

BİLİMSEL MADENCİLİK DERGİSİ
Scientific Mining Journal

Cilt / Vol: 56, Sayı / No: 2, Haziran / June, 2017

TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın hakemli dergisidir.
A peer-reviewed quarterly journal of the Chamber of Mining Engineers of Turkey

Editörler Kurulu / Editorial Board

Baş Editor / Editor-in-Chief:

Dr. Nejat Tamzok, Türkiye Kömür İşletmeleri / *Turkish Coal Enterprises*

Editörler / Editors:

Dr. Bülent Toka, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü / *General Directorate of Mineral Research and Exploration*

Dr. İlkyay Bengü Çelik, Hacettepe Üniversitesi / *Hacettepe University*

Dr. Mehtap Gülsün Kılıç, Dicle Üniversitesi / *Dicle University*

Dr. Fırat Atalay, Hacettepe Üniversitesi / *Hacettepe University*

Derginin Kapsamı ve Amacı

Bilimsel MADENCİLİK Dergisi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın bir yayını olup 1960 yılından bu yana yayımlanmaktadır. Derginin ismi 2016 yılı Haziran sayısına kadar "Madencilik" şeklindeyken, benzer isimli popüler dergilerle karıştırılabilmesi nedeniyle 2016 yılı Eylül sayısından itibaren "Bilimsel Madencilik Dergisi" olarak değiştirilmiş ve o tarihe kadar 0024-9416 olan ISSN numarası da 2564-7024 olarak güncellenmiştir. Dergide yeraltı ve açık ocak işletmeciliği, cevher/kömür hazırlama ve zenginleştirme gibi madenciliğin tüm alanlarında yapılan özgün çalışmalar, eleştirel derlemeler, kısa teknik notlar ve dergide yayımlanmış yazılara ilişkin tartışmalar yayımlanır. Derginin yazım dili Türkçe ve İngilizce'dir. Yılda dört kez (Mart, Haziran, Eylül ve Aralık) yayımlanır. Dergiye elektronik ortamda <http://www.madencilik.org.tr> adresinden erişilebilir. Derginin amacı maden mühendisliği mesleğinin ulusal ve uluslararası düzeyde gelişimine katkı sağlamaktır.

Scope and Aim of the Journal

The Scientific MINING Journal, a publication of the Chamber of Mining Engineers of Turkey, has been published since 1960. The name of the journal has been changed from "Mining" to "Scientific Mining Journal" since September 2016 because it can be mixed with popular magazines with similar names and the ISSN number has also been updated from 0024-9416 to 2564-7024. The journal is a medium for the publication of original research papers, critical comprehensive reviews, and technical notes in all fields of mining engineering such as underground and surface mining, and mineral/coal processing. The journal also publishes discussion of papers which have been already published in the journal. The publication languages are Turkish and English, and is published quarterly (March, June, September and December). The journal can also be freely accessed at <http://www.mining.org.tr> The objective is to contribute to the development of the profession of mining engineering at national and international levels.

BİLİMSEL MADENCİLİK DERGİSİ
Scientific Mining Journal

Bilimsel MADENCİLİK Dergisi makale dizin ve özlerinin yer aldığı veri tabanları:

Scientific MINING Journal is indexed or abstracted in:

Chemical Abstracts

Compendex

ENCOMPLIT

ENCOMPLIT2

GeoRef

ULAKBİM TR Dizin

Makale Yazım Kuralları, Yayın Danışma Kurulu, Hakem Değerlendirme Süreci ve 2017 Yılı Hakem Listesine <http://www.madencilik.org.tr> adresinden erişilebilir.

Author Instructions, Editorial Advisory Board, and the Peer Review Process and 2017 Reviewer List can be accessed from <http://www.mining.org.tr>

Etik Kurallar / Publication Ethics

Dergiye gönderilecek çalışmalarda, araştırma ve yayın etiğine uyulması tartışmasız bir ön koşul olarak kabul edilmektedir. Yayın Etik Kurallarına <http://www.madencilik.org.tr> adresinden erişilebilir.

Complying with the research and publication ethics is considered an indisputable precondition to be published. Publication Ethics can be accessed from <http://www.mining.org.tr>

Bilimsel
madencilik
SCIENTIFIC MINING JOURNAL
DERGİSİ

TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını / The Publication of the Chamber of Mining Engineers of Turkey

HAZİRAN

JUNE

2017

CİLT

VOLUME

56

SAYI

NUMBER

2

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Hülya Kurşun
İbrahim Erdoğan

45

Orijinal Araştırma / Original Research

Kolon ve Mekanik Flotasyon Hücrelerinde Köpürtücü Miktarı ve Türünün Su İle Taşınma Etkisi

Influence of Frother Concentrations and Types on Entrainment in Column and Conventional Flotation Cells

Deniz Tuncay
Nuray Demirel

55

Orijinal Araştırma / Original Research

Reliability Analysis of a Dragline Using Fault Tree Analysis

Hata Ağacı Analizi ile Çekme Kepçeli Yerkazarın Güvenilirlik Analizi

Hale İşleker
Ali Can Özdemir
Ahmet Dağ

65

Orijinal Araştırma / Original Research

Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Metalik Bir Maden Yatağının Değerlendirilmesi

Evaluation of a Metallic Mine Deposit with Geographic Information Systems

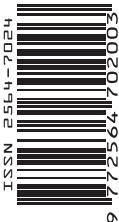
Zeynep Altınçelep
Oktay Bayat

77

Orijinal Araştırma / Original Research

Sekköy (TKİ-GELİ) Kömür Hazırlama Tesisinin Performansının Değerlendirilmesi

Evaluation of Sekköy (TKİ-GELİ) Coal Washing Plant Performance



BİLİMSEL MADENCİLİK DERGİSİ
Scientific Mining Journal

TMMOB Maden Mühendisleri Odası adına sahibi /
Owner on behalf of the Chamber of Mining Engineers of Turkey: Ayhan Yüksel

Sorumlu yazı işleri müdürü / *Responsible manager: Necmi Ergin*

Yönetim yeri ve yazışma adresi / *Correspondence address:*
Selanik Cad. No: 19/4 06650 Kızılay-Çankaya / ANKARA - TURKEY

Tel: +90 312 425 10 80 / +90 312 418 36 57 • Fax: +90 312 417 52 90

e-mail: bilgi@madencilik.org.tr / info@mining.org.tr
web: <http://www.madencilik.org.tr> / <http://www.mining.org.tr>

Yayın türü / *Publication type: Yerel süreli yayın, 3 ayda bir yayımlanır / Local periodical, quarterly*

Tasarım / *Design: Ayhan Çınar*

Baskı yeri / *Printed at: Korza Matbaası*

Baskı Tarihi ve saati / *Printing date: 06.06.2017 at 09:00*

Basım adedi / *Number of printed copy: 1500*



Orijinal Araştırma / Original Research

KOLON VE MEKANİK FLOTASYON HÜCRELERİNDE KÖPÜRTÜCÜ MİKTARI VE TÜRÜNÜN SU İLE TAŞINIMA ETKİSİ

INFLUENCE OF FROTHER CONCENTRATIONS AND TYPES ON ENTRAINMENT IN COLUMN AND CONVENTIONAL FLOTATION CELLS

Hülya Kurşun^a, İbrahim Erdoğan^{a*}

^a Cumhuriyet Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, SİVAS

Geliş Tarihi / Received : 02 Mart / March 2017

Kabul Tarihi / Accepted : 21 Nisan / April 2017

Anahtar Sözcükler:

Sölestit,
Kalsit,
Su ile taşınım,
Mekanik flotasyon,
Kolon flotasyonu.

ÖZ

Su ile taşınım (entrainment), tanelerin köpüğe bağlanmadan suyun sürüklenme etkisi ile köpüğe taşınan malzemeyi ifade eder. Genellikle mekanik ve kolon flotasyonu sistemlerinde ihmal edilmektedir. Bu çalışmada, yüksek saflıktaki kalsit (%97,78 CaCO₃) ve sölestit (%97,20 SrSO₄) minerallerinin karışımı (1:1 oranında) ile bir grup deneyler yapılmıştır. Farklı köpürtücü tür ve konsantrasyonlarında Denver tipi mekanik flotasyon makinası kullanarak su ile taşınım faktörleri hesaplanmış, Kursun (2017)'de kolon hücresi ile yapmış olduğu deneylerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kolon ve mekanik hücre deney sonuçları karşılaştırıldığında su ile taşınım faktörü kolon hücresinde en düşük değere ulaşmıştır.

Mekanik Flotasyon; $Pi_{MIBC} (0,471) < Pi_{Çam\ yağı} (0,495)$

Kolon Flotasyonu; $Pi_{MIBC} (0,365) < Pi_{Çam\ yağı} (0,480)$

Sonuç olarak, köpürtücü miktarı ve türü her iki flotasyon hücresinde de görüldüğü gibi su ile taşınım faktörünü, konsantrasyon verim ve seçiciliğini önemli derecede etkilemektedir. Kolonda 80 g/t MIBC köpürtücü kullanılması durumunda minimum su ve kalsit verimine ulaşılmıştır (4 dakika kalma süresi). Kirjaveinen (1988;1989) modeli, hidrofilik tanelerin su ile taşınım faktörünü (Pi) belirlemek için kullanılmıştır.

ABSTRACT

Entrainment refers to materials which are water-entrained without attaching to the foam. It is usually neglected in conventional and column flotation systems. In this study, a group of experiments were carried out with a mixture (1:1 ratio) of artificial minerals of high purity calcite (97,78% CaCO₃) and celestite (97,20% SrSO₄). Entrainment were calculated using Denver type flotation machines in different frother types and concentrations, and compared with the results of the experiments in Kursun (2017) at column flotation. Entrainment factor calculated for column flotation was lower than the one for conventional flotation.

Conventional Flotation; $Pi_{MIBC} (0,471) < Pi_{Pine\ Oil} (0,495)$

Column Flotation; $Pi_{MIBC} (0,365) < Pi_{Pine\ Oil} (0,480)$

Consequently, the frother concentration and type significantly affect the entrainment, recovery and selectivity of concentrate as it is seen in both flotation cells. Minimum water and calcite recoveries were provided with 80 g/t of frother concentration for MIBC in column flotation. (4th minute residence time). Kirjaveinen (1988;1989) model was used for describing a specific entrained factor (Pi) of hydrophilic particles in this study.

Keywords:

Celestite,
Calcite,
Entrainment,
Conventional flotation,
Column flotation

* İlgili yazar: hkursun@cumhuriyet.edu.tr

GİRİŞ

Düşük tenörlü cevherlerin ekonomik olarak kullanılmasına öğütme teknolojisinde elde edilen ilerlemeler büyük ölçüde katkı sağlasa da, doğada cevher tenörünün sürekli azalması ile çok ince boyutlarda cevherden mineral tanelerini ayırmak madencilik sektöründe oldukça güç ve maliyetli olmaktadır.

Flotasyon işlemi, hücre içinde farklı yüzey özelliklerine sahip tanelerin, pülp içerisinde oluşturulan hava kabarcıkları yardımıyla birbirinden ayrılması sonucunda gerçekleşmektedir. Köpük flotasyonunun temeli, pülp içindeki hava kabarcığını yükseltmek, hava-sıvı ara yüzeyini oluşturup, seçimliliği sağlamaktır.

Mekanik ve kolon flotasyon hücreleri, ince boyutlarda geliştirilen yeni tasarımlara rağmen halen yaygın olarak kullanılmaktadır. İlk olarak mekanik flotasyon hücrelerinde çalışılmıştır. 1960'larda, Boutin ve Tremblay tarafından kolon flotasyonu patentlenmiş, Kanada kolonlarının ilk tanımları ve test çalışmaları Wheeler (1966), Boutin ve Wheeler (1967) tarafından yapılmıştır. Tesis performansı açısından oldukça başarılı sonuçlar elde edilmesinden dolayı farklı türdeki minerallerin zenginleştirilmesinde kolonlar yaygın olarak kullanılmıştır (Finch ve Dobby, 1990). Bu dönemlerde, Çin'de 1961 yılında (Hu ve Liu, 1988) ve eski SSCB'de farklı tasarımlarda kolonlar kullanılmıştır (Reddy vd., 1988). Pierre Boutin mekanik flotasyon hücrelerinde pülpün süspansiyonda tutulması için pervanelerin dönüşü ve hava akışı ile yaratılan türbülansın, ince gang tanelerinin konsantreye kaçması ile konsantreyi kirlettiğini belirtmiş, buna alternatif olarak tanelerin, türbülansın olmadığı bir ortamda süspansiyonda tutulabilmesi için, ince, uzun ve yüksek bir hücreye beslenmesi gerektiğini açıklamıştır (Finch ve Dobby, 1990). Kolon flotasyonu hakkında 1980'li yıllara kadar Sastry ve Fuerstenau (1972) kolonların modellenmesi, Narasimhal vd. (1972) grafit zenginleştirilmesi, Mathieu (1972) molibdenit'in zenginleştirilmesi olmak üzere sadece üç çalışmanın gerçekleştiği görülmektedir (Finch ve Dobby, 1990).

Tanelerin konsantreye sürüklenmeleri (entrainment), hava kabarcığına bağlanarak ve hem hidrofilik hem de hidrofobik taneler için hava kabarcığına bağlanmadan gerçekleşmektedir. Hidrofobik taneler için iki mekanizmada gerçekleşirken, hidrofilik taneler için sadece su ile taşınım söz konusu olmaktadır. Hidrofilik

tanelerin tamamının konsantreye su ile taşındığının kabul edilmesinin oldukça basit bir işlem olduğu düşünülmekte ancak, hidrofobik tanelerin konsantreye su ile taşınmasının zor bir proses olacağı birçok araştırmacı tarafından belirtilmektedir (Wark, 1981; Warren, 1985; Ross, 1990,1991; Gülsoy vd., 1995; Gülsoy, 1999, 2005).

Hidrofilik tanelerin konsantreye su ile taşınarak geldiği kabul edilmiş ve hidrofobik tanelerde olduğu gibi hız eşitlikleri kullanılarak taneler için farklı su ile taşınım modelleri geliştirilmiştir. Bu modellemeler genellikle su ve katı kazanımı arasında doğrusal bir ilişki kurulması ve bu doğrusal ilişkiye bağlı olarak değişmelerin oluşması temeline dayanmaktadır. İnce tanelerin konsantreye taşınmasında çok önemli etkisi olan su ile taşınım ilk olarak Gaudin vd., (1931) ve Johnson vd. (1974), tarafından incelenmiştir. Jowett (1966), konsantredeki serbest gang derişimi ile pülp içerisindeki serbest gang derişimi arasında bir ilişki olduğunu belirlemiştir. Johnson vd. (1974) de, pilot tesis üzerinde su ile kazanımı deneysel olarak çalışmışlar, su kazanım hızını ve sınıflama fonksiyonunu da kullanarak bir model geliştirmişlerdir. Su ve katı verimleri arasında parabolik bir ilişki olduğunu gözlemlemişler, sınıflandırma fonksiyonu olarak (C_F)'yi tanımlamışlardır (eşitlik 1).

$$(C_F) = \frac{\text{Konsantrede Serbest Gang Derişimi}}{\text{Pülpdeki Serbest Gang Derişimi}} \quad (1)$$

Kirjavainen (1988; 1989), çalışmasında bir transfer faktörü tanımlayarak buna bağlı bir model önermiş ve çeşitli mineraller kullanarak farklı bir yaklaşım geliştirmiştir. Çalışmasında, tane kütlesine bağlı olan transfer faktörünü eşitlik 2' de verildiği gibi tanımlamıştır.

$$P: 1-D \log(m) \quad (2)$$

Doğrusal ilişkinin hidrofilik minerallerin taşınımları arasında olmayacağını belirterek eşitlik 3' te ifade edilebilen bir model önermiştir.

$$R_i = 1 - \exp(-P_i R_w), \quad P_i = \ln(1 - R_i) / -R_w \quad (3)$$

R_i : hidrofilik malzeme verimi

P_i : sürüklenme faktörü, R_w : su verimi

1990'dan sonra su ile taşınım faktörü bir çok araştırmacı tarafından farklı matematiksel modeller kullanılarak tanımlanmıştır (Kirjavainen, 1988, 1989, 1992, 1996; Savassi vd., 1998, Zheng vd.,

2005a, 2005b, 2006; Yianatos vd., 2009; Yianatos ve Contreras, 2010; Konopacka ve Drzymala, 2010).

Flotasyonda su ile taşınımı önemli derecede etkileyen parametrelerden biri de köpürtücü, tür ve miktarlarıdır. Flotasyonda köpürtücüler, hava-sıvı ara yüzey gerilimini düşürerek köpük oluşmasını ve hava kabarcığının duyarlı olmasını sağlayan kimyasallardır. Toplayıcı özelliğine sahip olmamalı, az miktarlarda kullanımı köpük yapmaya yeterli olmalı, ortamdaki minerallerden ve diğer kimyasallardan etkilenmemeli, minerali yüzeye taşıyabilir sağlamlıkta ve güçte olmalıdır. Suda homojen olarak dağılabilmeleri için suda çözünebilir ve flotasyon sisteminde minerallerden ve diğer kimyasallardan etkilenmemelidir. Mekanik ve kolon flotasyonu prosesinde köpürtücülerin flotasyona etkisi bir çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Subrahmanyam ve Forsberg, 1988; Hoşten ve Tezcan, 1990; Goodall ve O'Connor 1992; Malysa, 1993; Tuteja vd., 1995; Rahal vd., 2001; Akdemir vd., 2005; Antunes Pita, 2015; Kursun, 2014, 2017).

Kursun (2014), yapmış olduğu çalışmasında, Kirjavainen (1988, 1989) modelini uygulayarak mekanik ve kolon flotasyonunda tane boyutunun ve köpürtücü miktarlarının su ile taşınım faktörüne etkisini incelemiş, kolon hücrelerinde su ile taşınım faktörünün daha az olduğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışmada, Kursun (2014, 2017) çalışmasına ilave olarak Denver tipi mekanik flotasyon hücrelerinde köpürtücü miktarı ve türünün su ile taşınım faktörüne (*Pi*) etkisini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Kursun (2017)'de yapmış olduğu kolon flotasyonu deneyleri ile bu çalışmasını ilişkilendirerek kolon ve mekanik flotasyon hücrelerinde köpürtücü miktarı ve türünün su ile taşınım faktörüne etkisi incelenmiş, verim ve seçicilik açısından karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlar Kirjavainen (1988, 1989)'ın belirlemiş olduğu model üzerine uygulanarak değerlendirilmiştir.

Flotasyonda temel amaç, konsantride maksimum verim ve seçicilik değerlerine ulaşmaktır. Konsantride genellikle en fazla kirliliği sağlayan ince boyuttaki tanelerin su ile taşınımı olduğundan, çalışmamızda bunu en aza indirmek için sistemi doğrudan etkileyen parametrelerden olan köpürtücü türü ve miktarının önemli bir etkiye sahip olduğu ortaya konmuş ve her iki flotasyon sisteminde de verim ve seçicilik üzerine etkileri araştırılmıştır. Neticede her iki sistemin ve çok daha farklı

türde köpürtücü türlerinin detaylı çalışılmasıyla, su ile taşınımın daha fazla azaltılacağı yönünde bu çalışmanın devam eden araştırmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

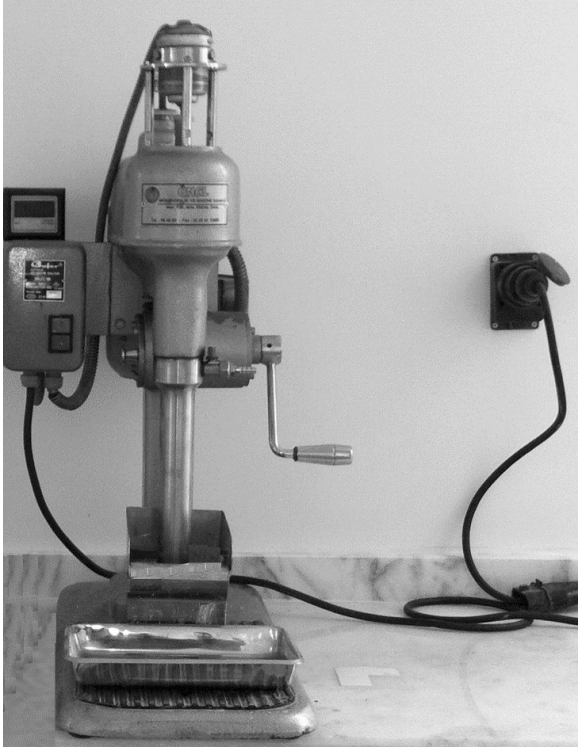
1. MALZEME VE YÖNTEM

Deneylerde, Sivas-Ulaş bölgesinden temin edilen (BMT Alçı A.Ş.) %97.78 CaCO₃ içerikli kalsit ile yine aynı bölgeden (Barit Madencilik A.Ş.) alınan 97.2% SrSO₄ içerikli sölestit (1:1) oranında karıştırılarak hazırlanan numuneler ile çalışılmıştır. Bil-yalı değirmen kullanılarak kalsitin tamamı -38µm tane boyuna indirilmiş, sölestit ise (-106+38 µm) boyut aralıklarında hazırlanmıştır. Sölestit ve kalsitin kimyasal analiz sonuçları (X-Ray Fluorossans) Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan Sölestit ve Kalsit'in Kimyasal Analizi (Kursun, 2014)

	Bileşim	%
Sölestit	SrSO ₄	97.20
	CaSO ₄ .2H ₂ O ₄	2.32
	Diğerleri (Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃ +MgO)	0.48
Kalsit	CaO	54.42
	Kızdırma Kaybı	43.36
	Diğerleri (MgO, Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , Na ₂ O, SO ₃ , K ₂ O, SiO ₂ <0.01)	2.22

Deneyisel çalışmalarda, mekanik flotasyon makinası olarak 1 lt hücre kapasitesi olan Denver tipi flotasyon makinası (Ünal Mühendislik A.Ş.) kullanılmıştır (Şekil 1). Çalışma sırasında musluk suyunun pH değeri (pH: 7.8) NaOH kullanılarak pH:10'a ayarlanmıştır. Toplayıcı olarak anyonik toplayıcı olan Na-Oleat (600 g/t), köpürtücü olarak farklı miktarlarda (40 g/t, 80 g/t, 120 g/t, 160 g/t) Çam yağı kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda farklı köpürtücü miktarlarında ve türünde elde edilen ağırlıkça katı (105 °C) ve su miktarları hesaplanarak hidrofilik kalsit için Kirjavainen Modeli (1989) uygulanmış, su ile sürüklenme faktörü (*Pi*) hesaplanmıştır (eşitlik 3). Aynı zamanda, Kursun (2017)'de yapmış olduğu kolon flotasyonu deneyleri ile bu çalışmasını ilişkilendirerek kolon ve mekanik flotasyon hücrelerinde köpürtücü miktarı ve türünün su ile taşınım faktörüne etkisi incelemiş, verim ve seçicilik açısından karşılaştırma yaparak kolon flotasyonunun üstünlüklerini tanımlamıştır.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan Denver tipi mekanik flotasyon hücresi

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Denver Tipi Mekanik Flotasyon Hücresinde Köpürtücü Miktarı ve Türünün Su ile Taşınım Etkisi

Mekanik flotasyon hücresiyle yapılan deneylerde çalışılan sabit parametreler; %20 katı oranı, 1200 rpm karıştırma hızı, 4 dakika flotasyon süresi ve 600g/t Na-Oleat toplayıcı dozajı olarak belirlenmiştir. Köpürtücü miktarı ve türüne bağlı olarak elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de verilmektedir. Çizelge 2’den de görüldüğü gibi, köpürtücü miktarı artırıldığında kalsit ve su verimi de artmıştır. 80 g/t Çam yağı kullanıldığında 4. dakika flotasyon zamanında sölestit kazanımı %66,91, tenör değeri ise % 74,03 olmaktadır. Oysa ki, aynı köpürtücü konsantrasyonlarında ve aynı flotasyon süresinde MIBC kullanılması durumunda, en yüksek sölestit verim (%78,92) ve tenör (%81,58) değerlerine ulaşılmıştır. Aynı zamanda su ile taşınım faktörü de 80 g/t MIBC kullanılması durumunda konsantrede en düşük kalsit kirlenmesini sağlamış ve P_i : 0,471 olarak Kirjevainen Modeli’ne göre hesaplanmıştır.

