

# MT Bilimsel

Yer Altı Kaynakları Dergisi | *Journal of Underground Resources*

**Derginin Adı**  
MT Bilimsel

**İmtiyaz Sahibi**  
MAYEB Madencilik ve Yer Bilimleri Basım Yayın Dağıtım Ltd. Şti.

**Genel Koordinatör**  
Onur Aydın  
onur@mtbilimsel.com

**Yazı İşleri Müdürü**  
O. Çağım Tuğ  
cagim@madencilik-turkiye.com

**İdari İşler**  
Volkan Okyay  
volkan@madencilik-turkiye.com

**Yurtdışı İlişkiler**  
Eray İmgel  
eray@madencilik-turkiye.com

**Grafik Tasarım - Uygulama**  
Gökçe Çınar  
gokce@madencilik-turkiye.com

**İnternet Teknolojileri**  
Bilgin B. Yılmaz  
bilgin@madencilik-turkiye.com

**Hukuk Danışmanı**  
Av. Evrim İnal  
evrim@madencilik-turkiye.com

**Yayın İdare Merkezi**  
1042. Cd. (Eski 4. Cd.) 1335. Sk.  
(Eski 19. Sk.) Vadi Köşk Apt.  
No: 6/8 A. Öveçler ANK.  
Tel : +90 (312) 482 18 60  
Fax : +90 (312) 482 18 61

info@mtbilimsel.com

www.mtbilimsel.com

Yerel Süreli Yayındır

ISSN 2146-9431

Ulusal Hakemli Dergidir



## Yayın Kurulu

### Baş Editör:

C. Okay Aksoy (Dokuz Eylül Üni., Maden Müh. Bölümü)  
o.aksoy@mtbilimsel.com

### Yardımcı Editörler:

Mahmut Yavuz  
Eskişehir Osmangazi Üni., Maden Müh. Bölümü

Vehbi Özacar  
Dokuz Eylül Üni., Maden Müh. Bölümü

Eren Kömürlü  
Karadeniz Teknik Üni., Maden Müh. Bölümü

**Madencilik Türkiye Dergisi Temsilcisi**  
Onur Aydın (Madencilik Türkiye Dergisi)  
onur@mtbilimsel.com

### Editörler (Alfabetik):

- Ali Sarışık (Harran Üni., İnşaat Müh. Bölümü)
- Ayhan Kesimal (Karadeniz Teknik Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Bahtiyar Ünver (Hacettepe Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Christopher Mark (Mine Safety & Health Admin., Coal Mine S. & H.)
- Çağatay Pamukçu (Dokuz Eylül Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Ece Kılınç Alsay (Dokuz Eylül Üniversitesi)
- Emin Candansayar (Ankara Üni., Jeofizik Müh. Bölümü)
- Erol Kaya (Dokuz Eylül Üni., Maden Müh. Bölümü)
- G. Gülsev Uyar (Hacettepe Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Güner Gürtunca (National Institute for Occupational Safety & Health)
- Işık Yılmaz (Cumhuriyet Üni., Jeoloji Müh. Bölümü)
- İhsan Özkan (Selçuk Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Juraj Svork (Ferrit S.R.O.)
- Kadri Dağdelen (Colorado School of Mines, Dept. of Mining Eng.)
- Kerim Aydınar (Karadeniz Teknik Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Kerim Küçük (Dokuz Eylül Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Marilena Cardu (Politecnico de Torino)
- Melih Geniş (Bülent Ecevit Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Mustafa Ayhan (Dicle Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Nuh Bilgin (İstanbul Teknik Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Nuray Demirel (Orta Doğu Teknik Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Peter Cain (DMT Geosciences Ltd.)
- Pinnaduva Kulatilake (The Univ. of Arizona, Dept. of Min. & Geo. Eng.)
- Raşit Altındağ (Süleyman Demirel Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Reşat Ulusay (Hacettepe Üni., Jeoloji Müh. Bölümü)
- Sair Kahraman (Niğde Üni., Maden Müh. Bölümü)
- Samuel Frimpong (Missouri Univ. of Science & Tech., Dept. of Min. Eng.)
- Şevket Durucan (Imperial College, Mining And Environmental Eng.)
- Tim Joseph (Univ. of Alberta, School of Mining & Petroleum Eng.)
- Turgay Ertekin (The Pennsylvania State Univ., Petroleum & Nat. Gas Eng.)
- Turgay Onargan (Dokuz Eylül Üni., Maden Müh. Bölümü)

Yıl:5 | Sayı:10 | Temmuz 2016

ISSN: 2146-9431

Year:5 | Number:10 | July 2016

## İçindekiler

Metin Uçurum, Fatih Özer

**Konvansiyonel Bilyeli Değirmende Kalsitin Mikronize Öğütmesinin Renk Parametreleri Kullanılarak İstatistiksel Proses Kontrolü**

*Statistical Process Control of Micronized Calcite Grinding Operation in the Conventional Ball Mill Using Color Parameters* .....1

Volkan Arslan, Oktay Bayat

**Kolemanit Cevherinden Oksalik Asit Liçi ile Borik Asit Eldesi**

*Production of Boric Acid From Colemanite Ore by Oxalic Acid Leaching* .....11

Derya Durmaz, Levent Gülen

**3-Boyutlu Sismik Yöntemlerle Petrol Araması**

*Oil Exploration Using 3-D Seismic Methods* .....21

Serdar Yaşar, Ali Osman Yılmaz

**Kayaç Kesme Teorilerinin Tarihsel Gelişimi: Kama Uçlu Keskiçer**

*Historical Evolution of Rock Cutting Theories: Chisel Cutters* .....31

Nevzat Kavaklı, Seyfi Kulaksız, M. Tombul, M. Sever

**Economic Potential and Production of Gypsum Deposits in Turkey**.....43



## Konvansiyonel Bilyeli Değirmende Kalsitin Mikronize Öğütmesinin Renk Parametreleri Kullanılarak İstatistiksel Proses Kontrolü

*Statistical Process Control of Micronized Calcite Grinding Operation in the Conventional Ball Mill using Color parameters*

Metin Uçurum<sup>1\*</sup>, Fatih Özer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümü, Bayburt

<sup>2</sup>Nidaş Madencilik Taşımacılık Makina İthalat İhracat Kimya San. Tic. A.Ş. Niğde

\*Sorumlu Yazar: [mucurum@bayburt.edu.tr](mailto:mucurum@bayburt.edu.tr)

### Özet

Sanayide endüstriyel minerallerin mikronize boyutlarda öğütülmesinde kuru olarak çalıştırılan konvansiyonel bilyeli değirmenler yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Söz konusu değirmen havalı bir seperatörle kapalı devre çalıştırılarak ince/çok ince boyutlarda ürünler üretilmektedir. Kalsit cevheri, mikronize boyutlara ( $d_{50}=1-100 \mu m$ ) öğütüldükten sonra dolgu minerali olarak sanayinin birçok alanında kullanılmaktadır. Elde edilen bu ürünlerin renk parametre değerlerinin üretim sürecinde kontrolü pazarlama açısından büyük önem taşımaktadır. İstatistiksel Proses Kontrolü (İPK) teknikleri ise üretim faaliyetleri çalışmalarının ana bileşenlerinden birisi olarak kabul edilmekte olup üretim sürecinin kontrol altında tutulmasında en çok kullanılan matematik esaslı bir yöntemdir. Bu çalışma; bir mikronize kalsit öğütme tesisinde faaliyet gösteren konvansiyonel bilyeli değirmen prosesinde yapılan İPK çalışmalarını içermektedir. Elde edilen sonuçlar, üzerinde çalışılan mikronize kalsit değirmen ünitesinin renk parametreleri açısından üniform bir üretim gerçekleştirdiğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kalsit, Mikronize Öğütme, Renk Parametreleri, İstatistiksel Proses Kontrol.

### Abstract

Conventional dry ball mills are used intensively to micronize grinding process of minerals in the industry. Fine/very fine sizes of mineral products could be produced with the mill running closed circuit by air separations. Calcite is used as a filler mineral in many areas of industry after grinding micronized size ( $d_{50}=1$  to  $100 \mu m$ ). Statistical Process Control (SPC) techniques, mathematical based, are considered as one of the main components of the production activities and it is most widely used to keep under control the production process This study includes SPC works for the conventional ball mill process, in a calcite grinding plant. The statistical studies showed that micronized grinding plant has uniform products in terms of color parameters and it is working within its specifications.

**Key words:** Calcite, Micronized Milling, Color Parameters, Statistical Pprocess Control.

## 1.Giriş

Küresel rekabet ortamının bir sonucu olarak, işletmeler artık belirli bir kalite seviyesinde üretmek ve bunu sürekli iyileştirmek zorunda olduklarını öğrenmişlerdir. Kalite iyileştirme ve geliştirme sürecinde istatistiksel teknikler geniş bir kullanım alanına sahiptir. İstatistiğin kalite kontrolde geniş uygulama olanağı bulması, minimum malzeme ve işçilikle yüksek kalite düzeyinde ve büyük miktarlarda üretimi zorunlu kılan II. Dünya Savaşı'nda gerçekleşmiştir. İstatistiksel teknikler, süreçlerde gözlenen değişkenlikleri belirlemeye çalışır. İstatistik, imalat sisteminde görülen bir aksaklık veya kontrolsüzlük sonucunda mamul özelliklerinde standartlardan sapmaları ortaya çıkaracaktır. İstatistiksel tekniklerin kaliteyi iyileştirdiği, geliştirdiği, verimliliği arttırdığı ve maliyetleri düşürdüğü bilinmektedir. İstatistiksel teknikler; karmaşık süreçleri analiz ederek, bunlar arasındaki sebep-sonuç ilişkilerini ortaya çıkarmakta ve kalite iyileştirme faaliyetlerini kolaylaştırmaktadır. Nitekim istatistiksel tekniklerin; otomotiv, elektronik, tekstil, sağlık ve gıda gibi çeşitli endüstri dallarında kullanıldığı bilinmektedir. Kalite ve süreç iyileştirme çalışmalarında birçok yöntem geliştirilmiştir. İstatistiksel teknikler, uygulama sürecinde ortaya çıkan problemlerin belirlenmesinde, çözülmesinde ve gerekli verilerin oluşturulmasında etkin bir kullanıma sahiptir (Kaya ve Ağa, 2003).

İstatistiksel proses kontrol (İPK) metodolojisinde bir bütünün tamamını kontrol etmek yerine bütünden örnekler alarak sonuçlara göre bütün hakkında tahminde bulunmak için kullanılan araçları ifade eder. Proses, bir ürün veya hizmetin önceden belirlenen nitelikte elde edilebilmesi için kullanılan makine, alet, metot, malzeme ve insan gücünün bütünüdür. Kontrol, prodesteki verilerin ölçümünde ve analizinde istatistiksel tekniklerin uygulanması anlamını taşır. Değişkenlik, kısaca gerçek değerden sapmalar olarak tanımlanır. Bütün prosesler, makine, takım, malzeme, operatör, bakım ve çevre koşullarından kaynaklanan değişime uğrarlar (Durman ve Pakdil 2010). Değişken şemaları ürünün kalitesini belirleyen bir özelliğinin ölçülmesi ve kalitenin bu şekilde takip edilmesi için kullanılır. Bazı proseslerde veri toplaması alt gruplar halinde yapılamaz. Herhangi bir anda prodesten sadece bir tek gözlem alınabilir. Bu durumda  $\bar{X}-R$  şeması kullanılamaz. Böyle durumlarda bireyler için kontrol şemaları kullanılabilir. Bireysel gözlemler için kullanılan bir  $\bar{X}$  şemasıyla kalite karakteristiğinin değişkenliği kontrol edilir. Hareketli aralıklardan oluşturulan bir  $mR$  şeması ile süreç değişkenliği kontrol edilir. Bu iki şema birlikte kısaca  $\bar{X}mR$  şemaları olarak bilinir (Özdemir, 2003). Proses yeterlilik analizinin amacı; proses ortalaması ve standart sapmasını, spesifikasyonlar ile ilişkilendirerek prosesin tüketici isteklerine uygun ürün oluşturma yeteneğini değerlendirmektir. İşletmelerin ulaşmak istediği amaç; proses ortalamasının hedef değer üzerinde ve yayılımın spesifikasyonlar içerisinde, mümkün olan en küçük değerde oluşmasıdır (Montgomery, 2001).

Günümüzde hemen hemen tüm modern renk ölçümü, renk spesifikasyonu, CIE (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun) sistemine dayanmaktadır. Bu sistem, 1931'de oluşturulmuş olup, buna rağmen temel yapı ve prensiplerde değişiklik yapılmaksızın bu tarihten itibaren yeni eklemeler ve düzeltmeler yapılmıştır. CIE sistemi, renk algılama teorilerinden ziyade deneysel gözlemlere dayanmaktadır. Renk ölçümünde, ışık kaynağı, gözlemci ve yüzey daima göz önünde tutulmalıdır (McDonald, 1997). X, Y ve Z tristimulus değerleri, rengi sayısal olarak ifade edebilmekle birlikte renk hakkında bilgi vermemektedir. Rengin daha kolaylıkla anlaşılabilir bir tanımını yapmak üzere 1976 yılında CIE, X, Y ve Z tristimulus değerlerinden hesaplanan  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  şeklindeki üç koordinatı bulunan ve CIELab sistemi olarak adlandırılan bir sistemi tanımlamıştır. Bu parametrelerdeki "\*" işareti, daha önce geliştirilmiş farklı renk sistemlerindeki benzer formüllerinden CIE formüllerini ayırt edebilmek için kullanılmaktadır (Yeşil, 2010). CIEL\*a\*b\* renk sisteminde; renklerdeki farklılıklar ve bunların yerleri  $L^*, a^*, b^*$  renk koordinatlarına göre tespit edilmektedir. Burada,  $L^*$  siyah-beyaz (siyah için  $L^*=0$ , beyaz için

$L^*=100$ ) ekseninde,  $a^*$  kırmızı-yeşil (pozitif değeri kırmızı, negatif değeri yeşil) ekseninde,  $b^*$  ise sarı-mavi (pozitif değeri sarı, negatif değeri mavi) ekseninde yer almaktadır (Oliver ve ark., 1992; McGuire, 1992).

Kalsit, birçok sanayinin ana girdisi olup titanyum dioksit gibi çok pahalı pigmentlerin daha az kullanılmasını sağladığı için gerek ekonomik gerekse çevre sağlığı açısından kullanımı yaygın bir maddedir (Megep, 2008). Türkiye kalsitleri, kalitesi ve rezervleri bakımından çok iyi olup bilinen rezervlerin toplamı yüz milyonlarca ton ile ifade edilebilmektedir. Bunların dikkat çeken en önemli özellikleri ise, yüksek  $CaCO_3$  yüzdesi, safsızlıklardan silis ve demir oranının çok düşük olmasıdır. Türkiye'nin en beyaz oluşumlarını ise Niğde Bölgesinin kalsit rezervleri teşkil etmektedir. Mikronize kalsitte hemen hemen her türlü ürünün ülkemizde yüksek kalitede üretilebilir olması özellikle boya, kâğıt, plastik vb. birçok sanayi dalı için çok önemli bir rekabet avantajı sağlamaktadır (DPT, 2001). Endüstriyel ölçekte kalsitin mikronize boyutlarda öğütülmesinde iki temel öğütme teknolojisi kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi kuru olarak çalıştırılan konvansiyonel bilyeli değirmenler ikincisi ise karıştırmalı bilyeli değirmenlerdir (stirred mill). Söz konusu değirmenler havalı bir seperatörle kapalı devre çalıştırılarak ince/çok ince boyutlarda kalsit ürünleri üretilmektedir (Uçurum, 2014).

Bu çalışmada; istatistiksel proses kontrol tekniklerinden  $XmR$  grafiklerinden ve proses yeterlilik analizlerinden yararlanılmıştır. Söz konusu teknikler, bir konvansiyonel bilyeli değirmen ünitesinde mikronize boyutlara öğütülen kalsit ürünlerinin parlaklık ( $Ry$ ) ve renk parametreleri ( $L^*$ ,  $a^*$   $b^*$ ) için ayrı ayrı yapılarak yorumlanmıştır.

## 2. Malzeme-Yöntem

### 2.1 Malzeme

Bu çalışma; Niğde bölgesinde mikronize kalsit üretimi yapan Nidaş Madencilik A.Ş firmasına ait bilyeli değirmen ünitesinde üretilen ve  $d_{50}$  değeri ortalama  $2 \mu m$  olarak satılan ürün sınıfı için gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel proses kontrol çalışmalarında kullanılan veriler, söz konusu tesise ait Datacolor Elrepho 450x beyazlık ölçüm cihazında 2015 yılının Şubat-Mart aylarında yapılan ölçüm popülasyonundan rastgele seçilen doksan datadan oluşmaktadır.

### 2.2 Yöntem

Söz konusu çalışmada, istatistiksel proses kontrol tekniklerinden  $XmR$  kontrol grafikleri ve proses yeterlilik analizlerinden yararlanılmıştır.  $XmR$  grafikleri; parlaklık ( $Ry$ ) ve renk parametreleri ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) için çizilerek yorumlanmıştır.  $X$  kontrol grafikleri ortalama değerden sapmayı gösterirken,  $mR$  kontrol grafikleri ise homojenlikten ayrılma değerlerini belirlemek için kullanılmıştır. Kontrol grafiklerinin çizilmesinde üç (3) adet sınır değeri hesaplanmıştır. Bunlar; Alt Kontrol Sınır değeri (AKL), Üst Kontrol Sınır değeri (ÜKL) ve Orta Değerdir (OD). Bu değerlerin hesaplanmasında kullanılan formüller Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1.  $XmR$  kontrol grafikler limitlerinin hesaplama formülleri (Özdemir, 2003)

Grafik Türü	Merkez Hattı (Orta Değer, (OD))	Alt Kontrol Limiti (AKL)	Üst Kontrol Limiti (ÜKL)
Ortalama ( $\bar{X}$ )	$\bar{X}$	$\bar{X}-2,66*\bar{R}$	$\bar{X}+2,66*\bar{R}$
Değişim Aralığı ( $mR$ )	$\bar{R}$	0	$3,27*\bar{R}$

Söz konusu formüllerde:

$$\bar{X}=(X_1+X_2+X_3+\dots\dots\dots X_n)/n$$

$$\bar{R}=(R_1+R_2+R_3+\dots\dots\dots R_n)/n$$

X-R grafiklerinin değerlendirilmesi aşağıda verilen ilkeler kullanılarak yapılmıştır.

- i) Noktaların üçte ikisi orta değer (OD) üzerinde veya yakınında olmalı
- ii) Alt ve üst kontrol limitlerinin yakınında bulunan noktaların sayısı minimum olmalı
- iii) Noktalar orta değer çizgisinin aşağısına ve yukarısına rastgele ve dengeli dağılmış olmalı
- iv) Alt ve üst kontrol limitlerinin dışında hiçbir nokta olmamalı (İpek ve ark. 1999).

Proses yeterlilik analizinde proses yeterlilik indeksleri, histogram, normal olasılık işaretlemesi ve kontrol grafiği yaklaşımları kullanılabilir. Süreç yeterliliği, istatistiksel bir ölçüt olup müşteri beklentilerine (şartname limitleri spesifikasyonlar) göre bir sürecin ne kadar değişkenlik gösterdiğini özetler. Bu aşamada dikkate alınan parametreler Cp ve Cpk indisleridir. Cp indisi, şartname limitleri ile proses kontrol limitleri arasındaki ilişkiyi gösterir. Cpk indisi ise, proses ortalamasının hedef değere göre konumunu ve spesifikasyon limitleri arasındaki durumunu gösterir (Montgomery, 2001). Cp ve Cpk değeri ile çok benzer bir hesaplama mantığına sahip olmakla beraber Cpk'nin farkı süreç verilerindeki kaymayı da göz önünde bulundurmasıdır. Cp ve Cpk değerinin hesaplanması için aşağıdaki formülasyonlar (Eşitlik 1 ve 2) kullanılmaktadır.

$$Cp=[(\text{ÜSL}-\text{ASL})/6\sigma] \tag{1}$$

$$C_{pk}=\min[(\text{ÜSL}-\mu)/3\sigma ; (\mu-\text{ASL})/ 3\sigma] \tag{2}$$

yukarıdaki formüllerde ÜSL-üst spesifikasyon limitini, ASL-alt spesifikasyon limitini,  $\sigma$  standart sapmayı,  $\mu$  ise aritmetik ortalamayı temsil etmektedir (<http://www.kurumsalkalite.com>). Cp ve Cpk değerlerine göre sürecin yeterliliği hakkında karar vermede Tablo 2’de verilen değerler kullanılmaktadır (Zeyveli ve Selalmaz, 2008). Çalışmaların gerçekleştirildiği tesise ait Ry, L\*, a\*, b\*’ye ait spesifikasyon değerleri ise Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 2. Cp ve Cpk indislerinin karar noktaları (Işığışık, 2004)

Cp>1,33	Proses spesifikasyonları karşılar.
1<Cp<1,33	Proses spesifikasyonları karşılamaz. Proses kontrolü sürdürülmelidir.
Cp<1	Proses yetersiz. İyileştirmeler yapılmalıdır.
Cpk = 1	Verilerin bir kısmı spesifikasyonlara yaklaşır.
Cpk>1	Verilerin tamamı spesifikasyon sınırları içine düşer.
0<Cpk<1	Proses ortalaması spesifikasyon sınırlarının içindedir.
Cpk = 0	Proses ortalaması spesifikasyon sınırlarının birine eşittir.
Cpk<0	Proses ortalaması spesifikasyon sınırlarının dışındadır.

