

MADENCİLİK

TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI DERGİSİ
THE JOURNAL OF THE CHAMBER OF MINING ENGINEERS OF TURKEY

MART
MARCH
2013

CİLT
VOLUME
52

SAYI
NUMBER
1

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Yazar: Fathi HABASHİ,
Çeviri: Ahmet Deniz BAŞ,
Ersin Y. YAZICI, Oktay CELEP

3 ALTIN METALURJİSİNDE YENİ GELİŞMELER
Recent Advances in Gold Metallurgy

A. Emre DURSUN, Niyazi BİLİM,
M. Kemal GÖKAY

19 KESKİ GEOMETRİSİNİN SPESİFİK ENERJİ
DEĞERİ ÜZERİNE OLAN ETKİSİNİN
İNCELENMESİ
*Investigation of the Effect of Chisel Tool
Geometry on Specific Energy*

Erkan ÖZKAN, Gencay SARIİŞİK,
Sadık CEYLAN

27 Doğal Taş Ocaklarında, Kanal Açma
Yönteminde Yeni Bir Uygulama ve Verimlilik
Analizi
*A New Application of New Channel Opening
Method in Natural Stone Quarries and
Productivity Analysis*

Murat YURDAKUL, Hürriyet AKDAŞ

35 Blok Kesicilerle Doğal Taş Kesiminde
Elektrik Tüketim Değerleri İçin Model Eğri
Önerisi: Gerçek Mermerler Örneği
*On the Power Consumption during Natural
Stone Cutting Processing by Using Block
Cutters: A Model Curve for Marbles*

MADENCİLİK dergisi yazı dizini ve özetlerinin yer aldığı veri tabanları / INDEXED in
IMM Abstracts, GeoRef, Aluminium Industry Abstracts, Cambridge Scientific Abstracts,
PASCAL, Chemical Abstracts, ENCOMPLIT, ENCOMPLIT2, ENERGY, Compendex

Abone Koşulları:

Yıllık abone bedeli 100,00 TL'dir.

Subscription

Annual subscription rate is 100,00 TL. All
subscription inquiries should be made to the
correspondence address.

By bank transfer to (USD account)

Türkiye İş Bankası Mesrutiyet Branch,
Kızılay - Ankara
Swift Code : ISBKTRISXXX
IBAN- TR860006400000242130774805

Banka Hesap No:

Türkiye İş Bankası Meşrutiyet Şubesi:
IBAN: TR43 0006 4000 0014 2130 008120
T.C. Ziraat Bankası Kızılay Şubesi:
IBAN: TR19 0001 0006 8539 0090 315001
Posta Çeki Hesap No: 86665

By bank transfer to (EURO account)

Türkiye İş Bankası Mesrutiyet Branch,
Kızılay - Ankara
Swift Code : ISBKTRISXXX
IBAN- TR190006400000242130784644

ISSN: 0024-9416

ALTIN METALURJİSİNDE YENİ GELİŞMELER *Recent Advances in Gold Metallurgy**

Yazar: Fathi Habashi**

Çeviri: Ahmet Deniz Baş***, ****

Ersin Y. Yazıcı*****

Oktay Celep*****

ÖZET

Altının cevherlerden kazanımı eski çağlardan beri yapılmaktadır. Bununla beraber, modern endüstri yaklaşık yüzyıl önce, siyanürleme prosesinin bulunduğu 1887 yılında kurulmuştur. Bu proses, çeşitli cevherlere başarılı bir şekilde uygulanmış ve 1970'li yıllarda, 1 ppm'e kadar düşük Au içeren cevherleri de kapsayacak şekilde geniş uygulama alanı bulmuştur. Son on yıl içerisinde, doğrudan siyanür liçine uygun olmayan altın cevherlerinin değerlendirilmesine yönelik yeni kimyasal yöntemler geliştirilmiştir. Bunlara örnek olarak, altın içeren sülfürlü minerallerin asite dayanıklı tuğla ile astarlanmış otoklavlar içerisinde yüksek sıcaklık ve basınçta oksidasyonu verilebilir.

Anahtar Kelimeler: Altın, Metalurji, Siyanür Liçi, Refrakter Altın Cevheri

ABSTRACT

Gold has been extracted from its ores since ancient times. The modern industry, however, was established about hundred years ago when the cyanidation process was invented in 1887. The process was applied successfully for a variety of ores and found wide-spread application in 1970's for ores containing as low as 1 ppm gold. In the last decade new chemical beneficiation process have been developed to treat ores that are not directly amenable to cyanidation. These involve aqueous oxidation of sulfide minerals containing gold at high temperature and pressure in autoclaves lined with acid-resisting brick.

Key Words: Gold, Metallurgy, Cyanide Leaching, Refractory Gold Ore

ÇEVİRENLERDEN NOT:

Bu çeviri, yazarın izniyle "Recent Advances in Gold Metallurgy (1998)" yayınından tercüme edilmiş olup, yazarın tavsiyesi üzerine "Gold History Metallurgy and Culture (2009)" kitabından bazı bölümler ilave edilerek güncellenmiştir.

* Revisa de la Facultad de Ingeniera, Universidad Central de Venezuela, 13 (2), 43–54 (1998)

** Maden-Metalurji Bölümü, Laval Üniversitesi, Quebec, Kanada

*** Maden-Metalurji Bölümü, Laval Üniversitesi, Quebec, Kanada, ahmet-deniz.bas.1@ulaval.ca

**** Arş. Gör., Hydromet B&PM Group, Maden Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi

***** Yrd. Doç. Dr., Hydromet B&PM Group, Maden Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi

***** Yrd. Doç. Dr., Hydromet B&PM Group, Maden Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi

1. GİRİŞ

Altın, metalurji tarihinde çok önemli bir role sahiptir (Habashi, 1995). Eski insanlar tarafından değer verilmiş ve birçok farklı objeye dönüştürülerek kullanılmıştır. Eskiden, altını kazanmak için herhangi bir kimyasal veya metalurjik bilgiye ihtiyaç yoktu; çünkü, altın doğada metalik halde bulunduğu için bir tava yardımıyla yapılan basit bir yıkama işlemi ile (panning) parlak altın taneleri kolayca ayrılabilir ve bazende iri altın tanelerinin eritilmesi ile külçe altın elde edilebiliyordu. Ancak, bu işlemlerin yorucu ve büyük sabır gerektiren işlemler olması nedeniyle, simyacılar daha hızlı bir yöntem düşündüler: “baz metallerin altına dönüşümü”. Bir simyacı, bir parça demiri bakır sülfat çözeltisine daldırdığında, demirin hızlı bir şekilde metalik bakır tabakası ile kaplandığını buldu. Bakırın demire dönüşmesi gibi görünen bu işlem esasen aşağıdaki tepkimelerle ifade edilmektedir:

İndirgenme



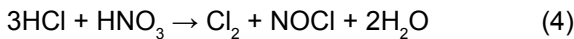
Oksitlenme (yükseltgenme)



Net tepkime



Fakat halen cevapsız kalan asıl önemli soru şuydu: Demir veya bakırın altına dönüşümü nasıl gerçekleşecekti? Altının en soylu metal olduğu, hiçbir asit ve bazda çözünmediği o zamanlarda da bilinmekteydi. Arap simyacı Cabir bin Hayyan (M.S. 720-813) tarafından altını çözebilen “kral suyu”nun (aqua regia / royal water) keşfedilmesi ile altının cevherlerden kazanımı için yeni bir yöntem geliştirilmiş oldu (Habashi, 1993). Kral suyu, tek olarak kullanıldıklarında altını çözemeyen hidroklorik asit ve nitrik asit karışımından oluşur. Bu karışımın etkisi açığa çıkan klor ve nitrosil klorür’e dayanır:



İsveçli bilim adamı kimyager Carl Wilhelm Scheele (1742-1786), 1774 yılında keşfettiği klorun, tüm metallerle tepkime verdiğini açıklamıştır. 1851 yılında Karl Friedrich Plattner (1800-1858, Freiberg), ilk kez klor gazının sulu çözeltisini altının cevherlerden kazanımı için uygulamıştır. “Metallerin dönüşümü” yaklaşımı, ondokuzuncu yüzyılın kimyacıları tarafından terk edilmesine rağmen, metalik demir, klorür liçi çözeltisinden

altının indirgenmesi amacıyla kullanılmıştır. Söz konusu işlem aşağıdaki tepkime ile ifade edilebilir:



2. SİYANÜR LİÇİ

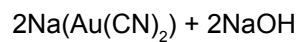
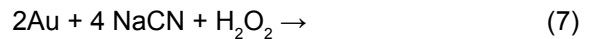
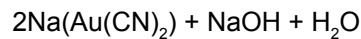
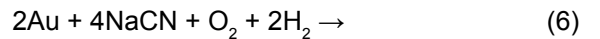
Patenti MacArthur ve arkadaşlarına ait olan siyanür liçi prosesi iki aşamadan oluşmaktadır (Habashi, 1987):

- i. Alkali siyanür çözeltisi ile cevherdeki altının çözündürülmesi
- ii. Liç çözeltilerinden altının metalik çinko ile çöktürülmesi

2.1. Altının siyanür çözeltilerinde çözünmesi

Siyanür çözeltisinin metalik altını çözebilme özelliği, 1783 yılında Scheele tarafından, kendi keşfettiği hidrojen siyanürü kullandığı deneyler ile belirlenmiştir (Habashi, 1967). Altının çözündüğü siyanür çözeltisi (yükü çözelti) Elkington tarafından altının elektrokaplama için gerekli banyo çözeltisi olarak kullanılmıştır. Altının çözünmesi, Rusya’da Bagraton (1884), Almanya’da Elsner (1846) ve İngiltere’de Faraday (1857) gibi dönemin tanınmış kimyagerleri tarafından araştırılmıştır. Ancak, elde edilen bilgileri ilk kez 1887 yılında MacArthur (Resim 1) altın cevherlerine uygulamıştır. Proses, endüstriyel olarak uygulanmaya başlandığında birçok üniversitede buna yönelik araştırmalar da başlatılmıştır.

En önemli katkılar 1896 yılında Bodlander tarafından yapılmıştır. İlk olarak, oksijenin çözünme işlemi için gerekli olduğunu kanıtlamıştır. Bu olguyu Elsner ve Faraday da destekliyordu fakat MacArthur buna şüpheyle yaklaşıyordu. Ayrıca, altının çözünmesi sırasında ara ürün olarak hidrojen peroksitin oluştuğunu keşfetmiş ve aşağıdaki sunulan iki çözünme tepkimesini önermiştir:





Resim 1. John Stewart MacArthur (1871-1908), cevherlerden altın kazanımı için siyanür içini keşfeden kişi

Daha sonra yapılan çalışmalar, ilk tepkimenin (6) liç işlemi için daha önemli olduğunu ortaya koymuştur (Habashi, 1993). Siyanür çözeltisinin altın üzerindeki etkisi uzun bir süre üç sebepten dolayı gizemini korumuştur:

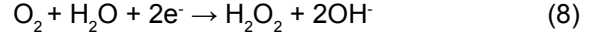
- En soylu metal olan ve sıcak konsantre kral suyu hariç diğer hiçbir asitte çözünmeyen altın, nasıl oluyor da oda sıcaklığında çok seyreltik NaCN veya KCN (%0,01-%0,1) çözeltisinde çözünebiliyor ?
- Derişik NaCN çözeltisinin, seyreltik çözeltiden daha etkili olmadığı bulunmuştur. Sıkça sorulan diğer bir soru da NaCN konsantrasyonunun altın kazanımına olan etkisi Şekil 1'deki gibi gerçekleşirken, neden diğer metallerin çözünme davranışı benzer özellik göstermemektedir? Altın dışındaki metallerin konsantre asit ile liçi, seyreltik çözeltilere nazaran daha hızlıdır.
- Oksijenin tek başına altını oksitlemede hiçbir etkisi olmamasına rağmen, neden siyanür liçinde kullanılması zorunludur ?

Bütün bu açıklanamayan sorular, prosesin bulunuşundan 60 yıl sonra, altının siyanür çözeltisinde çözünmesinin elektrokimyasal bir süreç (galvanik hücre gibi) olduğunun anlaşılması ile açıklığa kavuşmuştur.

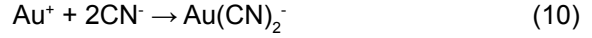
Bunu açıklayabilmek için, küre şeklinde küçük bir altın tanesi KCN jeli içine daldırılmış, ve altın yüzeyine bir yönden hava üflenmiştir. Hava ile temas etmeyen altın yüzeyinin korozyona uğradığı gözlenmiştir (Şekil 2). Küre etrafında galvanik hücre oluşmuştur; yani oksijene az maruz kalan yüzey anot gibi davranırken, oksijene doğrudan maruz kalan yüzey katot gibi davranmıştır. Böylece, oksijen, altın yüzeyindeki elektronları alır-

ken, altın iyonları da çözeltiliye geçerek siyanür ile hızlı bir şekilde kompleks oluşturmuştur. Bu süreç, aşağıdaki tepkimeler ile ifade edilebilir:

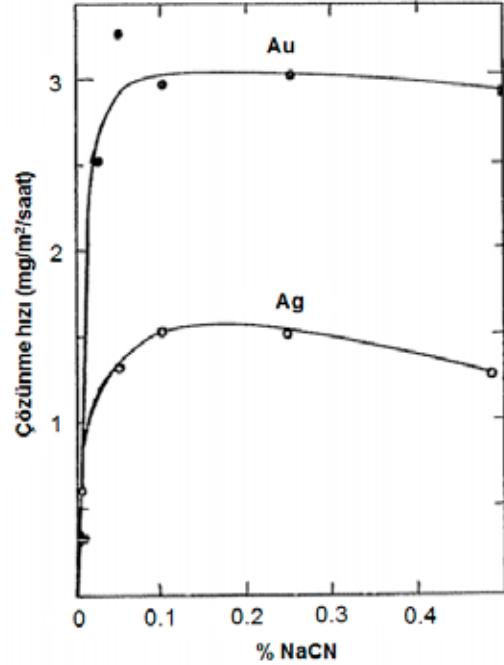
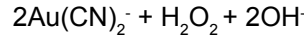
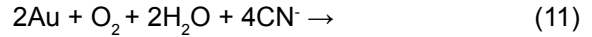
Oksijenin katodik bölgede indirgenmesi:



Altının anodik bölgede oksitlenmesi (9) ve siyanür ile altın iyonlarının (Au^+) kompleks oluşması (10):



Genel tepkime şöyle ifade edilir:

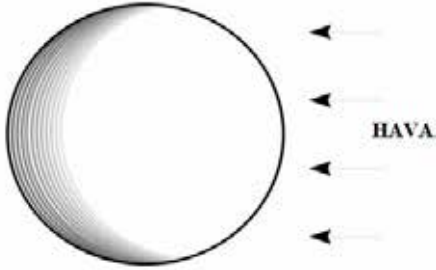


Şekil 1. Siyanür konsantrasyonunun, havaya doygun çözeltilde Au ve Ag çözünmesine etkisi (Maclaurin, 1983; Barsky vd, 1934)

2.2. Yabancı İyonların Etkisi

Doğada altın, çoğunlukla doğal metalik haliyle ve bunun da neredeyse tamamı çeşitli oranlarda gümüş içeren alaşımlar halinde bulunmaktadır. Altın karakteristik olarak belli bazı mineraller ile beraber bulunur. Bu minerallerin en önemlileri pirit, galen, sfalerit, arsenopirit, stibnit, pirotin ve kalkopiritir. Çeşitli selenyum mineralleri ve manyetit de bu minerallere ilave edilebilir. Güney Afrika'nın Witwatersrand bölgesinde altın ile beraber uranit ve daha az oranda tukulit gibi mi-

neraller bulunmaktadır. Uranyum, altın kazanımı sürecinde yan ürün olarak kazanılmaktadır. Ayrıca, bazı altın cevherlerinde karbonlu bileşenlere rastlanmaktadır.

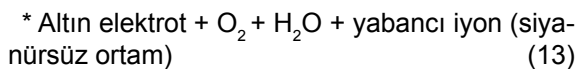
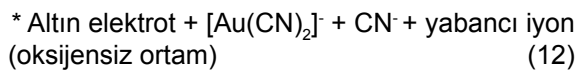


Şekil 2. Altının siyanür çözeltisinde çözünmesi sırasındaki galvanik davranışı

En sık karşılaşılan gang mineralleri olarak kuvars, feldispat, mika, garnet ve kalsit sayılabilir. Gang mineralleri siyanür çözeltisinde çözünmesine karşın, bazı metalik mineraller belli oranlarda çözünmektedir. Karbonlu malzemeler liç çözeltilerinden altın-siyanür kompleksini adsorpladıkları için büyük sorunlara yol açmaktadır.

Na^+ , K^+ , Cl^- , NO_3^- ve SO_4^{2-} gibi siyanür çözeltilerinde altın ve gümüşün çözünmesinde önemli etkisi olmayan bazı iyonlar hariç, diğer iyonlar çözünmeyi olumlu ya da olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Pb^{2+} iyonlarının, çözeltildeki konsantrasyonuna bağlı olarak, çözünmeye olumlu veya olumsuz etkisi vardır. Yabancı iyonların çözünme işlemine etkilerini açıklamak zordur çünkü çözünme eş zamanlı gerçekleşen iki tepkimeden oluşur: altın- veya gümüş-siyanür iyonunun oluşumunu içeren oksitlenme tepkimesi (9) ve oksijenin indirgenme tepkimesi (8). Hangi tepkimenin yabancı iyonlardan etkilendiğini belirlemek kolay olmadığı gibi literatürde buna yönelik birçok farklı görüş mevcuttur. Konu ile ilgili mevcut bilgiler, saf altın numunesi kullanılarak yabancı iyonların etkilerinin çalışılmasıyla elde edilmiştir.

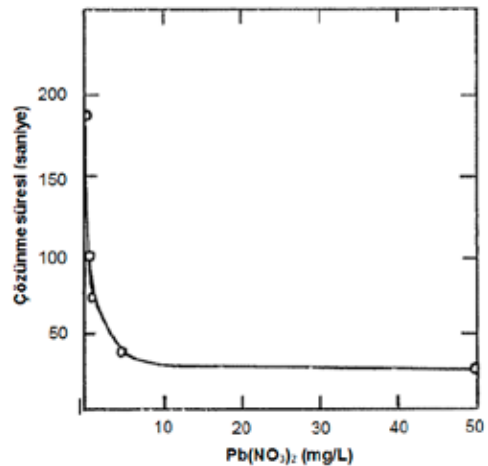
Yabancı iyonların etkisini anlamaya yönelik yaklaşımlardan biri de, bu etkiyi anodik ve katodik tepkimeler üzerinden ayrı ayrı çalışmaktır. Bunun için, altın (veya gümüş) elektrotları potansiyel-akımyoğunluklarındaki değişimler, iki ayrı deney yapılarak araştırılabilir:



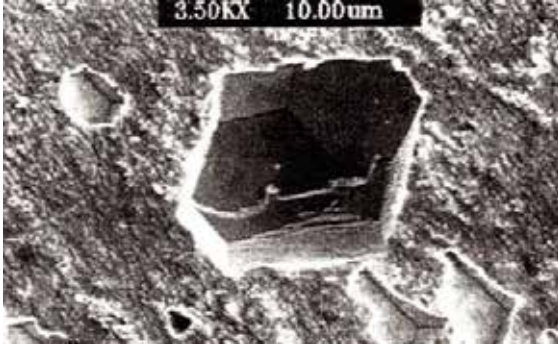
Birinci deney ile, oksijenin altın yüzeyine indirgenmesinde yabancı iyonun etkisi ve ikinci deney ile de aynı iyonun anodik tepkimeye (siyanür çözeltisinde altının çözünmesine) etkisi açıklanabilir. Ancak, bu tür deneylerin sonuçları dikkatle yorumlanmalıdır; çünkü, çözünme için uygulanan potansiyel, gerçek siyanür liçinden farklıdır. Zira, örneğin bu koşullarda oksijen, H_2O_2 'ye değil OH^- 'a indirgenmektedir. Yabancı iyonların etkisini araştırmada diğer bir yaklaşım ise, yabancı iyonların radyoaktif indikatörlerini kullanmaktır.

2.2.1. Kinetik Etki

Az miktarda kurşun, bizmut, talyum ve civa tuzlarının çözünmeyi hızlandırdığı birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Şekil 3). Siyanür çözeltisindeki elektrot potansiyelleri incelendiğinde, altının sadece bu dört metalin (Pb , Bi , Tl , Hg) iyonlarıyla yer değiştirdiği görülmektedir. Buna bağlı olarak, bu iyonların varlığında altının daha hızlı çözünmesinin nedeni, altının yer değiştiren bu iyonlarla alaşım oluşturması sonucunda yüzey özelliklerinin değişmesine bağlanabilir. İlk araştırmacılar, Pb^{2+} iyonu içeren siyanür çözeltilerinde, altın yüzeyinde kurşuna rastlamış fakat yapısını incelememişlerdir. Son yıllarda yapılan elektron mikroskobu çalışmaları ile yüzeyde kurşun-altın alaşımı olduğu belirlenmiştir (Şekil 4) (Mussati vd, 1997). Bu alaşımın kolayca çözünmesi kurşunun çözünme sürecinde katalitik etkisi olduğunu göstermiştir. Tesis uygulamalarında kurşun tuzlarının, sülfürlü minerallerin olumsuz etkisini engellemek amacıyla siyanür çözeltisine ilave edilmesi yaygın bir uygulamadır. Bununla beraber, aşırı oranda kurşun tuzu ilavesi altının çözünmesini olumsuz yönde etkilemektedir.



Şekil 3. Kurşunun altın çözünmesine etkisi (%0,1 NaCN) (Fink ve Putnam, 1950)



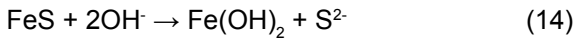
Şekil 4. Siyanür liçi sırasında birkaç mg $Pb(NO_3)_2$ varlığında altın yüzeyinde altın-kurşun alaşımı (Mussatti vd, 1997)

2.2.2. Olumsuz Etki

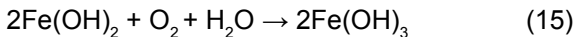
Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} ve Ba^{2+} gibi metalik kasyonlar (son ikisi sadece yüksek alkali koşullarda) çözünmeyi olumsuz yönde etkilerler. Pb^{2+} iyonunun siyanür liçinde çok önemli bir role sahip olduğu bilinmekle beraber altının çözünmesi üzerindeki etkisi tartışmalıdır. Bir önceki bölümde anlatılan olumlu etkisinin yanısıra bazı çalışmalarda olumsuz etkisi olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, Pb^{2+} iyonlarının siyanür iyonlarına oranla daha az miktarda bulunması çözünmeyi hızlandırmakta iken Pb^{2+}/CN^- oranı belli bir değeri aştığında çözünme olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca, sülfür iyonları ve ksantat gibi bazı flotasyon reaktiflerinin (eğer altın sülfürlü mineraller ile birlikte ise sülfür flotasyonu yapılarak altın konsantrasi üretilir), altının çözünmesini yavaşlattığı bilinmektedir. Bu olumsuz etki aşağıda belirtilen sebeplerden dolayı kaynaklanabilir:

2.2.2.1. Oksijen Tüketimi

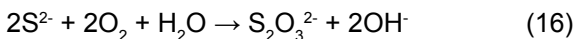
Altının çözünmesi için oksijen gereklidir. Yan tepkimelerden dolayı çözeltinin oksijen içeriği azaldığında altının çözünme hızı düşmektedir. Altın ile beraber pirotinin bulunduğu bazı cevherlerde, pirotin alkali ortamda ferrus hidroksit ve sülfür oluşturarak bozunmaktadır (14). Bu da çözeltideki oksijen konsantrasyonunun azalmasına neden olmaktadır.



Oksijen varlığında, ferrus hidroksit kolayca ferrik hidroksite yükseltgenir:



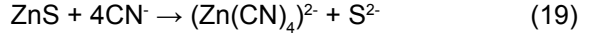
Sülfür iyonu ise tiyosülfata ve polisülfüre oksitlenir:



2.2.2.2. Serbest Siyanür Tüketimi

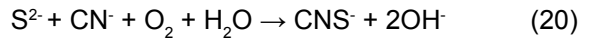
• Siyanür komplekslerinin oluşumu

Altın cevherlerinde bulunan bazı bakır, çinko ve demir mineralleri siyanür çözeltilerinde kolayca çözünmekte ve böylece çözeltinin siyanür konsantrasyonunu azaltmaktadırlar. Örnek olarak saleritin çözünmesi verilebilir:



• Tiyosiyanat oluşumu

Sülfürlü mineraller içeren cevherlerde, serbest hale gelen sülfür iyonu, siyanür ve oksijen ile tepkimeye girerek tiyosiyanat oluşturur. Tiyosiyanatın altın üzerinde herhangi bir etkisi yoktur:



• Gang mineralleri üzerine adsorpsiyon

Altın içeren cevher ve konsantreler, kuvars, alümina silikat veya diğer silikatlar içerebilirler. Bu mineraller alkali çözeltilerde ince boyutlarda bulunuyor ise koloidal silikat ve alümina oluştururlar. Ayrıca, eğer cevherde demir sülfürler mevcut ise ferrik hidroksit oluşur. Bu gang mineralleri potasyum siyanür için yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahiptirler.

2.2.2.3. Metal Yüzeyinde Film Oluşumu

• Sülfürler

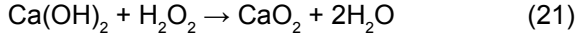
Siyanür çözeltisindeki sülfür iyonlarının olumsuz etkisi bilinmektedir (Şekil 5). 0,5 ppm'e kadar düşük seviyedeki sülfür iyonları bile bu etkiyi göstermektedir. Bu olumsuz etki, çözeltinin siyanür ve oksijen içeriğinin tükenmesi ile ilgili değildir çünkü liç çözeltisi genellikle yüksek miktarda siyanür ve oksijen içermektedir. Altın yüzeyinde oluşan çözünmez altın-sülfür filminin altın liç çözeltisi ile temasını engelleyerek çözünmeyi olumsuz etkilediği düşünülmektedir.

