1}{2}(n-j+1)(p_i + \gamma(p_j + \gamma T_r^b)^b)(r+1)^\alpha \quad (23)$$

$$\sum C(S') = 2A + r(n-j+1)(p_j + \gamma T_r^b)r^\alpha + (r+1)(n-j+1)(p_i + \gamma(p_j + \gamma T_r^b)^b)(r+1)^\alpha \quad (24)$$

Eş. (24) ile Eş. (21)'in farklarını aldığımızda;

$$\begin{aligned} \sum C(S') - \sum C(S) &= 2A + r(n-j+1)(p_j + \gamma T_r^b)r^\alpha + (r+1)(n-j+1)(p_i + \gamma(p_j + \gamma T_r^b)^b)(r+1)^\alpha \\ &\quad - 2A - r(n-j+1)(p_i + \gamma T_r^b)r^\alpha - (r+1)(n-j+1)(p_j + \gamma(p_i + \gamma T_r^b)^b)(r+1)^\alpha \end{aligned}$$

$$\sum C(S') - \sum C(S) = (n-j+1)(p_i - p_j)(r^{\alpha+1} + (r+1)^{\alpha+1}\gamma((p_i + \gamma T_r^b)^b - (p_j + \gamma T_r^b)^b))$$

elde edilir.

$x \geq y > 0$ ve $z > 0$ iken $(y^z - x^z) \leq 0$ 'dır. Ayrıca $\alpha < 0, p_i < p_j, b > 0$ iken, $\sum C(S') - \sum C(S) > 0$ olur.

S çizelgesi S' çizelgesini domine eder. $1 \lfloor \frac{r}{2}(n-j+1)(p_j + \gamma(T_r)^b)r^\alpha \rfloor \sum C$ problemi için optimum çizelge işlerin işlem sürelerine göre artan sırada sıralanmasıyla elde edilir. □

SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Geliştirilen modeller iki farklı öğrenme oranı (%80, %70), iki farklı bozulma oranı (0.1, 0.2) ve iki farklı doğrusal olmayan bozulma oranı (0.2, 0.5) için model çözülmüştür. Çözümler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Farklı öğrenme oranı, farklı bozulma oranı ve farklı doğrusal olmayan bozulma oranları için karşılaştırma tablosu

Table 1. Comparison chart for different learning rate, different deterioration rate and different nonlinear deterioration rate

Amaç Fonksiyonu	Bozulma Oranı (γ)	Doğrusal Olmayan Boz. Oranı (b)	Öğrenme Oranı (α)	Model Sonucu
Maksimum Tamamlanma Zamanı	0.1	0.2	80%	365,176
			70%	353,671
		0.5	80%	365.995
			70%	355.968
	0.2	0.2	80%	365,753
			70%	355,149
		0.5	80%	367.210
			70%	359.771
Toplam Tamamlanma Zamanı	0.1	0.2	80%	345,534
			70%	331,090
		0.5	80%	346.366
			70%	333.165
	0.2	0.2	80%	346,039
			70%	332,461
		0.5	80%	347.710
			70%	336.451

SONUÇLAR (CONCLUSION)

Çalışmamızda, pozisyon tabanlı öğrenme ve doğrusal olmayan bozulma etkisi altında iş reddetmeli tek makineli çizelgeleme problemleri ele alınmıştır. Maksimum tamamlanma zamanı ve reddetme maliyeti minimizasyonu ve toplam tamamlanma zamanı ve reddetme maliyeti minimizasyonu olmak üzere iki farklı amaç fonksiyonu geliştirilmiş, matematiksel modeller önerilerek problemin atama problemi olarak çözülebileceği gösterilmiştir. Ayrıca maksimum tamamlanma zamanı minimizasyonu probleminin, işlerin işlem süresine göre azalan sırada sıralanması ile optimum çizelgenin elde edildiği gösterilmiştir. Toplam tamamlanma zamanı minimizasyonu probleminin, işlerin işlem süresine göre artan sırada sıralanmasıyla optimum çizelgenin elde edileceği sunulmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

Azzouz, A., Ennigrou, M., Ben Said, L., 2017, "Scheduling Problems Under Learning Effects: Classification And Cartography", International Journal of Production Research, 1-20.

- Bartal, Y., Leonardi, S., Marchetti-Spaccamela, A., Sgall, J., Stougie, L., 2000, "Multiprocessor Scheduling with Rejection", *SIAM Journal on Discrete Mathematics*, 13(1), 64-78.
- Biskup, D., 1999, "Single-Machine Scheduling with Learning Considerations", *European Journal of Operational Research*, 115(1), 173-178.
- Cheng, T. C. E., Wu, C. C., Chen, J. C., Wu, W. H., Cheng, S. R., 2013, "Two-Machine Flowshop Scheduling With A Truncated Learning Function To Minimize The Makespan", *International Journal of Production Economics*, 141(1), 79-86.
- Gerstl, E., Mosheiov, G., 2012, "Scheduling On Parallel Identical Machines with Job-Rejection And Position-Dependent Processing Times", *Information Processing Letters*, 112(19), 743-747.
- Koulamas, C., Panwalker, S. S., 2015, "On the Equivalence of Single Machine Earliness/Tardiness Problems with Job Rejection", *Computers & Industrial Engineering*, 87, 1-3.
- Liu, M., 2013, "Parallel-Machine Scheduling With Past-Sequence-Dependent Delivery Times And Learning Effect", *Applied Mathematical Modelling*, 37(23), 9630-9633.
- Mosheiov, G., 2001, "Scheduling Problems with a Learning Effect", *European Journal of Operational Research*, 132 (2001), 687- 693.
- Shabtay, D., Gaspar, N., Kaspı, M., 2013, "A Survey On Offline Scheduling With Rejection", *Journal of Scheduling*, 16(1), 3-28.
- Toksarı, M. D., 2008, Öğrenme Ve Bozulma Etkileri Altında Hazırlık Zamanlı Paralel Makineli Erken Tamamlanma/Gecikme Çizelgeleme Problemi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Toksarı, M. D., Güner, E., 2009, "Scheduling Problems With The Nonlinear Effects Of Learning And Deterioration", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 45(7-8), 801-807.
- Toksarı, M. D., Arık, O. A., 2017, "Single Machine Scheduling Problems Under Position-Dependent Fuzzy Learning Effect With Fuzzy Processing Times", *Journal of Manufacturing Systems*, 45, 159-179.
- Zhang, L., Lu, L., Yuan, J., 2010, "Single-Machine Scheduling Under the Job Rejection Constraint", *Theoretical Computer Science*, 411(16), 1877-1882.

FIYAT TAHMİNLEMESİNDE MAKİNE ÖĞRENMESİ TEKNİKLERİ VE DOĞRUSAL REGRESYON YÖNTEMLERİNİN KIYASLANMASI; TÜRKİYE'DE SATILAN İKİNCİ EL ARAÇ FİYATLARININ TAHMİNLENMESİNE YÖNELİK BİR VAKA ÇALIŞMASI

¹Ersin NAMLI, ²Ramazan ÜNLÜ, ³Ecem GÜL

^{1,3} *Istanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE*
² *Gümüşhane Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Gümüşhane, TÜRKİYE*

¹enamli@istanbul.edu.tr, ²ramazanunlu@gumushane.edu.tr, ³ecemmgul@gmail.com

(Geliş/Received: 12.12.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 23.05.2019)

Öz: İkinci el araç alım satım piyasası dünyada olduğu gibi Türkiye'de de çok hareketli ve kayda değer büyüklükte bir pazardır. Satıcılar araçları için alabilecekleri maksimum fiyatı ararken alıcılar olabildiği kadar düşük fiyata maksimum kalitede bir araç almak için uğraşırlar. Ancak söz konusu araçların alım satımı esnasında çeşitli problemler olabilmekte ve belirli bir araç için bayi düzeyinde dahi standart bir fiyatlandırma politikası uygulanamamaktadır. Bu çalışmada bu problemi çözmek adına ikinci el bir araç için fiyatlandırma politikası oluşturup oluşturulamayacağı araştırılmıştır, bu kapsamda gerçek veriler toplanarak istatistiksel ve yapay zekâ tabanlı yöntemlerle tahmin modelleri oluşturulmuştur. Yapay zekânın alt dallarından bir tanesi olarak düşünebileceğimiz makine öğrenmesi teknikleri doğal dil işleme, metin madenciliği, görüntü işleme gibi çok kompleks problemlerin yanı sıra regresyon problemlerinde de doğrusal regresyon gibi klasik yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar vermektedir. Bu noktadan hareketle bu çalışma da ikinci el araç satışlarındaki fiyatlandırma sisteminin standardize edilebilmesi için Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör Makineleri ve Doğrusal Regresyon yöntemleri uygulanmış ve kullanılan metotlar sıkça tercih edilen çeşitli değerlendirme açısından kıyaslanmıştır. Çalışmanın bulgularına göre makine öğrenmesi teknikleriyle ikinci el araç alım satımında bir fiyatlandırma standardizasyonu yapabilmek mümkündür ve söz konusu makine öğrenme teknikleri doğrusal regresyon gibi klasik yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör Makineleri, Doğrusal Regresyon, İkinci El Araç Fiyatları

A Comparative Study of Machine Learning and Linear Regression in Prediction of Pricing: A Case Study of Used Cars Price Prediction in Turkey

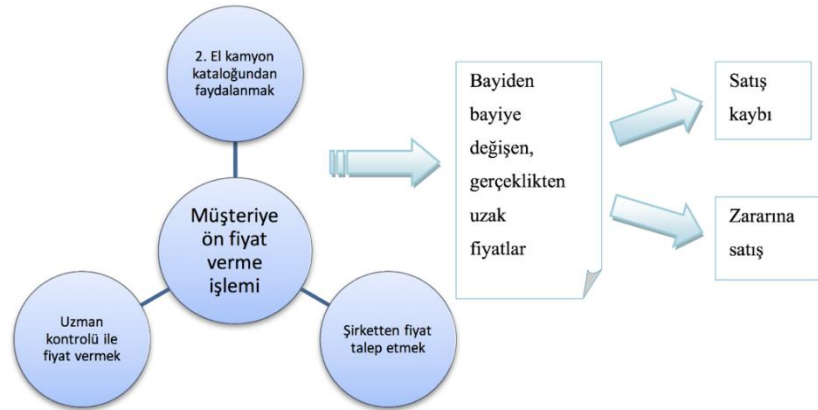
Abstract: Used cars market is very buoyant in the World as well as in the Turkey and has a significant size. While sellers are looking for the maximum price for their vehicles, buyers are willing to buy a good quality vehicle with a minimum price. However, during the trading process various problems might occurred and even dealer might not have standard pricing policy for a specific vehicle. In this study, it is focused on whether a pricing policy for a used car can be created or not, collected real data, and applied methods based on statistics and artificial intelligence. As a subbranch of artificial intelligence, In addition to Machine learning's success in complex problems such as natural language processing, text mining, image processing, it can also outperforms classical methods such as linear regression to solve regression problems. From this point, during this study Artificial Neural Networks, Support Vector Machines and Linear Regression methods are used and compared with the aim of standardizing used cars pricing. Based on the findings, it is possible to standardize used cars pricing with machine learning methods and chosen methods gives better results than classic linear regression method.

Keywords: Artificial neural networks, Support vector machines, Linear regression , Used car prices.

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda makine öğrenmesi birçok alanda çok başarılı sonuçlar vermiştir. Metin işleme (Aggarwal & Zhai, 2012; Berry & Castellanos, 2004; Tan, 1999), doğal dil işleme (Jurafsky, 2000; C. D. Manning ve diğ., 1999; C. Manning ve diğ., 2014), resim işleme (Chan ve diğ., 2015; LeCun, Bengio, & Hinton, 2015; Wan ve diğ., 2014; Wang & Yeung, 2013), zaman serileri tahminlemesi (Ahmed ve diğ., 2010; Cao & Tay, 2003), sınıflandırma (Kotsiantis ve diğ., 2007; Nasrabadi, 2007) ve gruplandırma çalışmaları (Hartigan & Wong, 1979; Jain & Dubes, 1988; Steinbach ve diğ., 2000) örnek olarak verilebilir. Klasik programlamanın aksine makine öğrenmesi verilerden öğrenme, ve öğrenilen bilginin genelleştirilebilmesine olanak sağlar. Makine öğrenmesi en bilinen şekliyle denetimli öğrenme (sınıflandırma problemleri) ve denetimsiz öğrenme (gruplandırma problemleri) olarak ikiye ayrılabilir. Denetimli öğrenmede mevcut verinin doğru çıktısı bilinirken, denetimsiz öğrenmede doğru olan çıktılar mevcut değildir. Bu problemlere ek olarak makine öğrenmesi regresyon problemlerinde de kullanılabilir. Doğrusal regresyon gibi klasik yöntemlere kıyasla makine öğrenmesi yöntemleri çok daha kompleks ve büyük verilerden anlamlı çıktılar bulabilir. Bu noktadan hareketle çalışmamızda otomotiv sektöründe hizmet veren bir şirketin, kamyon ürün grubunun ikinci el araç alımlarında yaşanan bir sorun ele alınmıştır. Bu sorun genel hatlarıyla Şekil 1’de görselleştirilmiştir. Söz konusu probleme yanıt bulabilmek amacıyla gerekli veriler yine aynı kaynaktan 2013 yılı içerisinde gerçekleşen durumlar için çekilmiş, düzenlenmiş ve Python platformunda scikit-learn kütüphanesi kullanılarak regresyon analizi yapılmış ve sonuçları yorumlanmıştır.

Kullanılmış kamyonların yenileriyle değiştirilmesi işlemi, sorunun ortaya çıktığı bayilerin ana şirketinde gerçekleştirilmektedir. Bu işlem kapsamında kamyon sahipleri, araçlarını yenileriyle değiştirmek istediklerinde, kamyonun markası fark etmeksizin bayiye gelir ve öncelikle mevcut araçlarının durumlarını anlatarak satış danışmanından bir fiyat alırlar. Eski araç için verilen fiyat, alınmak istenen yeni araç için bir indirim tutarı olarak düşünülebilir. Bu işlem için belli bir fiyatlandırma politikası tanımlanmıştır ve bu çerçevede bir katalog hazırlanmıştır. Satış danışmanları bazen bu kataloğa bakıp bir fiyat verirler bazen de kısa bir analiz işlemi gerçekleştirilerek fiyatı belirlerler. Bazen ise araç bilgileri şirkete gönderilir ve şirket araç için bir fiyat belirler. Ancak bu fiyatlandırma için belirli standardize edilmiş bir sistem yoktur, her bayi müşteriye farklı bir fiyat verebilir. Bizim için problem de bu noktada baş gösterir. Fiyatta mutabık olduğunda müşteri ile anlaşılır ve araç şirketin görevlendirdiği expert (uzman) tarafından incelemeye alınır. Bu araç için yeniden bir fiyat belirlenir ve müşteriye iletir. Bu noktada uzmanın belirlediği fiyat, en başta müşteriye verilen fiyattan çoğu zaman düşük, en iyi ihtimalle aynı seviyede çıkıyor. Beklentisinin altında bir teklif alan müşteri anlaşmaktan vazgeçiyor veya müşteriyi kaybetmemek adına araç değerinden daha yüksek bir fiyatla alınmış oluyor. Bu iki durum da firma için zarar anlamına geliyor.



Şekil 1. Ön fiyatlandırma süreci

Genel olarak ikinci el bir kamyonun fiyatlandırılmasında sorunun kaynakları üç kategoride toplanabilir 1) Müşteri kaynaklı problemler 2) Bayi kaynaklı problemler 3) Şirket kaynaklı problemler. Müşteri kaynaklı problemler genel olarak araç sahiplerinin piyasaya hakim olamamalarından kaynaklanıyor. Piyasadaki ikinci el kamyon alımlarında fiyatları bilmeyen müşteri niyetini ve beklentilerini ortaya koymaktan çekiniyor; düşük bir teklifte bulunduğu firmanın hali hazırda vermeyi planladığı daha yüksek teklifi kaybetmek istemiyor.

Bazen de tam tersi müşteri çok yüksek beklentilere sahip olduğu için verilen fiyattan hiçbir türlü memnun olmayabiliyor. Bunu sebebi de bayilerden aldıkları tekliflerin tutarsızlıkları olarak gösterilebilir. Diğer bir sorunda müşterilerin şirkete araçları hakkında yeterli ve doğru bilgiyi sağlayamaması. Bunun gerekçesi olarak aracın satılması aşamasında bayiinin satışı mümkün olduğu kadar hızlı yapabilmek adına tüm bilgileri sistemine taşımaması ve şirketi müşterinin söylemleri kadar bilgilendirmesi gösterilebilir. Örneğin araç resmi talep eden şirkete bu resim gönderilmeyip sağlam olarak tanımlanmalı ve bu doğrultuda fiyat alındığında, daha sonra bu araç expert kontrolü için şirkete gittiğinde belirgin daha düşük niteliklere sahip olduğu tespit edildiğinde ilk teklif düşecektir. Bayi ve şirket gerçek bilgiyi elde etmeyeceği için doğru fiyat ve tatmin edici sonuçlar sağlayamazlar.

Bayi kaynaklı problemler genel olarak firma kıstaslarına yeterince itimat edilmemesinden kaynaklanıyor. Örneğin her tip kamyon ve 20 yıldan daha eski olanları takas için kabul edilemez. Ancak bayilerdeki satış danışmanları bu gibi kriterlere yeteri kadar önem vermiyor. Sadece yeni araç satmaya odaklanıyorlar. Ancak bu durumda satıcılar araç için bir fiyat belirlediğinde şirket, kriterler e uymayan bu araç için fiyat dahi vermeyebilir ve neticesinde markaya duyulan güvenin sarsılması söz konusu olur.

Bazı kısıtlamalarla birlikte, teklif geçerlilik koşulları müşterilere sunulan tüm teklifler için geçerlidir. Fakat bazen bayiler, müşterinin ön kontrol formunu kendilerinin doldurmasına izin veriyorlar ve bu formları kontrol etmeden şirkete iletiyorlar ve bu yüzden eksik veya hatalı doldurulmuş formlar süreçleri manipüle edebiliyor. Ayrıca, bayiler, satış sürecini hızlandırmak için müşteri formları düzenlenirken öznel olabiliyorlar; şirketten daha yüksek fiyat teklifi almak için şirketi ikna etmek için değerleri yukarı çekmeye çalışıyorlar. Bu sayede müşteriyi kaçırmayıp ona yeni araç satılabilmeyi umuyorlar.

Ön kontrol formundaki okunamayan veya eksik bilgi ile karşılaşıldığında sürecin baştan başlaması gerekiyor. Bu da zaman ve maliyet üzerinde olumsuz bir etki yaratıyor.

Şirketler her yıl, kullanılmış kamyonlar için ikinci el pazar fiyatlarının yer aldığı kataloglar yayınlamaktadır ancak bu fiyatlar iyi şartlara sahip kamyonlar için geçerlidir. Kullanılmış her kamyon farklı özelliklere sahip olduğu için, bu ön fiyat listesi aracın durumunun değerlendirilmesinden kullanıldığında, müşteri ana şirket tarafından yapılan uzmanlık sürecinden önce daha yüksek bir fiyat alır ve beklentisi yükselir. Expert incelemesinin ardından, genellikle teklifler düşüş yönündedir. Bayi tarafındaki bir diğer sorun bayiler arasında uyumsuzluk. Aynı ana şirkete ait olsalar bile, aynı müşteriye aynı kamyon için farklı tekliler sunulabilir. Bayiler arasındaki tutarsızlık firmaya güven kaybına neden olur. Aslında bu sorun yukarıdaki tüm sıkıntılarının doğan bir problem olarak gösterilebilir. Bayilerin ilk fiyat verme süreçlerinde belirli bir süreç tanımlanmadığı için veya ortak kullanıma uygun bir sistem oluşturulmadığı için, aynı araç için fiyat varyasyonu artıyor.

Şirket kaynaklı problemler öncelikle teknolojik uyumsuzluktan kaynaklanıyor. Şirket içinde IUCCA ve SAP olarak iki farklı veri depolama ve işleme sistemi var. Bu iki yazılım paketlerinin özelliklerinin farklı olması nedeniyle işlemler zorlaşmaktadır. İkinci sorun, tüm sürecin tamamlanmasının çok zaman almasıdır. Teklifin müşteriye yapılabilmesi için önce üst düzey yöneticiler tarafından onaylanması gerekir; fakat hiyerarşik onay zinciri çok uzundur. Son olarak, faiz ve vergi öncesi kardan zarar etme sorunu söylenebilir. Takas süreci kâr edemez, aksine ikinci el piyasada para kaybederler. Herhangi bir şirket için bu kabul edilemez.

Bütün bu problemlerin maksimum düzeyde bertaraf edilebilmesi için uzman kontrolünden önceki fiyatlandırma süreci eğer standardize edilebilirse, müşterilere çok daha kısa sürede ve herkes için aynı kriterler dikkate alınarak bir fiyat verilebilir. Aynı zamanda uzun hiyerarşik onay zincirini kırmaya

yardımcı bir adım atılmış olur. Bu amaçla bu çalışmada çeşitli makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak bir tahminleme modeli oluşturulmuş ve kullanılan modeller çeşitli değerlendirme ölçütleri açısından kıyaslanmıştır. Güncel literatürde Türkiye’deki ikinci el piyasasına yönelik bazı çalışmalar mevcutsa da, herhangi bir yapay zeka algoritması veya istatistiksel bir yöntem kullanılarak gerçek bir veri setiyle fiyat standardizasyonu probleminin çözülmeye çalışıldığına rastlanılmamıştır (Daştan, 2016; Ecer, 2013; Özçalıcı, 2017).

Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde dizayn edilmiştir; Bölüm 2’de kullanılan yöntemlerin metodolojisi veri setinin oluşturulma süreci açıklanmıştır. Bölüm 3’te çalışmanın bulguları detaylı bir şekilde açıklanmış ve Bölüm 4’te tartışma ve sonuç başlığı altında çalışmanın sonuçları değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Bu çalışmada makine öğrenmesi yöntemlerinden yapay sinir ağları (YSA) ve Destek Vektör Makineleri (DVM), istatistiksel yöntemlerden doğrusal regresyon yöntemleri kullanılmıştır. Her bir yöntemin matematiksel farklılıklarının probleme farklı katkılar sunacağını düşündüğümüzden benzer algoritmalar yerine bu şekilde bir algoritma seçimine gidilmiştir. Kullanılan veri makine öğrenmesi tekniklerinden optimum fayda sağlamak amacıyla 0-1 arasında normalize edilmiş ve kullanılan yöntemin değerlendirme ölçütleri bakımından güvenli sonuç verip vermediği çapraz sorgulama tekniği ile test edilmiştir. Aşağıdaki alt başlıklarda sırasıyla veri setinin oluşturulması, algoritmaların matematiksel altyapıları, değerlendirme ölçütleri ve çapraz sorgulama tekniği detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Çizelge 1. Ham veri seti

Table 1. Raw dataset

No	Marka	Tip	Model	Hasar Kaydi	Hasar sayısı	Özellikler	Üst yapı	Lastiklerin durumu (%)	Aksesuar	Müşteri Beklentisi	Bayi Öngörüsü	Verilen Ön Teklif	Yeni Araç Bilgisi
1	11	3240 C	2011	1 Adet Hasar Mevcuttur	1	Lastikler %70 - Retarder -Saç kasa	Saç Kasa	70	Retarder			145000	1840 LS
2	11	1840 LS	2011	Kayıt Bulunmamaktadır	0	Lastikler %70	Saç Kasa	70				140000	1840 LS
3	11	1841 LS	2011	2 Adet Hasar Mevcuttur	2	Lastikler %70	Saç Kasa	70				140000	1840 LS
5	7	CARGO 25:	2005	1 Adet Hasar Mevcuttur	1	Çift ilave açık ahşap- Lastikler %70	Açık Ahşap Kasa	75				40000	3340 K
7	16	HD75	2008	3 Adet Hasar Mevcuttur	3	Araç kargoda çalışıyor- Ön Lastikler %80, Arka Bitik, Baskı balata yeni,Kapalı saç kasa	Kapalı Saç Kasa	80		43000		25000	1518 UK
12	10	33420	2002	Kayıt Bulunmamaktadır	0	Araç çift çeker çekici olup silobas nakliyesinde çalışmıştır	Çekici			75000		30000	1840 LS
13	11	1840 LS	2007	2 Adet Hasar Mevcuttur	2	HL7						95000	1840 LS
14	11	3228 C	2005	Kayıt Bulunmamaktadır	0	Lastikler %80- Kondisyonlu-Açık ahşap, Eski Tip	Açık Ahşap Kasa	80				85000	1840 LS
15	11	2523 CD	2004	7 Adet Hasar 16300 TL	7	Saç Damper- 1 Milyonda Motor Yapılmış	Saç Damper					40000	1518 UK
16	1	PRO 1142	2008	Kayıt Bulunmamaktadır	0	Lastikler - Önler Yeni, Arka %70- Sorunsuz		70		85000		50000	1840 LS
17	11	3028 K	2006	7 Adet Hasar 13800 TL	5	Saç Damper-Lastikler %90-%60		75				86000	3340 K

Veri setinin oluşturulması (Generation of dataset)

Bölüm 1’de bahsedilen sorunların çözüm önerileri getirilebilmesi adına yapılacak çalışmalar için 2013 yılı içerisinde aracını yenisiyle takas etmek amacıyla şirkete gelip eski aracı için uzmandan fiyat

alan tüm müşterilerin araç bilgileri ve yapılan teklifler 2 farklı veri tabanından çekilerek düzenlenmiş, veriler raporlaştırılmıştır. Elde edilen ortalama 13000 araçlık kümeden, işlemlerin analizinin yapılmasını kolaylaştırmak adına, 1500 tanesi veri seti olarak düzenlenmiştir. Çizelge 1'de ham veri seti gösterilmiştir.