Tablo 3. Tesise ait spesifikasyonlar

	Ry	L*	a*	b*
ÜSL	100	100	0,10	1,50
ASL	95,0	95,0	0,00	0,00

### 3. Bulgular

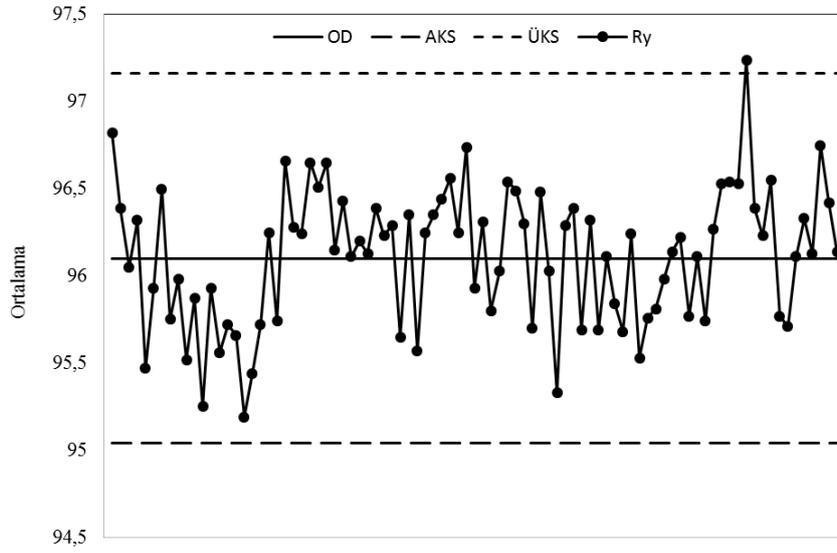
Elde edilen veriler kullanılarak parlaklık göstergesi Ry için hesaplanan X ve mR için Alt Kontrol Limiti (AKL, Orta Değer (OD), ve Üst Kontrol Limiti (ÜKL) Tablo 4’te verilmiştir. Bu hesaplamalar temel alınarak çizilen X ve mR grafikleri ise Şekil 1 ve 2’de sunulmuştur. X



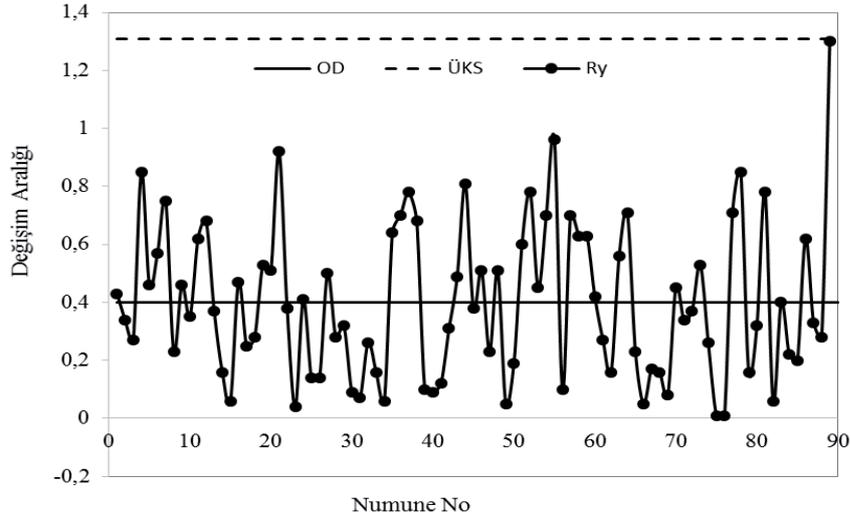
grafiğinin bir noktası hariç bütün noktaları alt ve üst kontrol limit sınırları içinde seyretmiş olup orta değer çizgisinin etrafında rastgele ve dengeli bir dağılım göstermiştir. mR kontrol grafiğinde ise sadece bir nokta üst kontrol limit çizgisinin üzerinde bulunurken diğer noktalar ise orta değer çizgisinin etrafında dağılım göstermektedir.

Tablo 4. Ry için X ve mR'ye ait AKL, OD ve ÜKL değerleri

$\bar{X}$	AKL=96,10-2,66*0,40= 95,04
	OD=96,10
	ÜKL= 96,10+2,66*0,40= 97,16
mR	AKL=0
	OD=0,40
	ÜKL=3,27*0,40=1,31



Şekil 1. Ry için X grafiği



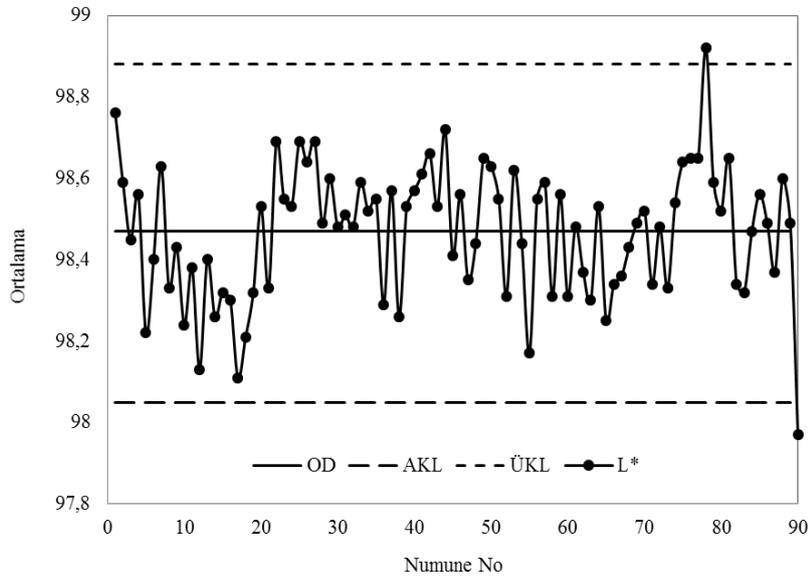
Şekil 2. Ry için mR grafiği

L\* parametresi için hesaplanan X ve mR'ye ait AKL, OD ve ÜKL değerleri Tablo 5'te verilmiştir. Bu hesaplamalar kullanılarak elde edilen X ve mR grafikleri ise Şekil 3 ve 4'de sunul-

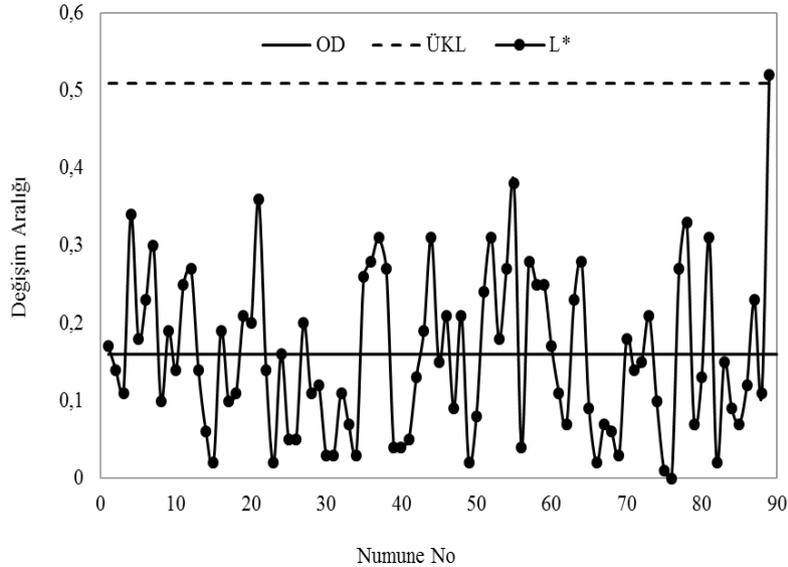
muştur. X grafiğinin iki noktası hariç bütün noktaları alt ve üst kontrol limit sınırları içinde ve orta değer çizgisinin etrafında simetrik bir dağılım seyretmiş olduğu görülmektedir. mR kontrol grafiğinde ise sadece bir nokta üst kontrol limit çizgisinin dışında yer alırken diğer noktalar ise orta değer çizgisinin etrafında bulunmaktadır.

Tablo 5. L\* için X ve mR'ye ait AKL, OD ve ÜKL değerleri

$\bar{X}$	AKL=98,47-2,66*0,160= 98,05 OD=98,47 ÜKL= 98,43+2,66*0,160= 98,86
mR	AKL=0 OD=0,160 ÜKL=3,27*0,160=0,52



Şekil 3. L\* parametresi için X grafiği



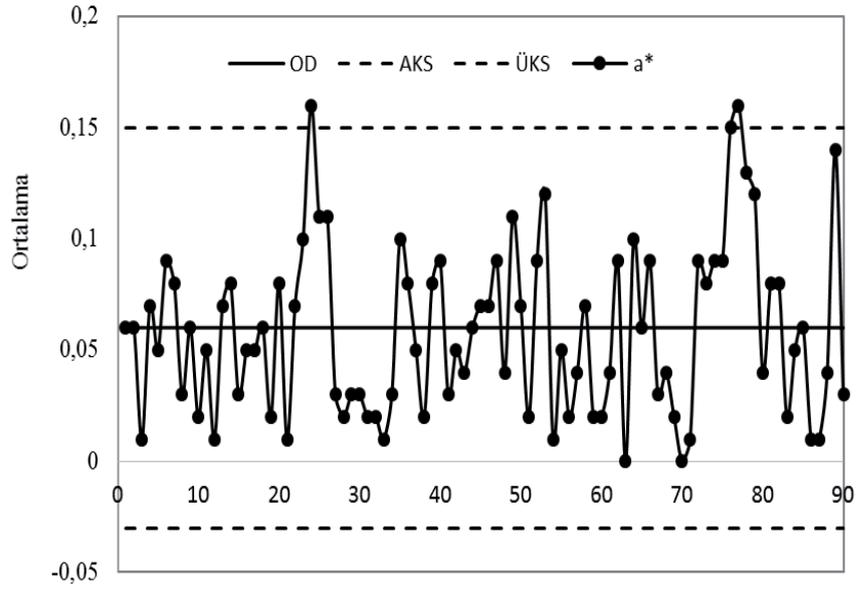
Şekil 4. L\* parametresi için mR grafiği

Tesisten elde edilen verilerden yararlanılarak oluşturulan a\* parametresinin X ve mR'nin AKL, OD ve ÜKL değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Bu hesaplamalardan faydalanılarak çizilen X ve

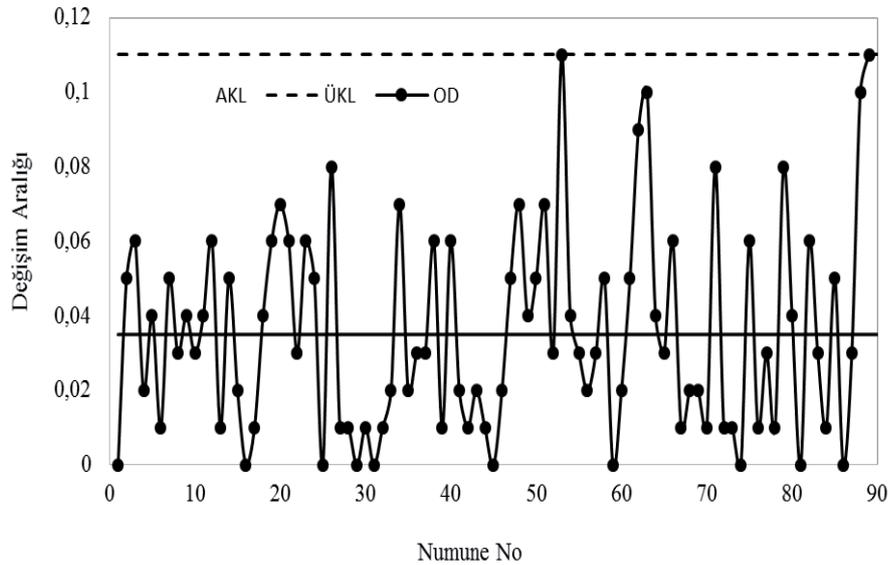
mR grafikleri ise Şekil 5 ve 6'da sırası ile sunulmuştur. X kontrol grafiğinde, iki nokta ÜKL dışında bir nokta söz konusu çizginin üzerinde kendini göstermiş olup diğer değerler ise orta değer ve alt kontrol limit çizgisi arasında seyretmiştir. mR kontrol grafiğindeki durum iki nokta üst kontrol limiti üzerinde kendisine yer bulmuş diğer noktalar orta değer çizgisinin etrafında simetrik bir yapıda dizilmiştir.

Tablo 6. a\* için X ve mR' ye ait AKL, OD ve ÜKL değerleri

$\bar{X}$	$AKL=0,06-2,66*0,035= -0,033$
	$OD=0,06$
	$ÜKL=0,06+2,66*0,035= 0,15$
mR	$AKL=0$
	$OD=0,035$
	$ÜKL=3,27*0,035=0,11$



Şekil 5. a\* parametresi için X grafiği

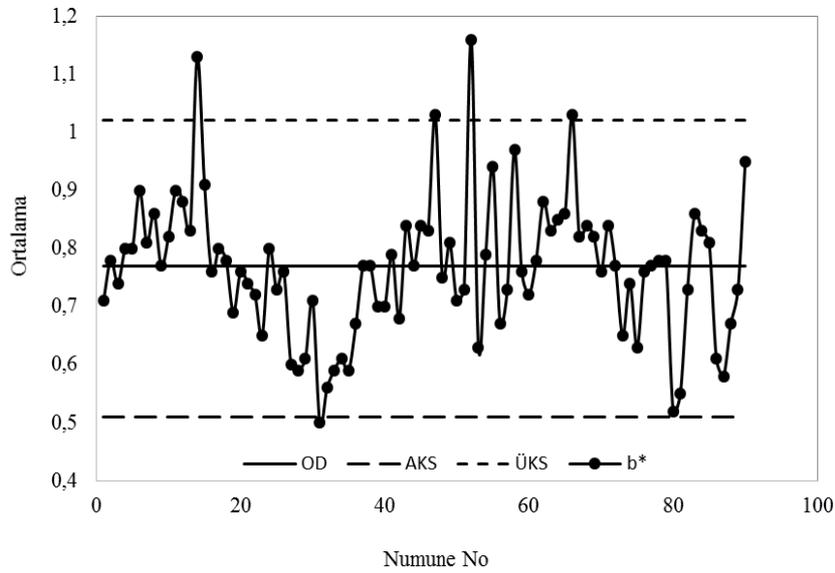


Şekil 6. a\* parametresi için mR grafiği

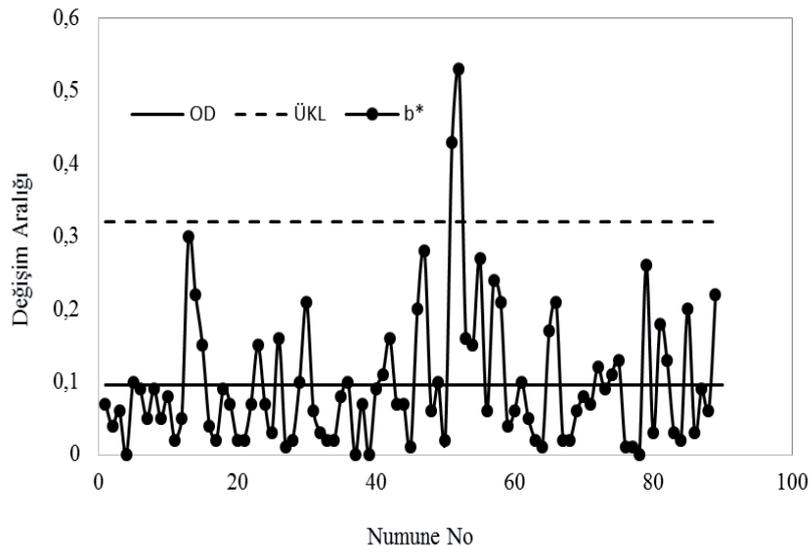
Kalsit ürünleri için  $L^*$  değerinden sonra en önemli parametre olan sarılık göstergesi  $b^*$  için hesaplanan  $X$  ve  $mR$ 'ye ait Alt Kontrol Limiti, Orta Değer ve Üst Kontrol Limiti değerleri Tablo 7'de, bu hesaplamalar kullanılarak elde edilen  $X$  ve  $mR$  grafikleri ise Şekil 7 ve 8'de verilmiştir.  $X$  grafiğinin dört noktası ÜKL çizgisininim üzerinde diğer noktaları ise alt ve üst kontrol limit sınırları içinde yer almış olup orta değer çizgisinin etrafında rastgele ve dengeli bir dağılım göstermişlerdir.  $mR$  kontrol grafiğinde ise sadece iki nokta üst kontrol limit çizgisinin dışında bulunurken diğer noktalar orta değer çizgisinin etrafında kendilerine yer bulmuş olduğu görülmektedir.

Tablo 7.  $b^*$  için  $X$  ve  $mR$ 'ye ait AKL, OD ve ÜKL değerleri

$\bar{X}$	AKL= $0,77-2,66*0,096= 0,51$ OD = $0,77$ ÜKL= $0,77+2,66*0,13= 1,03$
$mR$	AKL=0 OD= $0,096$ ÜKL= $3,27*0,096=0,31$



Şekil 7.  $b^*$  parametresi için  $X$  grafiği



Şekil 8.  $b^*$  parametresi için  $mR$  grafiği

Bu çalışmada; proses yeterlilik analizi, proses ortalaması ve standart sapmasını, toleranslar ile ilişkilendirerek prosesin alıcı isteklerine uygun ürün oluşturma yeteneğini ortaya koymak ve ürün gerekliliklerinin veya spesifikasyonların üretim süreci içerisinde sağlanma derecesini test etmek için kullanılmıştır. Üzerinde çalışılan mikronize öğütme tesisi proses yeterlilik analizi (Cp ve Cpk indisleri) Ry-L\*-a\*-b\* için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan standart sapma ( $\sigma$ ) değerleri ise söz konusu parametreler için sırası ile 0,41-0,16-0,038-0,12 olarak bulunmuştur. Proses Yeterlilik analiz sonuçları ise Tablo 8’de verilmiştir. Sonuçlar, Tablo 4 temel alınarak değerlendirildiğinde tesisin kendi spesifikasyonları dâhilinde çalıştığı anlaşılmaktadır.

Tablo 8. Cp ve Cpk değerleri

	Ry	L*	a*	b*
USL	100,0	100,0	0,10	1,50
ASL	95,00	95,00	0,00	0,00
Cp	2,03	5,20	0,44	2,08
Cpk <sub>1</sub>	3,17	3,19	0,35	2,03
Cpk <sub>2</sub>	0,90	7,23	0,52	2,14

#### 4. Sonuçlar

Ülkemiz endüstriyel mineraller açısından oldukça zengin olup bunlardan kalsit, mikronize boyutlara öğütüldükten sonra endüstrinin birçok alanında kullanılmaktadır. Özellikle kâğıt, plastik, kauçuk ve boya sanayinde kullanılan bu mineralin bazı fiziksel özelliklere sahip olması istenmektedir. Bu özelliklerin başında ise yüksek beyazlık derecesine sahip olması gelmektedir. Zira renk parametrelerinden L\* değerinin mikronize kalsit ürünlerinde en az 95, b\* yani sarılık göstergesinin de 1 civarında olması genel kabul görmektedir. Bu nedenle konvansiyonel bilyeli değirmen ürünlerinin ürün kalitesinin belirlenmesinde renk parametreleri büyük önem arz etmektedir. Bunun yanında ürünlerin renk kalitesindeki devamlılık tüketicilerin en önemli talepleri arasında yer almaktadır. Bu nedenle mikronize kalsit ürünlerinin üretimi esnasında renk özelliklerinin sürekli kontrolü kaçınılmaz olmaktadır. Bu bağlamda örnek bir çalışma olması amacı ile Niğde ilinde kalsit sektöründe faaliyet gösteren Nidaş firmasına ait konvansiyonel bilyeli değirmen ürün kalitesi, parlaklık (Ry), ve renk parametrelerinden L\*,a\* ve b\* değerleri kullanılarak istatistiksel proses kontrolü çalışmaları ile irdelenmiştir. Bu istatistiki çalışma söz konusu tesiste üretilen d50 değeri 2 µm civarında olan mikronize ürün skalasında yer alan ürünlerin renk parametreleri açısından dikkate değer bir problemin olmadığını ve uniform ürün elde edildiğini göstermiştir. Ayrıca, proses yeterlilik analizinin değerlendirilmesi sonrasında, tesisin renk parametreleri açısından kendi spesifikasyonları dahilinde üretim yaptığı anlaşılmaktadır.