Sülfür iyonunun KCN çözeltisinde ve oksijen bulunmadığı durumda (12) altının elektrot potansiyeline etkisi neredeyse yok iken, oksijen varlığında ve KCN bulunmadığında (13) etkisi büyüktür. Eser miktardaki sülfür, oksijenin katodik bölgedeki indirgenmesini etkileyerek altın yüzeyini pasifleştirmektedir. Sülfürün anodik tepkimeye bir etkisi yoktur.

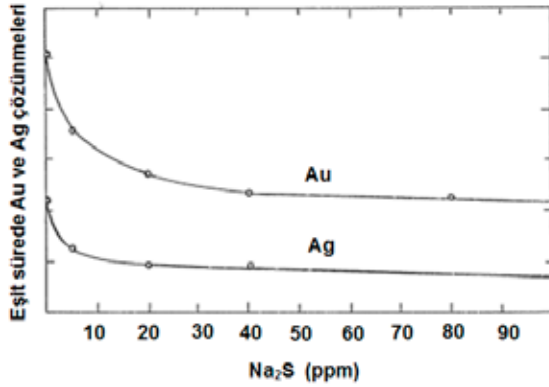
• Peroksitler

Kalsiyum iyonlarının altın çözünmesine herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. >pH 11,5'da altının

çözünme hızı büyük oranda azalmaktadır. Aynı pH değeri (> 11,5) için, Ca(OH)₂ ile ayarlanmış çözeltilerde, KOH kullanımına nazaran altın ve gümüş çözünmesinde daha belirgin bir düşüş gözlenmiştir (Şekil 6). Bu düşüş, metal yüzeyinde çözelti ile teması engelleyen kalsiyum peroksit oluşumuna bağlanabilir. Kalsiyum peroksit oluşumunun, kireç ve hidrojen peroksitin çözeltilde birikmesi sonucunda oluştuğu düşünülmektedir:



Oluşan kalsiyum peroksit, kimyasal analiz ile belirlenebilir. X-ışını difraksiyonu kullanılarak bu oluşum kanıtlanmıştır. Ayrıca Ba(OH)₂'nin de benzer davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Kireç, siyanür tesislerinde pulp pH'sının ayarlanmasında ve tikinlerde çökelmeyi hızlandırması amacıyla yaygın olarak kullanılan bir kimyasaldır. Bu nedenlerle kirecin kullanımında dikkat edilmesi gerekmektedir.



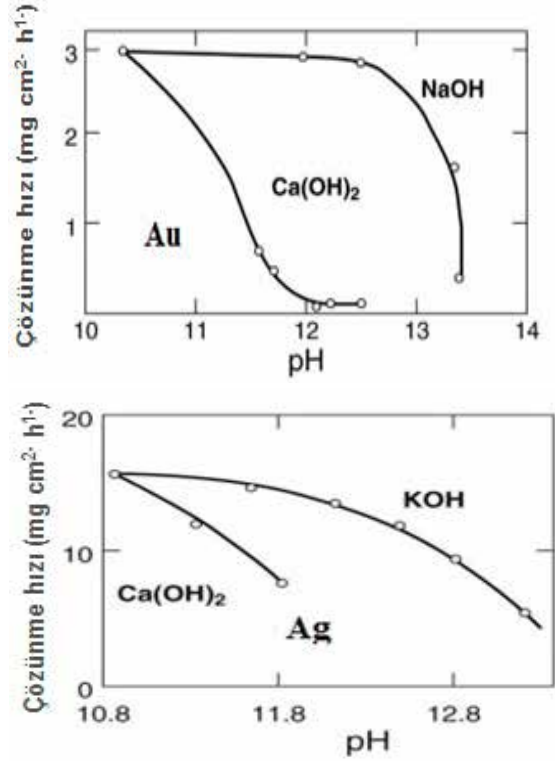
Şekil 5. Na₂S'nin altın ve gümüş çözümlerine etkisi (%0,25 KCN) (Julian ve Smart, 1921)

• Oksitler

Siyanür çözeltilerine ozon ilavesi altının çözünme hızını düşürmektedir. Oluşan altın oksit tabakası altın yüzeyini tuğla kırmızısı rengine dönüştürmekte ve altın kazanımını olumsuz etkilemektedir. Aynı zamanda, potasyum siyanür ozon varlığında aşağıdaki tepkimeye göre oksitlenmektedir:



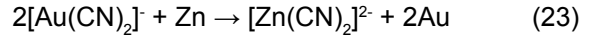
Altının çözünme hızı, çok düşük miktarda (0,4 ppm kadar) potasyum etilen ksantat ilavesiyle bile azalmaktadır. Altınla birlikte bulunan sülfürlü minerallerin siyanür liçi öncesi flotasyon ile zenginleştirilmesi sırasında bazı zorluklar ile karşılaşmaktadır. Altın yüzeyinin kırmızısı renge dönüşmesi altın ksantat filmi oluştuğuna işaret etmektedir. Bu oluşum, S³⁵ kodlu potasyum ksantat kullanılarak doğrulanmıştır.



Şekil 6. Yüksek alkali şartlarda kalsiyum iyonlarının metal çözünmesine olumsuz etkisi (Habashi, 1967).

2.3. Altının Çöktürülmesi

Simyacıların hayali olan "demirin bakıra dönüşümü"nden yola çıkan MacArthur, siyanür çözeltilerinden altını çöktürebilmek için çinko talaşı kullanmıştır:



Bu yöntem, 1904 yılında C.W. Merrill'in çinko tozu kullanımıyla ve ardından T.B. Crowe'un çinko ilavesinden önce çözeltilerden havayı vakumlu bir tanktan geçirmek suretiyle uzaklaştırması ile daha da etkili bir yöntem haline gelmiştir. Bu yeni yöntem, Amerika'da geliştirilmiş ve sonrasında Merrill-Crowe prosesi olarak tanınmıştır.

3. ALTIN ÇÖZELTİSİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

Siyanür liçi çözeltilerinde altının zenginleştirilmesinde üç yöntem bulunmaktadır:

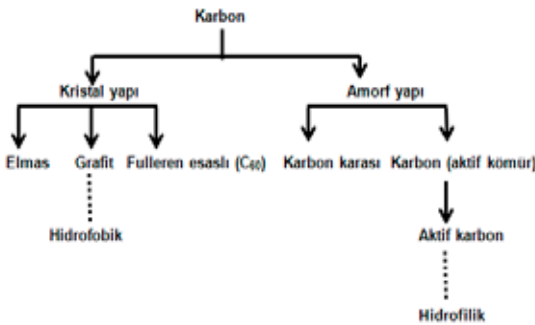
- * Aktif karbon adsorpsiyonu (ve sonrasında sıyırma)
- * İyon değiştirici reçine yöntemi (ve sonrasında sıyırma)
- * Organik çözücüler ile altının kazanımı (ve sonrasında sıyırma)

3.1. Aktif Karbon Adsorpsiyonu

Aktif karbon, metalurjide ilk kez klorlama prosesi sonrasında çözültiden altın kazanımı amacıyla kullanılmıştır. Klorlama yönteminin yerini alan siyanür liçi yönteminde de aktif karbonlar kullanılmaktadır. Her iki proseste de altın, yüklü karbonlardan karbonların yakılması ve ergitilerek külçe olarak dökülmesi gibi karbon sarfiyatı çok yüksek bir süreçle kazanılmaktadır. Çinko tozu ile altın kazanımı teknolojisindeki gelişmelere bağlı olarak aktif karbon yöntemi bir süre sonra terk edilmiştir. Ancak, 1950'li yılların başlarında altın ve gümüşün yüklü karbonlardan sıyırılmasını sağlayan bir yöntemin geliştirilmesi ile aktif karbon uygulaması yeniden dikkatleri çekmiştir. Sıyırma işlemi sayesinde karbonlar yeniden kullanılabilir. Ayrıca, sıyırma işlemi ile birlikte aktif karbon yöntemi bir çözelti zenginleştirme/saflaştırma aşaması haline gelmiştir. Bu gelişmeler, yöntemin dünya genelinde uygulanmasını sağlamıştır. Metal iyonlarının aktif karbona adsorpsiyonu iyon değiştirici reçinelere göre çok düşüktür ve genellikle sadece anyonlar için uygundur. Ancak, aktif karbonların maliyeti reçinelere göre düşüktür.

3.1.1. Aktif Karbonların Hazırlanması

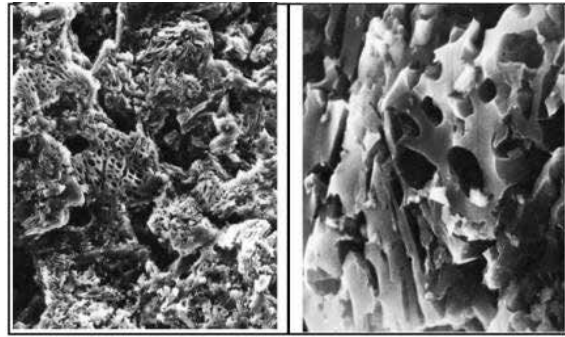
İki tür karbon vardır: kristal (grafit ve elmas gibi) ve amorf (X-ışını difraksiyonunda pik vermezler) yapıda olan karbonlar (Şekil 7). Amorf karbonlar, kimyasal olarak birbirine benzeyen fakat fiziksel olarak farklılık gösteren iki türden oluşmaktadır:



Şekil 7. Karbon çeşitleri (Habashi, 1993)

* **Karbon karası (carbon black):** Bunlar gözenekli olmayan küçük karbon taneleridir ve doğal gaz, asetilen, yağ, reçine, katran gibi gaz veya sıvı karbonlu malzemelerin sınırlı hava ile kısmi yanmasıyla hazırlanır. Lamba karası ve asetilen karası bu grubun tipik türleridir. Bunlar kavuçu sanayinde ve mürekkep imalatında pigment olarak kullanılırlar.

* **Aktif karbon (charcoal):** Bu tür karbonlar kömür, tahta, fındık kabuğu, şeker ve sentetik reçine gibi karbonlu malzemelerin havasız ortamda yaklaşık 600°C'de karbon dışındaki bileşenlerin uzaklaştırılmasıyla (karbonlaştırma) hazırlanır. Bunlar düşük gözenekliliğe sahiptirler, fakat hava, klor veya buhar ortamında 400-800°C'de kısa süre ısıtıldıklarında yüksek gözenekliliğe ulaşmaktadırlar. Bu yüksek gözenekli malzemelere aktif karbon denilmektedir (Resim 2) ve kimya-metalurji endüstrisinde adsorbant olarak, genellikle çapı 2 mm peletler halinde kullanılmaktadır.



Resim 2. Aktif karbonun elektron mikroskop görüntüleri

Aktifleştirme aşamasında, karbon dışındaki malzemeler yakılarak yeni gözenekler oluşturulmakta ve var olanlar genişletilmektedir. Bu da kömürün küçük gözenekli yapısının büyümesini sağlamaktadır. Düşük sıcaklıkta (400°C) aktifleşen karbonlara L-tipi, yüksek sıcaklıkta (800°C) aktifleşenlere ise H-tipi karbon denilmektedir. H-tipi karbonlar, aktifleştirme sonrasında inert bir ortamda soğutulmadığı takdirde, L-tipine dönüşürler.

3.1.2. Aktif Karbonun Özellikleri

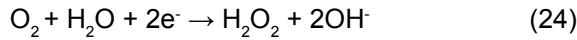
Aktif karbonun özellikleri esas olarak aktifleştirme sıcaklığına bağlı olarak değişir. Aktif karbonlar yüksek oranda hidrojen ve oksijen içerirler. Bunların, "yüzey kompleksleri" halinde kimyasal bağlarla bağlı oldukları düşünülmektedir. Bu nedenle, aktif karbonlar sadece elementel karbonun amorf formu değil aslında kompleks organik polimerler olarak kabul edilmelidir. Şekil 8'de aktif karbon üzerinde belirlenmiş bazı organik yüzey grupları gösterilmiştir. L-tipi karbonlar düşük yüzey alanlarından dolayı yaygın olarak kullanılmazlar.

550°C'de ısıtılarak hazırlanan şekerden üretilen aktif karbonlar (şeker kömürü), her 100 karbon atomu için yaklaşık 30 hidrojen atomu ve 9 oksi-

jen atomu içerirler. 800°C'de hazırlanan karbonlar ise her 100 karbon atomu için yaklaşık 20 hidrojen ve 6 oksijen atomuna sahiptir. Aktifleştirme sırasında uçucu malzemelerin çoğu uzaklaştırıldığı için karbonun kül içeriği sıcaklık artışıyla beraber artmaktadır. Kül, karbonun adsorpsiyon özelliklerini etkileyebilmektedir. Sakkarozdan üretilen karbonlar en düşük kül içeriğine sahiptirler.

* **Saf su ve oksijenin rolü:** Aktif karbon saf su içinde karıştırıldığında, uygulanan aktifleştirme yöntemine bağlı olarak pH asidik veya bazik tarafa doğru değişir. pH'nın asidik veya bazik tarafa olması, karbonların sırasıyla baz veya asit adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğunu gösterir. Ancak, oksijenin olmadığı durumda adsorpsiyon gerçekleşmez. Bu nedenle, 950°C'de aktifleştirilen ve yüksek vakum altında içindeki gazların çıkışı sağlanıp inert bir ortamda soğutulan karbonlar, havası uzaklaştırılmış seyreltik çözülden mineral asitlerini adsorplayamazlar.

Adsorpsiyon, oksijen basıncına bağlı olarak ilerler (Şekil 9). Ayrıca, seyreltik asit çözültisindeki karbon süspansiyonuna oksijen verildikten sonra süspansiyon filtre edilirse, sıvı kısımda hidrojen peroksit tespit edilir. H-tipi karbonlar, L-tipi karbonlara göre daha fazla peroksit üretirler. Hidrojen peroksit, oksijenin karbon yüzeyinde indirgenmesi ile oluşmaktadır:



Elektronlar karbon tarafından sağlandığı için karbon pozitif yüke sahiptir. Karbon yüzeyindeki elektriksel nötrlüğü korumak için çözültideki OH⁻ ve diğer iyonlar karbon yüzeyine adsorbe olurlar. Hidrojen peroksit oluşumuna bağlı olarak bazı karbonlar Fe²⁺'nin Fe³⁺'e ve sülfüroz asitin sülfürik asite yükseltgenmesini katalize ederler. Yukarıdaki tepkime (24), H-tipi karbonların saf su içerisinde karıştırıldığında ortam pH'sının neden bazik bölgeye kaydığını açıklamaktadır. Bu pH değişimi, aşağıda açıklanacağı gibi, karbonlar sulu çözülti ile temas halinde olduğunda önemli bir rol oynamaktadır.

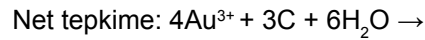
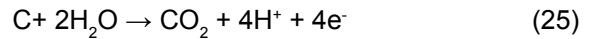
* **Metal iyonları ile tepkime:** Kompleks oluşturucu reaktiflerin bulunmadığı durumda ve düşük pH değerinde, metal iyonu sorpsiyonu gerçekleşmez. Ancak, nötr veya zayıf asidik çözültilerdeki (>pH 4) civa, bakır, kobalt, nikel veya kurşun gibi metal iyonları H-tipi karbonların yüzeyine indirgenirler çünkü bu karbonların sulu süspansiyonları genellikle baziktir. Bir kilogram karbon yaklaşık 2 g metal iyonu adsorplar. Bu

nedenle de, aktif karbonlar metal iyonları içeren yüzey sularının temizlenmesinde kullanılırlar.

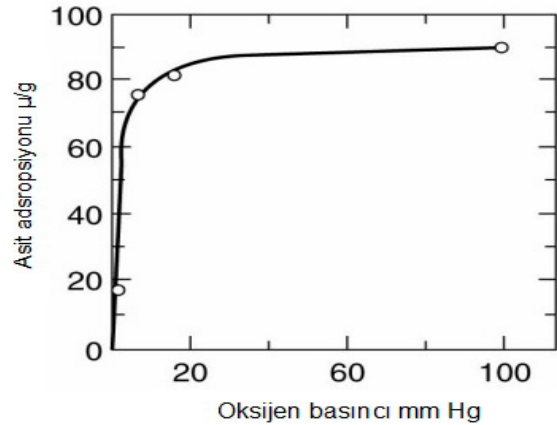


Şekil 8. Aktif karbonun yüzeyinde olduğu öngörülen bazı yüzey oksitlerin yapıları

* **İndirgenme özellikleri:** L-tipi karbonlar, ortam sıcaklığında Au³⁺, Ag⁺ ve Hg²⁺ tuz çözültilerini kolaylıkla metaller indirgeyebilirler. Örneğin:



Bu işlem, eskiden uygulanan klor liç çözültisinden altın kazanımının esasını oluşturmaktadır.



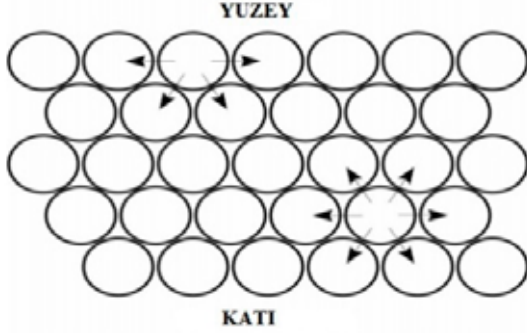
Şekil 9. Aktif karbon üzerine asit adsorpsiyonuna oksijenin etkisi (Frumkin vd, 1931)

3.1.3. Adsorpsiyon Mekanizması

Adsorpsiyon, bir yüzey atomuna etki eden atomlar arası kuvvetlerin katı içindeki atoma etki eden kuvvetlere göre daha az olmasından ileri gelir. Bir yüzey atomuna etki eden ve yönü katı içine doğru olan net bir bileşke kuvvet oluşmaktadır (Şekil 10). Bu nedenle, katı yüzeyi doymamış haldedir ve molekülleri adsorplar.

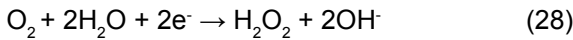
Sıcaklığın adsorpsiyona etkisi araştırıldığında, gerçekleşen bazı süreçlerin sıcaklık artışıyla arttığı bazıları azaldığı bulunmuştur. Fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki tür adsorpsiyondan bahsedilebilir:

* **Fiziksel adsorpsiyon:** Bu adsorpsiyon türünde süreç egzotermik olduğundan dolayı, denge anında adsorbe olan madde miktarı sıcaklık artışıyla azalmaktadır. Bu nedenle, sıcaklık artırıldığında desorpsiyon gerçekleşir, yani süreç tersinirdir. Moleküller yüzeye zayıf van der Waals ve hidrojen bağları ile tutunmaktadırlar. Şekil 11'de gümüşün siyanür çözeltilerinden aktif karbon üzerine adsorpsiyonunda sıcaklığın etkisi gösterilmiştir.



Şekil 10. Aktif karbonun yüzeyindeki atomların davranışı

* **Kimyasal adsorpsiyon:** Burada süreç endotermik olduğundan dolayı denge anında adsorplanan madde miktarı, sıcaklığın artışı ile beraber artmaktadır. Bu adsorpsiyon türü kemisorpsiyon olarak da isimlendirilir. Kemisorpsiyon, esasen katı yüzeyinde gerçekleşen kimyasal bir tepkimedir ve, iyon değişimi ve indirgenme süreçlerini içerebilir. Tersinir bir işlem değildir. Kemisorpsiyon işlemi adsorbantın yüzeyinden içine doğru ilerleyebilir ve bu da adsorpsiyonun olağan bir heterojen tepkime olduğunu gösterir. Altın siyanür kompleksi karbon üzerine fiziksel olarak adsorbe olur. Önceden de bahsedildiği gibi oksijen varlığı şarttır çünkü, oksijen karbon yüzeyinde aşağıdaki tepkimeye göre indirgenir:

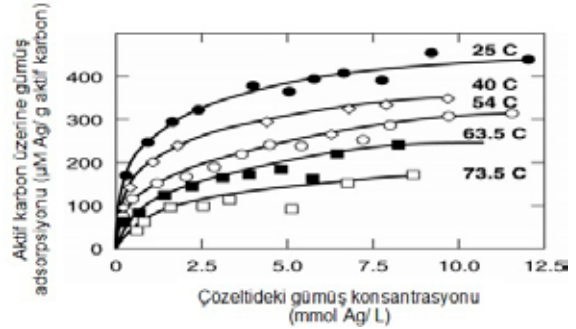


Elektronlar karbon tarafından sağlanır. Bu nedenle, karbon pozitif yük kazanır iken bunun bir sonucu olarak negatif yüklü altın siyanür kompleksi $(Au(CN)_2)^-$ pozitif yüklü karbon yüzeyine doğru çekilir. Sadece anyonlar adsorplanır. Katyonlar yüksek pH değerinde yüzeyde çöker.

3.1.4. Organik Çözücülerin Etkisi

Asetonun altın siyanür kompleksinin adsorpsiyonunu azalttığı belirlenmiştir. Desorpsiyonla ilgili çalışmalar incelendiğinde, alkollerin adsorpsi-

yonu olumsuz etkilediği görülmektedir. Metanol, etanol, izopropil alkol ve asetonitril gibi alkollerin karbon yüzeyinden altının desorpsiyon hızını artırdığı bulunmuştur. Örneğin, %20 etanol içeren %0,1 NaCN ve %1 NaOH çözeltisinde 93°C'de yüklü karbondan altın kolayca desorbe olurken, alkol olmadığı durumda altının desorpsiyonu zorlaşmaktadır (Şekil 12). Tipik bir aktif karbon, ağırlığının yaklaşık %12'si kadar etanol adsorplayabilmektedir. Desorpsiyon, sıcaklığın artışı ile beraber artmaktadır (Şekil 13).



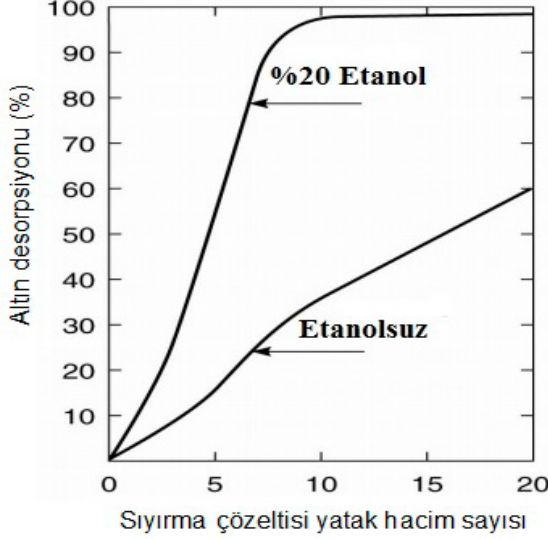
Şekil 11. Gümüş siyanürün aktif karbona adsorpsiyon izotermi (Dixon vd, 1978)

Alkollerin adsorpsiyon üzerindeki olumsuz etkileri, alkollerin düşük di-elektrik sabitleriyle açıklanabilir. Alkollerin di-elektrik sabitleri sıcaklığın artışıyla daha da azalmaktadır. Bir ortamın di-elektrik sabiti polaritesi ile bağlantılıdır. Su molekülleri yüksek derecede polardır. İki zıt yüklü tane arasındaki elektrostatik çekim kuvveti ortamın di-elektrik sabitiyle ters orantılıdır. Sulu çözeltideki altın siyanür kompleksi için (yüksek di-elektrik sabiti) negatif yüklü siyanür kompleksi ile pozitif yüklü K^+ veya Na^+ arasındaki çekim kuvveti düşüktür. Bu nedenle, kompleks halindeki altın iyonu serbestçe hareket edebilir ve karbona tutunabilir. Fakat alkol varlığında (düşük di-elektrik sabiti) durum tam tersi yönde gelişmektedir.

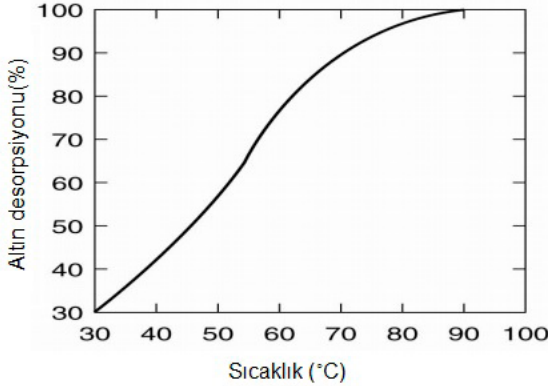
3.1.5. Yabancı İyonların Etkisi

Çözeltide CN^- veya OH^- gibi anyonların konsantrasyonu arttıkça siyanür çözeltisinden altının adsorpsiyonu olumsuz etkilenmektedir (Şekil 13). Çünkü bu anyonlar da karbona adsorbe oldukları için tüm iyonlar pozitif yüklü karbon yüzeyine tutunmak için rekabet halindedirler. Pozitif yüklü iyonlar (Na^+ , Ca^{2+} gibi) adsorplanmadıkları için altın adsorpsiyonu üzerine etkileri bulunmamaktadır. Liç işlemi esnasında pH ayarlamada CaO kullanıldığından dolayı $CaCO_3$ karbon yüzeyine çöker. Çözeltinin havadan absorpladığı CO_2 de bu çökelmeyi hızlandırır. Ayrıca, liç çözeltisinde

H_2O_2 bulunduğundan dolayı kalsiyum peroksit (CaO_2) de karbon yüzeyine çökelir. Bu çökelekler karbonun gözeneklerini kapladığı için rejenerasyon aşamasında bu çökelekleri çözmek için genellikle asit liçi uygulanır.



Şekil 12. Etanolün altın adsorpsiyonuna etkisi (%1 NaOH, %0,1 NaCN, 93°C) (Heinen vd, 1976).