Ham veri seti işleme sokulmadan önce gerekli olan ön işleme adımları uygulanmıştır. Aynı özelliklere sahip 2 farklı model araçtan birinin daha düşük fiyatlandırıldığı tespit ediliyor. Bu tip araçların yaptıkları kilometre az da olsa fazla da olsa hep daha düşük fiyata sahip oluyorlar. Bu tip araçlar için 2, diğerleri için 1 değeri atanarak 'Model Tipi' adında yeni bir sütun oluşturulmuştur. Özellik sütunundaki değerler girilirken karakteristik açıdan farklı birden fazla özellik için açıklama yapılmış, sayısal ve sözel karakterler bir arada kullanılmıştır. Bu sütundaki değerlerden aynı grup toplanabilecekler belirlenip 'PTO' ve 'Lastiklerin Durumu' olarak 2 ayrı sütun açılmıştır. Bu değerle sadece sayısal ifadeler kullanılarak girilmiştir. Böylece veriler arasında bütünlük ve anlam kolaylığı yakalanmıştır. 'Hasar Kaydı' sütunu tamamen kaldırılmış, sadece 'Hasar Sayısının tutulması yeterli görülmüştür. Aksesuar için de 'Klima' adlı bir sütun açılmıştır. İlk kümedeki özelliklerin bazıları ise problemin çözümünde etkisiz görülmüştür. Bunlar 'Müşterinin Beklentisi', 'Bayinin Öngörüsü', 'Verilen Ön teklif' ve 'Yeni Aracın Bilgisi'dir. Bu sütunlar çalışmada değerlendirmeye katılmamıştır. Çizelge 2'de veri setinin analiz edilmeye uygun son hali örnek olarak gösterilmiştir.

Çizelge 2. Veri setinin analiz edilmeye uygun son hali

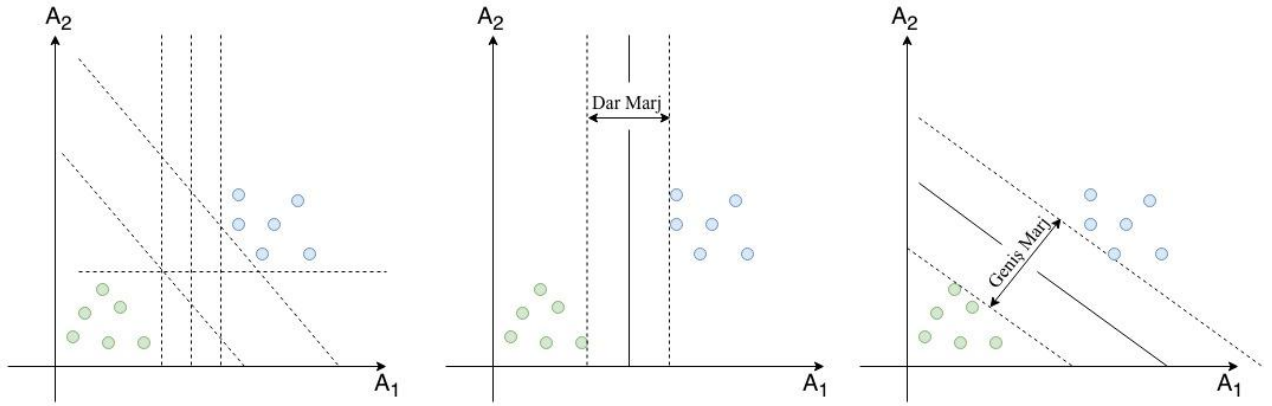
Table 2. Final version of the dataset suitable for analysis

No	Marka	Marka Grubu	Tip	Model Yılı	Km	Hasar Sayısı	Lastiklerin Durumu (%)	Klima	PTO	Teklif
1	11	2	3240 C	2011	116750	1	70	0	0	145000
2	11	2	1840 LS	2011	246630	0	70	0	0	145000
3	11	2	1840 LS	2011	107129	2	70	0	0	140000
5	7	2	CARGO 2524	2005	450000	1	75	0	0	40000
7	16	1	HD 75	2008	190000	3	80	0	0	25000
12	10	1	33420	2002	334290	0	100	0	0	30000
13	11	2	1840 LS	2007	263000	2	100	0	0	95000
14	11	2	3228 C	2005	380000	0	80	0	0	85000
15	11	2	2523 CD	2004	250000	7	100	0	0	40000
16	1	1	PRO 1142	2008	490000	0	70	0	0	50000
17	11	2	3028 K	2006	248517	5	90	0	0	86000
1308	11	1	1518 UK	2010	780000	2	100	0	0	72000
5315	11	2	1840 LS	2009	406000	2	60	0	0	130000
21	11	2	2124 C	2010	50000	0	100	0	0	95000

Algoritmalar (Algorithms)

Destek Vektör Makinaları (Support Vector Machines)

Destek vektör makineleri (DVM) (Cortes & Vapnik, 1995) , tüm iyi bilinen veri madenciliği algoritmalarında en sağlam ve doğru yöntemlerdendir. Vapnik tarafından 1990'larda geliştirilen DVM'ler, istatistiksel öğrenme teorisini temel alan sağlam bir teorik temele dayanır, yalnızca bir düzine eğitim örnekleri gerektirir ve genellikle boyut sayısına duyarsızdırlar. Son on yılda, DVM'ler hem teori hem de uygulamada hızlı bir şekilde geliştirildi. İki sınıflı doğrusal olarak ayrılabilir bir öğrenme için DVM'nin amacı, verilen örneklerin iki sınıfını, en iyi genellemeyi sağlayan kanıtlanmış en büyük marj (aralık) ile ayıran bir hiper düzlemi bulmaktır. Genelleme yeteneği, bir sınıflandırıcının, eğitim verisinde iyi sınıflandırma performansına sahip olmakla kalmayıp, eğitim verileri ile aynı dağılımdan gelecek verilere ilişkin yüksek tahmin doğruluğunu garanti eder. Sezgisel olarak, bir marj, bir hiper düzlem tarafından tanımlanan iki sınıf arasındaki boşluk veya ayırım miktarı olarak ifade edilebilir. Geometrik olarak kenar boşluğu, hiper düzlem üzerindeki herhangi bir noktaya en yakın veri noktaları arasındaki en kısa mesafeye karşılık gelir. Şekil 2'de DVM yönteminin çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 2. DVM yönteminin çalışma prensibi

Figure 2. Working principle of DVM method

Matematiksel olarak somutlaştırmak için elimizde $X = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^l : (x_i, y_i) \in R^{n+1}$, l ve n sırasıyla toplam örnek sayısı ve toplam özellik (sütün sayısı), $y_i \in \{1, -1\}$ veri setinin olduğunu varsayılmaktadır. Bu veri seti için linear bir fonksiyon w : bilinmeyen katsayıları ve b : değişken olmayan değer parametreleri kullanılarak Denklem 1’deki gibi oluşturulabilir.

$$f(x) = w^T \phi(x_i) + b \quad (1)$$

Destek vektör makineleri veri seti gurupları arasında Şekil 2’de gösterildiği gibi maksimum düzeyde bir hiper düzlem oluşturmaya çalışır. Dolayısıyla aynı mantık üzerine regresyon problemi için DVM yönteminin oluşturacağı $f(x)$ fonksiyonun gerçek değerlerle olabildiği kadar örtüşmesi mantığı söz konusudur. Bu hedef doğrultusunda optimizasyon problemi aşağıdaki gibi düzenlenmiştir.

$$f \min \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad (2)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} y_i - (w^T(x_i) - b) \geq \varepsilon & i=1,2,\dots,l \\ y_i - (w^T(x_i) - b) \leq -\varepsilon & i=1,2,\dots,l \end{cases}$$

Bu optimizasyon probleminde ε izin verilen en büyük hata miktarı olarak tanımlanır. Tahmin edilen bütün $y = (y_i - (w^T(x_i) - b))$ değerleri ile gerçek y değerleri arasındaki fark ε değerini aşmadığı sürece bu problem konveks bir optimizasyon problemidir. Ancak her problem için bu şartları sağlamak çok kolay olamayacağından optimizasyon problemine yapay değişkenler eklenerek hiper düzlem sınırları daha esnek hale getirilebilir. Bu durumda problemin formülasyonu aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$\min \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^l (\xi_i + \xi_i^*) \quad (3)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} y_i - (w^T(x_i) - b) \geq \varepsilon + \xi_i & i=1,2,\dots,l \\ (w^T(x_i) + b) + y_i \geq \varepsilon + \xi_i^* & i=1,2,\dots,l \\ \xi_i^*, \xi_i \geq 0 \end{cases}$$

Doğrusal Regresyon (Linear Regression):

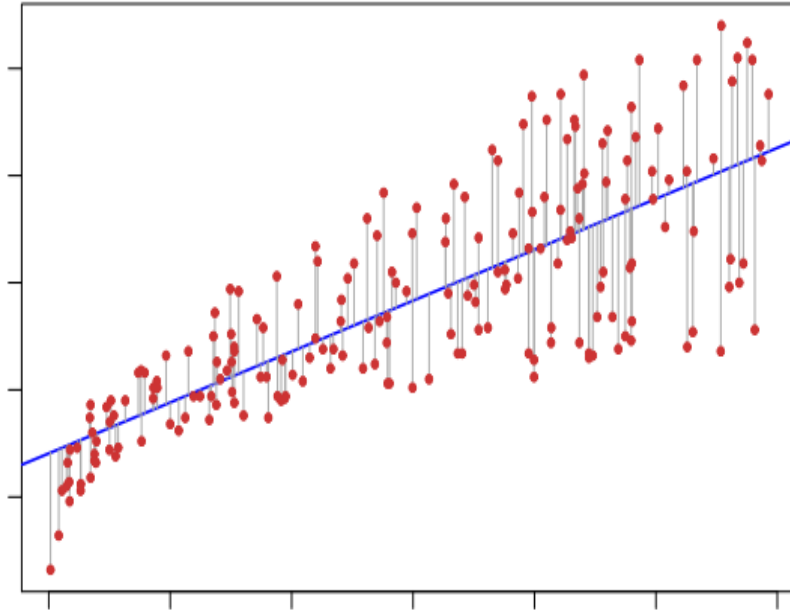
Basit doğrusal regresyon analizi (Neter, Wasserman, & Kutner, 1989), iki sürekli değişken arasındaki ilişkiyi nicelendiren istatistiksel bir tekniktir. Bu değişkenler, bağımlı değişken veya tahmin etmeye çalıştığınız değişken ve bağımsız veya tahmin edici değişken olarak ifade edilebilir. Her noktadan kareli

hatayı asgariye indiren verilerle bir doğru bularak çalışır. Şekil 3'te bahsedilen durum ifade edilmiştir. Matematiksel olarak ifade edebilmek için elimizde $X = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^l : (x_i, y_i) \in R^{n+1}$ veri setinin olduğunu varsayalım. Bağımsız değişkenler $X = \{(x_i)\}_{i=1}^l$ ile bağımsız değişkenler y_i arasındaki ilişki doğrusal ilişki aşağıdaki gibi tanımlanabilir

$$y_i = x_i^T w + \varepsilon_i \quad (4)$$

Doğrusal regresyon tahmin edilen değerlerle gerçek değerler arasındaki hatayı minimum seviyede tutmak üzere çalışır. Bu bakımdan optimizasyon problemi aşağıdaki şekilde formülize edilebilir.

$$\min \frac{\sum_{i=1}^l (y_i - \bar{y}_i)^2}{l} \quad (5)$$



Şekil 3. Doğrusal regresyon yönteminin çalışma prensibi

Figure 3. Working principle of linear regression method

Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks):

Sinir ağları, karmaşık ve çok boyutlu verileri basitleştirir, değerler arasında kolay işlem yapılmasını sağlar. Doğrusal modellere uymayan herhangi bir regresyon problemi, bu yöntem kullanılarak modellenebilir (Rokach & Maimon, 2008). YSA mimarisi Şekil 4'te gösterildiği gibi birbirleriyle bağlantılı bir dize nörondan oluşmaktadır. Bu bağlantılardaki amaç girdilerle çıktılar arasında doğrusal olmayan ilişkileri açığa çıkarmaktır. Her bir katmanın girdileri bir sonraki katmanın ağırlıklı toplamları olacak şekilde girdilerini oluşturur ve her bir girdi nöronlarda bazı aktivasyon fonksiyonları ile belirli aralıkta, örneğin 0-1, bir değer dönüştürülür. Çıktı katmanında ki hesaplamalardan dolayı sistem geriye dönük olarak maliyet fonksiyonunu -ki bu fonksiyon gerçek değerle tahmin edilen değer arasındaki farkı minimize etmeye çalışır. Matematiksel olarak ifade etmek Şekil 4'teki YSA modelini ele almak gerekirse: l katmanındaki n nöronunun girdisi Denklem 6 gösterildiği gibi hesaplanır.

$$y_i^n = \varphi \left[\sum_{j=1}^p w_{ij}^n(t) y_j^{n-1}(t) + \gamma_i^n \right] \quad (6)$$

Bu denklemde $\varphi(\cdot)$ aktivasyonu fonksiyonunu, w_{ij}^n bağlantı katsayısını, t iterasyonu, γ_i^n ise sabit değişkeni ifade eder. n katmanlı bir yapıda ağırlıklar $0 \leq \varepsilon \leq 1$ olmak koşulu ile aşağıdaki gibi revize edilir.

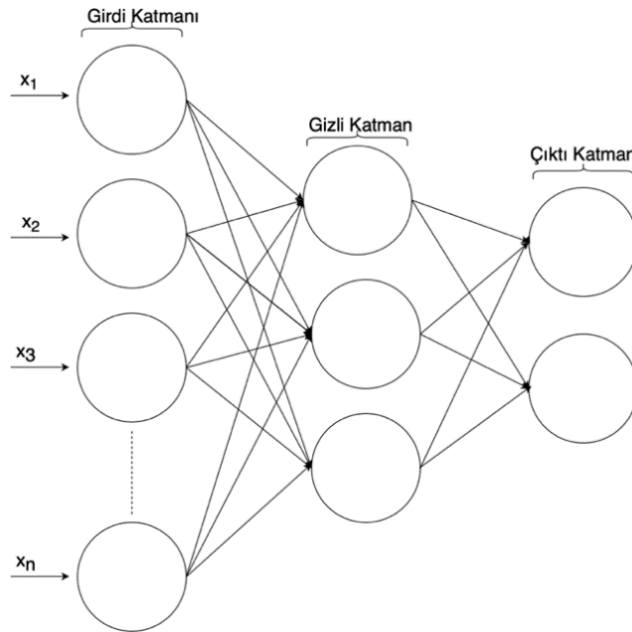
$$\Delta w_{ji}^n(t) = \varepsilon \lambda_j^n(t) y_i^{n-1}(t) \quad (7)$$

Bu problemde ε öğrenme oranını ve $\lambda_j^n(t) \equiv \partial E_t / \partial u_j^n$ lokal hatayı gösterir. Algoritmanın hata oranını minimize etmek için ağırlıklar $0 \leq \alpha \leq 1$ olmak koşulu ile aşağıdaki gibi optimize edilir. Son olarak çıktı katmanının hata oranı ise Denklem 8’de gösterildiği gibi optimize edilir.

$$\lambda_j^N(t) = [d_j(t) - y_j^N(t)] \varphi[u_j^N(t)] \equiv e_j(t) \varphi[u_j^N(t)] \quad (8)$$

Bu problemde $d_j(t)$ hedef çıktısının değerini gösterir.

Analiz ettiğimiz problemde dikkat edilmesi gereken nokta sınıflandırma problemlerinin aksine son katmanda sadece 1 adet nöron bulunmaktadır. Ayrıca çalışmada oluşturulan yapay sinir ağı modelinde 1 gizli katman ve gizli katmanda 11 adet nöron (veri özellik sayısı + çıktı katmanı nöron sayısı) kullanılmış ve öğrenme optimizasyonu geri yayılım (backpropagation) algoritması ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Yapay sinir ağı modeli
Figure 4. Artificial neural network model

Değerlendirme ölçütleri (Evaluation metrics)

Çalışma boyunca algoritma performansları çeşitli değerlendirme ölçütlerine göre kıyaslanmıştır. Kullanılan değerlendirme ölçütleri Çizelge 3’te gösterilmiştir.

Çapraz Doğrulama ve Veri Bölme Yöntemi (Cross Validation and Data Division Method)

Çapraz doğrulama yöntemi algoritmanın çalışma zamanının ve sonuçlarının optimize edilmesine katkı sağlayan bir yöntemdir. Veri rastgele k farklı parçaya bölünür. Her bir grup test verisi olarak kullanılmak üzere ayrılır ve geriye kalan $k-1$ grubun tamamı eğitim seti olarak kullanılır. Başka bir deyişle algoritma k kez veriyi eğitir ve sonuçlarını test eder. Uygulanan metodun doğruluğu ise her bir test verisinin sonuçlarının ortalamasıdır. Şekil 5'te çapraz doğrulama yapısı gösterilmiştir.

Matematiksel olarak ifade etmek için, elimizde D veri setinin olduğunu varsayalım. D seti denklem 15'teki eşitliği sağlayacak şekilde rastgele k parçaya ayrılır

$$\bigcup_{i=1}^k \{D_1, D_2, \dots, D_k\} = D \quad (9)$$

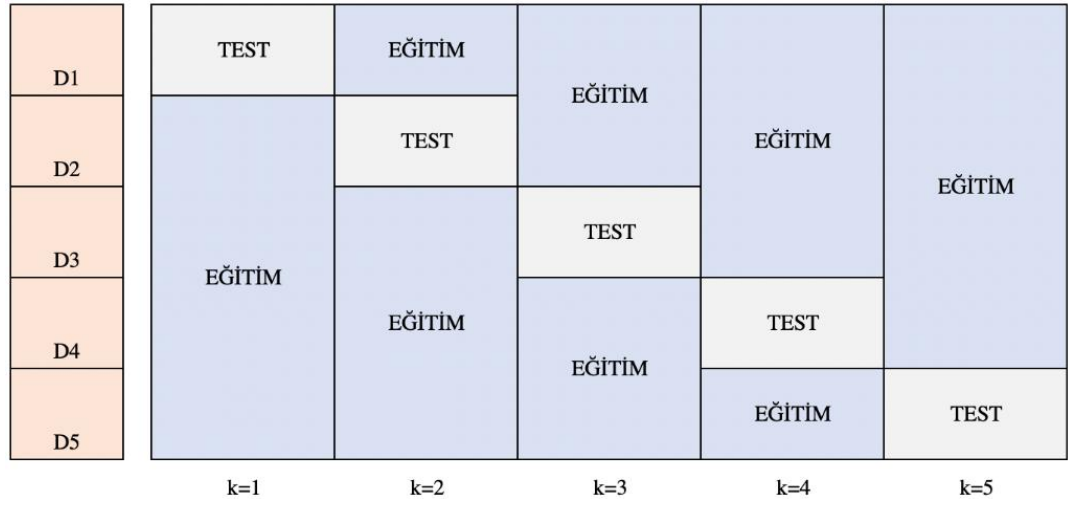
Çizelge 3. Değerlendirme ölçütleri

Table 3. Evaluation metrics

Korelasyon Katsayısı (R^2)	$\left(\frac{n \sum y \cdot y' - (\sum y) (\sum y')}{\sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2} \sqrt{n(\sum y'^2) - (\sum y')^2}} \right)^2 \quad (10)$
Ortalama Mutlak Hata (MAE)	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y - y' \quad (11)$
Kök Mutlak Hata (RAE)	$\frac{\sum_{i=1}^n y' - y }{\sum_{i=1}^n \bar{y} - y } \quad (12)$
Kök Rölatif Karesel Hata (RRSE)	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y' - y)^2}{\sum_{i=1}^n (\bar{y} - y)^2}} \quad (13)$
Kök Ortalama Kare Hata (RMSE)	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (14)$
Ortalama Mutlak Yüzdesele Hata (MAPE)	$\frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left \frac{e_i}{y_t} \right \quad (15)$

Yukarıda belirttiğimiz gibi eğitim süreci boyunca her bir D_i test veri olarak ayrılır ve eğitim her bir D_i test seti olarak kullanılıncaya kadar devam eder. Son olarak algoritmanın genel performansı p^* Denklem 16'da gösterildiği gibi her bir eğitimin performanslarının (p_i) ortalaması olarak hesaplanır.

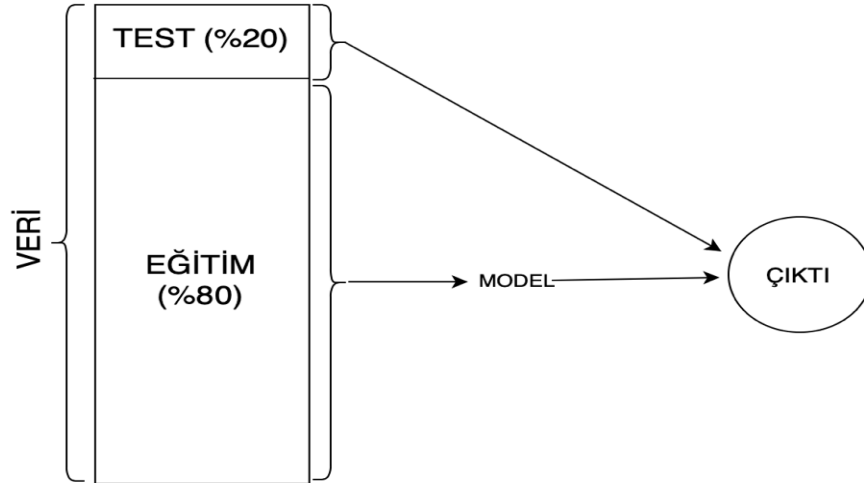
$$p^* = \frac{\sum_{i=1}^k p_i}{k} \quad (16)$$



Şekil 5. 5-fold Çapraz doğrulama yapısı

Figure 5. 5-fold cross validation structure

Öte yandan çapraz doğrulama yönteminden farklı olarak veri bölme yöntemi veriyi belli yüzdelerle eğitim ve test seti olacak şekilde ikiye böler. Örneğin Şekil 6’da gösterildiği gibi veri %80 ve %20 olmak üzere ikiye bölünür ve %80’lik kısmı eğitim %20’lik kısmı test verisi olarak kullanılır. Algoritmanın performansı test verisinde gösterdiği performans ölçütü olarak belirlenir.



Şekil 6. Veri bölme yöntemi yapısı

Figure 6. Data division method structure

ARAŞTIRMA SONUÇLARI (RESEARCH RESULTS)

Bu bölümde algoritmaların detaylı sonuçları ve yukarıda belirtilen değerlendirme ölçütleri kapsamında kıyaslama sonuçları verilmiştir. Algoritma sonuçlarının güvenilir olması ve genelleştirilebileceğini ispatlamak açısından belirtilen üç algoritma da 10-folds, 8-folds, 5-folds çapraz doğrulama ve veri bölme yöntemi ile çalıştırılmış ve sonuçları kıyaslanmıştır. Her bir yöntemin minimum hata vermesi için ızgara sistemi yöntemi ile parametre optimizasyonu yapılmıştır. Öte yandan bütün metodlar için girdi değerleri z değeri ile standardize edilmiştir.

YSA yöntemi için kullanılan parametreler ve elde edilen optimum değerler sırasıyla Çizelge 4 ve Çizelge 5’te gösterilmiştir.

Çizelge 4. Yapay sinir ağı yönteminde kullanılan parametreler**Table 4.** Parameters used in artificial neural networks method

Parametre Sembolleri	Tanım
L	Öğrenme Hızı
M	Momentum
N	Eğitim Tur Sayısı
V	Test verisinin yüzdelik değeri
S	Tekrar edilebilirlik için üretilmiş rastgele sayı
E	Hata eşik değeri.

Çizelge 5. Yapay sinir ağı yönteminde kullanılan parametrelerin optimum değerleri**Table 5.** Optimum values of parametrs used in artificial neural network method

Parametreler	L	M	N	V	S	E
Değerler	0.3	0.2	500	0	0	20

Yapay sinir ağları yönteminin çeşitli metotlarla (örneğin 10-folds) çalıştırılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 6' da gösterilmiştir. Söz konusu yöntem en iyi performansı veri setinin %80 veri bölme durumu uygulandığında göstermiştir. Değerlendirme ölçütlerinde en iyi performans değerleri koyu fontla gösterilmiştir. Çizelge 6' da görüldüğü gibi YSA tahmini değerleri ile gerçek değerler arasında yüksek bir korelasyon vardır ($R^2=0.92$). Aynı zamanda YSA modelinin herhangi bir araç modeli için vereceği değer ile aracın gerçek değeri arasında MAE kıstası göz önünde bulundurulduğunda +/- 10658.0037 liralık bir fark oluşmaktadır ki otonom bir tahminleme değeri için kabul edilebilir bir değer olarak nitelendirilebilir

Çizelge 6. Yapay sinir ağları sonuçları**Table 6.** Artificial neural networks results

Değerlendirme ölçütleri	R^2	MAE	RMSE	RAE	RRSE	MAPE
Çapraz doğrulama folds= 5	0.7157	19378,0878	28451,1314	64,1250%	74,4125%	23,99%
Çapraz doğrulama folds= 8	0.7047	17696,2071	28372,0690	58,5586%	74,1946%	23,05%
Çapraz doğrulama folds= 10	0.7961	14915,7703	23816,8406	49,3483%	62,2880%	19,69%
Veri bölme = 90%	0.7521	2188,90308	2638,86343	73,7364%	73,3979%	30,88%
Veri bölme = 80%	0.9202	10658,0037	15413,4091	33,8439%	40,8894%	15,30%

Doğrusal regresyon yönteminde minimum hatayı elde etmek için parametre optimizasyonu yapılmıştır. Kullanılan parametreler ve elde edilen değerler Çizelge 7 ve Çizelge 8' de gösterilmiştir.

Çizelge 7. Doğrusal Regresyon yönteminde kullanılan parametreler

Table 7. Parameters used in linear regression method

Parametre Sembolleri	Tanım
S	Veri özelliklerinin seçimi için gerekli olan metod. Örnek: S=0 M5 metodunu ifade eder.
R	Ridge optimizasyon parametresi
Num Decimal Places	Çıktılardaki maksimum ondalık rakam adeti.