#### Kaynaklar

DPT, 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik ÖİK Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri I, (Asbest-Grafit-Kalsit-Fluorit-Titanyum) Çalışma Grubu Raporu) 2618 - ÖİK: 629 Ankara.

Durman, B., Pakdil F., 2010. İstatistikî Proses Kontrol Uygulamaları İçin Bir Sistem Tasarımı, Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06530, Bağlıca, Ankara.

Ipek, H., Ankara H., Özdağ H., 1999. The Application of Statistical Process Control, Minerals Engineering, Vol. 12, No. 7, pp. 827-835.

<http://www.kurumsalkalite.com/surec-yeterlilik-indeksi-2-cpk-ppk>, Alınma tarihi: 15 Kasım 2014.

Işığışık, E., 2004. Toplam Kalite Yönetimi Bakış Açısıyla İstatistiksel Proses Kontrol, sayfa 130-132,231.

Kaya, İ., Ağa, A., 2003. Kalite İyileştirme Sürecinin Yedi Temel Aracı ve Motor-Traktör İmalatı Yapan Bir İşletmede Uygulanması, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 447-468

McDonald's, R., 1997. Colour Physics for Industry, Society of Dyers and Colourists, ISBN 0901956708, Second Edition, England.

McGuire, R. G., 1992. Reporting of objective color measurements: HortScience, 27, 1254-1255.

Megep, 2008. Meslekî Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Kimya Teknolojisi Polimer Kavramları ve Özellikleri, Ankara.

Montgomery, D., 2001. Introduction to Statistical Quality Control, New York, John Wiley & Sons, cop, Fourth Edition.

Oliver, J. R., Blakeney, A. B., Allen, H. M.,1992, Measurement of flour color in color space parameters: Cereal Chem, 69, 546-551.

Özdemir, T., 2003. İstatistikî Süreç Kontrolü, İS 432 "İstatistikî Kalite Denetimi Dersi" notu.

Uçurum, M., 2004. Kaplı Kalsit Üretimi ve Ürün Özellikleri, MT Bilimsel Yer Altı Kaynakları Dergisi, Yıl:3 Sayı:6 Temmuz s.1-10.

Yeşil, Y., 2010, Melanj elyaf karışımlarında renk değerlerinin yeni bir algoritma geliştirilerek tahmin edilmesi, Doktora Tezi Çukurova Üniversitesi.

Zeyveli, M., Selalmaz, E., 2008. İstatistiksel Proses Kontrol Tekniklerinin Zincir İmalatı Yapan Bir İşletmede Uygulanması, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları.

## **Kolemanit Cevherinden Oksalik Asit Liçi ile Borik Asit Eldesi** *Production of Boric Acid From Colemanite Ore by Oxalic Acid Leaching*

Volkan Arslan<sup>1\*</sup>, Oktay Bayat<sup>2</sup>

<sup>1</sup> M.T.A.Genel Müdürlüğü, Orta Anadolu II. Bölge Müdürlüğü, Selçuklu, Konya

<sup>2</sup> Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Balcalı, Adana

\* Sorumlu Yazar: [volkanarslan76@hotmail.com](mailto:volkanarslan76@hotmail.com)

### **Özet**

Bu çalışmada, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Emet-Kütahya kolemanit tesisinden temin edilen kolemanit numunelerine Yates deneysel düzen tekniğine göre oksalik asit ile kimyasal asit liç deneysel çalışmaları, kimyasal analiz ve değerlendirme işlemleri yapılmıştır. Bu deneysel çalışma sonucunda; Emet kolemanit cevherinin (%28,05 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) oksalik asit ile yapılan kimyasal liç işleminde (d<sub>100</sub> = 0,075 mm; %5 katı (ağırlıkça); 50 g/L oksalik asit; 80±2 °C liç sıcaklığı; 90 dk liç süresi) B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in çözeltiye alma verimi %97,89'dur.

**Anahtar kelimeler:** Bor-oksit, Kimyasal Liç, Kolemanit, Oksalik Asit .

### **Abstract**

*In this study, Chemical leaching with oxalic acid, chemical analyzing and evaluation treatment on colemanite samples, were provided by Eti Mine Works General Directorate Emet-Kütahya colemanite factory, were completed using Yates sampling technique. Using optimum conditions (d<sub>100</sub> = 0.075 mm; 5% solids (by weight); 50 g/L oxalic acid; 80±2°C leaching temperature; 90 minutes leaching time) for Emet colemanite sample (28.05% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) on chemical leaching with oxalic acid experiments, the calculated boric acid extraction efficiency from colemanite ore was approximately 97.89% under the optimum conditions.*

**Key words:** Boron-oxide, Chemical Leaching, Colemanite, Oxalic Acid.

## 1. Giriş

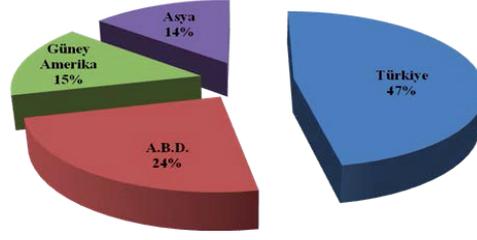
Dünya bor rezervinin yaklaşık %65'i Türkiye'de bulunmaktadır (Tablo 1). Bor minerali oksophilik yapıya sahiptir ve tabiatta boratlar halinde (oksitleri halinde) oluşur. Stratejik ve endüstriyel öneme sahip nadir elementlerden biridir. Dünya bor cevheri ve bileşikleri üretiminde ilk sırayı Türkiye ve ABD almaktadır. Dünyadaki bor üretiminin bölgelere göre dağılımı Şekil 1'de verilmiştir (Etimaden, 2013). Dış piyasada önemli üstünlükleri olan bor ve türevleri deterjan endüstrisinde, nükleer reaktörlerde, roket makinelerinde, zirai amaçlarda, yangın söndürücülerde, seramik ve cam endüstrilerinde, ısı direnç üretiminde, polimer ve tekstil sanayinde ve benzeri sahalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Davies ve ark., 1991).

Tablo 1. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bazında dünya bor rezervleri (Etimaden, 2013)

Ülke Adı	Toplam Rezerv (10 <sup>3</sup> ton)	Toplam Rezervdeki Pay (%)
Türkiye	955.300	72.8
Rusya	100.000	7.6
A.B.D.	80.000	6.1
Çin	47.000	3.6
Şili	41.000	3.2
Sırbistan	24.000	1.7
Peru	22.000	1.7
Bolivya	19.000	1.4
Kazakistan	15.000	1.2
Arjantin	9.000	0.7
Toplam	1.199.700	100.0

Bor minerallerinden biri de kolemanittir ve kimyasal formülü 2CaO.3B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.5H<sub>2</sub>O'dur. Hidrate haldeki kalsiyum boratın bir şeklidir. Monoklinik kristal yapıya ve bol miktarda kil mineraline sahiptir. Özellikle borik asit üretiminde kullanılır. Borik asit, bor bileşiklerinin üretilmesinde çok sık kullanılır. Bor fosfatlar, bor esterler, bor karbitler, organik bor tuzları ve floroboratlarda başlangıç materyali olarak kullanılmaktadır. Birçok ürünlerde kullanılan B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ünde kaynağı borik asittir (Temur ve ark., 2000). Bor konsantresi üretimi Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne ait Kütahya-Emet, Eskişehir-Kırka, Balıkesir-Bigadiç ve Bursa-Kestelek işletmelerinde gerçekleştirilmektedir. Bu tesislerde konsantre bor üretimi yıkama işlemi sonunda dağıtma ve sınıflandırma sonucunda killi malzemenin uzaklaştırması esasına dayanmaktadır. Bor ürünleri tesisleri ise Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne ait Kırka Bor ürünleri tesisinde Boraks Pentahidrat, Boraks Dekahidrat, Susuz Boraks, Bandırma Bor ürünleri tesisinde Boraks Pentahidrat, Boraks Dekahidrat, Borik asit ve Sodyum Perborat üretimi şeklindedir (Erkal ve Girgin, 1992; Aytekin, 1995; Güyagüler, 2001; Sertkaya, 2007; Akçıl ve ark., 2009). Bor ürünleri içinde en önemlilerinde biri olarak bilinen borik asit pek çok bor ürününün sentezinde ana çıkış maddelerinden biridir. Cam ve seramik endüstrisinde büyük oranda kullanılan borik asit diğer bor ürünlerinin hazırlanması, temizlik maddeleri üretiminde, gıda sektöründe, kozmetik sanayi, nükleer teknoloji, tekstil, metal endüstrisi ve tarımda geniş olarak kullanım alanı bulmaktadır (Rosenfelder, 1978; Polat, 1987).





Şekil 1. Dünya bor üretiminin bölgelere göre dağılımı (Etimaden, 2013)

Borik asit üretimi doğada bulunan herhangi bir bor cevherinin mineral asitlerden biri ile reaksiyonuna dayanmaktadır. Ancak, kullanılan asidin türüne göre değişik yan ürünler oluşmaktadır. Günümüzde kolemanitten borik asit üretiminde daha çok sülfürik asit kullanılmaktadır. Ham maddeden gelen çözünebilir safsızlıklar ve sülfürik asit fazlalığı üretimin en önemli kademesi olan kristalizasyonu etkilemektedir (Çakaloz, 1971; Çakaloz, 1973). Bazı araştırmacılar kolemanitten borik asit üretiminde hidroklorik asit, sülfürik asit, oksalik asit, sitrik asit gibi asitler kullanarak çeşitli çalışmalar yapmışlar ve verimli sonuçlar elde etmişlerdir (Ata ve ark., 2000; Temur ve ark., 2000; Küçük ve ark., 2002; Çavuş ve Kuşlu, 2005; Gür, 2007; Tunç ve ark., 2007; Bayat ve ark., 2011). Üretimde karşılaşılan problemler göz önüne alındığında safsızlık kontrolü için en etkin yöntemin, reaksiyonun cevherdeki yan minerallere etki etmeyecek ortamda yürütülmesi olduğu açıkça ortaya çıkar. Bu koşul cevherin, yan mineralleri etkilemeyecek kadar zayıf ancak borik asitten daha kuvvetli asitlerle reaksiyonu ile sağlanabilir. Bu temel fikre en uygun asitler asetik asit, propionik asit, oksalik asit gibi organik asitlerdir (Bay, 2002; Bulutçu ve ark., 2008; Çelikoyan ve Bulutçu, 2010).

### 1.1. Faktöriyel Deney Tasarımı

Gün geçtikçe ekonomik olarak artan araştırma ve geliştirme giderlerini en düşük seviyede tutmak ve zamandan tasarruf etmek için en az deney yapma prensibine dayanan birçok istatistiksel deney tasarım yöntemleri geliştirilmiştir. Genel yöntemlerin yanı sıra faktöriyel deney tasarımı (Yates tekniği) mühendislikte kullanılan özel yöntemlerin başında yer alır.

Birden fazla değişkenin aynı anda, olabilecek en az sayıda deneyle değerlendirilebilmesi için günümüzde geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Bu tasarım aynı zamanda daha önceki deneylerde elde edilen bilgilerin yeni deney serileri tasarımında kullanılmasını da sağlar. 2n faktöriyel tasarımın kullanılmasında diğer bir önemli nedende Yates tekniği olarak adlandırılan kısa bir hesaplama yönteminin bu tasarıma uygulanabilmesidir. Faktöriyel deney tasarımının avantajlarını aşağıdaki gibi özetleyebiliriz;

- Yates tekniği sayesinde işlemler oldukça basite indirgenmiştir.
- İstenilen sonuca en az sayıda deneyle ulaşılır.
- Elde edilen sonuçlar olabilecek en yüksek hassasiyettedir.
- Çok boyutlu bir tasarımdır ve parametrelerin değişmesinden doğacak etki önceden tahmin edilebilir.
- Deneysel hata deney sırasında tespit edilebilir.
- Daha karmaşık modeller gerektiğinde önceden bulunmuş deney sonuçları sonraki deney sonuçlarıyla birleştirilebilir.
- Deney içindeki her bir test kümelerine ayrılabilir. Bu sayede deney sonuçlarının değerlendirilmesindeki hata yapma olasılığı azaltılmış olur (Özensoy, 1982; Milton ve ark., 1995).

## 2. Malzeme ve Yöntem

### 2.1. Malzeme

Bu çalışma kapsamında kullanılacak olan kolemanit numunesi Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Emet İşletme tesisinden temin edilmiştir. Kolemanit numunesinden yaklaşık 50 kg alınarak Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarına getirilmiş ve konileme-dörtleme yöntemi ile yaklaşık 10 kg'a indirilmiştir. Numunenin tamamı -2 mm olacak şekilde çeneli kırıcıdan geçirildikten sonra seramik bilyeli değirmende öğütülerek tamamı -75 µm'ye indirilmiştir.

DeneySEL çalışmalarında kullanılan kolemanit örneğine TÜBİTAK-MAM Araştırma Merkezinde SHIMADZU XRD-6000 cihazı ile Cu X-Işını tüpü ( $\lambda=1.5405$  Angstrom) kullanılarak yapılan analiz sonucuna göre kolemanit numunesinin mineralojik bileşiminin çoğunlukla (başlıca kristal fazları olarak) kolemanit ( $\text{Ca}_0.2\text{B}_6\text{O}_{11}\text{H}_2\text{O}$ ), kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) ve montmorillonit ( $((\text{Ca}_{0.2}\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_{24}\text{H}_2\text{O})$ ) den oluştuğu saptanmıştır. Aynı numuneye yine TÜBİTAK-MAM Araştırma Merkezinde Philips PW-2404 model dalga boyu dağılımlı X-Işını Floresan Spektrometre cihazı ile yapılan yarı kantitatif element analizi sonucunda elde edilen kimyasal analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Daha sonra yine TÜBİTAK-MAM Araştırma Merkezinde numunenin Malvern Mastersizer-X cihazı ile tane boyutu dağılımı tespit edilmiş ve numunenin %90'ının 42,14 µm'nin altında olduğu tespit edilmiştir. Deney numunesinin yine TÜBİTAK-MAM Araştırma Merkezinde SEM (JEOL/JSM-6335 F/INCA-EDS; taramalı elektron mikroskobu) ile çekilen fotoğrafları Şekil 2'de verilmiştir. Son olarak, TÜBİTAK-MAM Araştırma Merkezinde TS 2074'e göre yapılan bor-oksit analizinde deney numunesinin B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı ise %28,06 olarak belirlenmiştir. Aynı numunelerin kontrol amacı ile Emet İşletmesi kimya laboratuvarlarında yaptırılan bor-oksit analizi de yukarıdaki değere yakındır ( $\pm\%1$  hassasiyet).

Tablo 2. Emet kolemanit numunesinin (tüvanan cevher) kimyasal analizi

Bileşik	%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,91
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,79
CaO	32,48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,41
K <sub>2</sub> O	4,56
MgO	12,31
SO <sub>3</sub>	1,59
SiO <sub>2</sub>	32,95
SrO	1,61
TiO <sub>2</sub>	0,40
PbO	1,74



Şekil 2. Emet kolemanit cevherinin SEM fotoğrafı

## 2.2. Yöntem

Kimyasal liç deneyleri 250 ml'lik erlenmayerlerde 100 ml çalışma hacminde yapılmıştır. Deney numuneleri manyetik karıştırıcı kullanılarak 150 dev/dak. karıştırma hızında karıştırılmıştır. Her deney için belirlenen katı-sıvı oranı (%5, %10 ve %15), oksalik asit derişimi (10 g/L; 15 g/L ve 20 g/L), liç süresi (60 dak., 90 dak. ve 120 dak.) ve ortam sıcaklığı (30°C, 55°C ve 80°C) şartlarında liç işlemleri gerçekleştirilmiştir. Liç deneyleri sonucunda çözelti filtre edilip kalıntı etüvde 105°C'de kurutulduktan sonra %B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> analizleri aşağıdaki Eşitlik 1'e göre yapılmıştır.

$$\%B_2O_3 = (F \times S \times 0,017405 \times 100) / T \quad (1)$$

F: 0,5 N NaOH faktörü

S: NaOH sarfiyatı (ml)

T: Numune miktarı (gr)

Emet kolemanit numunelerine iki tekrarlı yapılan kimyasal liç deneylerinde Yates deneysel düzen tekniği takip edilmiş ve Çizelge 3 aşağıdaki sıralamaya göre oluşturulmuştur;

- 1. Kolon; 2<sup>4</sup> faktöriyel deney tasarımına göre Yates sıralaması (4 parametrenin liç işlemine etkisi araştırılmıştır).
- 2. Kolon; Yates sıralamasına göre oluşturulan liç deneyleri %B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sonuçlarıdır.
- 3. Kolon; 2. Kolondaki sonuçlar sırasıyla çiftlere ayrılır. Yukarıdan aşağıya doğru bu çiftler toplanarak üst yarı kolona, alt değer üst değerden çıkarılarak diğer yarı kolona yerleştirilir. Deneyler 4 değişkene (parametre) göre yapıldığı için bu işlem 4 kez aynı şekilde 4, 5 ve 6. Kolonlar için tekrarlanır.
- 7. Kolon; 6. Kolondaki (Toplam Etki) her bir değer karesinin deney sayısına bölünmesi ile elde edilir.
- 8. Kolon serbestlik derecesidir.
- 9. Kolon F (hesap) kolonudur. 7. Kolonun 8. Kolon ile standart hatanın (S<sub>2</sub>) çarpımına oranıdır.
- 10. Kolon F (çizelge) kolonudur. F (1, 16, 0.05) için F-istatistiğinin değeri çizelgeden bulunur.
- 11. Kolon sonucu oluşturan karar kolonudur. F-istatistiksel değere göre etkin olup olmadığı belirlenir.
- 12, 13 14 ve 15. Kolonlar (f) fonksiyonundaki kodlanmış değerlerdir.
- 16. Kolon modelden elde edilen Y değerleridir (Özensoy, 1982; Milton ve ark., 1995; Arslan, 2008).