Böylece mekanik flotasyon hücresi kullanılarak

Çizelge 2. Mekanik flotasyon hücresinde flotasyon zamanına bağlı olarak farklı miktarlardaki Çam yağı ve MIBC’nin sölestit-kalsit-su verimi ve su ile taşınım faktörüne etkisi (sölestit(-106+38 µm), kalsit(-38µm))

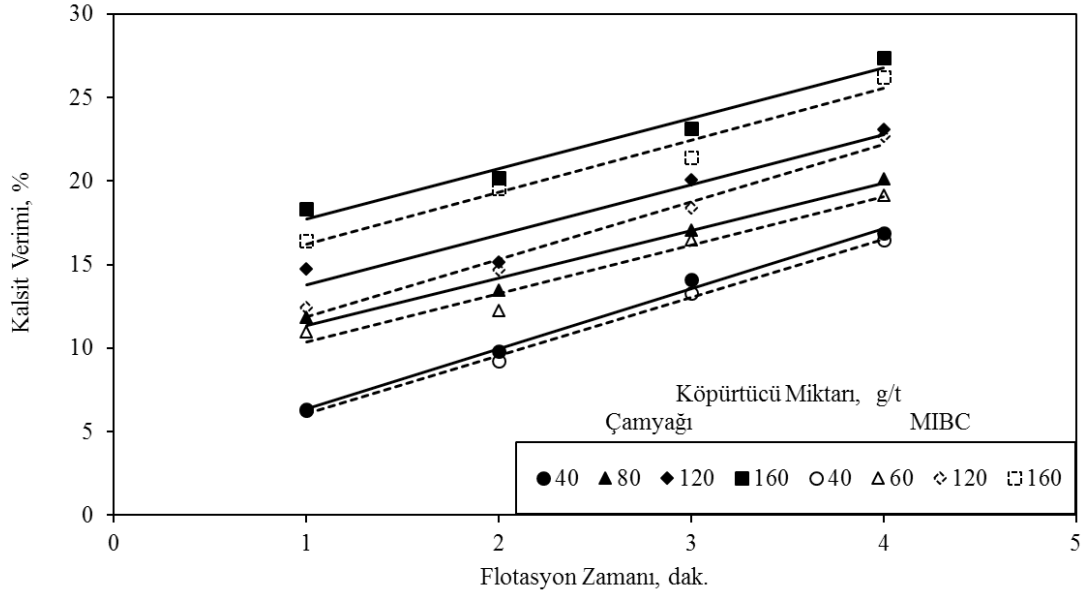
Köpürtücü Miktarı (g/t)	Flotasyon Zamanı (dak.)	Çam yağı						P_i	MIBC (Kursun 2014)					
		Verim (%)			Tenör (%)				Verim (%)			Tenör (%)		
		Sölestit	Kalsit	Su	Sölestit	Kalsit	P_i		Sölestit	Kalsit	Su	Sölestit	Kalsit	P_i
40	1	39.83	6.34	9.73	53.75	46.25	0.673	40.28	6.25	10.13	59.93	40.17	0.637	
	2	41.28	9.79	14.70	59.21	40.79	0.701	43.76	9.21	14.56	60.12	39.88	0.664	
	3	45.07	14.08	23.90	60.78	39.22	0.635	47.51	13.32	25.13	64.36	35.64	0.569	
	4	46.15	16.90	30.25	61.84	38.16	0.612	51.57	16.47	32.21	65.11	34.89	0.559	
80	1	51.86	11.82	24.01	62.28	37.72	0.524	63.74	10.95	23.68	72.83	27.17	0.489	
	2	57.77	13.48	24.46	64.11	35.89	0.592	69.82	12.25	25.48	73.11	26.89	0.513	
	3	63.28	17.04	34.13	72.20	27.80	0.547	73.98	16.48	35.12	78.01	21.99	0.516	
	4	66.91	20.13	45.31	74.03	25.97	0.496	78.92	19.17	45.13	81.58	18.42	0.471	
120	1	52.12	14.75	24.51	64.94	35.06	0.651	61.63	12.44	24.78	75.47	24.53	0.536	
	2	54.01	15.15	25.59	70.07	29.93	0.642	63.20	14.69	27.11	74.18	25.82	0.586	
	3	57.21	20.07	34.57	72.22	27.78	0.648	64.11	18.41	36.52	76.41	23.59	0.557	
	4	63.49	23.11	45.97	72.99	27.01	0.625	70.31	22.68	48.61	76.55	23.45	0.529	
160	1	60.73	18.34	29.07	58.44	41.56	0.697	65.98	16.42	27.78	67.74	32.26	0.646	
	2	64.88	20.18	31.70	59.73	40.27	0.711	71.34	19.57	31.61	67.41	32.59	0.689	
	3	64.55	23.14	38.59	58.12	41.88	0.682	74.17	21.41	37.52	66.71	33.29	0.642	
	4	60.99	27.39	47.49	57.96	42.04	0.674	63.57	26.21	49.83	69.48	30.52	0.635	

Toplayıcı konsantrasyonu: 600 g/t Na-Oleat, Katı Oranı: % 20, Karıştırma Hızı: 1200 dev/dak.

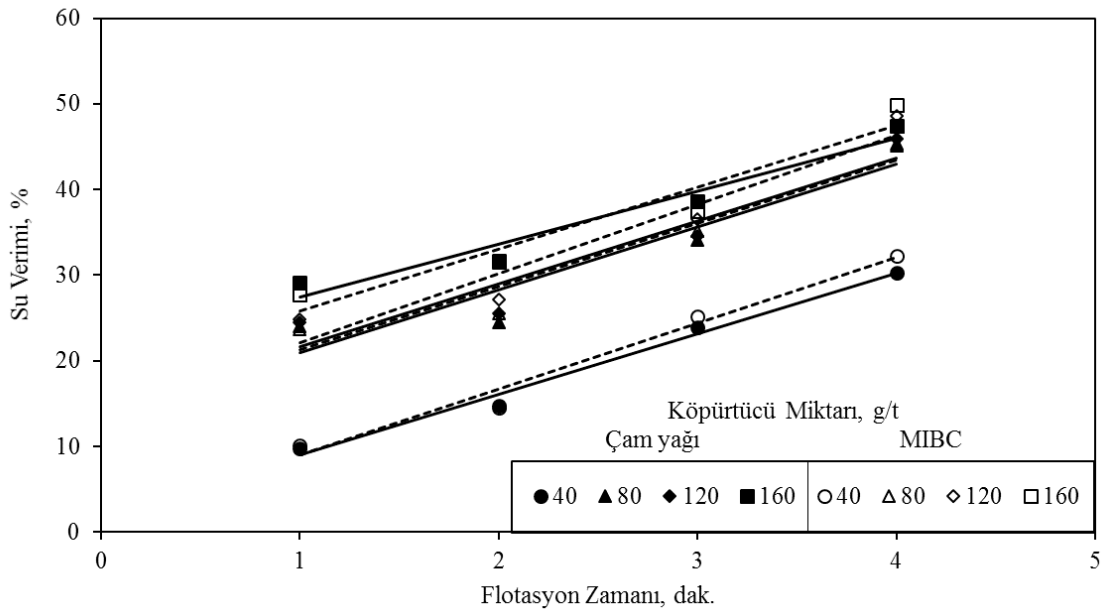
konsantrede 80 g/t MIBC kullanılması ile yüksek verim ve seçicilik değerine ulaşılmış ve en düşük su ile taşıma faktörü elde edilmiştir. Şekil 2 ve 3'te Çam yağı ve MIBC kullanılması durumunda flotasyon zamanına bağlı olarak mekanik flotasyon hücresinde kalsit ve su verimi grafikleri gösterilmektedir. Çam yağı kullanılması durumunda, konsantreye su ile taşınan kalsit miktarının daha fazla olduğu deneysel veriler sonucunda belirlenmiştir.

2.2. Kolon Flotasyonunda Köpürtücü Miktarı ve Türünün Su ile Taşıma Etkisi

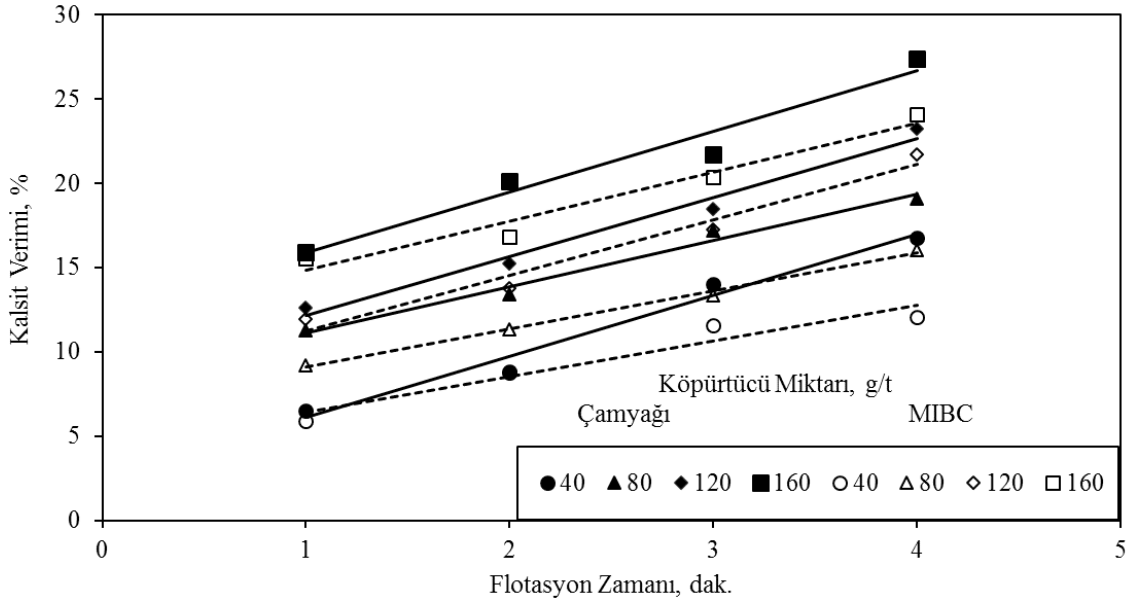
Kolon flotasyonunda, köpürtücü miktarına ve türüne bağlı olarak, su ve kalsit kazanımı ile su ile sürüklenme faktörüne etkileri Çizelge 3, Şekil 4 ve 5'te verilmiştir. %20 katı oranı, 4 dakika kalma süresi ve toplayıcı olarak 600g/t Na-Oleat, yüzeyel hava hızı 1 cm/sn, besleme hızı 400 ml/dak., yıkama suyu hızı 150 ml/dak. deneysel koşullarında çalışılmıştır.



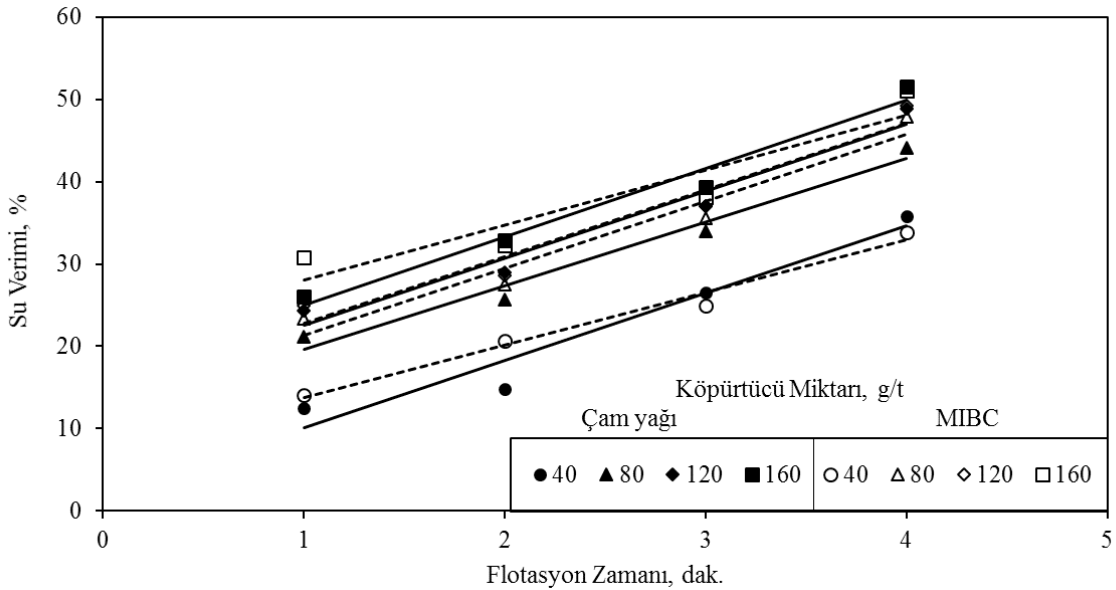
Şekil 2. Mekanik flotasyon hücresinde flotasyon zamanına bağlı olarak farklı konsantrasyonlarda Çam yağı ve MIBC kullanılması sonucu kalsit verimindeki değişim



Şekil 3. Mekanik flotasyon hücresinde flotasyon zamanına bağlı olarak farklı konsantrasyonlarda Çam yağı ve MIBC kullanılması sonucu su verimindeki değişim



Şekil 4. Kolon flotasyonunda flotasyon zamanına bağlı olarak farklı konsantrasyonlarda Çam yağı kullanılması sonucu kalsit verimindeki değişim (Kursun, 2017)



Şekil 5. Kolon flotasyonunda flotasyon zamanına bağlı olarak farklı konsantrasyonlarda Çam yağı kullanılması sonucu su verimindeki değişim (Kursun, 2017)

Şekil 4 ve 5'ten görüldüğü gibi kolon flotasyonunda kalsit ve su verimi tanelerin flotasyonda kalma zamanına bağlı olarak artmaktadır. Artan köpürtücü konsantrasyonlarında da yine su ve kalsit kazanımının arttığı görülmüştür. 80 g/t Çam yağı kullanıldığında 4. dakika flotasyon zamanında sölestit kazanımı %77,92, tenör değeri ise %82,05 olmaktadır. Aynı koşullarda, MIBC kullanılması durumunda ise en yüksek sölestit verim (%87,11) ve tenör (% 89,95) değerlerine ulaşılmıştır. Su ile taşıma faktörü 80 g/t MIBC

konsantrasyonunda konsantrede en düşük kalsit kirlenmesini sağlamış, böylece, P_i : 0,365 olarak Kirjevainen Modeli'ne göre hesaplanmıştır.

2.3. Mekanik ve Kolon Flotasyonunda Köpürtücü Miktarı ve Türünün Su ile Taşıma Etkisinin Karşılaştırılması

Optimize edilen 80 g/t Çam yağı ve MIBC miktarlarında konsantrede kazanılan sölestit verim ve tenör değerlerinin mekanik ve kolon flotasyonunda

yon hücrelerinde karşılaştırılması Şekil 6'da görülmektedir. Kolon flotasyonunda ve 80 g/t MIBC kullanılması ile maksimum sölestit verim ve seçimlilik değerlerine ulaşılmıştır.

Şekil 7'de, 80 g/t MIBC kullanılması durumunda kolon flotasyonunda konsantreye su ile taşınan kalsit miktarının daha az olduğu (P_i : 0,365) ve aynı zamanda daha yüksek verim (%87,11) ve seçimlilikte (%89,95) sölestit konsantrasi değerlerine ulaşıldığı görülmektedir.

Şekil 6 ve 7 birlikte yorumlandığında kolon flotasyonu ve MIBC kullanılması durumunda daha yüksek verim ve seçimlilik sağlanmış, en düşük su ile sürüklenme faktörü elde edilmiştir.

Bu çalışma, Kursun (2017)'de yapmış olduğu çalışmasının devamında yapılan bir araştırmadır. Kursun (2017)'de, ikili faz sisteminde (hava/su) kabarcık çaplarını Çam yağı ve MIBC için belirlemiş ve kolonda 1 cm/sn hava hızında 80 g/t MIBC kullanıldığında Çam yağına göre daha küçük çaplı kabarcık oluşumu sağlandığını, daha kararlı bir köpük oluşumu elde edilebildiğini belirtmiştir. Köpürtücü miktarı ve türü kabarcık boyutunu doğrudan değiştireceğinden su ile taşınım üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Verimin maksimum ol-

duğu bir köpürtücü derişimi kabul edilmekte ve genellikle kabarcık çapı ile köpürtücü konsantrasyonu arasında ters bir ilişkinin olduğu görülmektedir (Tuteja vd.,1995, Goodall ve O'Connor, 1992).

Kolon hücrelerinin fiziksel avantajlarının yanısıra; özellikle gövde yapısının uzun olması patlayan kabarcıklardan ayrılan tanelerin bir sonraki köpüğe tutunma olasılığının yüksek olmasını sağlamaktadır. Karıştırma ünitesinin olmayışı, yıkama suyunun kolonun üst kısmından verilmesi, hava kabarcıklarının hava üreteçleri yardımıyla sağlanması ve kabarcık çapının kontrol edilebilirliği, köpük derinliğinin yüksek olması köpük bölgesinde su akışının azalması ve hava tutunumunun fazla olmasını sağlamaktadır. Tane-kabarcık kopması köpük-pülp ara yüzeyinde gerçekleştiğinden taneler kolona yeni beslenmiş taneler ile aynı kalma süresine sahip olmaları sebebiyle su ile taşınımı azaltıcı üstünlükler ortaya koymaktadır.

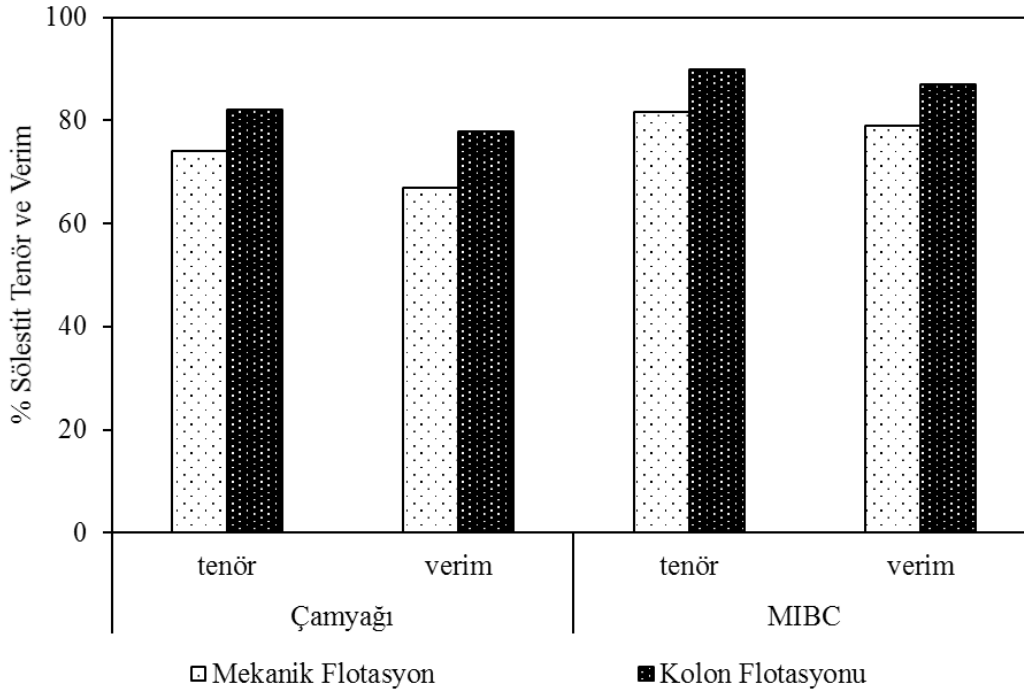
SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mekanik ve Kolon flotasyonunda yüksek saflıkta sölestit-kalsit (1:1) karışımı ile farklı köpürtücü türü ve miktarlarında kalsit, su, sölestit verimleri ve kalsit tanelerinin su ile sürüklenme faktörü

Çizelge 3. Flotasyon kolonunda flotasyon zamanına bağlı olarak farklı miktarlardaki Çam yağı ve MIBC'nin sölestit-kalsit-su verimi ve su ile taşınım faktörüne etkisi (sölestit [-106+38 µm], kalsit [-38µm])

Köpürtücü Miktarı(g/t)	Kalma Zamanı(dak.)	Çam yağı (Kursun 2017)						MIBC (Kursun 2014)							
		Verim (%)			Tenör (%)			P_i	Verim (%)			Tenör (%)			P_i
		Sölestit	Kalsit	Su	Sölestit	Kalsit	Sölestit		Kalsit	Su	Sölestit	Kalsit			
40	1	39.74	6.51	12.44	58.63	41.37	0.541	51.41	5.91	14.02	71.52	28.48	0.434		
	2	42.11	8.84	14.83	61.24	38.76	0.624	54.80	8.78	20.63	73.24	26.76	0.445		
	3	48.96	14.04	26.49	63.52	36.48	0.571	57.63	11.55	24.92	78.55	21.45	0.493		
	4	52.21	16.79	35.76	66.11	33.89	0.514	67.36	12.07	33.81	76.82	23.18	0.380		
80	1	62.41	11.25	21.13	71.88	28.12	0.492	75.52	9.21	23.41	81.41	18.59	0.413		
	2	70.24	13.41	25.67	75.21	24.79	0.561	77.28	11.32	27.48	83.34	16.66	0.437		
	3	74.11	17.20	33.96	79.12	20.88	0.519	83.48	13.33	35.51	83.25	16.75	0.403		
	4	77.92	19.09	44.13	82.05	17.95	0.480	87.11	16.06	47.89	89.95	10.05	0.365		
120	1	62.64	12.61	24.37	74.81	25.19	0.553	71.51	11.92	24.97	84.31	15.69	0.484		
	2	64.73	15.26	28.95	75.24	24.76	0.572	72.93	13.78	28.63	81.12	18.88	0.518		
	3	66.21	18.49	37.01	77.02	22.98	0.564	74.18	17.23	36.97	80.21	19.79	0.511		
	4	70.38	23.23	48.86	78.20	21.80	0.541	78.82	21.74	49.21	84.51	15.49	0.498		
160	1	66.44	15.94	26.02	65.74	34.26	0.694	73.04	15.52	30.81	79.61	20.39	0.547		
	2	72.24	20.11	32.82	63.12	36.88	0.684	75.67	16.83	32.24	78.55	21.45	0.571		
	3	72.09	21.74	39.32	62.83	37.17	0.678	76.41	20.37	38.11	79.14	20.86	0.598		
	4	65.13	27.37	51.50	66.76	37.84	0.621	73.26	24.08	51.11	76.59	24.41	0.539		

Toplayıcı konsantrasyonu: 600 g/t Na-Oleat, Katı Oranı: % 20, Besleme Hızı: 400 ml/ dak., Yıkama Suyu Hızı: 150 ml/dak., Hava Hızı: 1 cm/sn,

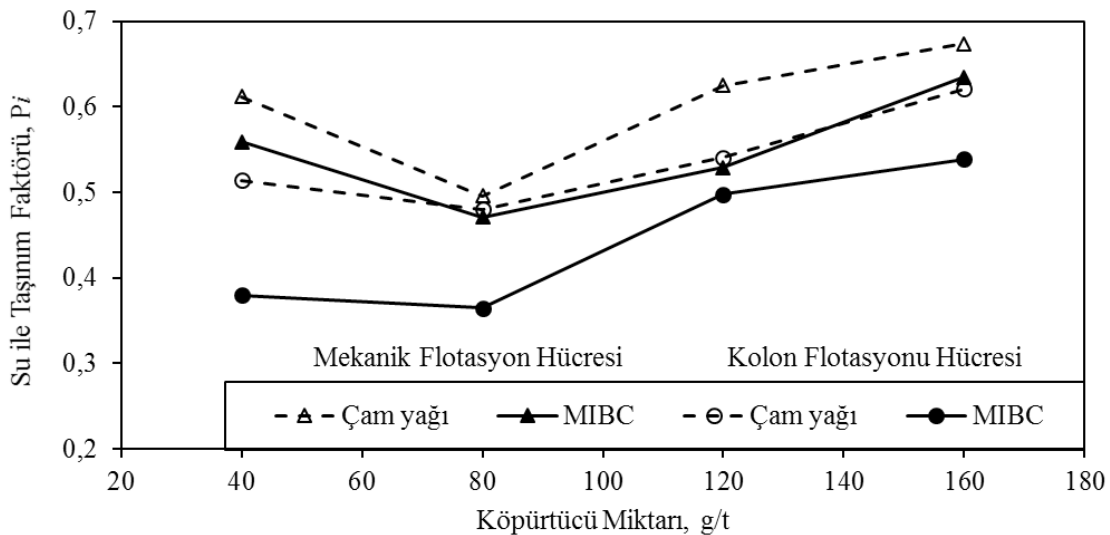


Şekil 6. Mekanik ve kolon flotasyonunda köpürtücü olarak Çam yağı ve MIBC kullanılması sonucu sölestit verim ve tenör değişimi

(Kirjavainen, 1988;1989) hesaplanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşmak mümkün olabilmektedir.