Çizelge 8. Doğrusal Regresyon yönteminde kullanılan parametrelerin optimum değerleri

Table 8. Optimum values of parametrs used in linear regression method

Parametreler	S	R	Num Decimal Places
Değerler	0	1.00E-08	500

YSA yönteminden farklı olarak doğrusal regresyon yöntemi en iyi sonuçları 90% veri bölme yöntemi uygulandığında vermektir. Yapay sinir ağları ve doğrusal regresyon yönteminden Çizelge 9’da gösterildiği gibi kıyaslanan bütün değerlendirme ölçüleri bakımından üstünlük sağlamaktadır.

Çizelge 9. Doğrusal regresyon sonuçları

Table 9. Linear regression results

Method	R ²	MAE	RMSE	RAE	RRSE	MAPE
Çapraz doğrulama folds= 5	0.8867	7840,4264	17696,4911	25,9451%	46,2843%	9,75%
Çapraz doğrulama folds= 8	0.8899	7676,2335	17442,2522	25,4015%	45,6125%	9,56%
Çapraz doğrulama folds= 10	0.8899	7669,2722	17450,318	25,3735%	45,6377%	9,53%
Veri bölme = 90%	0.9614	6861,8214	9922,5663	23,1151%	27,5989%	9,91%
Veri bölme = 80%	0.9393	7848,424	12968,78	24,9222%	34,4042%	9,78%

YSA yöntemiyle kıyasladığımızda Doğrusal Regresyon yöntemi tahminleri ile gerçek değerler arasında R²=0.9614 ile çok yüksek bir korelasyon yakalamış ve YSA’dan daha iyi bir performans yakalamıştır. Bu çıkarımı -yine örnek olarak MAE kıstasını göz önünde bulundurursak- tahmin edilen fiyatla gerçek fiyat arasındaki farka bakarak da görebiliriz. Doğrusal Regresyon modelinin herhangi bir araç modeli için vereceği değer ile aracın gerçek değeri +/- 6861.8214 liralık bir fark oluşmaktadır ki bu değer YSA modelinin verdiği değerın çok altındadır.

Doğrusal regresyon yöntemi için ayrıca istatistiksel z-test uygulanmıştır. Eğitim modeli için kullanılan 1500 örnek normal olarak dağılmaktadır ve z-test için kurulan hipotez gerçek test setinin ortalaması, tahmin edilen değerlerin ortalamasından istatistiksel olarak farklı değildir. Bu bağlamda μ_0 = gerçek test değerlerinin ortalaması ve μ_1 = tahmin edilen değerlerin ortalaması olarak düşünüldüğünde hipotezimizi aşağıda belirtildiği gibi kurabiliriz.

$$H_0: \mu_0 = \mu_1$$

$$H_1: \mu_0 \neq \mu_1$$

p değeri 0.05 alınarak uygulanan z-testi sonuçları Çizelge 10’da verilmiştir.

Çizelge 10. Doğrusal regresyon için istatistiksel z-test sonuçları**Table 10.** Statistical z-test results for linear regression

Parametreler	Actual	5-folds	8-folds	10-folds	90%	80%
Ortalama	80575	77065.5	76900	76900	79947.5	78973.75
Bilinen Varyans	1543071154	1382885800	1375694872	1375363077	1383963071	1491381152
Gözlem Sayısı	1500	1500	1500	1500	150	300
Örnek Kümeler Ortalama Farkı	0	0	0	0	0	0
Alfa	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
z değeri	0.41	0.41	0.43	0.43	0.07	0.18
P(Z<=z) tek yönlü	0.34	0.34	0.33	0.33	0.47	0.43
Kritik z değeri (tek yönlü)	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64
P(Z<=z) (iki yönlü)	0.68	0.68	0.67	0.67	0.94	0.85
Kritik z değeri (çift yönlü)	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96

Çizelge 10'da verilen sonuçlara göre uygulanan her stratejide (örnek: 10-folds,%90 veri bölme) doğrusal regresyon çıktıları gerçek değerlerle aynı istatistiksel ortalamaya sahip. Dolayısıyla hiçbir stratejide $H_0: \mu_0 = \mu_1$

hipotezi reddedilemez. Bir başka deyişle doğrusal yönteminin sonuçları şans eseri üretilmemiş, bir öğrenme mekanizmasıyla eğitim setinden elde edilen model üzerinden tahminler yapılmıştır.

Uygulanan son yöntem Destek vektör makinalarıdır. DVM metodu için kullanılan parametreler ve parametre optimizasyon sonuçları Çizelge 11 ve Çizelge 12'de gösterilmiştir.

Çizelge 11. Destek vektör makinaları yönteminde kullanılan parametreler**Table 11.** Parameters used in support vector machines

Parametre Sembolleri	Tanım
C	Hata beklenti oranı
N	Veri normalizasyon çeşidi. Örnek: N=0 normalizasyon, N=1 standardize
T	Eğitim Tur Sayısı
W	Tekrar edilebilirlik için üretilmiş rastgele sayı
Kernel	Kernel fonksiyonu
E	Kernel fonksiyonunun üstsel değeri

Çizelge 12. Destek vektör makinaları yönteminde kullanılan parametrelerin optimum değerleri**Table 12.** Optimum values of paramtrs used in support vector machines method

Parametreler	C	N	T	W	Kernel	E
Değerler	1.1	0	0.001	1.0	Poly	1.0

Çizelge 13'de gösterildiği gibi DVM metodu doğrusal regresyon yöntemiyle benzer olarak %90 veri bölme yöntemiyle en başarılı sonucu vermiştir. Ek olarak iki yöntem arasında benzer metot (veri bölme 90%) kullanıldığında DVM nispeten daha başarılı sonuç vermiştir. Hem gerçek değerlerle tahmin edilen değerler arasında daha yüksek bir korelasyon sağlanmış ve hem de bunun doğal bir sonucu olarak hata miktarı da azalmıştır. DVM metodunun herhangi bir araç modeli için vereceği değer ile aracın gerçek değeri +/- 6227.9912 liralık bir fark oluşmaktadır ki bu değer hem YSA hem de Doğrusal Regresyon yöntemlerinin tahmin ettiği değerlerin altındadır.

Çizelge 13. Destek vektör makineleri sonuçları

Table 13. Support vector machines results

Method	R ²	MAE	RMSE	RAE	RRSE	MAPE
Çapraz doğrulama folds=5	0.8942	6983,154	17113,7095	23,1083%	44,7600%	14,53%
Çapraz doğrulama folds=8	0.8921	7036,84	17274,70	23,2856%	45,1744%	14,60%
Çapraz doğrulama folds=10	0.8911	7105,9141	17342,2816	23,5097%	45,3552%	15,04%
Veri bölme = 90%	0.9638	6227,9912	9590,313	20,9799%	26,6747%	10,86%
Veri bölme = 80%	0.9434	7162,2449	12501,5883	22,7433%	33,1648%	12,98%

Kullanılan yöntemlerin Çizelge 3’de verilen değerlendirme ölçüleri için gösterdikleri performans değerleri bütünsel bir grafik elde etmek için 0-1 arasında normalize edilerek Şekil 7’de görselleştirilmiştir.

TARTIŞMA (DISCUSSION)

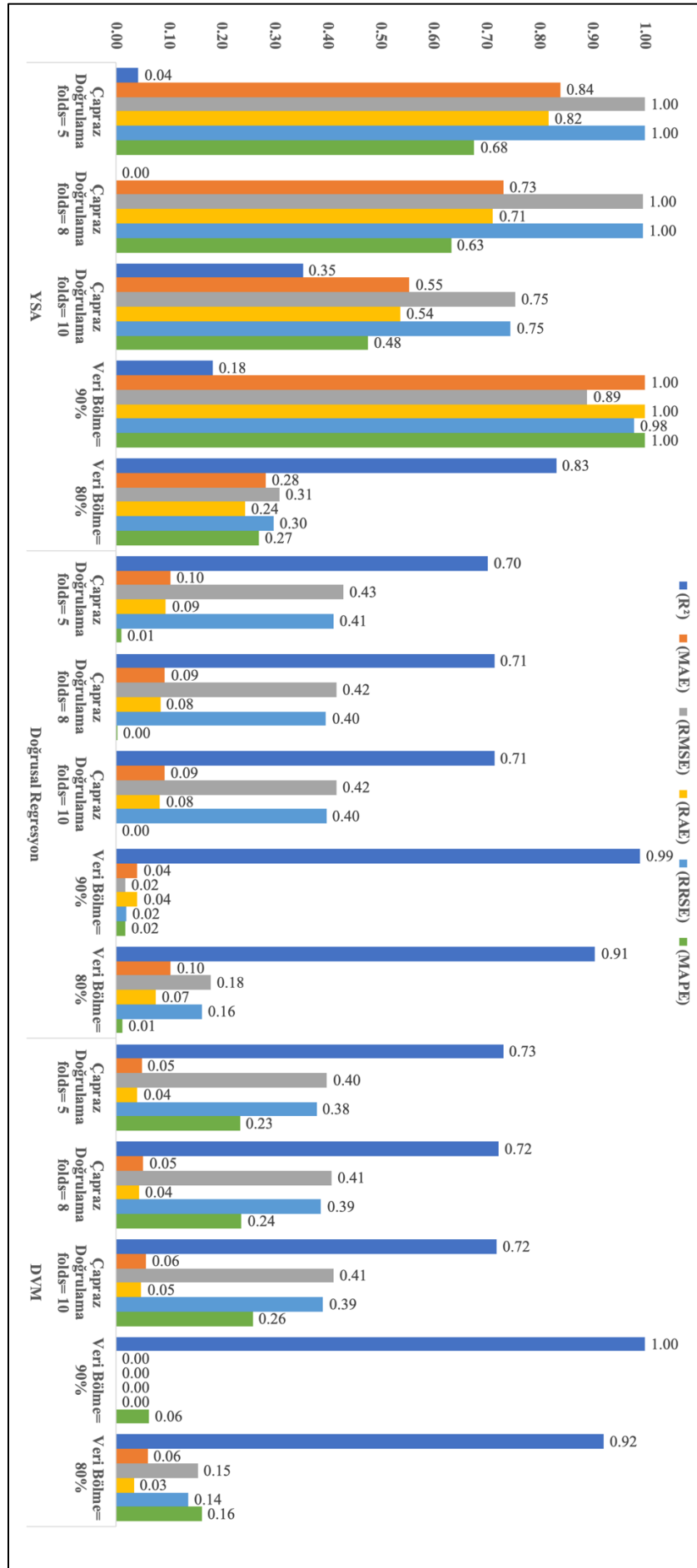
Bu çalışmada irdelenen sorunun kaynağı olan otomotiv firmasında, standart olmayan ve neticesinde şirkete maddi zarar ile zaman kaybı yaşatan ve müşteri-şirket güven bağının zayıflamasına sebep olan ikinci el kamyonların takasında ön fiyatlama sürecinin incelenmesine karar verilmiştir. Öncelikle söz konusu süreçte teklif veriler araçlarda hangi kriterlerin fiyata etki ettiği belirlenmiş; bu kriter değerleri ve teklifler kullanılarak veri seti oluşturulmuş; veriler Python scikit-learn ve Weka makine öğrenmesi platformları kullanılarak analiz edilmiştir. Ancak güncel literatürde benzer bir çalışma olmadığından ve kullanılan veri setinin özgün olmasından kaynaklı çalışma sonuçlarını diğer çalışmalarla kıyaslamak mümkün olmamaktadır.

Amaç, fiyatlar belirlenirken kullanılan özellik değerleri arasındaki ilişkinin en iyi seviyede tahmin edilmesidir. Bunun için Python scikit-learn ve Weka kütüphanesinden üç farklı algoritma -Yapay Sinir Ağları, Doğrusal Regresyon ve Destek Vektör Makineleri- kullanılmıştır ve her biri için beşer test yöntemi uygulanmıştır. Bu sonuçların tamamı Çizelge 6, Çizelge 9 ve Çizelge 13’de gösterilmiş ayrıca Şekil 7’de görselleştirilmiştir.

Bu çizelgelerde yorumlama için önemli kriterler Correlation Coefficient (Korelasyon katsayısı) değerinin yüksek ve hata oranlarının düşük olmasıdır. Korelasyon katsayısı -1 ile 1 arasındaki herhangi bir değeri alabilir. Bu katsayısı negatif olması ters yönlü bir ilişkiyi (değişken değerleri artınca sonuç azalır veya değişken değerleri azalınca sonuç artar), pozitif olması da aynı yönlü ilişkiyi (değişken değerleri artınca sonuç da artar veya değişken değerleri azalınca sonuç da azalır) ifade eder. Katsayı -1 veya +1’e ne kadar yakınsa ilişki o kadar kuvvetlidir diyebiliriz.

Bölüm 3’de açıklandığı üzere en iyi sonuçlar DVM algoritmasıyla veri bölme yöntemi %90 uygulanarak elde edilmiştir. Bu değer 0,9638 ile 1’e oldukça yakındır. Bu sonuç bize, SMO algoritmasının araçların özellikleri ve fiyatlarıyla ilişkilerini en iyi şekilde öğrenebildiğini gösterir. Aynı şekilde DVM seçilen bütün kıstaslara göre yine en az hata veren algoritmadır.

Sonuç olarak bu algoritmadan destek alınarak oluşturulan yeni bir ön fiyatlama sisteminde, müşteriye çok daha kısa sürede tutarlı ve her bayide aynı teklifler verilebilecektir. Ayrıca, doğru ve hızlı fiyatlandırma nedeniyle müşteri güven ve memnuniyetinde de artış olacaktır. Aynı zamandan tüm fiyatlandırma verileri otomatik olarak alınabilecektir.



Şekil 7: YSA,DVM ve Doğrusal regresyon yöntemlerinin performanslarının karşılaştırılması

Figure 7. Performance comparison of ANN, SVM and linear regression methods

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Aggarwal, C. C., & Zhai, C. (2012). *Mining text data*. Springer Science & Business Media.
- Ahmed, N. K., Atiya, A. F., Gayar, N. El, & El-Shishiny, H. (2010). An empirical comparison of machine learning models for time series forecasting. *Econometric Reviews*, 29(5–6), 594–621.
- Berry, M. W., & Castellanos, M. (2004). Survey of text mining. *Computing Reviews*, 45(9), 548.
- Cao, L.-J., & Tay, F. E. H. (2003). Support vector machine with adaptive parameters in financial time series forecasting. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 14(6), 1506–1518.
- Chan, T.-H., Jia, K., Gao, S., Lu, J., Zeng, Z., & Ma, Y. (2015). PCANet: A simple deep learning baseline for image classification? *IEEE Transactions on Image Processing*, 24(12), 5017–5032.
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning*, 20(3), 273–297.
- Daştan, H. (2016). TÜRKİYE’DE İKİNCİ EL OTOMOBİL FİYATLARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN HEDONİK FİYAT MODELİ İLE BELİRLENMESİ. *İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(1), 303–327.
- Ecer, F. (2013). Türkiye’de 2. El otomobil fiyatlarının tahmini ve fiyat belirleyicilerinin tespiti.
- Hartigan, J. A., & Wong, M. A. (1979). Algorithm AS 136: A k-means clustering algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 28(1), 100–108.
- Jain, A. K., & Dubes, R. C. (1988). *Algorithms for clustering data*.
- Jurafsky, D. (2000). *Speech and language processing: An introduction to natural language processing*. Computational Linguistics, and Speech Recognition.
- Kotsiantis, S. B., Zaharakis, I., & Pintelas, P. (2007). Supervised machine learning: A review of classification techniques. *Emerging Artificial Intelligence Applications in Computer Engineering*, 160, 3–24.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436.
- Manning, C. D., Manning, C. D., & Schütze, H. (1999). *Foundations of statistical natural language processing*. MIT press.
- Manning, C., Surdeanu, M., Bauer, J., Finkel, J., Bethard, S., & McClosky, D. (2014). The Stanford CoreNLP natural language processing toolkit. In *Proceedings of 52nd annual meeting of the association for computational linguistics: system demonstrations* (pp. 55–60).
- Nasrabadi, N. M. (2007). Pattern recognition and machine learning. *Journal of Electronic Imaging*, 16(4), 49901.
- Neter, J., Wasserman, W., & Kutner, M. H. (1989). *Applied linear regression models*.
- Özçalıcı, M. (2017). Veri Madenciliğinde Birliktelik Kuralları ve İkinci El Otomobil Piyasası Üzerine Bir Uygulama. *ODÜ Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi (ODÜSOBİAD)*, 7(1), 45–58.
- Rokach, L., & Maimon, O. Z. (2008). *Data mining with decision trees: theory and applications* (Vol. 69). World scientific.
- Steinbach, M., Karypis, G., & Kumar, V. (2000). A comparison of document clustering techniques. In *KDD workshop on text mining* (Vol. 400, pp. 525–526). Boston.
- Tan, A.-H. (1999). Text mining: The state of the art and the challenges. In *Proceedings of the PAKDD 1999 Workshop on Knowledge Discovery from Advanced Databases* (Vol. 8, pp. 65–70). sn.
- Wan, J., Wang, D., Hoi, S. C. H., Wu, P., Zhu, J., Zhang, Y., & Li, J. (2014). Deep learning for content-based image retrieval: A comprehensive study. In *Proceedings of the 22nd ACM international conference on Multimedia* (pp. 157–166). ACM.
- Wang, N., & Yeung, D.-Y. (2013). Learning a deep compact image representation for visual tracking. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 809–817).

INVESTIGATION OF THE SOLID WASTE LANDFILL SITE SELECTION USING THE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM IN THE CITY OF NİĞDE

¹Ela ERTUNÇ, ²Aslı BOZDAĞ, ³Öznur Begüm GÖKÇEK

¹Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Geomatics Engineering, Selçuklu-Konya, TURKEY

²Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Engineering, Department of Geomatics Engineering, Niğde, TURKEY

³Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Niğde, TURKEY

¹eertunc@ktun.edu.tr, ²aslibozdag@ohu.edu.tr, ³begumgokcek@ohu.edu.tr

(Geliş/Received: 14.03.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 27.05.2019)

ABSTRACT: Nowadays, increasing population and consumption rate have led to the need for the removal of solid wastes from urban areas in a more economical, environmentally friendly, and controlled manner. The increasing growth of urban area along with the increasing population and the need to protect the natural structure of the rural area for the continuity of life have made the selection of suitable sites for the storage of solid wastes a quite important process. In urban areas, increasing population density and solid waste production rate, the diversity of land use, environmental and climatic changes, and the expectations of urban stakeholders (implementers, managers, and living stakeholders) regarding solid waste storage areas have turned the site selection of solid waste storage areas into a complex process.

The successful management of this complex and multi-actor process for solid wastes along with its economic, environmental and social aspects and the protection and development of urban and rural lives require a system. The Geographic Information System (GIS) and its applications are important tools in the management and monitoring of this complex process with its abilities to store graphical and non-graphical data, to analyze them by using together, to model and visualize them.

In this study, the solid waste landfill site located in the city center of Niğde province in Turkey was evaluated by the analyses performed using the GIS (land use, slope, visibility, spatial distances). The suitability of the solid waste landfill site for the changing land use in the strategic planning process of the city center of Niğde was discussed with the analyses.

Keywords: Landfills, Municipal solid waste (MSW) landfills site selection, Solid waste management, Geographic Information System (GIS), Niğde.

Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla Niğde Kentinde Katı Atık Depolama Alanı Yer Seçiminin İncelenmesi

ÖZ: Günümüzde artan nüfus ve tüketim hızı katı atıkların daha ekonomik, çevreye duyarlı ve kontrollü olarak kentsel alandan uzaklaştırılması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Kentsel alanın artan nüfus ile birlikte giderek büyümesi ve kırsal alanın doğal yapısının hayatın devamlılığı için korunması gerekliliği katı atıkların depolanması için uygun yer seçimini oldukça önemli bir süreç haline getirmiştir. Kentsel alanlarda; artan nüfus yoğunluğu ve katı atık üretim hızı, arazi kullanım çeşitliliği, çevresel ve iklimsel değişimler ve katı atık depolama sahalarına ilişkin kentsel paydaşların (uygulayıcı, yönetici ve yaşayan paydaşlar) beklentileri katı atık depolama sahalarının yer seçimini karmaşık bir süreç haline getirmektedir.

Katı atıklar için bu karmaşık ve çok aktörlü sürecin ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarıyla başarılı bir şekilde yönetilerek kentsel ve kırsal yaşamın korunarak geliştirilebilmesi bir sistemi gerektirmektedir.

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve uygulamaları grafik ve grafik olmayan veriyi depolama ve beraber kullanarak analiz etme, modelleme ve görselleştirme yetenekleri ile bu karmaşık sürecin yönetilmesinde ve izlenmesinde önemli bir araçtır.

Bu çalışmada, Türkiye'nin Niğde ili kent merkezinde yer alan katı atık deponi alanının yeri CBS yardımıyla yapılan analizler (arazi kullanım, eğim, görünürlük, konumsal mesafeler) ile değerlendirilmiştir. Analizlerle katı atık deponi alanının yerinin Niğde kent merkezinin stratejik planlama sürecinde değişen arazi kullanımına uygunluğu tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Depolama alanları, Katı atık deponi alan seçimi, Katı atık yönetimi, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), Niğde

INTRODUCTION

In the literature, it is possible to find different definitions of the term solid waste. Kolay (2012) expresses solid wastes as solid substances that are formed as a result of various activities of people within the production and consumption process and consequently through industrial, commercial, social service and similar activities and that are required to be removed. According to Varınca et al. (2009), solid wastes are defined as things that are not desired by their owners, are collected for the public interest and must be disposed in accordance with the principles of science and art, scientific principles, and engineering principles. Solid wastes that are expressed in different ways and increase along with population, urban growth, business activities, industrialization and changing consumption models should be stored regularly using well-designed engineering methods.

The site selection of a landfill area is a critical issue for the urban planning process due to the enormous effect of the region that is selected as the solid waste landfill on the economy, ecology, and environmental health of the city (Chang et al., 2008). The reason is that it requires significant expertise in various social and environmental areas such as soil science, engineering, hydrogeology, topography, land use, sociology, and economics (Sumathi et al., 2008). Furthermore, the selection process for the landfill area is an issue which aims to determine areas that will minimize dangers to the environment and public health and also has significant financial effects (Uyan, 2014; Kontos et al., 2005). Therefore, the site selection process should be examined in detail to support the national economy in terms of the sustainable planning of the city, shaping the future land use structure of the city, and time and cost.

Site selection for waste transfer stations is a complex process that requires careful consideration of a number of environmental features of the area (Bosempem et al., 2016). The GIS plays an important role in the management and monitoring of the complex process experienced in the selection of landfill areas. An examination of the related literature reveals that the most advanced methodology used to automate the process of waste planning and management is the design and construction of integrated systems based on geographical information system (GIS) environments (Karadimas and Loumos, 2008). In the literature, GIS technologies are used as superior tools compared to conventional methods in the planning process of site selection studies that should involve certain parameters, such as school, hospital, new residential areas or solid waste landfill area, and during further evaluations (Dağıstanoğu, 2012). The use of a GIS-based approach in the landfill process reduces the cost and provides a long-term data bank in digital media for monitoring the selected site (Moeinaddini et al., 2010; Donevska et al., 2012; Eskandari et al., 2012). Many researchers also performed a solid waste site selection analysis by using this method. For example, in their study, Djokanovic et al. (2016) performed site selection for the landfill area using the GIS method. Randozzo et al. (2018) used AHP and GIS methods in combination for the most suitable site selection in the study which they made. Furthermore, in their studies, Lokhande et al. (2017), Sekulovic and Jakovljevic (2016), Maguiri et al. (2016), Aksoy (2016), Demesouka et al. (2016), Monsef (2015), Baba et al. (2015), Rathore

et al. (2015), Arkoç (2014), Dağışanoğlu (2012), Kolay (2012), Yıldırım (2012), Şener et al. (2011), Moeinaddini et al. (2010), Guiqin et al. (2009), Sumathi et al. (2008), Chang et al. (2008), Mahini and Gholamalifard (2006), Şener et al. (2006), Kontos et al. (2005), Gupta et al. (2003), Baban and Flannagan (1998) attempted to solve the solid waste site selection problem, which is an environmental problem, using the GIS method.

In this study, unlike the studies in the literature, the existing solid waste landfill site located in the city center of Niğde in Turkey was evaluated by the analyses performed using the land use structure, legislation, and the GIS (slope, visibility), instead of a new solid waste landfill site selection. The functionality of the existing area was evaluated from environmental aspects by considering the pressures in terms of cost to be caused by the reproduction process of the solid waste storage area. The suitability of the solid waste landfill site for the changing land use in the strategic planning process of Niğde province was discussed with the analyses.

MATERIAL AND METHOD

The study area is in the city center of Niğde province located in the Central Anatolia region of Turkey (Figure 1). The region of Niğde province is 7,312 km², and 141,010 people live in the city center according to the population data of 2017 year. The problem of storing the amount of solid waste generated by this population every day is continuing.