Gelişigüzel sıralama ve Yates deneysel düzen tekniğine göre elde edilen deney sonuçları ANOVA Varyans analizi ile birleştirilerek her bir değerlendirme için fonksiyonlar bulunmuştur. Deneysel hataların ( $S^2$ ) hesaplanması için merkez noktası tekrarlı yöntem başvurulmuş ve Yates tekniğine göre yapılan deney verilerinin orta değerlerinde 5 adet deney tekrarlanmıştır. Yates tekniğinde modelin tespit edilmesi Yates tekniği ve ANOVA Varyans analizinin birleştirilmesi ile  $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$  fonksiyonu hesaplama yoluyla bulunur. ANOVA uygulanmasının amacı kararları ve modeli basitleştirmesidir (Özensoy, 1982). Bu yöntemde X değerleri eşitlik 2'ye göre hesaplanmıştır.

$$X = \frac{(a-b)}{(c-b)}$$

- a : Değişkenin (parametre) sınanma değeri  
b : Değişkenin (parametre) standart değeri  
c : Düşük veya yüksek değer

### 3. Deney Sonuçları

Yates düzenlemesine göre yapılan deneylerde temel etki ve iç etkileşimler göz önünde bulundurulur ve etkili sonuçlara bağlı olarak bir model oluşturulur. Deney ortalaması ve deneysel hatanın ( $S_2$ ) bulunmasında deney şartlarındaki orta değerler dikkate alınmış ve bu değerler eşitlik 3 ve 4'e göre hesaplanmıştır.

$$\text{Deney Ortalaması } (n_{\text{ort}}) = (n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5) / 5 \quad (3)$$

$$S^2 = [(n_1 - n_{\text{ort}})^2 + (n_2 - n_{\text{ort}})^2 + (n_3 - n_{\text{ort}})^2 + (n_4 - n_{\text{ort}})^2 + (n_5 - n_{\text{ort}})^2] / (n-1) \quad (4)$$

Buna göre;

$$\begin{aligned} \text{Deney ortalaması} &= (26,399 + 23,166 + 24,456 + 24,146 + 21,452) / 5 = \%23,924 \text{ B}_2\text{O}_3 \\ S^2 &= [(26,399 - 23,924)^2 + (23,166 - 23,924)^2 + (24,456 - 23,924)^2 + (24,146 - 23,924)^2 + (21,452 - 23,924)^2] / 4 = 3,286 \end{aligned}$$

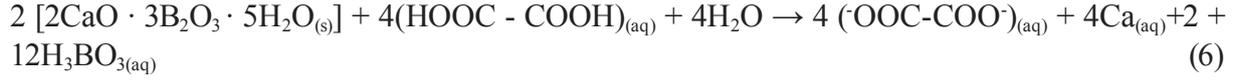
Bu sonuçlara bağlı olarak oluşturulan bu modele göre olması gereken deney sonuçları (Y) hesaplanır.

$$Y = 16,947 + 5,383X_1 - 3,146X_2 + 1,916X_1X_2 - 1,245X_2X_3 + 1,092X_2X_4 \quad (5)$$

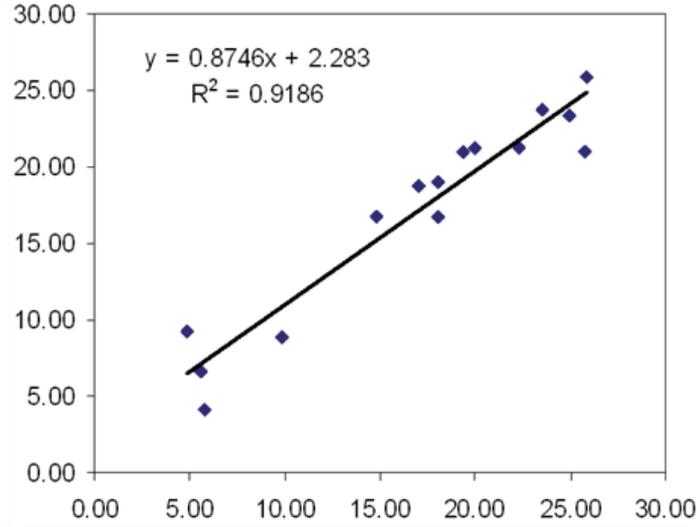
Burada;

- $X_1$  : Katı-sıvı oranı (%)  
 $X_2$  : Oksalik asit derişimi (g/L)  
 $X_3$  : Sıcaklık (°C)  
 $X_4$  : Liç süresi (dak.)'dır.

Emet kolemanit numunesi için Tablo 3'de verilen deney sonuçları ile modele (eşitlik 5) göre hesaplanan deney sonuçları (Y) arasındaki ilişki Şekil 3'de gösterilmiş ve aralarında  $Y = 0,8746X + 2,283$  bağıntısı bulunmuştur. Veriler arasındaki korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) ise **0,9186** olarak hesaplanmıştır. Kolemanitin oksalik asit liçinde genel olarak aşağıda verilen reaksiyonla çözünme işlemi gerçekleşmektedir.



Emet kolemanit numunesinin Yates deneysel düzen ile yapılan oksalik asit liçi deneyleri sonrasında kimyasal liç çalışma parametrelerinin optimizasyonu için oksalik asit derişimi değişken olarak alınıp kinetik kimyasal liç testleri (tane iriliği,  $d_{100} = 75 \mu\text{m}$ ; katı-sıvı oranı, %5 katı (ağırlıkça); asit konsantrasyonu, 20-150 g/L oksalik asit; sıcaklık, 80°C ve liç süresi, 10-180 dak.) yapılmıştır (Tablo 4).



Şekil 3. Emet kolemaniti kimyasal liç deneyi sonuçları ve hesaplanan değerler arasında ilişki

Tablo 3. Emet kolemanit numunesi için kimyasal liç deney sonuçları ve ANOVA analizi

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Yates Düzeni	Deney Sonuçları	3. Kolon	4. Kolon	5. Kolon	Toplam Etki	[TE] <sup>2</sup> /16	S.D.	F(Hesap) 7/(8*S <sup>2</sup> )	F(çizelge) 1,16,0.05	Karar	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Y Hesap
1	15,722	40,619	68,427	135,134	271,12		1								
a	<b>24,897</b>	<b>27,808</b>	<b>66,707</b>	<b>135,983</b>	<b>86,128</b>	<b>463,63</b>	<b>1</b>	<b>141,093</b>	<b>4,49</b>	<b>E</b>	<b>1</b>	<b>-1</b>	<b>-1</b>	<b>-1</b>	<b>23,407</b>
b	<b>5,583</b>	<b>43,900</b>	<b>73,553</b>	<b>45,009</b>	<b>-50,339</b>	<b>158,38</b>	<b>1</b>	<b>48,198</b>	<b>4,49</b>	<b>E</b>	<b>-1</b>	<b>1</b>	<b>-1</b>	<b>-1</b>	<b>6,655</b>
ab	<b>22,252</b>	<b>22,807</b>	<b>62,43</b>	<b>41,119</b>	<b>30,656</b>	<b>58,74</b>	<b>1</b>	<b>17,876</b>	<b>4,49</b>	<b>E</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>-1</b>	<b>-1</b>	<b>21,253</b>
c	18,024	37,974	25,844	-33,904	-12,843	10,31	1	3,138	4,49	ED	-1	-1	1	-1	18,963
ac	25,876	35,579	19,165	-16,435	-1,238	0,09	1	0,027	4,49	ED	1	-1	1	-1	25,897
bc	<b>5,747</b>	<b>38,235</b>	<b>17,839</b>	<b>10,955</b>	<b>-19,927</b>	<b>24,82</b>	<b>1</b>	<b>7,553</b>	<b>4,49</b>	<b>E</b>	<b>-1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>-1</b>	<b>4,165</b>
abc	17,06	24,195	23,84	19,701	-12,042	9,06	1	2,757	4,49	ED	1	1	1	-1	18,763
d	17,991	9,175	-12,81	-1,72	0,849	0,05	1	0,015	4,49	ED	-1	-1	-1	1	16,779
ad	19,983	16,669	-21,09	-11,123	-3,89	0,95	1	0,289	4,49	ED	1	-1	-1	1	21,223
bd	<b>9,866</b>	<b>7,852</b>	<b>-2,395</b>	<b>-6,679</b>	<b>17,469</b>	<b>19,07</b>	<b>1</b>	<b>5,803</b>	<b>4,49</b>	<b>E</b>	<b>-1</b>	<b>1</b>	<b>-1</b>	<b>1</b>	<b>8,839</b>
abd	25,713	11,313	-14,04	5,441	8,746	4,78	1	1,454	4,49	ED	1	1	-1	1	20,947
cd	14,759	1,992	7,494	-8,282	-9,403	5,53	1	1,683	4,49	ED	-1	-1	1	1	16,779
acd	23,476	15,847	3,461	-11,645	12,12	9,18	1	2,794	4,49	ED	1	-1	1	1	23,713

a: Katı oranı (%), b: Oksalik asit (g/L), c: Sıcaklık (oC), d: Liç süresi (dk), S.D.: Serbestlilik derecesi

Tablo 4. Emet kolemanit numunesi kimyasal liç optimizasyon deney sonuçları (tane iriliği,  $d_{100} = 75 \mu\text{m}$ ; katı-sıvı oranı, %5 katı (ağırlıkça); sıcaklık,  $80^\circ\text{C}$ )

Parametre Liç süresi (dak.)	Oksalik asit derişimi (g/L)	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 'ün Çözeltiye Alınma Verimi (%)
10	20	85,65
20		85,63
30		85,89
60		86,11
90		86,00
120		85,96
180		85,28
10	50	93,01
20		92,99
30		93,13
60		95,95
90		97,89
120		96,72
180		96,99
10	100	93,92
20		94,08
30		94,12
60		94,29
90		94,35
120		94,48
180		94,51
10	150	95,97
20		96,43
30		96,42
60		96,59
90		96,84
120		97,12
180		97,33

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Yapılan kimyasal liç ve optimizasyon deneyleri sonucunda Emet kolemanit cevheri (tüvenan) için kimyasal liç optimal çalışma parametreleri belirlenmiş ve aşağıda verilmiştir;

Tane iriliği ( $d_{100}$ )	: $75 \mu\text{m}$
Katı-sıvı oranı	: %5 katı (ağırlıkça)
Asit konsantrasyonu	: 50 g/L oksalik asit
Sıcaklık	: $80 \pm 2^\circ\text{C}$
Liç süresi	: 90 dak.
Besleme malı (tüvenan)	: %28,05 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Artık	: %0,79 B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

Yukarıda belirtilen optimal çalışma parametrelerinde 3 tekrarlı kontrol amaçlı kimyasal liç deneyleri yapılmış ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün çözeltiye alınma verimi **%97,89** olarak belirlenmiştir. Bu çalışma ile Emet

borik asit üretim tesisinde kimyasal liç işlemleri için kullanılan sülfürik asidin ( $H_2SO_4$ ) yerine oksalik asidin kullanılabilirliği araştırılmış ve elde edilen sonuçlara göre oksalik asit veriminin de oldukça iyi olduğu görülmüştür. Borik asit üretim tesisinde 1 ton kolemanit cevherinin kimyasal liçi için  $0,25 m^3$  sülfürik asit kullanıldığı dikkate alındığında bu kimyasal liç işleminin yarattığı çevresel etkiler ve sülfürik asidin pahalı oluşu nedeniyle bir çeşit organik asit olan oksalik asidin proseste kullanılmasıyla hem çevresel zararlar minimize edilmiş olacak hem de ekonomik olarak daha verimli bir liç işlemi gerçekleştirilebilecektir.

Ayrıca bu çalışmada elde edilen veriler dikkate alınarak bir başka çalışma yapılarak liç işleminde kullanılan oksalik asidin biyoteknolojik yollarla temini araştırılmış ve *Aspergillus niger* mantarı ile oksalik asit üretilerek liç işlemlerinde bu çözelti kullanılmış ve borik asit üretiminin daha ekonomik olması sağlanmıştır.

### **Teşekkür**

Yazarlar bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde finansal destek sağlayan Ulusal Bor Araştırma Enstitüsüne (BOREN), Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP)'ne ve deney numunelerinin temininde kolaylık gösteren EtiBor A.Ş. Emet-Kütahya Bor İşletme Müdürlüğü'ne teşekkür ederler.

### **Kaynaklar**

Akçıl A., Tuncuk A., Deveci H., 2009. Borik asit üretiminde amonyum tuzları, inorganik ve organik asit liç sistemlerinin incelenmesi. Madencilik Dergisi. 48(1), 3-16.

Arslan, V., 2008. Biyoliç yöntemiyle endüstriyel hammaddelerden safsızlıkların uzaklaştırılmasının araştırılması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Doktora Tezi, 179 s (yayınlanmamış).

Ata O.N., Çolak S., Çopur M., Çelik C., 2000. Determination of the optimum conditions for boric acid extraction with carbon dioxide gas in aqueous media from colemanite containing arsenic. Industrial & Engineering Chemistry Research. 39, 488-493.

Aytekin, V., 1995. Maden mühendisliğine giriş. DEÜ, Mühendislik Fakültesi Yayınları. No: 167, İzmir.

Bay K., 2002. Kolemanitten zayıf asitlerle borik asit üretimi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Yüksek Lisans Tezi, 53s (yayınlanmamış).

Bayat O., Arslan V., Bayat, B., 2011. Use of *Aspergillus niger* in the bioleaching of colemanite for the production of boric acid. Electronic Journal of Biotechnology. 14(3), 1-10.

Bulutcu A.N., Ertekin C.O., Celikoyan M.B., 2008. Impurity control in the production of boric acid from colemanite in the presence of propionic acid. Chemical Engineering and Processing. 47(12), 2270-2274.

Çakaloz T., 1971. İndirgen atmosferde kalsinasyon metoduyla kolemanitlerden arseniğin giderilmesi. Tübitak Projesi. Proje No. MAG-158, Ankara.

Çakaloz T., 1973. Kolemanit cevherinden arsenik ayrılması pilot tesiste çalışmalar. Tübitak Projesi. Proje No. MAG-1/158, Ankara.

Çavuş F., Kuşlu S., 2005. Dissolution kinetics of colemanite in citric acid solutions assisted by mechanical agitation and microwaves. *Industrial Engineering Chemistry Research*. 44, 8164-8170.

Çelikoyan B.K., Bulutçu A.N., 2010. Kolemanitten yeni bir yöntemle borik asit üretim prosesi nin geliştirilmesi. *İTÜ Mühendislik Dergisi*. 9(2), 15-26.

Davies T.W., Çolak S., Hooper R.M., 1991. Boric acid production by the calcinations and leaching of powdered colemanite. *Powder Technology*. 65(3), 433-440.

Erkal, F., Girgin İ., 1992. Etibank-Emet kolemanit işletmesi kaba atıklarının konsantre üretimi amacıyla değerlendirilmesi. 4. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu. 599-608.  
Etimaden, 2013. Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Yıllık Faaliyet Raporu. 70 s.

Gür A., 2007. Dissolution mechanism of colemanite in sulphuric acid solutions. *Korean Journal of Chemical Engineering*. 24(4), 588-591.

Güyağüler, T., 2001. Türkiye bor potansiyeli. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. 18-27.

Küçük O., Kocakerim M.M., Yartaşı A., Çopur M., 2002. Dissolution of Kestelek's colemanite containing clay minerals in water saturated with sulfur dioxide. *Industrial Engineering Chemistry Research*. 41, 2853-2857.

Milton J.S., Arnold J.C., 1995. Introduction to probability and statistics principles and applications for engineering and the computing sciences. *Factorial Experiments*. 14, 604-655.

Özensoy E., 1982. Teknolojik ve bilimsel araştırmalarda modern deney tasarımcılığı ve optimizasyon yöntemleri. MTA Yayınları Eğitim Serisi. 24, 26-35.

Polat M., 1987. Türkiye’de ve dünyada bor ve bor teknolojisinin uygulamalarının araştırılması. İzmir.

Rosenfelder W.J., 1978. The industrial uses of boron chemicals. *Chemistry and Industry*. 413-416.

Sertkaya G., 2007. Kolemanit atıklardan biyoliç yöntemiyle borik asit eldesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Yüksek Lisans Tezi, 74 s (yayınlanmamış).

Temur H., Yartaşı A., Çopur M., Kocakerim M.M., 2000. The kinetics of dissolution of colemanite in H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> solution, *Industrial Engineering Chemical Resource*. 39, 4114–4119.

Tunç M., Kocakerim M.M., Küçük O., Aluz M., 2007. Dissolution of colemanite in (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions. *Korean Journal of Chemical Engineering*. 24(1), 55-59.



### 3-Boyutlu Sismik Yöntemlerle Petrol Araması

#### *Oil Exploration Using 3-D Seismic Methods*

Derya Durmaz<sup>1\*</sup>, Levent Gülen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Sakarya Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 54187, Serdivan, Sakarya, TÜRKİYE*

\* Sorumlu yazar: *derya-drmz@hotmail.com*

#### Özet

Türkiye’de 1970’li yıllardan beri çok yoğun iki boyutlu sismik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar sayesinde petrol rezervi açısından önemli bulgulara rastlanmış ve jeolojik yapılar yorumlanmış olup, bu yapıların uzanımı, doğrultuları ve olası petrol rezervinin detaylı bir şekilde modellenmesi ve hesaplanması amacı ile üç boyutlu sismik çalışmalar yapılmasına karar verilmiştir. Bu durum göz önüne alınarak 2013 yılında Türkiye’nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde Diyarbakır ilinin Miyadin ilçesinde Migo-Ergani petrol sahasında, TPAO’nun bünyesinde bulunan sismik araştırma ekibi ile beraber sismik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda ilk olarak bölgenin jeolojisi, tektoniği ve diğer özellikleri dikkate alınarak çalışmada kullanılacak olan parametreler ve saha tasarım özellikleri belirlenmiştir. Vibro kaynaklı üç boyutlu sismik veri toplanıp kalite kontrol işlemlerinden geçirilmiştir. Sismik yansıma verilerine çeşitli veri işlem basamakları uygulanarak sismik kesitler elde edilmiş, daha sonra elde edilen sismik kesitlerin detaylı yorumları yapılarak petrol rezervi olabilecek olası petrol kapanları belirlenmiştir. Sondaj çalışmaları neticesinde önerilen 2500m derinliğine sahip Şelmo Formasyonunda ekonomik olabilecek petrol bulgularına rastlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** 3B Sismik Yansıma, Diyarbakır Miyadin, Petrol, Rezervuar, Sismik Kesit.

#### Abstract

Since 1970, very detailed two-dimensional seismic exploration has been done in the South-Eastern Anatolia region. In the exploration studies, geological structure and their extensions were interpreted and it was found that this region is rich in oil reserves. The main purpose of three-dimensional studies is the modelling and calculation of probable oil reserves. Considering this situation in 2013 in Turkey's South-Eastern Anatolia region of Miyadin, District of Diyarbakir province Migo - Ergani oilfield, TPAO seismic research team carried out seismic studies on site. In this study, first geology, tectonics and other parameters are used to characterize the field. Using a Vibro-source three-dimensional seismic data have been collected and passed through a quality control process. Seismic sections are obtained by using various data processing steps of the seismic reflection then a detailed interpretation of the seismic sections is carried out to determine the oil trap and oil reserves. The recommended depth of Şelmo Formation is 2500m and if it is drilled for oil, the results will be economical.

**Key words:** 3D Seismic Reflection, Diyarbakır Miyadin, Petroleum, Reservoir, Seismic Section.

## 1. Giriş

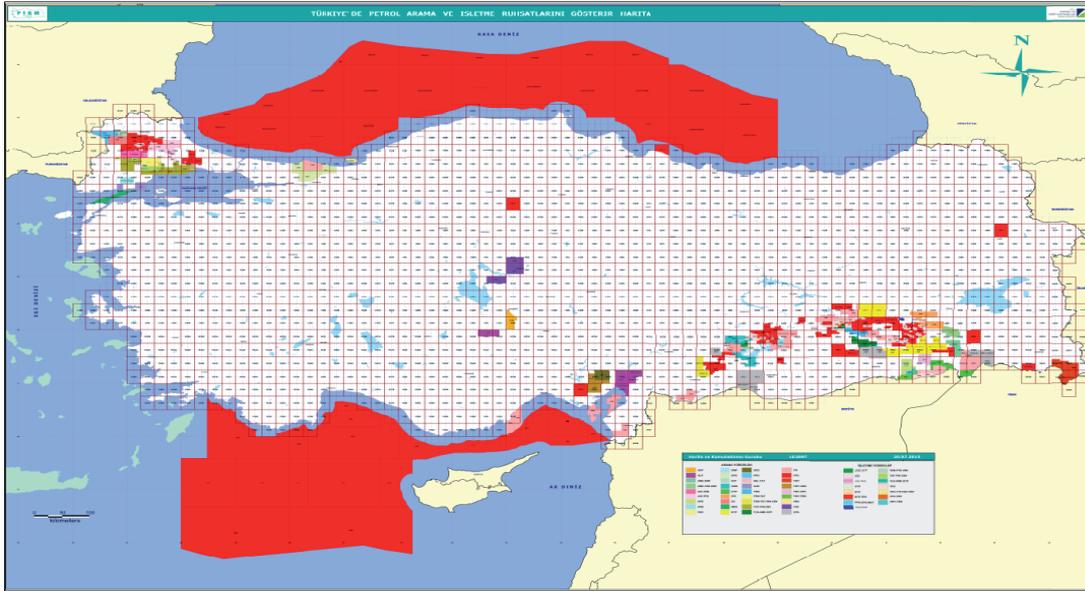
Jeofiziğin temel yöntemlerinden biri olan sismik yöntem, sismik dalgaların yayınımla ilgilenerek jeolojik verilerin yorumlanmasında geniş uygulama alanı bulmaktadır. Sismik yöntem, yer altı kaynaklarından özellikle petrol aramalarında yaygın olarak kullanılan bir jeofizik yöntemdir.