Şekil 13. Metanol içeren alkali siyanür çözeltisinden altın desorpsiyonuna sıcaklığın etkisi (%20 metanol, %1 NaOH, % 0,1 NaCN) (Heinen vd, 1976)

3.1.6. Desorpsiyon

Altını aktif karbondan sıyırmak (desorpsiyon) için genellikle sıcak konsantre alkali sodyum siyanür çözeltisi kullanılarak sıyırma işlemi gerçekleştirilir. Bu işlemin yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilmesi zorunludur. Çünkü, suyun di-elektrik sabiti sıcaklık artışıyla azaldığı için karbon ve altın-siyanür kompleksi arasındaki elektrostatik kuvvet de azalmış olur. Sıyırma işlemi için yüksek alkali koşullar ve yüksek siyanür konsantrasyonu gereklidir çünkü OH^- ve CN^- iyonları karbona öncelikli olarak adsorplanırlar. Diğer bir

sıyırma yönteminde ise alkollü sodyum siyanür çözeltisi kullanılır çünkü alkol sudan daha düşük di-elektrik sabitine sahiptir. Eğer bu yöntemde sıcaklık artırılırsa, di-elektrik sabiti değeri daha da düşer ve sıyırma işlemi daha kolay gerçekleşir. Ancak bu yöntem, yüksek maliyeti nedeniyle henüz endüstriyel olarak kullanılmamaktadır.

Klor ve siyanür liçi yöntemlerinde altının karbon ile kazanım mekanizması birbirinden farklıdır. Klor ortamında altın yüzeyde indirgenerek çökelir, ancak siyanür ortamında ise altının adsorpsiyonu söz konusudur.

4. YENİ GELİŞMELER

Siyanür liçi prosesi keşfedildiği ilk zamandan bu yana uygulamada bir değişikliğe uğramamıştır. Bununla beraber, uygulamaya yönelik önemli gelişmeler yöntemi çok daha etkin bir hale getirmiştir. Bu gelişmelerin en önemlileri; yığın liçi uygulamasının hayata geçmesi, refrakter cevherlerin işlenmesi, aktif karbon adsorpsiyonu teknolojisinin kullanılması ve çevresel kirliliğin azaltılmasına dönük hassasiyetin artmasıdır.

4.1. Yığın Liçi Yöntemi

1970'li yıllarda altın fiyatlarındaki artış sayesinde, esasen düşük tenörlü bakır ve uranyum cevherleri için geliştirilmiş olan yığın liçi yöntemi ile 1 ppm'e kadar düşük tenörlü eski tesis atıkları değerlendirilebilmiştir. Yığın içinde çözeltinin akışını iyileştirmek için aglomerasyon yöntemi ile bazen ince taneli malzemeler su ve az miktar kireç ile karıştırılarak topaklaştırılır; iri boyutlu ve dar tane boyut dağılımına sahip malzeme haline getirilir. Daha sonra yığınlar oluşturularak alkali siyanür çözeltisi ile liçi işlemi gerçekleştirilir.

4.2. Kömür-Altın Aglomerasyonu

Serbest altın taneleri içeren altın cevherlerinin değerlendirilmesinde aglomerasyon yöntemini içeren bir proses önerilmiştir (House vd, 1988; Mosses ve Petersen, 2000). Bu proses, altın tanelerinin cevher içerisinde serbest halde bulunduğu durumlar için uygundur ve amalgamasyonun yerine kullanılacak yeni bir yöntemdir. Suda çözünmeyen ve hidrofobik özellikteki sıvılar (mineral yağı gibi) kömür tozuyla (hidrofobik) karıştırıldığında altın içeren aglomeratlar oluşur. Karıştırma ile yağlar tane yüzeyine yayılır ve temas sonucu oluşan sıvı köprüler aglomeratların altın tanelerini kaplamasını sağlar. Altın yüklü aglomeratlar, kömür ve yağı uzaklaştırmak ama-

cıyla yakılır ve geriye kül kalır. Kalan kısım ergitilerek külçe altın elde edilir. Altın aglomeratlarını flotasyon yöntemi ile ayırmak da mümkündür. Flotasyonun kullanıldığı pilot çaplı bir tesis BP Minerals şirketi tarafından 1987 yılında Ballarat'da (Avustralya) kurulmuştur.

4.3. Refrakter Cevherlerin Değerlendirilmesi

Direkt siyanür liçine uygun olmayan altın cevherine "refrakter cevher" denilmektedir (Scheiner vd, 1972). Bu tip cevherlerde genellikle sülfürlü mineraller altın taneleri içerirler ve bu taneler ancak mikroskop altında görülebilir veya nano boyutlarda olup tesbiti zordur. Bu sülfürlü yapı genelde pirit ve arsenopiritten oluşmaktadır. Bu tip cevherlerden altını kazanabilmek için sülfürlü yapının bozundurularak altının serbestleşmesi ve çözünmesi sağlanmalıdır. Sülfürlü yapıyı bozurmada termal oksidasyon ve sulu oksidasyon yöntemleri mevcuttur. Termal oksidasyon yönteminde SO₂ gazı açığa çıkmaktadır ve bu gaz sülfürik asit üretimi için tutulmalıdır ve yüksek maliyetli bir seçenektir.

Sulu ortamda oksidasyon işlemi için aşağıda bahsedilen yöntemler kullanılabilir:

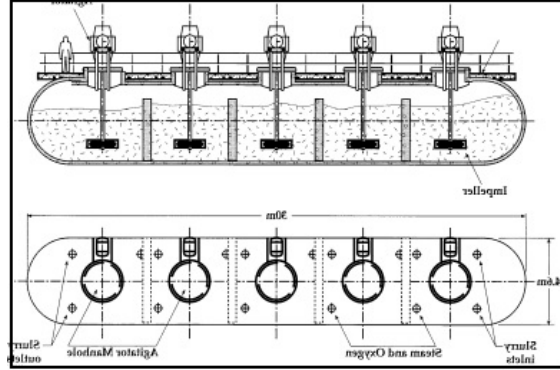
-Bakteriyel oksidasyon (Biyoksidasyon): Düşük yatırım maliyetine sahip bir yöntemdir ancak yavaş bir prosestir. Yığılma uygulanıyorsa yaklaşık bir yıl, karıştırmalı tanklarda uygulanıyorsa birkaç gün sürmektedir.

-Basınç oksidasyonu: Yüksek maliyet gerektirir fakat hızlı bir prosestir (1-2 saatte tamamlanır). Goldstrike firması piritik altın cevherlerini yüksek sıcaklık ve oksijen basıncı altında otoklavlarda liçe tabi tutmuştur. Yatay otoklavlar (30 m boyunda ve 5 m çapında) 160°C-180°C ve 2000 kPa koşullarında 20 dk. alıkonma süresi ile çalışmaktadırlar (Şekil 14 ve Resim 3). Bu otoklavlar, 8 cm kalınlıktaki karbon çeliğinden imal edilmiş ve 6 mm kalınlığındaki membrandan ve toplam kalınlığı 22,5 cm olan çift katlı asite karşı dayanıklı tuğla ile astarlanmıştır. Basınç liçinden sonra cevher, siyanür liçi için uygun hale gelmektedir (Thomas, 1994).

-NaOCl üretmek için NaCl elektrooksidasyonu: NaOCl, sülfürlü yapıyı ve organik maddeleri bozundurur (Şekil 15). Resim 4'te US Bureau of Mines tarafından başarılı bir şekilde çalıştırılan tesis görülmektedir.

Yukarıda anlatılan yöntemlerde sülfürler genellikle sülfata dönüşür. Oluşan sülfat jips olarak

çöktürülüp atılır. Oluşan asidik ortam siyanür liçi öncesinde nötrale edilmelidir. Eğer tiyosülfat, tiyoüre gibi yeni reaktifler kullanıldıysa nötralizasyona ihtiyaç duyulmaz. Özetle, refrakter altın cevherlerinin değerlendirilmesi iki aşamada gerçekleştirilir; kimyasal yöntemler kullanılarak altının serbestleşmesi ve sonrasında standart siyanür liçi.

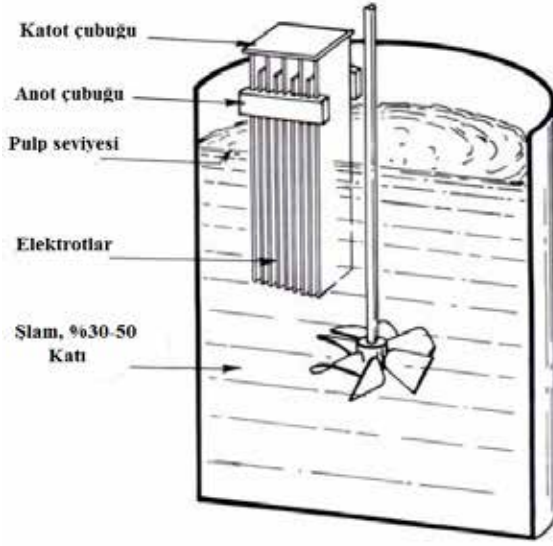


Şekil 14. Siyanür liçi öncesinde refrakter altın cevherlerinin ön işleminde kullanılan yüksek kapasiteli otoklavlar



Resim 3. Otoklav içerisine asite dirençli tuğlaların döşenmesi

Adsorplayıcı özelliğe sahip doğal organik ve inorganik karbon ve/veya mineraller içeren altın cevherleri de refrakter cevher sınıfına girmektedir. Bu tip cevherlerin değerlendirilmesi zordur çünkü hem altının bir kısmı organik madde ile ilişkilidir hem de çözülmüş altın, cevherdeki karbonlu malzemeler tarafından adsorplanarak atığa gitmektedir. Bu sorun, klor varlığında oksidasyon uygulanarak çözülmüştür. Bu işlem sırasında altının bir bölümü çözünebilir ancak klor oksidasyonunun asıl işlevi siyanür liçi öncesinde organik maddeleri oksitlemektir. Bu teknoloji Amerika'da Carlin-Nevada'da bir tesiste kullanılmaktadır (Guay, 1973). Bu soruna yönelik uygulanan diğer bir alternatif yöntem ise liç içinde karbon (carbon in leach, CIL) yöntemidir.



Şekil 15. Elektro-oksidadasyon reaktörü



Resim 4. Elektro-oksidadasyon pilot tesisi (A.B.D. Madencilik Bürosu, USBM)

4.4. Refrakter Cevherlerden Doğrudan Altın Kazanımı

Yapılan yeni araştırmalar, altının herhangi bir kimyasal ön hazırlık işlemi gerektirmeden tek adımda refrakter cevherlerden kazanılabileceğini göstermiştir. Bu alanda iki teknoloji dikkat çekmektedir.

4.4.1. Yüksek Sıcaklıkta Siyanür Liçi

Yüksek siyanür konsantrasyonu (~%1) ve sıcaklıkta (80°C), pH 10,5'da sülfürlü yapıyı yaklaşık bir saat içinde bozundurup serbestleşen altını kısa sürede çözmek mümkündür (Parga ve Valenzuela, 1999). Bu işlem sırasında, arsenopiri-

tin oksitlenmesiyle oluşan demir ve arsenik iyonları, sırasıyla demir hidroksit ve demir arsenat şeklinde çöklerler. Daha yüksek sıcaklıklarda çalışmak yüksek siyanür bozunmasından dolayı önerilmez. Filtrasyon sonrası siyanür çözeltisinden altın kazanımı için geleneksel yöntemler kullanılır. İşlem yüksek siyanür konsantrasyonunda gerçekleştirildiği için, ekonomik ve çevresel nedenlerden dolayı, açığa çıkan HCN'nin asitleştirme- absorpsiyonu ile atık çözeltiden siyanürün geri kazanılması zorunludur.

4.4.2. Yüksek Sıcaklıkta Klorür Liçi

Hidroklorik asit veya sülfürik asit, sodyum klorür varlığında, yaklaşık 200°C'de sülfürlü yapıyı bozundurur. Serbest hale gelen altın, altın-klorür bileşimini oluştururken, demir hidrolize olup ferrik oksit formunda çöker (Topkaya, 1999). Çözeltideki altın, aktif karbon üzerine çöktürülerek (indirgenme) kazanılabilir (Şekil 16).

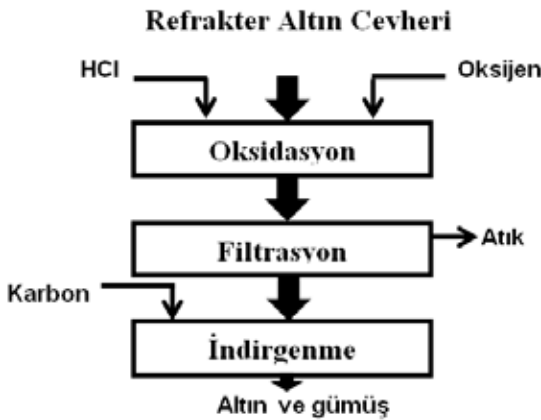
4.5. Basınçlı Siyanür Liçi

Yüksek oksijen basıncı altında siyanür liçi Güney Afrika'da Gravelloetin yakınlarında Murchison Madeninde ticari olarak uygulanmaktadır. Bu yöntem Lurgi tarafından Almanya'da 1,5 km uzunluğunda ve iç çapı 5 cm olan tüp tipi otoklavlar kullanılarak geliştirilmiştir. Liç işlemi ortam sıcaklığında ve yaklaşık 5 MPa oksijen basıncında gerçekleştirilmektedir (Monhemius, 1987; Pietsch, 1983). Sonuç olarak, sadece 15 dk. çözünme süresi sonunda %85 liç verimine ulaşılmıştır. Yüksek oksijen basıncı altında yüksek liç verimlerine ulaşmak için, siyanür konsantrasyonu yüksek seviyede tutulmalıdır. Uygulamada, liç çözeltisinin siyanür konsantrasyonu %0,2-0,5 NaCN'dir. Siyanürün yüksek basınç ve sıcaklıkta kolayca oksitlenebilmesine rağmen, kısa liç süresi bu dezavantajı önemsiz hale getirmektedir.

4.6. Pulp İçinde Karbon (CIP) ve Liç İçinde Karbon (CIL) Yöntemleri

Granüler karbonlardan altının sıyırılmasının geliştirilmesi ile karbonların yeniden kullanımı mümkün hale gelmiştir ve bu da yöntemin bir çözelti zenginleştirme/saflaştırma aşaması olarak yaygınlaşmasını sağlamıştır (Habashi, 1988). Altının aktif karbona adsorpsiyonu genellikle kolonlara doldurulmuş granüler karbonlar arasından liç çözeltisinin süzülmesi ile gerçekleştirilir. Karbon yatakları doymun hale geldiğinde desorp-

siyon işlemi uygulanır. Daha sonra karbonlar, yıkanır, kurutulur ve aktive edilir. Liç çözeltisinin tamamen berrak olması gerekir çünkü askıda katı maddeler karbon yatağının tıkanmasına neden olur. Eğer şlam içeren cevherler liç edilecek ise, berrak çözelti elde etmek için filtrasyon uygulanması maliyetli olmaktadır. Bu nedenle pulp içinde karbon yöntemi (CIP) geliştirilmiştir. Bu proseste pulp, tank içinde pelet karbonlar ile birlikte karıştırılır. Adsorpsiyon tamamlandığında, yüklü karbonların ayrılması için pulp eleklere beslenir ve sonrasında karbonlar yıkanarak desorpsiyon işlemine tabi tutulur. Bu prosesin avantajı pahalı filtrasyon işlemine ihtiyaç duyulmamasıdır.



Şekil 16. Refrakter cevherlerden HCl muamelesi/liçi ile altın kazanımı

Liç içinde karbon (CIL) prosesi, karbonlu malzeme içeren altın cevherlerinin liçinde karşılaşılan zorlukların üstesinden gelmek amacıyla geliştirilen diğer bir yöntemdir. Bu tür cevherlerin liçinde düşük verimler elde edilmektedir çünkü altın siyanür kompleksi karbonlu malzemelere adsorbe olarak atığa gitmektedir. Bu proseste, pelet karbonlar liç işlemi sırasında ilave edilir ve böylece çözünmüş altın, karbonlu malzemelerden önce karbonlar tarafından tutulur. Liç işlemi sırasındaki havalandırma bu yöntem için de bir avantaj sunmaktadır çünkü aynı liç işleminde olduğu gibi aktif karbon üzerine adsorpsiyon işlemine de çözeltide oksijen bulunması gereklidir. Yöntemin diğer bir avantajı ise pulp içinde karbon (CIP) yönteminde olduğu gibi, altın yüklü karbonların elek yardımıyla ayrılması ve dolayısıyla filtrasyon işlemine gerek duyulmamasıdır.

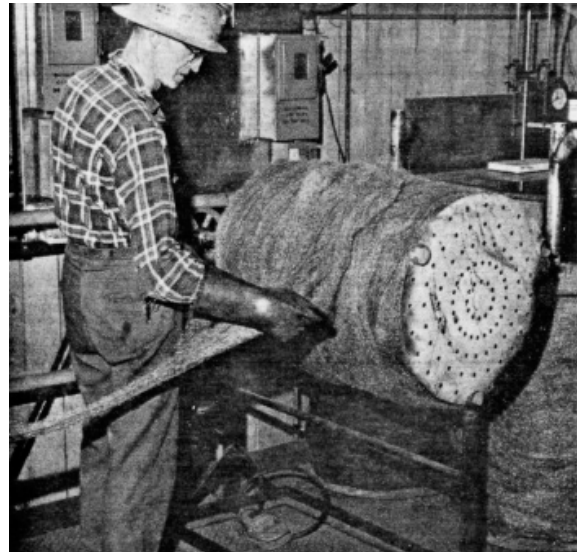
4.7. Altının Elektrokazanımı

Aktif karbon adsorpsiyonu-desorpsiyonu yöntemleri ile saflaştırılmış/zenginleştirilmiş

yüklü siyanür çözeltisi elde edildikten sonra bu çözeltiden altının kazanımı için elektrokazanım prosesleri geliştirilmiştir:

* Geliştirilen bir proseste geniş yüzey alanına sahip çelik yünden üretilmiş katotlar kullanılmaktadır (Resim 5). Altın kaplı çelik yün eritilerek külçe altın elde edilir. Yöntemin ekonomik olduğu kanıtlanmıştır (Zadra, 1950).

* Diğer bir proseste ise paslanmaz çelik yünle altın indirgindikten sonra hücrenin kutupları tersine çevrilerek altının diğer elektrotta transferi sağlanır ve altın bu elektrottan kazanılır (Rojo, Kişisel Görüşme).



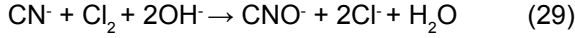
Resim 5. Çelik yün katotlu elektrolitik hücre (Zadra hücresi)

4.8. Çevresel Kontrol

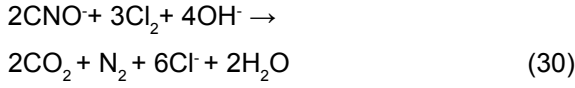
Çalışan bir siyanür liçi tesisinden kaynaklanabilecek iki çevresel sorun vardır. Bunlar; (i) tesisden çıkan boş siyanürlü çözelti ve (ii) liç edilmiş yığınlardır (Habashi, 1996).

(i) Liç işlemi esnasında çözeltideki safsızlık miktarını uygun bir seviyede tutmak amacıyla çözeltinin bir kısmı atıksu olarak dışarı atılmalıdır çünkü siyanür çözeltisinin büyük bölümü sürekli liç işlemine beslenerek tekrar kullanılmaktadır. Atılan bu boş çözelti zararlıdır ve çevreye atılmadan önce bozundurulması şarttır. Bu amaçla oksidasyon, asitleştirme-absorpsiyon gibi yöntemler geliştirilmiştir.

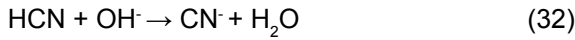
* **Oksidasyon:** CN⁻ iyonunun CNO⁻ iyonuna oksidasyonu, klor, hidrojen peroksit, ozon gibi diğer oksitleyici reaktifler ile gerçekleştirilen çevreye zararsız bir işlemdir.



Aşırı miktarda klor, siyanat iyonunu (CNO^-) CO_2 ve nitrojene oksitler.



* **Asitleştirme-absorpsiyon:** Asitleştirme ile HCN açığa çıkar ve alkali çözeltide absorbe edilir. Bu çözelti ile alkali siyanür çözeltisi hazırlanarak tekrar liçe kullanılır:



Çözeltide bakır ve demir siyanürler mevcut ise, bakır ferrosiyanür olarak çökeler. Asit çözeltisinde kalan metal iyonları $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile çöktürülür ve güvenli bir şekilde bertaraf edilir.

(ii) Yığın liçi ile altın kazanımını takiben, yığında arta kalan siyanürün bozundurulması gerekir.

Liç işleminde, siyanürün yerine toksik olmayan reaktiflerin (tiyoüre ($(\text{H}_2\text{N})_2\text{C}=\text{S}$) gibi) kullanımı araştırılmaktadır. Ancak, henüz böyle bir ticari uygulama mevcut değildir.

4.9. Robotik Analiz Laboratuvarı

Newmont Gold şirketi 1991 yılında Carlin (Nevada) şehrinde, donanım ve yazılım entegrasyonu, otomatik örnekleme, analitik ekipman arayüzü, gelişmiş yazılım ve MIS entegrasyonunu içeren bir otomatik robotik laboratuvarı kurmuştur. Bu otomatik ünite, 10 personeli ile günde 3000'den fazla örnek işlemektedir ve tutarlı bir şekilde doğru sonuçlar sağlamaktadır. Bu ünite, örnek tanımlayıcı barkot numaralandırma, otomatik örnek kurutma, bölme, krozeğe yerleştirme, asitle çözündürme, siyanür liçi, atomik absorpsiyon spektrometre analizi, sistem kontrolü ve veri temini yapılabilmektedir. Ayrıca saf su üretme sistemi, çıkış gazı temizleme sistemi, toz tutucu, kimyasal madde boşaltma, nötralizasyon, basınçlandırma (HVAC), yangın önleyici özellikleri de mevcuttur.

5. SONUÇ

Yaklaşık yüz yıl önce geliştirilen siyanür liçi prosesinin temeli 18. ve 19. yüzyıllardaki kimyagerlerin çalışmaları ile ortaya konmuştur. Kimyager-metalurjist John Stewart MacArthur ilk defa bu bilgileri altın cevherlerinin liçine uygulamıştır. Bu proses, modern hidrometalurji için bir dönüm noktasıdır ve halen ilk keşfedildiği haliyle

uygulanmaktadır. Bununla beraber, refrakter altın cevherlerine siyanür liçinden önce uygulanmak üzere yeni teknolojiler geliştirilmiştir. Altın tanelerinin pirit ve arsenopirit içinde kapanım halinde olduğu cevherlerin oksidasyonu amacıyla geliştirilen yüksek basınç reaktörlerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Siyanür çözeltisinden altının aktif karbon adsorpsiyonu ile kazanımında da önemli gelişmeler olmuştur.

Teşekkür

Yazarlar, bu yayının Türkçeye çevrilmesine ve yeniden basılmasına izin ve destek veren Prof. Dr. Fathi Habashi'ye ve yardımlarından dolayı Prof. Dr. Hacı Deveci'ye (K.T.Ü., Maden Mühendisliği Bölümü) teşekkür eder.

Acknowledgement

The authors would like to express their sincere thanks to Prof. Dr. Fathi Habashi for his permission and encouragement for translation and reproduction of this paper and to Prof. Dr. Hacı Deveci (K.T.U., Dept. of Mining Eng.) for his help during the translation of this paper.

KAYNAKLAR

Guay, W.J. and Peterson, D.G., 1973; "Recovery of gold from carbonaceous ores at Carlin, Nevada", *Trans. Soc. Min. Eng. AIME*, 254, 102-104.

Habashi, F., 1995; "Gold through the ages", *Bull. Can. Inst. Min. & Me.*, 88(990), 60-69.

Habashi, F., 1987; "One hundred years of cyanidation", *Bull. Can. Inst. Min. & Metallurgy*, 80(905), 108-114.

Habashi, F., 1988; "The adsorption of gold on activated charcoal", *Ciencias y Técnicas del Oro(La Paz)*, 4, 45-51 (in Spanish).

Habashi, F., 1993; "A textbook of hydrometallurgy", *Metallurgie Extractive Quebec*, 800 rue Alain #504, Sainte-Foy, Québec, Canada, G1X 4E7.

Habashi, F., 1967; "Kinetics and mechanism of gold and silver dissolution in cyanide solution" *Bulletin 59*, Montana Bureau of Mines. Butte, Montana.

Habashi, F., 1996; "Pollution problems in the mineral and metallurgical industries", *Metallurgie Extractive Québec*, 800 rue Alain #504. Sainte-Foy, Canada G1X 4E7.

House, I., Townsend, I., and Veal, C., 1988; "Coal – Gold Agglomeration", *International Mining*, September.

Moses, L. B. and Petersen, F.W., 2000; "Flotation as a Separation Technique in the Coal - Gold Agglomeration Process", *Minerals Engineering*, 13(3), 255-264.

Monhemius, A.J., 1987; "Recent advances in the treatment of refractory gold ores", *Proc. Second Meeting Southern Hemisphere Mineral Techn.*, Rio de Janeiro, 2, 280-302.

Mussati, D., Hager, J. and Martin, G.P., 1997; "Electrochemical aspects of the dissolution of gold in cyanide electrolytes containing lead", in *Aqueous Electrotechnologies*, edited by D. Dreisinger, TMS-AIME, Warrendale, Pennsylvania, 247-265.

Parga, J.R. and Valenzuela, J.L., 1999; "Single stage pressure oxidation/cyanidation and regeneration of cyanide with air-sparged technology", in *Solid/Liquid Separation Including Hydrometallurgy and the Environment*, 29th Annual Hydrometallurgy Meeting, the Metallurgical Society, Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Montreal, 315-328.

Pietsch, H.B., Turke, W.M. and Rathje, G.H., 1983; "Research of pressure leaching of ores containing precious metals", *Erzmetall*, 36(6), 261-265.

Rojo, J., El Callao, Kişisel görüşme, Venezuela.

Scheiner, B.J., Lindstrom, R.E., Guay, W.J. and Peterson, D.G., 1972; "Extraction of gold from carbonaceous ores: Pilot plant studies", *US Bureau Of Mines Report 7597*.

Thomas, K.G., 1994; "Research engineering design and operation of a pressure hydrometallurgy facility

for gold extraction", *Canadian Mineral Processors*, 555 Booth Street, Ottawa, Canada K1A 0G1.

Topkaya, Y. A., 1999; "Hydrochloric acid pressure-oxidation of a pyrite concentrate from the Vaal Reefs East Gold Mine", *CIM Bull.*, 92(1029), 70-74.

Zadra, J.B., 1950; "A process for the recovery of gold from activated carbon by leaching and electrolysis", *US Bur. Mines, Rept. Invest. 4672*.

KESKİ GEOMETRİSİNİN SPESİFİK ENERJİ DEĞERİ ÜZERİNE OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Investigation of the Effect of Chisel Tool Geometry on Specific Energy

A. Emre DURSUN*

Niyazi BİLİM**

M. Kemal GÖKAY***

ÖZET

Spesifik enerji birim hacim kayayı kesmek için gereken enerji miktarı olarak tanımlanmaktadır. Spesifik enerji değeri, mekanize kazı makinelerinin verimliliğinin tahmin edilmesinde kullanılan en geçerli metotlardan biridir. Bu değer laboratuarda küçük veya tam boyutlu kazı setleri kullanılarak kaya kesme deneyleri ile elde edilmektedir. Daha verimli ve ekonomik bir kazı performansı için kama tip keskinin geometrisi çok önemlidir. Bu nedenle hem keskinin mekanik dayanımını azaltmayacak hem de kesme esnasında spesifik enerjinin makul seviyede tutulabildiği bir keski geometrisinin belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmada Konya ve civarından temin edilen 7 farklı doğal taş numunesi üzerinde çeşitli kesme koşullarında (kesme derinliği, kesme açısı, temizleme açısı vs.) 0°, 15°, 30°, 45° yanal açıları olan kama tipi keskinler kullanılarak kesme deneyleri yapılmış ve numunelerin kazılabilirlik özellikleri belirlenmiştir. Bu çalışmada kesme ve temizleme açıları sabit tutularak yanal açıların kesme performansına olan etkileri araştırılarak optimum kesme geometrisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışma sonucunda keski geometrisinin spesifik enerji üzerine olan etkisi ve bu sonuçların bazı kazı makinelerinin performans tahmininde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Spesifik enerji, Yanal açı, Doğrusal Kaya Kesme, Yük hücresi, Kama Keski

ABSTRACT

Specific energy is defined as the amount of energy required to cut a unit volume of rock. Specific energy value is one of the most popular method in order to predict the efficiency of mechanical excavators. This value can be derived from small and full-scale laboratory rock cutting experiments. Chisel tool geometry is very important for more effective and economical excavation performance. For this reason it is important to determine chisel tool geometry not only reducing mechanical strength of tool but also keeping the specific energy in a suitable level during the cutting. In this study linear rock cutting tests were performed on seven different natural stone samples obtained from near Konya using cutting tools with 0°, 15°, 30° and 45° sideways angles at different cutting conditions (depth of cut, rake angle, clearance angle etc.) and cuttability properties of the samples were determined. In this study, we attempted to determine the optimum cutting geometry by investigating effect of sideways angles on cutting performance keeping constant rake and clearance angles. As a results of this study effect of chisel tool geometry on specific energy and usability of the experimental results for performance prediction of some excavation machines were investigated.

Keywords: Specific Energy, Sideways Angle, Linear Rock Cutting, Load Cell, Chisel Tool

* Arş. Grv., Selçuk Üniversitesi, Müh. Fak. Maden Müh. Bölümü, KONYA, aedursun@hotmail.com,

** Doç. Dr., Selçuk Üniversitesi, Müh. Fak. Maden Müh. Bölümü, KONYA

*** Prof. Dr., Selçuk Üniversitesi, Müh. Fak. Maden Müh. Bölümü, KONYA

1. GİRİŞ

Son yıllarda ülkemizde hem doğal taş sektöründeki teknolojik gelişmeler hem de inşaat sektöründe metro, karayolu ve su tüneli, yer altı deposu gibi uygulamaların hızla artması mekanize kazı sistemlerinin kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Bu nedenle mekanize kazı sistemlerinde kazı performansının güvenli bir şekilde kestirimi çok önemlidir. Kazı performansının kestirimi; teknik, ekonomik olarak uygulanabilirliğin ve kazı hızlarının kestirimi olarak tanımlanabilir ve kazı işlerinin ekonomikliğini hayati derecede etkilemektedir. Bu da mekanize kazı sistemlerinde kullanılacak makinenin seçiminin kayaç özelliklerine uygun olarak yapılmasını ve bu tür makinelerin verimli çalışmasını sağlamakta ve mekanize kazıyı diğer kazı sistemlerine göre daha avantajlı duruma getirmektedir.

Makine ile kazı kayacın çeşitli keskinliklerle parçalanması esasına dayanmaktadır. Kazı işinin mekaniğini anlamak için çok çeşitli teorik, deneysel ve empirik performans modelleme çalışmaları yapılmıştır. Bir kesici uç ile kaya arasındaki etkileşimi inceleyen teorik ve deneysel çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda kayaların mekanik bir uçla kırılması mekanizmasının araştırılmasına yönelik olmuştur.

Kazı mekaniğinde yapılan deneysel çalışmalar ve empirik modelleme çalışmaları birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Bu deneysel çalışmalar sonucunda teorik çalışmalar desteklenmiş ve kazı mekaniğinin temel esasları ortaya konmuştur (Fowell, Smith 1976; Smith, Fowell 1977; Roxborough,1973; Bilgin ve ark., 1988, 1990, 1996, 1997; Çopur vd. 2001). Bu çalışmalar sonucunda keski tasarım parametrelerinin kesme performansına olan etkileri detaylı olarak incelenmiştir. Çeşitli kazı makinelerinin kazı hızlarının ve keski aşınmalarının tahminine yönelik olarak istatistiksel modeller geliştirilmiştir.

Spesifik enerji birim hacim kayayı kesmek için ihtiyaç duyulan enerji miktarı olarak tanımlanır ve birimi MJ/m³ veya kWh/m³ tür. Spesifik enerji değeri, mekanize kazı makinelerinin verimliliğinin tahmin edilmesinde, en geçerli metotlardan biridir. Mekanize kazı makinelerinin hızlarının basit ve ucuz yöntemlerle, tahmin edilebilmesi kazı mekaniği bilimi açısından oldukça yeni ve önemlidir. Doğrusal kayaç kesme deneylerinde, birim hacimdeki kayayı kesmek için gereken spesifik enerji değeri gerçeğe yakın bir şekilde bulunabilmektedir. Bu değer mekanize kazı makinelerinin

kazı miktarı tahmininde ve performans analizlerinde kullanılır. Mekanize kazı sistemlerinin seçimi ve tasarımı aşamasında, kazılacak olan formasyonlardan kaya blokları alınmakta ve laboratuvarında doğrusal kazı setinde kesme deneylerine tabi tutulmaktadır (Fowell, Smith 1976; Smith, Fowell 1977; Roxborough,1973; Bilgin ve ark., 1988,1990,1996,1997; Çopur vd. 2001). Spesifik enerji üzerine yapılan bu araştırmalarda genelde spesifik enerji değeri laboratuvar kesme deneyleri ile belirlenmekte ve bu değer özellikle kollu galeri açma makinelerinin performans tahmininde kullanılmaktadır. Bu alanda bilinen ilk çalışmalardan McFeat-Smith ve Fowell (1976,1977), Bilgin ve ark. (1988, 1990, 1996,1997)' nın modelleri, en iyi bilinen deneysel tahmin modelleridir. Bu çalışmalarda spesifik enerji değeri ile orta ve ağır ağırlıktaki galeri açma makinelerinin kazı hızı arasında yakın bir ilişkinin olduğu görülmüştür. McFeat-Smith ve Fowell (1977)' in çok çeşitli sedimanter kayaçlar kullanarak geliştirdikleri model, kayaçların mekanik aletlerle kesilebilirlik özelliklerinin; dokusal, bileşimsel ve mühendislik özellikleri ile ilişkisinin belirlenmesi amacıyla en sık kullanılan modellerden biridir.

Bilgin ve Shariar (1988)' de yaptıkları bir çalışmada madenlerde mekanize kazı için bir planya tezgâhı ve ölçme sisteminden oluşan bir kazı seti oluşturarak Amasra karbonifer havzasında karot ve blok numuneleri üzerinde kesme deneyleri ile fiziksel ve mekanik deneyler yapmışlardır. Kesme deneyleri sonucunda formasyonu kendi aralarında kazılabilirlik özelliğine göre sınıflandırmışlardır. Daha sonra bu formasyonlar için en uygun mekanize kazı sistemlerini tavsiye etmişlerdir.

Çopur vd. (2007) çeşitli doğal taş numuneleri üzerinde farklı yanal açılara sahip kama tipi keski kullanarak doğrusal kesme deneyleri yapmıştır. Deney sonucunda keskilere gelen kuvvetler ve birim hacimdeki kayayı kesmek için gereken spesifik enerji değerleri elde edilmiştir. Çalışma sonucunda yanal açılarının kuvvetler ve spesifik enerji değeri üzerine olan etkisini ve zincir kollu kesme makinaları ile kesme işlemini deterministik olarak simule etmek amacıyla bir seri doğrusal kesme deneyleri yapmıştır.

Çopur (2009) doğal taş numuneleri üzerinde doğrusal kesme deney seti kullanarak kesme deneyleri yapmıştır. Bu çalışmada numuneler doğrusal kesme setinde chisel tip (kama tip) keski kullanılarak farklı yanal açı (0°, 15°, 30°, 45°), kesme derinliği ve keskiler arası mesafeler-

de kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kayaçların kesilebilirliği, zincir kollu kesme makinesinin kesme karakteristiği, simetrik ve simetrik olmayan yanıl açılarının ve farklı kesme modellerinin kesme performansına etkilerini araştırılmıştır. Sonuç olarak zincir kollu kesme makinesinin performans tahmini; doğrusal kayaç kesme deneylerinin sonuçları ve kinematiğin kanunları kullanılarak tahmin edilmiştir. Deneysel çalışmaların sonuçları ve yerinde araştırmalar zincir kollu kesme makinelerinin kesme işlemlerinin doğrusal kesme deneyleri ile temsili olarak başarılı bir şekilde belirlenebileceğini göstermiştir.

İTÜ mekanizasyon laboratuvarında mevcut küçük boyutlu kesme seti kullanılarak yapılan kesme deneylerinde çeşitli doğal taş ocaklarından alınan blok mermer numuneleri üzerinde kazılabilirliği belirlemek ve zincir ile kesme işlemini simüle etmek amacıyla laboratuvarında bir seri kesme deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmada köşe kesme deneyleri üzerine araştırma yaparak, köşe kesme deneyleri sonucunda keskilere gelen kuvvetler ve birim hacimdeki kayayı kesmek için gereken spesifik enerji değerleri belirlenmiştir. Kesme deneylerinde parametreler kama tipi keski (chisel tip) kullanılmış olup, kesme parametreleri ise temizleme açısı 5° , kesme açısı -5° , keski genişliği 12,7 mm olarak belirlenmiştir. Sonuçta, küçük boyutlu kazı setinde (planya tezgâhı) doğrusal kesme deneyleri yapılarak bir zincir kesme makinesindeki köşe keskilere simüle edilmiştir. Bu çalışmada da yine planya tezgâhı kesme seti olarak kullanılmıştır (Çopur ve diğ., 2009).

Çopur (2010) zincir kollu kesme makinesi kullanılan çeşitli doğal taş ocaklarında hem ocaklarda hem de laboratuvarında çalışmalar yaparak bu makinelerin performansını araştırmıştır. Bu çalışmada çeşitli doğal taş numuneleri kazılabilirliğini belirlemek için doğrusal kesme deneyleri yapılmıştır. Deney sonucunda kayaç özellikleri ile keski performansı keski kuvvetleri arasındaki ilişkiyi belirlemiştir. Bu deneylerde yanıl açılara sahip kama tipi keskilere kullanarak çeşitli kesme koşullarında kesme deneyleri yapılmış ve yanıl açılarının etkilerini incelemiş ve zincir kollu kesme makinelerinin performans tahmini için modeller oluşturmuştur.

Bu çalışmalarda öncelikle kesme parametreleri belirlenmekte ve bu parametreler göz önünde bulundurularak spesifik enerji değeri hesaplanmaktadır. Kesme parametreleri genelde kesme açısı, yanıl açı, kesme derinliği, temizleme açısı, keski genişliği, keskilere arası mesafe, kesme hızı gibi parametrelerden oluşmaktadır.

Bu çalışmamızda kesme deneyleri esnasında keski geometrisinin spesifik enerji değeri, kesme kuvveti ve pasa miktarı üzerine olan etkisi incelenmiştir. Keski geometrisi belirlenirken yanıl açı dışındaki diğer parametreler sabit tutularak yanıl açının kazılabilirlik üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Bunun için mermer, traverten ve tüflerden oluşan 7 çeşit doğal taş numunesi üzerinde doğrusal kesme deneyleri yapılarak yanıl açının spesifik enerji değeri üzerine olan etkisi incelenmiştir. Böylelikle hem harcanan enerji açısından hem de kazılan pasa miktarı açısından en uygun yanıl açı yani keski geometrisi belirlenmeye çalışılmıştır.

2. DOĞRUSAL KESME DENEYLERİ ve SPESİFİK ENERJİ DEĞERİNİN BELİRLENMESİ

2.1. Doğrusal Kesme Deneyleri

Bu çalışmada kesme deneylerinde kullanılan kesme deney seti Fowell ve McFeat-Smith (1976), McFeat-Smith ve Fowell (1977) ve Bilgin ve Shariar (1988) tarafından kullanılan makinenin bir benzeri olan planya tezgâhidir. Bunun için Klopp marka bir planya tezgâhı modifiye edilerek yük hücresi, AC tip motor hız kontrol cihazı, akım-gerilim dönüştürücü, enerji analizörü gibi bazı ekipmanlar monte edilmiş ve kesme deneylerinde kullanılmıştır (Şekil 1).



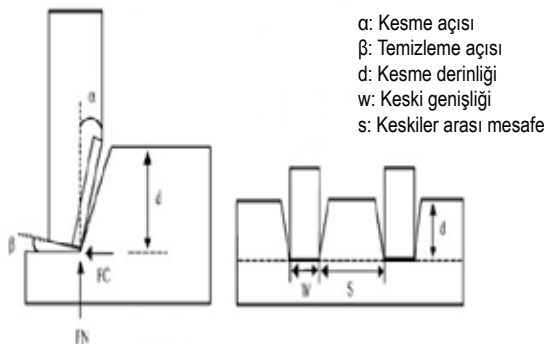
Şekil 1. Doğrusal kesme deney seti.

Kesme deneyleri Selçuk Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümü laboratuvarında bulunan doğrusal kesme deney setinde gerçekleştirilmiştir. Bu doğrusal kesme deney seti fonksiyonel olarak üç ana kısımdan oluşmaktadır. Ana gövde, hareketli başlık ve hareketli iş tablası (Şekil 1). Kesme deneyleri esnasında 30x30x10 cm boyutundaki kayaç numunesi planyanın iş tablasına yerleştirilerek başlık kısmının git-gel hareketi ile

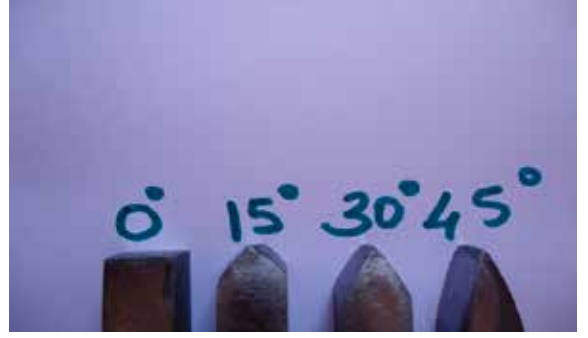
kayaç numunesi üzerine oluk açmakta böylece kesme işlemi gerçekleştirilmektedir. Deneylerde planya makinesinin tablasına yerleştirilen kayaç numunesi aşağı-yukarı ve sağa-sola hareket ettirilerek kesme derinliği ve keski arası mesafe gibi parametrelerde incelenebilmektedir.

Kesme deneylerinde keski tungsten karbürden yapılmış kama tip keski kullandıkları bilinmektedir. Şekil 2'de kama tip bir keskiye ait tasarım parametreleri (keski geometrisi) verilmiştir. Keski geometrisinin kazı performansını etkilediği bilinmektedir. Keski geometrisi üzerine yapılan çalışmalar genelde kesme açısı, temizleme açısı, keski genişliği üzerine yoğunlaşmıştır. Yanal açılar üzerine yapılan çalışmalar azınlıktadır. Bu sebeple bu çalışmada yanıl açılarda kesme performansı üzerine olan etkilerinin araştırılması planlanmıştır. Şekil 3'de görüldüğü gibi her bir keskiye farklı yanıl açı (0°, 15°, 30°, 45°) verilmiştir. Kesme deneyleri esnasında bazı kesme parametreleri belirlenerek yanıl açılarda dışarda diğler parametreler sabit tutulmuştur. Bu parametreler; kesme açısı -5°, temizleme açısı 5°, kesme derinliği 2 mm, keski genişliği 12 mm, kesme hızı ~36 cm/sn, keski arası mesafe yardımsız ve veri toplama hızı 1000 Hz olarak belirlenmiştir.

Yanal açısı olmayan (0° yanıl açı) keski, kollu galeri açma makinelerinin performans tahminleri için kullanılan standart keskidir. Kesme deneyleri esnasında keski 750 kg kapasiteli yük hücresi üzerinde bulunan keski tutucuya, blok şeklindeki kayaç numuneleri iş tablasına sıkıştırma paletleri ile sıkıca sabitlenerek ayarlanır. Daha sonra kesme derinliği, keski arası mesafe, kesme hızı gibi parametreler ayarlandıktan sonra numune kesim için hazır hale getirilmektedir. Yük hücreleri veri ölçer hale getirildikten sonra ilk kesim yapılarak veri toplama kartı ve MATLAB yazılım programı yardımıyla kuvvet verileri kayıt edilir.



Şekil 2. Kama tip keskiye ait keski geometrisi (Fowell 1993).



Şekil 3. Deneylerde kullanılan keski.

2.2. Spesifik Enerji Değeri Belirlenmesi

Spesifik enerji birim hacimdeki kayayı kesmek için harcanan enerji olarak tanımlanır ve kazı/kesme sistemlerinin performanslarını hesaplamak, kıyaslamak ve optimum kesme geometrisini belirlemek için kullanılan en önemli parametrelere biridir. Spesifik enerji aşağıdaki Eşitlik 1'den hesaplanır (Roxborough, 1973);

$$SE = FC/Q \quad (1)$$

Burada,

SE spesifik enerji (MJ/m³),

FC keskiye etkiyen kesme kuvveti (kN)

Q birim kesme mesafesinde kesilen kayaç hacmi (m³/km) dir.

Bu çalışmada her kayaç numunesi için 3 defa kesme deneyi yapılarak veriler elde edilmiş ve bu 3 deneyin ortalaması alınarak spesifik enerji değeri hesaplanmıştır. Kesme deneyi sonrası kaya numunesine ait kesilmiş yüzeye ait fotoğraf Şekil 4'de verilmiştir. Kesme deneyleri sonucunda elde edilen spesifik enerji değerleri, kesme kuvvetleri ve pasa miktarı Çizelge 1, 2 ve 3' de verilmiştir.



Şekil 4. Kesilmiş kaya yüzeyi görünüşü.

Çizelge 1. Yanal Açılara Göre Spesifik Enerji Değerleri

Kayaç Adı	Spesifik Enerji Değerleri (MJ/m ³)			
	0°	15°	30°	45°
Traverten 1	28,38	81,31	79,05	74,22
Traverten 2	26,62	58,20	55,13	48,78
Traverten 3	33,81	93,27	66,12	64,55
Traverten 4	38,03	94,37	66,14	44,63
Traverten 5	43,92	100,14	87,23	85,86
Mermer	64,59	101,48	93,85	86,81
Tüf	7,34	21,15	18,13	14,73

Çizelge 2. Yanal Açılara Göre Kesme Kuvvetleri

Kayaç Adı	Kesme Kuvvetleri (kgf)			
	0°	15°	30°	45°
Traverten1	106,29	75,10	60,30	52,51
Traverten2	122,82	101,80	64,92	56,84
Traverten3	124,40	101,18	76,84	62,09
Traverten4	140,38	116,50	99,23	85,33
Traverten5	155,36	129,49	105,20	83,49
Mermer	149,74	126,38	118,27	96,91
Tüf	24,54	24,28	18,32	14,84

Çizelge 3. Yanal Açılara Göre Kazılan Pasa Ağırlığı

Kayaç Adı	Kazılan Pasa Ağırlığı (gr)			
	0°	15°	30°	45°
Traverten 1	23,37	5,74	4,77	4,41
Traverten 2	29,18	11,24	7,57	7,49
Traverten 3	25,42	7,43	7,97	6,65
Traverten 4	29,25	14,37	11,60	9,63
Traverten 5	21,35	7,99	7,04	5,78
Mermer	17,72	9,81	9,87	8,49
Tüf	7,34	5,23	4,27	4,34

2.3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

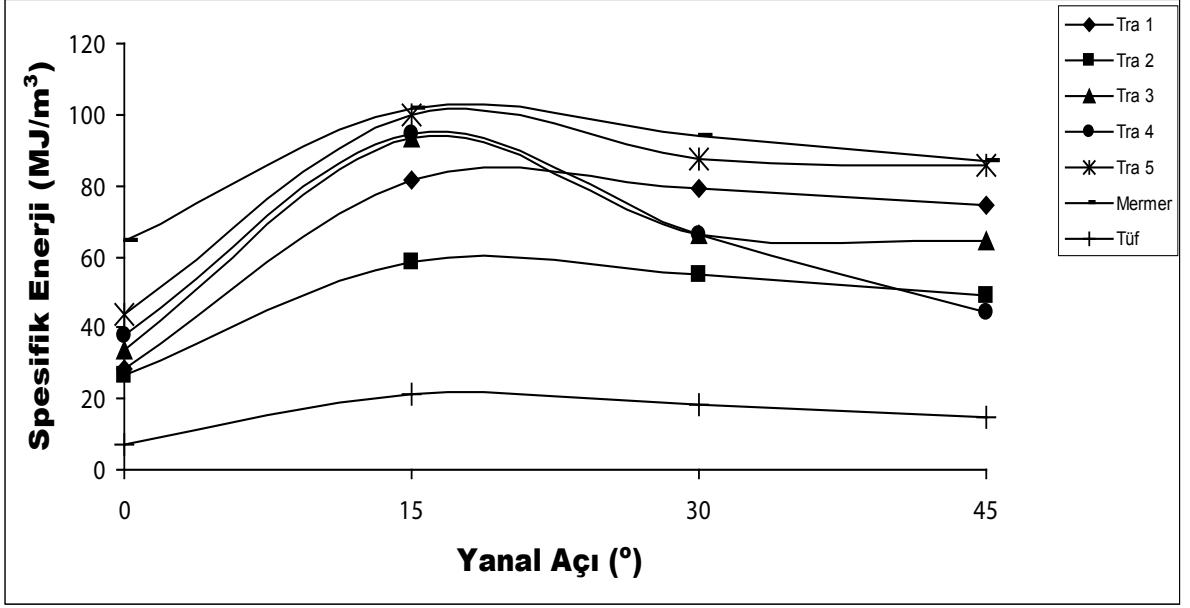
Yapılan kesme deneyleri sonucunda her bir keski geometrisi veya yanal açılar (0°, 15°, 30°, 45°) için elde ettiğimiz spesifik enerji değerleri, keski kuvvetleri ve kazılan pasa ağırlığı arasındaki ilişkiler sırasıyla Şekil 5, 6 ve 7' de verilmektedir.

Şekil 5'de görüldüğü gibi 2 mm kesme derinliğinde, yardımsız (keskilerin birbirini etkilemediği durum) olarak yapılan kesme deneyleri sonucunda elde ettiğimiz spesifik enerji değeri en yüksekten en düşüğe doğru 15°, 30°, 45° ve 0° yanal açılı kesimler ile elde edilmiştir. Bu sıralama beklenen bir sonuçtur, çünkü keskinin teorik süpürme alanı ve keski geometrisi ile ilgilidir (Şekil 8). Bu durum kazı mekaniği açısından beklenen bir eğilimdir. Ayrıca burada keski yanal açısının yanında kayaç sökölme açısının da etkili olduğu söylenebilir.

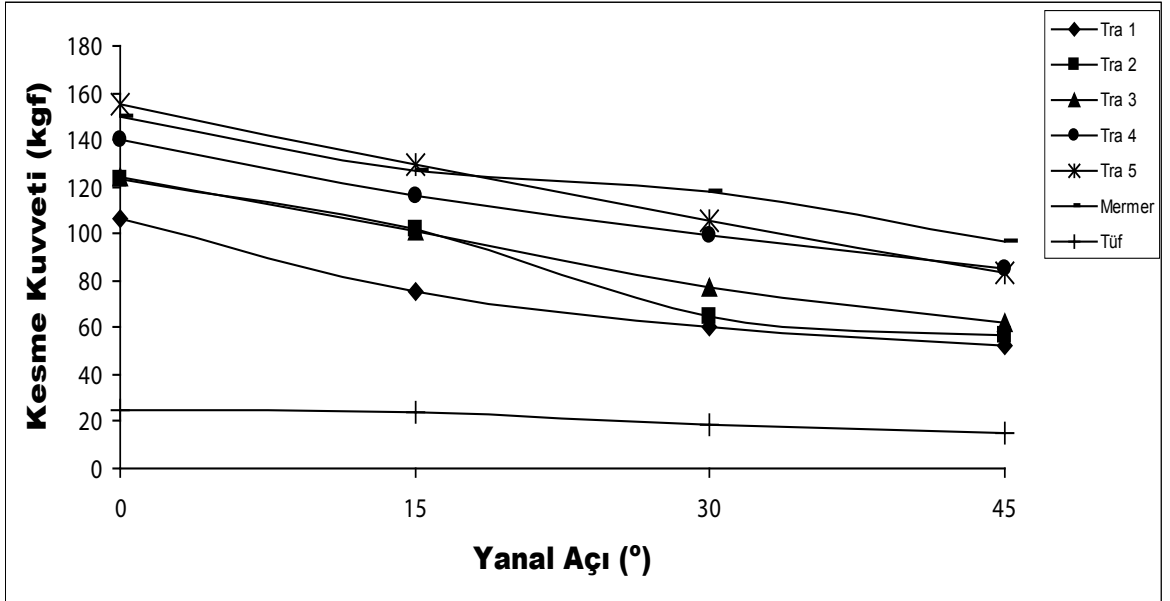
Şekil 6'de görüldüğü gibi kesme kuvveti, keski geometrisi göz önünde bulundurularak teorik süpürme alanına ve keski yanal açısına bağlı olarak yüksekten düşüğe doğru 0°, 15°, 30° ve 45° yanal açılı kesimler ile elde edilmiştir. Aynı durum Şekil 7'de pasa ağırlığı ile yanal açılar arasında da görülmektedir. Burada kazılan pasa miktarı yüksekten düşüğe doğru 0°, 15°, 30° ve 45° yanal açılı kesimler ile elde edilmiştir.

Şekil 8'de görülen teorik süpürme alanı göz önünde bulundurulduğunda yanal açılar ile Şekil 5, 6 ve 7'de görülen keski kuvvetleri, spesifik enerji değerleri ve pasa ağırlıkları arasındaki ilişki keskinin teorik süpürme alanına ve keski geometrisi ile ilgilidir.

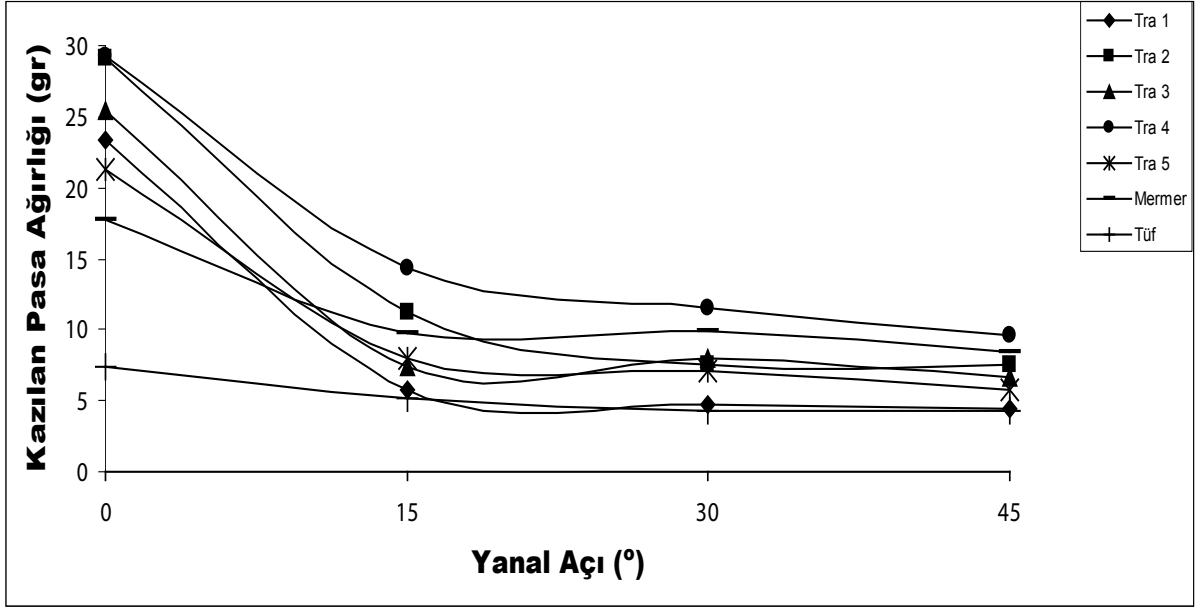
Deney sonuçlarına göre kesme kuvvetleri ve spesifik enerji değerlerinin genel olarak kazı mekaniği prensiplerine uygun olduğu görülmektedir. Bu durum, küçük boyutlu doğrusal kesme deneylerinin kollu galeri açma makineleri ve benzeri kazı makinelerinin performansının tahmin edilebilmesine olanak sağlamaktadır.



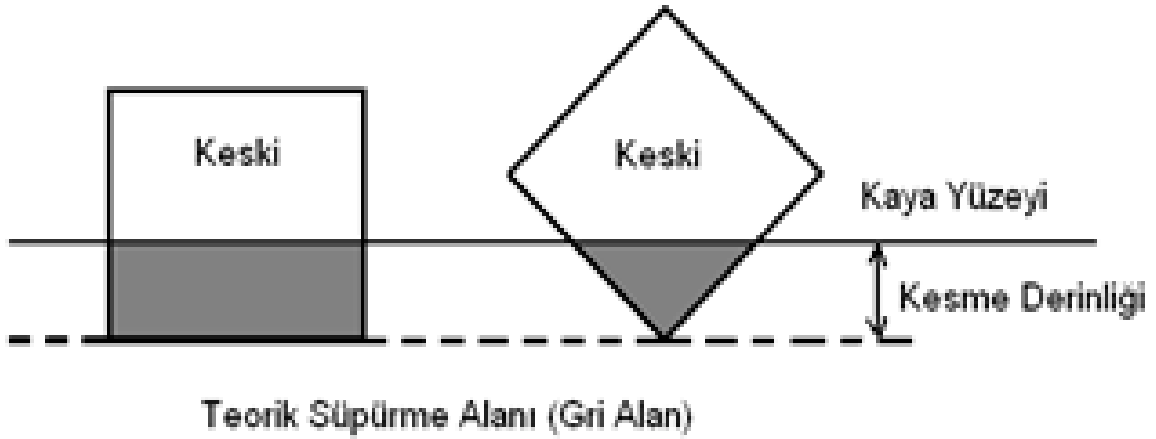
Şekil 5. Spesifik enerji değerleri ile yanal açı arasındaki ilişki.



Şekil 6. Kesme kuvvetleri ile yanal açı arasındaki ilişki.



Şekil 7. Kazılan pasa ağırlığı ile yanal açı arasındaki ilişki.



Şekil 8. Keski geometrisine bağlı keskinin teorik süpürme alanı (Çopur, 2009).

3. SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre keski geometrisine bağlı olarak performans tahmini yapılabileceği görülmektedir. Farklı doğal taş numuneleri kullanılarak optimum kesme geometrisi belirlenmeye çalışılmış ve en uygun keski geometrisi ile kazı yapılmasına ön bir çalışma olmuştur.

Sonuçta keski geometrisinin spesifik enerji üzerine olan etkisi görülmüş ve bu durumun ileride kama tipi keski kullanılan kazı makinelerinin daha verimli kazı yapmalarına bir ön çalışma olacağını göstermiştir. Özellikle kama tipi keski kullanılan kollu galeri açma makineleri gibi kazı makineleri ile doğal taş sektöründe kullanılan zincirli kesme makinelerinin performans tahmininde, makine seçimi, tasarımı ve fizibilite çalışmaları bu deney sonuçları kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Bilgin N, Shahriar K, 1988; "Madenlerde Mekanize Kazı İçin Bir Ölçme Sisteminin Geliştirilmesi ve Amasra Karbonifer Havzasına Uygulanışı", *Türkiye 6. Kömür Kongresi*, s.13-29.

Bilgin N, Seyrek T, Erdinc E, and Shahriar K, 1990; "Roadheaders clean valuable tips for İstanbul Metro", *Tunnels and Tunneling*, Oct., pp. 29-32.

Bilgin N, Yazıcı S, and Eskikaya S, 1996; "A model to predict the performance of roadheaders and impact hammers in tunnel drivages", *Proceedings, Eurock '96*, Balkema, pp. 715-720.

Bilgin N, Kuzu C and Eskikaya S, 1997; "Cutting performance of rock hammers and roadheaders in İstanbul Metro drivages", *Pro. Word Tunnel Congress'97, Tunnels for People*, Balkema, pp. 455-460.

Çopur H, Tunçdemir H, Bilgin N, and Dinçer T, 2001; "Specific energy as a criterion for use of rapid excavation systems in Turkish mines", *Trans. Inst. Min. Metall.-Section A*, Vol. 110, pp. A149-157.

Çopur H, Balcı C, Bilgin, N, Tumaç D, Düzyol İ, 2007; "Doğal taş madencilğinde kullanılan zincirli kesme makinelerinin performansı", *Türkiye 1. Maden Makinaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, s.37-46, Kütahya.

Çopur H., 2009; "Linear stone cutting tests with chisel tools identification of cutting principles and predicting performance of chain saw machines", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol.47, No 1, January 2010, Pages 104-120.

Çopur H, Balcı C., Tumaç D., Bilgin, N., 2009; "Zincirli kesme makinelerinin performans tahminine yönelik yapılan köşe kesme deneyleri ve yorumu", *Türkiye 2. Maden Makinaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, s.79-91, Zonguldak.

Fowell R.J. and McFeat-Smith I., 1976; "Factors influencing the cutting performance of a selective tunnelling machine", In: *Int. Tunnelling '76 Symp.* London, 1-5 March, pp. 301-318.

Fowell R.J., 1993; "The mechanics of rock cutting", *Compressive Rock Engineering*, ed J.A Hudson, Vol.4, Permagon, pp: 155-176.

Mc Feat-Smith and Fowell R.J., 1977; "Correlation of Rock Properties and the Cutting Performance of Tunnelling Machines", *Proceedings of a Conference on Rock Engineering*, CORE-UK, Conference organized jointly by the British Geotechnical Society and Department of Mining Engineering, The University of Newcastle upon Tyne, pp: 581-602.

Mc Feat-Smith, 1977; "Rock property testing for the assessment of tunneling machine performance", *Tunnels and Tunneling*, pp: 29-33, March.

Mc Feat-Smith and Fowell R.J, 1979; "The Selection and Application of Roadheaders for Rock Tunneling", *Proc 4 th Rapid Excavation and Tunneling Conference Atlanta*, pp. 261-279, AIME, Newyork.

Roxborough, F.F., 1973; "Cutting rock with picks", *The Mining Engineer*, June, pp. 445-452.

Bu Makale 13 – 15 Aralık 2012 tarihinde Afyonkarahisar'da düzenlenen MERSEM 2012 – 8. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi'nde bildiri olarak sunulmuştur.

DOĞAL TAŞ OCAKLARINDA, KANAL AÇMA YÖNTEMİNDE YENİ BİR UYGULAMA VE VERİMLİLİK ANALİZİ

A New Application of New Channel Opening Method in Natural Stone Quarries and Productivity Analysis

Erkan ÖZKAN*
Gencay SARIŞIK**
Sadık CEYLAN***

ÖZET

Doğal taş ocaklarında basamak tasarımı ve planlaması amacıyla V (üçgen) ve U (dikdörtgen) şeklinde kanal açma yöntemleri uygulanmaktadır. Ocak aynasının düz ve sürekli olduğu durumlarda yeni bir basamağın oluşturulması için V şeklinde kanal açma yöntemi doğal taş ocaklarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin en önemli eksikliği üretim kayıplarının yüksek olması, basamak oluşturulması için hazırlık aşamasının uzun sürmesi ve ocak içerisinde ilerleme miktarının kontrol edilememesidir. U şeklinde kanalın açma yöntemi, ocağın topografyası ve jeolojik yapısının uygun olması durumunda, zincirli kollu kesme makinesi ile uygulanabilmektedir. Bununla birlikte, doğal taş ocaklarında doğrudan arka kesim yapabilen elmas tel kesme makinesi ile kombine çalışan kanal açma ekipmanının ilk yatırım maliyeti yüksek ve kullanım alanı sınırlıdır. Bu çalışmada elmas tel kesme makinesinin U şeklinde kesim yapabilmesi için yeni geliştirilen delik tasarımı ve bu yöntemin V şeklinde kanal açma yöntemine göre verimlilikleri karşılaştırılmıştır. Bu U kanal açma yöntemi ile üretim kayıpları azalmakta ve % 60 daha az sürede ocak basamaklarının oluşturulması sağlanabilmektedir. Yeni geliştirilen kanal açma yöntemi Bilecik bej ve Eskişehir Süpren doğal taş ocaklarında uygulanmaktadır. Bu ocaklarda blok verimlilikleri V kanal açma yöntemine göre ortalama 3 kat artmış ve aynı miktarda blok üretildiği durumda artık ve moloz miktarı 3,2 kat azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kanal Açma, U ve V Şeklinde Kanal, Verimlilik

ABSTRACT

V (triangle) and U (rectangular) channel opening methods have been carried out in natural stone quarries for the aim of designing and planning benches. In circumstances where quarry face plain and continuous, in order to form a new bench, V shape channel opening method is widely used in natural stone quarries. The most important shortcomings of this method are high production losses, long preparation process to form a bench, and failure in the control of the progress in the quarry. Providing the topography and geological structure of the quarry is appropriate, the U shape channel opening method can be applied with armed chained cutting machines. However, the initial investment cost of the channel opening equipment operated in an integrated way with diamond wire cutting machine, which can perform back cut directly in natural stone quarries, is high and also has limited usage field. In this study, a recently developed hole design for diamond wire cutting machine to be able to perform U shape cut and the efficiency of this method when compared to V shape method are investigated. With U channel opening method, production losses decrease and quarry benches can be formed in 60% less time. Recently developed channel opening method is being applied in Bilecik Biege and Eskişehir Süpren natural stone quarries. In these quarries, quarry productivity has increased threefold with respect to V channel opening method and in the event of producing same amount of block, the waste and rubble amount have decreased 3.2 times.

Keywords: Channel Opening, U-and V-shaped Channel, Productivity

* Yrd.Doç.Dr., Afyon Kocatepe Üniv., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., AFYONKARAHİSAR, erkanozka@gmail.com
** Yrd.Doç.Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi, GSF-Endüstri Ürünleri Tasarımı Böl., AFYONKARAHİSAR
*** Maden Mühendisi, Natura Mermer Madencilik İnşaat Sanayi ve Ticaret, AFYONKARAHİSAR

1. GİRİŞ

Bir doğal taş ocağının açılması sırasında blok üretimin yapılabilmesi için örtü tabakası, yatağın coğrafi konumu, topografyası ve jeolojisine bağlı olarak basamak tasarımı ve geometrisi değişir. Ocak makinelerinin verimli bir şekilde çalışabilmesi için örtü tabakasının kaldırılması gerekmektedir. Doğal taş ocaklarında, ocak ağzının açılması ve yeni üretim basamaklarının oluşturulması için kanal açma işlemi uygulanır. Ocak ağzının doğru yönde açılması, basamakların planlanması ve verimliliğinin artırılması açısından önemlidir (Bozkurt, 1989; Kulaksız, 2007; Kulaksız, vd, 2008).

Türkiye'deki doğal taş ocaklarında U (dikdörtgen) ve V (üçgen) şeklinde kanal açma işlemi gerçekleştirilmektedir. Üretim yöntemine göre zincirli kollu kesici, elmas tel kesme veya elmas tel kesme makinesi ile kombine çalışan kanal açma ekipmanı yardımıyla kanal açma işlemi uygulanmaktadır. U şeklinde kanal açma işleminde V şeklinde kanal açma işlemine göre kesilen blokların geometrisinden dolayı üretim kayıpları daha azdır. (Capuzzi, 1989; Bozkurt, 1989; Akkoç, 2003; Fantini 2005; Onargan, vd, 2005; Kulaksız, 2007; Kulaksız, vd, 2008).

Doğaltaş ocağının jeolojik yapısının uygun olması durumunda, yatay ve düşey yönde sürekli kesim yapabilen zincirli kollu kesme makinesi ile U şeklinde kanal açılabilir. Bu zincirli kollu kesme makinesi ile ocakta üretime başlanabilmesi için örtü tabakasının kaldırılması ve makinenin kurulacağı yerin tesviye edilmesi gerekmektedir. Zincirli kollu kesicinin çalışacağı yerin iş makineleriyle tesviye edilememesi durumunda yardımcı olarak elmas tel kesme makinesi ile zemin tesviye edilir. Eğer zincirli kollu kesme makinesinin çalışacağı alan iyi bir şekilde tesviye edilmezse sonraki kesimlerin yapılmasında güçleşecek ve ocak basamağının geometrisi bozulacaktır (Akkoç, 2003; Fantini 2005). Zincirli kollu kesme makinesinde, deliklerin delinmesi ve deliklerden elmas telin geçirilmesi gibi kesim öncesi hazırlık işlemleri olmadığı için, zaman kayıpları en aza inmektedir. Zincirli kollu kesme makinesi ile standart boyutlara yakın, kaliteli ve düzgün yüzeyli bloklar üretilebilmektedir. Ocak içerisinde basamak yüksekliği zincirli kollu kesicinin kol yüksekliğiyle sınırlıdır. Elmas tel kesme makinesinde telin kopması ve kasnaktan çıkması gibi tehlikelerin, zincirli kollu kesme makinesinde, olmaması nedeniyle, ocakta iş kazası riski daha azdır (Gündüz ve Demirdağ, 2004; Çopur

vd, 2006; Çopur vd, 2007 (a); Çopur vd, 2007 (b), Demirel, 2008; Engin ve Özkan, 2009; Sarıışık and Sarıışık, 2010;2012, Çopur vd, 2011; Sarıışık vd, 2011).

Doğaltaş ocaklarında, V şeklinde kanal açma işlemi, dikey delik ve iki tane açılı yatay delik kesitirilerek elmas tel kesme makinesinin kesme işlemi gerçekleştirmesi için yüzeyler oluşturur. (Capuzzi, 1989; Bozkurt 1989). Ocak aynasından ayrılan V şeklindeki üçgen kütle, kütle ayırıcılar veya iş makineleri ile devrilerek blok üretimi gerçekleştirilmektedir. V şeklinde kanal açma işleminde, kütle devrilmesinden dolayı istenilen kalite, boyut ve miktarda blok üretilememektedir. Basamak geometrisinden dolayı V şeklinde kanal açma işleminde üretim ve zaman kayıpları ile karşılaşmaktadır (Kulaksız, 2007; Kulaksız vd, 2008).

Doğaltaş ocaklarında, U şeklinde kanal açma yöntemi elmas tel kesme makinesi ile kombine çalışan kanal açma ekipmanı ile gerçekleştirilebilmektedir. Bu yardımcı ekipmanların ilk yatırım maliyetinin yüksek ve ocak içerisinde kullanım alanının sınırlı olmasından dolayı yatırımcılar tarafından pek fazla tercih edilmemektedir. Zincirli kollu kesme makinesinin, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması nedeniyle yeni yatırım yapılan ocaklarda üretim öncesi hazırlık işlemlerinde ve kanal açma işlemlerinde genellikle tercih edilmektedir. (Capuzzi, 1989; Karaca, 2001; Onargan vd, 2005).

Ceylan vd, (2012) tarafından doğal taş ocaklarında üretim basamağının oluşturulması için kullanılan yeni bir U kanal açma yöntemi incelenmiştir. Bu çalışmada ise elmas tel kesme makinesinin U şeklinde kesim yapabilmesi için yeni geliştirilen delik tasarımı ve bu yöntemin V şeklinde kanal açma yöntemine göre verimlilikleri karşılaştırılmıştır.

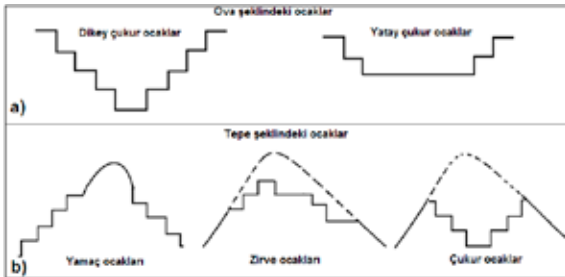
Yeni geliştirilen delik tasarımı sayesinde elmas tel kesme makinesi ile U şeklinde kanal açılabilir. Bu yöntem ile açılan U şeklindeki kanalın dikdörtgen prizma olmasından dolayı, ocak basamaklarının tasarlanması ve planlanması kolaylaşmaktadır. Buna bağlı olarak kanalın geometrik özelliklerinden dolayı blok üretiminde üretim kayıpları azalmakta ve blok verimliliği artmaktadır. Elmas tel kesme makinesi ile kesme işlemi gerçekleştirildiği için zincirli kollu kesicilerden farklı olarak kanalın yüksekliği sınırlı değildir. Özel geliştirilen delik sistemi sayesinde bloklar dikdörtgen prizması şeklinde

dilimlere ayrılabilir. Dikdörtgen prizması şeklindeki blokların devrilmesi üçgen parçaların çıkarıldığı V kanal açma yöntemine göre blok verimliliği yüksektir. Ayrıca, ocak basamaklarının planlanması ve tasarlanmasını kolaylaştırması nedeniyle yeni geliştirilen yöntem iş kazaları riskini de azaltan bir yöntemdir.

2. DOĞAL TAŞ OCAK İŞLETME ŞEKİLLERİ

Doğal taş ocaklarında üretim öncesi hazırlık işlemlerinin seçiminde ve uygulanmasında doğal taş ocak işletme şekilleri önemlidir. Bir ocağın jeomorfolojik durumu ocak ağzının açılmasında ve yeni basamakların oluşturulmasında önemli bir etkidir. Doğal taş yatakları dağ, tepe ve ova gibi çeşitli morfolojik yapıların üzerindeki konumlarına göre sınıflandırılmaktadır. Şekil 1a'da ova şeklinde ocaklar gösterilmiştir. Ova şeklindeki ocaklarda çalışma yapılan basamaklar dik bir şekilde ocağın her iki tarafında aşağı doğru devam ediyorsa çukur ocak olarak adlandırılmaktadır. Çukur ocaklar doğal taş yatağının konumuna göre ikiye ayrılır. Doğal taş yatağının yüksek eğimlerde ve dik olarak konumlandığı ocaklara dikey çukur ocak, düşük eğimlerde ve yatay olarak konumlandığı ocaklara yatay çukur ocak şeklinde adlandırılmaktadır (Ersoy ve Osmanlıoğlu, 1993; Kulaksız, 2007; Kulaksız vd, 2008).

Yerüstü ocaklarının dağlık ve tepelik morfolojide kurulan tepe ocakları vardır. Tepe ocakları yamaç, zirve ve çukur olmak üzere üç şekilde sınıflandırılmaktadır. Yamaç ocakları üretim basamaklarının ocak taban seviyesinin üzerinde olduğu ocaklardır. Bu ocaklarda, yamaçın eğimi ve konumu ocak basamak tasarımının belirlenmesinde önemlidir. Şekil 1b'de tepe şeklindeki ocaklardan kesitler verilmektedir (Ersoy ve Osmanlıoğlu, 1993; Kulaksız, 2007; Kulaksız vd. 2008).

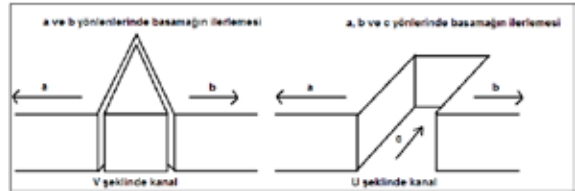


Şekil 1. a) Ova ve b) Tepe şeklinde ocak çeşitleri

3. DOĞAL TAŞ OCAKLARINDA KANAL AÇMA İŞLEMİ

Doğal taş ocak işletmeciliğinde üretim sırasında karşılaşılabilecek en büyük problemlerden birisi kanal açma işlemidir. Ocak ağzının açılması ve yeni üretim basamakların oluşturulması amacıyla kanal açma işlemi uygulanır. Kanal açma işlemi, ocak aynasında üretime başlayabilmek için en az üç yüzeyin serbest kalması işlemidir. Serbest kalan yüzeyler yardımıyla ocak içersinde yeni basamaklar oluşturulur ve blok üretimi gerçekleştirilir.

Kanal açma işlemi doğal taş ocağında basamak genişliğinin ve yüksekliğinin tasarımını belirlemektedir. Kanal boyutlarının ve yönünün doğru olarak seçilmesi doğal taş ocağın planlanması ve verimliliği açısından önemlidir. Kayacın eklem, tabakalanma ve yapraklanma konumları ve topografyası kanal boyutlarının ve yönünün belirlenmesinde etkilidir. Kanal açma işlemi V (üçgen) ve U (dikdörtgen) şeklinde kanal olmak üzere iki şekilde açılır. Şekil 2'de V ve U şeklinde kanal açma işlemi gösterilmiştir.

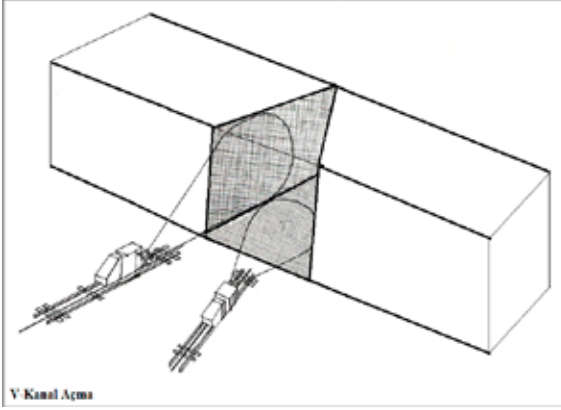


Şekil 2. V ve U şeklinde kanal açma işlemi

3.1. V Şeklinde Kanal Açma

Bir ocağın üretime başlayabilmesi için V şeklinde kanal açma işlemi doğal taş ocaklarında yaygın olarak kullanılmaktadır. İlk yatırım maliyetinin düşük ve kolay uygulanabilir bir yöntem olması nedeniyle doğal taş ocaklarında tercih edilmektedir. Ocağın planlanması aşamasında basamakların düzgün bir şekilde oluşturulması için verimli bir yöntem değildir. Bununla birlikte elmas tel kesme üretim yöntemi yardımıyla yapılan V şeklinde kanal açma işleminde istenilen özellikte ve miktarda blok çıkarılması zordur. Bunun en önemli sebebi kanaldan elde edilen kütlelerin üçgen şeklinde olması ve üç tane serbest yüzeyin bulunmasıdır. Belirli şekil ve boyutta basamakların V şeklinde kanal ile oluşturulmasından dolayı üretim ve zaman kayıpları ile karşılaşmaktadır. Üç yüzeyin kesimi gerçekleş-

tirildikten sonra kesilen V şeklindeki kütle blok ayırıcılar yardımı ile devrilmektedir. Şekil 3'de Elmas tel kesme yöntemiyle V şeklinde kanal açılması gösterilmektedir.



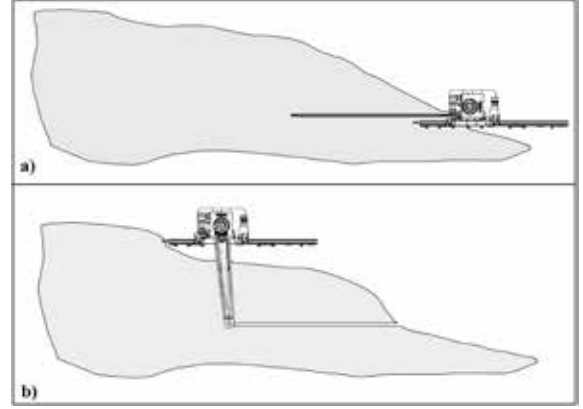
Şekil 3. Elmas tel kesme yöntemiyle V şeklinde kanal açma.

3.2. U Şeklinde Kanal Açma

Ocak ağzının açılması ve yeni üretim basamaklarının oluşturulması amacıyla uygulanan U şeklinde kanal açma işlemi üretim teknolojisine bağlıdır. U kanal açma işlemi ocağın planlanması aşamasında basamakların düzgün bir şekilde oluşturulması nedeniyle verimli bir yöntemdir. U şeklinde kanal açma işleminde hem ocak basamaklarının tasarımı hem de blok üretimi gerçekleştirilir. U şeklinde kanal açma işleminde devrilen blok dikdörtgen prizma şeklinde olduğunda blok verimliliği yüksektir. Üretim kayıplarının ve ocak basamaklarının oluşturulması için zaman kaybı çok azdır. Doğal taş blok üretiminde U şeklinde kanal açma işlemi zincirli kolu kesme makinesi, kanal açma makinesi ve açılı delikler yardımıyla elmas tel kesme yöntemi ile yapılmaktadır.

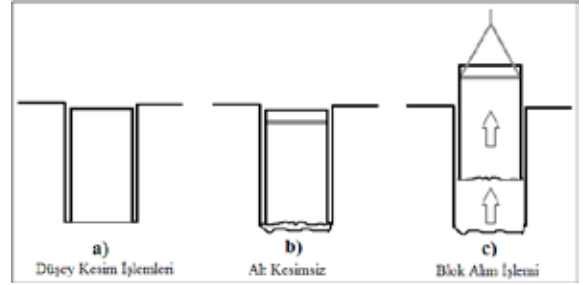
3.2.1. Zincirli kolu kesiciler ile U şeklinde kanal açma

Zincirli kolu kesme makinesi ile hem ocak ağzı hem de yeni üretim basamakları oluşturulabilir. Zincirli kolu kesici ile ocak ağzının açılabilmesi için doğal taş ocağının jeomorfolojisinin ve topografyasının düz bir yapıya sahip olması gerekir. Ocak ağzının açılmasında zincirli kolu kesicilerin kullanılması Şekil 4'de gösterilmektedir. Zincirli kolu kesme makinesi ile ilk önce yatay kesim gerçekleştirilir. Daha sonra arka yüzey ve iki yan yüzeyin kesimleri gerçekleştirilerek blok serbest hale getirilerek devrilmesi sonucu U şeklinde kanal açılır (Kulaksız, 2007).



Şekil 4. Zincirli kolu kesici ile a) yatay kesim b) düşey kesim yaparak ocak ağzının açılması (Fantini, 2005).

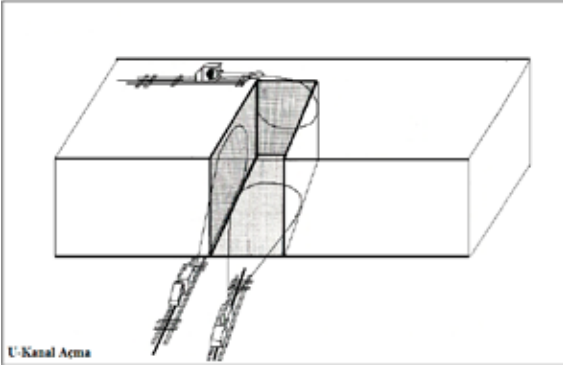
Zincirli kolu kesme makineleri ile ocak içerisinde kanal açma işlemi basit ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Yatay konumlu doğal taş yataklarında ilk bloğun alınması için bloğun her tarafında düşey kesimler yapılır. Şekil 5'de dört tarafı kapalı olan bir ocakta basamak üstünden kanal açma işlemi gösterilmektedir.



Şekil 5. Zincirli kolu kesme makinesi ile kanal açma işlemi.

3.2.2. Kanal açma makinesi ile U şeklinde kanal açma

Kanal açma makinesi, özel olarak tasarlanmış makaralar ile düşey olarak delinmiş deliklerden elmas telin düşey yönde hareket etmesini sağlayan ve hidrolik olarak çalışan bir kesim sistemidir. U şeklindeki kanalın açılmasını ve kapalı olan yüzeyin kesimini sağlamak için uygun bir sistemdir. Bu sistemde kapalı kesimin gerçekleştirilebilmesi için dikey olarak delikler delinmektedir. Dikey deliklere yerleştirilen hidrolik silindir düzeneği mafsalı bir bağlantı ile sabitlenir. Dikey olarak açılmış 205 mm'lik delikler içerisinde hidrolik silindirler bağımsız ve senkronize şekilde iki küçük kasnak ile düşey olarak kesimi gerçekleştirilir. Şekil 6'da kanal açma makinesinin çalışma şekli gösterilmiştir.

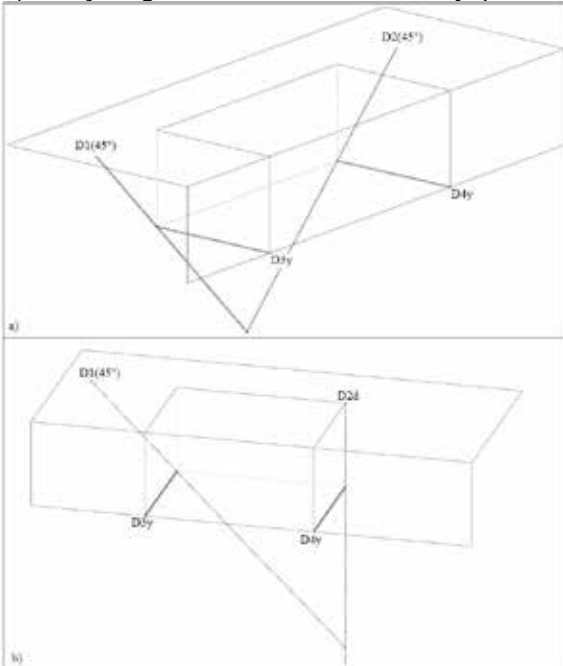


Şekil 6. Kanal açma makinesinin çalışma şekli

3.2.3. Açılı delikler yardımıyla U şeklinde kanal açma

U kanal açmada kullanılan diğer bir yöntem ise iki tane deliğin arka kesimi yapılacak yüzeyde birleştirilmesidir. Bu yöntem iki şekilde uygulanır. Birincisi, iki açılı delik kesim yapılarak, arka yüzeyi içine alacak şekilde birleştirilir. İkincisinde ise biri açılı diğeri dik delik yine ilerideki bir noktada birleştirilir. Ancak açılı sondaj tekniğinde deliklerin açılı delinmesinden dolayı, uygulama esnasında deliklerde sapma olabilir. Ayrıca kesim sırasında oluşan çamurun deliklerden atılmamasından dolayı problemlidir. Şekil 7’de iki delik yardımıyla oluşturulan üçgen yüzeyler yardımıyla arka kesimin yapılması gösterilmiştir (Karaca, 2001).

Şekil 7. a) İki açılı delik ile arka kesimin yapılması; b) biri açılı diğeri dik delikle arka kesimin yapılması



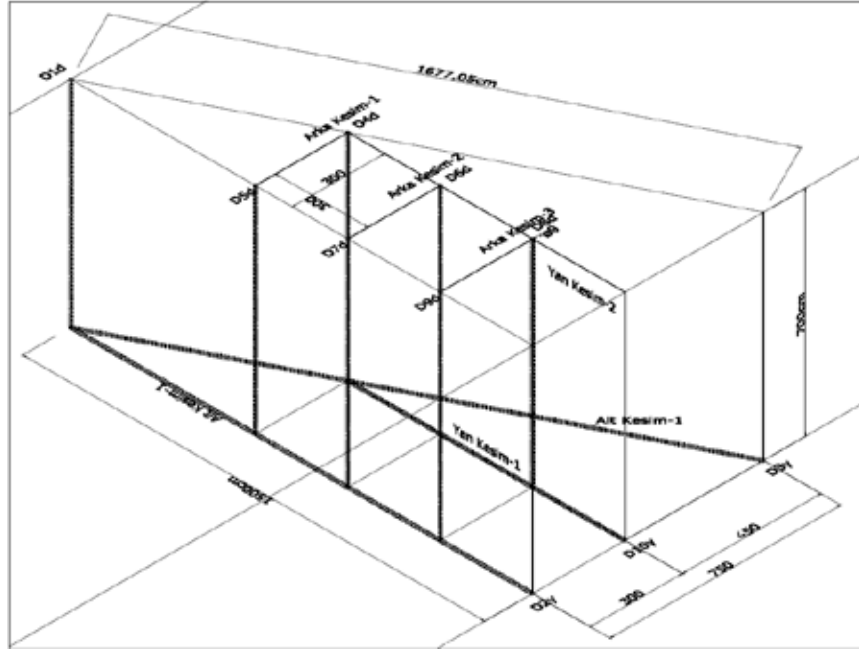
4. KANAL AÇMA YÖNTEMİ UYGULAMALARI ve VERİMLİLİK ANALİZİ

4.1. Doğal Taş Ocakları İçin Yeni Bir Kanal Açma Yöntemi Uygulaması

Bu yöntem uygulanması için doğal taş ocağında mümkün olduğunca sağlam bir bölge seçilir. Yeni üretim basamaklarının oluşturulmasında bu yöntem Bilecik bej ve Eskişehir süpren ocaklarında uygulanmıştır. Şekil 8’de Bilecik bej ve Eskişehir Süpren ocaklarında yeni kanal açma yöntemiyle açılan kanallar gösterilmektedir.



Şekil 8. Yeni kanal açma yöntemiyle açılan U şeklindeki kanal



Şekil 9. Yeni kanal açma yönteminin delik düzeni, delik boyutları ve kesim yüzeyleri.

Şekil 9'da ise yeni kanal açma yönteminin delik düzeni, delik boyutları ve kesim yüzeyleri verilmektedir. D2y-D1d ve D3y-D1d deliklerinden ip geçirilerek D1d deliği tarafında uçları birbirine bağlanır. D2y ve D3y uçlarından çekilerek ip tabana indirilir. Sonra D10y deliğine sokulan ucuna tel fırça bağlanmış demir çubuk veya hortum vasıtasıyla D3y deliğindeki ip yakalanarak D10y deliğinden çekilerek dışarıya alınır. D10y deliğindeki ipin ucuna elmas teli bağlanır. D2y deliğindeki ipten çekerek D10y-D3y-D2y istikametinde elmas teli geçirilir, elmas telin iki ucu birbirine bağlanır ve sonsuz halka haline getirilir. Elmas tel kesme makinesi kurularak taban kesimi yapılır. Taban kesimi bittikten sonra aynı yöntemle tekrar D10y-D3y-D2y deliklerinden 8-10 mm kalınlığında ip geçirilir. D1d deliğinden su verilerek ve yatay delikteki ip iki ucundan çekilmek suretiyle tabanda açılan tel kanalında kalan çamur-kum temizlenir. Sırasıyla D10y-D4d ve D2y-D5d deliklerinden ip geçirilir ve elmas telin bir ucu ipin birine, diğer ucu da diğer ipe bağlanır. İpin D4d ve D5d uçlarından çekmek suretiyle elmas tel kademe üstünde uçları bağlanarak, sonsuz halka oluşturulur. Sonra D10y-D6d ve D2y-D7d deliklerinden ip geçirilir ve elmas telin bir ucu ipin birine, diğer ucu da diğer ipe bağlanır. İpin D6d ve D7d uçlarından çekmek suretiyle elmas tel kademe üstünde birleştirilerek bağlanmak suretiyle sonsuz halka oluşturulur. En son olarak da D10y-D8d ve D2y-D9d deliklerinden ip geçirilir ve elmas telin bir ucu ipin birine, diğer ucu da

diğer ipe bağlanır. İpin D8d ve D9d uçlarından çekmek suretiyle elmas tel kademe üstünde uçları bağlanarak sonsuz halka oluşturulur. Elmas tel kesme makineleri elmas teli hazır 3 arka kesime de kurularak arka kesimleri yapılır. Sonra D2y-D5d deliklerinden ip geçirilerek elmas tel bağlanır ve D10y-D4d deliklerinden ip geçirilerek elmas tel bağlanır. Elmas tel kesme makineleri kurularak yan kesimleri yapılmak suretiyle kesim işlemi tamamlanır.

4.2. Doğaltaş Ocaklarında V Kanal Açma Yöntemi İle U Kanal Açma Yönteminin Karşılaştırılması

V ve U kanal açma yöntemlerinin Bilecik bej ve Süpren mermer ocakları için operasyon sürelerinin karşılaştırılması Çizelge 1'de verilmiştir. Bilecik bej ve Süpren mermer ocaklarında toplam operasyon süreleri incelendiğinde U kanal açma yönteminde, V kanal açma yöntemine göre % 60 daha az sürede üretim yapılmıştır. V ve U kanal açma yöntemlerinin Bilecik bej ve Süpren mermer ocakları için verimliliğinin karşılaştırılması Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Bilecik bej ocağı ve Eskişehir Süpren ocağının blok verimlilikleri % 15 ve % 12'dir. V kanal açma yöntemi ile Bilecik bej Ocaklarından 70 m³ ve Eskişehir Süpren Ocaklarından 50 m³ blok çıkarılabilmesi için toplam 1250 m³ blok devrilmesi gerekmektedir. Yeni geliştirilen U kanal açma yönteminde, Bilecik bej Ocağından 28,35 m³ ve

Eskişehir Süpren ocağından 22,68 m³ blok çıkarılabilmek için 189 m³ bloğun devrilmesi gerekmektedir. Yeni kanal açma yönteminde bloklar üçgen prizma olarak devrilmesinden dolayı doğrudan çıkan artık ve moloz miktarı 250 m³'tür. V kanal açma yöntemi uygulandığında Bilecik bej

mermer Ocağında 2,67 kat ve Eskişehir Süpren ocağında kat 3,33 kanal açma blok verimliliği düşmektedir. Kanal açma blok verimliliği, yeni yöntem olan U kanal açma yönteminde, Bilecik bej ocağında % 15 ve Süpren mermer ocağında % 12 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 1. V ve U Kanal Açma Yöntemlerinin Bilecik Bej ve Süpren Mermer Ocakları İçin Operasyon Sürelerinin Karşılaştırılması

Kanal Açma Yöntemleri	Birim	V Kanal Açma Yöntemi		Yeni U Kanal Açma Yöntemi	
		Bilecik bej	Süpren	Bilecik bej	Süpren
Doğaltaşlar					
Dilim adedi	-	5	5	3	3
Dilim şekli	-	4 adet üçgen prizma, 1 adet dikdörtgen prizma	4 adet üçgen prizma, 1 adet dikdörtgen prizma	3 adet dikdörtgen prizma	3 adet dikdörtgen prizma
Dilim boyutları	m	Serbest	Serbest	3x3x7	3x3x7
Toplam delik boyu	m	114,54	114,54	89,77	89,77
Toplam kesim alanı	m ²	809,90	809,90	225	225
Dikey delik delme hızı	m/h	6,60	7,33	6,60	7,33
Yatay delik delme hızı	m/h	5,00	6,00	5,00	6,00
Elmas tel kesme hızı	m ² /h	5,00	6,00	5,00	6,00
Delme süresi	h	22,46	20,62	19,22	17,81
Kesme süresi	h	171,48	144,48	97,50	82,50
Blok devirme süresi	h	4,0	4,0	1,5	1,5
Toplam operasyon süresi	h	197,94	169,10	118,22	101,81

Çizelge 2. V ve U Kanal Açma Yöntemlerinin Bilecik Bej ve Süpren Mermer Ocakları İçin Verimliliğinin Karşılaştırılması

Kanal Açma Yöntemleri	Birim	V Kanal Açma Yöntemi		Yeni U Kanal Açma Yöntemi	
		Bilecik Bej	Süpren	Bilecik Bej	Süpren
Doğaltaşlar					
İşlem gören blok	m ³	1000	1000	189	189
Doğrudan çıkan artık ve moloz	m ³	250	250	-	-
Toplam devrilen blok hacmi	m ³	1250	1250	189	189
Kanal Açmada blok miktarı	m ³	70	50	28,35	22,68
Kanal Açma Blok verimliliği	%	5,6	4,0	15	12

5. SONUÇLAR

Kanal açma işlemlerinde temel amaç doğal taş ocağında üretim yapabilmek için serbest yüzeyler elde etmektir. V şeklinde kanal açma işleminde elde edilen serbest yüzeyler düzgün olmadığı için ocak basamaklarının boyutlandırılması üretim ve zaman kaybına neden olmaktadır. Doğal taş ocaklarında V şeklinde kanal açma yönteminde mümkün olduğunca geniş olan serbest yüzeyler elde etmek için geniş açılı iki tane yatay delik birbiriyle birleştirilmektedir. Hem üçgen kesim yapılan parçanın büyük olması hem de devrilen bloğun üçgen olmasından dolayı müşterinin istediği özellikte blokların çıkarılması V şeklinde kanal açma işleminde mümkün olmamaktadır. Bilecik bej ocağının ve Eskişehir süpren ocaklarında U kanal açma yönteminin kullanımı ile birim zamanda daha fazla blok üretimi gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir. Doğal taş ocaklarında blok verimliliği U kanal açma yönteminin kullanımıyla % 12-15 değerlerine yükseldiği hesaplanmaktadır.

KAYNAKLAR

Akkoç, T, 2003, Derin mermer yataklarının yeraltı üretim yöntemleriyle işletilebilirliğinin araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

Bozkurt, R, 1989, Doğal taş ve elmas tel kesme ile ocak işletmeciliği A.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları No:98, Eskişehir, 87 s.

Capuzzi, Q., 1989, Modern technology and machinery for marble quarrying, Benetti machine S.r.l., Livorno, Italy, 99 p.

Çopur, H, Balcı, C, Bilgin, N, Tumaç, D, Feridinoglu C, Düzyol İ and Serter, A, 2006, Cutting performance of chain saws in quarries and laboratory, Proceedings of the 15th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, MPES, Torino, Italy

Çopur, H, Balcı C, Bilgin N, Tumaç, D, Düzyol, İ ve Kekeç, N, 2007 (a), Doğal taş madenciliğinde kullanılan zincirli kesme makinalerinin performansı, 1. Maden Makinaleri Sempozyumu MMS, s.37-46

Çopur, H, Balcı, C, Bilgin, N, Tumaç, D, and Düzyol İ, 2007 (b), Full scale linear cutting tests towards performance prediction of chain saw machines, 20th International Mining Congress And Exhibiton Of Turkey-IMCET, pp.161-169

Çopur, H, Balcı C, Tumaç D and Bilgin N, 2011, Field and laboratory studies on natural Stones leading to empirical performance prediction of chain machines, International Journal of Rock Mechanics And Mining

Sciences, 48, pp.269-282

Demirel, Ş, 2008, Mermer ocaklarında kollu zincirli kesme makinasının uygulanabilirliği, I. Ulusal Mermer ve Doğal taş Kongresi, s.187-198

Engin, İ. C ve Özkan E, 2009, Türkiye'deki bazı doğal taş ocaklarında zincirli kollu kesici uygulamaları ve ocak üretime etkileri, 3. Balkan Madencilik Kongresi, s.329-337

Ersoy, H. T ve Osmanlıoğlu A. E, 1993, Doğal taş ocaklarının tasarımına etki eden faktörlerin incelenmesi, Türkiye XIII. Madencilik Kongresi, s.355-366

Fantini, 2005, Chain saw machines for ornamental stone quarries exploitation, Costruzioni Meccaniche Fantini Srl Torino, Italy, 48 p.

Gündüz, L ve Demirdağ, S, 2004, Doğal taş ocak işletmeciliğinde elmas teller ile kollu kesiciler arasındaki ilişkinin incelenmesi, Türkiye Taş Dünyası, Nisan 2004 Özel sayısı, s. 336-342

Karaca Z, 2007, Doğal taş ocaklarında kullanılan kollu kesme makinaları, 1. Maden Makinaleri Sempozyumu MMS, s.3-11

Karaca Z, 2001, Mermer madenciliği, Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu Yayınları No:1, İzmir, 179 s.

Kulaksız, S, 2007, Doğal taş (Doğal taş) maden işletmeciliği ve işleme teknolojileri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 634 s.

Kulaksız, S, Özçelik Y ve Engin İ. C, 2008, Maden mühendisliği açık ocak işletmeciliği el kitabı, 678 s.

Onargan, T, Köse, H ve Deliormanlı, A. H, 2005, Mermer, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, 337 s.

Ceylan, S, Özkan, E ve Sarıışık, G, 2012, Doğal Taş Ocaklarında Yeni Bir Kanal Açma Yönteminin Uygulanması, 8. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi, 2012, Afyonkarahisar.

Sarıışık, A and Sarıışık G, 2010, Efficiency analysis of armed-chained cutting machines in block production in travertine quarries, The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 110, pp.473-480

Sarıışık, G, Sarıışık, A and Şentürk, A, 2011, Investigation of the cutting performance of the natural stone block production in quarries with armed chain cutting machine, 1st International Conference on stone and concrete machining, pp 123-128

Sariisik A, Sariisik G, 2012 Investigation of the cutting performance of the natural stone block production in quarries with armed chain cutting machine. Proc Inst Mech Eng C J Mech Eng Sci. Volume 227 Issue 6 June 2013 pp. 155 - 165.

Bu Makale 13 – 15 Aralık 2012 tarihinde Afyonkarahisar'da düzenlenen MERSEM 2012 – 8. Uluslararası Mermer ve Doğaltaş Kongresi'nde bildiri olarak sunulmuştur.

BLOK KESİCİLERLE DOĞAL TAŞ KESİMİNDE ELEKTRİK TÜKETİM DEĞERLERİ İÇİN MODEL EĞRİ ÖNERİSİ: GERÇEK MERMERLER ÖRNEĞİ

On the Power Consumption during Natural Stone Cutting Processing by Using Block Cutters: A Model Curve for Marbles

Murat YURDAKUL*

Hürriyet AKDAŞ**

ÖZET

Doğal taş bloklarından levha ve plaka elde edilmesinde blok kesici ST'ler yaygın olarak kullanılırlar. Özellikle, blokların ilk kesim işlemlerinin büyük bir çoğunluğunun blok kesici ST'lerle yapıldığı işletmelerde, önemli maliyet kalemlerinden birisi de enerji maliyetleridir. Enerji tüketim değerleri, kesme veriminin ve kesme performansının da önemli göstergelerindedir. Tüm kesim işlemlerinin doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için, enerji tüketim sürecinin iyi anlaşılması ve değerlendirilmesi gereklidir. Bu çalışmada, blok kesici ST'lerle, gerçek mermer kesim işlemlerinde elektrik enerjisi tüketim durumu ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla, beş farklı bölgede üretimi yapılan gerçek mermerler seçilmiş ve söz konusu işletmelerde gerçek mermer bloklarının blok kesici ST'lerle kesimi esnasında çok sayıda ve tekrarlı olarak, elektrik tüketim değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümlerin laboratuvar ortamında olmayıp, doğrudan endüstride yapılmış olması, endüstriye ait gerçek değerleri ortaya koyması açısından önemlidir. Ölçüm yapılan tesislerde, farklı kesme koşullarında çalışan blok kesicilerin özellikleri ile birlikte, gerçek mermer bloklarının da önemli fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ölçüm işlemlerinde, blok kesici ST'lerin elektrik panelindeki dikey testereye enerji gönderen nakil hattına seyyar bir güç analizörü yerleştirilmiştir. Farklı ilerleme hızı ve kesme derinliklerinde kesim esnasında ve kesime hazırlık aşamasında elektriksel verilerin tamamı kaydedilmiştir. Kaydedilen verilerin analizi sonucunda tüm kesme hattı boyunca enerji tüketim değerlerinin üç farklı bölgede değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışmadan elde edilen verilerin analizi ve değerlendirilmesi ile blok kesici ST'lerle gerçek mermer kesim işlemlerinde, elektrik enerjisi tüketimine ilişkin genel bir model eğri önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Blok Kesiciler; Enerji Maliyetleri, Gerçek Mermerler.

ABSTRACT

Block cutter STs are commonly used in obtaining strips from natural stone blocks. Especially, in stone processing plants in which blocks are commonly cut with block cutter STs,, one of the most important cost factors is the cost of energy. Energy consumption values are important indicators of sawing efficiency and performance. For correct evaluation of all the sawing stages, it is necessary to understand and evaluate the energy consumption stages. In the present study, the electric energy consumption in the stone cutting processes with the block cutter STs was investigated in detail. For this purpose, in different natural stone processing plants, a power analyzer was placed in the transmission line giving energy to the vertical saw blade in the electric panel of block cutter STs functioning in different cutting conditions. The electrical data were recorded in the preparation and during cutting with different feed rates and cutting depths. The data revealed that the energy consumption values varied in three different regions for all the measurements during the cutting process. As a result of the analysis and examination of the data obtained, a general model curve was suggested regarding the electric energy consumption for marble cutting processes with block cutter STs.

Keywords: Block Cutters; Energy Cost, Marbles.

* Yrd.Doç.Dr., Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bozüyük MYO., Doğal Yapı Taşları Teknolojisi Programı, BİLECİK, murat.yurdakul@bilecik.edu.tr,

** Doç.Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, MMF, Maden Müh. Böl., ESKİŞEHİR

1. GİRİŞ

Doğal taş işleme tesislerinde, kesme işlemleri sırasında optimum kesme parametrelerinin düzenlenmesi için enerji tüketim sürecinin iyi anlaşılması gerekir. Bir ürün elde etmek amacıyla yapılan doğal taş kesme işlemlerinde amaç, mümkün olan en az maliyetle üretim yapmaktır. Bu amaç doğrultusunda doğal taş işleme tesislerinde verimlik ön planda olmalıdır. (Büyüksağış, 1998; Özçelik ve diğ., 2004; Yurdakul, 2009).

Doğal taş üretim tesislerinde, üretimin temel gider kalemlerinden biri de enerji giderleridir (Çınar, 2007). Bu amaçla enerji tüketim değerlerinin kontrol altına alınması, maliyet rakamlarının bilinmesi ve enerji tüketim mekanizmasının anlaşılması oldukça önemlidir. Literatürde, doğal taş kesim işlemlerinde harcanan enerji miktarının belirlenmesi için laboratuvar ölçekli birçok çalışma bulunmaktadır.

Konstanty (2002) 400 mm çaplı testere kullanarak yaptığı laboratuvar ölçekli kesme çalışmalarında, sabit kesme hızı ve sabit çevresel hız koşullarında enerji tüketiminin teğetsel kesme kuvvetlerinin ve çevresel hızın bir fonksiyonu olduğunu belirtmektedir. Bunun yanında kesme derinliğinin artması ile de enerji tüketiminin artacağını ifade etmektedir.

Jennings ve Wright (1989) laboratuvar ortamında yaptıkları çalışmalarında farklı kesme derinliği ve ilerleme hızlarında enerji tüketimini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, ilerleme hızı sabit olmak üzere, kesme derinliği artırılarak kesme hızının artırıldığı durumda tüketilen özgül kesme enerjisi, kesme derinliğinin sabit olup ilerleme hızının artırıldığı kesme durumundan daha fazla artış eğilimindedir. Ayrıca çalışmalarında testere performansının belirlenmesi için sarf edilen güç ve aşınma değerlerinin incelenmesinden başka, segment yüzeyi ile matriks ve elmas taneleri arasındaki etkileşimin de değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Yu ve Xu (2003) kayaç kesiminde kullanılan elmaslı testerelerin kesme performansını iyileştirmek amacıyla yaptıkları çalışmalarında, 350 mm çaplı testere ve 400 cm²/dak kesme hızında çalışan laboratuvar ölçekli köprü kesme makinesi kullanmışlar ve elmas konsantrasyonu-enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, granit kesiminde elmas yüzdesi ile kesme performansı arasında iyi bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma şartlarında en düşük enerji sarfiyatının %35 elmas kon-

santrasyonunda elde edildiğini belirtmişlerdir.

Xu (2000), 45 m/s çevresel hızda 30-108 mm²/s kesme hızında granit kesimi için yaptığı araştırmalarında, bir elmas tanesi üzerine gelen yük arttıkça tüketilen güç değerinin önce artış eğiliminde olduğunu, belirli bir değerden sonra ise azalış eğiliminde olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca çalışmada, kesilen birim genişlik arttıkça, tüketilen enerji miktarının da arttığı ifade edilmektedir.

Şengün ve diğerleri (2009) Isparta yöresinde bulunan ocaklardan üretilen magmatik kökenli bazı doğal taşların kesilebilirliklerini inceledikleri çalışmalarında laboratuvar ölçekli bir kesme seti kullanmışlardır. 350 mm çaplı dairesel testere ile 20 mm kesme derinliği ve 30 m/s sabit çevresel hız değerlerinde, en düşük özgül kesme enerjisinin elde edilmesi için denemeler yapmışlardır. Söz konusu sistemde, akım ve gerilimi ölçerek tüketilen enerji değerlerini hesaplamışlar ve özgül kesme enerjisi değerlerini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, kayaçların kesme işlemlerinde harcanan enerji değerlerinin, kesilecek kayacın fiziko-mekanik özelliklerinden tahmin edilebileceği öngörülmüştür. Söz konusu çalışmada kayaçların Shore ve Schmidt sertlik değerlerinin artmasıyla, özgül enerji değerinin arttığı ortaya konulmuştur.

Dusun ve Çimen (2010), eviricili ve eviricisiz mermer kesme işleminin elektrik enerjisi tüketimi üzerine etkilerini araştırdıkları laboratuvar ölçekli çalışmalarında, testere dönüş hızının enerji tüketiminde önemli rol oynadığını belirtmişlerdir.

Kılıç ve diğerleri (2003) yaptıkları çalışmalarında, Diyarbakır yöresi mermerlerinin kesilebilirlik analizlerini değerlendirmişlerdir. Uygulamadan elde edilen verilerde, 1200 cm çaplı dairesel bir testere kullanılan bir blok kesici ST'nin, dört farklı doğal taş kesimi esnasında tüketilen enerji değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kesim için harcanan enerji değerini en çok etkileyen fiziko-mekanik parametrelerin; basınç dayanımı, çekme dayanımı, nokta yük dayanımı olduğu belirlenmiştir.

Türkiye'de doğal taş işleme tesislerinde blok kesici ST'lerin kullanımı oldukça yaygındır. Bu çalışmada, blok kesici ST'lerin kullanıldığı doğal taş işleme tesislerinden elde edilen endüstriyel uygulama verileri kullanılmıştır. Bu amaçla, doğal taş endüstrisinde yedi farklı blok kesici ST'den, beş farklı gerçek mermer kesimi esnasında yerinde ölçümler alınmış ve blok kesici ST'lerle gerçek mermerlerin kesimi işlemlerinde

tüketilen elektrik enerjisi değerlerine ilişkin bir modelin ortaya konulması hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

1.1. Kesilen Malzeme

Kesime ait enerji tüketim karakteristiğini belirleyen en önemli faktörler arasında kayacın mineralojik-petrografik özellikleri sayılabilir. Bu çalışmada Türkiye'nin beş farklı bölgesinden elde edilen, Dünya'da ve Türkiye'de ticareti yapılan beş farklı doğal taşta ait endüstriyel kesim verileri kullanılmıştır. Kesimi yapılan doğal taş örneklerinden numuneler alınmış ve alınan numunelerden fiziko-mekanik özellikler belirlenmiştir. Ayrıca numunelerden elde edilen ince kesit örnekleri üzerinden kantitatif modal mineralojik analiz yapılmıştır. Örnekler Folk sınıflama sistemine göre (Folk, 1962) sınıflandırılmış ve "mermer" grubuna giren örnekler değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan doğal taşlar ve doğal taş örneklerine ait özellikler şunlardır:

Ender Afyon Şeker

Örnek, yer yer heteroblastik, yer yer de granoblastik dokulu mezokristalin karbonat kristallerinden oluşmuştur. Tüm karbonat kristallerinde basınç ikizi yer almaktadır.

Özsaç Uşak Taşı

Örnek, yer yer heteroblastik, yer yer granoblastik dokuludur. Makrokristalin karbonat kristallerinden oluşmuştur. Tüm karbonat kristallerinde basınç ikizi izlenmektedir.

Kütahya Altıntaş Taşı

Örnek, granoblastik dokulu mezo-makrokristalin karbonat kristallerinden oluşmuştur. Tüm kristallerde basınç ikizi mevcuttur. Ayrıca, eser miktarda kuvarsa rastlanılmıştır.

Ender Muğla Beyazı

Örnek, büyük çoğunlukla granoblastik, yer yer de heteroblastik dokulu mezo-makro kristalin karbonat minerallerinden oluşmuştur. Tüm karbonat kristallerinde basınç ikizi bulunmaktadır. Örnekte, eser miktarda silisifiye kayaç parçası bulunmaktadır.

Reis Afyon Beyazı

Örnek, heteroblastik dokulu, mezokristalin karbonat minerallerinden oluşmaktadır. Tüm karbonat kristallerinde basınç ikizi gelişmiştir.

Örneklere ait fiziko mekanik özellikler Çizelge 1'de sunulmaktadır.

1.2. Elektriksel Verilerin Elde Edilmesi

Bu çalışmada, tüm kesim işlemleri sürecinde tüketilen elektrik enerjisi değerlerini belirlemek için KYORITSU marka 6300 model taşınabilir bir güç analizörü kullanılmıştır (Şekil 1).

Güç analizörleri, bağlı buldukları sistemde elektriksel parametrelerin kontrolü, ölçümü ve izlenimi için kullanılırlar. Sistemdeki her bir enerji bileşenini ölçebilirler. Değişik zaman ve şartlarda ölçülen değerler, analizörün ekranında anlık olarak görüntülenebildiği gibi, sistem içerisinde kaydedilerek, bilgisayar ortamında da değerlendirilebilir.

Çizelge 1. Çalışmada Kullanılan Doğal Taşlara Ait Bazı Fiziko-Mekanik Özellikler.

Taşın Ticari İsmi	σ_c (MPa)	BS (MPa)	SH (MPa)	N_R	A_b (%)	ρ_b (g/mm ³)
Ender Afyon Şeker	61.91 (\pm 15.57)	22.65 (\pm 2.91)	46.50 (\pm 3.26)	60.50 (\pm 0.71)	0.07(\pm 0.01)	2.71 (\pm 0.000)
Özsaç Uşak Taşı	55.63 (\pm 8.59)	19.47 (\pm 1.76)	41.10 (\pm 2.62)	63.10 (\pm 0.74)	0.02 (\pm 0.01)	2.70 (\pm 0.002)
Kütahya Altıntaş Taşı	124.35 (\pm 9.69)	21.59 (\pm 2.37)	44.20 (\pm 2.98)	62.90 (\pm 1.20)	0.01 (\pm 0.01)	2.71 (\pm 0.003)
Ender Muğla Beyazı	63.21 (\pm 10.42)	9.44 (\pm 0.94)	31.75 (\pm 4.64)	62.10 (\pm 0.88)	0.05 (\pm 0.01)	2.71 (\pm 0.002)
Reis Afyon Beyazı	75.62 (\pm 13.89)	13.15 (\pm 1.20)	32.95 (\pm 3.07)	60.80 (\pm 3.26)	0.01 (\pm 0.00)	2.71 (\pm 0.005)

σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı, BS: Eğilme dayanımı, SH: Shore sertliği, N_R : Schmidt çekici sertlik değeri, A_b : Ağırlıkça su emme, ρ_b : Görünür yoğunluk birimi gr/cm³

Şekil 1. Kyoritsu 6300 taşınabilir güç analizörü.



Güç analizörleri, çok fazlı sistemlerde var olan her faz için ayrı ayrı; akım, gerilim, aktif, reaktif ve görünür güç değerlerini de ölçebilir. Güç analizörleri genel olarak, seyyar ve sabit olmak üzere iki gruba ayrılır. Sabit tipler sistemdeki elektrik panolarına monte edilerek kullanılabilir. Seyyar modeller ise taşınabilir özelliklerinden dolayı, farklı yer ve noktalarda ölçüm yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu çalışmada, blok kesici ST'lerden elektriksel verilerin ölçülmesi için kullanılan Kyoritsu 6300 taşınabilir güç analizörüne

ait teknik veriler Çizelge 2'de sunulmaktadır.

Güç analizörlerinde, enerji kaynağından yüklemeye noktasına giden akım değerleri akım sensörleri yardımıyla ölçülür. Akım sensörleri güç ileten kablolarla bağlanarak kablolardan geçen akım değerlerinin ölçülmesinde kullanılır. Bu çalışmada kullanılan akım sensörlerine ait teknik veriler Çizelge 3'de sunulmaktadır. Akım sensörleri blok kesici ST'lerin elektrik panosuna dikey testereye enerji gönderen hat üzerine yerleştirilmiştir.

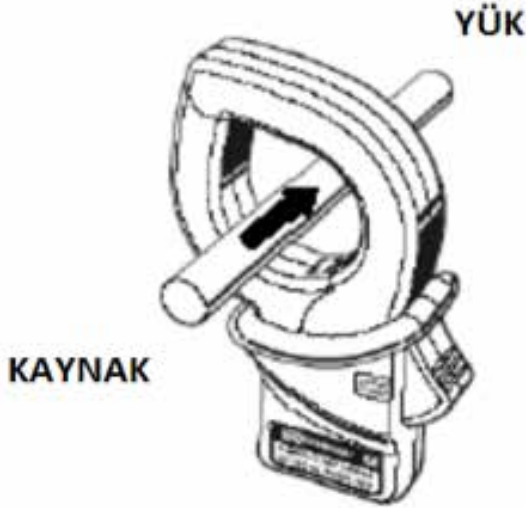
Çizelge 2. Kyoritsu 6300 Güç Analizörü Teknik Verileri (Kyoritsu, 2008).

Teknik Özellikler	
Ölçümler ve Parametreler	Voltaj, Akım, Aktif Güç, Görünür Güç, Reaktif Güç, Aktif Enerji, Görünür Enerji, Reaktif Enerji, Güç Faktörü (CosØ), Nötr akım, Frekansmetre
Elektrik Tertibatı Bağlantıları	1P 2W, 3P 4W, 3P 3W, 1P 3W
Voltaj Kademeleri	150.0/300.0/600.0V AC TRMS
Voltaj Doğruluğu	$\pm 0.3\%rdg \pm 0.2\%fs$ (45~66Hz)
Akım Kademeleri	50.00/100.0/200.0/500.0 A AC TRMS
Akım Doğruluğu	$\pm 0.3\%rdg \pm 0.2\% fs$ + Kelepçe akım sensörü doğruluğu (45~66 Hz'de)
Frekansmetre Kademeleri	40~70Hz
Frekansmetre Doğruluğu	$\pm 3dgt$
Aktif Güç Doğruluğu	$\pm 0.5\%rdg \pm 0.2\% fs$ + Klamp adaptörü Doğruluğu (45~66 Hz 'de)
Ekran Güncelleme Periyodu	1 saniye
Aşırı Yükleme Koruması	Voltaj: 720V AC TRMS Akım: 600A AC TRMS (Klamp Adaptörü 8125)
PC İletişim Arayüzü	USB
Güç Kaynağı	AC Line: 100~240V $\pm 10\%$ (50/60Hz) DC Pil 9V:LR6 $\times 6$
Güç Tüketimi	10VA (MAX)
Boyutlar	Yaklaşık 175 \times 120 \times 65 mm

Çizelge 3. KEW 8125 Kelepçe Akım Sensörüne Ait Teknik Veriler (Kyoritsu, 2008).

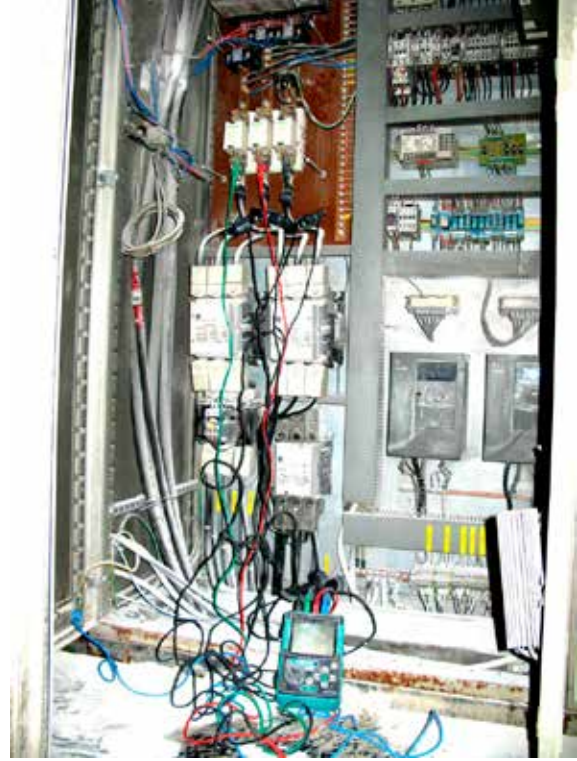
Ölçüm Kademesi	AC 0 ~ 500A
Çıkış Voltajı	AC 0 ~ 500mV
Doğruluk	$\pm 0.5\%rdg \pm 0.1mV$ (45~60Hz)
Faz Değişimi	$\pm 1^\circ$ den az
Frekans Cevabı	40 Hz ~ 1000 Hz
Çıkış Empedansı	Yaklaşık 2W
İletken Boyutu	Yaklaşık çapı maks. 40 mm
Boyut ve Ağırlık	Yaklaşık 128×81×36 mm, Yaklaşık 260g
Kablo Uzunluğu	Yaklaşık. 3 m
Çıkış konektörü	Mini Din 6 Pin

Akım sensörlerinin yerleştirilmesinde dikkat edilmesi gereken en önemli husus kelepçe akım sensörünün, enerji kaynağından yük çekim tarafına doğru yerleşiminin sağlanmasıdır (Şekil 2).



Şekil 2. Kelepçe akım sensörünün elektrik hattına yerleşimi.

Bu çalışmada ölçüm kapasitesi 500 amper olan üç adet KEW 8125 kelepçe akım sensörü kullanılmıştır. Sensörler dikey testereye enerji gönderen üç faza bağlanmıştır. Anlık akım değerleri üç adet akım sensörü yardımıyla ölçülürken, enerji hattındaki gerilim değerleri de üç faz, bir nötr olmak üzere dört adet gerilim krokodili yardımıyla ölçülmüştür. Elde edilen veriler güç analizöründe toplanarak harici hafıza kartına kaydedilmiştir. Hafıza kartındaki veriler bir ara yüz programıyla bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan güç analizörü, söz konusu işletmelerde blok kesici ST'lerin elektrik panosunun içine dikey kesim testeresine elektrik gönderen nakil hattına yerleştirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Güç analizörünün blok kesici ST elektrik panosuna bağlantısı.

Blok kesici ST blok boyunca kesim yaparken, işletme koşullarına göre 3-4 kesim süresince, akım problemleri ve gerilim krokodilleri bağlantısı ile kesim esnasında ve öncesinde, eş zamanlı olarak elektriksel veriler kaydedilmiştir. Güç analizörü ile kesim sürecindeki; her bir fazdaki potansiyel farkı (V), akım (A), aktif güç değeri (P), güç faktörü (PF) gibi elektriksel parametreler, bir bilgisayar aracılığı ile analiz edilmek üzere kaydedilmiştir.

3. VERİLERİN ANALİZİ

Elde edilen verileri değerlendirmek amacıyla kesim döngüsünün her bir adımı ayrı ayrı ele alınmıştır.

Blok kesici ST'ler ile doğal taş kesme işleminde dikey testerenin tam bir kesim döngüsü altı aşamada gerçekleşir:

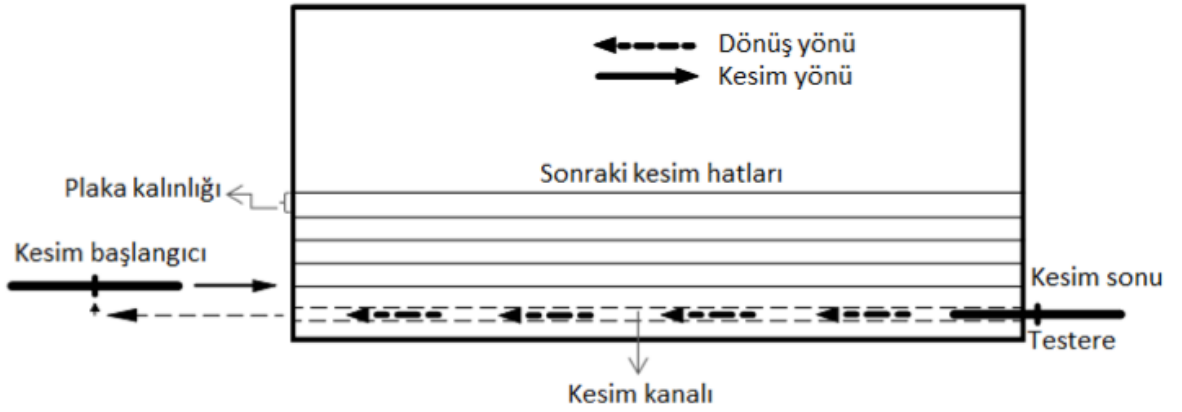
1. Testerenin kesim hattı başına yerleşmesi (sayma)
2. Hat başından bloğa temas edene kadar ilerleme (boş gidiş)
3. Bloğa temas ve testerenin tam kesme derinliği kadar blok içine girmesi (giriş)

4. Blok uzunluğu süresince tam kesim
5. Testerenin bloktan çıkmaya başlaması ve testere yarı çapı kadar bloktan çıkış
6. Kesim yapmadan kesim hattından geri dönme ve bir sonraki kesim hattına geçiş (boş geri dönüş) (Şekil 4).

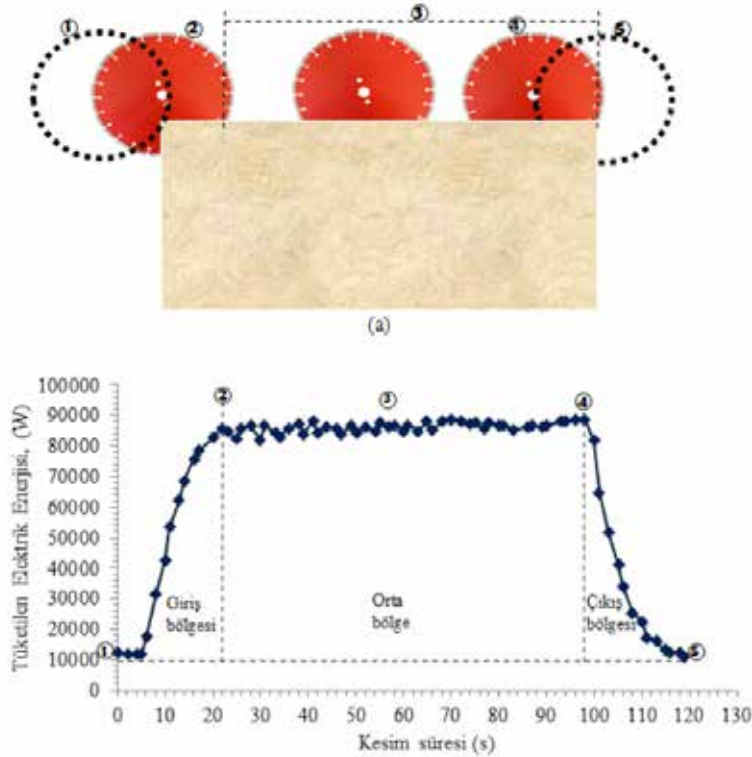
Genel olarak, testerenin bloğa ilk temas anından tam kesim durumuna geçene kadarki enerji tüketim değerleri artış eğiliminde (Şekil 5b, 1-2 no'lu konumlar), testerenin taştan çıkmaya başlayıp, kesimin bitip testerenin geri dönüş yaptığı ana kadar olan enerji tüketim değerleri de azal-

ma eğilimindedir (Şekil 5b, 4-5 no'lu konumlar). Bu iki bölge arasında kalan enerji tüketim değerleri de düz bir hat üzerinde değişken yapıdadır (Şekil 5a, 3 no'lu bölge).

Bu çalışmada, doğal taş sektöründe ticareti yapılan beş farklı mermerin kesiminde kullanılan blok kesici ST'lerden elde edilen endüstriyel kesim verileri değerlendirilmiştir. Kesimde kullanılan blok kesici ST'ler dört ayaklıdır. Motor güçleri 90 kW ile 132 kW arasında, testere çapları ise 1000-1750 mm arasında değişmektedir. Doğal taş işleme tesislerinden elde edilen kesimlere ait veriler Çizelge 4'de ayrıntıları ile verilmektedir.



Şekil 4. Blok kesici ST'lerde dikey testere kesim döngüsü üst görünüş



Şekil 5. Blok içerisinde testerenin ilerleyişi (a) ve tüketilen elektrik enerjisi-zaman eğrisi (b) (Blok kodu M2).

Çizelge 4. Kesimi Yapılan Doğal Taşlar Ve Kesim Koşullarına Ait Veriler.

Kod	Mermerin Ticari İsmi	Testere Çapı (mm)	d (mm)	V_f (m/min)	P_M (kW)	L (cm)	P_0 (W)	P_F (W)	P_A (W)
M1	Ender Afyon Şeker	1600	650	0.47	110	273	10583	60783	49807
M2	Özsaç Uşak Taşı	1400	250	1.68	132	311	12143	87153	74418
M3	Özsaç Uşak Taşı	1200	300	1.42	90	227	4995	56967	47178
M4	Kütahya Altıntaş Taşı	1750	480	0.43	132	200	7819	49971	39581
M5	Kütahya Altıntaş Taşı	1750	480	0.47	132	200	7819	52701	41422
M6	Kütahya Altıntaş Taşı	1750	480	0.51	132	200	7819	56862	45733
M7	Ender Muğla Beyazı	1600	350	1.02	110	194	8890	65365	50183
M8	Ender Muğla Beyazı	1600	350	0.95	110	194	8890	64866	48992
M9	Reis Afyon Beyazı	1750	650	0.58	132	294	9523	60986	46184
M10	Reis Afyon Beyazı	1750	650	0.59	132	294	9523	62054	46222

d: Kesme derinliği, V_f : İlerleme hızı, P_M : Blok kesici ST motor gücü (kW), L: Kesim uzunluğu, P_0 : Boşta enerji tüketim, P_F : Tam kesim derinliğinde tüketilen ortalama enerji, P_A : Tüm kesim süresince ortalama enerji tüketimi.