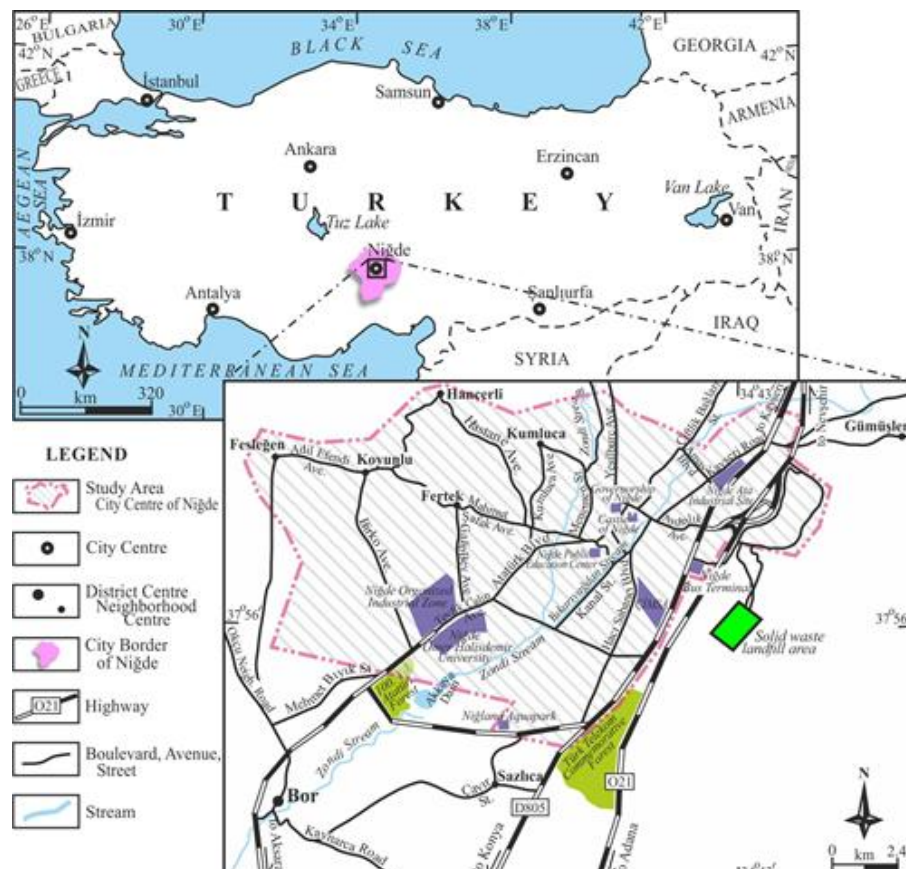


Figure 1. The geographical position of city centre of Niğde

The Niğde Regular Solid Waste Storage Facility was built by Niğde Municipality. It is a 3-stage facility (Figure 2). The site selection, technical design, construction, operation, closure and post-closure control and maintenance processes of regular storage facilities are conducted with the Regulation on the Regular Storage of Wastes No. 27,533 dated March 26, 2010. Approximately 117 tons of solid waste are collected on a daily basis from businesses, houses, institutions, avenues, and streets within Niğde Municipality and adjacent municipal areas. The solid wastes generated from Niğde province are transported to the Solid Waste Regular Storage Facility in Hıdırlık region, located 7 km away from the city center, by the regular storage method (Figure 1 and 2). The Solid Waste Regular Storage Facility was completed and put into operation in 2013. 3 lots are ready to use in the facility area, and the 1st lot is currently used in the facility area.

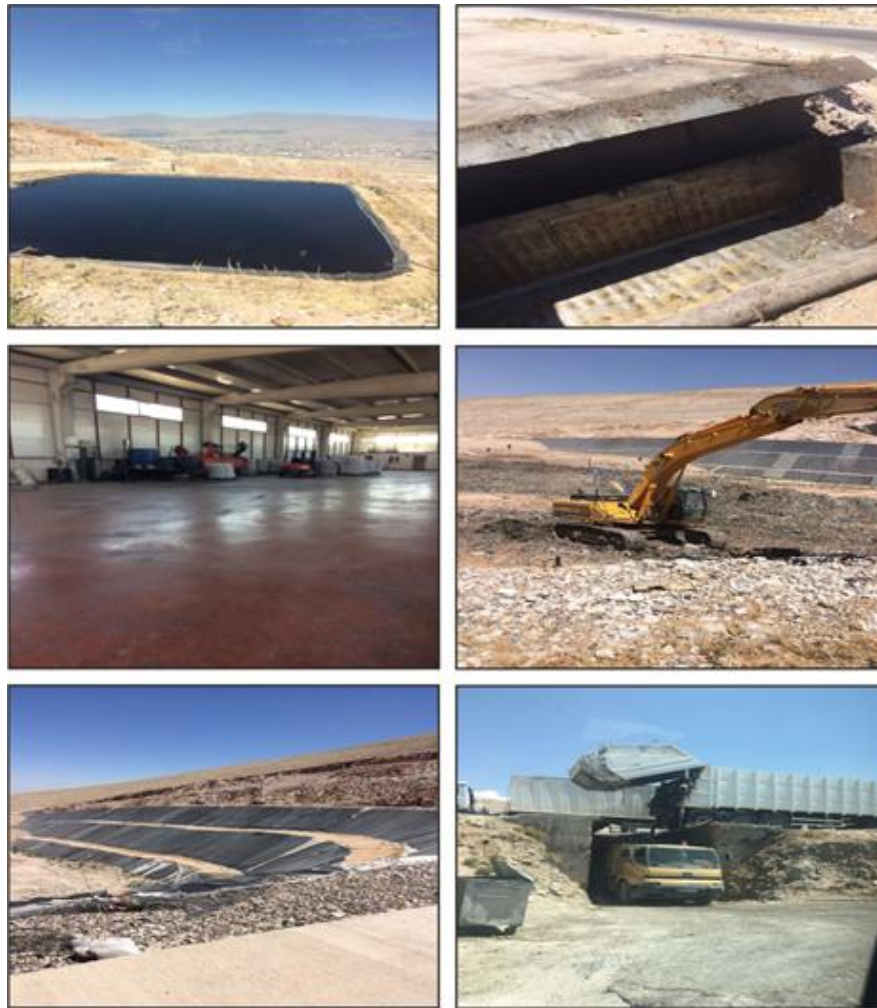


Figure 2. Solid waste storage facility in Niğde province

In our country, the management of solid wastes is carried out in accordance with the laws and regulations. The regulations regarding the site selection of solid waste storage facilities are included in “the Regulation on the Control of Solid Wastes (Katı Atıkların KontrolüYönetmeliği)” as noted in Official Newspaper of the Republic of Turkey on March14, 1991 (T.C. Resmi Gazete, 1991). Furthermore, the general considerations to be taken into account in the selection of solid waste landfill areas have been determined by the Ministry of Environment. Accordingly, solid waste dump sites must be at least 1 km to the nearest settlement and at least 5 km to the airport. They must not be built in the protection zones of underground

and surface water where drinking water, potable and irrigation water are provided. The location of the facility established must be specified in the development plan, and it must be ensured that it is not opened for at least 40 years after it is closed to the operation. Solid waste landfill areas must never be built in regions with tectonic structure, cracks, and fractures, areas with high overflow risk, landslide and erosion sites, in the dominant wind direction, on the fault in earthquake zones, and wetlands. The situation of the surrounding traffic and transport routes and the dimension of city planning must be evaluated. Factors such as transport distance, the total storage capacity of the site, and the view of the site from the environment must be taken into account. The storage area must have the capacity to respond to needs for at least 10 years.

In this study, in accordance with the aim of the study, the land use structure of the city was first examined, and the distances of usages inside and outside of the settlement area to the solid waste landfill area were determined. These distances were compared by the distances and basic criteria that should be met for solid waste landfill areas determined by the regulations and literature studies carried out.

Then, the suitability of the location of the solid waste landfill area was examined using ArcGIS 10.2 software in the GIS within the context of the slope, visibility, and dominant wind direction analysis. The digital elevation model (DEM) representing the topography of the solid waste landfill site and its immediate surroundings was first created to perform visibility and slope analysis (Figure 3). The DEM provides a digital representation of the topographic surface expressing the formation of the hill, valley, plain, slope, coastal and water areas and settlement (Önem and Kılınçaslan, 2005; Pişkin, 2011).

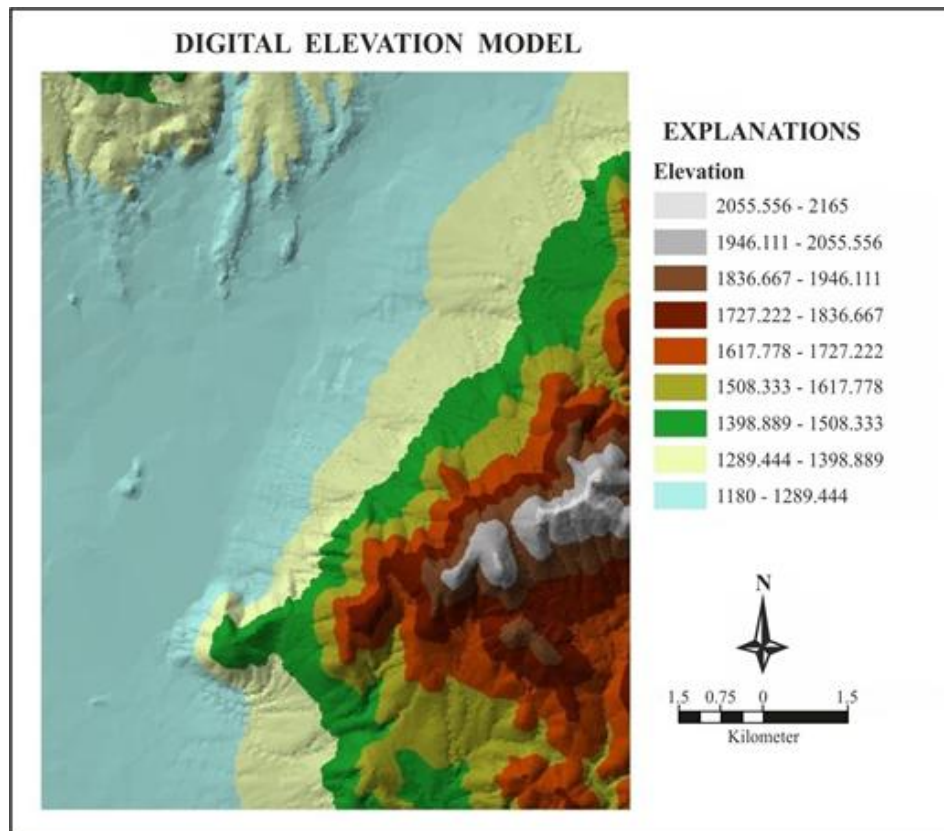


Figure 3. Digital elevation model

Slope and visibility analysis was performed through the digital elevation model created. Slope analysis provides the expression of elevations according to varying slope values. Slope analysis is important in terms of the transportation of heavy tonnage vehicles to the solid waste landfill site and the prevention of

landslide, flood, and avalanche hazards. Furthermore, slope analysis is important in terms of the effects of the dominant wind direction and the effects of dust and particles to be caused by the solid waste landfill site on urban life. The effects of the dominant wind direction will also vary according to the slope of the city. In this context, the effects of the dominant wind direction were evaluated through slope analysis.

Visibility is quite important in that it may negatively affect the urban identity of solid waste landfill areas. Visibility analysis enables to perform the analysis of visible and invisible areas within the study area from one or more designated observation points (Kol and Küpçü, 2008; Bartie et al., 2008). Visibility analysis has been discussed in academic studies in different fields and areas such as national security, health, navigation, and archeology (VanHorn and Mosurinjohn, 2010; Alalouch and Aspinal, 2007; Delikostidis et al., 2013; Gümüş et al., 2017). In this study, the determination of visibility in solid waste landfill areas will contribute to the literature for the determination of environmental and visual values in solid waste landfill site selection.

Finally, the geological structure of the solid waste landfill area and its immediate surroundings was examined, and evaluation was performed according to the properties of rocks on the ground. Geologically, the presence of limited water permeability in the areas with volcanic character is the desired soil structure for solid waste landfill areas. Accordingly, the existing solid waste storage area was evaluated with the properties it has in terms of rock type, and the petrographic characteristics of rocks in the region and their suitability for structural features were discussed through geological map. The suitability of the solid waste landfill site in the city of Niğde was evaluated according to the data examined and analyses performed.

RESULT AND DISCUSSION

The suitability of the existing solid waste landfill site selection in the city of Niğde in terms of the planning process of the city was evaluated according to land use status, distances to settlements specified by legislation, slope, visibility, dominant wind direction, and geological structure.

Evaluation in Terms of Land Use and Distances to Settlements Specified by Legislation

The land use structure of the city of Niğde and the distances to solid waste landfill areas were examined within the framework of legislation.

The general land use characteristics of the city of Niğde are presented in Figure 4. Accordingly, residential areas become dense in the north and northeast of the city of Niğde. Industrialization between the main route passing through the city center and the peripheral road is quite high. The solid waste landfill area is located quite outside the existing urbanization limit according to the land use map. The solid waste landfill area was evaluated in detail according to land use characteristics inside and outside the settlement.

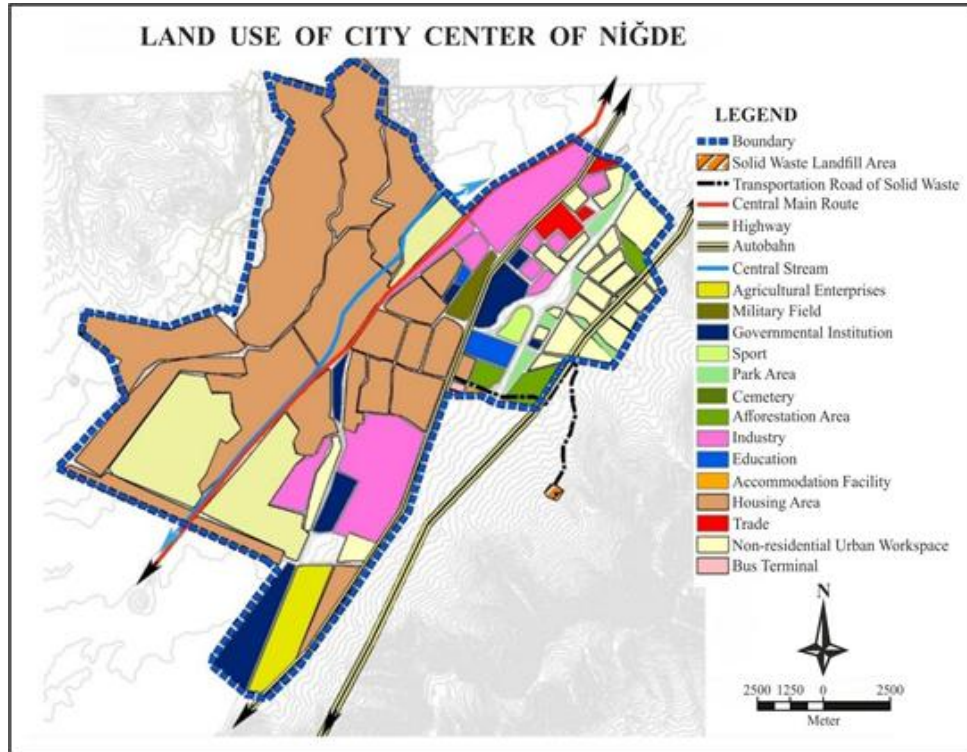


Figure 4: Theevaluation map according to land use

Evaluation of the solid waste landfill area according to land use characteristics inside the settlement area

In Table 1, the distance of the solid waste landfill area in the city of Niğde to usages inside the settlement area was evaluated. Solid waste storage areas must be located at least one kilometer from settlement areas according to legislation. Accordingly, it can be interpreted that the location of the solid waste landfill area is suitable when the distances to the solid waste landfill area presented in Table 1 are evaluated within the scope of settlement uses (house, training facility, green area, public enterprise, trade area, afforestation areas, sports area, and bus terminal).

Table 1. The distances of existing settlement areas to the solid waste landfill area according to land use properties in Niğde province

USED SETTLEMENT AREAS	DISTANCE TO THE SOLID WASTE LANDFILL AREA (km)
Urban border	2.09
Autobahn	2.09
Highway	4.24
Central main route	5.74
Central stream	6.34
Nearest housing area	3.87
Bus terminal	3.84
The nearest green area	2.54
The nearest governmental institution	2.66
The nearest sports area	2.95
The nearest trade area	5.13
The nearest afforestation area	2.06
The nearest education facility	4.78

The use of a bus terminal within the settlement area built on the peripheral road in recent years poses a threat to settlement area distances which are considered suitable according to today's land use characteristics presented in Figure 4. The solid waste landfill area located near the bus terminal has negative effects on the settlements for the environment where the bus terminal is located. The increase in settlements for the location where the bus terminal is located should be evaluated by future population projections, and the development of the urban area in this direction should be limited.

Evaluation of the solid waste landfill area according to land use characteristics outside the settlement area

In Table 2, the distance of the solid waste landfill area in the city of Niğde to usages outside the settlement area was evaluated. According to the legislation, the distance to industrial zones and agricultural areas should be at least 500 m. The land use classes of agricultural areas, forested areas, and protected areas should be known, and these regions should be taken into consideration in site selection because, according to land use ability classes, a landfill area cannot be established in the lands of I, II, II, and IV class. The areas that can be landfill areas should not have a sandy and loamy soil texture. Apart from these, the distance of storage areas to the main transportation networks (highways-railways) should be at least 200-300 m, their distance to surface water sources and distance to drinking water supply wells should be at least 100-200 m, their distance to fault lines should be 60-80 m, and their distance to military areas and protected areas should be at least 100-500 m. The waste transport distance should be between 10 and 30 km at the most according to legislation although it varies by the size of the settlement.

Table 2. Comparison with the values in the legal legislation of existing the solid waste landfill area in Niğde province

DISTANCE OF URBAN USE AREAS TO THE SOLID WASTE LANDFILL AREA ACCORDING TO EXISTING LAND USE SITUATION IN NIĞDE PROVINCE		THE LIMIT VALUES WHICH CONTAINED IN LEGAL LEGISLATION AND RELATED LITERATURE
Urban Use Areas	Distance to the Solid Waste Landfill Area (km)	Distances (km)
Urban border	2.09	1.00
Industrial zone	5.02	0.50
Autobahn	2.09	
Highway	4.24	0.20 - 0.30
Central main route	5.74	
Central stream	6.34	0.30 - 0.50
The nearest areas whose agricultural attribute to be protected	7.42	0.50

The solid waste landfill area in the city center of Niğde is situated in a location convenient to limit values in legislation in terms of its distances to the industrial zone, highway, peripheral road, and central main route. Furthermore, it can also be said that the location of the existing storage area has been selected correctly according to its distance to the central stream in the city and to the nearest areas the agricultural nature of which will be protected. As it is seen in Figure 4, the limitation of demands for settlement on the peripheral road in the future and accordingly urban development is important for protection against the negative effects of the solid waste landfill area.

Evaluation According to Slope Status

The slope can be considered as an economic factor in site selection for reasons such as accessibility for solid waste landfill areas, difficulty in the implementation of the project, and additional cost. In the study carried out by Oweis et al. (1990), it is indicated that the slope value of the areas where solid waste landfill sites are located should not be greater than 15 percent. In general, in the studies carried out, regions with a slope value of 15 percent and below and especially regions with a slope value of 7 percent and below are shown as the most suitable areas in terms of slope. Therefore, attention should be paid to the road slope while doing road planning.

Slope analysis was performed in the settlement area, solid waste landfill area, and its surroundings to analyze the slope status of the solid waste landfill site established in the city of Niğde (Figure 5).

According to the slope analysis map, the solid waste landfill area is located in the region with a slope range of 8% - 14%. Accordingly, it can be said that it is suitable in terms of land slope and the accessibility of heavy vehicles.

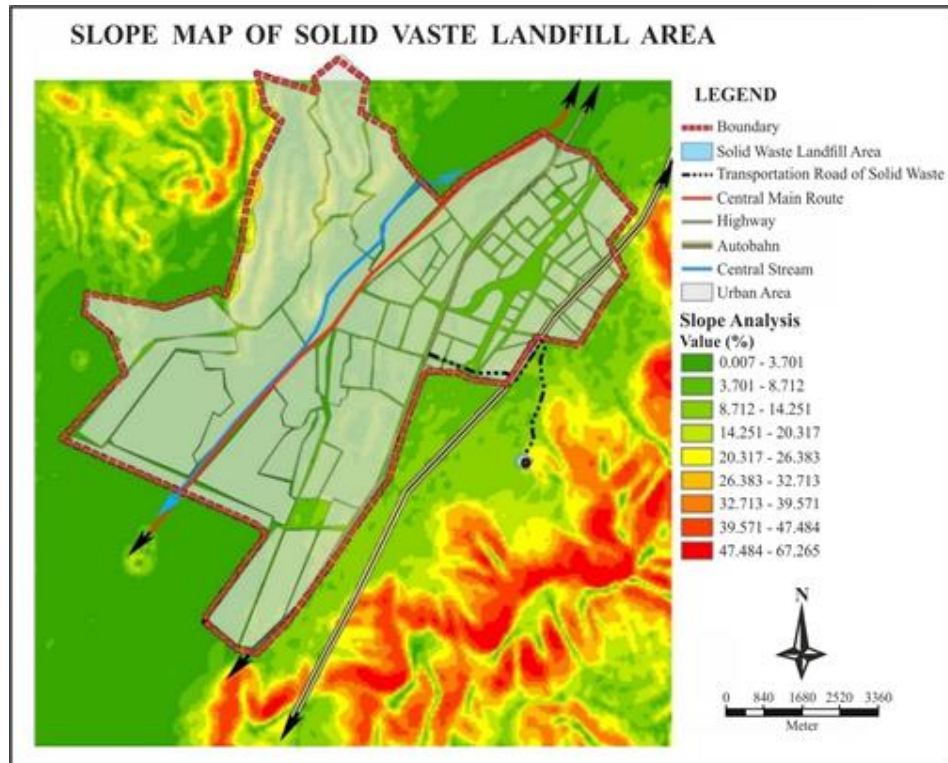


Figure 5. The evaluation map according to slope status of the region

Evaluation According to Visibility Status

According to the Regulation on the Control of Solid Wastes, it is required that landfill areas should not be seen from the highway as much as possible. Therefore, the visibility of the existing site was analyzed (Figure 6).

As it is seen in the slope map in Figure 5, the solid waste landfill site was established in a high area. Therefore, it was determined that it was established at a dominant point where almost the whole city is visible. The solid waste landfill area is visible from certain parts of the peripheral road and highway. This situation negatively affects the inhabitants and also creates a bad urban identity for newcomers and tourists.

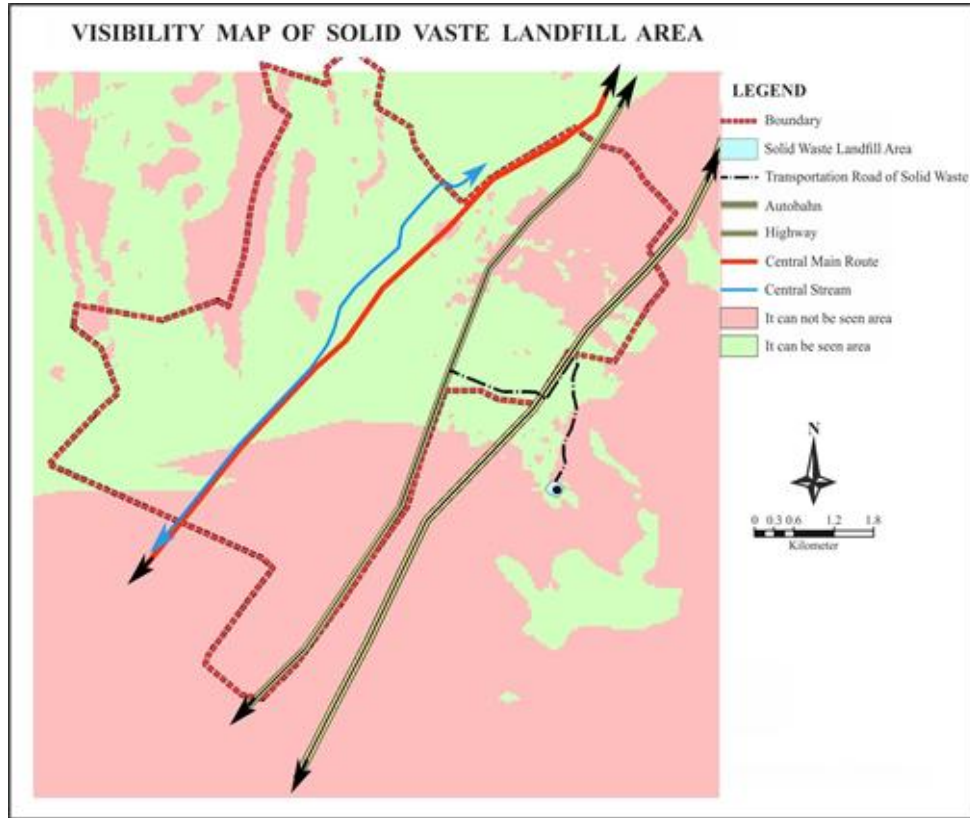


Figure 6. The evaluation map according to visibility status

Evaluation According to the Dominant Wind Direction

The wind or winds that mostly blow within certain periods of time in a region are called the dominant wind, and the direction they blow is called the dominant wind direction (İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi, 2019). The dominant wind direction is very important in the site selection of storage facilities. Although impermeable soil is used in solid waste storage areas, they are desired not to be built open to the dominant wind direction to prevent the distribution of dust and odor by the wind. Therefore, if the storage area to be used is established without considering the dominant wind direction, unpleasant smell formed in the storage area and substances that would cause problems will be moved to settlement areas. The dominant wind direction on the city's topography is presented in Figure 7. Topography is an important factor affecting the dominant wind direction. The city is spread over an area with a lower slope compared to the solid waste landfill area. Accordingly, it can be said that the dominant wind direction may adversely affect the health of the inhabitants according to the slope of the city.