Köpürtücü türü ve miktarı her iki flotasyon sisteminde de önemli bir parametre olarak belirlenmiştir. Sölestit-kalsit karışımı ile yapılan deneylerde köpürtücü türü ve miktarlarındaki değişimin hidrofilik mineral ve su kazanımı üzerine etkisinin oldukça fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca, su ile

sürüklenme faktörü değişen köpürtücü konsantrasyonlarında önemli değişim göstermiş, neticede mekanik ve kolon flotasyonu kıyaslandığında kolon flotasyonunda su ile taşınan ince kalsit tanelerinin daha az olduğu görülmüştür. Kolon flotasyonu ile zenginleştirmede 80 g/t MIBC konsantrasyonlarında yüksek sölestit verim ve seçimliliğe ulaşılmıştır. Kirjavainen Modeli ile hesaplanan su ile sürüklenme faktörü (P_i) kolon flotasyonunda en düşük değere ulaşmıştır.



Şekil 7. Mekanik ve kolon flotasyonunda farklı miktarlarda ki Çam yağı ve MIBC köpürtücülerinin su ile taşıma faktörüne etkisi

Mekanik Flotasyon; $Pi_{MIBC} (0,471) < Pi_{Çam\ yağı} (0,495)$ Kolon Flotasyonu; $Pi_{MIBC} (0,365) < Pi_{Çam\ yağı} (0,480)$

Kolon flotasyonunda hava hızı, kabarcık çapı ve hava tutunumu, köpürtücü türü ve miktarının doğrudan etkilediği parametrelerdendir. Bu nedendir ki, ikili (su+hava) ve üçlü (su+hava+mineral) faz sistemlerinde hava hızına bağlı olarak hidrofil ve hidrofob minerallerin su ile taşınımının verim ve seçimlilik üzerine etkilerinin daha detaylı çalışılması gerektiği düşünülmektedir.

Kolonların mekanik flotasyon makinalarına kıyasla ortaya koymuş oldukları üstünlükler düşünüldüğünde, yıkama suyu sistemleri, hücre geometrisi, köpük yıkama sistemleri gibi özellikle de son yıllarda önem kazanan mekanik-ultrasonik titreşimlerin hidrofilik tanelerin su ile taşınımı azaltıcı etkiye sahip olduğu bilindiğinden daha geniş çapta yapılacak olan çalışmaların tenör ve seçimlilik açısından fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akdemir, Ü., Güler, T., Yıldıztekin, G., 2005. Flotation and Entrainment Behavior of Minerals in Talc-Calcite Separation. *Scandinavian Journal of Metallurgy*, 34, 241-244.
- Antunes Pita, F., 2015. True Flotation Entrainment of Kaolinitic Ore in Batch Tests. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 36 (4), 213-222.
- Finch, J. A., Dobby, G. S., 1990. *Column Flotation*. Pergamon Press, Oxford (UK), USA, s.1180.
- Gaudin, A. M. Groh, J. O., Henderson, H. B. 1931. Effect of Particle Size on Flotation. *A. Tech. Publ.*, 414, 3-23.
- Goodall, C. M., O'Connor, C. T., 1992. Residence Time Distribution Studies in a Flotation Column, Part 1- The Relationship Between Solids Residence Time Distribution and Metallurgical Performance. *Int. J. Miner. Process.*, 36, 219-228.
- Gülsoy, Ö. Y., Ersayın, S., Siyahhan, S., 1995. Flotasyonda Su Kazanımı-Katı Kazanımı İlişkisinin İncelenmesi İçin Yeni Bir Yaklaşım. *Türkiye 14. Madencilik Kongresi*, ISBN 975-395-150-7.
- Gülsoy, Ö. Y., 1999. An Evaluation of the Entrainment Modelling Approaches in Flotation. *Madencilik Dergisi*, 38, No.1, March, 13-30.
- Gülsoy, Ö. Y., 2005. A Simple Model for the Calculation of Entrainment in Flotation. *Kor. J. Chem*, 22 (4): 628-634.
- Hoşten, Ç., Tezcan, A., 1990. The Influence of Frother Type on the Flotation Kinetics of a Massive Copper

Sulphide Ore. *Minerals Eng., Technical Note*, 3, (6), 637-640.

Hu, W., Liu, G., 1988. Design and Operating Experiences with Flotation Columns in China. *Column Flotation'88*, K.V.S. Sastry, (Ed.) Chapter 6, AIME, NY. 35-42.

Johnson, N. W., MC Kee, D. J., Lynch, A. J., 1974. Flotation Rates of Non-Sulphide Minerals in Chalcopyrite Processes. *Trans. Am. Ins. Min. Metall. Pet. Eng.*, 256, 204-226.

Jowett, A., 1966. Gangue Mineral Contamination of Froth. *Br. Chem. Eng.*, 2, (5), 330-333.

Kirjavainen, V. M., Laapas, H. R., 1988. A Study of Entrainment Mechanism in Flotation. XVI International Mineral Processing Congress, Stockholm, Sweden, June 5-10, Part B. Forssberg K.S.E. ed. (Amsterdam, etc: Elsevier, 665-677.

Kirjavainen, V. M., 1989. Application of a Probability Model for the Entrainment of Hydrophilic Particles in Froth Flotation. *Int. J. Miner. Process.*, 27, 63-74.

Kirjavainen, V. M., 1992. Mathematical Model for the Entrainment Hydrophilic Particles in Froth Flotation. *Int. J. Miner. Process.*, 35, 1-11.

Kirjavainen, V. M., 1996. Review and Analysis of Factors Controlling the Mechanical Flotation of Gangue Minerals. *Int. J. Miner. Process.*, 46 (1-2): 21-34.

Konopacka, Z., Drzymala J., 2010. Types of Particles Recovery-Water Recovery Entrainment Plots Useful in Flotation Research. *Adsorption*, 16: 313-320.

Kursun, H., 2014. Effect of Fine Particles' Entrainment on Conventional and Column Flotation. *Particulate Science and Technology*, 32 (3) 251-256.

Kursun, H., 2017. The Influence of Frother Types and Concentrations on Fine Particles Entrainment Using Column Flotation. *Separation Science and Technology*, 52 (4), 722-731.

Malysa, K., 1993. Water Contents is Froths Obtained from Solutions of Terpeneol and n-octanol. *Int. J. Miner. Process.*, 40, 69-81.

Reddy, P. S. R., Kumar, S. G.; Bhattacharyya, K. K., Sastri, S. R. S., Narasimhan, K. S., 1988. Flotation Column for Fine Coal Beneficiation. *Int. J. Miner. Process.*, 24, 161-172.

Rahal, K., Manlapig E., Franzidis, J-P., 2001. Effect of Frother Type and Concentration on the Water Recovery and Entrainment Recovery Relationship. *Minerals& Metallurgical Processing*, 18, 3, 138-141.

Ross, V. E., 1990. Flotation and Entrainment of Particles During Batch Flotation. *Minerals Eng.*, 3, 3/4, 254-256.

Ross, V. E., 1991. Comparison of Methods for Evaluation of True Flotation and Entrainment. *Trans.*

IMM. September, 100:C 121-C 126.

Savassi, O. N., Alexander, J. P., Franzidis, J-P., Manlapig, E. V., 1998. An Empirical Model for Entrainment in Industrial Flotation Plants. *Minerals Engineering*, 11(3): 243-256.

Subrahmanyam, T. V., Forsberg, E., 1988. Froth Stability Particle Entrainment and Drainage in Flotation. A Review. *Int. J. Min. Process.*, 23, 33-53.

Tuteja, R. K., Spottiswood, D. J., Misra, V. N., 1995. Recent Progress in the Understanding of Column Flotation-A Review. *The AusIMM Proceedings*, No.2, 25-31.

Yianatos, J. B., Contreras, F., Díaz, F., Villanueva, A., 2009. Direct Measurement of Entrainment in Large Flotation Cells. *Powder Technology*, 189: 42-47.

Yianatos, J., Contreras F., 2010. Particle Entrainment Model for Industrial Cells. *Powder Technology*, 197: 260–267.

Wark, I. W., 1981. The Entrainment Difficulty in Flotation Experiments. *Colloids Surface*, 2,193-194.

Warren, L. J., 1985. Determination of the Contributions of True Flotation and Entrainment in Batch Flotation Test. *Int. J. Min. Process.*, 14, 33-34.

Zheng, X., Franzidis, J-P., Johnson, N. W., Manlapig, E. V., 2005a. Modelling of Entrainment in Industrial Flotation Cells: The Effect of Solids Suspension. *Minerals Engineering*, 18: 51–58.

Zheng, X., Franzidis, J. P., Johnson, N. W., 2005b. An Evaluation of Different Models of Water Recovery in Flotation. *Minerals Engineering*, 19: 871–882.

Zheng, X., Johnson, N. W, Franzidis, J. P. 2006. Modelling of Entrainment in Industrial Flotation Cells: Water Recovery and Degree of Entrainment. *Minerals Engineering*, 19, 1191-1203.



Orijinal Araştırma / Original Research

RELIABILITY ANALYSIS OF A DRAGLINE USING FAULT TREE ANALYSIS

HATA AĞACI ANALİZİ İLE ÇEKME KEPÇELİ YERKAZARIN GÜVENİLİRLİK ANALİZİ

Deniz Tuncay^a, Nuray Demirel^{a*}

^a Middle East Technical University, Mining Engineering Department, Ankara, TÜRKİYE

Geliş Tarihi / Received : 22 Şubat / February 2017

Kabul Tarihi / Accepted : 09 Mayıs / May 2017

Keywords:

Dragline,
Reliability,
Fault tree analysis,
Maintenance.

ABSTRACT

Draglines, as massive and expensive stripping machines, are highly utilized in open cast mining to remove overburden. Reliabilities and availabilities of draglines play a critical role to sustain the continuity of overburden stripping and, hence, coal productions. Thorough understanding of the system and its components is required in order to accomplish high levels of availability and it can be achieved with an in depth reliability analysis. This study presents component-based reliability analysis of a walking dragline being operated in an open cast coal mine in Turkey. The main objective of the study is to understand the effects of each component or subsystem of a dragline on its reliability which will further provide insight into optimized maintenance schedule. The results of the study revealed that the system is expected to fail in 37.9 hours, most probably due to a failure in the rotation component of the movement subsystem. Dragging rope is predicted to have the highest contribution to number of failures within a year, but the motors and generators will cause the longest downtime if failed. Reliability importance (RI) values were also found to be useful to decide which components need attention at certain time intervals.

ÖZ

Anahtar Sözcükler:

Çekme kepçeli yer kazar,
Güvenilirlik,
Hata ağacı analizi,
Bakım onarım.

Çekme kepçeli yer kazarlar, açık ocak kömür madenlerinde örtükazı işleminde kullanılan büyük ve pahalı maden makineleridir. Bu yer kazarların güvenilirliği ve kullanılabilirliği, örtükazı işlemlerinin sürekliliğinde ve dolayısıyla kömür üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Yüksek seviyede kullanılabilirliği sağlamak için sistemin ve bileşenlerin kapsamlı bir şekilde anlaşılması gerekir ve bu kapsamlı bir güvenilirlik analizi ile başarılabilir. Bu çalışma, Türkiye'de açık ocak olarak işletilen bir kömür madeninde kullanılan bir çekme kepçeli yer kazarın bileşene dayalı güvenilirlik analizini sunmaktadır. Çalışmanın temel amacı, bu yer kazarın her bir bileşeninin ve alt sisteminin, sistem güvenilirliği üzerindeki etkilerini anlamak ve böylece optimize edilmiş bakım çizelgesine ilişkin daha fazla bilgi sağlamaktır. Sonuçlara göre, yer kazarın hareket alt sisteminin dönüş bileşeni arıza ihtimali en yüksek bileşen olarak belirlenmiştir ve yer kazarın 37.9 saatte arızalanacağı öngörülmüştür. Çekiş halatı ise bir yıl içinde arıza sayısına en fazla katkıda bulunacak bileşen olacağı tahmin edilmiş, ancak motorlar ve jeneratörler arıza halinde en uzun kesintilere neden olmaları beklenmektedir. Güvenilirlik önem (RI) değerlerinin, belirli zaman aralıklarında hangi bileşenlere dikkat edilmesi gerektiğine karar vermek için yararlı olduğu saptanmıştır.

* Corresponding author: ndemirel@metu.edu.tr

INTRODUCTION

Draglines, as massive and expensive stripping machines, are highly utilized in open cast mining to remove overburden. Unexpected breakdown of the dragline results in delayed stripping and deferred coal production and increased maintenance costs. The draglines are composed of several subsystems or components which need to be maintained and available for the whole system to be available. Therefore, the reliabilities of each subcomponent significantly affects the whole system reliability. The reliability of the dragline can be increased by regular maintenance and renewal but since these operations also have a cost, the optimum frequency should be determined. In order to determine the intervals for maintenance and repair, the change in the reliability of the dragline with time should be observed and a suitable distribution should be provided.

The objective of the study is to construct a reliability model with the help of fault tree analysis in order to determine the roles of different components in the dragline's overall reliability. The scope of this study is the development of a reliability model of a dragline considering both the system and the sub-units using statistical modeling software and characterization of the system with fault tree analysis which is an analytical technique used to analyze a system to determine all the credible ways in which a single undesired event (top event) can occur.

The research methodology essentially entails five steps: (i) collection of failure data from the mine and classification of the failure data and calculations to find times between failures and failure times, (ii) determination of the subsystems and their components considering expert opinion and determination of probability distributions of the failure data for each subsystem using the computer software Weibull 7, (iii) reliability modeling of the subsystems, determining the change in reliability through time for the components reliability estimation, (iv) implementing Fault Tree Analysis (FTA) to combine subsystem reliabilities and determining the reliability of the whole system, and (v) determination of critical components which require immediate maintenance.

Following the introductory chapter, section 2 comprehensively presents the implementation of the research methodology. Section 3 provides a case study to show the application of the developed model on one of the operating draglines in Turkey. Section 4 presents the main conclusions drawn from

the study and recommendations for future studies in this research domain.

1. RESEARCH METHODOLOGY

1.1. Data Classification and Preliminary Analysis

The failure data usually consists of; description of the failure, time of failure and time of repair. The values required for the reliability analysis are the time between failure (TBF) and time to repair (TTR) data. Prior to calculating those values, failure data should be classified into components and sub-units. Machines are mechanical and electrical systems operating with the coordination of many components carrying out different functions. Classification can differ in terms of extent, meaning a component can be selected as the motor of the machine as a whole or the motor itself can be classified into several components such as pistons, bearing, shaft etc. This classification depends on the scope of the analysis.

After decomposing the system into components, TBF and TTR values are calculated for each component for statistical analysis. TBF values should be calculated, keeping in mind that the component is not working for the whole period between two component failures. Other component failures in between should be taken into account for the calculations. TTR values are simple and basically the time it takes for the component to start working again. After preparing the data sets, they should be checked for trends and dependencies.

Monotonic increase or decrease in TBF data suggest the component to be in non-stationary state, meaning the component is either in wear-out or infant mortality state. Non-stationary failure data can be modelled using non-homogenous Poisson process. The data should also be examined for correlation. Stationary but correlated data can be modeled using branching Poisson process. If the data are independent and identically distributed (i.i.d.), meaning there is no evidence of trend and data dependency, the reliabilities can be modelled using best-fit distributions (Barabady and Kumar, 2008).

In order to check data sets for trends, run charts are practical tools. The data sets can be examined for possible trends such as mixtures, oscillations, trends, and clustering. The data can be considered trend free with p-values below 5%, rejecting the hypothesis of the presence of men-

tioned anomalies. Figure 1. shows a sample run chart for a sample data set. The run chart is constructed using Minitab 17 software. A run is defined as succession of similar events proceeded and followed by a different event. In Figure 1., two type of runs are investigated; about median and up/down. One counts the runs of above and below the median value, and the other counts increasing and decreasing sequences. The p-values show that there are no apparent signs of clustering, mixtures, trends or oscillations (p-values > 0.05). Pearson’s correlation coefficient can be used to check for linear correlations between two data sets. However, non-linear correlations shouldn’t be neglected and checked via graphical methods.

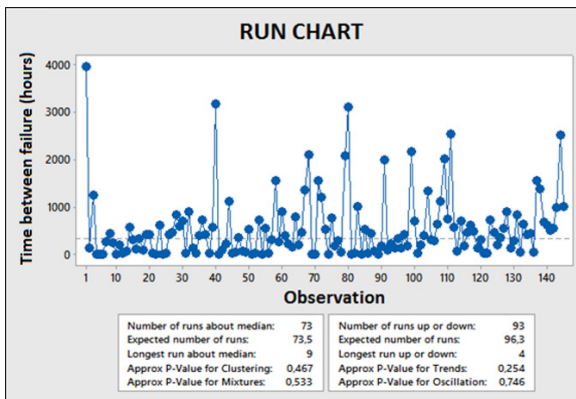


Figure 1. Run chart of a sample dataset

In order to see if the component is in its stationary period, cumulative TBF plots can be examined. If the component is in its useful life period (stationary), the plot is expected to be a straight line. Figure 2. is the cumulative TBF plot of the same sample failure data that shows a stationary behavior.

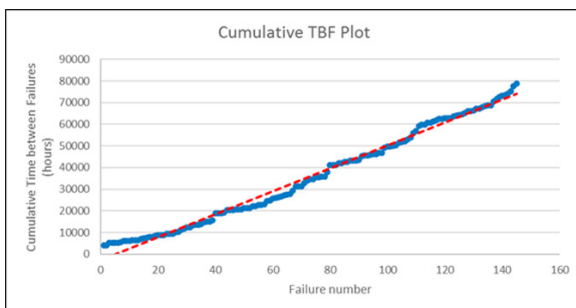


Figure 2. Cumulative TBF plot of a sample dataset

1.2. Reliability Assessment using Fault Tree Analysis

Reliability assessment starts with determining the failure and repair behavior of components and representing those behaviors with a statistical model. After checking the data for trends and dependencies, the process that defines the data best is selected. In the scope of this paper, data is assumed to be i.i.d. and best-fit probability distributions are determined. There are various computer softwares that will aid in fitting a distribution and Weibull ++7 is used in this paper. Each component should be assigned two distributions; one for TBF data and one for TTR data.

Failure distribution assignments for TBF data start to give us some information about the component reliabilities. A useful information to obtain from a failure distribution is the mean life time. This value is the expectation of the TBF distribution and gives the estimated time for that component to work without failure. The distributions also give the change in component reliabilities with time. Component reliabilities after a certain time of operation can be determined. From the distributions assigned to TTR data gives the mean time it takes for the component to continue operation after a failure.

One of the most common distributions used in lifetime distributions in reliability engineering is the Weibull distribution. Due to its versatility, it can take on other distributions’ characteristics. and can be with 2 or 3 parameters. 2 parameter Weibull distributions contain the scale and shape parameters that determine the life characteristics. The cumulative density function of a Weibull distribution can be defined as (Reliasoft, 2015);

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \tag{1}$$

The cumulative density function is the same function used to calculate the failure probability, and the reliability is given as 1 – F(t).

3-parameter Weibull distribution has a location parameter in addition to those of 2-parameter Weibull distribution and it has a cumulative distribution function of (Reliasoft, 2015):

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta-\gamma}\right)^\beta} \tag{2}$$

In Equation 2, β is the shape parameter, η is the scale parameter, γ is the location parameter and t is time.

Lower shape parameters ($\beta < 1$) suggest that the failure frequency is high at start and decreases continuously which is similar to an exponential distribution which occurs when β equals to one. Shape parameters greater than one suggest that the failure frequency increases to maximum and then decreases with time.

The scale parameter is an estimate of the mean and gives the time when the failure probability is 63.2%. The location parameter in the 3-parameter Weibull distribution suggests that no failure occurs before a certain time. In other words, a location parameter greater than one indicates that the curve does not start from the origin, but starts from the right-hand side. In Figure 3a and 3b, the effect of shape and scale parameters can be seen.

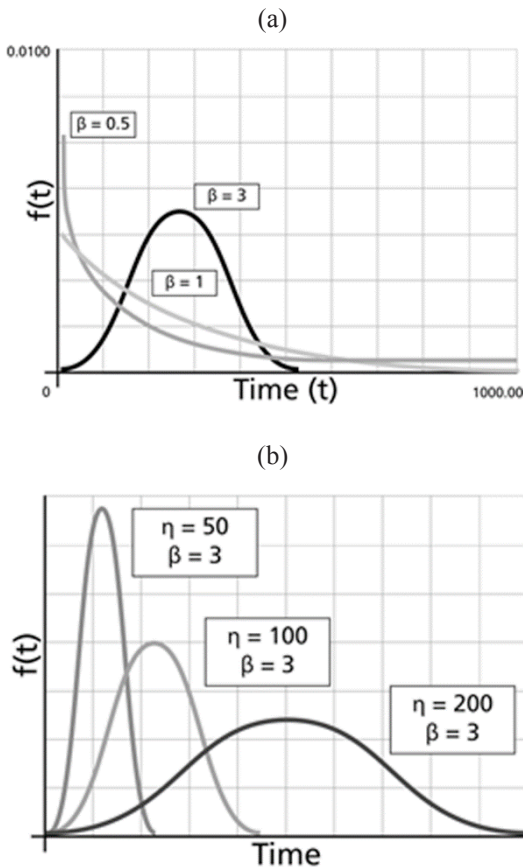


Figure 3. Effect of Shape (a) and Scale (b) parameters on Weibull pdf (Reliasoft, 2015)

Another widely used distribution is exponential distribution which suggests a failure behavior starting with high failure frequency and decreasing

continuously. The exponential distribution has one parameter which is the failure rate (λ) which is the inverse of mean. There can also be 2-parameter Exponential distributions where the other parameter is the location parameter similar to the one in the Weibull distribution which shifts the curves t_0 location to the right or left. The failure probability from an exponential distribution is calculated as (Reliasoft, 2015);

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \tag{3}$$

After determining component failure distributions, fault tree analysis (FTA) is the graphical tool that aids in bringing the components together. FTA is an analytical technique for analyzing the system in terms of different component failures leading to system failure which is called top event. FTA is a top to down, failure oriented symbolic logic model used to determine the probability of system failure by identifying failure paths leading to it (Ericson II, 1997).