Hidrokarbon aramalarında yer içinin kesitinin çıkarılması, yer altı katmanlarının durumunun saptanması, yerin altına haritalanması ve açılacak kuyunun yerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu yüzden sismik yansıma ve sismik kırılma çalışmaları yapılmaktadır. Sismik yöntemin uygulanması, veri toplama, veri işleme ve veri yorumu olmak üzere üç ana bölüme ayrılır. Sismik veriyi yorumlayan yerbilimcinin yeterli veri toplama ve veri işlem bilgi ve deneyimine sahip olması gerekmektedir (Şahin, 2011).

## 2. Önceki Yapılan Çalışmalar

### 2.1. Türkiye’de Yapılan Petrol Arama Faaliyetleri

Ülkemizin kendi içerisindeki petrol arama çalışmaları Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde yoğunlaşmıştır. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO), Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde PERENCO (Fransa) ve MADISON (ABD) ile, Adana-Hatay Bölgesi’nde EL-PASO (ABD) ile, Trakya Bölgesi’nde ise AMITY OIL (Avustralya) şirketleri ile ortak olarak arama çalışmalarını yürütmektedir (Şekil 1).



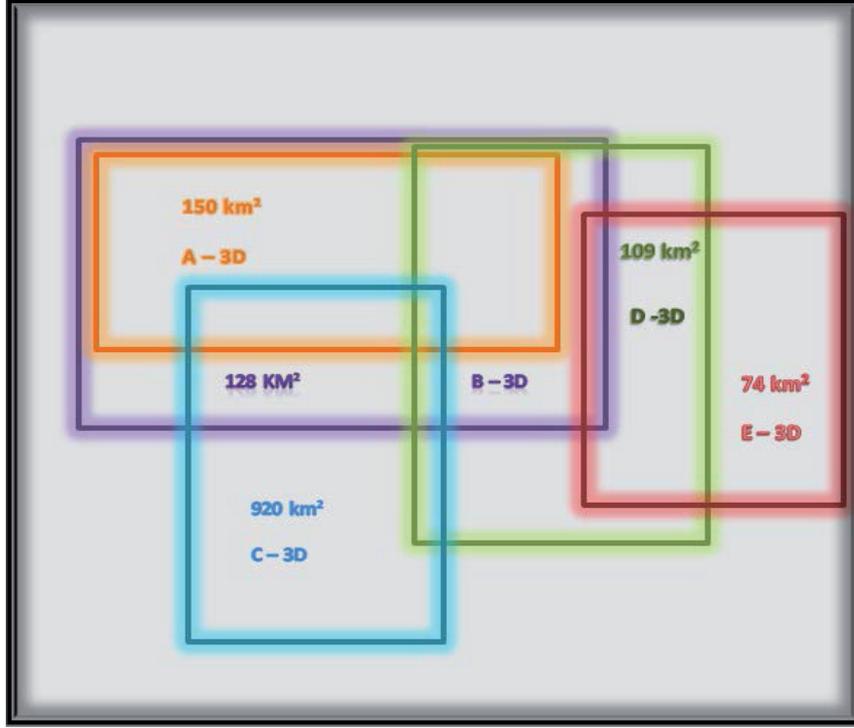
Şekil 1. Türkiye’deki petrol bölgelerine göre ruhsatların dağılımı (www.pigm.gov.tr)

### 2.2. Diyarbakır Havzasında Yapılan Bazı Çalışmalar

Bölgede 1970’li yıllardan beri çok yoğun iki boyutlu sismik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda bölgede petrol rezervi açısından zengin bulgulara rastlanmış ve jeolojik yapılar yorumlanmış olup, bu yapıların uzanımını, doğrultularını ve olası petrol rezevin detaylı bir şekilde modellenmesi ve hesaplanması amacı ile üç boyutlu sismik çalışma yapılmasına karar verilmiştir.

Bu durum göz önüne alınarak 2013 yılında Türkiye’nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde Diyarbakır ilinin Miyadin ilçesinde Migo-Ergani petrol sahasında, TPAO’nun bünyesinde bulunan

sismik araştırma ekibi ile beraber sismik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Diyarbakır Havzasının petrol arama çalışmalarını içeren pek çok çalışma bulunmaktadır (Şekil 2). Bu çalışmalardan sahamızda ve yakın çevresinde yapılmış olanlarını aşağıdaki şekilde görebiliriz.



Şekil 2. İlgili sahada yapılan çalışmalar (TPAO arşivinden değiştirilerek alınmıştır)

Sarı dikdörtgen içerisindeki çalışma alanı Diyarbakır ilinin D havzasında Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) tarafından 109 km<sup>2</sup> lik bir alanda 3 boyutlu sismik yansıma çalışması olarak yapılmıştır (Beşevli, 2013).

Turuncu dikdörtgen içerisindeki çalışma alanı Diyarbakır ilinin E havzasında TPAO tarafından 74 km<sup>2</sup> lik bir alanda 3 boyutlu sismik yansıma çalışması olarak yapılmıştır. Mavi dikdörtgen içerisindeki çalışma alanı Diyarbakır ilinin C havzasında TPAO tarafından 90 km<sup>2</sup> lik bir alanda 3 boyutlu sismik yansıma çalışması olarak yapılmıştır. Yeşil dikdörtgen içerisindeki çalışma alanı 1991 yılında Diyarbakır ilinin A havzasında Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) tarafından 150 km<sup>2</sup> 'lik bir alanda 3 boyutlu sismik yansıma çalışması olarak yapılmıştır. Bizim çalışma alanımız 1991 yılında yapılmış olan A 3 boyutlu sismik yansıma çalışmasındaki alanla hemen hemen aynı yerde olup Miyadin havzası olarak adlandırılan 150 km<sup>2</sup> lik bir alanı kapsamaktadır.

## 2.3. Çalışma Alanının Jeolojisi

### 2.3.1. Şelmo Formasyonu

Çakıltaşı, kumtaşı, şeyl ve çamurtaşı ardalanmalı akarsu çökelleri ile kumtaşı, çakıllı marn, şeyl ve tüfitli göl çökellerinden oluşan bu birim, Yoldemir (1987) tarafından adlandırılmıştır. Formasyon, kumtaşı, kiltası, çamurtaşı, silttaşı ile bunların arasında yer alan çakıltaşlarından; bazı bölümleri ise kumtaşı, çakıllı marn ve şeyl, tüfit ve killi kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şekil 3).



### 3. Materyal ve Metod

#### 3.1. Sismik Yöntemler

Sismik yöntemler yeryüzünden yer küresinin merkezine kadar inceleme ve araştırma yapabilen jeofizik mühendisliğinin en kapsamlı ve en yaygın kullanılan yöntemlerinden biridir. Sismik yöntemlerin prensibi herhangi bir noktada doğal oluşan veya yapay oluşturulan dalganın yayılma başlangıç zamanını ve diğer birçok noktalara titreşim dalgasının varış zamanları arasındaki yol-zaman ilişkisinden dalga yayılım hızının saptanarak geçtiği ortamının özelliklerinin açığa çıkarılması esasına dayanır. Jeofizik Mühendisi yeraltı jeolojik yapılarının sismik hız ve katman kalıntılarının modellerini elde etmek için bilgisayar ile değerlendirmesini yapar ve yorumlar (Keçeli, 2009). Sismik yöntemler uygulama şekillerine göre sismik yansıma (reflection) ve sismik kırılma (refraction) olmak üzere ikiye ayrılırlar.

#### 3.2. Sismik Yansıma Yöntemi

Sismik yansıma pratikte arazi çalışması nispeten basit olmakla beraber çeşitli gürültülü sismik sinyali ayırt etme, veri işlem ve yorumda sismik kırılma yöntemine göre daha fazla akademik bilgi birikimi ve deneyimi gerektirmektedir. Yüksek kaliteli sığ sismik yansıma verileri elde edilmesi, deneyimle geliştirilen bir nevi sanat olarak bilinmektedir. Bu neden kırılma yöntemine göre yansıma yöntemi daha pahalı bir yöntem olmaktadır. Bu açıklanan sebeplerden dolayı sığ sismik yansıma yöntemi mühendislik jeofiziği uygulamalarında sismik kırılma yöntemi kadar yaygın olarak kullanılmamaktadır (Keçeli, 2009).

#### 3.3. 3 Boyutlu (3B) Sismik Veri Toplama Yöntemi

Hidrokarbon aramalarında ilgilenilen yer altı yapısının doğası üç boyutludur (Örn: Tuz domları, ters fay kuşakları, riftler, deltayık kumtaşları ve düzensiz tabakalı stratigrafik yapılar). İki boyutlu (2B) bir sismik kesit üç boyutlu (3B) sismik cevabın enine kesitini sergiler. Çünkü 2B kesit yer altında düzlem dışı dahil bütün yönlerden gelen bilgileri içermektedir (Küçük, 2006).

Söz edildiği gibi 2B ve 3B sismik çalışmalar arasında birçok fark bulunmaktadır. Bu farklar Tablo 1'de yer almaktadır.

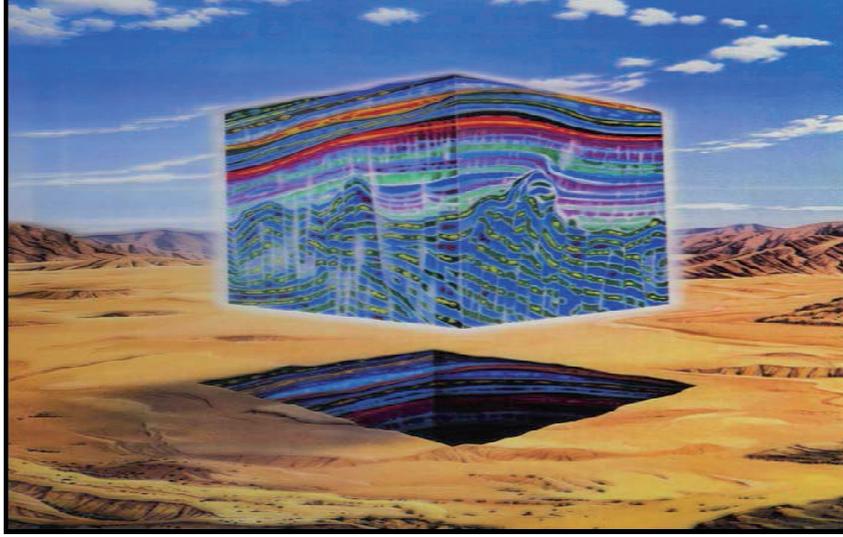
Tablo 1. 2B migrasyon ile 3B migrasyon arasındaki farklar görülmektedir.

2 BOYUTLU SİSMİK	3 BOYUTLU SİSMİK
DOĞRUSAL SİSMİK PROFİL, KANAL SAYISI 360 VEYA 400	ALANSAL PROFİL, KANAL SAYISI MİNİMUM 1200
KAYNAK VE ALICI (IN-LINE) AYNI PROFİL ÜZERİNDE	KAYNAK HATTI ALICI HATTINA DIK (ORTOGONAL)
JEOFON SERİMİ DOĞRUSAL	JEOFON SERİMİ ALANSAL
YERALTI BİLGİSİ NOKTASAL (CDP)	YERALTI BİLGİSİ ALANSAL (BİN)
İZLER AYNI AÇI İLE GELİYOR	İZLER FARKLI AÇILARDAN GELİYOR (AZIMUTH)
ETKİSİZ MİGRASYON (3. BOYUT ETKİLERİ)	ETKİLİ MİGRASYON
SADECE PROFİL BOYUNCA GÖRÜNTÜLEME	IN-LINE CROSS-LINE VE TIME SLICE BOYUNCA GÖRÜNTÜLEME
SADECE IN-LINE HIZ ANALİZİ	HEM IN-LINE HEM CROSS-LINE HIZ ANALİZİ
KATLAMA SAYISI 80-100	KATLAMA SAYISI 30-50
ORTALAMA VİBRO KM <sup>2</sup> MALİYET 3000-5000	ORTALAMA VİBRO KM <sup>2</sup> MALİYET 6000-8000

## 4. Araştırma Ve Bulgular

### 4.1. 3B Sismik Veri İşlem Aşamaları

Çok kanallı sismik yansıma verilerinden taban altının görüntüsünün elde edilebilmesi için, toplanan verinin birtakım karmaşık veri işlem aşamalarından geçmesi gerekir. Ardışık olarak uygulanan bir dizi matematik işlemde oluşan ve sismik verilerin bulunduğu formdan başka bir forma geçirilmesi için uygulanan işlemler bütününe “sismik veri işlem (seismic data processing)” adı verilir (Şekil 4). Temel amaç basittir: Sinyal/Gürültü oranını (S/G) ve Sismik Rezolüsyonu arttırmak.



Şekil 4. Kütlelinin üç boyutlu görünümü (Gürel, Başar, Seymen, 2005)

Veri işlem aşamaları aşağıdaki şekilde yazılabilir (Özer, 2009):

a) Örnek Düzenleme, b) Veri Yükleme, c) Geometri Tanımlama, d) Statik Düzeltmeler, e) Kazanç Uygulama, f) İz Ayıklama, g) F-K Eğim Filtresi, h) Deconvolüsyon, ı) Bantgeçişli Filtre, j) Hız Analizi, k) Normal Kayma Zamanı Düzeltmesi, l) Yığma (Stack)

Örnek düzenleme (Demultiplex), veri işlemin ilk aşaması olup verinin fiziksel özelliğini değiştirmeden veriye bir konum değişikliği yapmaktır. TPAO’da artık bu işlem yapılmamaktadır. Çünkü gelişen teknoloji ile birlikte veriler araziden itibaren düzenli bir şekilde alınıp kayıt edildiğinden bu işleme gerek duyulmamaktadır. Bizim çalışmamızda demultiplex haricinde yukarıda belirtilen tüm veri işlem aşamaları sismik verimize uygulanmıştır.

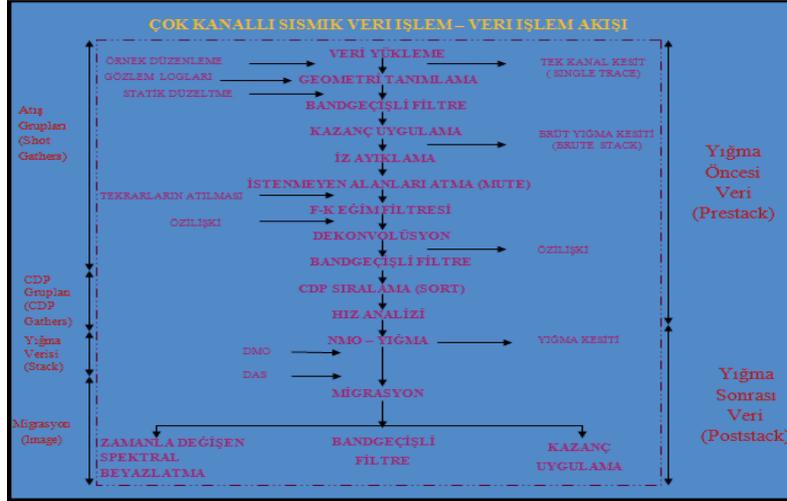
### 4.2. Sismik Yorumlama

Sismik verinin işlenmesi ve sismik kesitin elde edilmesinden sonra, sıra bu kesitin yorumlanmasına gelir. Sismik yorumun esasını, sismik kesitlerde izlenen yansıyan sinyallerin oluşturduğu geometrik yüzeyler ve sinyallerdeki karakter değişimleri teşkil eder. Sismik verilerin yorumu başlıca; a) Yapısal yorum (structural interpretation), b) Stratigrafik yorum, c) Litolojik yorum adları altında üç gruba ayrılır. Yapısal yorum, sismik kesitlerdeki kaynak dalgacıklarının oluşturduğu kesit yüzeyleri geometrilerinin kullanılmasına dayanır. Stratigrafik yorumlar, çoğunlukla yapısal özelliklerden dolayı, varış zamanlarına doğrudan bağlı olmayan işlemleri kapsar ve genlik ile faz bilgilerinin yanı sıra, hız fonksiyonlarının da kullanılmasını gerektirir. Matematiksel dönüşümlerle sismik izlerden akustik parametrelere geçilir. Litolojik yorum ise, modeli oluşturan tabakaların elastik özelliklerinin ince-

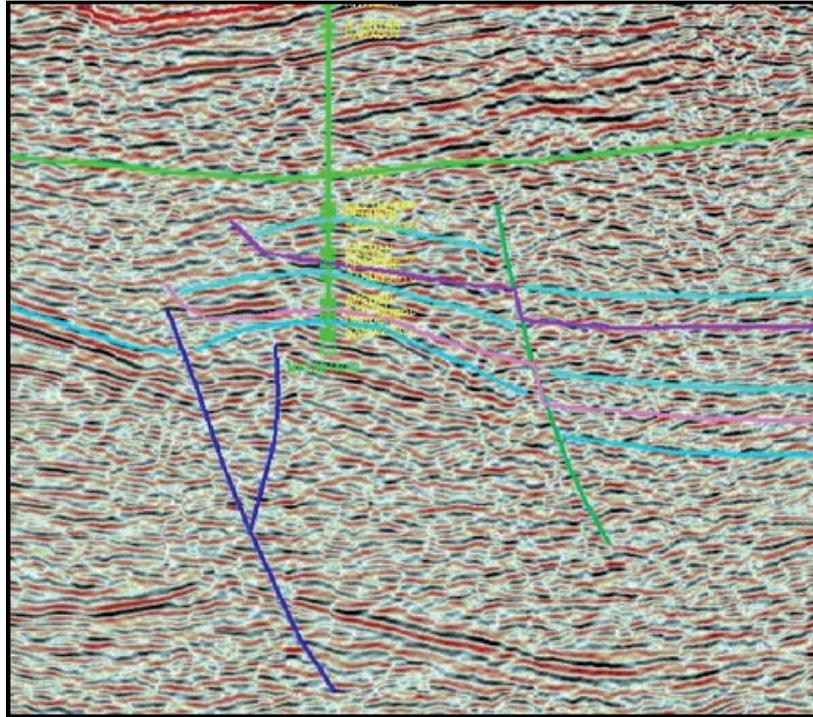
lenmesini içerir. Boyuna dalgaların yansıma genliğinin, boyuna ve enine hızlarla birlikte yoğunluk ve kaynak-alıcı arasındaki uzaklığa bağlılığından yararlanarak yapılan sismik litolojik çalışmalar, birleştirme öncesi verilerin kullanılmasını ve özel veri işlemleri gerektirir (Gülen, 2012)

## 5. Tartışma ve Yorum

Şekil 5'te, jeolojik yapıya ait modellenmiş olan final kesit görülmektedir. Buna göre yukardan aşağıya düz açık yeşil renkli 2500 metre derinliğine kadar inen kuyu, hattımızın üzerinde bulunan sondaj kuyusudur. Sondaj kuyusunun altı jeolojik yapının hemen hemen üst kısımlarına denk gelmektedir. Burada görülen petrol emaresinin içerisinde bulunan jeolojik yapının, etrafında farklı faylanmalara neden olduğu görülmektedir. Mor çizgiyle çizilmiş olan kısım



Şekil 5. Çok kanallı sismikte veri işlem akışı



Şekil 6. Sismik çalışmalar sonucunda ortaya çıkan final kesit

bindirme fay zonunu, hemen altında pembe çizgiyle ayrılmış olan kısım ters faylanmayı, yukarıdan aşağı inmekte olan koyu yeşil çizgi doğrultu atımlı fayı, sol taraftaki çiçeksi yapı ise normal (listrik) faylanmayı temsil etmektedir. Kuyunun sol tarafındaki listrik faylanmadan dolayı meydana gelen genişleme, kesitin diğer tarafında bir sıkışma bölgesinin oluşmasına neden olmuştur. Sıkışma bölgesinde yukarıda bindirme fayı, aşağıda ise ters faylanma meydana gelmiştir. Sonuç olarak sismik kesite de görüldüğü gibi bu tektonik oluşumlar sonucu meydana gelen jeolojik yapı antiklinaldir. Burada genişleme ve sıkışma bölgesi arasında kalan kısımda petrol emaresine rastlanıp, 2500m derinliğinde sondaj kuyusu açıldığı ve üretime başlandığı bilinmektedir.

## **6. Sonuç ve Öneriler**

Diyarbakır ilinin Ergani ilçesinde yer alan Miyadin inceleme alanında yapılan bu çalışma; petrol aramacılığında seçilen parametrelerin önemini, sismik verilerin doğru bir şekilde elde edilmesini ve değerlendirilmesini kapsamaktadır. Yapılan bu çalışmada daha iyi verim ve daha net sonuçlar elde etmek için jeofon aralıkları ve dizilimleri, örnekleme aralıkları ve sismik kaynak parametreleri önceki yapılan çalışmalardan farklı olarak seçilmiş ve uygulanmıştır.