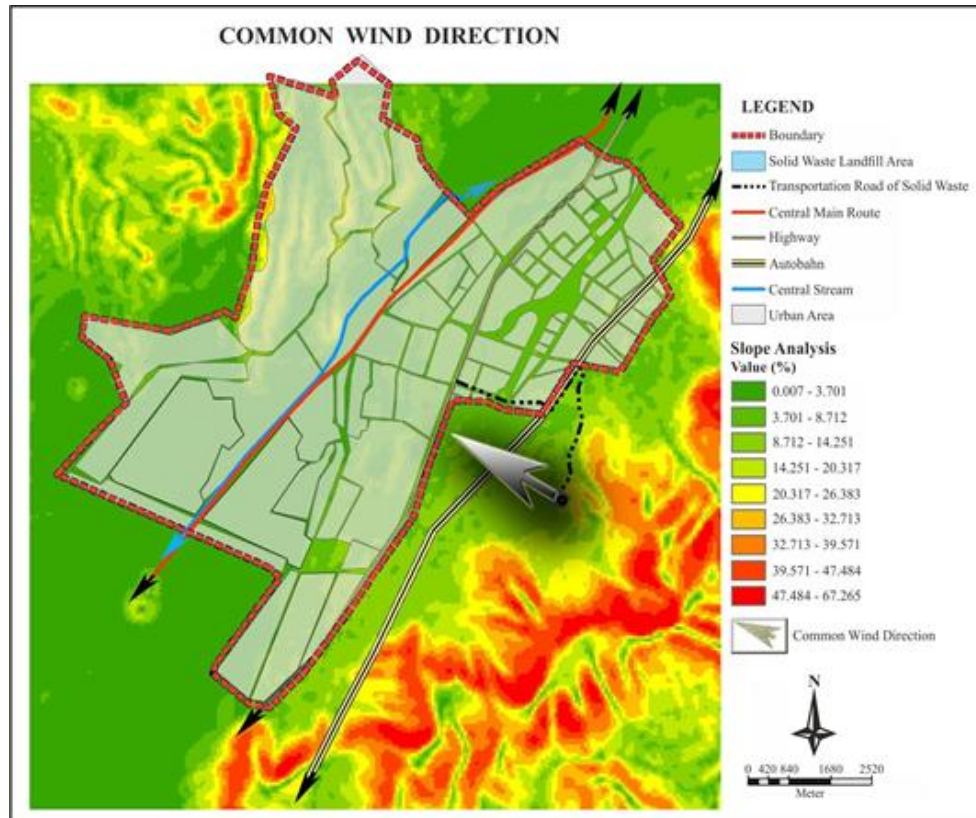


Figure 7. The evaluation map according to common wind direction

Evaluation According to the Geological Structure

The geological features of the region are among the most important parameters used in the solid waste landfill site selection. In particular, the petrographic and structural features of the soil are very important for the protection of underground water. The presence of impermeable soil is preferred in the solid waste area. Furthermore, limited water permeability in the areas with volcanic character is the desired soil structure for solid waste storage areas. The plutonic rocks with a granular texture and the massive volcanic and metamorphic rocks are further preferred in landfill site selection for the protection of underground water. In particular, sedimentary rocks (claystone, marl) and metamorphic rocks (such as slate, phyllite, schist, and some gneisses) with high clay content have very low permeability and also the ability to absorb some amount of waste material. Therefore, these rocks can also make some purification. The regions where structural elements such as faults, cracks, and fissures are common and the areas where there are rocks with high permeability (such as abundant porous sandstone, conglomerate, basalt) are not suitable for landfill site selection. Furthermore, the bedding planes of clastic sedimentary rocks also increase permeability.

The geological map of Niğde province and its immediate surroundings is presented in Figure 8. When the geological map of the region is examined, it is observed that the solid waste storage facility is located on the Quaternary-aged slope rubble and in a region very close to the Aşığıdiği formation (Figure 8). Slope rubbles are Holocene aged sediments attached loosely formed by the accumulation of block, gravel, sand and clay-sized sediments that are broken by physical and chemical decomposition from high sections on a slope. Their thickness usually varies between 1-10 m. The slope rubbles observed in the study area are 1-5 m thick. The slope rubble has a permeable characteristic since it is loosely attached. Therefore, this slope rubble

with very little thickness was removed, and the Niğdesolid waste storage facility was established on the Aşıgediği formation underneath it.

Marbles, which are the dominant lithology of the Aşıgediği formation, usually have a massive structure, mosaic and grift texture (granoblastic texture), and medium-coarse crystal characteristic. The amphibolites observed in the upper levels of this formation have a massive and nematoblastic texture while quartzites have a massive and granoblastic texture like marbles. Phyllosilicate mineral contents such as mica are high in gneisses which show massive and thick foliation structures (composition-dependent bedding) observed in the upper levels of this formation. These mica minerals were formed by the metamorphism of clay minerals. Marble, amphibolite, quartzite, and gneisses are completely crystalline, medium granular rocks. They have no pores. Therefore, all rocks forming the Aşıgediği formation have an impermeable property. In terms of structural characteristics, a large-scale fault is not observed in the region where the Niğde solid waste storage facility is located (Figure 8). On the contrary, there are some fissured structures (fractures) in the Aşıgediği formation that was affected by at least 2 deformation phases.

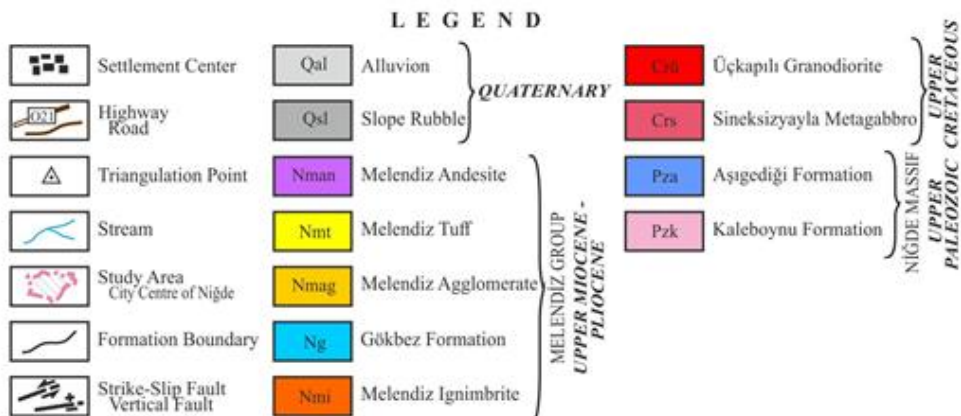
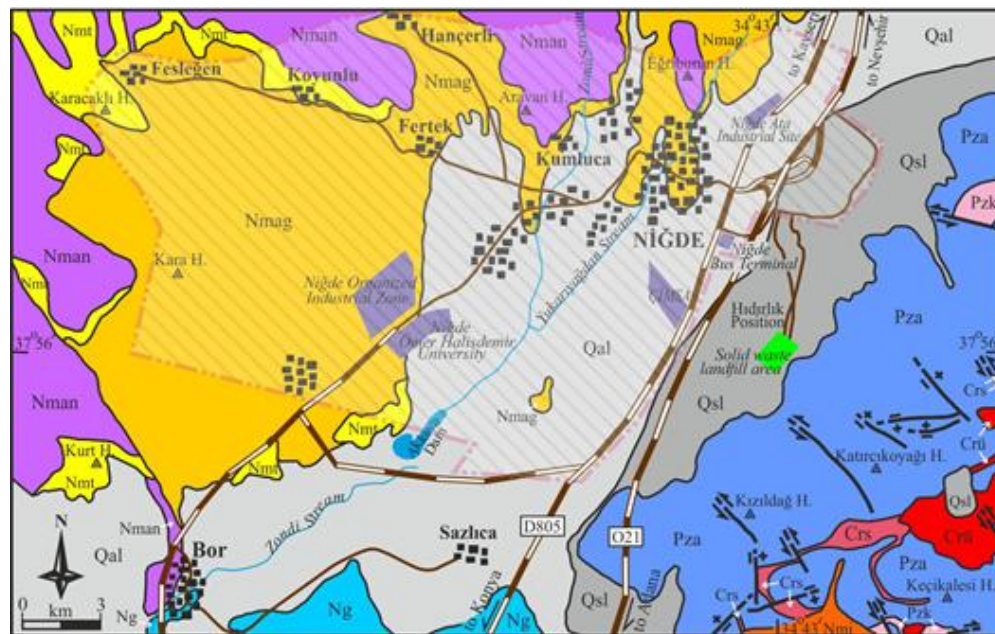


Figure 8. The geological map of Niğde and its surroundings (it has been received by partially modifying from Atabey (1980))

In conclusion, the region where the Niğde solid waste storage facility is located is suitable in terms of the petrographic properties of rocks on the ground and structural elements. On the contrary, it is necessary to take precautions for the fissured structures (fractures) that are observed occasionally. In particular, solid wastes stored should be prevented from being mixed in underground water by leaking from these fractures.

CONCLUSION

In the century we live in, uncontrolled population growth, industrialization and therefore the increase in consumption bring along unplanned urbanization and environmental problems. The problem of solid waste and its storage is an important environmental problem that needs to be solved for the sustainable development of today's cities. The solid waste landfill area is a type of land use which is highly risky for the environment and hence community health and is important for future scenarios of a city. Therefore, where a solid waste landfill area is located is extremely important.

The aim of this study was to investigate the location of the existing solid waste landfill area located in the city center of Niğde province in Turkey according to the basic criteria selected using the GIS and to discuss the suitability of the location where it exists. According to the results obtained:

- The location of the existing solid waste landfill area is within suitable distances for land uses inside and outside the city's settlement area according to legislation.
- With respect to slope and geological structure, it is suitable site selection according to legislation.
- According to the results obtained from visibility analysis, it has been determined that it is situated in a location that may negatively affect the urban identity of Niğde, which is already an underdeveloped city.
- With respect to the dominant wind direction, it is situated in a location that may lead to negative effects on urban health.

In this study, it was determined that the proximity of the solid waste landfill area to the city boundary may constitute a problem when the direction of development and development potential of the city of Niğde on the bus terminal area and highway during the next 20 years are considered. The results obtained in this study carried out for the city of Niğde are quite important for future planning strategies of the city because solid waste landfill sites are high-cost areas planned to serve the city not only for today but also in the long term. Furthermore, these sites play a role in the emergence of results that will affect the direction of development, identity, and livability of the city. This study provides guidance to other studies with respect to the future of cities and increasing the success of applications for future projects of implementers by extending the scope of the criteria examined within the context of GIS.

REFERENCES

- Aksoy, E., 2016., Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Antalya İli Katı Atık Deponi Alanı Belirlenmesi, Master diss., Akdeniz University, Graduate School of Natural Sciences, Antalya, Turkey.
- Alalouch, C., Aspinall, P., 2007, "Spatial Attributes of Hospital Multi-Bed Wards and Preferences for Privacy", *Facilities*, 25, 9/10, 345-362, doi:10.1108/02632770710772450.
- Arkoc, O., 2014, "Municipal Solid Waste Landfill Site Selection using Geographical Information Systems: a case study from Çorlu, Turkey", *Arabian Journal of Geosciences*, 7, 4975-4985.
- Atabey, E., 1980, 1/25.000 Ölçekli Sayısal Jeoloji Haritaları, Kozan M33 a1 Paftası, Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Turkey.

- Baba, M.E., Kayastha, P., Smedt, F.D., 2015, "Landfill Site Selection Using Multi-criteria Evaluation in the GIS Interface: A Case Study from the Gaza Strip, Palestine", *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 7499-7513.
- Baban, S.M.J., Flannagan, J., 1998, "Developing and Implementing GIS Assisted Constraints Criteria for Planning Landfill Sites in the UK", *Planning Practice & Research*, 13, 2, 139-151.
- Bartie, P., Mills, S., Kingham, S., 2008, "Geospatial Vision New Dimensions in Cartography. An Egocentric Urban Viewshed: A Method for Landmark Visibility Mapping for Pedestrian Location Based Services", Springer, Berlin, Heidelberg, 4, 61-85, ISBN: 978-3-540-709671.
- Bosempem, C., Stemm, E., Fei-Baffoe, B., 2016, "Multi-criteria GIS-based Siting of Transfer Station for Municipal Solid Waste: The Case of Kumasi Metropolitan Area, Ghana", *Waste Management & Research*, 34, 10, 1054-1063.
- Chang, N.B., Parvathinathan, G., Breeden, J.B., 2008, "Combining GIS with Fuzzy MultiCriteria Decision-making for Landfill Siting in a Fast-growing Urban Region", *Journal of Environmental Management*, 87, 139-153.
- Dağıstanoğlu, C., 2012, Eğirdir Katı Atık Deponi Alanının Yer Seçimi Kriterlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Belirlenmesi, PhD diss., Ege University, Graduate School of Natural Sciences, İzmir, Turkey.
- Delikostidis, I., Engel, J., Retsios, B., van Elzakker, C.P.J.M., Kraak, M.J., Döllner, J., 2013, "Increasing the Usability of Pedestrian Navigation Interfaces by Means of Landmark Visibility Analysis", *The Journal of Navigation*, The Royal Institute of Navigation, 66, 523-537, doi:10.1017/S0373463313000209.
- Demesouka, O.E., Vavatsikos, A.P., Anagnostopoulos, K.P., 2016, "Using Macbeth Multicriteria Technique for GIS-based Landfill Suitability Analysis", *Journal of Environmental Engineering*, 142, 10, 1-10.
- Djokanovic, S., Abolmasov, B., Jevremovic, D., 2016, "GIS Application for Landfill Site Selection: A Case Study in Pancevo, Serbia", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75, 1273-1299.
- Donevska, K.R., Gorsevski, P.V., Jovanovski, M., Pesevski, I., 2012, "Regional Non-hazardous Landfill Site Selection by Integrating Fuzzy Logic, AHP and Geographic Information Systems", *Environmental Earth Sciences*, 67, 121-131.
- Eskandari, M., Homaei, M., Mahmodi, S., 2012, "An Integrated Multi Criteria Approach for Landfill Siting in a Conflicting Environmental, Economical and Socio-cultural Area", *Waste Management (Oxford)*, 32, 1528-1538.
- Guiqin, W., Li, Q., Guoxue, L., Lijun, C., 2009, "Landfill Site Selection Using Spatial Information Technologies and AHP: A Case Study in Beijing, China", *Journal of Environmental Engineering*, 90, 2414-2421.
- Gupta, R., Kewalramani, M.A., Ralegaonkar, R.V., 2003, "Environmental Impact Analysis Using Fuzzy Relation for Landfill Siting", *Journal of Urban Planning and Development*, 129, 3, 121-139.
- Gümüş, M.G., Durduran, S.S., Bozdağ, A., Gümüş, K., 2017, "GIS Investigation of Site Selection of Historical Structures: The Case of Knidos (Datça, Turkey)", *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 17, 2, 149-157.
- İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi, 2019, Basıncın Dağılışı ve Dünya Üzerindeki Durumu ile Rüzgarların Belirgin Özellikleri, https://auzefal.msstorage.blob.core.windows.net/auzefcontent/ders1/klimatoloji_basinc_ruzgar_nem/3/index.html, Accessed January 14, 2019.
- Karadimas, N.V., Loumos, V.G., 2008, "GIS-based Modelling for the Estimation of Municipal Solid Waste Generation and Collection", *Waste Management & Research*, 26, 337-346, doi: 10.1177/0734242X07081484.
- Kol, Ç., Küpçü, S., 2008, ArcGIS Spatial Analiz, İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd. Şti., Ankara, Turkey.

- Kolay, U.E., 2012, *Altertanif Katı Atık Deponi Alanlarının Yer Seçiminde Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Örnek Bir Uygulama*, Master diss., Bahçeşehir University, Graduate School of Natural Sciences, İstanbul, Turkey.
- Kontos, T.D., Komilis, D.P., Halvadakis, C.P., 2005, "Siting MSW Landfills with a Spatial Multiple Criteria Analysis Methodology", *Waste Management*, 25, 818-832.
- Lokhande, T.I., Mane, S.J., Mali, S.T., 2017, "Landfill Site Selection Using GIS and MCDA Methods: A Review", *International Journal of Research in Engineering, Science and Technologies (IJRESTs)*, 3, 3, ISSN 2395- 6453.
- Maguiri, A.E., Kissi, B., Idrissi, L., Souabi, S., 2016, "Landfill Site Selection Using GIS, Remote Sensing and Multicriteria Decision Analysis: Case of the City of Mohammedia, Morocco", *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75, 1301-1309.
- Mahini, A.S., Gholamalifard, M., 2006, "Siting MSW Landfills with a Weighted Linear Combination Methodology in a GIS Environment", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 3, 4, 435-445.
- Moeinaddini, M., Khorasani, N., Danehkar, A., Darvishsefat, A.A., Zienalyan, M., 2010, "Siting MSW Landfill Using Weighted Linear Combination and Analytical Hierarchy Process (AHP) Methodology in GIS Environment (Case Study: Karaj)", *Waste Management (Oxford)*, 30, 912-920.
- Monsef, H.A., 2015, "Optimization of Municipal Landfill Siting in the Red Sea Coastal Desert Using Geographic Information System, Remote Sensing and an Analytical Hierarchy Process", *Environmental Earth Sciences*, 74, 2283-2296.
- Oweis, I., Smith, D.A., Ellwood, R.B., Greene, D.S., 1990, "Hydraulic Characteristics of Municipal Refuse", *Journal of Geotechnical Engineering*, 116, 4, doi:10.1061/(ASCE)0733-9410(1990).
- Önem, A.B., Kılınçaslan, İ., 2005, "Urban identity and environmental perception in Haliç." *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi/a: Mimarlık, Planlama ve Tasarım*, 4, 1, 115-125.
- Pişkin, G., 2011, *Spatial Analysis of Archaeological Settlements in Aliğa and Its Surroundings Using GIS*, Master diss., Ege University, Graduate School of Social Sciences, İzmir, Turkey.
- Randazzo, L., Cusumano, A., Oliveri, G., Stefano, P.D., Renda, P., Perricone, M., Zarcone, G., 2018, "Landfill Site Selection for Municipal Solid Waste by Using AHP Method in GIS Environment: Waste Management Decision-Support in Sicily (Italy)", *Detritus, Multidisciplinary Journal for Waste Resources & Residues*, 2, 78-88, doi: 10.31025/2611-4135/2018.13656.
- Rathore, S., Ahmad, S.R., Shirazi, S.A., 2015, "Application of GIS Based Model in Landfill Site Selection: A Case Study of Lahore, Pakistan", *Pakistan Journal of Science*, 67, 4, 359-364.
- Sekulovic, D., Jakovljevic, G., 2016, "Landfill Site Selection Using GIS Technology and the Analytic Hierarchy Process", *Earth Sciences*, 64, 3, 769-783, doi: 10.5937/vojtehg64-9578.
- Sumathi, V.R., Natesan, U., Sarkar, C., 2008, "GIS-based Approach for Optimized Siting of Municipal Solid Waste Landfill", *Waste Management (Oxford)*, 28, 2146-2160.
- Şener, B., Süzen, M.L., Doyuran, V., 2006, "Landfill Site Selection by Using Geographic Information Systems", *Environmental Geology*, 49, 376-388.
- Şener, Ş., Sener, E., Karagüzel, R., 2011, "Solid Waste Disposal Site Selection with GIS and AHP Methodology: A Case Study in Senirkent-Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey", *Environmental Monitoring and Assessment*, 173, 533-554.
- T.C. Resmi Gazete, 1991, *Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği*, 20814, March 14, 1991, <http://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/20814.pdf>, Accessed December 12, 2018.
- Uyan, M., 2014, "MSW Landfill Site Selection by Combining AHP with GIS for Konya, Turkey", *Environmental Earth Sciences*, 71, 1629-1639, doi: 10.1007/s12665-013-2567-9.
- Van Horn, J.E., Mosurinjoh, N.A., 2010, "Urban 3D GIS Modeling of Terrorism Sniper Hazards" *Social Science Computer Review*, 28, 4, 482-496, doi:10.1177/ 0894439309360836.

- Varınca, K.B., Esmen, C.,Gönüllü, M.T., 2009,“Bursa İli TıbbiAtıkYönetimSistemiPerformansDeğerlendirmesi”,Türkiye’de AtıkYönetimiSempozyumu, İstanbul, 1-4, 15-17 Haziran 2009. Katı
- Yıldırım, V., 2012,“Application of Raster-Based GIS Techniques in the Siting of Landfills in Trabzon Province, Turkey: A Case Study”,Waste Management &Research, 30, 9, 949-960.



KAYAÇLARIN S_{20} KIRILGANLIK İNDEKSİ İLE SCHMIDT SERTLİĞİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İSTATİSTİKSEL OLARAK BELİRLENMESİ

¹Hakan ÖZŞEN, ²Abdullah UYSAL, ³Arif Emre DURSUN

^{1, 2, 3}Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya, TÜRKİYE

¹hozsen@ktun.edu.tr, ²a.uysal938@gmail.com, ³aedursun@ktun.edu.tr

(Geliş/Received: 09.04.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 27.05.2019)

ÖZ: Kayaçların kırılabilirliğinin belirlenmesi farklı madencilik uygulamalarında önemli bir ön tasarım aracı olarak kabul edilmektedir. Kırılabilirlik değeri kayaçların kazısında ve delinebilirliğinde kullanılan önemli bir kaya parametresidir. Schmidt çekici sertliği ise kayaların dayanım, kesilebilirlik (doğrusal ve dairesel) ve delinebilirlik gibi mekanik özelliklerini belirlemek için yaygın olarak kullanılan ucuz ve kolaylık sağlayan bir yüzey sertliği ölçüsüdür. Bu çalışmada, kayaçların kırılabilirlik değerlerini belirlemek için Blindheim ve Bruland'ın (1998) geliştirdiği S_{20} kırılabilirlik indeksinin NTNU modeli kullanılmıştır. Burada amaç, kayaçların S_{20} kırılabilirlik indeksi ile Schmidt sertliği (R_L) değerleri arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak araştırılarak yeni bir tahmin yöntemi geliştirmesidir. Bunun için, farklı dayanım özelliklerine sahip 7 farklı kayaç numunesi üzerinde S_{20} kırılabilirlik indeks deneyi ile Schmidt çekici sertlik deneyleri yapılmıştır. Schmidt çekici sertliği değerleri ile S_{20} kırılabilirlik indeksi değerleri "SPSS" programı yardımıyla istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve korelasyon yapılmıştır. Bu değerlendirme sonucunda Schmidt çekici sertliği değerleri ile S_{20} kırılabilirlik indeksi değerleri arasında yüksek korelasyonlu bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: S_{20} kırılabilirlik indeksi, Schmidt sertliği, istatistiksel tahmin, kaya mekaniği.

Determining the Statistical Relationship between the S_{20} Brittleness Index and Schmidt Hardness of Rocks

ABSTRACT: Determination of the brittleness of rocks is considered as an important preliminary design tool in different mining applications. The brittleness value is an important rock parameter used in the excavation and drilling of rocks. Schmidt's hardness is an inexpensive and easy-to-use surface hardness measure that is commonly used to determine the mechanical properties of rocks, such as strength, cuttability (linear and circular), and permeability. In this study, the S_{20} brittleness index values were determined by using NTNU model to determine the brittleness values of the rocks which were developed by Blindheim and Bruland (1998). The aim of this study was to investigate the relationship between the S_{20} brittleness index and Schmidt hardness (R_L) values statistically. For this purpose, Schmidt hardness tests and S_{20} brittleness index tests on 7 different rock samples with different strength properties were performed. Schmidt hardness test values and S_{20} brittleness index values were statistically evaluated and correlated with SPSS. As a result of this evaluation, it was determined that there was a strong correlation between Schmidt hardness and S_{20} brittleness index values.

Keywords: S_{20} brittleness index, Schmidt hardness, statistical estimation, rock mechanics.

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kayaçlar içerisinde yapılacak farklı mühendislik tasarımlarında, yeraltı veya açık ocak madenciliği ile madenlerin çıkarılmasında, kentleşmenin hızla artması ile metro, tünel ve yeraltı deposu gibi uygulamalar için yapılan kazı ve diğer işlemlerde kayaların çeşitli özelliklerini bilmek mühendislik projelerinde birincil temel unsurdur. Bu tür işlemlerde kayaçların dayanım, aşındırıcılık, kazılabilirlik, delinebilirlik, kesilebilirlik ve kırılabilirlik vb. gibi birçok özelliklerini bilmek gerekmektedir. Bu özellikleri belirlemek içinde birçok deney setine ve deneye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu özelliklerden kayaçların delinebilirliğinde ve kazısında etkili bir parametre olan kırılabilirlik değeri çeşitli araştırmacılar tarafından bazı eşitlikler veya test metotları kullanılarak belirlenebilmektedir (Hucka ve Das, 1974; Blindheim ve Bruland, 1998; NTNU, 1998; Altındağ, 2002; Dahl, 2003; Yaralı ve Kahraman 2011, Yagiz, 2009; Copur ve diğ., 2003; Dahl ve diğ., 2010; 2012; Dursun ve Gökay, 2016; Köken ve diğ. 2018).

Kayaçların kırılabilirlik derecesinin belirlenmesi, kayaçların delinebilirliği, aşındırıcılığı ve yükler altındaki davranışlarının tahmininde önemli bir büyüklük olarak kabul edilmektedir. Kayaçların kazılmasında en uygun seviyede enerji tüketiminin sağlanması ve çalışma sahasındaki iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerinin alınması madenciliğin verimliliği, sürdürülebilirliği ve ekolojik dengenin gözetilmesi açısından oldukça önemlidir. Kayaçların kırılabilirliğini en temel olarak litolojik farklılık, tane boyu, mineralojik ve petrografik özellikler, ayrışma-bozunma ve kayaçların bulunduğu ortamın yapısal ve hidrojeolojik özellikleri kontrol etmektedir (Köken ve diğ., 2018).

Madencilik alanında özellikle kazı mekaniği çalışmalarında (aşındırıcılık, kesilebilirlik ve delinebilirlik) kırılabilirlik değerini bilmek önemlidir. Çünkü kırılabilirlik değeri sadece bir parametre değil kaya özelliklerinin bir bileşimidir. Bu nedenle çeşitli araştırmacılar farklı test ölçüm cihazları kullanarak direkt olarak kırılabilirlik değerini ölçmüş ve tanımlamışlardır (Blindheim ve Bruland, 1998; NTNU, 1998; Yağız, 2009; Copur ve diğ. 2003). Bunun yanında bazı araştırmacılar kayaçların tek eksenli basınç dayanımı (σ_c) değeri ile Brazilian çekme dayanımı (σ_t) değerlerini birlikte kullanarak kırılabilirlik değerini dolaylı olarak hesaplamışlardır (Hucka and Das, 1974; Altındağ, 2002; Kahraman, 2002).

Schmidt çekici değeri (R_L) ise, kayaçların dayanım, kesilebilirlik (doğrusal ve dairesel) ve delinebilirlik gibi mekanik özelliklerinin tahmini için yaygın olarak kullanılan, pratik bir kaya sertliği ölçüsüdür (Schmidt, 1951; Kidybinski, 1968; Tarkoy ve Hendron, 1975; Poole ve Farmer, 1978; Farmer ve diğ., 1979; Howarth ve diğ., 1986; Shahriar, 1988; Bilgin ve diğ., 1990; Kahraman, 1999; Kahraman ve diğ., 2000; Bilgin ve diğ., 2002; Kahraman ve diğ., 2003; Aydın ve Basu, 2005; Goktan ve Gunes, 2005; Karakuş ve Tutmez, 2006).