The system at hand should be constructed carefully and thoroughly where every possible cause for system failure should be taken into account. Components can cause system failures with various ways. In order to represent component roles in system operability, different logic operators are used in fault tree construction:

- OR gate: occurrence of at least one input is enough for the output to occur.
- AND gate: all input events must occur for the output event to occur.
- Exclusive OR gate: only one input should occur for the output event to occur.
- Priority AND gate: all input events must occur in a specific sequence for the output to occur.
- Inhibit gate: inputs must occur and a condition should be satisfied for the output event to occur.

With these in mind, the fault tree is constructed with component failures as basic events, leading up to the top event which is the system failure. Events and gates are represented with different symbols and some of them can be seen in Figure 4.

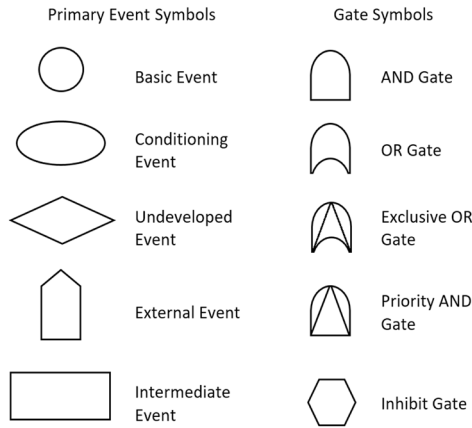


Figure 4. Symbols used for operators in Fault Tree Analysis (Vesely et al., 1981)

AND gate represents a parallel system where OR gate represents a series configuration. Figure 5a and 5b shows the fault tree representations of simple series and parallel systems and reliability of the systems can be calculated accordingly.

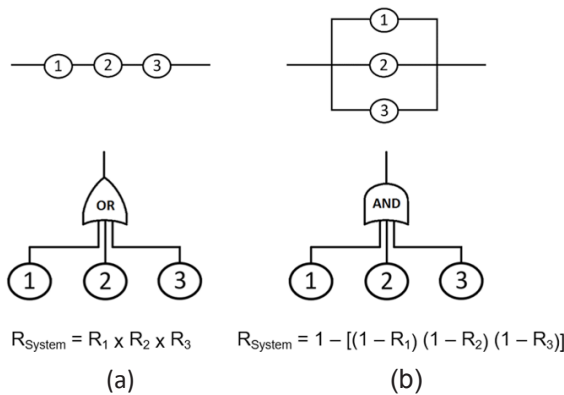


Figure 5. Fault tree representations and reliability calculations of simple series (a) and parallel (b) configurations

The knowledge and expertise of the analyst is crucial for fault tree analysis so it is difficult to define how to construct a fault tree. Fault tree requires detailed analysis and may require comprehensive assumptions, but other than those, the main steps can be listed as (Öktem, 2006);

- Determining the Top Event: The undesired event to be analyzed is chosen.
- Combining the Known Causes: Existing faulty states and failure events are determined with the available knowledge. Even though the failure list can be lacking, it is important for the fault tree construction.

- Construction of Fault Tree: Independent events that may cause the top event are determined. These events are connected with an OR gate and the construction continues from top to bottom trying to find other failure causes.
- Revision, Addition and Testing: Fault tree construction is a trial and error process no failure causes should be overlooked.
- Evaluation of the Results: The completed fault tree is evaluated according to the purpose of the analysis. The evaluation can include various stages: listing minimum cut sets, grading minimum cut sets, and calculation of probabilities etc.

After constructing the fault tree for the whole system, system reliability can be calculated and analyzed. In addition to obtaining system reliability characteristics, importance factors are other important outputs. Those factors determine the components that have the highest influence on system reliability at a given time. This information can be put into good use in terms of preventive maintenance. Birnbaum's Importance measure is one of the commonly used factors and calculated as the partial derivative (Reliasoft, 2017);

$$I(t) = \frac{\partial R_s(t)}{\partial R_i(t)} \tag{4}$$

where $I(t)$ is the importance value, $R_s(t)$ and $R_i(t)$ are the system's and i^{th} component's reliabilities at time "t". Since it is a time dependent value, most important components may vary at different time intervals.

1.3. Simulation

Until now, the analyses are done using only the TBF data and the time it takes to repair different components is not taken into account. A component may have high reliability but its repair may take a considerable time. In order to see the effect of repair times, obtained TTR data distributions are introduced to the fault tree and the system is simulated for a period of time. The availability simulation gives important information about the component contributions to system failures and downtimes. There are two results obtained from the simulation that are important for maintenance planning and they are: Failure Criticality Index (FCI) and Operational Criticality Index (OCI).

They are calculated as;

$$I_k^{FCI}(t) = \frac{\text{Number of System Downing Failures Caused by Component } k \text{ in } (0,t)}{\text{Number of System Failures in } (0,t)} \quad (5)$$

$$I_k^{OCI}(t) = \frac{\text{Total down time of comp when system down in } (0,t)}{\text{Total system down time in } (0,t)} \quad (6)$$

FCI value is the percentage of a components failures in a time interval to total number of system failures in that time interval. Only the number of failures are considered without the influence of downtime. Other parameter is OCI which is defined as the percentage of a component’s down time over the system downtime. Both these values should be considered in determination of critical components.

Another issue that should be kept in mind is that repair efficiencies may vary from component to component. In other words, some components may be replaced and brought back to as-good-as-new condition where other components may be repaired to its condition right before the failure (as-bad-as-old). There is a parameter called “Restoration Factor” to be entered for the simulation that governs the reliability of the component after it is repaired.

2. CASE STUDY

The subject of the case study is a dragline operating in Western Lignite Enterprises (GLİ) owned by Turkish Coal Enterprises (TKİ) in Tunçbilek/ Kütahya since 1970. The failure data since 1998 to 2011 for the dragline is obtained from GLİ. The

data included type of failure, failure definition and explanation, time of failure, and time the failure is fixed. After picking out the duplicate data, there were 1023 failure data for the dragline.

The TTR data for each failure and the TBF data (operational time) are calculated considering that the dragline works 21 hours a day. Before the TBF are calculated, the dragline is decomposed into its components and they are listed in Table 1.

As seen in Table 1, even though the most number of failures occur in the dragging unit taking up 27% of all failures with 281 failures, the downtime due to the failures in the machinery house is 7,805 hours which is more than 50% of the total down time.

Following the classification of the data, TBF values are calculated for each component and checked for randomness. There were no apparent trends in the data sets so they are modeled by their best-fit distributions. Distributions of each component of each subsystem were determined using the Weibull ++7 software (Reliasoft, 2011a). Since boom component does not have sufficient failure data, it was omitted in the analysis. Most of the components were found to have a Weibull distribution as their best-fit failure distributions with one having exponential distribution. The failure distributions of the rigging components can be seen in Table 2. Using the determined distributions, reliability plots of the components are generated and the reliability vs. time plot of the same components are presented in Figure 6.

Table 1. Dragline components and summary of subsystem failure data

SUBSYSTEM	Components	# of failures	Down Time (hrs)
Dragging	Rope, Chain, Socket, Ringbolt, Control	281	1,491.58
Hoisting	Rope, Brake, Socket, Control	101	1,229.83
Rigging	Rope, Ringbolt, Socket, Pulley	182	380.25
Bucket	Chain, Pins, Bucket Main Body, Ringbolt, Teeth	182	653.50
Boom	Boom	10	99.00
Movement	Rotation, Walking, Warning	121	2,307.70
Machinery House	Motors, Generators, Lubrication	146	7,805.11
	TOTAL	1,023	13,948.52

Table 2. Distribution parameters of components of rigging subsystem

Component	Distribution	Distribution Constants	
Rope	Weibull-3P	β	1.66
		η	663.91
		γ	-6.92
Socket	Weibull-3P	β	0.95
		η	2,553.02
		γ	-28.73
Pulley	Weibull-2P	β	1.054
		η	1,232.87
Ringbolt	Weibull-3P	β	0.63
		η	3,348.66
		γ	82.74

From the plot it is observed that the rope has the lowest reliability among rigging components. Also, until around 1200 hours, socket is the most reliable component and gives its place to the ringbolt after 1200 hours.

Another parameter obtained from the distributions is the mean life estimations. Mean life estimations are calculated for all components and the 10 components with the lowest mean life estimations are listed in Table 3.

Table 3. Ten components with lowest estimated mean lives

Component	Mean Life Time (hr)
Dragging Rope	567
Rigging Rope	587
Dragging Chain	908
Bucket Pin	950
Lubrication	968
Dragging Ringbolt	1048
Bucket Teeth	1125
Movement Warning	1157
Hoisting Rope	1179
Bucket Ringbolt	1197

After determining the failure probability density functions, they are introduced to the fault tree. Top event, which is the undesired event, is determined and that is the failure of the dragline for this case. The relations of the components are then represented in the fault tree by using gates. Dragline components are connected in series (OR Gate) since any failure in a component results in the halt of the whole system. There is also a "Voting Gate" in the bucket subsystem and it is a special kind of OR gate where output occurs when more than a specific number of input events occur. BlockSim 7 (Reliasoft, 2011b) is used for the fault tree analy-

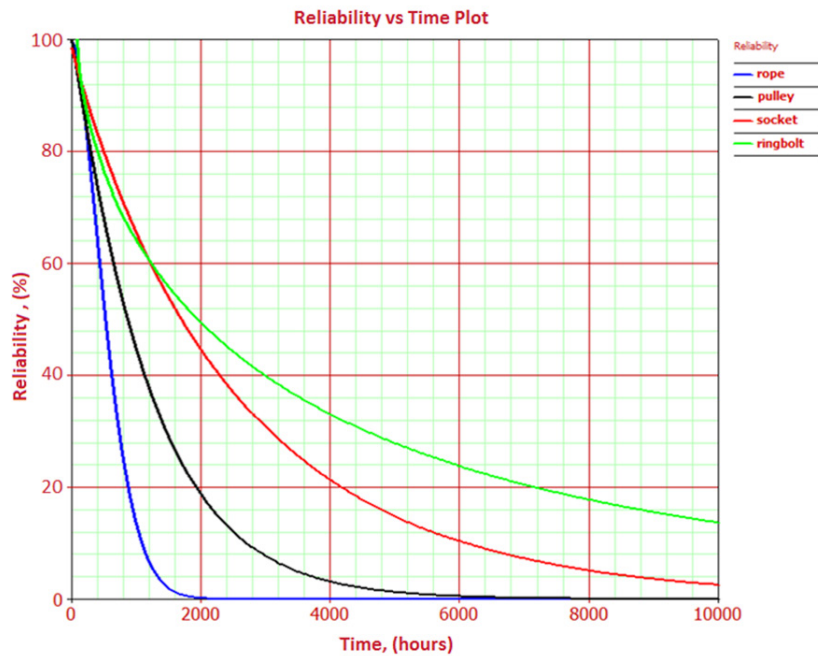


Figure 6. Reliability curves of rigging components

sis in this paper. In Figure 7., the fault tree representation of the dragging subsystem can be seen and the reliability of the subsystems are expressed as Equation 7-12.

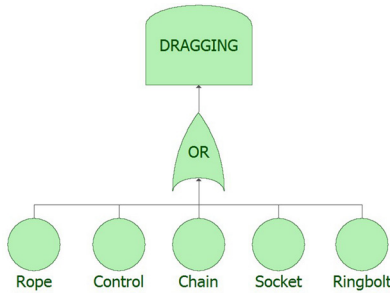


Figure 7. Fault tree representation of dragging subsystem

$$R_{\text{dragging}} = R_{\text{rope}} \times R_{\text{control}} \times R_{\text{chain}} \times R_{\text{ringbolt}} \times R_{\text{socket}} \quad (7)$$

$$R_{\text{bucket}} = R_{\text{chain}} \times R_{\text{pin}} \times R_{\text{bucket main body}} \times R_{\text{ringbolt}} \times (5R_{\text{tooth}}^4 - 4R_{\text{tooth}}^5) \quad (8)$$

$$R_{\text{hoisting}} = R_{\text{rope}} \times R_{\text{brakes}} \times R_{\text{socket}} \times R_{\text{control}} \quad (9)$$

$$R_{\text{rigging}} = R_{\text{rope}} \times R_{\text{socket}} \times R_{\text{pulley}} \times R_{\text{ringbolt}} \quad (10)$$

$$R_{\text{movement}} = R_{\text{rotation}} \times R_{\text{walking}} \times R_{\text{warning}} \quad (11)$$

$$R_{\text{machinery house}} = R_{\text{lubrication}} \times R_{\text{generators}} \times R_{\text{motors}} \quad (12)$$

The bucket teeth are connected by a Voting Gate that suggest the system failure occur if more than one tooth fails. The plot of subsystem reliabilities can be seen in Figure 8. It is observed that the bucket subsystem has the lowest reliability where hoisting is the most reliable. However, there are some changes in the ranking at different time intervals.

Finally, all subsystems are connected to construct the system fault tree. The final fault tree of the dragline system is given in Figure 9. Final fault tree

is then used to determine system reliability, system mean life and component importance factors.

As a result of the fault tree analysis, the mean life estimation of the dragline was found to be 37.9 hours. At 37.9 hours of operation, using Birnbaum’s measure, five most important components are shown in Figure 10. Rotation component of the movement subsystem was found to have the highest reliability importance (RI). These values can be calculated for different time intervals to determine the components to be maintained. For example, although the hoisting brakes are not shown in Figure 10 among the 5 most important components, at 100 hours, it becomes the third most important component which is caused by different reliability behavior of components. Some of the component reliabilities decrease more rapidly with time.

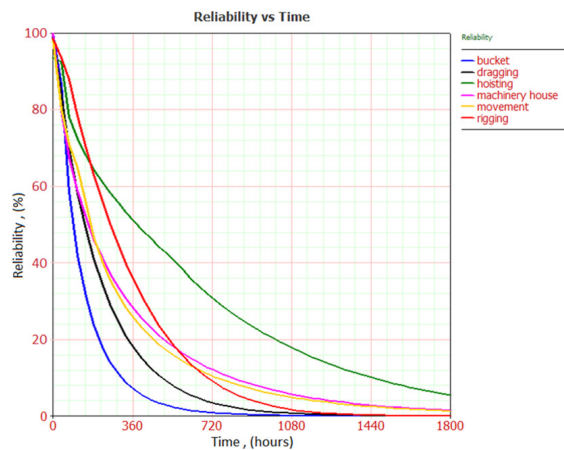


Figure 8. Time varying reliabilities of subsystems

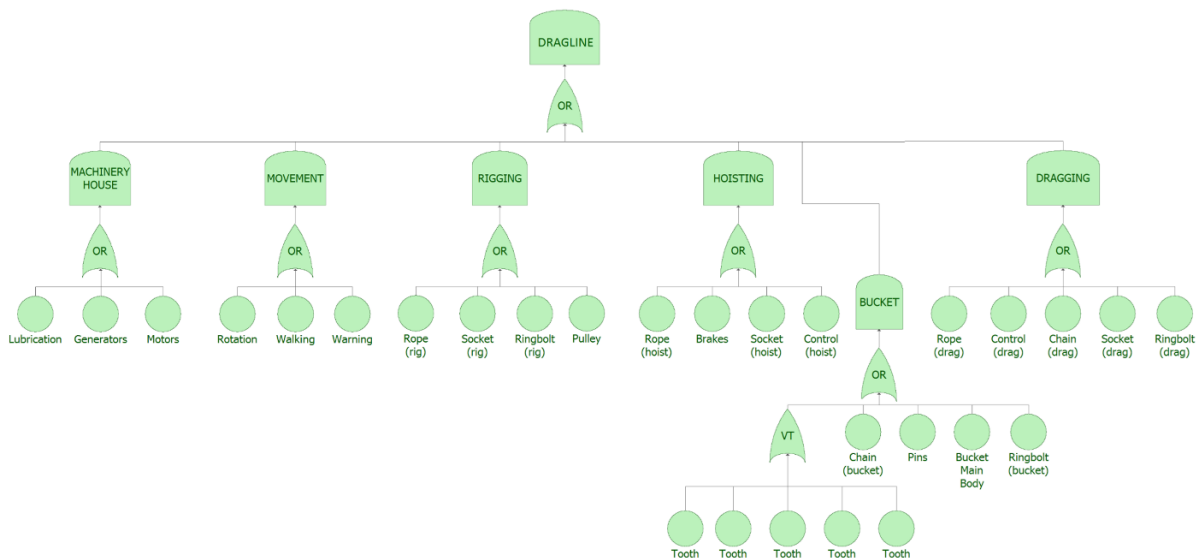


Figure 9. Fault tree representation of the dragline system

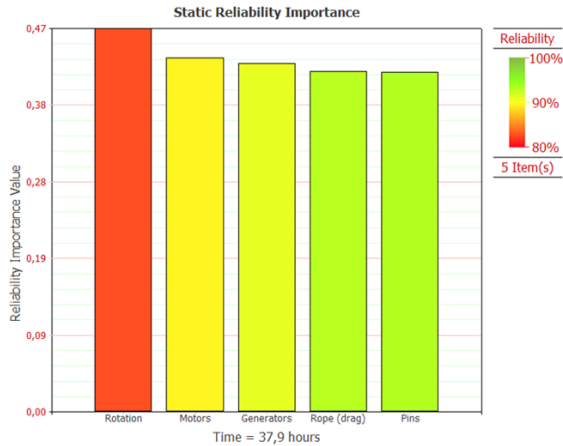


Figure 10. Five components with highest RI values at dragline's mean life

The final plot of system reliability with respect to time is presented in Figure 11. The reliability of the dragline falls below 60% at around 20 hours. The reason system reliability is not 100% at time t=0 is that there are some components with failure probability functions with positive location parameters (prone to failure at t=0).

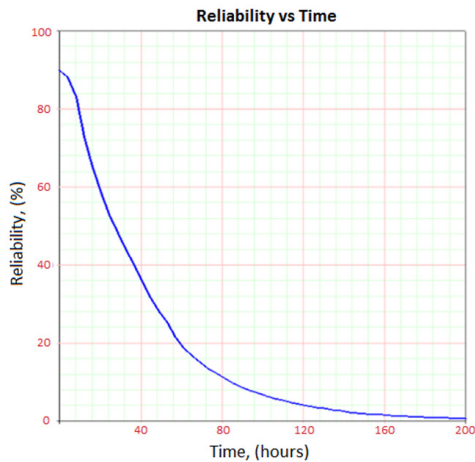


Figure 11. Reliability plot of the dragline

Finally, availability simulation is conducted. As mentioned earlier, machinery house failures take significantly longer to repair and should be taken into consideration. In this sense, analysis similar to time between failure data is conducted for time to repair data. Appropriate distributions are fitted to the repair time data and introduced to the fault tree analysis. Availability simulation is conducted to see the contribution of components to total number of failures (FCI) and total downtime (OCI). Table 4. shows the results of availability simulation for one year of operation (7665 hours). Number of simulations are selected as 2000 and Figure 12 shows a sample simulation showing the

up and down times of selected components and the system.

In the simulation, repair characteristics are assumed as “repaired to as good as new condition” meaning when a failure occurs, the failed component is repaired to its state at t=0. That analysis is not in the scope of this paper, but maintenance characteristics should be considered for an in depth analysis.

Considering number of failures, dragging and rigging ropes cause the most number of system stops. Those two components cause more than 20% of the total number of system failures. However, if we look at downtimes, the motors and generators in the machinery house cause more than 50% of total downtime.

Table 4. Simulation results for one year of operation time

SUBSYSTEM	COMPONENT	FCI	OCI
BUCKET	Ringbolt	5,58%	0,86%
	Bucket Main Body	2,35%	1,35%
	Chain	1,11%	0,25%
	Pin	6,60%	0,95%
	Tooth	0,07%	0,01%
	Tooth	0,08%	0,01%
	Tooth	0,08%	0,01%
	Tooth	0,07%	0,01%
	Tooth	0,07%	0,01%
	Socket	1,10%	0,17%
DRAGGING	Ringbolt	5,67%	1,87%
	Rope	10,87%	3,48%
	Chain	6,86%	2,26%
	Control	3,29%	0,50%
HOISTING	Control	0,58%	0,95%
	Rope	4,82%	3,21%
	Brakes	2,36%	0,45%
	Socket	0,71%	0,11%
MOVEMENT	Warning	5,71%	13,87%
	Walking	3,46%	1,02%
	Rotation	5,65%	1,61%
MACHINERY HOUSE	Lubrication	6,28%	0,79%
	Air Conditioning	-	-
	Motors	5,08%	25,88%
	Generators	2,47%	37,61%
RIGGING	Pulley	4,98%	0,86%
	Rope	10,08%	1,25%
	Socket	2,37%	0,37%
	Ringbolt	1,74%	0,27%

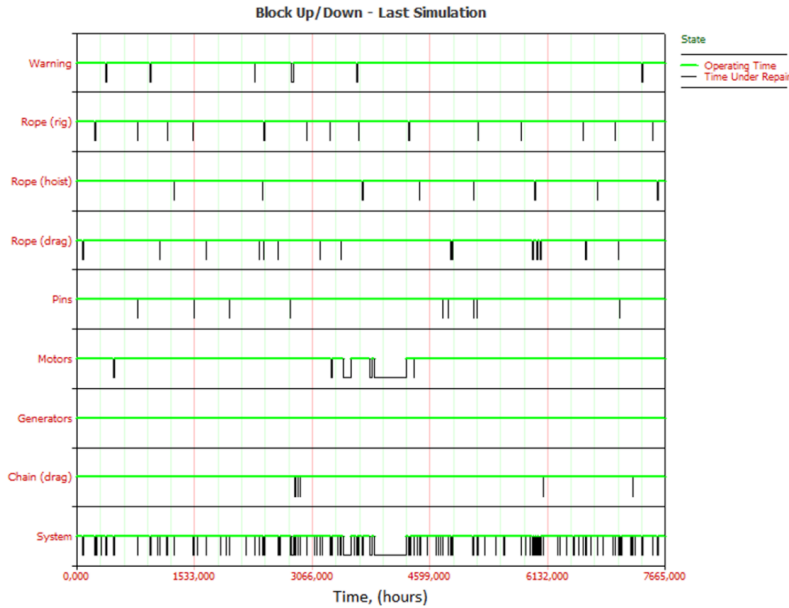


Figure 12. Sample simulation of 7665 hours of operation

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Fault tree analysis was conducted for a dragline operating in a coal mine in Tunçbilek. The failure data between the years 1998 and 2011 were classified and checked for trends and correlations and then introduced to the software “Weibull ++7” in order to determine their probability distributions and reliability modelling. The obtained distributions were then combined with a constructed fault tree to examine the system reliability model. Finally, the fault tree model is used for simulation of failure behavior and component contributions on system failures. It was determined that the system is expected to fail in 37.9 hours, most probably due to a failure in the rotation component of the movement subsystem. Dragging rope is predicted to have the highest contribution to number of failures within a year, but the motors and generators will cause the longest downtime if failed. Reliability importance (RI) values were also found to be useful to decide which components need attention at certain time intervals.

The results of these analysis would be beneficial in preparing a maintenance plan considering the critical components in terms of both reliabilities and repair times. An adequate maintenance plan will help improve machine availability, thus decreasing the direct and indirect costs caused by unplanned down times of the machinery. Additional analysis can be conducted considering the effect of working conditions on some component specific failures. Finally, optimization of preven-

tive and corrective maintenance intervals can be investigated considering maintenance costs, repair efficiencies and losses in revenue due to breakdowns.