Gerçekleştirilen saha parametreleri; atış aralığı 50m, grup aralığı 50m, atış hattı aralığı 300m, alıcı hattı aralığı 250m, kanal sayısı 84, toplam kanal sayısı 504, atış hattı sayısı 22, alıcı hattı sayısı 78, toplam alıcı sayısı 10374 ve toplam atış sayısı 8559 şeklindedir.

Petrol arama amaçlı yapılan bu çalışmada ilk olarak, amaca uygun sismik veri toplama programını belirlemektir. Miyadin çalışma sahası için önerilecek sismik program, mevcut jeolojik ve jeofizik veriler dikkate alınarak önerilmiştir. Jeolojik ve jeofizik veriler korele edilerek önerilen sismik program ile daha doğru yer altı bilgisine ulaşılmıştır.

Miyadin çalışma sahasında sismik lokasyon haritası üzerindeki sismik hatlar, tektonik trendler ve yüzey formasyonları dikkate alınarak belirlenmiştir. Sismik yansıma kesitlerinin daha kaliteli olması için jeofonların frekans aralıkları arttırılmalı ve böylece yüksek frekanslı jeofon ile yüksek frekanstaki sinyaller daha iyi kaydedilecektir.

Çalışma sahasında enerji kaynağı olarak vibroseis kullanılmıştır. Böylelikle istenilen frekans aralıklarında yere sinyaller gönderilmesi ve kaliteli bir şekilde sinyaller kaydedilebilmiştir.

Miyadin çalışma sahasında ve çevresindeki bölgelerde açılan kuyuların büyük bir kısmında petrol emarelerine rastlanmış, havzada bugüne kadar kaynak kaya özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan araştırmalar, bu havzada hidrokarbon oluşumunun gerçekleştiğini göstermektedir. Bu durumun sonucu olarak da Diyarbakır Havzası'nda bu tür çalışmalara devam edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Final sismik kesitte elde edilen faylar, bölgedeki (mesela miyosen)birimleri etkilemiş olduğunu düşündürmektedir. Miyadin çalışma sahasında, bu çalışma sonrasında 2500 metre derinliğinde sondaj açılıp, petrol alınması önerilmektedir.



## Kaynaklar

Aytünür, O., Güreli, O., Çetinkaya, Ö., 2005. Sismik yansıma yöntemiyle 2D-3D veri toplaması ve saha uygulamaları. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Arama Grubu, Jeofizik Operasyonlar Müdürlüğü, Ankara.

Beşevli, D.T., 2013. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, kurs notları, Ankara.

Gülen, L., 2012. Sakarya Üniversitesi, Yer Fiziği Anabilim Dalı, ders notları, Sakarya.

Güreli, O., Başar, H.S., Seymen, T., 2005. 3 boyutlu sismik veri toplama yöntemi. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Arama Grubu, Jeofizik Operasyonlar Müdürlüğü, Gölbaşı, Ankara.

Güreli, O., 2008. Sismik yansıma yöntemi ile 2B-3B veri toplama teknikleri, veri işlem ve spektral analiz, North African Geophysical Exploration Company, Libya.

Kaşlılılar, A., 2009. Sismik yansıma yöntemi ve veri işlem. İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Keçeli, A., 2009. Uygulamalı Jeofizik kitabı, Ankara.

Küçük, Z., Ekim 2006. İki boyutlu ve üç boyutlu sismik veri toplama ve test atışlarının önemi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, yüksek lisans tezi, Trabzon.

Öztürk, K., 1993. Prospeksiyon Jeofiziği (Sismik). İstanbul Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Özer, D., 2009. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, kurs notları, Antalya.

Özçep, F.; Akkaryan, Ş., Eylül, 2001. Doğal kaynakların araştırılması. Jeofizik Bülteni, 38, 93-94.

Sakallıoğlu, Y., 1992. Vibrosismik tekniğinde sweep sinyali seçimi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, yüksek lisans tezi, Ankara.

Şahin, A., 2011. Sıraseki (Adana) sahasında sismik yansıma yöntemi ile hidrokarbon araştırılmasında sismik veri toplama ve parametre seçimi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.



## **Kayaç Kesme Teorilerinin Tarihsel Gelişimi: Kama Uçlu Keskiler** *Historical Evolution of Rock Cutting Theories: Chisel Cutters*

Serdar Yaşar<sup>1\*</sup>, Ali Osman Yılmaz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

\*Sorumlu Yazar: [seyasar@ktu.edu.tr](mailto:seyasar@ktu.edu.tr)

### **Özet**

Bu çalışmada kısaca kazı makinelerinden, kazı makinelerinde kullanılan kesici uçlardan, kayaç kesme deneylerinden ve keski için geliştirilen kesme teorilerinden bahsedilmiştir. Bu keski arasında, insanın kullandığı ilk el aletlerinde olan ve kaya/kömür ve metal kesme makinelerinde kullanılan ilk keski olan kama tipi keski için geliştirilen kesme teorilerinden bahsedilmiştir. Bu kapsamda ilk metal kesme teorisi olarak kabul edilen Merchant'ın teorisinden, ardından Potts ve Shuttleworth'un bu teoriyi kömür kesme için uyarlamasından bahsedilmiştir. Ardından, Evans'ın kömür kesme mekaniği hakkındaki çalışmalarına ve son olarak ta Nishimatsu'nun kaya kesme teorisine yer verilmiştir. Bunlara ek olarak kama tipi keski üzerinde yapılmış diğer çalışmalara (sayısal modelleme ve kırılma mekaniği) da kısaca değinilmiştir. Geliştirilmiş olan kesme teorileri farklı yaklaşımlarla kaya kesme olayını ele almışlardır ve her tip kayada aynı performansı sergileyememektedir. Kömür gibi nispeten dayanımı düşük kayalarda Evans'ın teorisi gerçeğe daha yakın sonuçlar verirken, dayanımı yüksek kayalarda Nishimatsu'nun teorisi daha gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir. Bundan dolayı, şu açıkça görülmektedir ki, kayaç-keski etkileşiminin daha iyi açıklanabilmesi için daha fazla kayaç kesme deneyine, kırılma mekaniği ve sayısal modelleme gibi yöntemlerin yardımına daha çok ihtiyaç duyulmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Kazı Mekaniği, Mekanize Kazı, Kayaç Kesme Teorileri.

### **Abstract**

In this study, rock cutting machines, rock cutting tools, laboratory tests and theories which were developed for explanation of rock cutting with given tools were briefly mentioned. Among these tools, rock cutting theories for chisel cutters were given which were the first hand tools of mankind and first cutting tools which were used in rock/coal and metal cutting machinery. With this regard, first metal cutting theory of Merchant and adaptation of this theory to coal cutting by Potts and Shuttleworth were presented. Then Evans' studies about coal cutting were supplied. Finally, rock cutting theory of Nishimatsu was given. In addition to these, other works (fracture mechanics and numerical modelling) in regard to rock cutting with chisel cutters were given. Developed cutting theories handled the problem from different perspectives and they could not show same performance for all kinds of rocks. Evans' theory gives more reasonable results for relatively low strength rocks like coal. In contrast, for high strength rock, it has been seen that Nishimatsu's rock cutting theory is more satisfactory. Therefore, it is clear that for a better understanding of basic tool-rock interaction, more rock cutting tests, application of fracture mechanics and numerical modelling is vulnerable.

**Key words:** Rock Cutting Mechanics, Mechanized Excavation, Rock Cutting Theories.

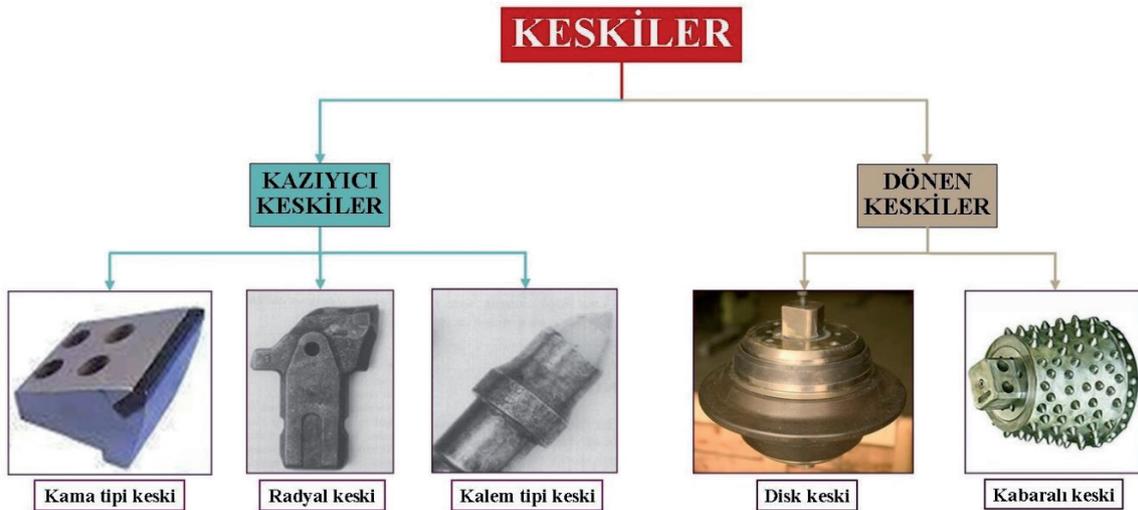
## 1. Giriş

Tünel ve galeri gibi yeraltı yapılarının açılmasında kullanılan iki temel yöntem vardır. Bunlar delme & patlatma ve mekanize kazıdır. Mekanize kazı, kaya ya da zeminin, makinenin kesici kafa/ünitesinde belirli bir diziliş ile yerleştirilen keskiçiler yardımı ile kazılmasına verilen addır. Açıklık ne amaçla ya da ne tür bir makineyle açılıyorsa açılışın, kazı prensibi aynıdır.

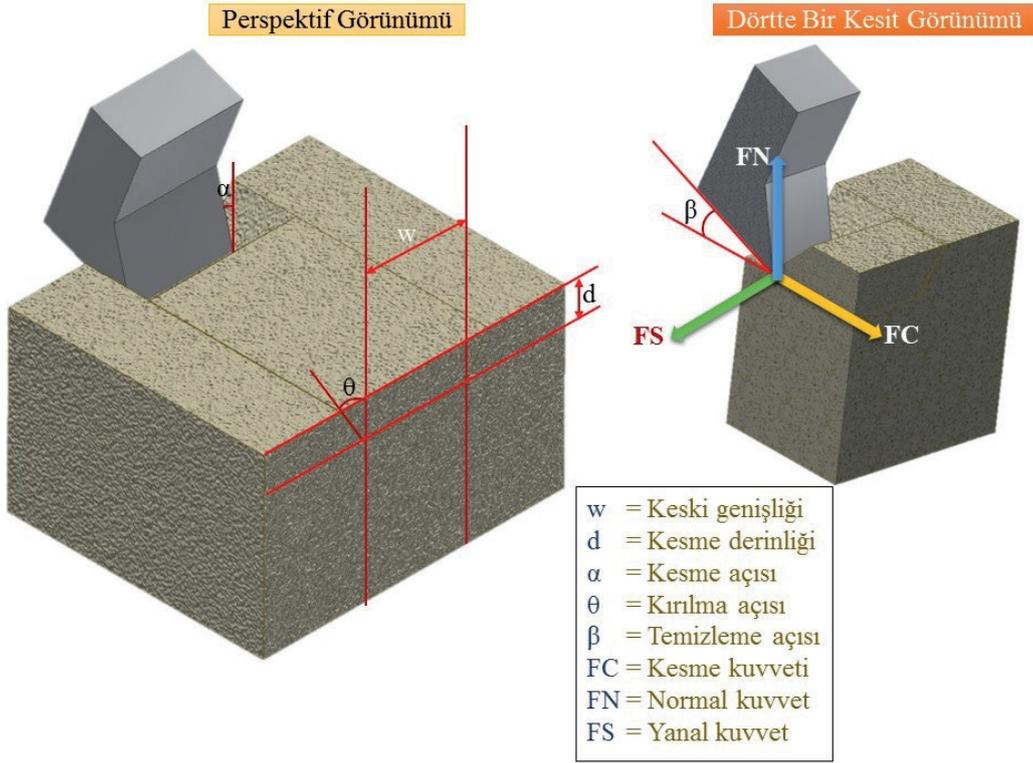
Mekanize kazı fikri ilk olarak 1761 yılında Michael Meinziçs tarafından kömürün kazılması amacıyla ortaya atılmıştır. Ancak birçok makine ile kazı denemesi olmasına rağmen, basınçlı hava bu makinelerde başarılı bir şekilde kullanılabana kadar bu fikir başarıya ulaşmamıştır. İlk başarılı kazı makinesi olarak, William Firth'in 1861 yılında İngiltere'de ürettiği "Iron Man" gösterilebilir (Stack, 1995). Bu tarihten sonra çok sayıda kazı makinesi tasarlanmış, patentlenmiş ve üretilmiştir. Ancak birçok uygulamada başarıya ulaşamamıştır.

II. Dünya Savaşı'nın ardından artan kömür ihtiyacının karşılanabilmesi için mekanize kazının payı konvansiyonel yöntemlere oranla giderek artmıştır. Diğer yandan, güvenlik ve zaman sınırlamalarından dolayı, özellikle de şehirleşmenin yoğun olduğu bölgelerin altında açılan tüneller mekanize olarak açılmaya çalışılmaktadır ve bu çaba giderek artmaktadır. Ancak mekanize kazı ile konvansiyonel yöntem arasında karar verme işlemi çok önemli ve detaylı olarak incelenmelidir. 1950'li yıllara kadar kazı makineleri, kazılacak ortamının kazı işlemine karşı davranışı bilinmeden üretilmiştir. Ancak ortamın davranışı tam anlamıyla bilinemediği için sıklıkla başarısız ve verimsiz kazı operasyonlarıyla karşılaşmıştır ve bu sorunlar bu konu üzerinde araştırmaların yapılması gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu konudaki araştırmalar 20. yüzyılın ortalarında "kazı mekaniği" biliminin doğmasına önayak olmuştur.

Kazı mekaniği, kazı sırasında kaya ya da zemin ile keski arasındaki ilişkileri inceleyen bir bilim dalıdır ve amacı kaya ya da zeminin mekanize kazıya uygunluğunun araştırılmasıdır. Kazı mekaniği ayrıca makine seçimi, performans tahmini ve fizibilite gibi konularını kapsamaktadır (Bilgin vd., 2014). Makine ile kazı sırasında, keskilere üç boyutta kuvvetler etkimektedir. Bunlar kesme kuvveti (FC), normal kuvvet (FN) ve yanıl kuvvettir(FS). Kazı makinelerinde kullanılan keskiçiler Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 2'de ise kama tipi keski ile kayaç kesmenin şematik görünümü ve kesme işlemi ile ilgili parametreler verilmiştir.



Şekil 1. Kazı makinelerinde kullanılan keskiçiler



Şekil 2. Kama tipi keski ile kayaç kesmenin şematik görüntüsü

Keskiye gelen kuvvetlerin bulunması, kazı mekaniğinin ana uğraş alanıdır. Bu sayede makinenin tork ihtiyacı ve makinenin kesici kafa/ünitesinin sahip olması gereken kesme gücü hesaplanabilmektedir (Bilgin vd., 2014).

Keski kuvvetlerinin bulunmasında sıklıkla başvurulan iki yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler teorik ve deneysel yöntemlerdir. Keski kuvvetlerinin deneysel olarak bulunabilmesi için kayaç kesme deneyleri geliştirilmiştir. Bu deneyler tam boyutlu ve küçük boyutlu kesme deneyleri olarak iki gruba ayrılabilir. Bu deneyleri birbirinden ayıran, deneyde kullanılan keski ve kayaç numuneleridir. Tam boyutlu kayaç kesme deneyinde gerçek boyutlu keski ve büyük kayaç blokları kullanılırken, küçük boyutlu kesme deneyinde ise indeks keski ve küçük boyuttaki kayaç numuneleri kullanılmaktadır. Kayaç kesme deneyleri keski kuvvetlerinin bulunmasının en kesin yöntemidir ancak bu deney setleri çok sınırlı sayıda araştırma merkezinde bulunmaktadır.

Daha önce de değinildiği gibi kazı mekaniği biliminin doğmasına ve gelişmesine madenlerdeki makineleşme ihtiyacı önyak olmuştur. 20. yüzyılın ortalarında İngiltere’de kurulan National Coal Board (NCB) araştırmacılar bu bilim dalının doğmasına ve büyük bir gelişim sağlamasına ön ayak olmuşlardır. NCB’daki araştırmacılar kömür kesme işlemini laboratuvar koşullarında gerçekleştirerek kömür kesme olayını teorik olarak açıklamaya çalışmışlardır. İlk kontrollü kömür kesme deneyleri 1950’lerde NCB’da yapılmıştır (Evenden ve Edwards, 1985).

Keski kazı prensibine göre ikiye ayrılmaktadırlar. Bunlar kazıyıcı kazıyıcı (drag cutters) ve dönen keski (roller cutters) olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu iki keski grubunun kazı prensibi aynı gibi görünse de arada bir takım farklılıklar bulunmaktadır. Kazıyıcı keski önündeki kayaya batarak parça koparırlar ve ardından kayaya tekrar batarak parça koparmaya devam ederler. Bu döngü kazı bitene kadar devam eder. Dönen keski kayaya batar ve

altındaki parçayı ezerek kazı işlemini devam ettirir. Tüm keskinlerin kazı mekanizması farklılık göstermektedir. Araştırmacılar tarafından farklı keskinler için analitik ya da yarı ampirik kesme teorileri önerilmiştir. Bu çalışmanın konusu olan kama tipi keskinler için Evans (1958) ve Nishimatsu (1972) tarafından kesme teorileri önerilmiştir. Kalem tipi keskinlerin kesme mekanizmasının açıklanması biraz daha zaman almıştır ve ilk kazı mekaniği teorisi Evans (1984) tarafından önerilmiştir ve bu teori Göktaş (1997) tarafından modifiye edilmiştir. Ayrıca Göktaş (2005) bu teoriyi asimetrik kazı koşulları için yarı ampirik bir yaklaşımla tekrar modifiye etmiştir. Diğer yandan dönerek kazı prensibine göre kesme yapan disk keskinler için de farklı araştırmacılar tarafından kesme teorileri önerilmiştir (Roxborough ve Phillips, 1975; Roxborough, 1978; Rostami ve Ozdemir, 1993; Rostami vd., 1996).

Kama tipi el aletleri insanoğlunun kullandığı ilk araç-gereçlerdendir. Ayrıca metal ve kömür kesme mekaniği ile ilgili ilk çalışmalar da kama tipi keskinler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kama tipi keskinlerde kazı problemi iki boyutlu bir mekanik problemine basitleştirilebilmektedir. Yani kesme kuvvetinin keskin genişliği boyunca eşit olarak dağıldığı varsayılmaktadır ve ayrıca keskin genişliği kesme derinliğinden çok fazla olduğundan dolayı kama tipi keskinin kazı problemi düzlem germe (düzlem şekil değiştirme) problemi olarak ele alınabilmektedir. Bu basitleştirmeler ve varsayımlar, kama tipi keskinlerin kazı mekaniğinin diğer keskinlerin kazı mekanizmasından daha erken gelişim göstermesine ön ayak olmuştur.

Bundan dolayı bu çalışmada, geçmişten günümüze kama tipi uçlarla metal kesme ile başlayarak, kömür ve kayalık kesme teorilerinden bahsedilecektir. Sırası ile Merchant'ın metal kesme teorisine, Potts ve Shuttleworth'un Merchant'ın metal kesme teorisini kömür kesmeye uygulamasına, Evans'ın kömür kesme teorisine ve Nishimatsu'nun kayalık kesme teorisine değinilecektir.