Bu çalışmada 7 farklı kayaç numunesi kullanılarak kayaçların S_{20} kırılabilirlik indeksleri ve Schmidt çekici sertlik değerleri belirlenmiştir. Bu değerler istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve kayaçların S_{20} ile R_L değerleri arasında bir ilişkinin olup olmadığı araştırılmıştır. Araştırma sonucunda hem arazide hem de laboratuvar şartlarında kullanılabilen R_L değerinden S_{20} kırılabilirlik indeks değerinin tahmin edilebildiği görülmüştür.

MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada 7 farklı kaya numunesi kullanılarak kayaçların S_{20} kırılabilirlik indeks değerleri ile Schmidt sertliği değerleri deneysel çalışmalarla belirlenmiştir.

Kırılabilirlik İndeksleri (Brittleness Index)

Daha önceki çalışmalarda kaya kırılabilirliğini farklı yaklaşımlarla tahmin etmek ve hesaplamak için çeşitli ampirik denklemler verilmiştir. Şimdiye kadar, kırılabilirlik değerini belirlemek için beş ortak yaklaşım kullanılmıştır. Bunlar, kayaçların σ_c ve σ_t değerleri kullanılarak hesaplanan yaklaşım, gerilme birim deformasyon eğrisi kullanılarak hesaplanan yaklaşım, tersinir enerji yaklaşımı, Mohr zarfı esaslı yaklaşım ve özel test ekipmanları kullanılarak hesaplanan yaklaşımlardır. Bu yaklaşımlardan en çok kullanılanları ise dayanım indeks yaklaşımı ve özel test ekipmanı ile hesaplanan yaklaşımlardır.

Dayanım indeks yöntemleri; kayaçların mekanik özellikleri arasındaki ilişkiyi esas alan niceliksel bir büyüklüğü ifade etmektedir. Çoğunlukla σ_c ve σ_t değerleri gibi mekanik özelliklerin dikkate alındığı dayanım indeks yöntemleridir. Bunlardan en çok kullanılanları aşağıdaki gibidir.

$$B_1 = \sigma_c / \sigma_t \text{ (Hucka and Das 1974; Altındağ 2002; Kahraman 2002)}$$

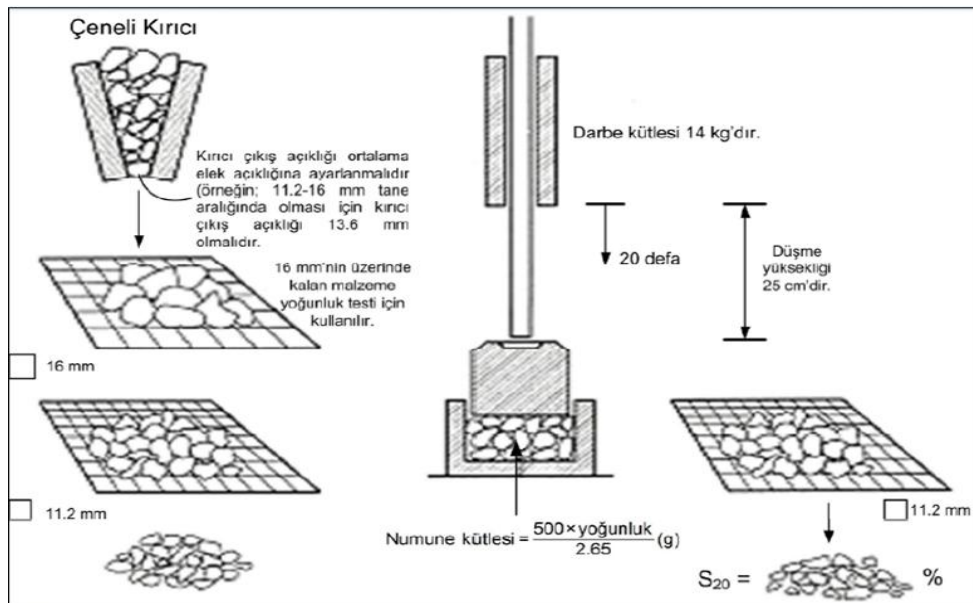
$$B_2 = (\sigma_c - \sigma_t) / (\sigma_c + \sigma_t) \text{ (Hucka and Das 1974; Kahraman 2002)}$$

$$B_3 = (\sigma_c \cdot \sigma_t) / 2 \text{ (Altındağ 2002)}$$

Özel test ekipmanı kullanılarak hesaplanan yaklaşımda da en önemlisi Blindheim ve Bruland'ın (1998) geliştirdiği S₂₀ kırılabilirlik değeri olan NTNU modelini kullanılarak belirlenen kırılabilirlik indeksidir. Kırılabilirlik deneyi, tekrarlanan darbe sonucu kayacın kırılmaya karşı gösterdiği direnci dolaylı olarak ölçen bir deney yöntemidir. Diğer bir yöntemde Yağız'ın (2009) geliştirdiği delme penetrasyon (punch penetration) testi yöntemidir.

S₂₀ kırılabilirlik indeksi (S₂₀ brittleness index)

NTNU tarafından kullanılan S₂₀ kırılabilirlik testi yöntemi, ilk olarak Matern ve Hjelmer (1943) tarafından geliştirilmiştir. Orijinal test başlangıçta agregaların mukavemet özelliklerinin belirlenmesi için tasarlanmıştır, ancak daha sonra farklı amaçlar için testin birkaç değişik uygulama yöntemi geliştirilmiştir. 1950'lerin sonundan bugüne kaya delinebilirliğinin tespiti için geliştirilen ve kullanılan S₂₀ testi daha sonra NTNU tarafından tam cephe tünel açma makinelerinin (TBM) verimliliğinin tahmininde ana kaya parametrelerinden biri olan kırılabilirlik değerinin tespiti için kullanılmıştır. Sonraki yıllarda farklı amaçlar için geliştirilerek farklılaştırılan bu testin prensip şeması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Kırılabilirlik testinin şematik görünüşü (Dahl, 2003)

Figure 1. Schematic view of brittleness test (Dahl, 2003)

Kırılabilirlik deneyinde kullanılacak numuneler çene açıklığı 13,6 mm ayarlanmış bir çeneli kırıcıdan geçirilerek kırıldıktan sonra 16 mm ve 11,2 mm'lik elekler ile sınıflandırılarak -16 mm + 11,2 mm arasında kalan malzeme kırılabilirlik testine tabi tutulur. +16 mm boyutundaki malzeme ise kayaç yoğunluğunun belirlenmesinde kullanılır. -16 +11,2 mm aralığındaki malzemeden alınan ve 2,65 g/cm³ yoğunluğundaki 500 gr malzeme hacmine karşılık gelen numune hacmi test cihazının havanı içine yerleştirilir. Havanı kısmına yerleştirilen malzeme üzerine ortalama 25 cm yükseklikten 14 kg kütleyle sahip tokmak 20 kez düşürülür. Deney sonunda havanı içindeki malzeme 11,2 mm'lik elekten tekrar

elenerek elekten geçen malzeme ağırlığı belirlenir. 11,2 mm'lik elekten geçen malzeme miktarının deney başlangıcında havan içine konan malzeme miktarına oranı yüzde olarak malzemenin kırılmalık değerini verir.

Schmidt sertliği (Schmidt hardness)

Kayaçların yüzey sertliğini belirlemek için kullanılan yüzey sertlik testlerinden en yaygın olanıdır. Schmidt çekici kullanılarak, kayaçların yüzey sertliğinin tayini amacıyla yapılır. Bu çekik silindirik kaplı bir kutu içinde bulunan yay, çekik ve çekici kurma düzeneğinden oluşmaktadır. Cihazda bulunan yay vasıtasıyla kurulan çelik uç kayaç yüzeyi üzerinde zıplatılır. Zıplama mesafesi çekik üzerindeki kadrandan okunur ve Schmidt indeksi olarak tanımlanır (ISRM, 2007).

LABORATUVAR ÇALIşMALAR (LABORATORY STUDIES)

Bu çalışmada 7 farklı kayaç numunesi üzerinde S_{20} kırılmalık testi ve Schmidt çekici sertliği deneyleri yapılmıştır. Bu kayaçlar bazalt, mermer, andezitik tuf, granit ve üç farklı bölgeden alınan travertenden oluşmaktadır (Şekil 2). Düzenli ve düzensiz numuneler şeklinde laboratuvara getirilen numuneler üzerinde ilk önce Schmidt sertlik deneyleri yapılmış ve sonra numunelerden silindirik karot örnekleri alınarak kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. S_{20} kırılmalık testi içinse 13,6 mm genişliğinde çeneli kırıcı kullanılarak agrega şeklinde deney numuneleri hazırlanmıştır.



Traverten



Andezitik tuf



Mermer



Granit

Şekil 2. Deneylerde kullanılan kayaç numuneleri

Figure 2. Samples used in laboratory tests

S_{20} kırılmalık indeksinin belirlenmesi (Determining the S_{20} brittleness index)

Bu çalışmada kayaçların S_{20} kırılmalık değerlerini belirlemek için kullanılan deney seti kırılmalık test aleti (Şekil 1), 2 adet elek (16 mm, 11,2 mm), çeneli kırıcı ve hassas teraziden oluşmaktadır. Çeneli kırıcıda kırılan numuneler 16 mm ve 11,2 mm'lik eleklerden geçirilerek -16 mm ve + 11,2 mm boyutundaki numune kırılmalık testi için hazırlanmıştır. Deney için istenilen boyutta hazırlanan

numuneler kayaçların yoğunluğuna göre havana konulacak miktarlar Eşitlik 1 yardımıyla belirlenmiştir. Daha sonra numune; havana yerleştirilip deney setinin 14 kg'lık tokmağı 20 defa havan içerisindeki numune üzerine düşürülerek kırılma deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonrası havan içerisindeki numune alınıp 11,2 mm'lik elekten geçirilip, elek altına geçen miktar hassas terazide tartılmış ve havana konulan ilk miktara oranı belirlenerek S₂₀ kırılma değeri belirlenmiştir. Kayaçların S₂₀ kırılma indeks değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Bu verilere göre bu çalışmadaki tüm kayaçların Dahl vd. (2012) S₂₀kırılma indeksi sınıflamasına göre "oldukça yüksek kırılma" seviyesinde olduğu belirlenmiştir.

$$\text{Numune kütlesi} = \frac{500 \cdot \text{Yoğunluk}}{2,65 \text{ (gr/cm}^3\text{)}} \quad 1$$

Schmidt çekici sertliğinin belirlenmesi (Determining the Schmidt hardness)

Bu çalışmada kayaçların yüzey sertliğini belirlemek için L tipi dijital Schmidt çekici kullanılmıştır. Bu deneyde laboratuvara getirilen blok veya düzensiz şekilli 7 adet kayaç örneği üzerinde farklı noktalara 20 vuruş yapılmış ve en yüksek 10 değerın ortalaması alınarak kayaçların sertlikleri Schmidt çekici ile belirlenmiştir (Şekil 3). Kayaçların Schmidt çekici sertlik değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 3. Kayaçların Schmidt sertliği değerlerinin belirlenmesi

Figure 3. Determination of Schmidt hardness of rock samples

Çizelge 1. Kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri

Table 1. Physical and mechanical properties of rock samples

Kayaç	Kırılma indeksi S ₂₀ (%)	Schmidt sertliği RL	Tek eksenli basınç day. σ _c (MPa)	Dolaylı çekme day. σ _t (MPa)	Kuru Yoğunluk ρ (g/cm ³)	Nokta yükleme indeksi day. I _{s(50)} (MPa)
Granit	63,18	54,26	76,83	6,55	2,64	7,14
Bazalt	63,97	44,21	64,71	5,48	2,94	8,20
Andezitik Tüf	87,77	20,82	11,29	5,00	2,59	0,84
Mermer	58,22	59,44	60,84	8,43	2,79	7,47
Traverten 1	61,87	38,88	15,50	4,25	2,51	2,65
Traverten 2	60,86	42,68	26,94	4,39	2,62	2,31
Traverten 3	85,77	22,61	22,87	3,20	2,71	1,12

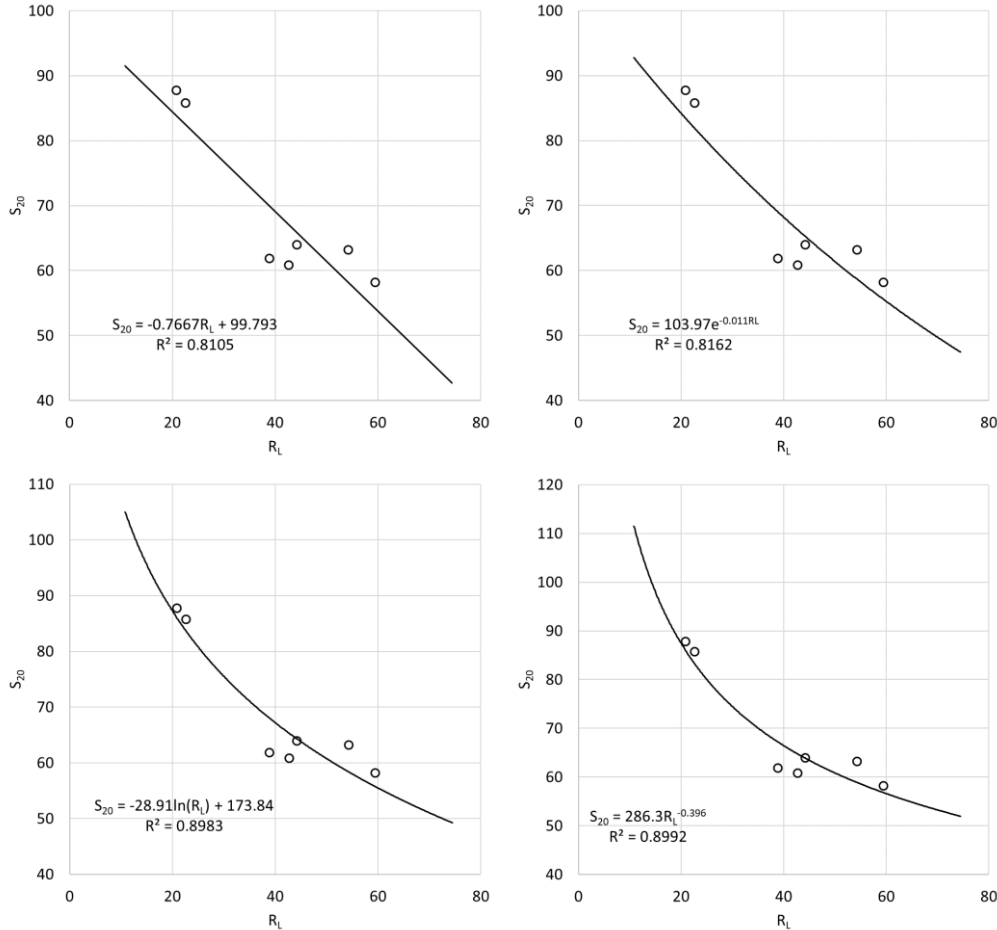
VERİLERİN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ (STATISTICAL EVALUATION OF DATA)

Laboratuvarda yapılan kaya mekaniği deneyleri sonucunda elde edilen değerlerden S₂₀ kırılma indeksi ile Schmidt çekici sertliği verileri "SPSS v.15.0" programı yardımıyla istatistiksel olarak

değerlendirilmiştir. İlk olarak bu iki değer arasındaki korelasyon katsayısını belirlemek için Bivariate korelasyon analizi yapılmış ve iki değer arasındaki korelasyon istatistiksel olarak anlamlı ve negatif yönlü ($p=0,01$) ve r değeri $0,900$ olarak bulunmuştur. Daha sonra basit regresyon analizi yapılarak bu iki değer arasındaki tahmin modeli "SPSS v.15.0" programı ile belirlenmiştir. İkili regresyon analizine göre elde edilen modeller Çizelge 2 ve Şekil 3'de verilmiştir. Bu değerlendirmelerde uygulanabilirliği en uygun olan ilişki türleri seçilerek, bunlar üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır. Bütün modellerde R^2 değerlerinin %80'in üzerinde olması iki parametre arasında güçlü bir ilişkinin olduğunu göstermiştir. ANOVA tablosuna göre de anlamlılık değeri $p<0,01$ olduğu için, istatistiksel olarak elde edilen model ilişkisinin anlamlı olduğu, rastlantısal olmadığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 2. Verilerin regresyon analizi sonuçları

Fonksiyon	Regresyon denklemi	R^2 değeri
Doğrusal	$S_{20} = -0,7667R_L + 99,793$	0,8105
Logaritmik	$S_{20} = -28,91\ln(R_L) + 173,84$	0,8983
Üs	$S_{20} = 286,3R_L^{-0,396}$	0,8992
Üstel	$S_{20} = 103,97e^{-0,011R_L}$	0,8162



Şekil 3. Kırılgenlik indeksi (S_{20}) ile Schmidt sertliği (R_L) arasındaki bağıntılar

Figure 3. Relations between brittleness index (S_{20}) and Schmidt hardness (R_L)

SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada kayaçların S_{20} kırılgenlik indeksi değerini uygulamasının pratik olarak hem laboratuvarında hem de arazi şartlarında yapılması nedeniyle Schmidt çekici sertliğinden istatistiksel olarak tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bunun için laboratuvarında 7 farklı kayaç numunesi üzerinde bazı

kaya mekaniği deneyleri yapılarak kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlenmiştir. Daha sonra basit regresyon analizi yapılarak bu iki değer arasındaki tahmin modeli "SPSS v.15.0" programının ile belirlenmiştir. Gerçekleştirilen istatistiksel analizler sonucunda kırılma indeksi (S₂₀), ile Schmidt sertliği (R_L) değerleri arasında güçlü ve anlamlı ilişkiler bulunmuştur.

Kayaçların dayanım, aşındırıcılık, kazılabilirlik, delinebilirlik, kesilebilirlik ve kırılma vb. gibi birçok özelliklerini belirlemek için birçok deneye ve deney setine ekonomik olarak ihtiyaç duyulmaktadır. Bu deney setlerinin oluşturulması zor ve pahalı olduğu için kayaçların bu özelliklerinin pratik yöntemlerle tahmin edilebilmesi önemlidir. Bu çalışmada R_L deneyinin hasarsız bir test yöntemi olması hem laboratuvar hem de arazide kolaylıkla uygulanabilmesi ve numune hazırlama işlemlerinin pratik ve ekonomik olmasından dolayı S₂₀ değerinin tahmininde kullanılmıştır. Bu çalışmada kayaçların S₂₀ kırılma indeksi değerinin R_L değerinden istatistiksel olarak tahmin edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Altındağ, R., 2002, "The Evaluation of Rock Brittleness Concept on Rotary Blasthole Drills" Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Vol.102, pp.61-66.
- Aydın, A., Basu, A., 2005, "The Schmidt Hammer in Rock Material Characterization", Engineering Geology, Vol.81, pp.1-14.
- Bilgin, N., Seyrek, T., Shahriar, K., 1990, "Roadheaders Glean Valuable Tips for Istanbul Metro", Tunnels and Tunnelling International, Vol.22, No.10, pp.29-32.
- Bilgin, N., Dincer, T., Copur, H., 2002, "The Performance Prediction of Impact Hammers from Schmidt Hammer Rebound Values in Istanbul Metro Tunnel Drivages", Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.17 (3), pp.237-247.
- Blindheim, O.T., Bruland, A., 1998, "Boreability testing, Norwegian TBM tunneling 30 years of experience with TBMs in Norwegian tunneling", Norwegian Soil and Rock Engineering Association Publication, Vol.11, pp. 29-34.
- Copur, H., Bilgin, N., Tuncdemir, H., Balci, C. 2003., "A set of Indices Based on Indentation Test for Assessment of Rock Cutting Performance and Rock Properties", Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 103, No.9, pp.589-600.
- Dahl, F., 2003., "The Suggested DRI, BWI, CLI standards. NTNU", Anglesggdrift, Trondheim, Norway.
- Dahl, F., Bruland, A., Grov, E., Nilsen, B., 2010, "Trademarking the NTNU/SINTEF drillability test indices", Tunnels and Tunnelling International, Vol.4, pp.44-46.
- Dahl, F., Bruland, A., Jakobsen, P.D., Nilsen, B., Grov, E., 2012, "Classifications of properties influencing the drillability of rocks, based on the NTNU/SINTEF test method", Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.28, pp.150-158.
- Dursun, A.E., Gokay, M.K., 2016, "Cuttability Assessment of Selected Rocks through Different Brittleness Values", Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol.49, pp.1173-1190.
- Farmer, I.W., Hignett, H.J., Hudson, J.A., 1979, "The Role of Geotechnical Factors in the Cutting Performance of Tunneling Machines in Rocks", In: Proceedings of the Fourth International Congress on Rock Mechanics of the ISRM, Montreux, pp. 371-377.
- Goktan, R.M., Gunes, N., 2005, "A Comparative Study of Schmidt Hammer Testing Procedures with Reference to Rock Cutting Machine Performance Prediction", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol.42, pp.466-477.
- Howarth, D.F., Adamson, W.R., Berndt, J.R., 1986, "Correlation of Model Tunnel Boring and Drilling Machine Performances with Rock Properties", International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, Vol.23, pp.171-175.
- Hucka, V., Das, B., 1974, "Brittleness determination of rocks by different methods", International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, Vol.11, pp.389-392.
- Kahraman, R., 1999, "Rotary and Percussive Drilling Prediction Using Regression Analysis", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol.36, pp.981-989.

- Kahraman, R., Balcı, C., Yazıcı, S., Bilgin, N., 2000, "Prediction of the Penetration Rate of Rotary Blast Hole Drills Using a New Drillability Index", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol.37, pp.729-743.
- Kahraman, S., 2002, "Correlation of TBM and Drilling Machine Performance with Rock Brittleness", *Engineering Geology*, Vol.65, pp.269-283.
- Kahraman, S., Bilgin, N., Feridunoglu, C., 2003, "Dominant Rock Properties Affecting the Penetration Rate of Percussive Drills", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol.40, pp.711-723.
- Karakuş, M., Tutmez, B., 2006, "Fuzzy and Multiple Regression Modelling for Evaluation of Intact Rock Strength Based on Point Load, Schmidt Hammer and Sonic Velocity", *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol.39(1), pp.45-57.
- Kidybinski, A., 1968, "Rebound Number and the Quality of Mine Roof Strata", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol.5, pp.283-291.
- Köken, E., Aydın, H., Özarslan, A., 2018, "S₂₀KırılganlıkİndeksininKayaçlarınParçalanabilirliğiAçısındanİncelenmesi", *BilimselMadencilikDergisi*, c.57 (özelsayı), ss.73-83.
- NTNU-Anleggsdrift, 1998, "Hard Rock Tunnel Boring, Norwegian University of Science and Technology", Dept. of Civil and Transport Engineering, Report 1B-98.
- Poole, R.W., Farmer, I.W., 1978, "Geotechnical Factors Affecting Tunnelling Machine Performance in Coal Measures Rock", *Tunnels and Tunnelling International*, Vol.10, pp.27-30.
- Schmidt, E., 1951, "A Non-Destructive Concrete Tester", *Concrete*, Vol.59, pp.34-35.
- Shahriar, K., 1988, "Rock Cuttability and Geotechnical Factors Affecting the Penetration Rates of Roadheaders", PhD thesis, Istanbul Technical University, p.241.
- Tarkoy, P.J., Hendron, A.J., 1975, "Rock Hardness Index", US National Science Foundation report NSF-RAT-75-030.
- Ulusay, R., Hudson, J.A. (eds), 2007, "The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006. Suggested methods prepared by the commission on testing methods", *International Society for Rock Mechanics (ISRM)*, Ankara, Turkey.
- Yagiz, S., 2009, "Assessment of Brittleness Using Rock Strength and Density with Punch Penetration Test" *Tunneling and Underground Space Technology*, Vol.24, No.1, pp.64-77.
- Yarali, O., Kahraman, S., 2011, "The Drillability Assessment of Rock Using the Different Brittleness Values", *Tunneling and Underground Space Technology*, Vol.26, No.2, pp.406-414.



ÇELİK ÇERÇEVELERİN FARKLI STOKASTİK YÖNTEMLER KULLANILARAK OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI

¹Aybike ÖZYÜKSEL ÇİFTÇİOĞLU, ²Erkan DOĞAN

¹⁻²Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, TÜRKİYE
¹aybike.ozyuksel@cbu.edu.tr, ²erkan.dogan@cbu.edu.tr

(Geliş/Received: 27.02.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 30.05.2019)

ÖZ: Bu çalışmada rijit çelik çerçevelerin Av Arama, Parçacık Sürü ve Büyük Patlama - Büyük Çöküş optimizasyon yöntemlerini temel alan üç farklı optimum tasarım algoritması sunulmuştur. Av Arama optimizasyon algoritması kurt, aslan, yunus gibi hayvanların grupça avlanmalarından esinlenilerek geliştirilmiştir. Grupta yer alan hayvanlar (avcılar) avlarını bir daire içine alır ve yakalarlar. Avcılar, kokularının av tarafından hissedilmemesi için rüzgâra doğru durmazlar. Bu avcılardan her birisi yapısal bir optimizasyon problemi için aday bir çözüm oluşturur. Parçacık Sürü optimizasyon algoritması sürü halinde hareket eden kuş, balık ve böceklerden esinlenerek geliştirilmiş bir yöntemdir. Sürüdeki her hayvan (parçacık) kendi konumunu sürüde bulunan diğer parçacıklara ve kendisinin bir önceki konumuna göre düzenler. Hedefe ulaşmaya kadar bu süreç devam eder. Büyük Patlama – Büyük Çöküş optimizasyon algoritması evrenin büyük patlama ve büyük çöküş hipotezinden esinlenilmiştir. Büyük Patlama evresinde Merkez Noktası ya da Kütle Merkezi olarak adlandırılan benzersiz bir nokta üretilmektedir. Algoritma kapsamında Kütle Merkezi yakınlarında yeni adaylar belirlenir, uygunlukları hesaplanır ve içlerinden en iyisi seçilir. Çalışma kapsamında üç katlı üç açıklıklı, beş katlı üç açıklıklı ve yedi katlı üç açıklıklı olmak üzere üç adet çelik çerçevenin bu algoritmalar ile en küçük ağırlıkları bulunacak şekilde optimum boyutlandırılmaları yapılmıştır. Boyutlandırma yapılırken LRFD-AISC (Yük ve Dayanım Katsayılarıyla Tasarım (YDKT)) yönetmeliğindeki sınırlayıcıların sağlanması hedeflenmiştir. Ayrıca, üç teknik birbiriyle kıyaslanmış, Parçacık Sürü algoritması 2 örnekte en iyi sonucu bulması açısından diğerlerine kıyasla daha iyi bir performans sergilemiş, Av Arama algoritması da onu takip etmiştir. Her örnek için en küçük ağırlığı bulan tekniğin sonuçları baz alınarak çerçevelerin SAP2000 analiz programı ile yük altında deplasman analizleri yapılmıştır. Son olarak, çerçevelerin en üst kat yanal deplasmanları belirlenmiş ve yorumlarda bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Optimizasyon, Çelik Çerçeve, Av Arama, Parçacık Sürü, Büyük Patlama- Büyük Çöküş.