ACKNOWLEDGEMENTS

The writers would like to thank Western Lignite Enterprises (GLI) and İdeal Makina A.Ş. for their cooperation and providing the required data.

REFERENCES

- Barabady, J., and Kumar, U. 2008. Reliability analysis of mining equipment: A case study of a Crushing plant at Jajarm Bauxite Mine in Iran. *Reliability Engineering & System Safety*, 647-653.
- Reliasoft Corporation 2015. Life Data Analysis Reference. Retrieved 02 2017 from <http://www.reliawiki.org>
- Ericson II, C. 1997. FTAB - A New Generation Computer Code for Fault Tree Analysis. 15th International System Safety Conference, pp. 437-447.
- Öktem, R. 2006. Hata Ağacı Analizi. In L. H. Ringdahl, *Safety Analysis Principles and Practice in Occupational Safety*. Türk Tabipler Birliği
- Vesely, W., Goldberg, F., Roberts, N., and Haasl, D. 1981. *Fault Tree Handbook*. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.
- Reliasoft 2011a, Weibull ++7 Software, ReliaSoft Office 7, ReliaSoft Corporation Tucson
- Reliasoft 2011b, Blocksim 7 Software, ReliaSoft Office 7, ReliaSoft Corporation Tucson



Orijinal Araştırma / Original Research

COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ İLE METALİK BİR MADEN YATAĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF A METALLIC MINE DEPOSIT WITH GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Hale İşleker^a, Ali Can Özdemir^{a,*}, Ahmet Dağ^a

^a Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, ADANA

Geliş Tarihi / Received : 09 Ocak / May 2017

Kabul Tarihi / Accepted : 09 Mayıs / January 2017

Anahtar Sözcükler:

ArcGIS,
 CBS,
 Madenköy,
 Kaynak kestirimi,
 Surpac

ÖZ

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), grafik ve grafik olmayan (tablosal) verilerin ilişkilendirildiği ve bu ilişkiler aracılığıyla analizlerin gerçekleştirildiği bir araçtır. Bu çalışma ile Siirt Madenköy Bakır Yatağı verileri kullanılarak, bir maden yatağının Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı olan ArcGIS ile değerlendirilmesi yapılmış, elde edilen sonuçlar madencilikte yaygın olarak kullanılan Surpac madencilik yazılımı çıktıları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmanın sonuçları; CBS'nin madencilik yüzey modellemesi ve kaynak kestiriminde kullanılabilirliğini göstermektedir.

ABSTRACT

Geographic Information Systems (GIS) is a tool where graphical and non-graphical(table) data are correlated and analyzed through these relations. In this study, an ore deposit has been assessed using the data of boreholes from Siirt Madenkoy Copper Mine aid of a program of Geographic Information System, ArcGIS. Surpac software has been selected to check of information of copper mine obtained by ArcGIS and results have been compared. The results showed that Geographic Information System software can be used in surface modelling and reserve estimating.

Keywords:

ArcGIS,
 GIS,
 Madenkoy,
 Reserve estimation,
 Surpac

* İlgili yazar: acozdemir@cu.edu.tr

GİRİŞ

Maden üretiminin etkin bir şekilde yapılması, hüküm süren faktörlerin belirlenmesine ve parametrelerin entegre edilebilmesi için uygun modellerin seçimine bağlıdır (Hosseinali ve Alesheikh, 2008). Bu nedenle madencilik çalışmalarının birçok aşamasında kaynak kestirimi ve üç boyutlu modelleme işlemleri önemli bir yer tutmaktadır. Son yıllarda gelişen teknoloji ve bilgisayar yazılımları modelleme çalışmalarının etkin ve hızlı bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri bu amaca yönelik bir sistemler bütünüdür. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS); yeryüzüne ait verilerin toplanması, sorgulanması, paylaşımı ve görüntülenmesi işlemlerini yerine getiren bilgisayar destekli araçlar bütünüdür. (Burrough, 1998; Morova, 2010). CBS yazılımlarının kullanımı doğal kaynaklara yönelik endüstrilerde oldukça yaygın iken, madencilikte daha az tercih edilmektedir. Bunun en önemli nedeni tasarım aşamasında daha çok madencilik uygulamalarına yönelik Datamine, Vulcan, Surpac gibi bilgisayar destekli özel yazılımların bulunmasıdır. Ancak CBS, kullanımının giderek yaygınlaşması ile birlikte bilgisayar destekli tasarım ve madencilik yazılımlarının arasına katılmıştır. Ayrıca madencilik tüm aşamalarında grafik ve öznetelik verilerinin kullanımına duyulan ihtiyaç, verilerin bölgesel bir nitelik göstermesi ve yazılımın sürekli güncellenmesi de CBS'nin madencilik sektöründe kullanımını arttırmaktadır.

Ülkemizde de son yıllarda, maden işletme haklarının yönetimi, maden arama faaliyetleri, tasarım ve yer seçimi, çevre etki değerlendirmesi, üretim, güvenlik ve maden rehabilitasyonu, maden yatakları ve taş ocaklarının değerlendirilmesi ve açık işletme kaynaklı yüzey değişimlerinin izlenmesi konularında CBS'nin kullanımı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Uyucuğil, 1994; Tören, 2001; Erdoğan, 2002; Sönmez, 2002; Güneş, 2003; Dağlıyar, 2003; Güneş, 2005; Kızıltaş, 2005; Doğan, 2007; Doğan vd., 2007).

Mutlak anlamda CBS; karmaşık yönetim sorunlarının çözümü için veri toplama, depo etme, işleme, analiz etme, modelleme ve görselleştirme işlemlerini coğrafi konumlarına göre yapan yazılım, donanım ve yöntemlerin oluşturduğu bilgisayar sistemidir (Dueker ve Kjerne, 1989; Mert, 2010).

CBS içindeki farklı tipteki verilerin hızlıca entegre edilmesi, kıyaslanması ve kontrol edilmesi; veri kalitesinin artmasına imkan sağlamaktadır. Bu sayede gerçekçi ve hızlı üç boyutlu sunum oluş-

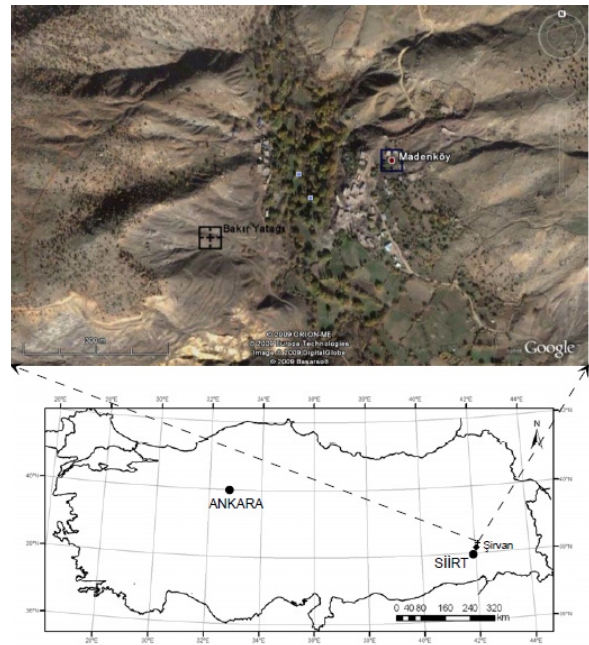
turulabilmektedir (Sirakov ve Muge, 2000). CBS, coğrafi koordinatları ile sınırlandırılmış bir bölge içinde veriler arasında koordinasyonu sağlayarak istenilen verilerin istenilen aralıklar içinde yine konuma bağlı olarak analizini yapabilmektedir. Ayrıca, kolay bir şekilde potansiyel maden haritaları üretilebilmekte ve bu haritalara jeolojik, jeofiziksel ve jeokimyasal çalışmaların sonuçlarını entegre edilebilmektedir. CBS ortamında grafik veriler vektörel ya da hücrel olarak saklanır. Hücrel veri saklama yöntemi ile katmanlardaki grafik objeler düzenli oluşturulmuş hücrelere ya da karelere aktarılır. Bu hücrelerin her birine piksel adı verilmektedir. (Harris vd., 2000; Düzgün, 2005; İşleker, 2009).

Bu çalışma CBS'nin madencilikteki uygulanabilirliğinin araştırılmasına yönelik bir çalışmadır. Yapılan bu çalışmada; bir CBS yazılımı olan ArcGIS ve madencilik paket programı olan Surpac yazılımı bir bakır madenini değerlendirmek için kullanılmış ve çıktılar birbiri ile karşılaştırılmıştır.

1. MATERYAL VE METOD

1.1. Çalışma Alanı ve Sondaj Bilgileri

Bu çalışmada, uygulama alanı olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Siirt İli, Şirvan İlçesi'ne bağlı Madenköy'de bulunan Siirt Madenköy Bakır yatağı seçilmiştir. Madenköy, Siirt İl merkezine yaklaşık 45 km uzaklıkta bulunmaktadır. Şekil 1' de çalışma alanının yer bulduru haritası görülmektedir.



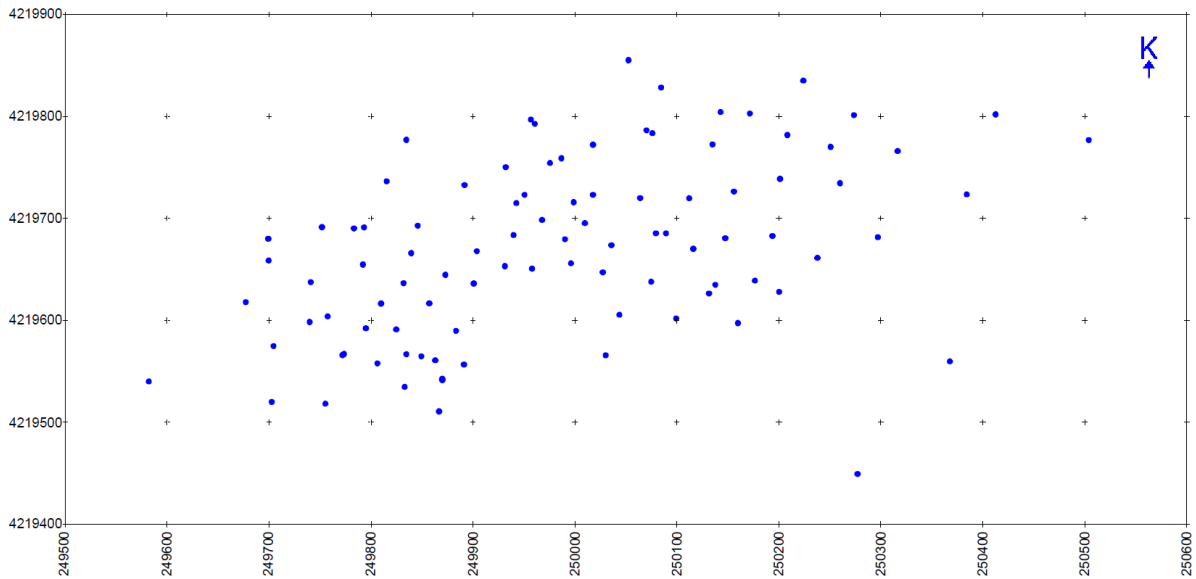
Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Siirt Madenköy bakır yatağı, Güney Anadolu Bölgesi'nin ofiyolitli-radyolaritli kayaç topluluklarının oluşturduğu kuşakta yer almaktadır. Bu kuşağın bir bölümü "ofiyolitli melanj", diğer bölümü ise "ofiyolitli olistostrom" durumundadır. Malzemeler aynı, fakat oluşum koşulları farklı olan bu kayaç toplulukları, aynı zamanda allokon kütlelerdir ve birbiri üzerine bindirmiş ekaylar, naplar meydana getirmişlerdir (Bal, 1995).

Bu çalışmada, Siirt Madenköy bakır yatağında daha önce yapılmış olan 97 adet sondajdan elde edilen veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti; sondaj lokasyonu (X, Y ve Z), sondaj açısı (doğrultu ve eğim), Cu tenör değerlerinden oluşmaktadır ve Şekil 2'de sondaj lokasyonları görülmektedir.

Çizelge 1. Cu tenörü özet istatistik değerleri

Değişken	Cu (%)
Veri Sayısı	2650
En Küçük	0.01
En Büyük	17.80
Ortalama	1.56
Standart Sapma	2.16
Varyans	4.65
Çarpıklık	2.25
Basıklık	6.57
Değişim Katsayısı	1.39



Şekil 2. Sondaj lokasyonları

Ayrıca Cu tenörüne ait özet istatistik değerleri de Çizelge 1'de verilmiştir. Modelleme ve kaynak miktarı hesaplama işlemlerinin doğrulunun kontrolü amacı ile veriler hem ArcGIS yazılımı hem de Surpac yazılımı ile ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çalışma sırasında yapılan tüm kaynak miktarı hesaplama işlemlerinde Cu yoğunluk değeri 3.5 ton/m³ alınmıştır.

1.2. Bilgisayar Yazılımları

Bu çalışmada kullanılan yazılımlardan biri olan ArcGIS yazılımı, entegre bir coğrafi bilgi sistemidir. CBS yazılım bileşenlerinin ortak kütüphanesi ArcObjects üzerine kurulmuş bir sistemdir. Ana modül içerisinde gelen arayüzler ile haritalama,

coğrafi analizler, veri düzenleme, veri yönetimi ve görüntüleme işlemlerinin yapıldığı entegre bir coğrafi bilgi sistemi yazılımıdır. Ayrıca kullanıcılara kendilerine özel modüller geliştirebilme imkanı sunmaktadır (İŞLEM GIS, 2004).

Surpac yazılımı ise, jeolojik modelleme, maden tasarım ve üretim planlama sistemidir. Bütün önemli madencilik konularını kapsayan bir madencilik programıdır. Bu yazılım, jeoloji, maden teknik, üretim planlama ve organizasyon konularında, bölgenin iyileştirilmesi için yapılacak işlemler de dahil olmak üzere madencilik bütünü basamaklarında kullanılan uygulamalara sahiptir. Madencilik çalışmalarında tüm proje verileri Surpac'ta arşivlenir ve yönetilir (www.sst-consult.de).

2. BULGULAR VE TARTIŞMA

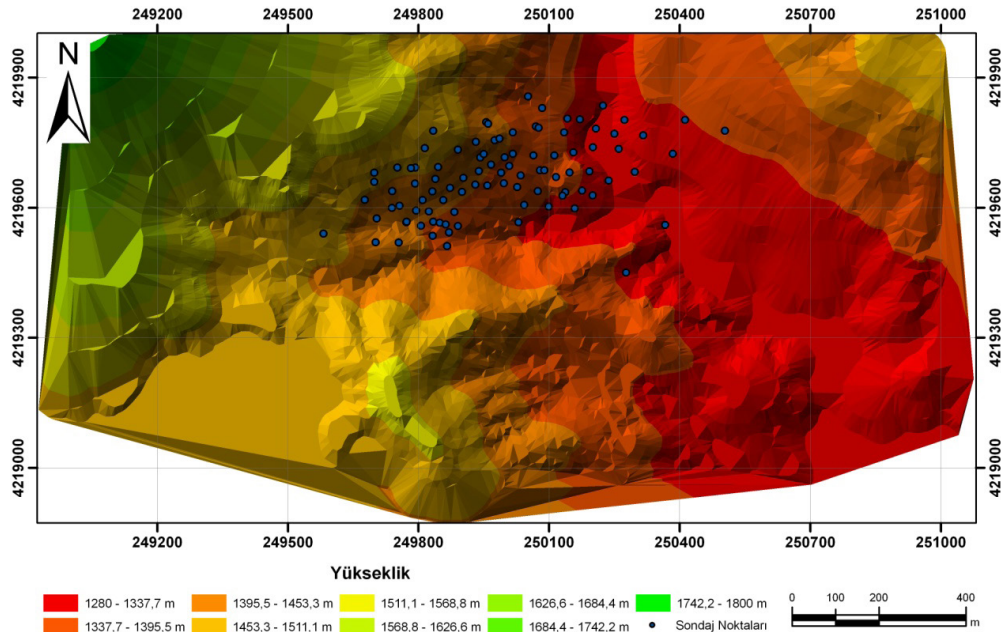
2.1. ArcGIS ile Yatağın Modellenmesi

ArcGIS yazılımı yüzey işlemlerde daha doğru sonuçlar verdiği için cevher bloğu Z eksenine doğrultusunda 10 m aralıklarla toplam 62 dilime ayrılmıştır. Her bir dilimi kesen sondaj verilerini tespit etmek için, Visual Basic programlama dili ile küçük bir program yazılmıştır. Bu programdan elde edilen ve cevher kesen 42 dilim ArcGIS'de kullanılmıştır.

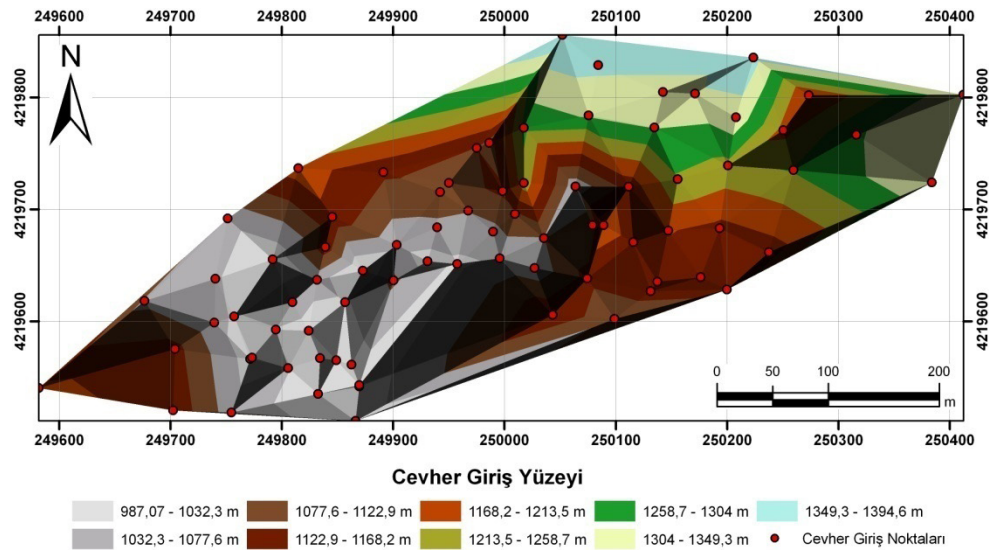
Madenköy bakır yatağı için Topografya, cevher giriş, çıkış verileri ile sayısal yüzey modelleme

yapılarak yatağın üç boyutlu görüntüsü elde edilmiştir. Çalışma alanının topografyasının Sayısal Yükseklik Modeli, 1:25,000 ölçekli Van L48 d3 paftası kontur verilerinin sayısallaştırılması ile Düzensiz Üçgenleme Ağı (Triangulated Irregular Network: TIN) üretilmiştir (Şekil 3).

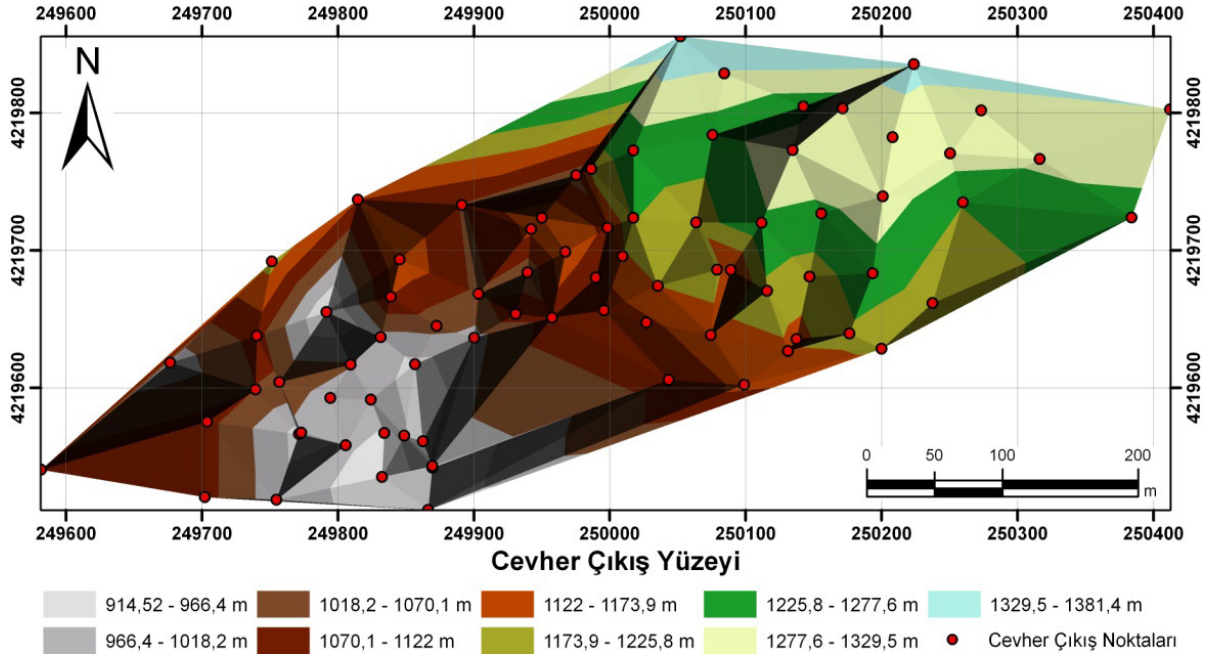
Cevher tavan ve taban TIN dosyaları için sondajların cevher giriş ve çıkış kotları değerlendirilmiştir (Şekil 4-5). Yatağın üç boyutlu görüntüsü ise Şekil 6'da görülmektedir. Ayrıca, cevherin bakır içerikleri ile oluşturulan ikinci TIN verileri Grid formatına dönüştürülerek 0.5 m boyutlu her piksele Cu değerleri atanmıştır.



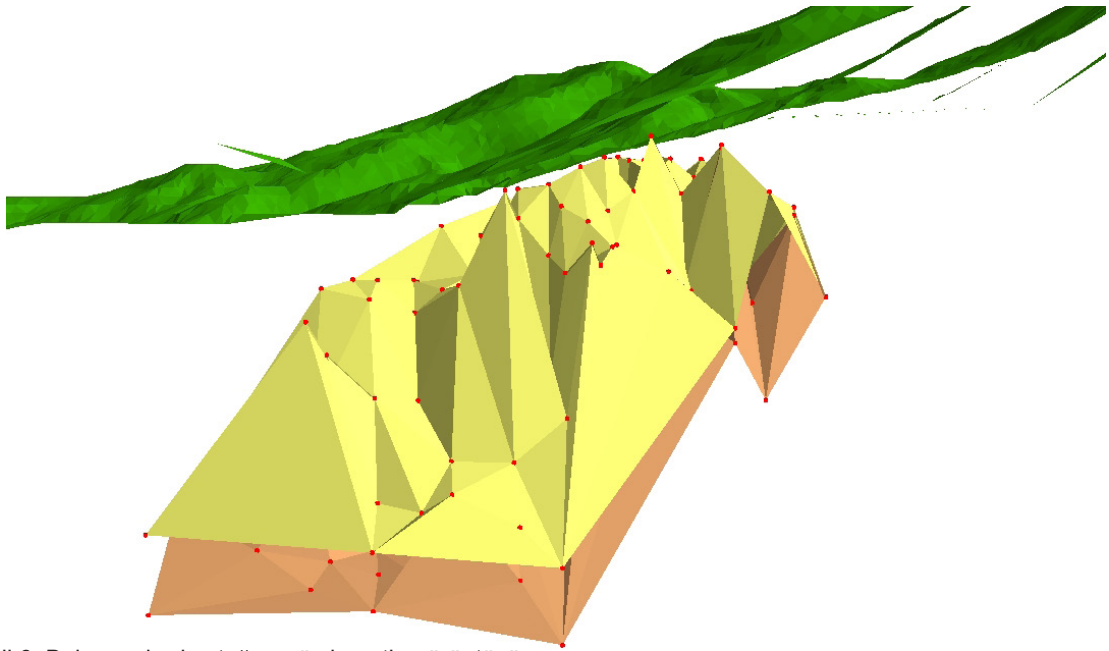
Şekil 3. Topografya TIN verisi ve sondajların görünümü



Şekil 4. Cevher tavanı ve sondajların görünümü



Şekil 5. Cevher tabanı ve sondajların görünümü



Şekil 6. Bakır cevheri yatağının üç boyutlu görüntüsü

2.2. ArcGIS ile Kaynak Kestirimi

ArcGIS yazılımı kullanılarak kaynak kestirimi yapılırken, ArcMap'te Grid verilerinin sınıflandırılmasından sonra Tablo Menüsü kullanılarak renk aralıklarına giren piksel miktarı hesaplanmıştır. Her seviyedeki piksel sayısı, bir piksel alanı olan 0.25 m² ile çarpılıp seviyelerin alanları hesaplanmıştır. Bu tablolar ".dbf" uzantılı olarak kaydedilmiştir.