## 2. Kama tipi Keskinler için Kesme Teorileri

### 2.1. Merchant (1945) Metal Kesme Teorisi

1943 yılına kadar metal kesme ile ilgili 4000'den fazla çalışma olmasına (Boston, 1945) ve bu tarihe kadar farklı araştırmacıların metal kesme mekaniği üzerine çalışmalar yapmasına rağmen Merchant'ın teorisi ilk metal kesme teorisidir ve bu nedenle önemini hiçbir zaman yitirmemiştir. Birçok teori onun teorisinin üstüne kurulmaya çalışılmıştır. Merchant, metal kesme işlemindeki parça (chip) oluşumunu inceleyerek, parçanın denge konumuna göre teorisini geliştirmiştir. Keskin genişliği kesme derinliğine nazaran çok büyük olduğundan dolayı keskinin kayalık batması bir düzlem germe problemi olarak kabul edilmiştir ve problem iki boyutta incelenmiştir. Merchant teorisini iki temel varsayım üzerine kurmuştur. Birincisi malzemenin Coloumb yenilme kriterine uyduğunu kabul etmiştir. İkinci olarak ta düzlem gerilmenin sabit olduğu ve yenilme kriterinin sağlandığı varsayılmıştır (Merchant, 1944). Şekil 3'te Merchant'ın kesme teorisindeki kuvvetlerin dağılımını gösterilmektedir. Bu şekildeki sembolleri açıklamak gerekirse:  $F'C$  maksimum kesme kuvveti,  $F'N$  maksimum normal kuvvet,  $d$  kesme derinliği,  $R$  bileşke kuvvet,  $\beta$  keskinin ön yüzeyi ile yatay kayalık yüzeyinin yaptığı açı,  $\phi$  sürtünme açısı,  $\alpha$  kesme açısı ve  $\psi$  ise kesme düzleminin açısıdır. Yukarıda söz edilen iki varsayım ve kuvvet ve gerilmelerin dengesi göz önünde bulundurularak  $F'C$  ve  $F'N$  şu şekilde verilmektedir.

$$F'C = \sigma_s d w \frac{\cos(\phi - \alpha)}{\sin \psi \cos(\psi + \phi - \alpha)} \quad (1)$$

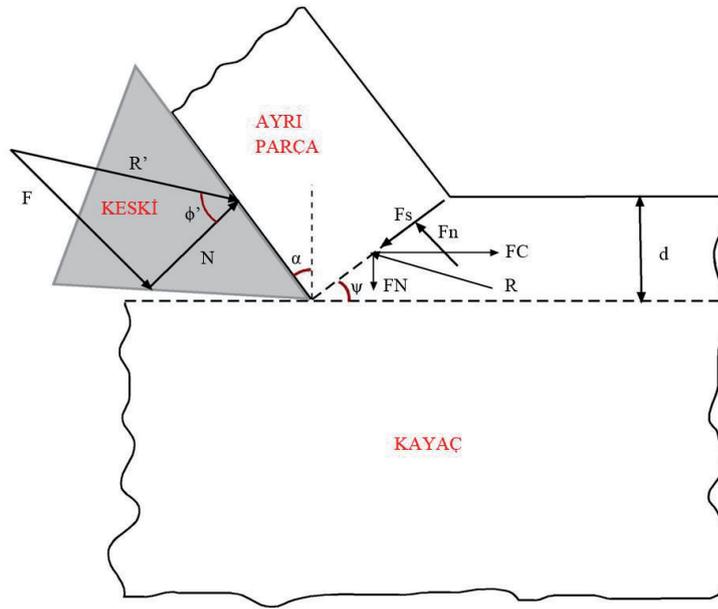
$$F'N = F'C \tan(\phi - \alpha) \quad (2)$$



$$F'C = \sigma_s d w \frac{\cos(\phi - \alpha)}{\sin \psi \cos(\psi + \phi - \alpha)} \quad (3)$$

Burada;

- $F'C$  = Maksimum kesme kuvveti, N,  
 $\sigma_s$  = Kömürün kesme dayanımı, MPa,  
 $d$  = Kesme derinliği, mm,  
 $w$  = Keski genişliği, mm,  
 $\psi$  = Kesme düzleminin açısı,  
 $\alpha$  = Kesme açısı,  
 $\phi$  = Keski ile kayaç arasındaki sürtünme açısı'dır.



Şekil 4. Potts-Shuttleworth'un kayaç kesme teorisinin şematik gösterimi

### 2.3. Evans (1958) Kömür Kesme Teorisi

Kömür kesme için ilk teori Evans tarafından ortaya atılmıştır. Evans, NCB'daki uzun araştırmaları neticesinde bu teoriyi ortaya atmıştır. Deneysel çalışmalar süresince, kama uçlu keski-kayaların kömüre batmaları ve keski batarken kömürde oluşturduğu kırılma paternleri detaylı olarak incelenmiştir. Şekil 5'te keski kayaca batarken oluşan kırılma paterni ve Evans (1958) tarafından basitleştirilmiş kırılma modeli görülmektedir. Bu modele göre çekme kırılması keskinin ucundan başlayarak dairesel bir ABC hattı boyunca gelişmektedir. Dairesel yayın merkezi O' noktasındadır ve minimum iş hipotezine göre yayın açısının kesme açısına eşit olduğu kabul edilmektedir. Parçaya etki eden bileşke kuvvetin (R), keskinin ucuna dik olduğu kabul edilmiştir. Evans'ın teorisinde de gerilme durumu düzlem germe olarak kabul edilmektedir.

Merchant'ın kesme teorisinden farklı olarak bu teoride, kömürün çekme gerilmesinin aşılması sonucu yenildiği kabul edilmektedir. Kömürün kazı şekil incelendiğinde metalden farklı olarak, kesilmeden ziyade patlayarak koparıldığı görülmektedir. Bu da gevrek kırılmaya (patlama) işaret etmektedir. Evans teorisini ilk kez 1958 yılında sundu ancak teori yıllar içinde değişikliklere uğradı ve 1984 yılında son halini almıştır (Evans, 1962, 1965, 1984; Evans ve Pomeroy,

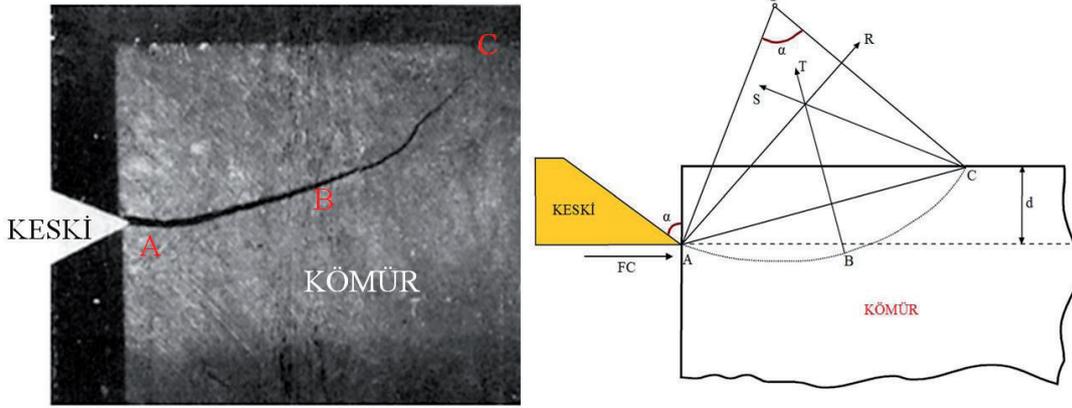


1966). Kömür kesme sırasında keskiye yatay yönde gelen kuvvet aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$F'C = \frac{2\sigma_t d w \sin \frac{1}{2}(\frac{\pi}{2} - \alpha)}{1 - \sin \frac{1}{2}(\frac{\pi}{2} - \alpha)} \quad (4)$$

Burada;

- F'C = Maksimum kesme kuvveti, N,  
 $\sigma_t$  = Kömürün çekme dayanımı, MPa,  
d = Kesme derinliği, mm,  
w = Keski genişliği, mm,  
 $\alpha$  = Kesme açısı'dır.



Şekil 5. Kömür kesme deneyindeki kırılma paterni ve Evans kömür kesme teorisinin şematik gösterimi

#### 2.4. Nishimatsu (1972) Kayaç Kesme Teorisi

Nishimatsu (1972), ilk kayaç kesme teorisi olarak kabul edilebilir. Buraya kadar sözü edilen teoriler sırasıyla metal ve kömür kesme üzerine oluşturulmuştur. Bu çalışmada ise Nishimatsu, kayaç kesmenin mekanizması üzerine çalışmalar yapmıştır. Nishimatsu'nun kayaç kesme modeli Merchant'ın metal kesme mekanizmasına benzemektedir. İki teoride de kesme olayı malzemenin kesme dayanımının aşılması ile gerçekleşmektedir. Nishimatsu bu teoriyi dört temel varsayım üzerine kurmuştur. Bunlar:

- Kayaç kesme, gevrek bir kırılma işlemidir ve kesme işlemi sırasında plastik deformasyon gözlemlenmemektedir,
- Kayaç kesme düzlem germinin etkisi altındadır,
- Kırılma işlemi, doğrusal Mohr zarfı ile açıklanmaktadır,
- Kesme hızının, kesme işlemine ve kesme mekaniğine herhangi bir etkisi yoktur (Whittaker vd., 1992).

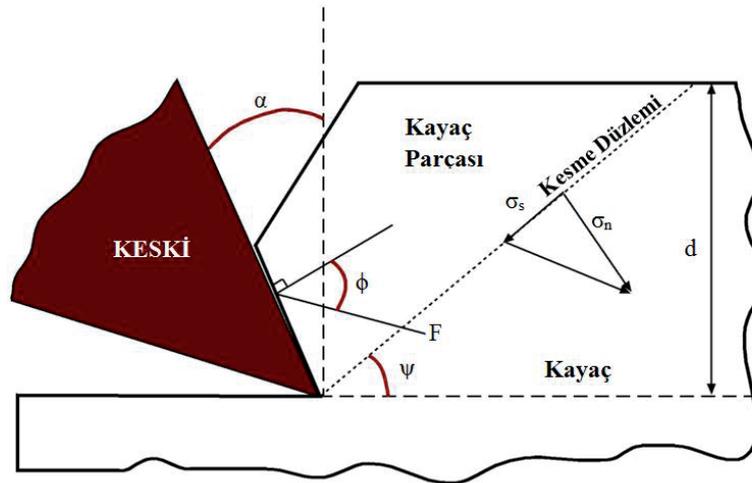
Bu dört varsayımı temel alarak Nishimatsu, kesme kuvveti ve normal kuvvetin bulunabilmesi için aşağıdaki formülleri önermiştir. Bu teoriyi diğerlerinden ayıran bir farklılık gerilme dağılım faktörü (n) diye bir sabit tanımlanmış ve bağıntıya eklenmiştir. Gerilme dağılım faktörü, kesme açısına bağlı olarak değişmektedir.

$$F'C = \frac{2 \sigma_s d w \cos i \cos (\phi - \alpha)}{(n + 1)(1 - \sin(i + \phi - \alpha))} \quad (5)$$

$$n = 11,3 - 0,18\alpha \quad (6)$$

Burada;

- $F'C$  = Maksimum kesme kuvveti, N,  
 $\sigma_s$  = Kömürün kesme dayanımı, MPa,  
 $d$  = Kesme derinliği, mm,  
 $w$  = Keski genişliği, mm,  
 $i$  = İçsel sürtünme açısı,  
 $\phi$  = Kayaç ile keski arasındaki sürtünme açısı,  
 $n$  = Gerilme dağılım faktörü,  
 $\alpha$  = Kesme açısı'dır.



Şekil 6. Nishimatsu'nun kayaç kesme modeli

### 3. Değerlendirme ve Sonuçlar

Bu çalışmada farklı araştırmacıların kama uçlu keski mekanizmasının açıklanması için geliştirdikleri kaya kesme teorilerinden bahsedilmiştir. İlk kesme teorisi Merchant'ın metallerin kama keski ile kesilmesini açıklayan teorisidir. Metal kesme işlemi kayaç kesmeden biraz daha farklı gelişmektedir. Metal kesmede plastik deformasyon gerçekleşirken ve tam anlamıyla bir kesme işlemi gerçekleşirken kayaç kesme de elastik kırılma ya da patlama meydana gelmektedir. Evans (1958) kesme teorisini bu temele oturtmuştur ve kömürün kesilmekten ziyade kırıldığını gözlemleyip teorisini oluşturmuştur. Aynı şekilde Nishimatsu (1972) kayaç kesmede plastik deformasyon görülmediğini iddia ederek teorisini şekillendirmiştir. Şüphesiz ki bu iki teorisinin kazı mekaniği açısından önemi yadsınamaz, muhtemelen en fazla kullanılan ve referans verilen kayaç kesme teorileri Evans ve Nishimatsu'nun teorileridir. Ancak uzun zaman boyunca yapılan sayısız kayaç kesme deneyi sonucunda belli kayaçlar için farklı kesme teorilerinin daha doğruya yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Örneğin orta ve yüksek dayanımdaki kayaçların kazısında oluşan keski kuvvetleri Nishimatsu (1972) ile daha doğru tahmin edilmektedir (Bilgin vd., 2014). Bu iki teori problemi ele alış biçiminden

birbirinden ayrılmaktadır. Temel farkı yaratan unsur ise keskinin hareketidir. Evans (1958)'ın problemi ele alış biçimi dikkatli incelendiğinde, keskinin sivri ucunun kömüre batarak ilerlediği ve üst tarafta kalan kömür parçasını yukarı iterek dairesel kesme hattı boyunca çekme gerilmeleri oluşturduğu açıkça görülmektedir. Parçanın kopma işleminin ise bu dairesel hat boyunca oluşan çekme gerilmelerinin kayacın çekme dayanımını aşmasıyla gerçekleştiği iddia edilmiştir. Nishimatsu (1972)'nin problemi ele alış biçimi Evans (1958)'ten farklı gerçekleşmiştir. Nishimatsu keskinin kesme yüzünün önündeki kayaca batmadan ziyade bir basınç etkisi yaratacak şekilde düzlemsel bir kırılma hattı oluşturduğunu ileri sürmüştür. Bu teoride basıncın gerilme durumu basma gerilmesidir ve bu yenilmenin düzlemsel Mohr-Coloumb zarfını sağladığı varsayılmıştır. Buraya kadar verilen bilgilere de dayanarak, kullanılacak olan teori seçilirken keskinin şekli de önemli bir yer teşkil etmektedir. Kesme açısı ( $\alpha$ ) negatif ya da sıfıra yakın olan keskinde Nishimatsu teorisi, açısının büyük olduğu durumlarda Evans teorisinin kullanılması daha mantıklı görünmektedir. Ayrıca daha önce bahsedildiği gibi kullanılacak olan kayacın dayanım özellikleri de diğer önemli husustur. Kömür, kaya tuzu ya da evaporitler gibi kayalarda Evans'ın teorisinin, dayanımı daha yüksek olan kayalarda ise Nishimatsu teorisinin kullanılması daha gerçeğe yakın sonuçlar verebilecektir.

Bunlara ek olarak Bilgin vd. (2012), bir tünel açma makinesi üzerindeki disk keskinin yerine kama tipi keskinin yerleştirilmesinin etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca, karmaşık şekilli kama tipi keskin için kesme kuvvetinin bulunabilmesi için Evans (1958) teorisine keskinin aşınma miktarı, tepe açısı ve alt v açısı ile ilgili üç farklı keski parametresi ekleyerek eşitliği modifiye etmişlerdir.

Kayaç kesme teorilerine ek olarak farklı araştırmacılar kesme kuvvetlerinin kayaçların mekanik özelliklerinden bulunabilmesi için ampirik yaklaşımlar geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımlar tek bir kesme durumuna özel olarak geliştirildikleri için kesme kuvvetini tahmin etme yetenekleri sınırlıdır. Bunun dışında farklı araştırmacılar kaya kesme işleminin daha detaylı açıklanabilmesi için kırılma mekaniği prensiplerini kullanmışlardır (Guo vd., 1992). Kırılma mekaniği prensipleri genellikle nümerik modellerdeki kırılma mekanizmasının modellenmesinde kullanılmaktadır. Farklı araştırmacılar kesme kuvvetinin bulunabilmesi için nümerik modelleme yöntemlerine başvurmuşlardır. Bu yöntemler sonlu elemanlar (Menezes vd., 2014), sonlu farklar (Huang vd., 1998), sınır elemanlar (Chen vd., 1998), ayrık elemanlar (Su ve Akcin, 2010) yöntemleridir. Görüldüğü gibi temel keski kayaç etkileşiminin açıklanabilmesi için çok farklı araştırmacılar farklı yöntemlere başvurmuşlardır ve başvurmaya devam etmektedirler. Kazı mekaniğinin daha iyi anlaşılabilmesi için kayaç kesme deneylerinin daha yaygınlaşması, sayısal modelleme çalışmalarında yeni yöntemlere başvurulması, kırılma mekaniğinin, elastisite ve plastisite teorisinin prensiplerinin kazı mekaniğinin içine daha çok sokulması gerekmektedir.

## **Kaynaklar**

Bilgin, N., Copur, H., ve Balci, C., 2012. Effect of replacing Disc Cutters with Chisel Tools on Performance of a TBM in Difficult Ground Conditions. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 27(1), 41–51.

Bilgin, N., Çopur, H., ve Balci, C., 2014. *Mechanical Excavation in Mining and Civil Industries*, CRC Press, 366 s.

Boston, O., 1945. *A Bibliography on Cutting of Metals*. ASME, 547 s.

Chen, C. S., Pan, E. ve Amadei, B., 1998. Fracture Mechanics Analysis of Cracked Discs of Anisotropic Rock Using the Boundary Element Method. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 35(2), 195–218.

Evans, I., 1958. *Theoretical Aspects of Coal Ploughing, Mechanical Properties of Non-Metallic Brittle Materials*. Butterworths, London, 451–468.

Evans, I., 1962. A Theory of the Basic Mechanics of Coal Ploughing, *International Symposium on Mining Research*, Missouri, 761-798.

Evans, I., 1965. The Force Required to Cut Coal with Blunt Wedges, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics Abstracts*, 2, 1–12.

Evans, I. ve Pomeroy, C. D., 1966. *The strength, fracture and workability of coal*, Oxford: Pergamon Press, 277 s.

Evans, I., 1984. A Theory of The Cutting Force For Point-Attack Picks, *International Journal of Mining Engineering*, 2, 63–71.

Evenden, M. P., ve Edwards, J. S., 1985. Cutting Theory and Coal Seam Assessment Techniques and Their Application to Shearer Design. *Mining Science and Technology*, 2, 253–270.

Goktan, R. M., 1997. A Suggested Improvement on Evans'Cutting Theory for Conical Bits. In *4th International Symposium on Mine Mechanisation and Automation*, 57 – 61.

Goktan, R. M., ve Gunes, N., 2005. A Semi-Empirical Approach to Cutting Force Prediction for Point-Attack Picks. *The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 105 (April), 257–263.

Guo, H., Aziz, N. I., ve Schmidt, L. C., 1992. Rock Cutting Study Using Linear Elastic Fracture Mechanics, *Engineering Fracture Mechanics*, 41, 771–778.

Huang, H., Damjanac, B. ve Detournay, E., 1998. Normal Wedge Indentation in Rocks with Lateral Confinement. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 31(2), 81–94.

Menezes, P. L., Lovell, M. R., Avdeev, I. V., Lin, J. S. ve Higgs, C. F., 2014. Studies on the Formation of Discontinuous Chips During Rock Cutting Using An Explicit Finite Element Model. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70, 635-648.

Merchant, M.E., 1944. Basic Mechanics of the Metal Cutting Process, *Journal of Applied Mechanics*, 66, 168-175.

Nishimatsu, Y., 1972. The Mechanics of Rock Cutting, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9, 261-270.

Potts, E. L. J. ve Shuttleworth, P., 1958. A Study of Ploughability of Coal, With Special Reference to the Effects of Blade Shape, Direction of Planing to the Cleat, Planing Speed and the Influence of Water Infusion, *Transactions of Institution of Mining Engineers*, London, 117, 520-548.

Rostami, J. ve Ozdemir, L., 1993. A New Model for Performance Prediction of Hard Rock TBMs. In: Proceedings of Rapid Excavation and Tunnelling Conference, USA, 794–809.

Rostami, J., Ozdemir, L. ve Nilsen, B., 1996. Comparison between CSM and NTH Hard Rock TBM Performance Prediction Models. In: Proceedings of Annual Technical Meeting of the Institute of Shaft Drilling and Technology (ISDT), Las Vegas, NV, pp. 11.

Roxborough, F.F., 1978. Fundamental Studies on the Mechanics of Cutting Rock with Disc. In: Third Australian Tunnelling Conference, Sydney, 43–47.

Roxborough, F.F. ve Phillips, H.R., 1975. Rock Excavation by Disc Cutter. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts 12, 361–366.

Stack, B., 1995. Encyclopedia of Tunnelling, Mining and Drilling Equipment, Volume 1, Mudén Publishing, Tasmania, 527 s.

Su, O. ve Akcin, N. A., 2011. Numerical Simulation of Rock Cutting Using the Discrete Element Method, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 48, 434–442.