Optimum Design of Steel Frames Using Different Stochastic Techniques

ABSTRACT: In this study, three different optimum design algorithms including Hunting Search, Particle Swarm and Big Bang - Big Crunch techniques of rigid steel frames are presented. Hunting Search optimization algorithm is developed by inspiring group hunting of animals such as wolf, lion and dolphin. Animals (predators) in the group circle their hunts and catch them in the end. Predators do not stand towards wind not to felt their smells by prey animals. Each of these predators constitutes a solution for a structural optimization problem. Particle Swarm optimization algorithm technique is developed by inspiring flock animals such as birds, fishes and insects. Each animal in the flock (particle) arranges its position according to other particles in the flock and its previous position. This process continues until reaching the target. Big Bang – Big Crunch optimization algorithm is inspired by the big bang and big crunch hypothesis of the universe. A unique point which is called as Center point or center of mass is generated in the Big Bang phase. In the scope of the algorithm, new candidates are determined around the center of mass, suitability of them is calculated and the best one among them is selected. In

this study, optimum sizing of three steel frames (three storey- three bay, five storey- three bay, seven storey- three bay rigid steel frames) by considering minimum weight values is performed by using these algorithms. Designs are carried out in accordance with the principles in LFRD-AISC (Load and Resistance Factor Design - American Institute of Steel Construction). Besides, three techniques are compared to each other, the particle swarm algorithm showed better performance than the others in terms of finding the best results in two examples, hunting search algorithm also followed it. The results of the technique in which the least weight is calculated is taken into consideration and the displacement analysis of the frames are made under loading by SAP2000 analysis program. Finally, peak point lateral displacements are determined and interpretations are made.

Key Words: Optimization, Steel Frames, Hunting Search, Particle Swarm, Big Bang - Big Crunch.

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Eski zamanlardan beri insanlar, faydayı en üst düzeyde tutarak ekonomiyi en alt sınıra çekmeye çalışmaktadır. Doğadaki kaynakların sınırlı oluşu insanoğlunu optimum olanı bulmaya zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda optimizasyon, belirlenmiş bazı kısıtları sağlayacak şekilde en iyi çıktıya (sonuca) ulaşmaktır (Doğan, 2010).

En iyi şekilde hedefe ulaşmak için öncelikle amaç belirlenmelidir. Bir optimizasyon probleminde tanımlanan amaç fonksiyonu fayda ya da maliyet gibi optimize edilmek istenen bir nicelik gösterir. Daha sonra sınırlayıcılar ve tasarım değişkenleri ayrı ayrı tanımlanmalıdır. Tasarım değişkenlerinin tipi problemin türüne ya da ihtiyaca göre değişiklik gösterebilir. Sınırlayıcılar genellikle değişkenlerin sağlaması gereken kurallardan veya sistem kısıtlamalarından oluşur. Genel bir optimizasyon problemi, sınırlayıcıların sağlandığı ve belirlenen amaç fonksiyonunun minimum ya da maksimum yapıldığı en iyi değerlerin (değişkenler) seçilmesi olarak ifade edilebilir.

Stokastik optimizasyon yöntemlerinde yaşanan ilerlemelerin bir sonucu olarak daha verimli şekilde çalışan yeni teknikler yapı mühendislerinin kullanımına sunulmuştur. Bu tekniklerin kullanılması ile, yapısal optimizasyon problemlerinin çözümü matematiksel programlama yöntemleri ile elde edilen çözümlere göre çok daha etkin hale gelmiştir. Bu yöntemlerin temelindeki mantık sürü zekâsı, en iyi olanın hayatta kalması gibi prensiplerin sayısal algoritmalar içinde taklit edilmesidir.

Genel bir optimizasyon probleminin matematiksel modeli şu şekilde tanımlanabilir (Doğan,2012);

Minimum

$$z = f(x)$$

Kısıtlar:

$$g_i(x) \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$h_j(x) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, p$$

$$x_i \in X, \quad X = \{x_1, x_2, \dots, x_q\}$$

Bu çalışmada rijit çelik çerçevelerin boyutlandırılmasında Av Arama, Parçacık Sürü ve Büyük Patlama- Büyük Çöküş stokastik optimizasyon yöntemleri kullanılmış, çelik çerçevelerin kolon ve kirişlerinde en uygun profillerin kullanılması ile ağırlıklarının minimize edilmesi amaçlanmıştır.

OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİ(OPTIMIZATION TECHNIQUES)

Av Arama Optimizasyon Yöntemi(Hunting Search Optimization Technique)

Av Arama algoritması kurtlar, aslanlar, yunuslar gibi hayvanların grup halinde avlanmalarından esinlenilerek oluşturulmuştur. Genel olarak bir grup halinde avı çevreler ve yakalayana kadar çemberi daraltırlar. Grubun her üyesi (avcı) pozisyonunu, diğer üyelerin pozisyonuna ve kendisinin bir önceki pozisyonuna bağlı olarak ayarlar. Av çemberden kaçarsa üyeler avı tekrar grup içine almak için grubu yeniden düzenlerler (Saka ve diğ.,2013). Algoritma tekniğinde ilk olarak yöntemin parametreleri belirlenir. İkinci adımda avcılar rastgele oluşturulur. Üçüncü adım olarak avcılar pozisyonları güncellenir. Dördüncü adımda avcılar birbirlerine ve lidere göre yeniden koordine olurlar. Beşinci adım olarak avcılar lokal optimuma yakalanmamak ve global optimuma ulaşabilmek için konumlarını tekrar güncellerler. Bu süreç durdurma kriteri sağlanana kadar tekrarlanır (Oftadeh ve diğ., 2010).

Parçacık Sürü Optimizasyon Yöntemi(Hunting Search Optimization Technique)

Parçacık Sürü optimizasyon yöntemi, temellerini Reynolds'un (1987) kuşların ya da balıkların sosyal davranışlarından esinlenerek 1987 yılında oluşturduğu, Eberhart ve Kennedy'in (1995) geliştirdiği popülasyon temelli bir stokastik optimizasyon tekniğidir. Bu teknikte kümeyi oluşturan bir sürü parçacık vardır. Her parçacık optimum tasarım probleminin aday bir çözümünü temsil eder. Her parçacık komşu parçacığın ortalama istikametine yönelir fakat komşu parçacığa çok yakın olduklarında konumlarını değiştirirler. Her parçacık sürü liderinin konumuna yaklaşmak ister ve hangi konumun lidere daha yakın olduğunu diğer parçacıklarla paylaşır. Algoritma tekniğinde ilk olarak her parçacığın konumu ve hızı rastgele belirlenir. İkinci adımda amaç fonksiyonu hesaplanır. Üçüncü adımda optimum parçacık konumu güncellenir. Dördüncü adımda her parçacığın konumu, beşinci adımda ise her parçacığın hızı güncellenir. Bu adımlar maksimum iterasyon sayısı kadar tekrarlanır (Saka ve diğ.,2013).

Büyük Patlama - Büyük Çöküş Optimizasyon Yöntemi(Big Bang- Big Crunch Optimization Technique)

Büyük Patlama - Büyük Çöküş optimizasyon yöntemi Erol ve Eksin'in (2006) evrenin büyük patlama ve büyük çöküş kuramından esinlenerek 2006 yılında oluşturduğu bir yöntemdir. Bu teknikte genel olarak "Büyük Patlama" ve "Büyük Çöküş" olmak üzere iki ana faz bulunmaktadır. Büyük Patlama fazında bireyler (aday çözümler) arama uzayında rastgele oluşturulurlar. Büyük Çöküş olarak adlandırılan 2. fazda ise en uygun birey veya popülasyonun ağırlık merkezi hesaplanır. Tüm büyük patlamalar büyük çöküş fazında bulunan ağırlık merkezi etrafında olmaktadır. Algoritmada ilk adım olarak kısıtlar dahilinde popülasyon rastgele oluşturulur. İkinci adım olarak her bir birey için uygunluk fonksiyonu oluşturulur. Üçüncü adımda optimum birey hafızaya alınır. Dördüncü adımda kütle merkezi hesaplanır. Beşinci adımda kütle merkezi civarında yeni adaylar belirlenir. Bu adımlar maksimum iterasyon sayısı kadar tekrarlanır (Arsan, 2018).

ÇELİK ÇERÇEVELERİN LRFD-AISC'E GÖRE OPTİMUM TASARIMI (OPTIMUM DESIGN OF STEEL FRAMES ACCORDING TO LRFD-AISC)

Genel olarak, rijit çelik çerçevelerin tasarımı, standart bir çelik kesit tablosundan, çerçevenin girişleri ve kolonları için gerekli çelik kesitleri seçmek suretiyle yapılmaktadır. Tasarım, çerçevenin malzeme maliyetinde ekonomi gözlenirken, çerçevenin belirtilen dayanım gereksinimlerini ve kullanım şartlarını karşılayabileceği şekilde yapılmalıdır (Kaveh, 2013; Aydoğdu ve diğ., 2016; Doğan, 2012; Saka, 2009; Erdem, 2015; Gücüyen, 2014; Kaveh, 2011; Kamal ve diğ.,2015; Khalilpourazari, 2019; Khalilpourazari, 2017). Çelik çerçeve optimum tasarım problem aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

Minimum:

$$W = \sum_{i=1}^q \gamma_i L_i x_i \quad (1)$$

W: çelik çerçeve ağırlığını, γ : çeliğin yoğunluğunu, L_i : i. elemanın uzunluğunu, x_i : i. elemanın kesit alanını, q ise tasarım değişkenlerinin toplam sayısını ifade etmektedir.

Tasarımlar, LRFD-AISC (Yük ve Direnç Faktörü Tasarımı - Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü) [14] şartnamesince öngörülen hükümler doğrultusunda gerçekleştirilmiş, tasarım kriterleri (sınırlayıcılar) ise aşağıda gösterilmiştir:

$$g_1(x) = \left(\frac{P_u}{\phi P_n} \right) + \left(\frac{8}{9} \left(\frac{M_u}{\phi M_n} \right) \right) - 1.0 \leq 0 \quad \frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.2 \quad (2)$$

$$g_2(x) = \left(\frac{P_u}{2\phi P_n} \right) + \left(\frac{M_u}{\phi M_n} \right) - 1.0 \leq 0 \quad \frac{P_u}{\phi P_n} \leq 0.2 \quad (3)$$

g_1 ve g_2 kısıtları, uygulanan aksel yük (P_u) ve uygulanan moment (M_u) ile, aksel yük kapasitesi (P_n) ve moment kapasitesi (M_n) arasındaki ilişkiyi gösterir. ϕ , azaltma katsayısıdır.

$$g_3(x) = \frac{V_u}{\phi V_n} - 1 \leq 0 \quad (4)$$

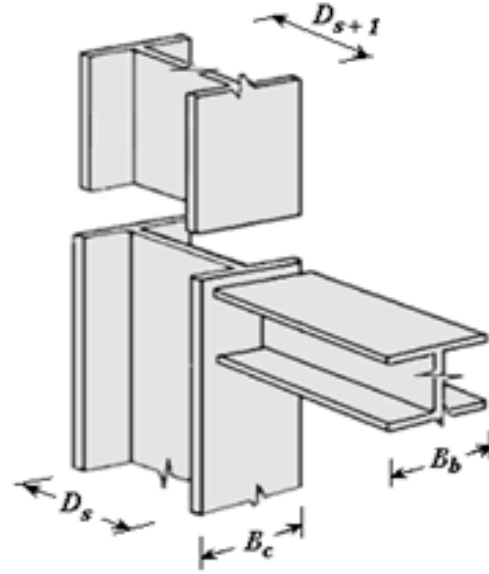
g_3 kısıtı, uygulanan kesme kuvvetinin (V_u), kesme kapasitesinin (V_n) belli bir azaltma katsayısı (ϕ) ile çarpılmış halinden küçük olması gerektiğini ifade eder.

$$g_4(x) = \frac{(\delta_j - \delta_{j-1})}{\delta_{ju}} - 1 \leq 0 \quad j = 1, \dots, ns \quad (5)$$

g_4 kısıtı, katlar arası yanal deplasman farkının ($\delta_j = j$. kattaki yanal deplasman, $\delta_{j-1} = 'j-1'$. kattaki yanal deplasman), izin verilebilir yanal deplasmandan ($\delta_{ju} =$ izin verilebilir yanal deplasman) küçük ya da ona eşit olması gerektiğini ifade eder. ns , toplam kat sayısıdır.

$$g_5(x) = \frac{\delta_i}{\delta_{iu}} \leq 0 \quad i = 1, \dots, nd \quad (6)$$

g_5 kısıtı, en üst kat yanal deplasmanının ($\delta_i =$ en üst kat maximum yanal deplasmanı), izin verilebilir yanal deplasman üst sınırından ($\delta_{iu} =$ izin verilebilir yanal deplasman üst sınırı) küçük olması gerektiğini ifade eder. nd , kısıtlı deplasman sayısıdır.



Şekil 1. Kolon- kiriş bağlantı detayı
Figure 1. Detail of beam to column connection

Şekil 1’de kolon- kiriş bağlantı detayı gösterilmiştir. Buna göre;

B_b = kiriş profil başlık genişliği

B_c = kolon profil başlık genişliği

D_s = alt kolon profil yüksekliği

D_{s+1} = üst kolon profil yüksekliği olarak ifade edilir.

Bu bağlamda yukarıda açıklanan sınırlayıcılara ilave olarak, kolon ve kiriş bağlantıları için çözümün uygulanabilir olması açısından tasarım problemine aşağıdaki uygunluk sınırlayıcıları eklenecektir.

$$g_6(x) = \frac{B_b}{B_c} - 1 \leq 0 \quad (7)$$

g_6 kısıtı, kiriş profil başlık genişliğinin, kolon profil başlık genişliğinden kısa olması gerektiğini,

$$g_7(x) = \frac{D_{s+1}}{D_s} - 1 \leq 0 \quad (8)$$

g_7 kısıtı, üst kolon profil yüksekliğinin alt kolon profil yüksekliğinden kısa olması gerektiğini,

$$g_8(x) = \frac{m_{s+1}}{m_s} - 1 \leq 0 \quad (9)$$

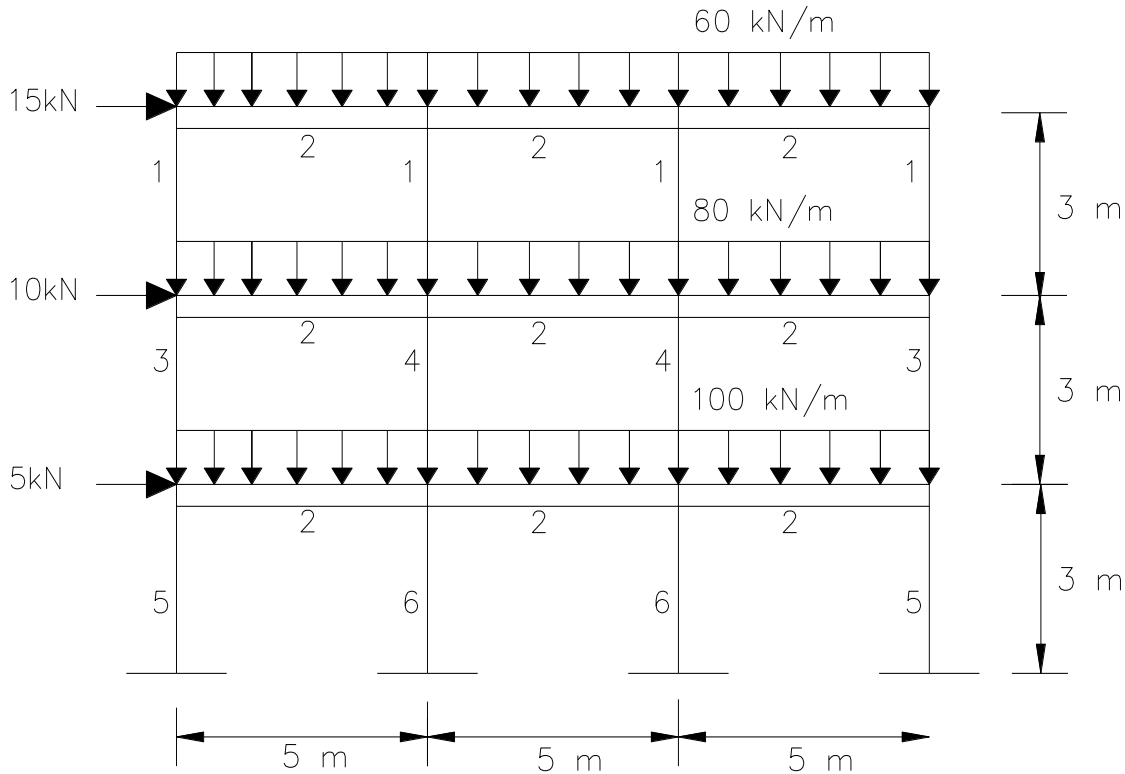
g_s kısıtı, üst kolon birim boy ağırlığının alt kolon birim boy ağırlığından az olması gerektiğini ifade eder [1].

TASARIM PROBLEMLERİ (DESIGN EXAMPLES)

Çelik çerçevelerin av arama, parçacık sürü ve Büyük Patlama- Büyük Çöküş optimizasyon yöntemleri ile optimizasyonu yapılırken AISC yönetmeliği LRFD yöntemi esas alınmış, bu yönetmeliğin sınırlayıcıları kullanılmıştır. Ayrık değişkenler olan tasarım değişkenleri olarak (çerçeve kiriş ve kolonlarının çelik profil kesitleri) hazır standart kesitler kullanılmıştır. LRFD'de belirtilmiş olan W kesitlerin tamamı W100x19.3'ten başlayarak W1100x499'a kadar 1 ile 272 arasında numaralandırılarak çelik çerçevenin kiriş ve kolonlarında kullanılmak üzere belirlenmiştir. Çeliğin elastisite modülü 200 Gpa alınmıştır. Ağırlık optimizasyonu yapmak ve en uygun kesitlerle boyutlandırmak üzere 3 adet çelik çerçeve örneği seçilmiştir.

Üç Katlı Üç Açıklıklı Rijit Çelik Çerçeve (Three-Storey, Three-Bay Rigid Steel Frame)

Şekil 2'de gösterilen 3 katlı 3 açıklıklı rijit çelik çerçeve ilk tasarım örneği olarak seçilmiştir. Ölçüler, eleman grupları ve sisteme etkileyen dış yükler de aynı şekilde gösterilmiştir. En üst kat yatay öteleme limiti 3 cm (çerçeve yüksekliğinin 1/300'ü) olarak belirlenmiştir. Çerçeve elemanları 6 farklı grupta toplanmış, Şekil 2'de grup numaraları gösterilmiştir. Dolayısıyla bu çelik çerçeve örneğinde 6 adet tasarım değişkeni vardır.



Şekil 2. Üç katlı üç açıklıklı rijit çelik çerçeve

Figure 2. Three-Storey, Three-Bay Rigid Steel Frame

Çerçeve, av arama, parçacık sürü ve büyük patlama büyük çöküş optimizasyon yöntemleri ile optimize edilmiştir. Bu amaçla her bir iterasyon yöntemi ile 5000 iterasyon yapılmış ve minimum çerçeve ağırlığı 1284. iterasyonda 58.31 kN (5946.088 kg) olarak Av Arama optimizasyon yöntemi ile

hesaplanmıştır. Ayrıca, 1284. iterasyonda bulunan bu optimum sonucun sonraki iterasyonlarda değişmediği görülmüştür. Çizelge 1’de 3 optimizasyon yöntemi ile elde edilen W kesitler ve en küçük çerçeve ağırlıkları verilmiştir. Sonuçlardan görüldüğü üzere 2. en iyi sonuç Büyük Patlama-Büyük Çöküş optimizasyon yöntemi ile elde edilmiş, en kötü sonucu veren algoritma ise bu örnek için Parçacık Sürü optimizasyon yöntemi olmuştur.

Çizelge1. Üç katlı üç açıklıklı rijit çelik çerçeve için optimum tasarımlar

Table 1. Optimum Designs of Three-Storey, Three-Bay Rigid Steel Frame

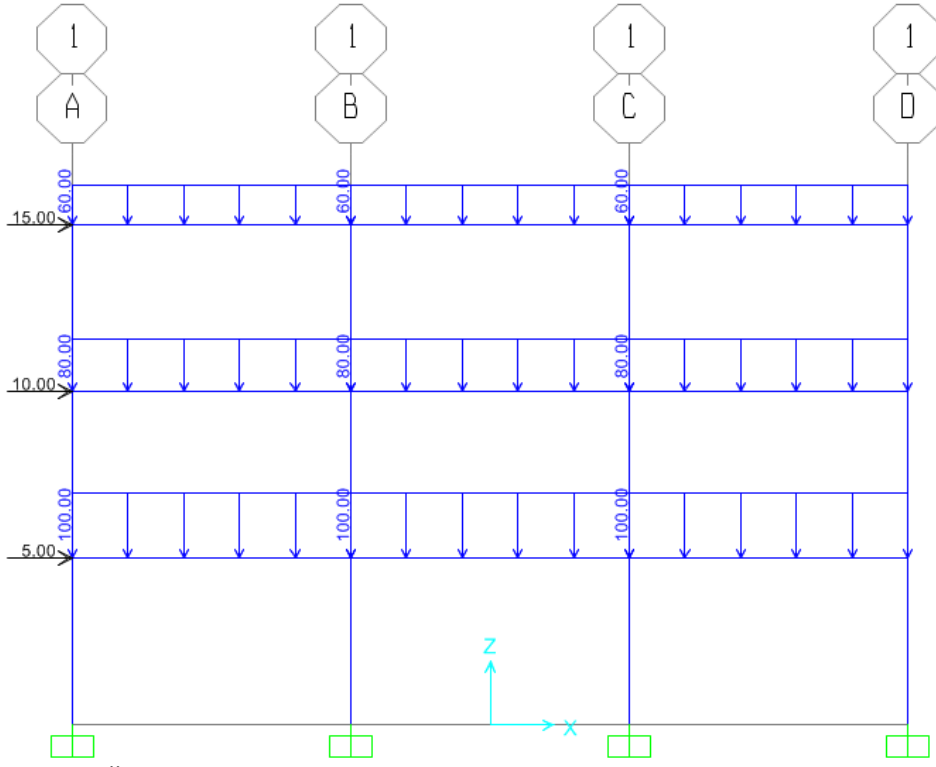
Grup No	Eleman Tipi	Av Arama	Parçacık Sürü	Büyük Patlama Büyük Çöküş
1	Kolon	W200X46.1	W250X58	W200X46.1
2	Kiriş	W610X92	W610X92	W610X92
3	Kolon	W200X46.1	W250X58	W200X52
4	Kolon	W200X46.1	W250X58	W200X46.1
5	Kolon	W250X58	W250X58	W200X52
6	Kolon	W250X58	W250X58	W360X64
Min. Ağırlık (kN)		58.31	61.12	58.66
En Üst Kat Yatay Öteleme (cm)		0.59	0.49	0.58

Optimizasyonu yapılan ve en uygun profil kesitleri belirlenen çelik çerçevenin SAP2000 [15] bilgisayar programı ile analizi yapılmıştır. Çerçevenin SAP2000 programında oluşturulan modeli ve yüklemeler Şekil 3’te, çerçevenin deforme olmuş şekli ise Şekil 4’te gösterilmiştir.

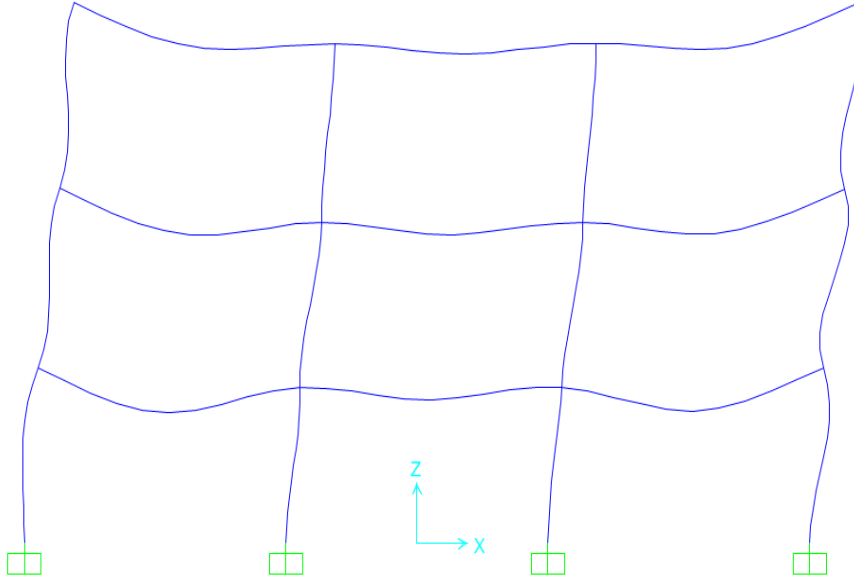
Yukarıdaki şekildeki gibi modellenen çelik çerçevenin en üst kat yatay ötelemesi (U1), 0.45 cm olmuştur. Bu değer Çizelge 1’de bulunan 0.59 cm’den küçük olduğu görülmektedir.

Beş Katlı Üç Açıklıklı Rijit Çelik Çerçeve (Five-Storey, Three-Bay Rigid Steel Frame)

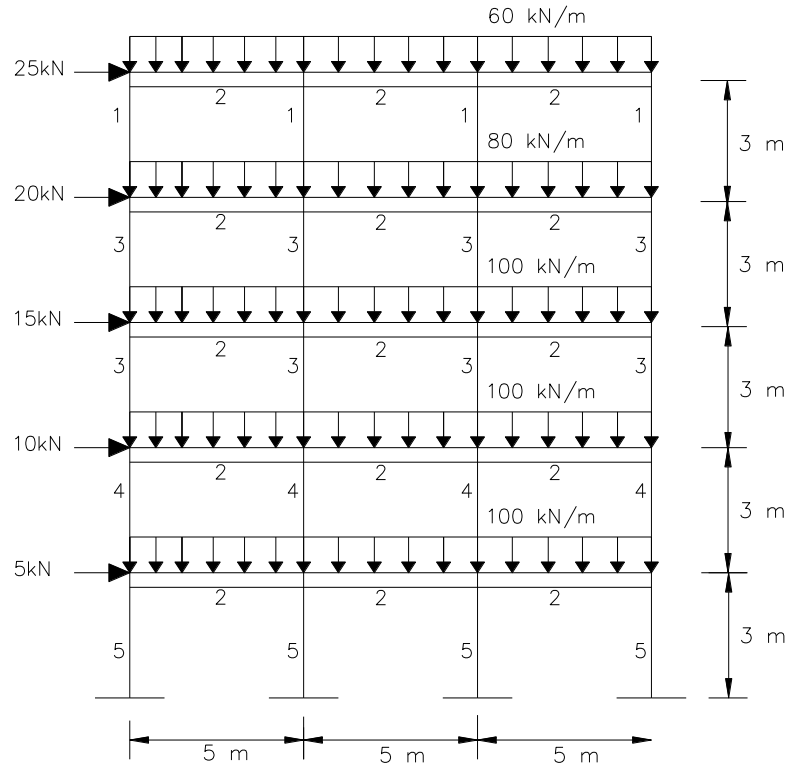
Şekil 5’te gösterilen 5 katlı 3 açıklıklı rijit çelik çerçeve ikinci tasarım örneği olarak seçilmiştir. Ölçüler, eleman grupları ve sisteme etkiyen dış yükler şekil üzerinde gösterildiği gibidir. En üst kat yatay öteleme limiti 5 cm (çerçeve yüksekliğinin 1/300’ü) olarak belirlenmiştir. Çerçeve elemanları 5 farklı grupta toplanmış, Şekil 5’te grup numaraları gösterilmiştir. Dolayısıyla bu çelik çerçeve örneğinde 5 adet tasarım değişkeni vardır.



Şekil 3. Üç katlı ve üç açıklıklı çelik çerçevenin SAP2000 modeli ve yüklemeler
Figure 3. SAP2000 Modeling and loading of three-storey and three-span steel frame



Şekil 4. Üç katlı ve üç açıklıklı çelik çerçevenin deforme olmuş şekli
Figure 4. Deformed shape of three-storey and three-span steel frame



Şekil 5. Beşkatlı üç açıklıklı rijit çelik çerçeve

Figure 5. Five-Storey, Three-Bay Rigid Steel Frame

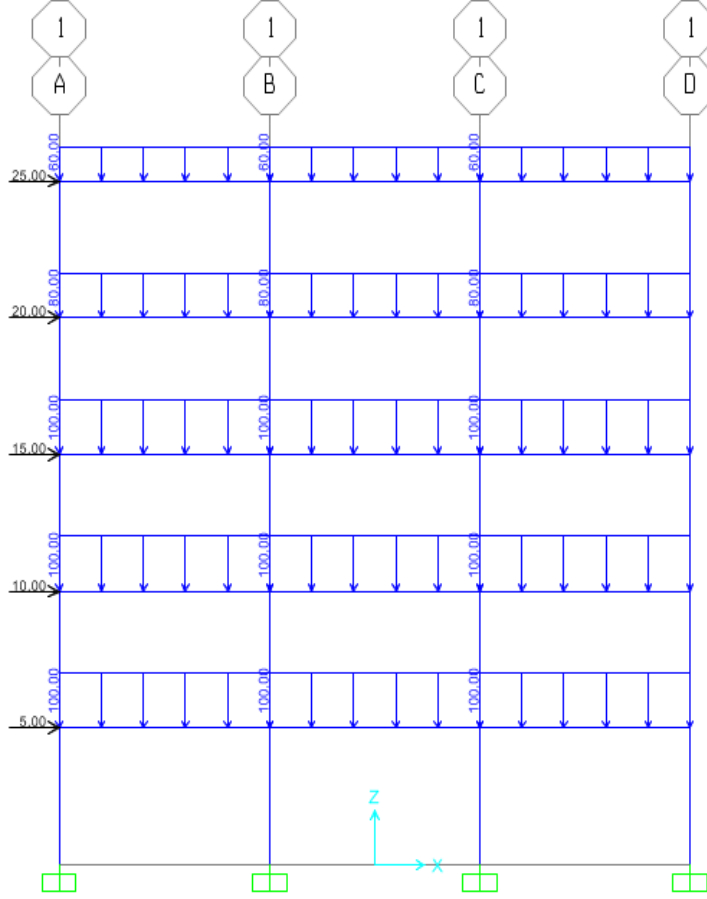
Çizelge2. Beşkatlı üç açıklıklı rijit çelik çerçeve için optimum tasarımlar

Table 2. Optimum Designs of Five-Storey, Three-Bay Rigid Steel Frame

Grup No	Eleman Tipi	Av Arama	Parçacık Sürü	Büyük Patlama Büyük Çöküş
1	Kolon	W200X46.1	W200X46.1	W200X46.1
2	Kiriş	W610X92	W610X92	W610X92
3	Kolon	W310X67	W360X64	W360X64
4	Kolon	W460X82	W460X82	W360X79
5	Kolon	W460X89	W460X89	W460X97
Min. Ağırlık (kN)		109.041	108.345	108.945
En Üst Kat Yatay Öteleme (cm)		1.19	1.16	1.18

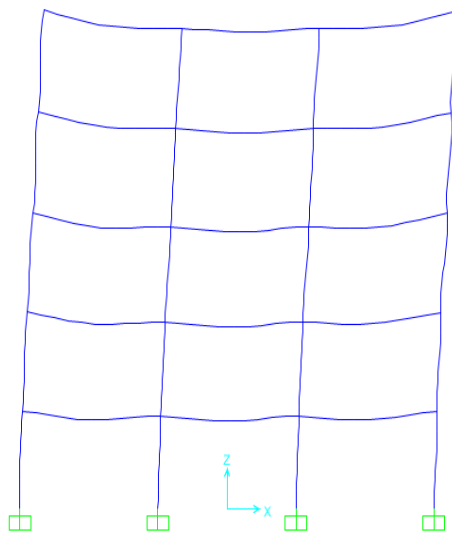
Çerçeve, av arama, parçacık sürü ve büyük patlama büyük çöküş optimizasyon yöntemleri ile optimize edilmiştir. Bu amaçla her bir iterasyon yöntemi ile 5000 iterasyon yapılmış ve minimum çerçeve ağırlığı 801. iterasyonda 108.345 kN. (11048.16 kg) olarak Parçacık Sürü optimizasyon yöntemi ile hesaplanmıştır. 801. iterasyonda bulunan bu optimum sonucun sonraki iterasyonlarda değişmediği görülmüştür. Çizelge 2'de 3 optimizasyon yöntemi ile elde edilen W kesitler ve en küçük çerçeve ağırlıkları verilmiştir. Sonuçlardan görüldüğü üzere ikinci en iyi sonuç Büyük Patlama-Büyük Çöküş optimizasyon yöntemi ile elde edilmiş, en kötü sonucu veren algoritma ise bu örnek için Av Arama optimizasyon yöntemi olmuştur.

Optimizasyonu yapılan ve en uygun profil kesitleri belirlenen çelik çerçevenin SAP 2000 [15] bilgisayar programı ile analizi yapılmıştır. Çerçevenin SAP2000 programında oluşturulan modeli ve yüklemeler Şekil 6'da, çerçevenin deforme olmuş şekli ise Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Beş katlı ve üç açıklıklı çelik çerçevenin SAP2000 modeli ve yüklemeler

Figure 6. SAP2000 Modeling and loading of five-storey and three-span steel frame



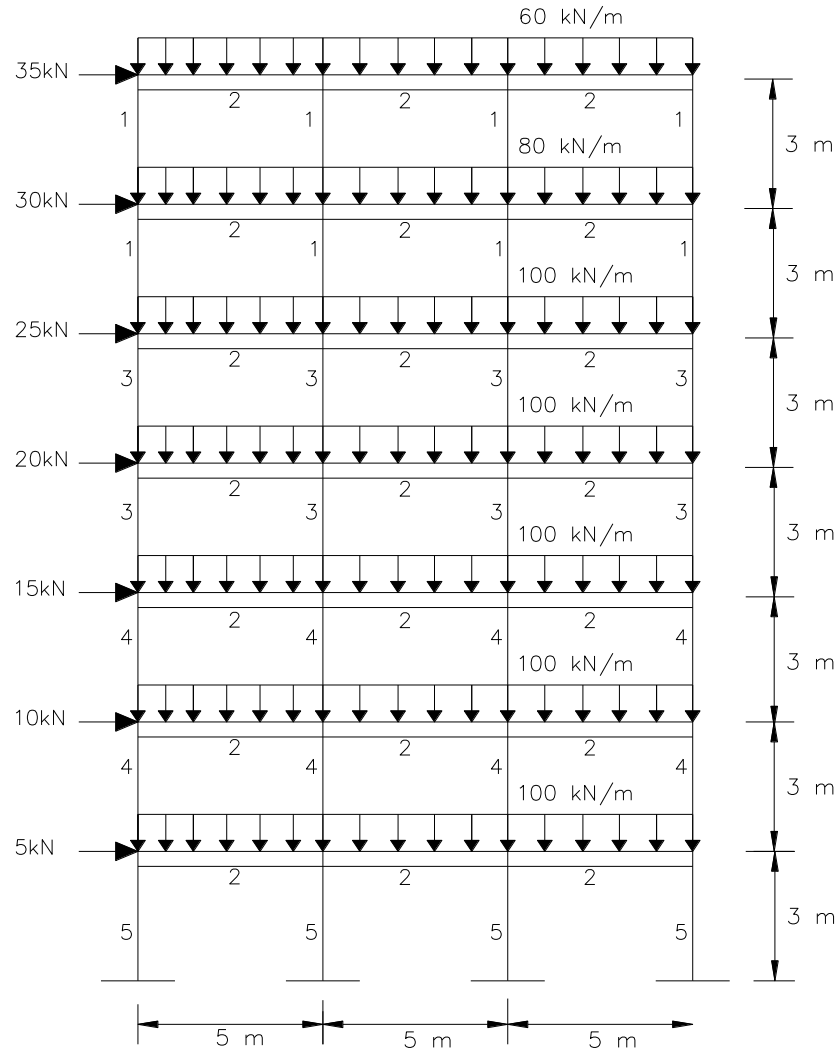
Şekil 7. Beş katlı ve üç açıklıklı çelik çerçevenin deforme olmuş şekli

Figure 7. Deformed shape of five-storey and three-span steel frame

Yukarıdaki şekildeki gibi modellenen çerçevenin üst kat yatay ötelemesi (U1), 0.84 cm olmuştur. Bu değer Çizelge 2’de bulunan 1.16 cm’den küçük olduğu görülmektedir.

Yedi Katlı Üç Açıklıklı Rijit Çelik Çerçeve (Seven-Storey, Three-Bay Rigid Steel Frame)

Şekil 8’de gösterilen 7 katlı 3 açıklıklı rijit çelik çerçeve son tasarım örneği olarak seçilmiştir. Ölçüler, eleman grupları ve sisteme etkileyen dış yükler şekil üzerinde gösterildiği gibidir. En üst kat yatay öteleme limiti 7 cm (çerçeve yüksekliğinin 1/300’ü) olarak belirlenmiştir. Çerçeve elemanları 5 farklı grupta toplanmış, şekil 8’de grup numaraları gösterilmiştir. Dolayısıyla bu çelik çerçeve örneğinde 5 adet tasarım değişkeni vardır.



Şekil 8. Yedikatlü üç açıklıklı rijit çelik çerçeve

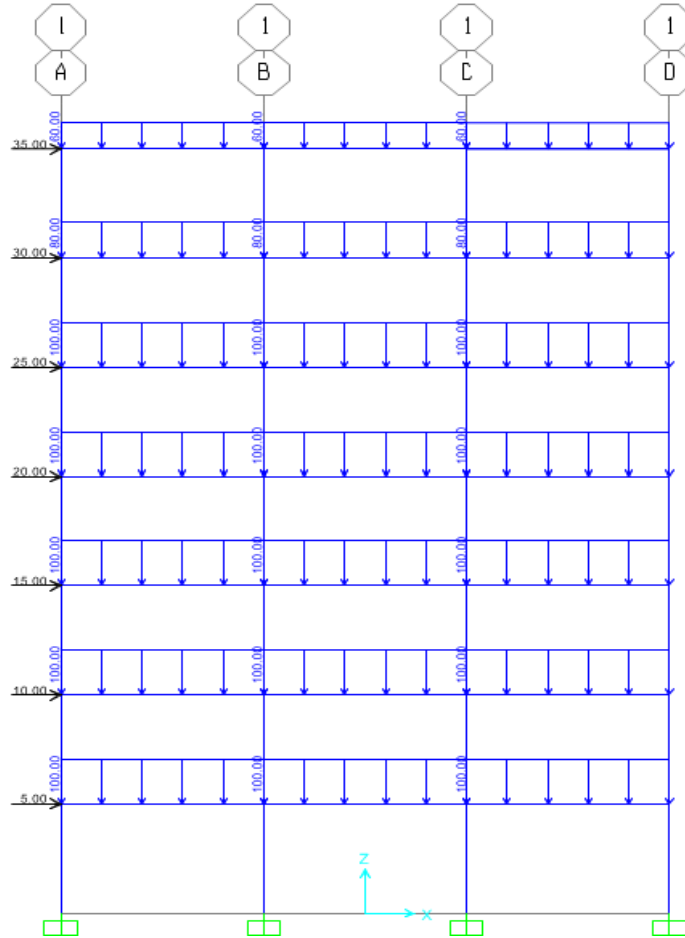
Figure 8. Seven-Storey, Three-Bay Rigid Steel Frame

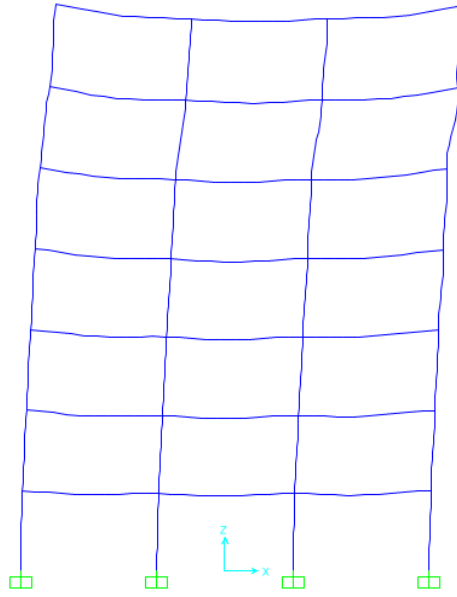
Çerçeve, av arama, parçacık sürü ve büyük patlama büyük çöküş optimizasyon yöntemleri ile optimize edilmiştir. Bu amaçla her bir iterasyon yöntemi ile 5000 iterasyon yapılmış ve minimum çerçeve ağırlığı 1511. iterasyonda 168.279 kN. (17159.74 kg) olarak Parçacık Sürü optimizasyon yöntemi ile hesaplanmıştır. 1511. iterasyonda bulunan bu optimum sonucun sonraki iterasyonlarda değişmediği görülmüştür. Çizelge 3’te 3 optimizasyon yöntemi ile elde edilen W kesitler ve en küçük çerçeve ağırlıkları verilmiştir. Parçacık Sürü optimizasyon yöntemini 169.719 kN ağırlık ile Av Arama yöntemi, ardından 169.839 kN ile Büyük Patlama- Büyük Çöküş yöntemi takip etmiştir.

Çizelge3. Yedi katlı üç açıklıklı rijit çelik çerçeve için optimum tasarımlar**Table 3.** *Optimum Designs of Seven-Storey, Three-Bay Rigid Steel Frame*

Grup No	Eleman Tipi	Av Arama	Parçacık Sürü	Büyük Patlama Büyük Çöküş
1	Kolon	W200X46.1	W200X46.1	W200X46.1
2	Kiriş	W610X92	W610X92	W610X92
3	Kolon	W460X82	W200X86	W200X86
4	Kolon	W530X123	W610X113	W610X113
5	Kolon	W760X134	W760X134	W760X147
Min. Ağırlık (kN)		169.719	168.279	169.839
En Üst Kat Yatay Öteleme (cm)		2.32	2.72	2.71

Optimizasyonu yapılan ve en uygun profil kesitleri belirlenen çelik çerçevenin SAP 2000 [15] bilgisayar programı ile analizi yapılmıştır. Çerçevenin SAP2000 programında oluşturulan modeli ve yüklemeler Şekil 9'da, çerçevenin deforme olmuş şekli ise Şekil 10'da gösterilmiştir.

**Şekil 10.** Yedikatlı ve üç açıklıklı çelik çerçevenin SAP2000 modeli ve yüklemeler**Figure 10.** *SAP2000 Modeling and loading of seven-storey and three-span steel frame*



Şekil 11. Yedi katlı ve üç açıklıklı çelik çerçevenin deforme olmuş şekli

Figure 11. Deformed shape of seven-storey and three-span steel frame

Yukarıdaki şekildeki gibi modellenen çelik çerçevenin en üst kat yatay ötelemesi (U1), 1.81 cm olmuştur. Bu değer Çizelge 3'te bulunan 2.72 cm'den küçük olduğu görülmektedir.

Çalışma kapsamında üç farklı stokastik yöntemle optimum boyutlandırılması yapılan üç adet çelik çerçeve örneğinin sonuçları kıyaslamalı olarak Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Üç, Beş ve Yedi katlı çelik çerçevelerin optimum tasarımlarının kıyaslanması

Table 4. Comparison of optimum designs of three, five and seven storey steel frames

	Eleman Tipi	Av Arama	Parçacık Sürü	Büyük Patlama Büyük Çöküş
Minimum Ağırlık (kN)	Üç Katlı	58.31	61.12	58.66
	Beş Katlı	109.04	108.34	108.94
	Yedi Katlı	169.72	168.279	169.839

Yukarıdaki çizelgeden de görüldüğü üzere örneklerde sonuçlar birbirine yakın çıkmış, algoritmalar örneklerin tipine göre değişen performanslar sergilemişlerdir. Bununla birlikte Parçacık Sürü ve Av Arama algoritmalarının Büyük Patlama- Büyük Çöküş yöntemine göre nispeten daha iyi performans sergiledikleri söylenebilir.

SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR (RESULTS and DISCUSSIONS)

Bu çalışmada 3 adet rijit adet çelik çerçeve örneği optimum tasarlanmak üzere seçilmiştir. Bu amaçla geliştirilen Av Arama, Parçacık Sürü ve Büyük Patlama - Büyük Çöküş yöntemleri her 3 örnek için de uygulanmıştır. Tasarım değişkeni olarak LRFD-AISC (Yük ve Direnç Faktörü Tasarımı - Amerikan Çelik Konstrüksiyon Enstitüsü)'te belirtilmiş olan W kesitler kullanılmıştır. Bu kesitlerin tamamı W100x19.3'ten başlayarak W1100x499'a kadar 1 ile 272 arasında numaralandırılarak rijit çelik çerçevelerin kiriş ve kolonlarında kullanılmak üzere belirlenmiştir. Sınırlayıcı olarak ise yine aynı yönetmeliğin (LRFD-AISC) dayanım, deplasman ve uygunluk sınırlayıcıları esas alınmıştır. İlk örnekte

rijit çelik çerçevenin optimizasyonu 3 farklı optimizasyon yöntemi ile ayrı ayrı yapılmış ve en iyi sonucu (minimum ağırlıklı çerçeve) bulan algoritma Av Arama algoritması olmuştur. Büyük Patlama - Büyük Çöküş algoritması 2. en iyi sonucu bulan algoritma olurken, Parçacık Sürü algoritması en kötü sonucu bulmuştur. 2. örnekte ise Parçacık Sürü algoritması en iyi sonucu bulurken, Büyük Patlama- Büyük Çöküş yöntemi onu takip etmiş, Av Arama algoritması ise en kötü sonucu bulan algoritma olmuştur. Son örnekte Parçacık Sürü algoritması yine en iyi sonucu bulmuş, Av Arama algoritması onu takip etmiş en kötü sonucu bulan algoritma ise Büyük Patlama – Büyük Çöküş algoritması olmuştur. Parçacık Sürü algoritması 2 örnekte en iyi sonucu bulması açısından diğerlerine kıyasla daha iyi bir performans sergilemiş, Av Arama algoritması da ona yakın seyretmiştir. Bununla birlikte bütün örneklerde sonuçlar birbirine yakın çıkmış, algoritmaların örneklerin tipine göre değişen performanslar sergiledikleri görülmüştür. Ayrıca bütün çelik çerçeve örnekleri SAP2000 bilgisayar programı ile modellenmiş, en üst kat yanal deplasmanları optimizasyonlarının yapılması ile elde edilen yanal deplasmanlar ile kıyaslanmış, deplasmanların sınırlar içerisinde kaldığı gözlenmiştir.

KAYNAKLAR(REFERENCES)

- Arsan, T., 2018, "Büyük Patlama – Büyük Çöküş Optimizasyon Yöntemi Kullanılarak Bluetooth Tabanlı İç Mekan Konum Belirleme Sisteminin Doğruluğunun İyileştirilmesi", *Journal of Natural and Applied Sciences*, Cilt 22, ss. 367-374.
- Aydoğdu, İ., Akın, A., Saka, M. P., 2016, "Design optimization of real World steel space frames using artificial bee colony algorithm with Levy flight distribution", *Advances in Engineering Software*, Volume 92, pp. 1-14.
- Doğan, E., 2010, "Optimum Design Of Rigid and Semi-Rigid Steel Sway Frames Including Soil-Structure Interaction", Ph.D. Dissertation, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 262 p.
- Doğan, E. Saka, M. P., 2012, "Optimum design of unbraced steel frames to the LRFD-AISC code using particle swarm optimization", *Advances in Engineering Software*, Volume 46, pp. 27-34.
- Erdem, R. T., 2015, "Non-linear performance analysis of existing and concentric braced steel structures", *Steel and Composite Structures*, Volume 19, Issue 1, pp. 59-74.
- Erol, O. K., Eksin, I. A., 2006, "A new optimization method: Big Bang – Big Crunch", *Advances in Engineering Software*, Volume 37, pp. 106-111.
- Gücüyen, E., Erdem, R. T., 2014, "Corrosion effects on structural behaviour of jacket type offshore structures", *Gradevinar*, Volume 66, Issue 11, pp. 981-986.
- Kamal, O. El-Mahdy O., Nour, M. El-Komy, G., 2015, "Optimization of Steel Structures Using Particle Swarm Technique", *The Engineering and Scientific Research Journal*, pp.1-14.
- Khalilporazari, S., Khalilporazari, Pasandideh, S. H. R., "Modeling and optimization of multi-item multi-constrained EOQ model for growing items", *Knowledge-Based Systems*, Volume 164, pp. 150-162.
- Khalilporazari, S., Khalilporazari, S., "A lexicographic weighted Tchebycheff approach for multi-constrained multi-objective optimization of the surface grinding process", *Engineering Optimization*, Volume 49, pp. 878-895.
- Kaveh, A. Abbasgholiha, H., 2011, "Optimum design of steel sway frames using Big Bang-Big Crunch algorithm", *Asian Journal of Civil Engineering*, Volume 12, pp. 293-317.
- Kaveh, A., Bakhshpoori, T., 2013, "Optimum design of steel frames using Cuckoo Search algorithm with Levy flights", *Struct. Design Tall Spec. Build.* Volume 22, pp. 1023-1036.
- Kennedy, J., Eberhart, R., 1995, "Particle swarm optimization", *Proceedings of International Conference Neural Networks*, Volume 4, pp. 1942-1948.
- LRFD-AISC Manual of Steel Construction, 2011, "Load and Resistance Factor Design", 3rd Edition. American Institute of Steel Construction, USA.

- Oftadeh, R., Mahjoob, M.J., Shariatpanahi, M.,2010,“A novel meta-heuristic optimization algorithm inspired by group hunting of animals: Hunting search.” *Computers Mathematics with Applications*, Vol. 60, pp. 2087-2098.
- Reynolds, C., W., 1987, “Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model”, *ACM Computer Graphics*, Volume 21, pp. 25–34.
- Saka, M. P., 2009,“Optimum design of steel sway frames to BS5950 using harmony search algorithm”, *Journal of Constructional Steel Research*, Volume 65, pp. 36-43.
- Saka, M. P.,Doğan, E.,Aydoğdu,İ.,2013,“Review and Analysis of Swarm-Intelligence Based Algorithms. *Swarm Intelligence and Bio-Inspired Computation*”, Theory and Applications, Chapter: 2. Ed: X-S Yang, Z Cui, R. Xiao, A. M. Gandomi, M. Karamanoğlu, Elsevier.
- SAP 2000 Analysis Reference Manual. Computers and Structures Inc., Berkeley.