Excel programında bu dosyalar sınıf aralıklarına ve yüksekliklerine göre listelenmiştir. Daha sonra

iki kot arasında kalan ortalama alan tespit edilmiş ve kotlar arası mesafe olan 10 m ile çarpılıp seviyelerine göre toplanmıştır. Örnek olarak 1260 kotuna ait üçgen model (Şekil 7), her bir renk aralığındaki piksel sayısı ve alan değerleri (Çizelge 2) verilmiştir. Bu şekilde her sınıf aralığının kaynak miktarları ayrı ayrı tespit edilmiştir (Çizelge 3).

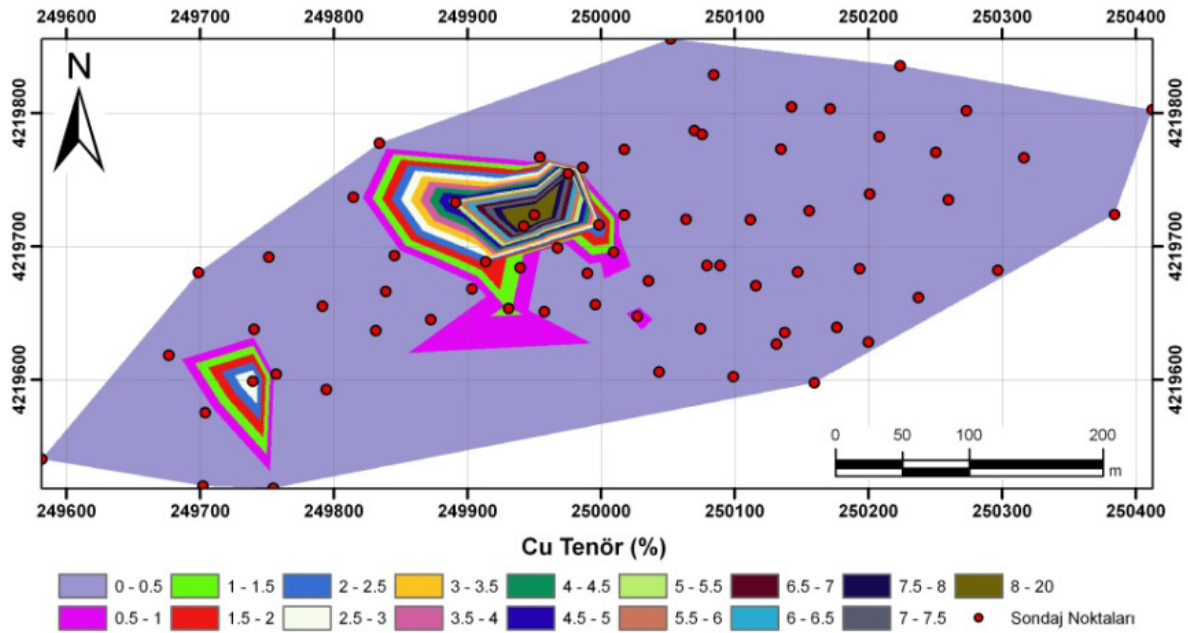
Bu çalışmada sınır tenör değeri %0.5 Cu olarak kabul edilmiş olup, bu tenörün altındaki miktar kaynak hesaplamalarına dâhil edilmemiştir.

Çizelge 2. 1260 kotuna ait piksel ve alan değerleri

%Cu	Piksel	Alan (m ²)
0-0.5	556,699	139,174.7
0.5-1	27,055	6,763.75
1-1.5	12,854	3,213.5
1.5-2	9,431	2,357.75
2-2.5	6,695	1,673.75
2.5-3	4,897	1,224.25
3-3.5	3,665	916.25
3.5-4	3,192	798
4-4.5	2,790	697.5
4.5-5	2,379	594.75
5-5.5	1,978	494.5
5.5-6	1,814	453.5
6-6.5	1,633	408.25
6.5-7	1,713	428.25
7-7.5	1,309	327.25
7.5-8	1,536	384
8-20	2,384	596
Toplam	8,795,740.00	30,785,090.00

Çizelge 3. ArcGIS yazılımı ile kaynak hesabı

%Cu	Hacim (m ³)	Kaynak Miktarı (ton)
0.5-1	3,455,661.25	12,094,814.38
1-1.5	1,843,188.75	6,451,160.63
1.5-2	1,142,747.50	3,999,616.25
2-2.5	739,981.25	2,589,934.38
2.5-3	511,382.50	1,789,838.75
3-3.5	300,133.75	1,050,468.13
3.5-4	187,715.00	657,002.50
4-4.5	141,388.75	494,860.63
4.5-5	110,513.75	386,798.13
5-5.5	84,670.00	296,345.00
5.5-6	65,767.50	230,186.25
6-6.5	50,745.00	177,607.50
6.5-7	40,467.50	141,636.25
7-7.5	33,025.00	115,587.50
7.5-8	25,680.00	89,880.00
8-20	62,672.50	219,353.75
Toplam	8,795,740.00	30,785,090.00

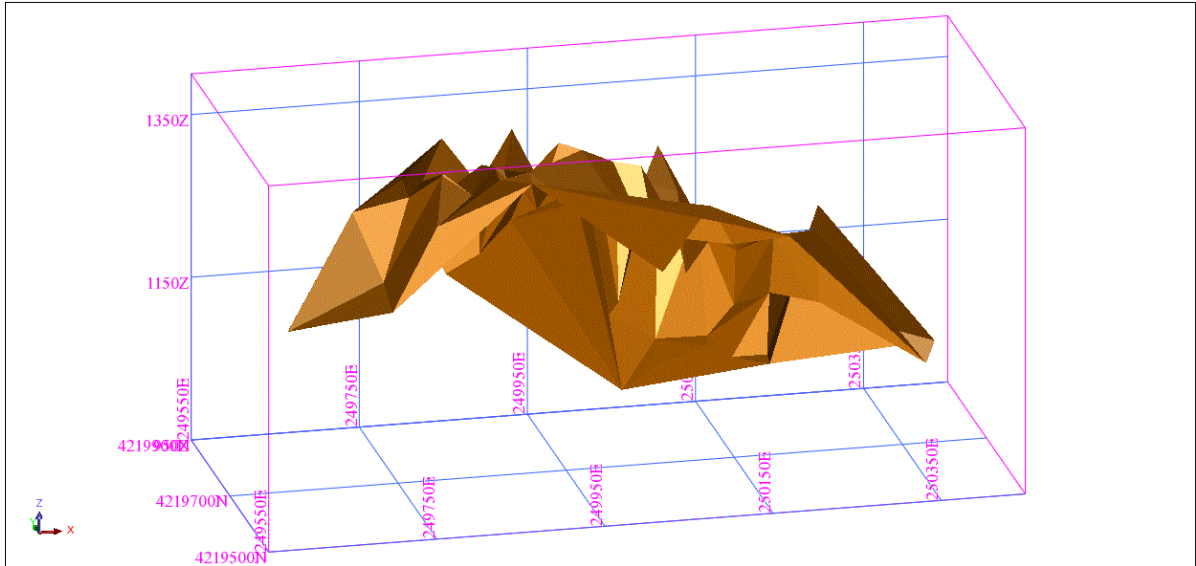


Şekil 7. 1260 kotuna ait uçgen model ve %Cu tenörünün tematik dağılımı

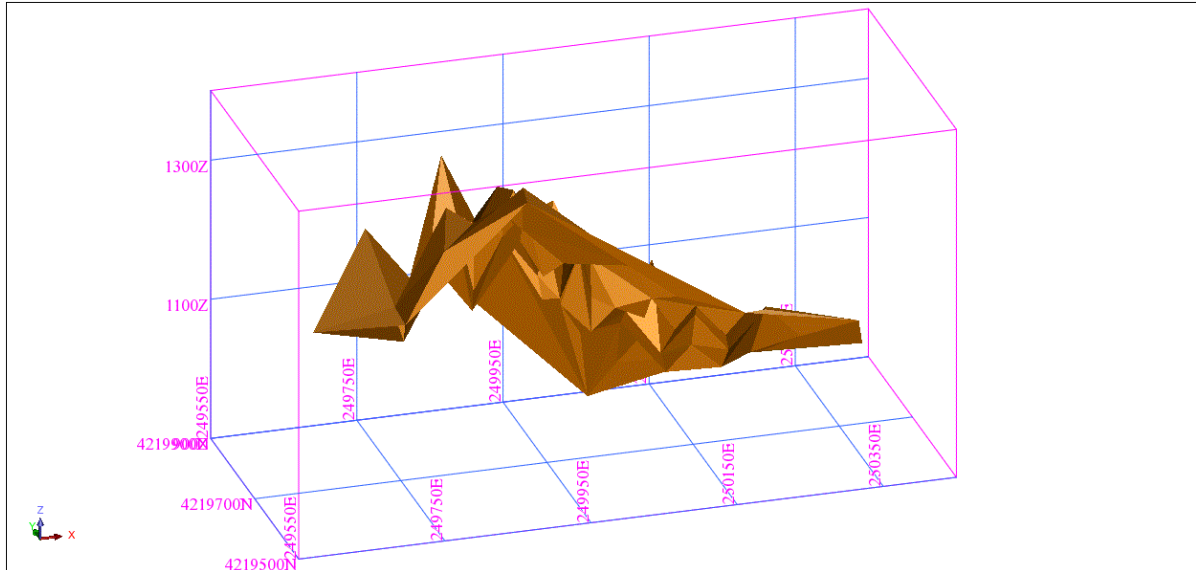
2.3. Surpac ile Yatağın Modellenmesi

Madenköy işletmesinin sondaj verilerinden elde edilen lokasyon (X, Y, Z) ve % Cu tenör değerlerinin bulunduğu text dosyası Surpac'ta ip (string) dosyasına dönüştürülmüştür. Madenköy verileri

için cevher tavan ve taban olmak üzere 2 ayrı Sayısal Yüzey Modeli (Digital Terrain Model: DTM) oluşturulmuştur. Cevher tavan ve taban DTM'leri için sondaj verilerindeki X, Y, Z koordinatları kullanılmıştır. Şekil 8 ve Şekil 9'da oluşturulan DTM'ler görülmektedir.



Şekil 8. Bakır cevheri tavan yüzeyi



Şekil 9. Bakır cevheri taban yüzeyi

2.4. Jeostatistiksel Analiz

Belirli bir yöreye özgü olan ve en azından bir koordinat ile ifade edilebilen değişkenler yöresel değişken olarak tanımlanmaktadır. Yöresel değişkenin aldığı değerler yalnızca sondajlar ile belirlenmiş noktalarda bilinmektedir, diğer noktalardaki bilinmeyen değerleri hesaplamak gerekmektedir. Bilinmeyen bir değer hesaplanması, sondajlar ile elde edilen değerler yardımıyla yapılar ve işlem kestirim olarak adlandırılır.

Genel kestirim problemi içinde, yöresel değişkenlerin uzaklığa bağlı değişimleri basit bir fonksiyonel gösterimle ifade edilemeyecek kadar karmaşık ve düzensizdir. Gerçekten, bölgesel değişkenler lokal olarak çok düzensiz buna karşın global

ölçekte yapı gösteren bir davranış sergilerler. Yöresel değişkenlerin birbirine zıt bu iki özelliği (yapısal ve gelişigüzel davranış) dikkate alındığında, uzaklığa bağlı değişimleri modelleyecek en ideal yaklaşımın olasılıksal bir dil kullanan yaklaşım olduğu ortaya çıkar ve jeostatistik bu türden bir yaklaşımdır. Klasik istatistik yöntemlerinden farklı olarak örnekler arası ilişkiyi örneklerin alındıkları koordinatları da hesaba katarak ele alan bu yöntem maden yataklarının modellenmesinde geniş bir kullanım alanı bulmuştur (Saraç ve Tercan, 1998; Mert, 2010).

Jeostatistikte, yöresel değişkenin değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimleri variogram fonksiyonu ile ortaya konur. Variogram fonk-

siyonu tesadüfi değişkenin değerleri arasındaki farkın varyansı şeklinde ifade edilir ve $2\gamma(h)$ ile gösterilir. Literatürde yarivariogram olarak adlandırılan bu fonksiyon variogram fonksiyonunun yarısını ifade etmektedir ve $\gamma(h)$ ile gösterilir (Eşitlik 1) (Çetin, 1996).

$$\gamma(h) = \text{Var}[Z(x) - Z(x+h)] / 2 \quad (1)$$

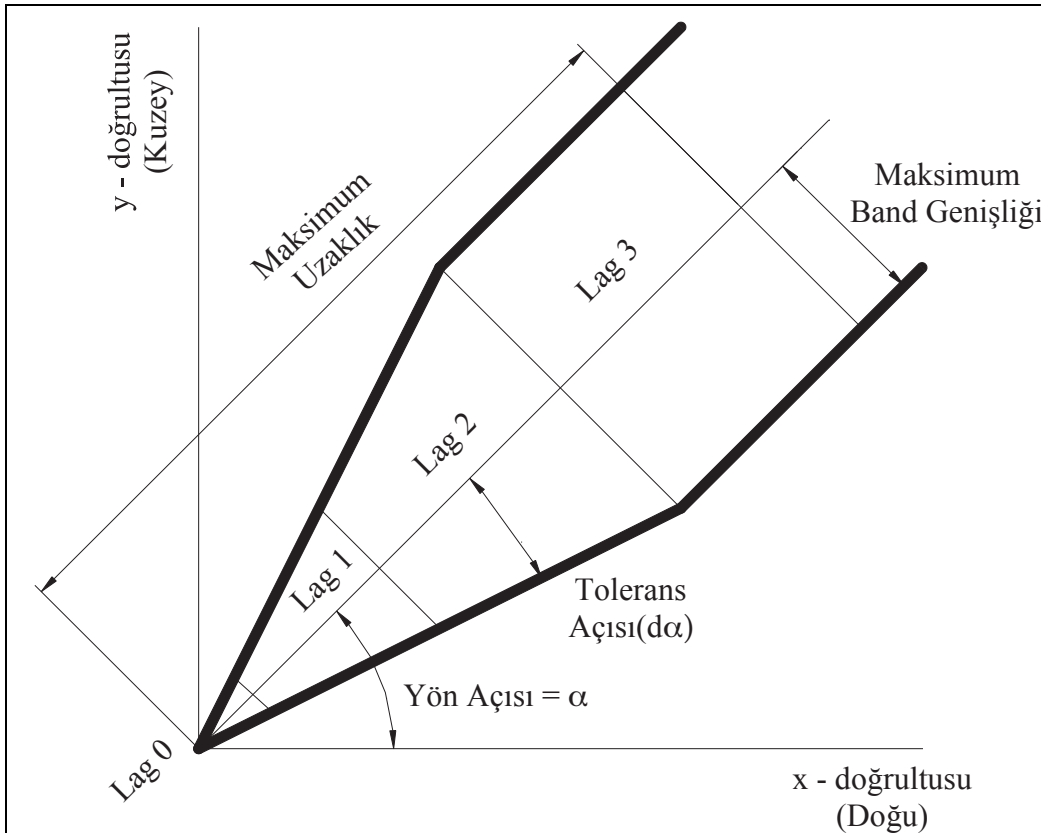
Yarivariogram fonksiyonları, maden yatağının ilgili yöresel değişkeninin ne gibi özellikler gösterdiğini belirlemede kullanılır. Örneğin, bu fonksiyon bilindiğinde değişkenin homojenlik ve izotropluk dereceleri, düzenliliği ve bir örneğin etkili olduğu uzaklık belirlenebilir. Yarivariogram değerlerinin gözlemler arasındaki h uzaklığına bağlı olarak hesaplanabilmesi için N sayıdaki gözlemin $N(N-1)/2$ tane olan ikili kombinezonları oluşturulur.

Eğer gözlem çiftleri yön ve uzaklık gözetilmeksizin oluşturulmuşsa mümkün bütün çiftlerin arasındaki yarivaryans değeri Eşitlik (2) yardımıyla hesaplanır. Bu şekilde yön ve mesafe gözetilmeksizin oluşturulan yarivariogramlar yönsüz (omnidirectional) yarivariogram ismini almaktadır.

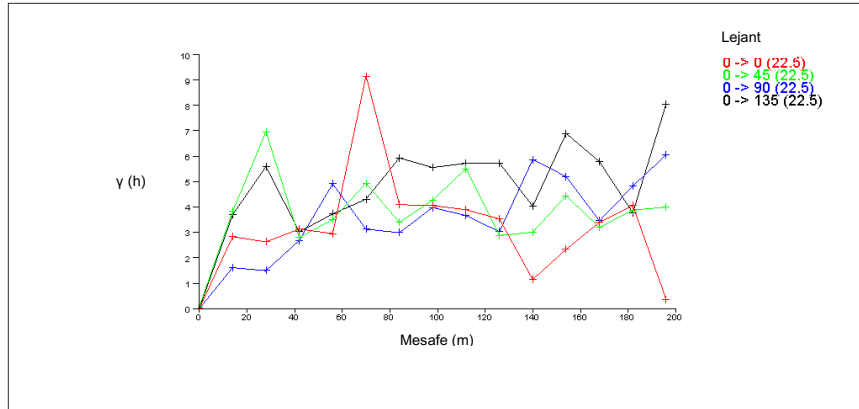
$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

Eğer gözlem çiftleri oluşturulurken yön ve uzaklık gözetilmişse deneysel yarivariogramın hesaplanması özel teknikler gerektirir. Bunun için veriler uzaklığa ve yöne göre uzaklık ve açı toleransları içerisinde gruplandırılır. Açı ve tolerans açısı ($\alpha \pm d\alpha$) Şekil 10'da gösterildiği gibi bir koni tanımlar. Seçilen uzaklık parametresi ise lag ya da gecikme uzaklığı olarak isimlendirilir ve bu konu üzerinde sektörler oluşturur (Çetin, 1996).

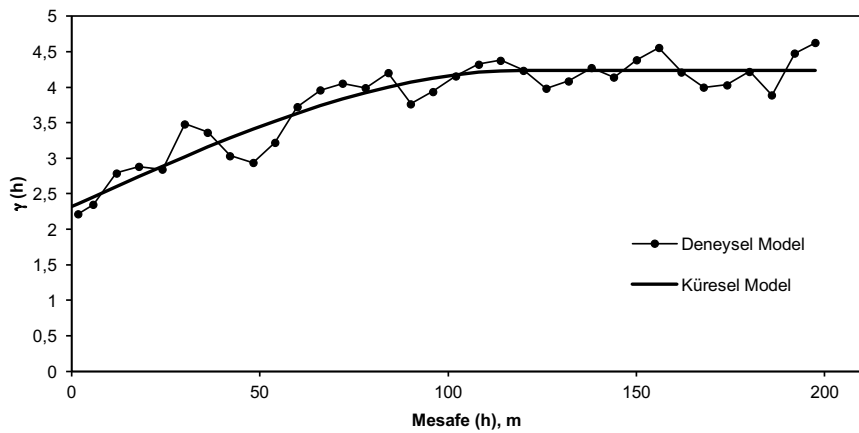
Surpac programının variogram map araçları kullanılarak anizotropinin olup olmadığını belirlemek amacı ile tolerans açısı 22.50° olacak şekilde üç boyutlu yönlü yarivariogram analizleri yapılmış olup geometrik ve zonal anizotropi'ye rastlanılmamıştır (Şekil 11). Bundan dolayı jeostatistiksel çalışmada yönsüz yarivariogram modeli uygulanmış olup en uygun modelin Şekil 12'de verilen küresel model olduğu belirlenmiştir. Elde edilen teorik yarivariogram modelin parametreleri Çizelge 4'de verilmiştir.



Şekil 10. Uzaklığa ve yöne göre uzaklık ve açı toleransları (Pannatier, 1996)



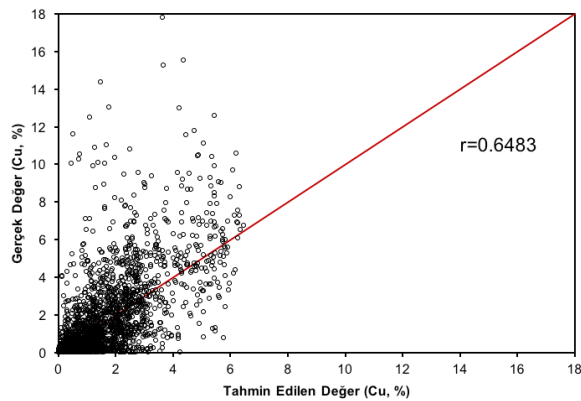
Şekil 11. Yönlü variogram grafiği



Şekil 12. Deneysel ve teorik yarıvariogram modelleri

Çizelge 4. Deneysel ve teorik yarıvariogram model parametreleri

Deneysel Yarıvariogram				Teorik Yarıvariogram			
Yatay Açılı	Düşey Açılı	Tolerans Açılı	Lag Uzaklığı	Model	Kontrolsüz Etki (C ₀)	Eşik Değer (C)	Etki Mesafesi (a)
0°	0°	90°	6 m	Küresel	2.32 m	4.23 m	120.33 m



Şekil 13. Çapraz doğrulama grafiği

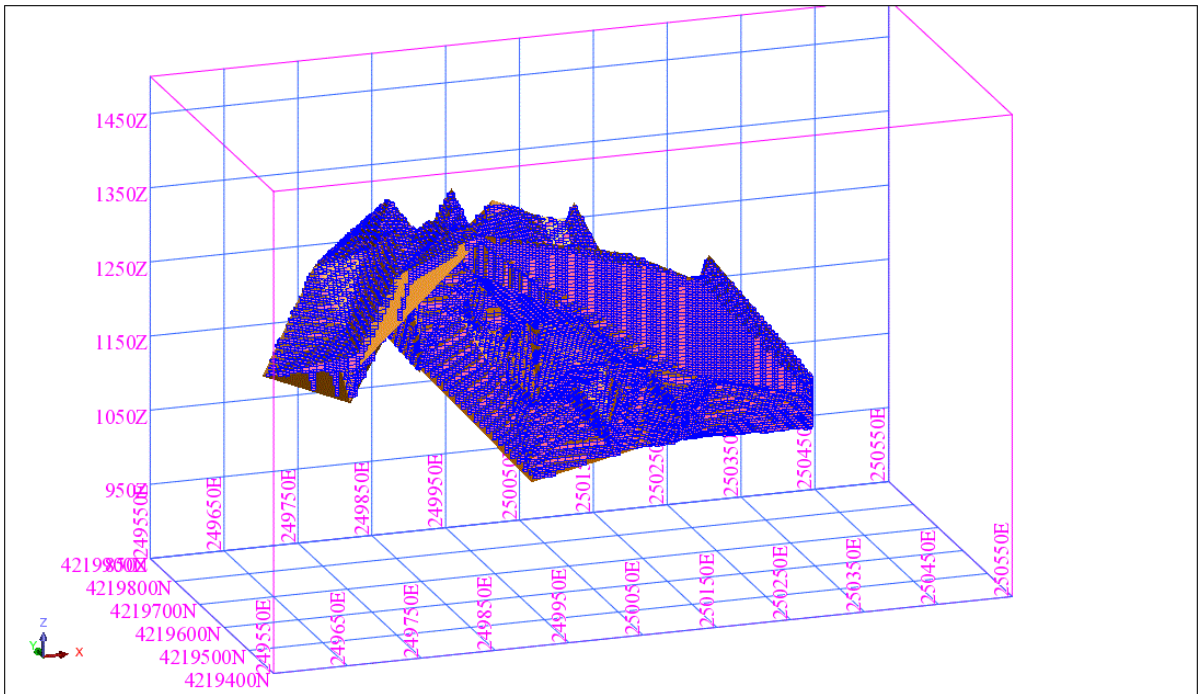
Belirlenen teorik yarıvariogram modelinin geçerliliğinin test edilmesi için çapraz doğrulama testi yapılmış olup tahminlerin indirgenmiş hatalarının ortalaması; 0.09, varyansı; 1.42 ve korelasyon katsayısı; 0.6483 olarak belirlenmiştir. Şekil 13'te çapraz doğrulama grafiği görülmektedir. Elde edilen korelasyon katsayısı değerlendirilirken bakır yatağının oldukça eğimli olduğu ve tabaka şeklinde cevherleşmediği göz önünde bulundurulmalıdır.