Doğal taş işleme tesislerinde kullanılmakta olan blok kesici ST'lerde, kesimler süresince yapılan çok sayıda elektrik enerjisi tüketim değerleri ölçümleri sonucunda, dikey testere enerji tüketim sürecinin tek bir karakteristik yapıda olmadığı belirlenmiştir.

Ölçümler grafiksel olarak incelendiğinde, tüm verilerde genel anlamda üç farklı enerji tüketim bölgesi tespit edilmiştir (Şekil 5). Bunlar; giriş bölgesi, orta bölge ve çıkış bölgesidir. Enerji tüketim bölgeleri şöyle tanımlanabilir:

- i- Testerenin bloğa ilk temas anı ile tam kesme derinliği durumuna geçiş arasında kalan bölge (*giriş bölgesi*)
- ii- Testerenin tam kesme durumuna geçtiği an (giriş bölgesi sonu) ile bloktan ilk soketin çıkmaya başladığı nokta arasında kalan bölge (*orta bölge*)
- iii- Testerenin bloktan çıkmaya başladığı andan kesimin tamamlanıp geri dönüşe geçilen noktaya kadarki bölge (*çıkış bölgesi*)

Giriş bölgesinde testere bloğa ilk temas halinden itibaren, boşta harcadığı enerjisi de kesime aktararak kesime başlar. Soketlerin bloğa ilk temas ettiği noktadan itibaren, testere yarıçapından daha az bir mesafede testere tam kesme durumuna geçmiştir olur. Giriş bölgesi testere merkezi ile blok eksenin kesiştiği noktada sonlanır.

Teğetsel olarak ilk soketin blokla temasından, testerenin tam kesme durumuna geçtiği, yani maksimum sayıda soketin kesim için blokla temas ettiği bölgede (giriş bölgesi), enerji değerleri kuadratik olarak artış eğilimindedir (Şekil 6a).

Giriş bölgesinin sonunda, seçilen kesme derinliğine ulaşılmasıyla birlikte kesim yapan soket sayısı da maksimum olur. Maksimum sayıda soketin blokla temas etmesiyle testereye gelen kuvvetler de maksimum olur ve dolayısıyla enerji miktarı da en yüksek tüketim aralığına ulaşır.

Bu çalışmadan elde edilen verilerle, beş farklı doğal taş örneğine ait "giriş bölgesi" enerji dağılım eğrilerine ait örnekler ve bu eğrilere ait denklemler Şekil 6b'de gösterilmektedir.

Tüm çalışmada giriş, orta ve çıkış bölgesine ait kayıtlı verilerden sadece seçilen bir tanesine ait örnek grafikler sunulmuştur. Diğer eğriler farklı rakamlarla aynı karakteristik yapıda olup, birbirine çok yakın değerlerde çakışmaktadırlar.

Şekil 6'dan da görüldüğü gibi giriş bölgesindeki enerji tüketim miktarları-zaman eğrisi, ikinci dereceden polinom fonksiyon eğrisi şeklindedir. Eğriler genelleştirilecek olursa denklem, Eşitlik 1'de gösterildiği gibidir.

$$f(x) = -ax^2 + bx + c \quad (1)$$

Orta bölgede testere tam kesme derinliğinde olduğu ve testere salınımı da minimuma indiği için enerji değişim aralığı görece daha azdır. Orta

bölgede elektrik enerjisi tüketim değerleri değişimi yatay bir hat şeklindedir. Orta bölgede enerji tüketim değerlerine ait detaylar Şekil 7'de gösterilmektedir.

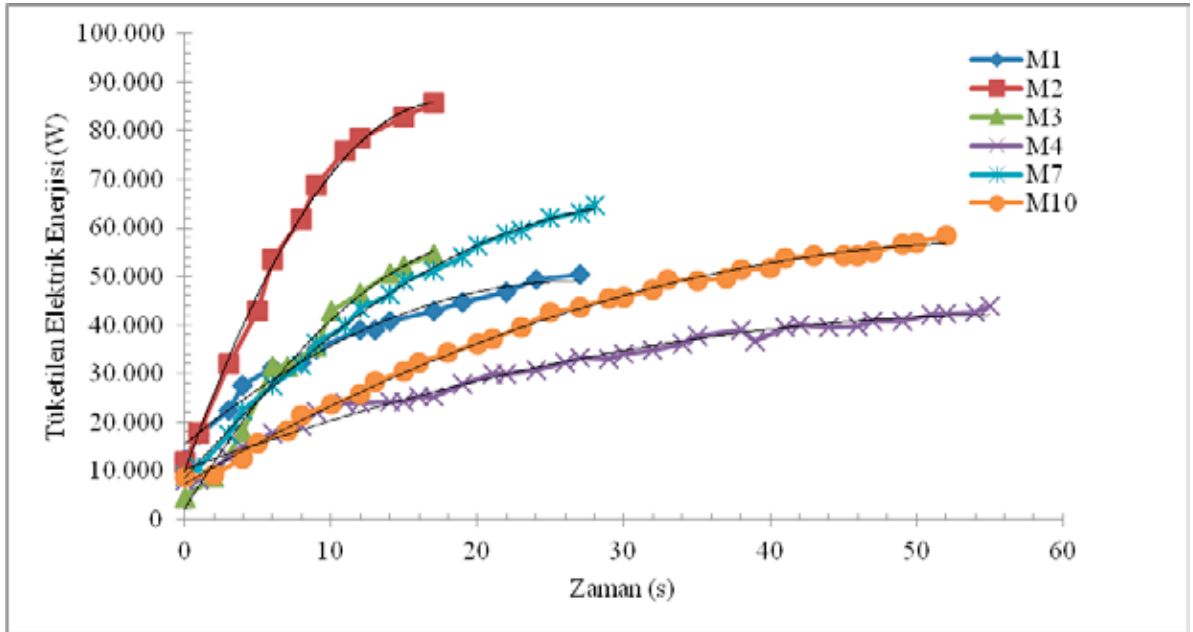
Çıkış bölgesi, teğetsel olarak ilk soketin kesim hattının sonunda bloktan çıkmaya başlaması ile başlar ve testerenin kesim hattından kesim yapmadan (boş) geri dönüşe geçtiği anda biter. Çıkış bölgesinde, söz konusu kesim hattı üzerindeki kesme işlemi sona erer. İlk soketin bloktan dışarı çıkmaya başlaması ile birlikte testere üzerine gelen kuvvetler azalacağından tüketilen elektrik enerjisi de azalmaya başlar. Testerenin

kesim hattından çıkmaya başlamasıyla birlikte enerji miktarı kuadratik olarak azalır.

Çalışmaya konu olan doğal taşlara ait çıkış bölgesi örnek kesim eğrileri ve denklemleri Şekil 8'de sunulmaktadır.

Çıkış bölgesinde elektrik enerjisi tüketim değerleri dağılımı, ikinci dereceden polinom fonksiyon eğrisi şeklindedir. Denklem genelleştirilecek olursa, çıkış bölgesindeki enerji değişim değerleri Eşitlik 2'deki gibi ifade edilebilir.

$$f(x) = ax^2 - bx + c \quad (2)$$

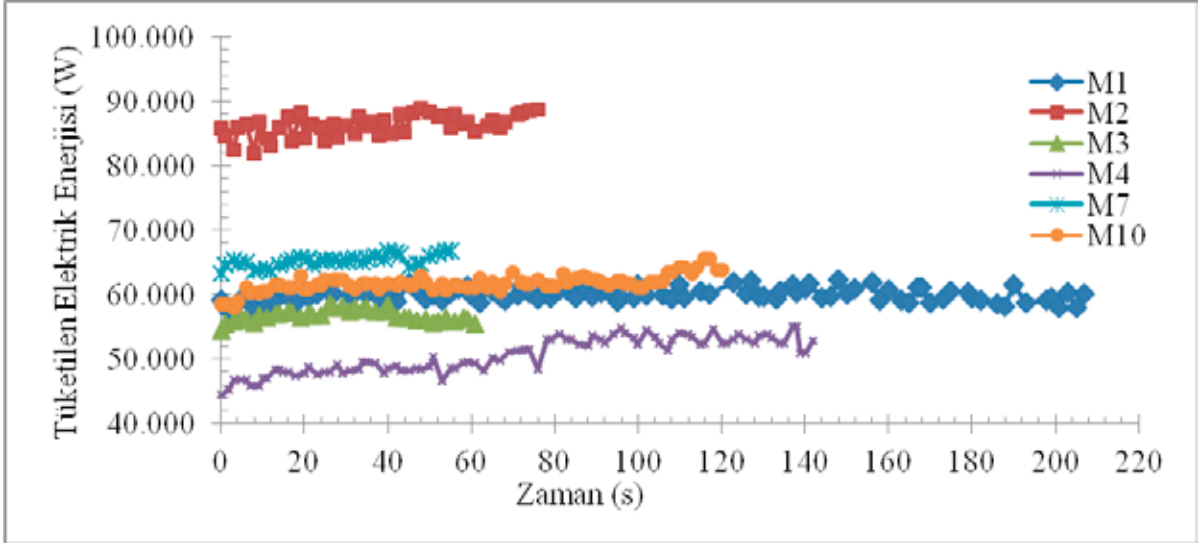


(a)

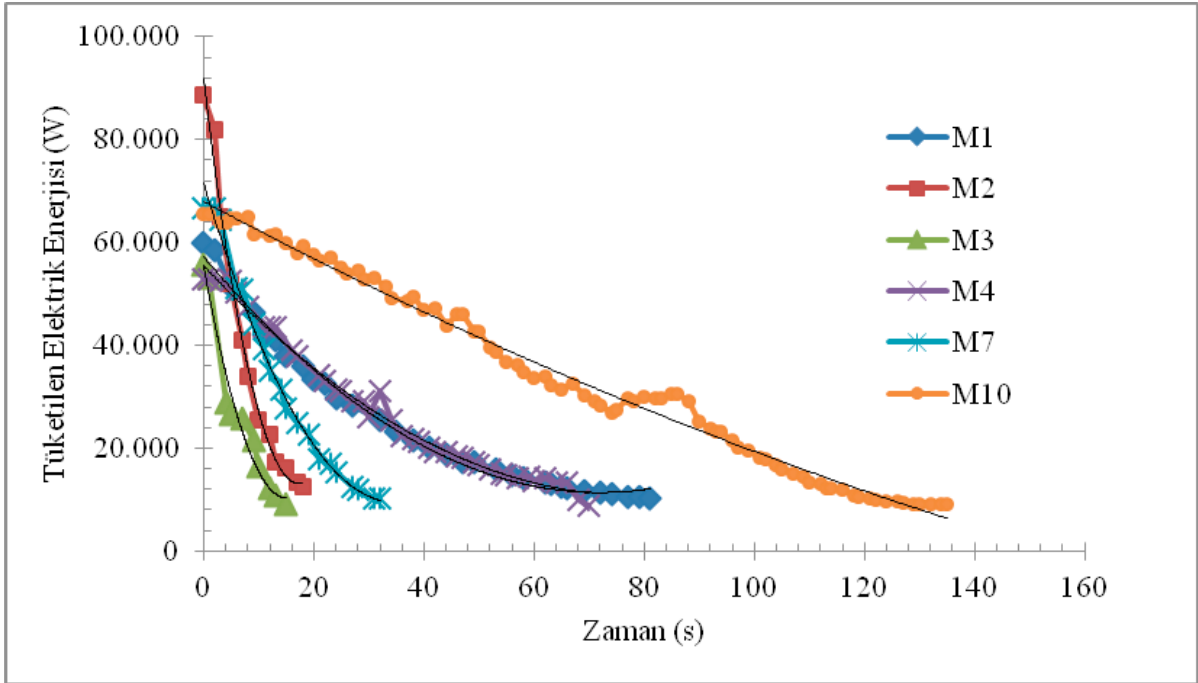
Blok Kodu	Mermerin Ticari Adı	Denklem (Regresyon eğri türü: polinom)	R ²
M1	Ender Afyon Şeker	$y = -46.1x^2 + 2490x + 15397$	0.981
M2	Özsaç Uşak Taşı	$y = -235.4x^2 + 8484x + 9720$	0.996
M3	Özsaç Uşak Taşı	$y = -109.3x^2 + 4985x + 2028$	0.986
M4	Kütahya Altıntaş	$y = -9.5x^2 + 1103x + 10177$	0.984
M7	Ender Muğla Beyazı	$y = -52.3x^2 + 3447x + 8403$	0.999
M10	Reis Afyon Beyazı	$y = -15.4x^2 + 1755x + 7250$	0.997

(b)

Şekil 6. Giriş bölgesi zamana bağlı enerji değişim değerleri eğrisel ilişkileri (a) ve regresyon denklemleri (b).



Şekil 7. Orta bölge elektrik enerjisi tüketim değerleri.



(a)

Blok Kodu	Mermerin Ticari Adı	Denklem (Regresyon türü: polinom)	R ²
M1	Ender Afyon Şeker	$y = 8.9x^2 - 1276.9x + 57214$	0.992
M2	Özsaç Uşak Taşı	$y = 265.3 - 9143.3x + 91916$	0.990
M3	Özsaç Uşak Taşı	$y = 199.1x^2 - 5996.2x + 55439$	0.966
M4	Kütahya Altıntaş	$y = 7.3x^2 - 1139.5x + 55464$	0.990
M7	Ender Muğla Beyazı	$y = 51.6x^2 - 3578.8x + 71505$	0.993
M10	Reis Afyon Beyazı	$y = 0.8x^2 - 570.7x + 67935$	0.989

(b)

Şekil 8. Çıkış bölgesi zamana bağlı enerji değişim değerleri eğrisel ilişkileri (a) ve regresyon denklemleri (b).

Diğer şartlar aynı kalmak koşulu ile ilerleme hızının büyüklüğü, testere çapı ve kesme derinliği çıkış bölgesindeki enerji tüketim miktarını değiştirir.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Blok kesici ST'lerle doğal taş kesiminde kesim performansını değerlendirmek için kesilen blok ile segment yüzeyi-makine etkileşiminin irdelenmesi önemlidir. Uygulamada bu etkileşimin en önemli göstergeleri de elektrik enerjisi tüketim değerleri ve uzun vadede testere aşınması-kesilen miktar arasındaki ilişkidir.

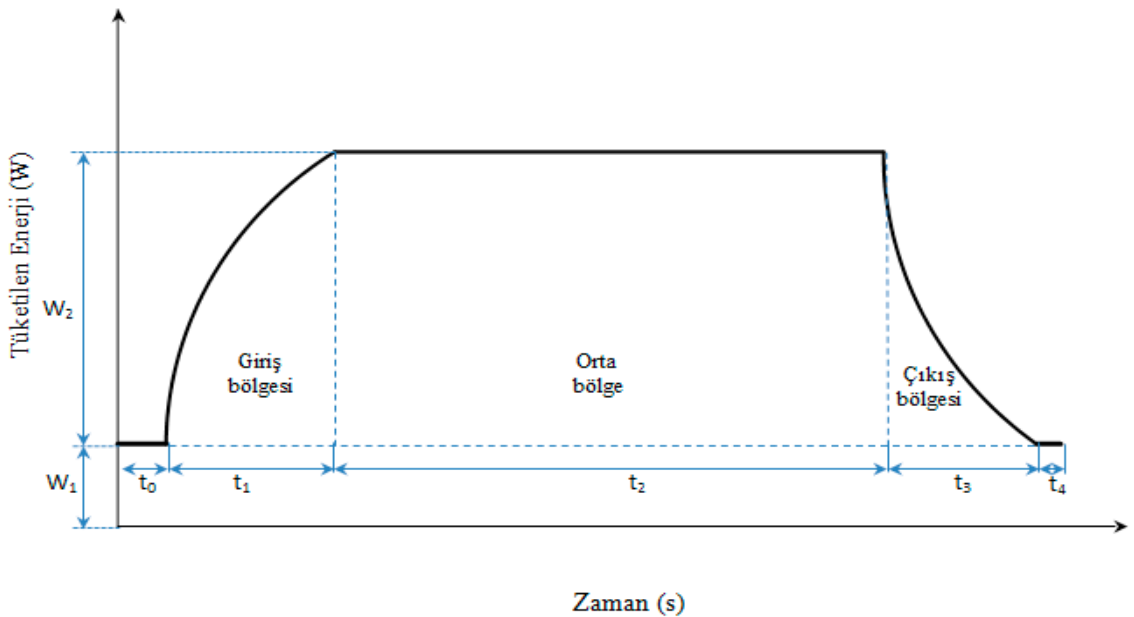
Bu çalışmada doğal taş kesme işlerinde kullanılan blok kesici ST'lerle gerçek mermerlerin kesimi esnasında bir kesim döngüsü boyunca, kesme işlemi için enerji tüketim değerleri ölçülmüştür. Kesim boyunca tüketilen elektrik enerjisi değerleri için endüstriyel anlamda bir model eğri ortaya konmuştur (Şekil 9). Bu model eğri, genel karakteristik bir eğri olup, testereyle birlikte blok kesici ST'nin çalışma parametrelerine ve kesilen bloğun özelliklerine bağlı olarak değerlerde farklılık gösterebilir. Ancak enerji tüketim eğrisi her durumda Şekil 9'daki gibi bir formda elde edilir.

Önerilen model eğri; giriş bölgesi, orta bölge ve çıkış bölgesi olmak üzere üç ana bölgede ele alınmıştır.

Testerenin kesim yapmadan kesme hattı başında beklediği süre ile bloğa temas edene kadar geçen süre boşta bekleme süresi (t_0)'dır. İlerleme hızından daha yüksek bir hız ile testere bloğa doğru ilerler ve pratikte bloğa 15-20 cm mesafede yavaşlayarak bloğa girer. Kesilecek dilim başında testerenin bekleyeceği, bloğa girmek için yavaşlayacağı mesafe blok kesici ST kolonları üzerine yerleştirilmiş switch şalterleri (limit sviçleri) ile ya da operatör tarafından belirlenir. Boşta bekleme süresinde tüketilen enerji değerleri de, genellikle üç vardiya halinde kesintisiz çalışan blok kesici ST'lerde üretim maliyetleri üzerinde rol oynar. " t_0 " anında tüketilen enerji değeri " W_1 " ile ifade edilir ve blok kesici dikey testeresi motorunun boşta tükettiği enerji değeridir.

Ana faktör olarak motor gücüne ve yan faktörler olarak da testerenin çapı ve ağırlığına, enerji hattındaki gerilim dalgalanmalarına, testerede gövdesindeki salınımına bağlı olarak değişir. Testerenin blokla ilk teması ile birlikte enerji değerleri ikinci dereceden polinom fonksiyon eğrisi tanımına uygun olarak artmaya başlar.

Bu bölge "giriş bölgesi" olarak adlandırılmıştır (Şekil 9). Giriş bölgesinde, testere blokla tam kesme derinliği kadar temas ettiğinde, tüketilen elektrik enerjisi değeri " W_2 " ile gösterilmiştir. Testerenin, belirlenen kesme derinliğine ulaşmasına kadar geçen süre ise " t_1 " ile gösterilmiştir. " t_1 " sü-



Şekil 9. Blok kesici ST ile doğal taş kesiminde tüketilen enerji-zaman model eğrisi.

resi ilerleme hızının ve testere çapının bir fonksiyonudur.

" W_2 " enerji değerinin artışı, testerenin blokla kesme derinliği kadar temas haline geçmesiyle (orta bölge) sona erer ve kesme hattı boyunca kesilen bloğun fiziko-mekanik özelliklerine göre görece küçük dalgalanmalar gösterir. " t_2 " süresi ilerleme hızının, blok uzunluğunun ve testere çapının bir fonksiyonudur.

İlk socketin bloktan dışarı çıkmasıyla birlikte, testere "çıkış bölgesine" geçer (Şekil 9). Testerenin bloktan çıkmaya başlaması ile birlikte tüketilen enerji miktarı hızlıca azalmaya başlar. Çıkış bölgesinde, testere yarıçapından operatör tecrübesine göre 5-10 cm ileride bir mesafede testere kesimi tamamlar ve dönüşe geçer. " t_3 " süresi, çıkış bölgesinde geçen süredir. " t_4 " süresi ise operatör becerisine göre sifıra yaklaşabilir. Tanım olarak kesim yapılmadan geçen, geri dönüş manevrasına kadar harcanan süredir.

Blok kesici ST'lerle yapılan doğal taş kesme işlemlerinde kesme performansının önemli göstergelerinden birisi de özgül kesme enerjisidir. Özgül kesme enerjisinin doğru ya da yeteri kadar hassasiyetle hesaplanabilmesi için blok kesici ST elektrik tüketim sürecinin iyi anlaşılması gereklidir.

Doğal taş işleme proseslerinde blok kesici ST'lerle yapılan kesim işlemlerinde, tüm kesim sürecinin doğru değerlendirilebilmesi için testerenin bir döngüsü iyi analiz edilmelidir. Kesim için harcanan toplam enerjinin de titizlikle hesaplanması, net kesim maliyetlerinin doğru hesaplanması için gereklidir. Testerenin boşta çalıştığı bekleme süreleri ve dönüş süreleri mümkün olduğu kadar azaltılarak çalışma verimi ve dolayısıyla maliyetler azaltılabilir.

Bir doğal taş işleme tesisinde blok kesici ST'lerle yürütülen kesme işlemlerinde geri kalan tüm süreç blok kesicinin performansından etkilenir. Bu nedenle blok kesici ST'lerdeki kesme verimi tüm süreci etkilediği için, tüm maliyetlerin hesaplanmasında da önemli bir parametre olarak değerlendirilmelidir.

Bu çalışmada önerilen model eğri, prizmatik ya da kübik formda, düzgün şekilli ve yüzey taraması yapılmış blokların kesimi işlemlerinde geçerlidir.

KAYNAKLAR

Büyüksağış, İ.S., 1998. Dairesel Testereli Blok Kesme Makinalarında Mermerlerin Kesilebilirlik Analizler. *Doktora Tezi*. Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

Çınar, S.M., 2007. Mermer Kesme Makinelerinde Elektrik Enerjisi Tüketimi Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar.

Dusun, M., Çimen, H., 2010. Eviricili ve Eviricisiz Mermer Kesme İşleminin Elektrik Enerjisi Üzerine Etkisi, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 25, No 2, 381-388.

Folk, R.L., 1962. Spectral subdivision of limestone types, in W.E. Ham (Ed.). *Classification of Carbonate Rocks-A Symposium: American Association of Petroleum Geologists Memoir*. Tulsa, pp. 62-84.

Jennings, M., Wright, D., 1989. Guidelines for sawing stone. *Industrial Diamond Review*, Vol. 2, pp. 70-75.

Kılıç, A.M., Karakuş, A., Keskin, M.Ö. 2003. Diyarbakır Yöresi Mermerlerinin Fiziko-Mekanik Özellikleri-Özgül Enerji İlişkisi, *MERSEM 2003 Türkiye IV. Mermer Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, 18-19 Aralık, 159-171, Afyon, (2003).

Konstanty, J., 2002. Theoretical analysis of stone sawing with diamonds. *Journal of Materials Processing Technology*, 123, 146-154.

Kyoritsu, Ekipman Kataloğu, 2008.

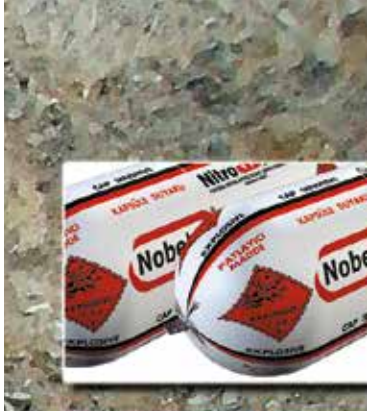
Özçelik, Y., Polat, E., Bayram, F., Ay, A.M. 2004. Investigation of the effects of textural properties on marble cutting with diamond wire, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. v 41, p. 1B 06 1-7.

Şengün, N., Altındağ, R., Koççaz, C.E., 2009. Isparta Yöresinde Bulunan Bazı Mağmatik Kökenli Kayaçların Kesilebilirlik Analizi. *DEÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt 11, s.22-31.

Xu, X., 2000. Prevailing mechanisms for circular sawing of granites with diamond impregnated segments. *Materials and Manufacturing Processes*, 15: 123-128.

Yu, Y.Q., Xu, X.P., 2003. Improvement of the Performance of Diamond Segments for Rock Sawing, Part 1: Effects of Segment Components. *Key Engineering Materials*, Vol. 250, pp 46-53.

Yurdakul, M., 2009. Karbonat Kökenli Doğal Taşların Yapay Sinir Ağları ile Kesilebilirlik Tayini. *Doktora Tezi*. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.



Nobelex[®]

Kapsüle ve
yemlemeye duyarlı,
emulsiyon patlayıcı



NONELDET[®]

Elektriksiz kapsül



ANFONİT[®]

(ANFO) Yemlemeye
duyarlı,
patlayabilir
karışımlar



*Delme ve
Patlatma
Hizmetlerinde
Güven*



NitroMakdnx[®]
K İ M Y A S A N A Y İ İ A . Ş .

Cinnah Caddesi Pilot Sokak No: 17 06690 Çankaya - ANKARA/TÜRKİYE
Tel: +90.312. 440 53 17 (pbx) Fax: +90.312. 440 61 59
www.nitromakdnx.com nitromakdnx@nitromakdnx.com

www.bellek.com.tr