Whittaker, B. N., Singh, R.N. ve Sun, G., 1992. Rock Fracture Mechanics: Principles, Design and Applications. Elsevier, Amsterdam.



## **Economic Potential and Production of Gypsum Deposits in Turkey**

Nevzat Kavaklı<sup>1\*</sup>, Seyfi Kulaksız<sup>2</sup>, Mehmet Tombul<sup>3</sup>, Mustafa Sever<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Ministry of Energy and Natural Resources.*

<sup>2</sup> *Madinsan Inc*

<sup>3</sup> *Ministry of Energy and Natural Resources, General Directorate of Mining Affairs*

\**Corresponding author: nkavakli@enerji.gov.tr*

### **Abstract**

To observe global trends in industrial raw material-minerals production, there is a need for significant data, providing information concerning investors and markets. Low value raw industrial material compare to metals, precise production figures are important as well, short-long term demand and investment. Turkey gypsum deposits have generally mined as a basin and there are no detailed petrographic and chemical studies related to these deposits. The graduate studies, carried out in a limited number, mostly are not for economical mining. In this study, evaluation of gypsum deposits in Turkey is given based on several reports, references and our geological prospection. The present data for Turkey and the world based on these statistics do not reflect the actual gypsum production in Turkey. Turkey gypsum statistical data is expressed as a low according to actual situation in the world statistics. To provide accurate data for the world statistical and to express gypsum deposits and potential of Turkey are aimed in this study.

**Key words:** Gypsum Deposits, Turkish Gypsum Industries, Plaster Production, Market, Statistical Data.

## 1. Introduction

World gypsum production statistical data of Turkey is not correct according to years and many references. Demand for gypsum principally construction industry, especially cement, manufacturing and building plasters.

Turkish manufacturer of Portland cement yearly production is over  $70 \times 10^6$  tones. Form this point of the view the crude at least over  $4.5 \times 10^6$  tones old years except plaster of Paris and its products. However, USGS information based on countries data is very low of Turkish production. Turkey has a large deposits and its reserves over  $2 \times 10^9$  tones.

Table 1. Conflict of different statistical data of various sources.

Gypsum Production by Country (Thousand metric tons) * www.indexmundi.com 2013		*USGS 2012-2013			
Rank	Country	World Production, By Country (Thousand metric tons)	Mine Production		
			2011	2012±	
1	China	129,000	United States	8,900	9,900
2	United States	15,500	Algeria	1,650	1,650
3	Iran,	15,000	Argentina	1,340	1,200
4	Turkey	8,300	Australia	3,500	3,000
5	Spain	6,400	Brazil	2,750	2,800
6	Thailand	6,300	Canada	2,550	2,200
7	Japan	5,500	China	48,000	48,000
8	Russian Federation	5,100	France	2,300	2,300
9	Mexico	5,090.86	Germany	2,020	2,050
10	Italy	4,100	India	2,700	2,750
11	Brazil	3,750	Iran	13,000	14,000
12	India	3,538	Italy	4,130	4,100
13	Australia	3,500	Japan	5,600	5,700
14	Oman	2,785.13	Mexico	3,840	3,850
15	Canada	2,654	Poland	1,200	1,200
16	Saudi Arabia	2,400	Russia	3,000	3,100
17	France	2,300	Saudi Arabia	2,100	2,300
18	Germany	1,950	Spain	11,500	11,500
19	United Kingdom	1,700	Thailand	9,900	10,000
20	Algeria	1,700	Turkey	3,200	3,000
21	Argentina	1,443	United Kingdom	1,700	1,700
22	Poland	1,270.13	Other Countries	14,500	14,900
			World total (rounded)	149,000	150,000

Turkey gypsum deposits have been investigated by MTA (Mineral Research & Exploration General Directorate of Turkey) locally basins. There are no detailed studies from point of stratigraphy, sedimentology, geochemistry, structural geology, karstification and anhydride relationships (except in the province of Denizli).

## 2. Classification of Turkey Gypsum Deposits

In this study, the classification was carried out as follow on the basis of geological age, basin characteristics, quality of deposits (Alçiçek, 2007; Bingöl, 1997; Brennich, 1968; Çayırılı, 1991; Erdoğan, 1997; Gündoğan ve Helvacı, 2001; Gündoğan vd., 2008; Kulaksız vd., 1997a; Kulaksız vd., 1997b; Kulaksız vd., 2008; Görmüş ve Kulaksız, 1997 ; Kozacı ve Kulaksız, 2013; Yahşi ve Kulaksız, 2015; Kulaksız, 1999). The details of environmental conditions were excluded in this classification.. The basin conditions and main deposits are given in the Figure 1 and 2.



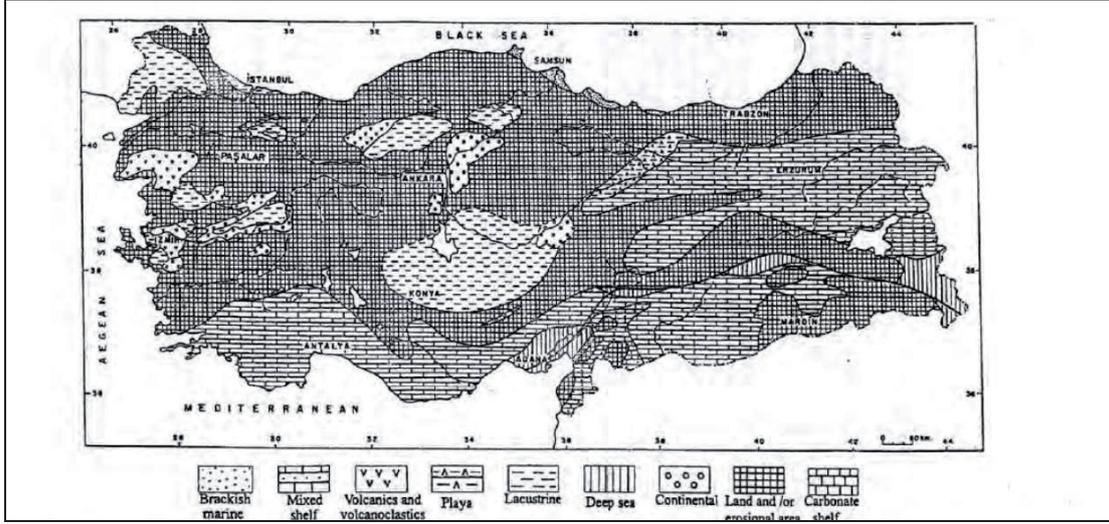


Figure 1. Turkey Lower Miocene Paleogeography (Gündoğan ve Helvacı, 2001)



Figure 2. The main gypsum basen and gypsum quality map

According to Figure 1 and 2, important gypsum deposits are;

- A- Bala (Ankara) - Aksaray-Ulukışla (Niğde) - Sivas gypsum deposits (generally massive and bedded with white color)
- B- Ayas-Beypazarı-Sivrihisar gypsum deposits [bedded with gray color and clay (Messinian type)]
- C- Tarsus gypsum deposits (selenite type)
- D- Denizli-Honaz gypsum deposits (selenite, massive and bedded)
- E- Uneconomical Eocene aged gypsum deposits are not subjected in this study

## 2.1. Bala-Aksaray-Ulukışla-Sivas Basin

The gypsum deposits of these regions are in white and consists of bedded structure at edges of basin according to environmental and palaeogeographical conditions. There is 1.5-2 m of selenite bed in Bala-Aladağ region according to environmental and palaeogeographical conditions. This structure is not visible in Bala region and the gypsum bed is changed to anhydrite bed after the 20-50 m thickness. The anhydrite thickness has not been exactly determined. One of the exploration drilling was ended at 154 m in anhydrite.

The thickness of 200-240 m in intercalation bed of gypsum+anhydrite+clay was determined in phase studies at Niğde-Bor-Ermenek. This situation was determined during Aksaray gas storage drilling.

Different researchers mentioned the thickness of 300-750 m in Ulukışla region. Sivas gypsum deposits are similar to the Bala area and has at least as a big as Bala reserve. The  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  percentage varies between 90-98% in this type gypsum deposits. There are two dominant types of karst in these regions. The sink hole and groove type of karsts are dominated in dolines.

## 2.2. Beypazarı-Ayaş-Sivrihisar Gypsum Deposits

These deposits are bedded and in gray-white color, and contain clay and marl. The slopes of bed are between 0-15°. The  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  percentage varies between 75-90%. Although there is massive white gypsum in the edges of basin. Çankırı, Çorum, Yozgat, Erzurum, Siirt, Batman regions are similar to the Beypazarı deposits. The most important problem in these regions is the laminated level of clay-marl.

## 2.3. Tarsus Selenite Gypsum Deposits

The massive-bedded white gypsums overlaps selenite gypsum level (80-90%  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) in Mersin-Tarsus deposits. The marl and clay content varies between 5-26% in selenite crystals. Similar deposits to these are İskenderun, Denizli-Yeşilyurt, Buldan deposits. These are more suitable to cement industry.

## 2.4. Denizli-Honaz Gypsum Deposit

Denizli-Honaz gypsum deposit is the Turkey's only Mesozoic gypsum deposit according to field investigations and scientific studies. It has not a homogeneous structure due to clay-marl content and tectonic structures. This deposit is not enough for gypsum industry in terms of reserves. The distribution of these deposits and quality are revised according to MTA data given in Table 2.

Table 2. Turkish main gypsum reserves and quality (Very good:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  over 92 %, Good: 85-92 %  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , Average: 85-75%  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  content)

City	Proven ( $10^6$ tones)	Probable ( $10^6$ tones)	Quality
Kütahya	5	25	Average
Denizli	10	25	Average
Balıkesir	1	10	Average
Eskişehir	15	30	Good
Ankara	1.000	200	Very good
Aksaray	100	200	Very good
Niğde	500	300	Very good
Çankırı	150	100	Good
Çorum	30	100	Good
Sivas	150	500	Very good
Siirt	10	50	Good
Batman	20	20	Good
Total	1.991	1.560	

Meanwhile Bala-Koçhisar Eocene gypsum deposits are not economical due to the high overburden thickness.

## 2.5. Complex Type Gypsum Deposits

Other Turkish gypsum deposits are located to Bursa-Gemlik, Balıkesir-Susurluk, Kütahya, İskenderun, Malatya-Hekimhan, Kırşehir-Nevşehir. These deposits have a bedded-clayey and selenite structure.

## 3. Gypsum Production of Turkey

Gypsum was covered by the mining law since 2002 and production companies have been quickly started to establish their manufacturer plants for plaster and plaster products. The raw material guarantees and enlargement of construction industry in Turkey have provided this development. On the other hand, more reliable statistics for raw gypsum production has been provided.

The sixty-eight cement plants have been installed in Turkey. The  $76 \times 10^6$  tons cement production per year is carried out from these plants. Gypsum production in Turkey is carried out in 18 private companies and 27 manufacturer plants.

The gypsum productions for the years 2004-2014 are given in Figure 3.

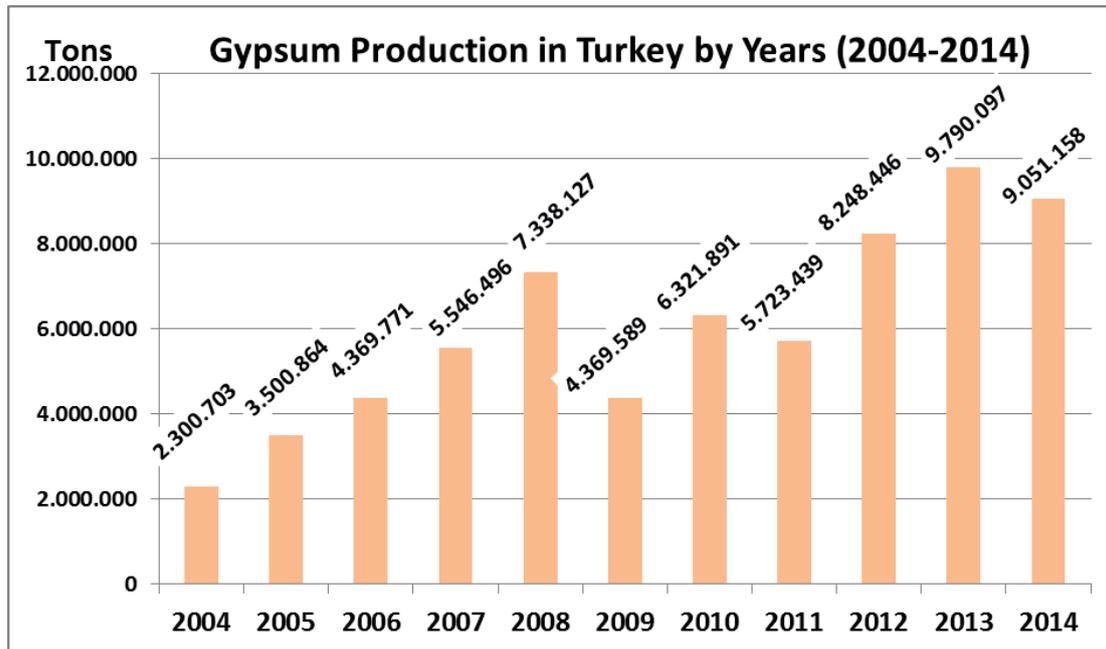


Figure 3. Turkish gypsum production between 2004 and 2014 (small scale mining companies' data are not included)

The  $3.5 \times 10^6$  tons raw gypsum is mined annually from Middle Anatolia. The second region in terms of production is Ulukışla region and that annually production is  $1 \times 10^6$  tons raw gypsum.

### 3.1. Producer Gypsum Private Companies

There are 26 private mining companies in Ankara-Aksaray regions. The annual productions of these each companies varies between  $0.6 \times 10^5$  -  $1.8 \times 10^6$  tons/year.

The annual gypsum production (2004-2014) according to General Directorate of Mining Affairs (MİGEM) and Gypsum Producers Association of Turkey (ALÇİDER) is given in Table 2. Reliable statistics have been provided since 2006. It is considered that statistical data belongs to 2009 is not reliable due to economic crisis and unrecorded data. The cause of low production in years 2009, 2010 and 2011 is the lack of capacity of small scaled private producers in general gypsum production statistics.

**Table 3. Production of gypsum plaster and gypsum products (2012-2015) (ALÇİDER)**

<b>2012 (Million Ton)</b>	Raw Gypsum Production: 8.248		
	Domestic Production	Export	Total
Gypsum Plaster	3.150	700	3.850
Gypsum Panel	620	200	820
Total	3.770	900	4.670
<b>2013 (Million Ton)</b>	Raw Gypsum Production: 9.790		
	Domestic Production	Export	Total
Gypsum Plaster	3.400	800	4200
Gypsum Panel	700	210	910
Total	4.100	1.010	5.110
<b>2014 (Million Ton)</b>	Raw Gypsum Production: 9.051		
	Domestic Production	Export	Total
Gypsum Plaster	3.600	850	4.450
Gypsum Panel	750	250	1.000
Total	4.350	1.100	5.450
<b>2015 (Million Ton)</b>			
	Domestic Production	Export	Total
Gypsum Plaster	3.800	850	4.650
Gypsum Panel	800	280	1.080
Total	4.600	1.130	5.730
<b>2016 (Million Ton)</b>			
<b>(Estimated)</b>	Domestic Production	Export	Total
Gypsum Plaster	4.000	900	4.900
Gypsum Panel	850	300	1.150
Total	4.850	1.200	6.050

The number of mining licenses for gypsum in Turkey is given in Table 4 in terms of regions according to MİGEM data.

**Table 4. The gypsum mining licenses figures according to province in Turkey**

Province	Number of License	Number of License Non-Operated
Ankara	54	8
Bala	34	
Niğde	10	3
Aksaray	6	1
Erzurum	4	
Siirt	6	2
Batman	4	2
Denizli	13	6
Çorum	8	3
Çankırı	4	2
Kayseri	4	2
Kırıkkale	5	
Malatya	7	4
Tunceli	4	1

In Turkey, the number of operating license for gypsum is 394, the 166 of licenses of these operating licenses have operating permit and the number of licenses carried out actual production is 90.

#### **4. Comments**

Generally, in the world, the production of gypsum is accepted as a 1/5 to 1/3 of cement production. Accordingly, it is thought that the annual gypsum production of Turkey should be 12-20 x 10<sup>9</sup> tons/year. In accordance with this aim, increments in the capacity of gypsum production plants should be planned. The use of gypsum plaster in all interiors must become standard and should be mandatory in construction industry. This should provide both decreasing the building loads and increasing the heat insulation.

The raw material social and fosterage guarantees should be spread to all regions, especially east regions of Turkey such as Kars, Erzurum, Tunceli and Sivas. These investments facilities will also reduce the haulage cost.

The construction activities in neighboring countries (Syria, Iraq) will increase in 2-3 years and Turkey, the closest country, will be a great advantage for gypsum investors in terms of competition.

#### **5. Conclusions**

1. Collection and evaluation of basic investment of project must include concerning technical, production and marketing data.
2. Statistical information frame work is very important and must be reliable.
3. Statistical data must be checked with various other references.
4. Turkish gypsum deposits are potential mining for regional tradable minerals for investors.
5. Our experiences the lack of statistical reserve and production are of outmost importance for regional estimates of short and long term domain and successful planning and policy.
6. Turkish gypsum industrial mineral is a big opportunity for foreigner investors for 3-4 years.

#### **Acknowledgment**

Sincerely thanks for the technical helps of Assoc. Prof. Dr. Fatih BAYRAM and Dr. Fırat ATALAY.

#### **References**

Alçıçek, H., (2007). Sedimentological investigations of neogene deposits of the Denizli basin (Sarayköy-Buldan area, SW Turkey) Ankara University Institute of Natural and Applied Science PhD Thesis

Bingöl, E., (1997). Turkey Gypsum Deposits III. Gypsum Congress

Brennich, C., Reports on some gypsum occurrences in Turkey belongs to years of 1965, 1966, 1967, 1968, MTA (Unpublished)

Çayırılı, H. (1991) Turkey Gypsum Deposits, I. Gypsum Congress (in Turkish)

Erdoğan, M., (1997) Turkey Gypsum Deposits and Properties, II. Gypsum Congress (in Turkish)

Gündoğan, İ., Helvacı, C., (2001) Sedimentological and Petrographical Aspects of Beypazarı and Çankırı. *International Geology Review* 43, 818-829

Gündoğan, İ., Helvacı, C., Sözbilir, H., (2008) Gypsiferous Carbonate at Honoz Dağı, First Documentation of Triassic gypsum in Western Turkey and Its Tectonic Significance. *Journal of Asian Earth Science*, 32, 49-65

Kulaksız, S., Görmüş, S., Şahbaz, A., (1997a). Investigation of Some Licensed Gypsum Sites in Tarsus, Ulukışla, Aksaray Regions and Their Economic Potential, Hacettepe University Foundation of Engineering Faculty, 86 p. (Unpublished)

Kulaksız, S., Görmüş, S., Şahbaz, A., (1997b). Preliminary Investigation of Some Licensed Gypsum Sites in Elmadağ, Şereflikoçhisar, Bala Regions and Their Economic Potential, Hacettepe University Foundation of Engineering Faculty, 67 p. (Unpublished)

Kulaksız S., Bayram F., Yaşitli E., (2008). Rehabilitation Project of Aşıkoğlu Open Pit Gypsum Mine, Hacettepe University Earth Sciences Research and Application Center

Görmüş, S., Kulaksız S., (1997). Preoperating Project of Beypazarı Acısu Gypsum Site Hacettepe University Foundation of Engineering Faculty-Knauff Inc. 20 p. (Unpublished)

Kozacı U., Kulaksız S. (2013) Karstification of Bala (Ankara) Gypsum Area with Associated Landforms and Its Effect to Drilling, Proceedings of the 23rd International Mining Congress and Exhibition of Turkey (in Turkish)

Kulaksız S., 1999 Comparison of Natural Light Building Materials With Other Materials in term of Technical Properties and Economical. Symposium on Importance of Geothermal Energy in Energy Saving and Isolated Light Building Materials. MTA, ed: A. Bülbül, N. Coşar, F. Şener (in Turkish)

Yahşi İ., Kulaksız S., (2015). Transformation from Quarrying to Open Cast Mining in Bala-Aşıkoğlu Gypsum Deposits Proceedings of the 24rd International Mining Congress and Exhibition of Turkey (in Turkish)

Web 1: <http://www.migem.gov.tr/>

Web 2: <http://www.indexmundi.com/minerals/?product=gypsum>

Web 3: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/gypsum/myb1-2013-gypsu.pdf>