2.5. 3D Modelleme

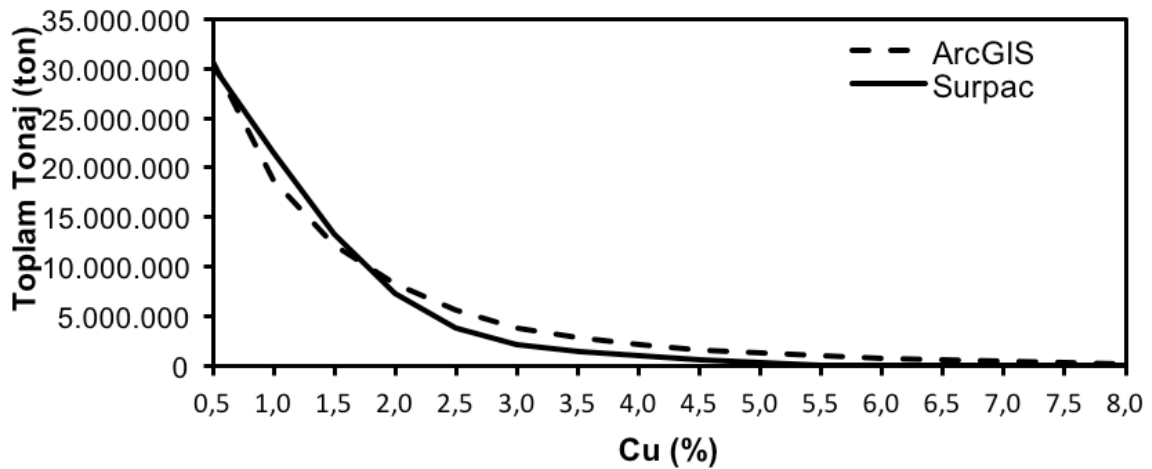
Yüzeyler arası katı modelleme tekniği kullanılarak Cu cevherine ait katı model elde edilmiştir. Daha sonra farklı blok boyutları denenmiş olup cevherin katı modelini en iyi temsil eden blok boyutları 10 x 10 x 5 metre ve alt blok sayısı 1 olmak üzere blok model oluşturulmuştur. Kaynak miktarının hesaplanmasında kullanılacak olan cevher giriş ve çıkışı arasında kalan cevher yatağının blok modeli Şekil 14'de görülmektedir.

2.6. Surpac ile Kaynak Kestirimi

Madenköy bakır yatağının kaynak miktarı hesabının yapılabilmesi için önceden oluşturulmuş olan cevher tavan ve taban DTM'leri arasında kalan bloklara Cu tenör değeri tanımlanmıştır. Jeostatistiksel çalışmalar ile elde edilen yarıvariogram modeli ve bu modelin parametrelerinden faydalanılarak blokların Cu tenör değerleri ordinary kriging tekniği ile tahmin edilmiştir. Surpac programından alınan raporda Cu içeriklerine göre elde edilen kaynak miktarları Çizelge 5'de verilmiştir.



Şekil 14. Madenköy cevher yatağı blok model görünümü



Şekil 15. Cu cevheri tonaj-tenör grafiği

Çizelge 5. Surpac yazılımı ile kaynak hesabı

%Cu	Hacim (m ³)	Kaynak Miktarı (ton)
0.5-1	2,508,500.00	8,779,750.00
1-1.5	2,334,625.00	8,171,187.50
1.5-2	1,702,250.00	5,957,875.00
2-2.5	999,188.00	3,497,158.00
2.5-3	469,125.00	1,641,937.50
3-3.5	223,375.00	781,812.50
3.5-4	124,938.00	437,283.00
4-4.5	104,813.00	366,845.50
4.5-5	83,375.00	291,812.50
5-5.5	71,875.00	251,562.50
5.5-6	17,000.00	59,500.00
6-6.5	3,000.00	10,500.00
6.5-7	0.00	0.00
7-7.5	0.00	0.00
7.5-8	0.00	0.00
8-20	0.00	0.00
Toplam	8,642,064.00	30,247,224.00

SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, Siirt Madenköy bakır sahasında yapılan 97 adet sondaja ait analiz sonuçlarından elde edilen veri setinden faydalanılarak CBS' nin madencilikte kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. ArcGIS ve Surpac yazılımları kullanılarak maden yatağının modellenmesi ve kaynak miktarı hesaplanma işlemleri uygulanmış olup her iki yazılımdan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

ArcGIS ve Surpac'tan elde edilen veriler doğrultusunda %Cu içeriklerine göre çizilen tonaj-tenör eğrileri Şekil 15'de görüldüğü gibi oldukça benzer eğilimdedir. Ayrıca her iki yazılım ile hesaplanan kaynak miktarları arasında fazla bir fark olmadığı anlaşılmıştır. Bu sonuçlardan anlaşılacağı gibi ArcGIS ve Surpac yazılımları modelleme ve kaynak miktarı hesaplama aşmalarında benzer sonuçlar üretmişlerdir.

Metalik madenlerin düzgün bir yataklanma göstermesi pek mümkün olmayan ve hesaplamaların hassasiyetini etkileyen bir durumdur. Ancak,

bu durumda bile GIS tabanlı yazılımların kaynak miktarı hesaplamalarında kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca, ArcGIS yazılımları uygun bir programlama dili ile arayüzler oluşturulmasına fırsat vermektedir ve bu sayede ileriki çalışmalarda bir maden yatağının kaynak miktarı hesaplama işlemlerinin otomasyona dönüştürülmesi amacıyla bir arayüz hazırlanması imkanı sunmaktadır. Bu sonuçlar incelendiğinde, genel kullanım amaçlı CBS tabanlı yazılımlar, yatak modelleme ve kaynak belirleme gibi çalışmalarda madencilik paket programlarına alternatif olarak kullanılabileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

Bal, D., 1995. Madenköy (Siirt) Bakır Yatağının Jeokimyasal İncelenmesi ve Rezervlerinin Hesaplanması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 103.

Burrough, P. A., 1998. Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford University Press, New York, 333.

Çetin, M., 1996; Jeostatistiksel Yöntem ile Nokta ve Alanlı Yağışların Saptanması ve Stokastik Olarak Modellenmesi. Örnek Havza Uygulamaları. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 127.

Dağlıyar, A., 2003. Bir Manyezit Ocağı Sondaj Verilerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Değerlendirilmesi. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 58.

Doğan, T., 2007. Açık Ocak Üretim Planlamasında Coğrafi Bilgi Sisteminin (GIS) Kullanılabilirliği. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 167.

Doğan, T., Özkan, M., Özer, Ü., Kapar, K., Kahrıman, A. ve Erçelebi, S., 2007. "Coğrafi Bilgi Sisteminin (CBS) Rezerv Tespitinde Kullanılabilirliği". İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, 20(2), 81-91.

Dueker, K. J. ve Kjerne, D., 1989. Multipurpose Cadastre: Terms and Definitions. ASPRS and ACSM, Falls Church, 7-8.

Düzgün, H. Ş., 2005. Madencilikte Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Yardımcı Teknolojiler. Maden Mühendisliği-Açık Ocak İşletmeciliği El Kitabı, Ankara, 315-335.

Erdoğan, N., 2002. Monitoring Changes in Surface Mining Area by Using Spot Satellite Images. The Middle East Technical University, Institute of Natural and Applied Sciences, The Degree of Master of Science, 118.

Güneş, N., 2003. Türkiye Doğal Taşların Coğrafi Bilgi

Sistemi Ortamında Değerlendirilmesi. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 129.

Güneş, K., 2005. Türkiye Feldspat Sahalarını Coğrafi Bilgi Sistemler Ortamında Değerlendirilmesi ve Yönetilmesi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 68.

Harris, J., Wilkinson, L. ve Grunsky, E., 2000. Effective Use and Interpretation of Lithochemical Data in Regional Mineral Exploration Programs: Application of Geographic Information Systems (GIS) Technology. *Ore Geol. Rev.*, 16 (3-4): 107-143.

Hosseinali, F. ve Alesheikh, A. A., 2008. Weighting Spatial Information in GIS For Copper Mining Exploration. *American Journal of Applied Sciences*, 5(9), 1187-1198.

İşleker, H., 2009. Bir Maden Yatağının Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 64.

İŞLEM GIS, 2004. ArcGIS 9 Uygulama Dökümanı. Ankara, 218.

Kızıldaş, M., 2005. İstanbul Bölgesi Taşocaklarının Coğrafi Bilgi Sistemi (Cbs) Ortamında Değerlendirilmesi ve Yönetilmesi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 107.

Mert, B. A., 2010. Afşin-Elbistan Kömür Havzasındaki Madencilik Faaliyetlerinde Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Küresel Konumlama Sistemlerinin Kullanım Olanaklarının Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 323.

Morova, N., 2010. CBS Tabanlı İçmesuyu Bilgi Sistemi: Örnek Bir Uygulama. *SDU International Technologic Sciences*, 2 (2), 93-104.

Pannatier, Y., 1996. VARIOWIN: Software for Spatial Data Analysis in 2D. New York, NY: Springer-Verlag, 91.

Saraç, C. ve Tercan, A. E., 1998. Maden Yataklarının Değerlendirilmesinde Jeostatistiksel Yöntemler. *JMO Yayınları*, Ankara, 137.

Sirakov, N. M. ve Muge, F. H., 2000. A System For Reconstructing and Visualising Three-Dimensional Objects. *Pergamon, Computers & Geosciences*, 27, 59-69.

Sönmez, V., 2002. Çevresel Atıkların Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile Modellenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 62.

Tören, T., 2001. Determination of Mining Induced Environmental Impacts Using Remote Sensing and GIS. The Middle East Technical University, Institute of Natural And Applied Sciences, The Degree of Doctor of Philosophy, 181.

Uyguçgil, H., 1994. Maden Mühendisliğinde Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanımı. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 51.

www.sst-consult.de/Seiten/SSTsurpac.htm, 20.03.2009.



Orijinal Araştırma / Original Research

SEKKÖY (TKİ-GELİ) KÖMÜR HAZIRLAMA TESİSİNİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF SEKKÖY (TKİ-GELİ) COAL WASHING PLANT PERFORMANCE

Zehra Altınçelep^{a,*}, Oktay Bayat^b

^a Atatürk Üniversitesi, Maden Müh. Bölümü, ERZURUM

^b Çukurova Üniversitesi, Maden Müh. Bölümü, ADANA

Geliş Tarihi / Received : 22 Mart / March 2017

Kabul Tarihi / Accepted : 15 Mayıs / May 2017

Anahtar Sözcükler:

Kömür,
Performans değerlendirme,
Tromp eğrisi,
Drewboy teknesi,
Larcodem ayırıcısı.

Keywords:

Coal,
Performance evaluation,
Tromph curve,
Drewboy,
Larcodem.

ÖZ

Bu çalışmada, TKİ-GELİ Müessesine ait Sekköy Lavvarının performansı değerlendirilmiştir. Performans değerlendirmesinde fraksiyonel yıkanabilirlik değerleri kullanılmıştır. Lavvarda; Drewboy teknesi ve Larcodem ayırıcısındaki tüvanan kömür, yüzen mal (lave, temiz kömür) ve batan malzemededen (şist) temsili numuneler alınmış, alınan numunelere elek analizi yapılmış, elek fraksiyonlarına yüzdürme-batırma testleri uygulanmış ve her test sonucu elde edilen ürünlerin kül analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler ile her bir ekipman (Drewboy teknesi ve Larcodem ayırıcısı) için fraksiyonel Tromp eğrileri çizilmiş, fraksiyonel Ep ve d50 değerleri hesaplanmıştır. Drewboy teknesinin kesme yoğunluğu yaklaşık olarak 1,5 g/cm³, Larcodem ayırıcısında ise yaklaşık olarak 1,8 g/cm³ olduğu saptanmıştır. Drewboy teknesinin Ep değeri 0,050 iken Larcodem ayırıcısının Ep değeri ise 0,225 olduğu saptanmıştır. Drewboy teknesinden elde edilen fraksiyonel Ep değerinin sınırlar içinde olduğu (0,12<Ep) ancak Larcodem ayırıcısında ise gözlenen kesme noktası kaymasının ürün kalitesine olumsuz etkisi olduğu saptanmıştır.

ABSTRACT

In this study, TKİ-GELİ Sekköy coal washing plant's performance was evaluated. Fractional washability values were used for the performance evaluation. For this purpose, representative samples were taken from pre-determined points on the flowsheet at the washing plant and then screen analyses, sink and float tests and ash analyses were done to the sized particles. Fractional Tromph curves were drawn for each equipment (Drewboy and Larcodem) and fractional Ep and d50 values were calculated. Cut of density was determined as approximately 1.5 g/cm³ for Drewboy and approximately 1.8 g/cm³ for Larcodem. It was determined that Ep value was 0.050 for Drewboy while Ep value was 0.225 for Larcodem. It can be said that fractional Ep value was in the limit (0.12<Ep) for Drewboy but it was higher than the acceptable limit for Larcodem showing that higher cut point deviation has a negative effect on the product quality for this equipment.

* İlgili yazar: zaltincelep@cu.edu.tr

GİRİŞ

Ülkemizde bulunan kömür rezervinin önemli bir kısmının düşük kaliteli linyit kömürlerinden oluşması, maden ocağından yapılan üretim yöntemi ve üretim sonrası kömür hazırlama yöntemlerinin en doğru şekilde seçilmesi, seçilen yöntemlerle işletilen ocaklar ve kömür hazırlama tesislerinin en verimli şekilde çalıştırılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Kömür bünyesinden ayrılabilir nitelikteki safsızlıkların arındırılması, çeşitli kömür hazırlama yöntemlerinin uygulanmasıyla gerçekleştirilmektedir. Kömür hazırlamada en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri yoğunluk farkına (gravite) göre zenginleştirmedir (Sönmez, 1999). Saf kömürün özgül ağırlığının $1,3 \text{ g/cm}^3$ az olması, kömürdeki harici külü oluşturan minerallerin ortalama özgül ağırlığının $2,5 \text{ g/cm}^3$ ve piritik kükürdün özgül ağırlığının $4,8 \text{ g/cm}^3$ olması sebebiyle ayırımın diğer yöntemlerdekilere nazaran oldukça kolay olması, kömür hazırlamada yoğunluk farkına göre zenginleştirmeyi en çok tercih edilen yöntem haline getirmiştir.

Kömür hazırlamada talebe göre farklı boyutlarda ve farklı kalitelere kömür üretilmektedir. Özellikle yoğunluğa dayalı zenginleştirme süreçlerinde, tane boyu kritik bir parametredir. Dolayısıyla farklı tane boylarında, kömürün yapısı da göz önünde bulundurularak çeşitli avantajlarından ötürü farklı tip zenginleştirme ekipmanları ve farklı ortamlar kullanılmaktadır. Kömür yıkama ekipmanları genel olarak su ortamlı ve ağır ortamlı yıkama ekipmanları olarak ikiye ayrılmakta, bu ekipmanlar ise kendi içlerinde iri ve ince kömürde kullanılan ekipmanlar olarak farklı gruplara ayrılmaktadır (Horsfall, 1980).

İri boyutlu mineral tanelerinin, aralarındaki özgül ağırlık farklılığına dayanılarak, ağır bir akışkan ortam içerisinde, yüzme ve batma yoluyla birbirinden ayrılması ile yapılan zenginleştirme işlemine, ağır-ortam veya ağır-sıvı ayırması ile zenginleştirme denilmektedir (Hacıfazlıoğlu, 2013).

Ağır ortamlı ayırıcılar, ortam yoğunluğunun değişen pazar talebine veya değişen kömür besleme kalitelerine göre ayarlanabilme konusunda sağladığı esneklik sebebiyle tercih edilmektedir. Ağır ortamlı ayırıcılarla, iyi yoğunluk kontrolünün sağlanmasıyla yüksek miktarda ayırım yoğunluğuna yakın özgül ağırlığa sahip mineral içeren beslemelerde bile keskin ayrımlar yapılabilir (Şengül, 2008).

Ağır ortam ayırımı oldukça geniş bir tane boyuna uygulanabilmektedir. Üst limiti yaklaşık olarak 300 mm fakat pratikte uygulanan ise 150-1 mm'dir. Genellikle 6 mm'den daha iri tane iriliğine sahip kömürler için statik ayırıcılar, 6 mm'den daha ince kömürler için ise santrifüj tipi ayırıcılar kullanılmaktadır (Özbayoğlu, 1994). Merkezkaç (santrifüj) kuvvetinin uygulandığı ağır ortam ayırıcılarında ağır ortamın akışkanlığı düşürülebildiği için statik ayırıcılara göre daha ince tane boyutundaki kömürler yıkanabilmektedir (Önal ve Güney, 1998). Ayrıca ince tane boyutlarındaki malzemenin daha uzun sürede çökmesi sebebiyle statik ağır ortam ayırıcıları ince tane boyutlarında çok efektif çalışmamaktadır.

Ülkemizdeki kömür yıkama tesislerinin tamamına yakını iri tane boyutlu kömürü (-150+20 mm) ya "Ağır Ortam Tamburu" ile ya da "Drewboy teknesi" ile yıkanmaktadır (Hacıfazlıoğlu, 2009). Drewboy teknesi, genellikle iri tane boyutlu (-800+18 mm) ve fazla miktarda yüzen ürün veren (şisti az olan) tüvanan kömürler için uygundur. Şist atımı yatayla belli bir açı yaparak dönen bir tekerlek vasıtasıyla sağlanır ve saatte 450 ton kömür yıkanabilmektedir (Hacıfazlıoğlu, 2013).

Larcodem ayırıcısı ise eğimli (30°) bir silindirin ucundan ağır ortam süspansiyonu bir pompa ile basınçlı (0,5-1 atm) olarak verilirken, diğer uçtan tüvanan kömür beslemesi yapılır. Süspansiyonun oluşturduğu santrifüj kuvvetlerin etkisi ile şist cihazın çeperlerinden hareket ederek girdap kapını bölümünden alınır. Temiz kömür ise çeperlere değmeden beslemenin yapıldığı uçtan alınır. Bu cihaza 100 mm boyutuna kadar kömür beslemesi yapılabilir. Kömür beslemesi ve manyetit ayrı noktalarından verilmektedir (Hacıfazlıoğlu, 2013).

Kömür hazırlama tesislerinin verimli şekilde çalışıp çalışmadığının tayini, kömür yıkama ekipmanları üzerinde yapılan performans değerlendirme çalışmalarıyla belirlenebilmektedir (Şengül, 2008). Bu çalışmada, TKİ-GELİ Müessesesine ait Sekköy Kömür Hazırlama tesisinde (Lavvar) bulunan Drewboy teknesi ve Larcodem ayırıcısının kömür yıkama performansları değerlendirilmiştir.

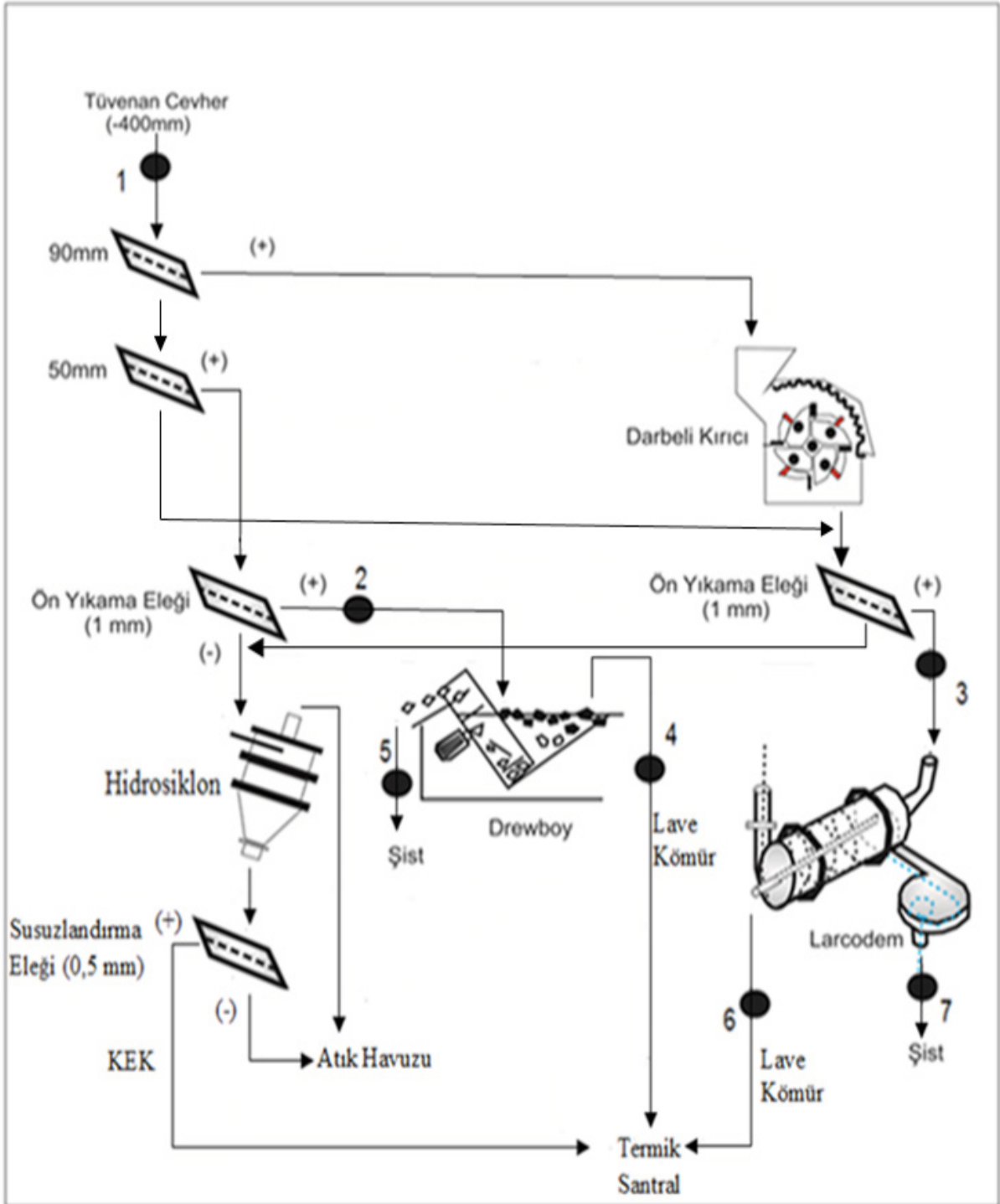
1. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

1.1. Malzeme ve Yöntem

Bu çalışmada kullanılan tüvanan kömür, temiz kömür ve artık (şist) numuneleri Muğla ili Milas ilçesinde bulunan TKİ-GELİ Müessesesi Sekköy kömür

hazırlama tesisinden temin edilmiştir. Bu yıkama tesisinden elde edilen temiz kömür Yeniköy Termik Santraline verilmektedir. Deneysel çalışma için Şekil 1'de belirtilen 7 farklı noktadan yaklaşık 700 kg numune alınmıştır. Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama

Laboratuvarına getirilen bu numuneler ile yüzdürme-batırma testleri, elek analizleri ve kimyasal analizler yapılmıştır. Tesiste kullanılan Drewboy teknesi ve Larcodem ayırıcısının resimleri Foto 1-2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Sekkő kömür hazırlama tesisi akım şeması ve numune alma noktaları (Altınçelep, 2013)



Foto 1. Drewboy teknesi (Altınçelep, 2013)

Performans değerlendirmesi için yapılan çalışmalar kapsamında; alınan örneklere yüzdürme-batırma testleri yapılmış ve elde edilen temiz kömür (lave) ve şist ürünlerin kuru kül değerleri tespit edilmiştir. Sekköy kömür yıkama tesisine beslenen tüvanan kömürün özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir ve tüvanan kömürün özelliklerinin Türkiye'de üretilmekte olan linyit kömürlerinin genel ortalama değerlerine yakın olduğu görülmektedir.

Kömür numunelerinin fraksiyonel bazda yıkanabilirliğinin belirlenebilmesi için -90+50 mm ve -50+1 mm tane fraksiyonundaki malzemelere ayrı ayrı yüzdürme-batırma testleri uygulanmıştır. Testlerde kullanılan ağır ortam çözeltileri için çinko klorür kullanılmıştır.

Çizelge 1. Tüvanan kömür analiz sonuçları

Bileşen	Kuru bazda
Kül (%)	42,34
Toplam Kükürt (%)	2,19
Uçucu Madde (%)	41,65
Alt Isıl Değer (kcal/kg)	2003,76
Üst Isıl Değer (kcal/kg)	2290,24
Sabit Karbon (%)	16,01

Kömür yıkama cihazlarının performansını etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Ancak



Foto 2. Larcodem ayırıcısı (Altınçelep, 2013)

bu aralarında performans değerlendirme için temelde bilinmesi gereken 4 fiziksel faktör bulunmaktadır. Bunlar; ayırma yoğunluğu, ayırma etkinliği, beslemenin alt akıma kısa devre yapan kısmı ve beslemenin üst akıma kısa devre yapan kısmıdır (Şengül, 2008). Performans değerlendirmede yaygın olarak partiyon eğrileri (tromp eğrisi) kullanılmaktadır. Partiyon eğrisi, beslemedeki farklı yoğunluktaki tanelerin yüzen ve batan ürünlere ne şekilde dağıldığını ifade etmeye yarayan bir araçtır. Tane yoğunluğuna karşı partiyon katsayısının çizilmesiyle elde edilmektedir. Bu eğriden yararlanılarak, farklı yıkama cihazları arasında mukayese yapılabildiği gibi, aynı yıkama cihazında uygulanan farklı yıkama koşulları da kıyaslanabilir. Ayırma yoğunluğu (kesme noktası), 0,5 değerindeki partiyon katsayısına denk gelen yoğunluk değeridir. Başka bir deyişle, yüzen veya batan ürüne gitme olasılığı eşit olan tanelerin yoğunluğunu göstermektedir (Şengül, 2008). İdeal bir ayırmada, partiyon eğrisi, düşey bir çizgiye dönüşmektedir. Ayırma derecesi idealden uzaklaştıkça, eğri yataya doğru kaymaktadır. Ayırma etkinliği, hata faktörü veya E_p ile ifade edilmektedir. E_p değeri, malzemenin %25'nin konsantreye gittiği yoğunluktan (d_{25}), %75'nin konsantreye gittiği yoğunluğun (d_{75}) çıkarılması ve ondan sonra da ikiye bölünmesiyle bulunmaktadır. Ayırma etkinliği (E_p) ne kadar düşük olursa, ayırma hassasiyeti o kadar yüksek demektir (Ateşok, 1986). E_p değeri aşağıda verilen (1) numaralı formül ile hesaplanmaktadır.

$$E_p = (d_{25} - d_{75}) / 2 \quad (1)$$

Yoğunluk farkı ile çalışan yıkama cihazlarında, genellikle düşük yoğunlukta yapılan ayırmalar yüksek yoğunlukta yapılan ayırmalara nazaran daha hassas olmaktadır. Bu nedenle dağılım eğ-

risinin özelliği, yani cihazın ayırma hassasiyeti, ayırma yoğunluğuna göre değişmektedir (Ateşok, 1986). Ayırma yoğunluğundan ötürü hassasiyet farklılığını gidermek için hassasiyet faktörü (1) kullanılmaktadır. Bu değer aşağıda verilen (2) numaralı formül ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Hassasiyet Faktörü (I)} = E_p / d_{50} \quad (2)$$

d_{50} = Ayırma yoğunluğu

Hassasiyet faktörü, bilhassa değişik ayırma yoğunluklarında çalışan cihazların karşılaştırılmasında en uygun kriterdir. Ayırma verimi açısından değerlendirme yapıldığında ise iki yönden bakmak gerekmektedir. Birincisi eğrinin dike yakın olup olmaması, ikincisi ise E_p değeridir. Tromp eğrisi ne kadar dike yakın olursa, ayırma o kadar iyi gerçekleşmiş demektir. İyi bir yıkama işlemi olması için E_p değerinin 0,1'in altında olması gerekmektedir (Ateşok, 1986).

2. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA

2.1. Yüzdürme-Batırma Testleri

Sekköy kömür yıkama tesisinde tüvanan linyit kömürü kırma ve eleme işlemleri sonrası -90+50 mm tane boyutu Drewboy teknesine ve -50+1 mm ise Larcodem ayırıcısına beslenmektedir. Her iki cihaza beslenen kömürlerin kül ve kükürt değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Cihazlara beslenen kömürün kül ve kükürt oranları (kuru bazda)

Tane İriliği (mm)	Kül (%)	Kükürt (%)
-90+50	41,76	2,25
-50+1	43,35	2,06

Çizelge 2'de görüldüğü gibi Drewboy teknesine beslenen kömürün (-90+50 mm) kül oranı %41,76 olarak tespit edilmiştir. Bu cihaza beslenen kömürün yıkanabilirlik özellikleri incelenmiş

ve yıkama eğrileri Şekil 2'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi Drewboy teknesine beslenen kömürün yıkanabilirliği yorumlandığında yıkama yoğunluğunun 1,6 g/cm³ olduğu belirlenmiştir.

Larcodem ayırıcısına beslenen tüvanan kömürün (-50+1 mm) kül oranı ise %43,35 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 2). Bu yıkama cihazına beslenen kömürün yıkanabilirlik özellikleri de incelenmiş ve yıkama eğrileri Şekil 3'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi Larcodem ayırıcısına beslenen kömürün yıkanabilirliği yorumlandığında yıkama yoğunluğunun 1,5-1,6 g/cm³ seçilebileceğini söylemek mümkündür.

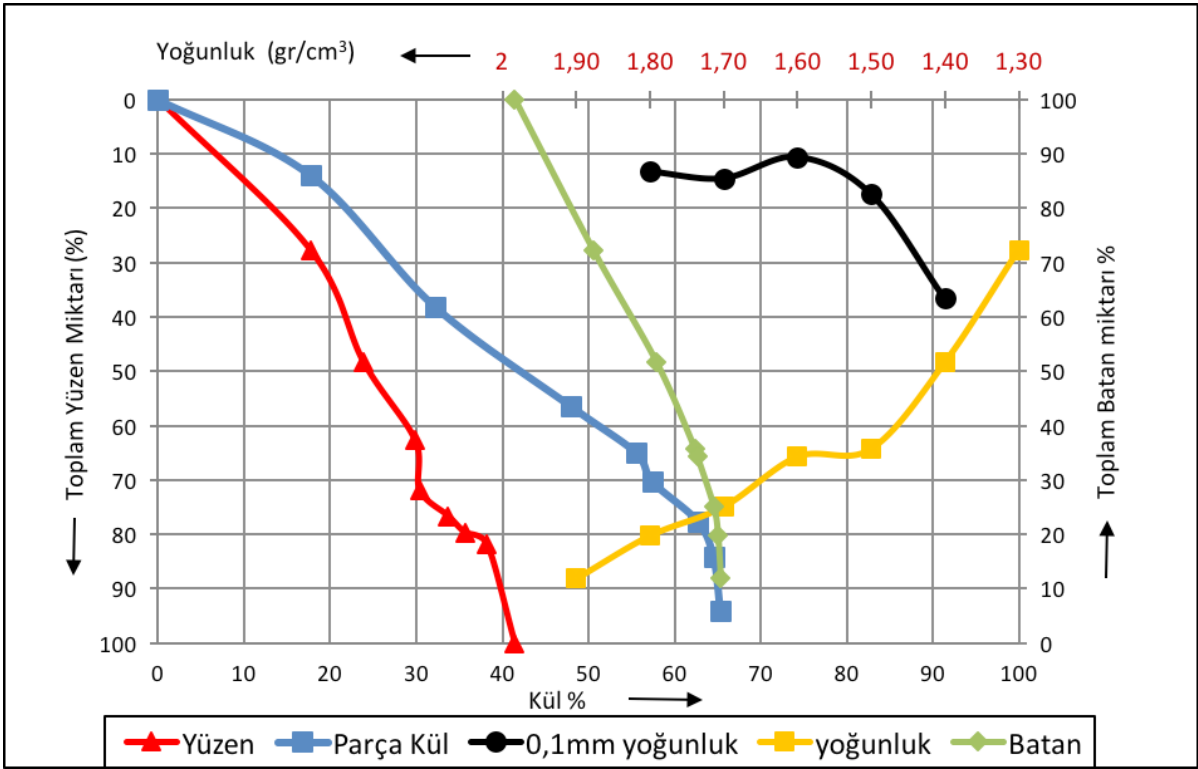
2.2. Cihazların Performans Ölçümü

Drewboy teknesi ve Larcodem ayırıcısının performans eğrileri (tromp eğrileri) çizilmiştir (Şekil 4). Drewboy teknesinin kesme yoğunluğu 1,5 g/cm³ civarında seyretmektedir. Bu durum Drewboy teknesinin kesme noktasında büyük bir kayma olmadığını göstermektedir. Drewboy teknesi için hesaplanan d_{50} ve E_p değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi E_p değeri sınırlar ($E_p < 0,12$) içindedir. Elde edilen veriler incelendiğinde Drewboy teknesinde kömür yıkama işlemi oldukça yüksek bir performansla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca tromp eğrisinin dike yakın bir şekilde olması da ayırmanın oldukça iyi olduğunu bir göstergesidir.

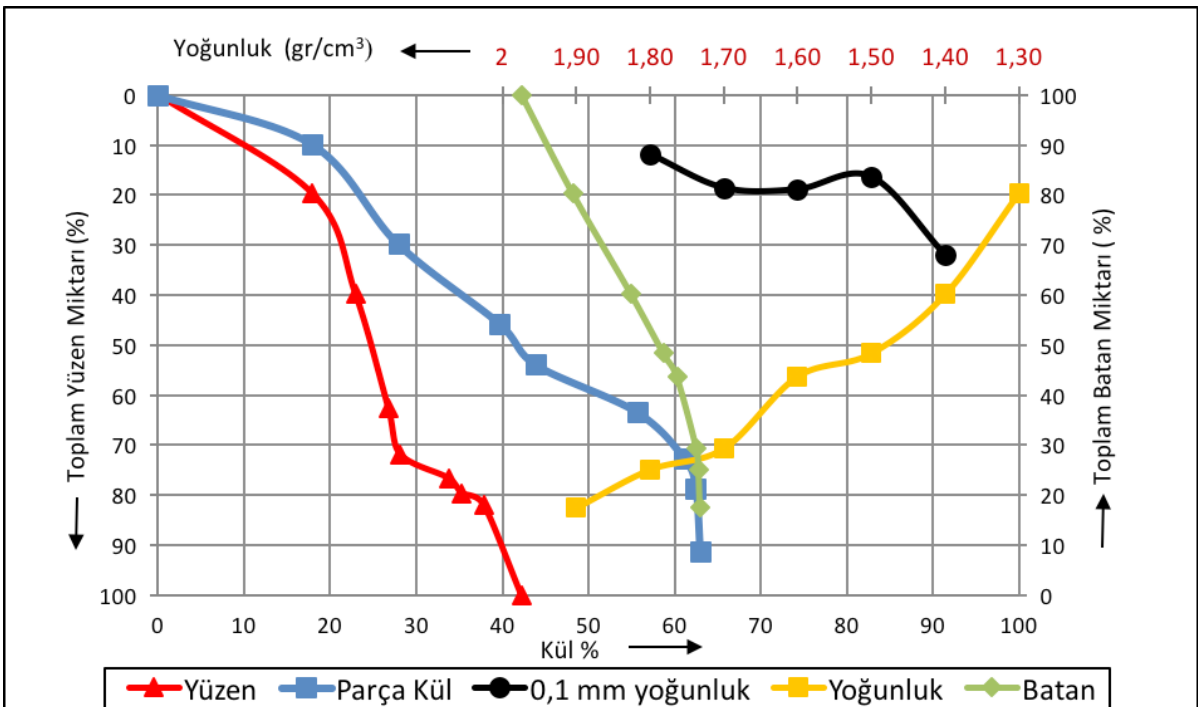
Larcodem ayırıcısının kesme yoğunluğu 1,8 g/cm³ dolaylarında seyretmektedir. Yıkama işleminin 1,6-1,7 g/cm³ ayırma yoğunluğunda yapılması beklendiğinden bu durumun Larcodem ayırıcısının kesme noktasında büyük bir kayma olduğunu göstermektedir. Larcodem ayırıcısı için hesaplanan d_{50} ve E_p değeri Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi Larcodem ayırıcısında kömür yıkama işlemi oldukça düşük bir performansla gerçekleştirilmektedir. Ayrıca tromp eğrisinin de yatık olduğu görülmektedir. Ortaya çıkan bu durum performansta düşüş olduğunu bir göstergesidir.

Çizelge 3. Yıkama cihazlarının hesaplanan d_{50} ve E_p değerleri

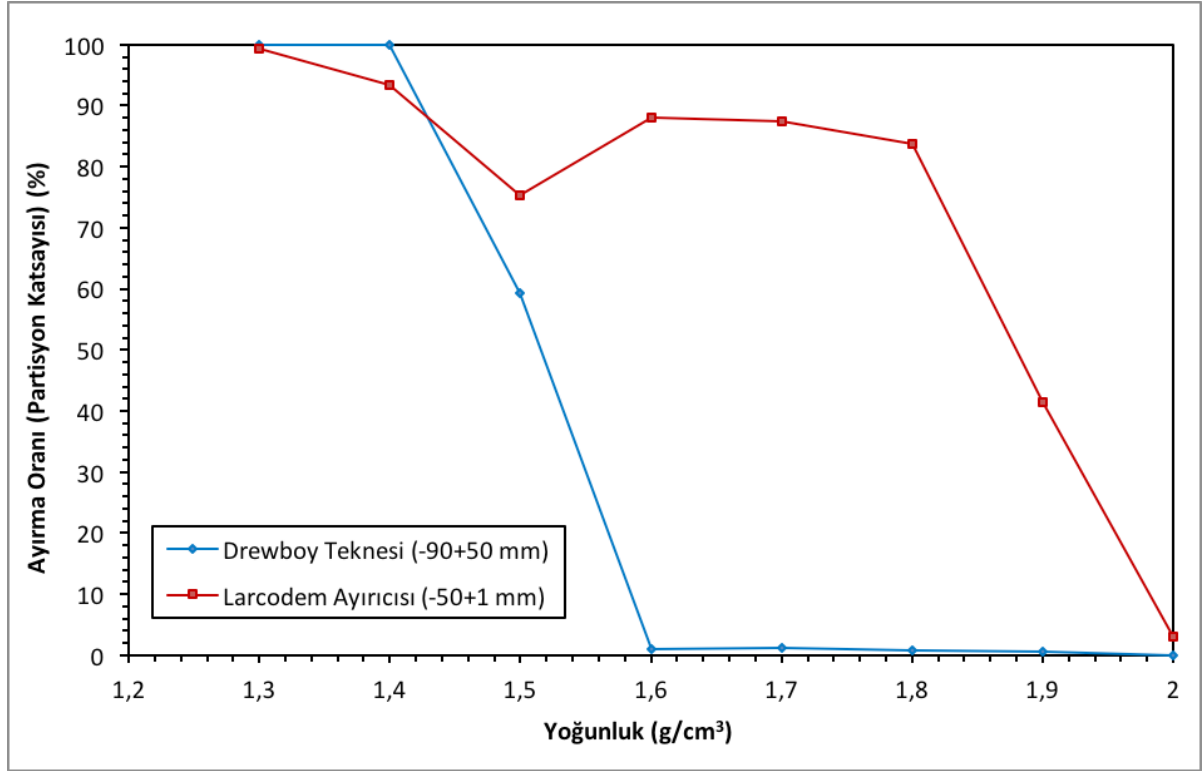
	Drewboy Teknesi (-90+50 mm)	Larcodem Ayırıcısı (-50+1 mm)
d_{50} (g/cm ³)	1,520	1,883
E_p	0,050	0,225



Şekil 2. Drewboy teknesine beslenen tüvanan kömürün (-90+50 mm) yüzdürme-batırma eğrileri



Şekil 3. Larcodem ayırıcısına beslenen tüvanan kömürün (-50+1 mm) yüzdürme-batırma eğrileri



Şekil 4. Yıkama cihazlarının performansına yönelik tromp eğrileri

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında TKİ-GELİ Müessesesi Sekköy lavvarındaki Drewboy teknesi ve Larcodem ayırıcısının mevcut çalışma durumunu da irdelemek amacı ile bu cihazlara beslenen kömür, temiz kömür (lave) ve artıktan (şist) temsili numuneler alınmıştır. Bu numunelere yüzdürme-batırma testleri uygulanmıştır. Her iki cihazın kömür yıkama performansı ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Drewboy teknesine beslenen kömürün kül değeri %41,76'dır. Bu cihazda yapılan yıkama işlemi ile 1,6 gr/cm³ yıkama yoğunluğunda %30,39 küllü temiz kömür elde edilebileceği görülmektedir.
- Larcodem ayırıcısına beslenen kömürün kül değeri %35,77'dir. Bu cihazda yapılan yıkama işlemi ile 1,6 gr/cm³ yıkama yoğunluğunda %28,17 küllü temiz kömür elde edilebileceği görülmektedir.
- Tromp'a göre performans değerlendirmesi, Drewboy teknesinde kesme yoğunluğu yakla-

şık olarak 1,5 g/cm³'tür ve kesme noktasında kayma bulunmamaktadır. Drewboy teknesinin E_p değeri ise 0,050'dir. Bu ekipmana ait fraksiyonel E_p değeri, ekipmanların karakteristik E_p sınırları arasında bulunması nedeniyle temiz kömür kalitesine olumsuz yönde bir etki etmeyeceği görülmektedir.

- Larcodem ayırıcısında ise kesme yoğunluğu yaklaşık olarak 1,883 g/cm³'tür ve bu durum kesme noktasında büyük bir kayma olduğunu göstermektedir. Larcodem ayırıcısının E_p değeri 0,225'dir. Larcodem ayırıcısındaki yıkama veriminin (performansının) düşük olduğu görülmektedir. Bu cihazın çalışma parametrelerindeki değişimlerden daha fazla oranda etkilendiği ve çalıştırma parametrelerinin yeniden belirlenmesi gerektiği söylenebilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, MMF2012YL26 No'lu Proje desteğinden dolayı Çukurova Üniversitesi BAP birimine, TKİ-GELİ ve Zafer Madencilik Ltd. Şti.'ne numune temini ve laboratuvar imkanları için teşekkürü bir borç bilmektedir.

KAYNAKLAR

Altınçelep, Z., 2013. TKİ-GELİ Müessesesi Sekköy Kömür Hazırlama Tesisinin Performansının Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, S 125.

Ateşok, G., 1986. Kömür Hazırlama. İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul, 158-167.

Hacıfazlıoğlu, H., 2009. Türkiye'den Patentli Kömür Yıkama Cihazı: Çift Makaralı Ağır Ortam Ayırma Sistemi. Madencilik Bülteni, cilt.91, ss.108, 2009.

Hacıfazlıoğlu, H., 2013. Kömür Hazırlama. Ders Notu, Basılmamış.

Horsfall, D. W., 1980. Coal Preparation and Usage. Coal Publications Ltd., Johannesburg, South Africa.

Önal, G., Güney, A., 1998. Kömür Hazırlama Yöntemleri ve Tesisleri. Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri. Ed. Kural, Özgün Ofset Matbaacılık, 269-295.

Özbayoğlu, G., 1994. Kömür Zenginleştirme Yöntemleri. Cevher Hazırlama El Kitabı. Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, Ed. Önal, G. ve Ateşok, G., İstanbul, 349-367.

Sönmez, B., 1999. Kömür Hazırlama Tesislerinin Simülasyonu İçin Bilgisayar Paket Programının Geliştirilmesi. H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara.

Şengül, C. O., 2008. TKİ-GELİ Müessesesi Ömerler Kömür Hazırlama Tesisinin Performansının Değerlendirilmesi. H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.



ULUSLARARASI MADENCİLİK VE ÇEVRE SEMPOZYUMU

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MINING AND ENVIRONMENT

27-29 EYLÜL 2017
SEPTEMBER 27-29, 2017
BODRUM, MUĞLA/TÜRKİYE



TMMOB Maden Mühendisleri Odası
UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey

IMMAT
6. ULUSLARARASI
MADEN MAKİNALARI VE
TEKNOLOJİLERİ KONGRESİ
6th International Congress of Mining
Machinery and Technologies

18-21 Ekim
Oct. 2017

MINEX
T. AKIN, M. K. KAYMAKÇI, M. KAYMAKÇI VE
M. KAYMAKÇI
The Mining, Mineral Processing and
Technology Fair

18-21 EKİM
OCT 2017

MINEX
MIFAS

www.immat.org.tr

TMMOB
Maden Mühendisleri Odası
Adana Şubesi

**ULUSLARARASI
MADEN İŞLETMELERİNDE
İŞÇİ SAĞLIĞI ve İŞ GÜVENLİĞİ
SEMPOZYUMU'2017**

2-3 - KASIM 2017
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ MİTHAT ÖZSAN AMFİSİ
ADANA

İLETİŞİM
TMMOB Maden Mühendisleri Odası Adana Şubesi
web : www.madenisg.org
e-posta : isg@madenisg.org

Tel. : 0 322 459 97 60
: 0 546 425 10 76
Faks : 0 322 459 97 61

13-15 December / Aralık 2017
Antalya/Türkiye

**9th International Marble &
Natural Stone Congress and
Exhibition of Turkey**

**Türkiye 9. Uluslararası
Mermer ve Doğaltaş Kongresi ve Sergisi
MERSEM2017**

**TMMOB Maden Mühendisleri Odası
UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey**

www.merssem.org.tr

**IX. DELME-PATLATMA
SEMPOZYUMU**

1 - 2 Aralık 2017, Ankara

1. Duyuru

**TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI**