

MADENCİLİK

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

HAZİRAN-EYLÜL CİLT SAYI
JUNE-SEPTEMBER VOLUME NUMBER
2012 51 2-3

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

- Güneş ERTUNÇ, Mehmet Ali HİNDİSTAN,
Bahtiyar ÜNVER **3 Uzunayak Üretiminin FLAC3D ile
Modellenmesi**
Modelling of Longwall Mining by FLAC3D
- Ülkü KALAYCI, Ümit ÖZER,
Abdulkadir KARADOĞAN **15 Patlatmada Harcanan Faydalı Enerji
ve Patlatma Verimi Arasındaki İlişkinin
Araştırılması**
*The Investigation of The Relation Between The
Useful Energy Spent in Blasting and the
Blasting Efficiency*
- Hasan HACİFAZLIOĞLU **29 Kuru Kömür Zenginleştirme Yöntemlerinin
Tanıtılması ve Bazı Türk Kömürlerinin
Temizlenmesi için FGX Cihazının Denenmesi**
*Introduction of Dry Coal Beneficiation Methods
and Testing of FGX Device for Cleaning Some
Turkish Coals*
- Abdurrahman TOSUN, Gürcan KONAK,
Tuğçe ÖNGEN, Doğan KARAKUŞ
Ahmet Hakan ONUR **43 Özgül Şarjin Patlatma Verimliliğine Etkisinin
İrdelenmesi**
*Investigation of the Effect of Specific Charge
on Blasting Efficiency*

MADENCİLİK dergisi yazı dizin 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.

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 (USD account)

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

By bank transfer to (EURO account)

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

ISSN: 0024-9416



**TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI**

IMCET – 2013

**TÜRKİYE 23. ULUSLARARASI
MADENCİLİK KONGRESİ ve SERGİSİ**

16 - 19 Nisan 2013 / ANTALYA



www.imcet.org.tr

imcet@maden.org.tr

Bildiri Özetleri Son Gönderme Tarihi 3 Eylül 2012

UZUNAYAK ÜRETİMİNİN FLAC3D İLE MODELLENMESİ

Modelling of Longwall Mining by FLAC3D

Güneş ERTUNÇ*
Mehmet Ali HİNDİSTAN**
Bahtiyar ÜNVER***

ÖZET

Yeraltı kömür madenciliğinde, damar eğimi, kalınlığı ve formasyon yapısı uygun olan koşullarda tam mekanize uzunayak üretim yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek yatırımlar gerektiren bu yöntem, diğer geleneksel madencilik yöntemlerine göre sağladığı yüksek üretim sonucunda birim üretim maliyetinin daha düşük tutulabilmesi nedeniyle tercih edilmektedir. Sağlam tavan koşullarında yeni bir panonun üretimine başlandığı ilk aşamalarda, ayak arkası göçmeyebilmekte ve ayak gerisine doğru sarkan tavan taşı nedeniyle tahkimat üniteleri üzerine gelen düşey gerilme değeri göçük oluşuncaya kadar sürekli olarak artmaktadır. Düşey gerilmenin artması, tahkimat ünitelerinin üzerine aşırı yük binmesine neden olmaktadır. Ayrıca, ayak arkasında oluşan büyük boşluğun aniden göçmesi ayak tahkimatı üzerinde aşırı dinamik yük binmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada yeraltı uzunayak üretim yöntemi FLAC3D yazılımı kullanılarak sayısal olarak modellenmiştir. Bu modelleme çalışmalarında gerekli tanımlamalar yapılırken Çayırhan linyit madenine ait değerler (geometrik ölçüler, jeomekanik değişkenler, vb.) kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda ayak ilerlemesi ile genel olarak ayak çevresinde meydana gelen basınç değişimleri incelenmiştir. Göçüğün oluşması ile ayak önü dayanak basınç değerlerinde düşme olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uzunayak madenciliği, göçük, FLAC 3D

ABSTRACT

Fully mechanised longwall mining for coal production is widely used when seam inclination, thickness and formations are suitable. Although this kind of methods need high initial investments, its high productivity decreases unit production cost if it is compared to traditional systems. Mechanised systems are fast and productive, but in some situations production rate might extremely decrease and dangerous production conditions might occur. One of these conditions arises if hanging wall do not cave properly during production. This may occur especially when production of a new longwall panel is started. If hanging wall strata do not cave in time, it starts to act as a beam on support units and thus stress on the units increase continuously as a result of cantilever effect. This stress increment on the units causes shortening in the height of support units and thus production rate decreases to a very low levels. In this study, longwall mining method is modeled numerically by using FLAC3D software to investigate stress distribution during production stages. As much as possible, input parameters of the model are defined according to the characteristics (geometry, geomechanic parameters, etc.) of Çayırhan coal mine. Stresses are analysed and it is seen that vertical stress at the face decreased as the gob occurs.

Keywords: Longwall, Gob, FLAC 3D

* Araş. Gör., Hacettepe Ün., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., Beytepe/ANKARA, gertunc@hacettepe.edu.tr
** Yrd. Doç. Dr., Hacettepe Ün., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., Beytepe/ANKARA
*** Prof. Dr., Hacettepe Ün., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., Beytepe/ANKARA

1. GİRİŞ

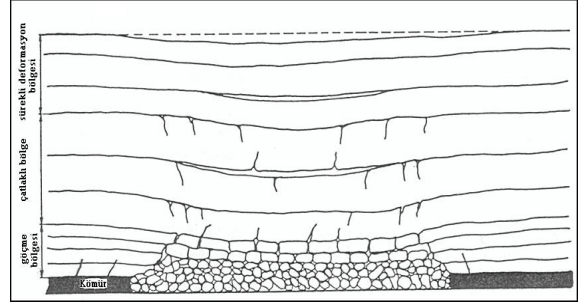
Yeraltı kömür madenciliğinde en sık kullanılan üretim yöntemi olan uzunayak yönteminde aynadan kömür kazılması sonucunda oluşan boşluğa tahkimatın ilerletilmesi sonucunda ayak arkasındaki kısım göçmeye bırakılmaktadır. Uzunayak üretim yönteminin verimli ve güvenli bir şekilde yapılabilmesi için göçmenin düzenli bir şekilde meydana gelmesi önem taşır. Ayak çevresinde basınç dağılımı ile düzenli göçme arasında çok önemli bir ilişki vardır. Ayak tahkimatının duraylılığı, kömür içerisindeki gaz yayılımı ve genel olarak tabaka kontrolü doğrudan ayak çevresindeki basınç dağılımı ile ilgilidir. Uzunayak verimi ve güvenliliğini büyük ölçüde etkileyen ayak arkası göçüğünün oluşma mekanizması sayısal modelleme yardımıyla incelenilmektedir. Özellikle, panoda üretimin ilk başladığı dönemlerde ayak arkasında göçüğünün oluşabilmesi için yeterli büyüklükte boşluk oluşmadığından, göçme düzenli olarak gerçekleşmeyebilir. Bu durumda hem ayak çevresine yüksek basınçlar gelmekte, hem de ani göçmeler sırasında oluşan yüksek dinamik yüklerden dolayı ayak duraylılığı ciddi şekilde etkilenmektedir.

Ayak ilerlemesine bağlı olarak ayak arkasında kalan boşluğun giderek genişlemesi tavanın boşluğa doğru göçmeden bir miktar sarkmasına neden olmakta ve bu sarkma sonrasında da arın ve ayak tahkimatı üzerinden kaldırıcı etkisiyle büyük yükler binmektedir.

Çalışmaya konu olan Çayırhan yeraltı işletmesinde ayak arkasında oluşan ilk göçme sırasında ayak içi mekanize tahkimat ünitelerinde hasarlar meydana gelmiştir. (Şenfilo, 2006)

1.1. Uzunayaklarda Tabakalar ve Tabaka Hareketleri

Peng ve Chiang (1984) yaptıkları çalışmada bir kömür damarı üzerindeki örtüyü oluşturan tabakaları 3 bölgeye ayırmışlardır (Şekil 1). İlk bölge, yalancı tavanın bulunduğu göçme bölgesidir. Bu bölgenin yüksekliği, üretim yüksekliğinin 2 ila 8 katı arasında değişmektedir. Göçme bölgesinde tabakalar, altında boşalan zemine düşmektedir. Kayaçlar kırılmış olduğundan yığın veya kabarma katsayısı (kırılmış kayaç hacminin katmandaki hacme oranı) 1'den büyük olmaktadır.



Şekil 1. Uzunayak örtü tabakası bölgeleri (Peng, 1986).

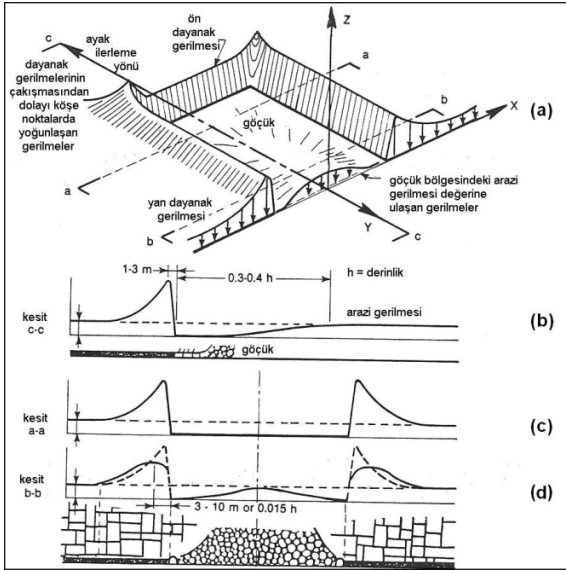
Göçme bölgesinin üzerinde çatlaklı bölge yer almaktadır. Bu bölgede tabakalar, yatak ayırımına göre dikey ve yatay kırıklar ile ayrılmış bloklar halindedir. Dik çatlaklar arasında temas olduğundan yatay kuvvetler tabaka boyunca iletilirler ve bloklar serbestçe hareket edememektedir. Bu bölgedeki tabaka yüksekliği, üretim yüksekliğinin 28 ila 42 katı arasında değişmekte ve göçme bölgesiyle birleşince, üretim seviyesinden 30 ila 50 katı yukarısında yer alabilmektedir.

Çatlaklı bölge ile yeryüzü arasındaki bölge, sürekli deformasyon bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Bu bölgede çatlaklı bölgedeki gibi büyük kırıklar görülmekte ve katmanlar sürekli ortam gibi davranmaktadır.

1.2. Dayanak Gerilmeleri

Kavramsal olarak, kazı yapılmadan önce, örtü tabakası ağırlığının yaratmış olduğu yükler altındaki kömür damarı, damardan daha sağlam tavan katmanları ve taban katmanları arasında bulunmaktadır. Bu koşullar altında gerilme düzenli şekilde dağılmaktadır. Ancak üretim başladığında bu gerilmeler yeniden düzenlenmekte ve yeni denge oluşmaktadır. Derinliği 300 ila 400 m arasında bulunan uzunayak madenlerinde, ayna çevresinde yapılan arazi gerilmeleri ölçümlerinde tavan kontrolünün tahkimat tarafından 20 ila 50 ton/m² kapasite ile sağlandığı gözlemlenmektedir. Bu değer, örtü tabakasında yer alan katmanların ağırlığı ile karşılaştırıldığında daha küçük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, katmanların ağırlığının uzunayak madenlerinin jeomekanik özelliklerinden dolayı aynasının ön, arka ve yan kısımlarına aktarılmasıdır. Bu durum; damarda, bir ayağı henüz kazılmamış kömürde, diğer ayağı ise göçük bölgesinde olan bir köprü oluşturmaktadır. Bu köprünün

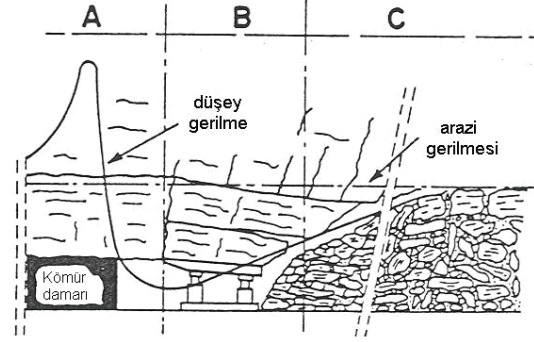
her iki ucunda sıkışma meydana gelmekte ve böylece ayaktaki tahkimatlar, ayağın üzerindeki katmanların 10 ila 15 m kalınlıktaki ağırlığı kadar yükü taşıyabilmektedir (Bieniawski, 1989). Üretim devam ettikçe, örtü tabakasının yarattığı gerilmeler köşe bölgelerde üst üste binerek büyük gerilmeler oluşmaktadır. Bu köşeler dayanak; bu bölgelerdeki gerilmeler ise dayanak gerilmeleri olarak adlandırılmaktadır. Uzunayak panosunun önündeki dayanak gerilmesine "ayak önü dayanak gerilmesi", panonun tavan, taban yolları boyunca gözlemlenen ve göçükteki gerilmeler ise "yan dayanak gerilmesi" olarak adlandırılmaktadır (Peng, 1986). Yan dayanak gerilmeleri pano köşelerinden uzaklaşıldıkça üstsel bir şekilde azalmakta ve örtü tabakasının yarattığı gerilme değerine ulaşmaktadırlar (Şekil 2), (Jeremic, 1985).



Şekil 2. Uzunayak panosu tavanındaki düşey gerilmeler (Whittaker, 1974).

1.2.1. Ön Ve Yan Dayanak Gerilmeleri

Uzunayağın jeolojik yapısına bağlı olarak çok küçük değerlerde olsa da, ön dayanak gerilmesi, ayağın örtü tabakası derinliği kadar ilerisinde gözlemlenmektedir ve ayağın yaklaşık 30 m ilerisinden başlayarak ayağa yaklaştıkça hızlı bir şekilde artmaktadır. Ancak bu noktadan itibaren, tahkimatların etkisiyle, ayak içinde arazi gerilme değerinin de altına düşmektedir. Daha sonra, göçük bölgesine doğru tekrar artış eğilimi göstermekte ve göçük içinde arazi gerilmesi değerine yaklaşmaktadır. Göçük bölgesinde gerilme, arazi gerilmesine ulaşıncaya kadar artmaktadır (Şekil 3), (Bieniawski, 1989).



Şekil 3. Ön dayanak gerilmesi (Bieniawski, 1989).

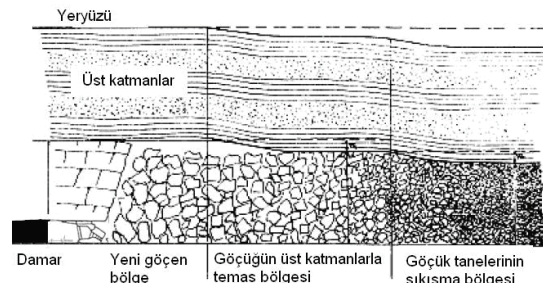
Ön dayanak gerilmesi genişliği, üretim yapılan bölge boyunca düzenli bir dağılım göstermemektedir. Ayak başlarında, panonun bitişiğindeki üretimi bitmiş panoların etkisiyle daha büyük olan gerilme ayak ortasına doğru azalmaktadır (Peng, 1986).

Ön dayanak gerilmesinin en yüksek olduğu bölge, yalancı tavanın zayıf olduğu ve tahkimatların hemen arkasına çöktüğü durumlarda genellikle panonun köşelerinde gözlemlenmektedir (Jeremic, 1985).

1.2.2. Göçük Bölgesindeki Gerilmeler

Göçük, uzunayak madenciliğinde oldukça önemli rol oynamaktadır. Göçük oluşum süreci madenin büyük bölümündeki gerilme değerlerini değiştirmektedir. Bu değişimlerin büyüklükleri ve sınırları, tavan taban yollarının duraylılığına etki etmektedir.

Yalancı tavan göçük bölgesine göçtüğü zaman göçen malzemenin ağırlığı göçük bölgesindeki gerilmeleri oluşturmaktadır. Göçük malzemelerindeki kayalar yığın oluşturmaya devam ettikçe bu bölgedeki gerilim de artmakta, göçük bölgesindeki kırık kayalar aynadan arkaya doğru, dereceli olarak sıkışmaktadır (Şekil 4), (Sweby, 1997).



Şekil 4. Göçük bölgeleri (Sweby, 1997).

2. GÖÇÜĞÜN SAYISAL MODELLEMESİ

Göçük bölgesindeki gerilmelerin modellemesinde, teorik (Salomon ve Tergazhi modelleri), görgül (G. Afrika dolomite göçük modelleri) ve sayısal modelleme yaklaşımlarının yanı sıra ölçümler, gözlemler ve daha önceki panolardan edinilmiş tecrübeler kullanılmaktadır (Badr, 2002).

2.1. Teorik Göçük Modelleri

Göçük bölgesindeki sıkışmayı en iyi, "birim deformasyon sertleşmesi oluşum yasası"nın (strain-hardening constitution law) açıkladığı varsayılmaktadır. Artan birim deformasyonlar altında göçük malzemesi; aralarındaki boşluk kapanarak, biraraya toplanır ve gerilmeyi üstel olarak artırır. Gerilme-birim deformasyon grafiğinin eğimi (Tanjant Young modülü) göçük üzerindeki birim deformasyonun artmasıyla artar. Salomon (1990) çalışmalarında birim deformasyon sertleşmesi davranışını temel almıştır.

2.1.1 Salomon'un Göçük Modeli

Salomon'a göre göçük malzemesinin sıkışma davranışı aşağıdaki eşitliğe göre (Pappas ve Mark, 1993);

$$\sigma_v = \frac{E_0 \times \varepsilon}{\left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_m}\right)} \quad (1)$$

Burada;

σ : göçükteki gerilme, (MPa)

ε : göçükteki birim deformasyon,

E_0 : sekant modülü, (MPa)

ε_m : en yüksek göçük birim deformasyonudur.

Eşitlik göçük malzemesinin gerilme birim deformasyon ilişkisinin üstel olduğunu ifade etmektedir. Bu eşitlik için; göçük malzemesinin sekant modülü (E), göçükte çeşitli noktadaki birim deformasyon (ε) ve göçükteki en yüksek birim deformasyonun (ε_m) bilinmesi gerekmektedir.

2.1.2. USBM'nin Göçük Modellerini Değerlendirmesi

Birleşik Devletler Madencilik Bürosu (USBM) araştırmacıları Salomon'un göçük modellerinin geçerliliklerini belirlemek amacı için çeşitli araştırmalar yapmışlardır (Pappas ve Mark, 1993). Laboratuvar çalışmalarında göçük malzemesiyle aynı tane dağılımına sahip parçalı malzemeler kullanılmıştır.

Çalışmalarda kullanılan kayaçlar şist, zayıf kumtaşı ve sağlam kumtaşı, Virginia ve Doğu Kentucky madenlerindeki göçüklerden toplanmıştır.

Şekil 5'te görülen USBM tarafından yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen grafiklerden görüleceği gibi sıkıştırma deneyine tabi tutulan göçük malzemeleri davranışı temsil için Salomon'un eşitliğinin daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

2.2. FLAC3D ve Yiğın Güncelleme Yordamı

Bu çalışmada Salomon'un teorik göçük modeli temel alınarak göçük malzemesi sayısal olarak modellenmektedir.

$$\sigma_v = \frac{E_0 \varepsilon}{\left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_m}\right)} \quad (2)$$

Eşitlik 2 düzenlendiğinde Eşitlik 3 halini almaktadır.

$$\sigma_v = \frac{a \varepsilon_v}{b - \varepsilon_v} \quad (3)$$

Burada;

a: göçük malzemesi deformasyon modülü (MPa)

b: göçük bölgesi yüksekliğinin yarısındaki en büyük birim deformasyonu ifade etmektedir.

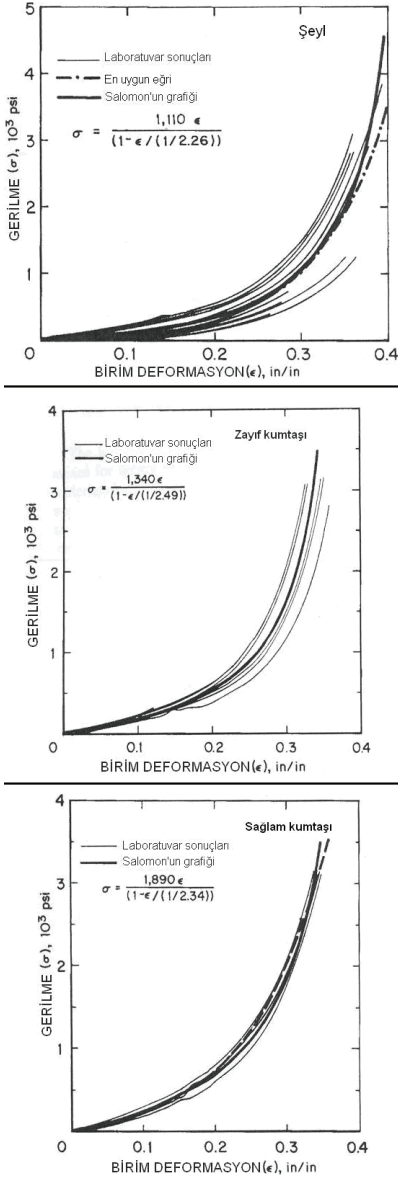
Çayırhan'da göçme sorununa yol açan tabaka sağlam ve masif kireçtaşıdır. Ancak, Pappas ve Mark tarafından üç farklı malzeme için a ve b katsayıları verilmektedir. Bunlar içerisinde sağlam kireçtaşı bulunmadığından dolayı, en uygun seçenek olarak modelde göçük malzemesini tanımlamak için, sağlam kumtaşı seçilmiştir. Bu durumda, a ve b değerleri sırasıyla 5.21 MPa ve 0.402 olarak alınmıştır (Pappas ve Mark, 1993).

Bu durumda Eşitlik 3;

$$\sigma_v = \frac{5.21\varepsilon_v}{0.402 - \varepsilon_v} \quad (4)$$

halini almaktadır.

Eşitlik 4'te görüldüğü gibi göçük bölgesindeki sıkışmanın yüksekliğin yarısına ulaşmasıyla; gerilmelerde asimtotik bir artış meydana gelmektedir. Teorik olarak bu noktadaki gerilme arazi gerilmesine eşit olmaktadır.



Şekil 5. Göçük malzemesinin gerilme-birim deformasyon ilişkisi ile teorik modelin karşılaştırılması.

2.3. Yiğın Modülü Güncelleme Yordamı

Modelde, göçük malzemesinin hacimsel modülü, K, göçük tavan konverjansından kaynaklanan birim deformasyonuna göre sürekli güncellenmektedir.

FLAC 3D programında elastik özellikler yiğın ve makaslama (K, G) modülleri cinsinden hesaplanmaktadır. Eşitlik 5 düşey gerilmeyi K ve G cinsinden vermektedir (Itasca, 1997).

$$\sigma_v = \left(K + \frac{4G}{3} \right) \varepsilon_v \quad (5)$$

Göçük malzemesinin poisson oranı 0.2 alındığı takdirde Eşitlik 5 (Badr, 2002);

$$\acute{o}_v = \left[K + \frac{4}{3} \frac{3K}{4} \right] \acute{a}_v = 2K\acute{a}_v \quad (6)$$

halini almaktadır.

Eşitlikler 3 ve 6 birleştirildiğinde;

$$2K\varepsilon_v = \frac{a\varepsilon_v}{b - \varepsilon_v} \quad (7)$$

$$K = \frac{0.5a}{b - \varepsilon_v}$$

olarak yazılabilir.

Yiğın modülü, her D \acute{a}_v değişimi için DK değerine güncellenmelidir. Bu değişim Eşitlik 7'de \acute{a}_v 'nin türevini almakla mümkün olmaktadır (Badr, 2002).

$$\Delta K = \frac{0.5a}{(b - \acute{a}_v)^2} \quad (8)$$

Eşitlik 8, yiğın modülünün; göçük bölgesi tavan konverjansından kaynaklanan birim deformasyonu \acute{a}_v 'ye göre güncellenmesinde kullanılmaktadır.

Bu yordamın FLAC 3D'de uygulanması için izlenmesi gereken adımlar aşağıda listelenmektedir (Badr, 2002). Bu işlemin akım şeması Şekil 6'da verilmiştir.

Adım 1. Göçük bölgesinin bağlantılı liste (linked list) ile tanımlanması.

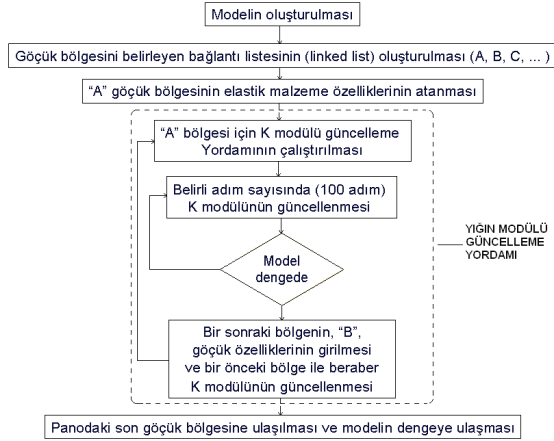
Adım 2. Göçük malzemesi elastik özelliğinin, "non-linear" elastik malzeme özelliklerine dönüşmesi.

Adım 3. Göçük malzemesine başlangıç yığın modülünün K atanması (Eşitlik 7).

Adım 4. Modelin dengeye ulaşması.

Adım 5. Göçük bölgesindeki birim deformasyon aracılığıyla ΔK 'nın hesaplanması (Eşitlik 8).

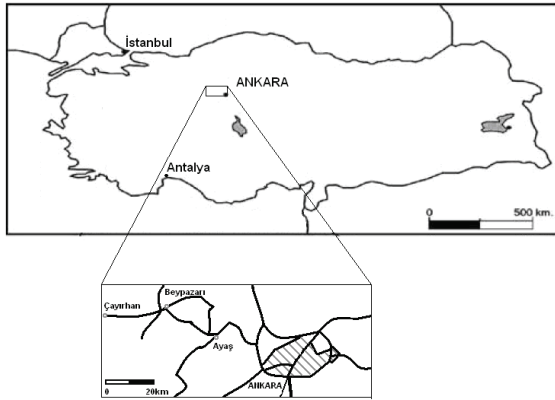
Adım 6. ΔK 'nın tekrar kullanılarak adım 3'ten 5'e kadar tekrar edilmesi.



Şekil 6. Yığın modülü güncellemesi akım şeması (Badr, 2003).

3. ÇAYIRHAN İLE İLGİLİ BİLGİLER

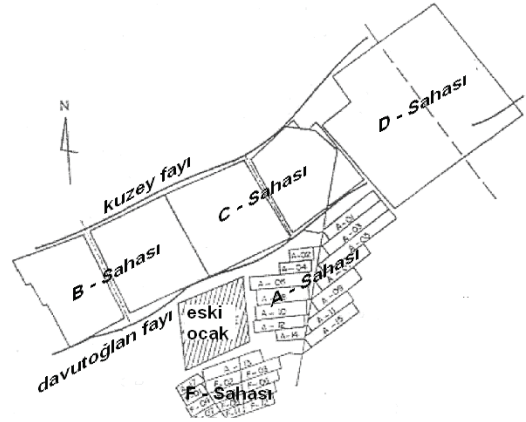
Ankara'nın 125 km batısında (Şekil 7), Çayırhan beldesinin kuzeydoğusunda yer alan havzada yaklaşık 400 milyon ton görünür kömür rezervi bulunmaktadır.



Şekil 7. Çayırhan bölgesinin yer bulduru haritası.

Kalınlıkları 1.6 m ve 1.9 m olan iki kömür damarı, kalınlığı 0.5-2 m arasında değişen bir ara kesme ile ayrılmaktadır. Ayrıca bu iki damarın yaklaşık 150 m kadar altında, kalınlığı 2-11 m arasında değişen, ancak henüz işletilmemekte olan üçüncü bir damar bulunmaktadır. Havzadaki

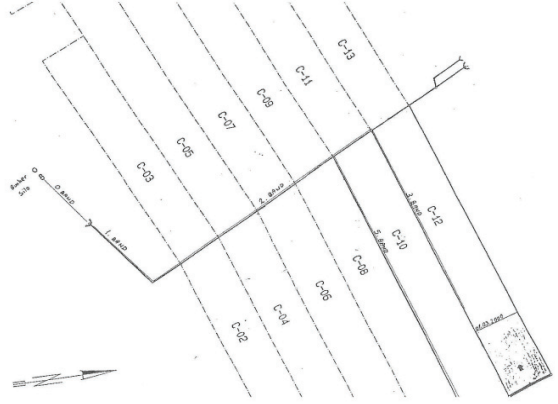
sahalar Şekil 8'de verilmektedir. Sahalarda damarlar homojen kalınlıkta olup mekanize üretimin yapılmasını engelleyecek ölçüde faylanmalar mevcut değildir.



Şekil 8. Havzanın sahalarla ayrılması (Erdoğan, 2001).

Sayısal modellemesi yapılan uzunayak panosu C sahasında bulunan C-06 panosudur. Üretim yöntemi olarak geri dönümlü göçertmeli tam mekanize uzunayak yöntemi seçilen panolarda, havzanın batısında bulunan B sahasındaki kömür damarının ara kesmesi 1.3-2 m arasında olmasından dolayı iki damar ayrı ayrı çalışacak şekilde projelendirilmiştir. B sahasından farklı olarak C sahasında ara kesmenin 0.5-0.7m arasında olması nedeniyle iki damar ve ara kesmenin tek damar olarak çalışılması şeklinde projelendirilmiştir.

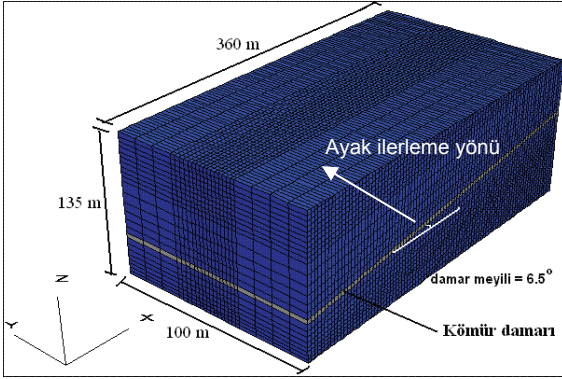
C sahasında, 1700 m uzunluğunda ve 220 m genişliğinde 13 pano mevcuttur (Şekil 9). Bu sahada kuzey ve güney olarak adlandırılan iki giriş bulunmaktadır. Panoların eğimi 30°, yüksekliği 4.4 m olup, panolar 25 m² kesit alanına sahiptir.



Şekil 9. C-Sahası üretim panoları

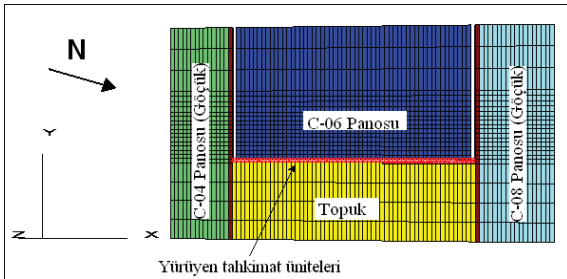
4. UZUNAYAK PANOSUNUN FLAC 3D PROGRAMI İLE BENZETİŞİMİ

Park Teknik AŞ Çayırhan linyit işletmesinde C sahasında kalan son pano olarak üretimi yapılan C-06 uzunayak panosunun FLAC3D programında modeli oluşturulmuştur (Şekil 10). C-06 panosunun 3 boyutlu modeli oluşturulurken öncelikle model geometrisinin, yani modelin her yöndeki (x, y ve z) boyutlarının belirlenmesi gerekmektedir. C-06 panosunun ayak uzunluğu 220 metredir. C-06 panosunu ve C-04 ve C-08 panolarındaki göçük malzemesinin bir bölümünün içeren model "+x" yönünde 360 m, "+y" yönünde 100 m ve "+z" ekseninde 135 m alınmıştır.



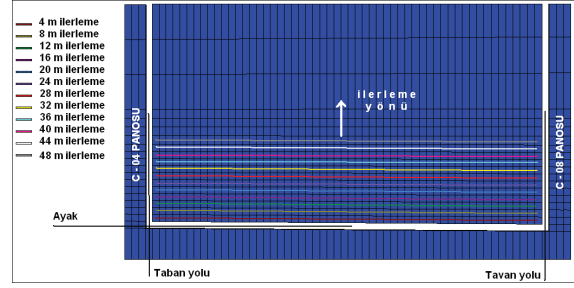
Şekil 10. FLAC3D programında oluşturulan model.

Şekil 11'de üretimin yapıldığı derinliğin kesiti görülmektedir. Modelleme iki aşamadan oluşmaktadır.



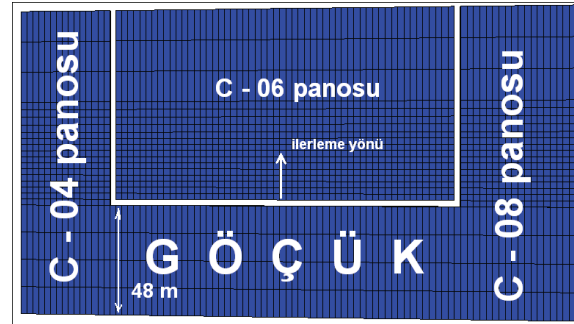
Şekil 11. Üretimin yapıldığı derinliğin kesiti.

Birinci aşamada ayağın üretime başladığı nokta ile göçüğün meydana geldiği nokta arasındaki uzaklık eşit miktarlarda artırılarak ayrı ayrı modeller oluşturulmuştur (Şekil 12).



Şekil 12. Birinci aşamadaki çözümlerlerde ayağın ilerleme şeması.

Modellemenin ikinci aşamasında ise göçüğün tamamı tanımlanarak çözümlenmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. İkinci aşamadaki çözümlerlerde ayağın ilerleme şeması.

4.1. Modelinin Oluşturulması

Model çalışmaları aşağıda sıralanan aşamalardan oluşmaktadır.

- Sınırların ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi
- Model geometrisi ve ayağın oluşturulması
- Sınır, başlangıç ve bitiş koşullarının belirlenmesi
- Programın çalıştırılması ve çıktıların izlenmesi
- Modelde geriye dönüşüm ve yeni düzenlemelerin yapılması
- Son çıktıların elde edilmesi

Model oluşturulduktan sonra hava girişi ve hava çıkışı taban yolları oluşturulmuş daha sonra ayak içinde kullanılan yürüyen tahkimatlarını temsil etmek için yapısal eleman (shell) kullanılmıştır. Bu tahkimat elemanı ile ayak tavanına geçişe uygun bir şekilde tahkimat yerleştirilebilmektedir. Bu nedenle ayak içine yürüyen tahkimatı temsil etmek üzere elastisite modülü 180 GPa, Poisson oranı 0.3 ve kalınlığı 0.45 m olan bir kabuk eleman yerleştirilmiştir. Bu sayede ayak içindeki tahkimatın tavana göstermiş olduğu direnç modellenebilmiştir.

Modellerde tabakaların mekanik (yenilme) davranışı, doğrusal Mohr-Coulomb yenilme ölçütü ile ifade edilmiştir. Çayırhan yeraltı ocaklarının bulunduğu

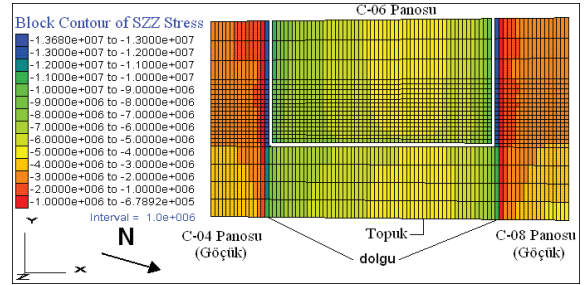
havadaki jeolojik birimlerden kil, marn, kömür ve taban kıltaşı modelde girdi olarak kullanılmıştır. Bu birimlere ait jeomekanik özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Jeolojik Birimlere ait Jeomekanik Özellikler.

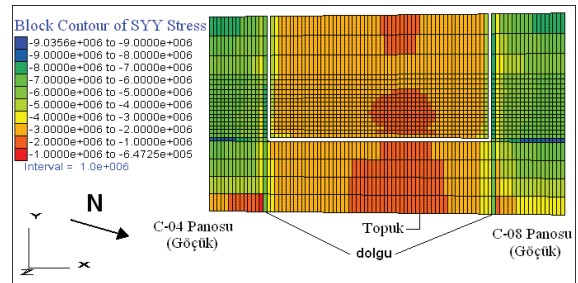
Jeomekanik Özellik	Birim	Kaya Birimleri			
		Kil	Marn	Kömür	Taban Kıltaşı
Hacimsel Modül	(MPa)	1847	3067	1311	1925
Çekme Dayanımı	(MPa)	0.024	0.07	0.015	0.03
Young Modülü	(MPa)	1995	4600	1967	2425
İçsel Sürtünme Açısı	(°)	20	21	22	19
Kohezyon	(MPa)	16.60	0.70	0.62	0.72
Birim Ağırlık	(kN/m ³)	23	22	13.5	28
Poisson Oranı	-	0.32	0.25	0.25	0.29
Makaslama Modülü	(MPa)	756	1840	787	940
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	(MPa)	1.8	1.9	1.4	1.9

4.2. C-06 Panosunda Üretime İlk Başlandığı Durumun Modellenmesi

Çözüm sonunda kömür damarı seviyesindeki düşey yönde (“-z” yönünde) oluşan ikincil gerilmeler Şekil 14’te; yatay yönde (“y” yönünde) oluşan gerilmeler Şekil 15’de verilmektedir. Model çalışmalarında şekil üzerindeki değerler Pascal (Pa) dır ve (-) basma gerilmesi, (+) ise çekme gerilmesi olduğunu ifade etmektedir. Şekiller üzerinde görülen -1.368e+007, gerilmenin 13.68 MPa olduğunu ve basma gerilmesi olduğunu göstermektedir.

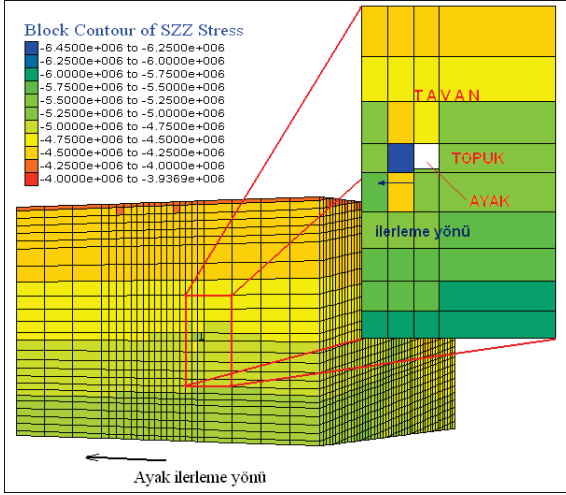


Şekil 14. Panoda kazıya başlandıında düşey yönde (“z” yönü) oluşan gerilmeler



Şekil 15. Panoda kazıya başlandıında yatay yönde (“y” yönü) oluşan gerilmeler.

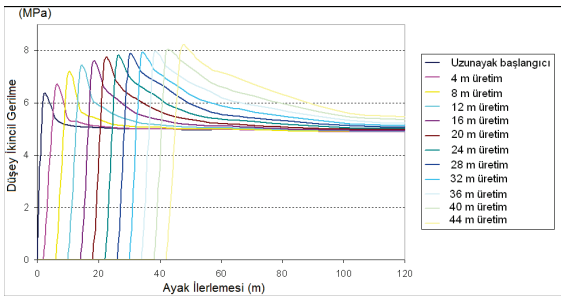
Panonun tam ortasında, oluşan düşey gerilme değerleri Şekil 16'da gösterilmektedir.



Şekil 16. Ayak çevresinde oluşan düşey gerilme değerleri.

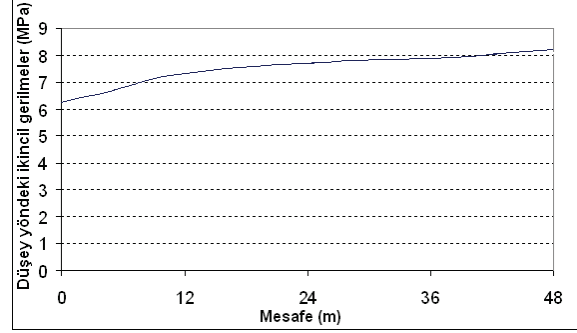
4.3. İlk Göçük Oluşumuna Kadar Yapılan Çözümler

İlk göçmenin meydana geldiği 48. metreye kadar, 4 metre aralıklarla çözümleri yapılan modellerin ayak ortasından alınan kesit boyunca düşey gerilme dağılımları Şekil 17'de görülmektedir.



Şekil 17. Ayağın 4 metrelik ilerlemeler sırasında, pano ortasında oluşan düşey gerilme dağılımları.

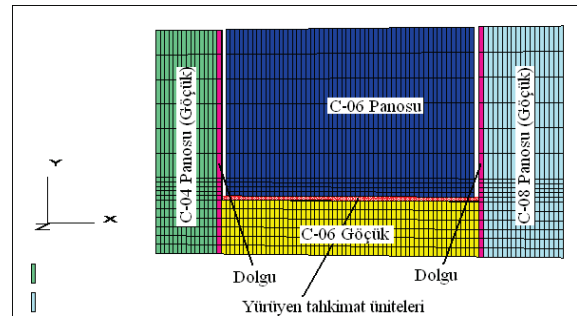
Şekil 17'de görüldüğü gibi, ilerlemeler sırasında ayak önündeki en yüksek ikincil düşey gerilme değerleri 48 metreye kadar azalarak artan bir davranış içindedir. Bu davranışı tanımlayabilmek için her ilerleme mesafesindeki en yüksek ikincil düşey gerilme değerleri aynı grafikte bir araya getirilmiştir (Şekil 18).



Şekil 18. En yüksek ikincil düşey gerilme değerlerinin mesafeye göre değişimi.

4.4. Ayakta Göçüğün Meydana Geldiği Durumun Modellenmesi

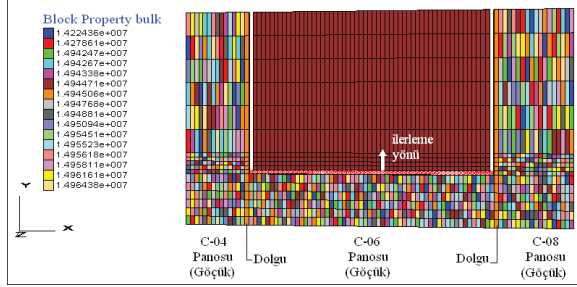
C-06 panosunda yalancı tavanın kırılması ve dolayısıyla göçüğün oluşması 48. metrede gerçekleşmiştir (Şenfilo, 2006). Daha önce verilen modellerde ayak ilerlemesine bağlı olarak ayak arkasında meydana gelmediği ve bu bölümün boşluk olduğu durum göz önüne alınmıştır. Modellemenin bu aşamasında ayak arkasında, ayak ilerlemesine bağlı olarak boşluk meydana gelmediği, diğer bir ifadeyle, ayak arkasından panoda üretimin başladığı andan itibaren göçme meydana geldiği durum incelenmiştir. Bu sayede ayak arkasının göçmemesi ve göçmesi durumları arasında bir karşılaştırma yapılması hedeflenmiştir (Şekil 19).



Şekil 19. Modelin kömür damarı seviyesindeki durumu.

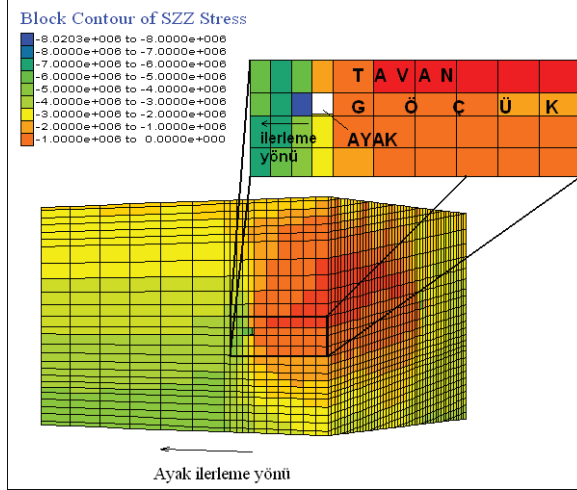
Modelleme çalışmasında, ayak arkasına 48 metre boyunca göçük malzemesi özellikleri atanmıştır. Göçüğü oluşturan kırılmış malzemenin özellikleri sabit olmayıp ayak ilerlemesine bağlı olarak ana tavan tabakalarının yük uygulaması neticesinde sürekli olarak değişmektedir. İlk göçtüğü anda çok gevşek bir yapı gösteren göçük malzemesi daha sonra üzerine yük binmesi neticesinde

sıkışmakta ve böylece deformasyon özellikleri sürekli olarak değişmektedir. Bu durumun gerçekçi olarak modele girdi sağlayabilmesi için göçük malzemesi özelliklerinin üzerine gelen yükün bir fonksiyonu olarak nasıl değiştiği Bölüm 2.3'te verilmiş olan yordam kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 20).



Şekil 20. Göçüğün yığın modülü.

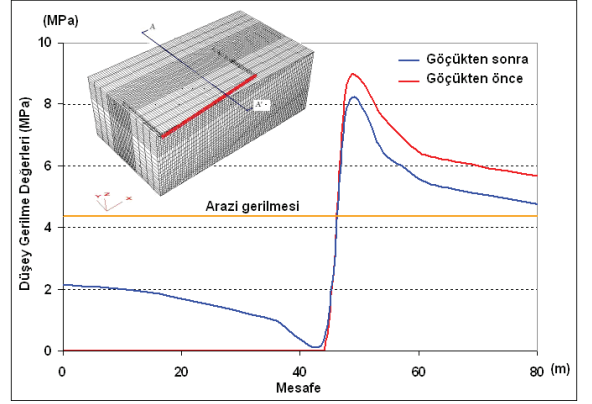
Modelde kömür damarı seviyesindeki düşey yönde ("z" yönünde) oluşan ikincil gerilmeler Şekil 21'de verilmektedir.



Şekil 21. Ayak çevresinde "z" yönünde oluşan düşey gerilme dağılımları.

Şekil 22'de göçük olduktan hemen sonra ve göçük olmadan önce, ayak ortasında pano boyunca "z" yönünde ikincil düşey gerilme dağılımının grafiği verilmektedir.

Göçük bölgesinde düşey gerilme değeri, ayaktan uzaklaştıkça arazi gerilme değerine yaklaşmakta ve 2.02 MPa değerine kadar çıkmaktadır. Aynanın önünde ön dayanak gerilmesinin aldığı en yüksek değer 8.02 MPa'dır. Bu değer arazi gerilmesinin yaklaşık 2 katıdır.



Şekil 22. Göçükten önce ve göçükten sonraki durumda oluşan düşey gerilme dağılımı.

5. SONUÇLAR

Derinliğin az ve tavan taşının sağlam olduğu ortamlarda, uzun ayak üretim şekli ile çalışılan yeraltı maden ocaklarında tavan taşının kırılması ve pano arkasında göçme hareketinin başlaması uygun zamanda gerçekleşmemektedir. Bu durumda, artan tavan basıncı tahkimat ünitelerinin kapanmasına, dolayısıyla üretimin zorlu ve tehlikeli koşullar altında sürdürülmesine neden olmaktadır.

Bu çalışmada uzun ayak yöntemi ile çalışılan bir kömür damarı FLAC3D programı kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmiş ve farklı durumlar sonucunda oluşan basınç ve deformasyon değerleri incelenmiştir. Buna göre, sayısal modelden elde edilen pano çevresindeki basınç değerleri dağılımlarının literatüre ve beklenen duruma uygun olduğu gözlemlenmiştir.

Üretime ilk başladığı durumda ayak önünde oluşan düşey gerilme değeri 6.45 MPa (arazi basıncının 1.5 katı) iken ayağın 48 m ilerlemesi ve tavanın göçmemesi durumunda bu değer 8.28 MPa (arazi basıncının 1.9 katı) seviyesine yükselmektedir. Benzer şekilde, başlangıç durumunda tavan ve taban yollarında düşey gerilmeler sırasıyla 12.8 MPa (arazi basıncının 2.9 katı) ve 13.9 MPa (arazi basıncının 3.2 katı) iken, ayak 48 m ilerlediğinde bu yollardaki düşey gerilmeler 18 MPa (arazi basıncının 4.1 katı) seviyelerine çıkmaktadır.

Ayrıca, ayak 48 m ilerlediğinde göçme öncesi 9 MPa (arazi basıncının 2 katı) seviyesine yükselen düşey gerilme değeri göçme olduktan sonra 8 MPa (arazi basıncının 1.8 katı) seviyesine düşmektedir.

Burada verilen basınç dağılımlarından da anlaşılacağı üzere, basınçların çok yüksek değerlere ulaşmasını önlemek açısından mutlaka sistematik bir şekilde patlatma yapılarak tavanın kontrollü bir şekilde göçmesi sağlanmalıdır.

of 22nd Conference on Ground Control in Mining, West Virginia University, WV, USA, pages 37-43.

Şenfilo, L., 2006, Kişisel Görüşmeler, Park Teknik A.Ş., Ankara.

KAYNAKLAR

Whittaker, B. N., 1974, An appraisal of strata control practice, *Mining Engineer*, 134:9-24.

Jeremic, M.L., 1985, *Strata Mechanics in Coal Mining*, A.A., Balkema, Rotterdam, 556 p.

Peng, S.S., 1986, *Coal Mine Ground Control*, 2nd ed., Wiley, New York, 450 p.

Bieniawski, Z.T., 1987, *Strata Control in Mineral Engineering*, A.A., Balkema, Rotterdam, 212 p.

Salamon M.D.G., 1990, Mechanism of caving in longwall coal mining. Rock Mechanics Contributions and Challenges. In W. Hustrulid and G.A. Johnson, editors, *Proc. of the 31st US Rock Mechanics Symposium*, A.A. Balkema, pp. 161-168.

Pappas, D.M., Mark C., 1993, Behavior of simulated longwall gob material. *Report of Investigation 9458*, United States Department of the Interior – Bureau of Mines.

Itasca, 1997, *User Manuel for FLAC 3D*, Ver.2.0, Itasca Consulting Group Inc., Minnesota, USA.

Sweby G., 1997, Review thystems and determine the effect of the mechanism on the safety of the system. Project No: COL 327, CSIRO MININGTEK.

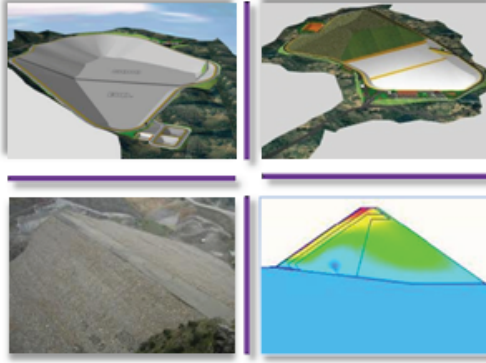
Erdoğan, H.H., 2001, Çayırhan Madenlerindeki Ayak Transfer İşlemlerinde Yürüyen Tahkimatları Taşıma Sistemlerinin “Kesikli Olay Benzetişimi” Metoduyla Performans Değerlendirmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 156s.

Badr, S.A., 2002, Numerical Analysis of Coal Yield Pillars at Deep Longwall Mines, *Doktora Tezi*, Colorado School of Mines, Colorado, A.B.D

Badr, S.A., Mendoza, R., Kieffer S., Salomon, M.D.G. and Ozbay, M.U., 2003, Numerical modeling of longwalls in deep coal mine. *In proc*



ENDÜSTRİYEL VE MADEN ATIK DEPOLAMA SAHALARI TASARIMI



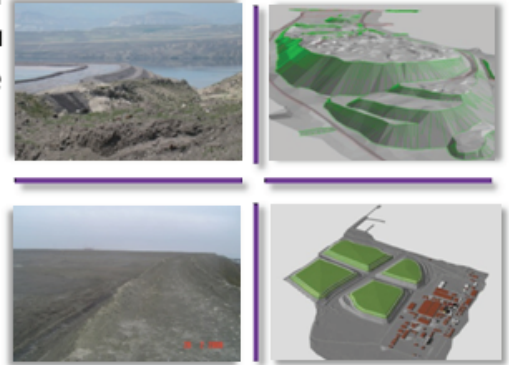
26.Mart.2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazete yayınlanarak yürürlüğe giren “**Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik**” gereği Sanayilerden kaynaklanan atıklar için Düzenli Depolama Sahalarının:

- Tüm Mühendislik Çalışmaları,
- Avan ve Uygulama Projeleri,
- Teknik Şartnamelerin Hazırlanması,
- Keşif-Metraj Çalışmaları,
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığından proje onaylarının alınması,
- Teknik Danışmanlık.

26.Mart.2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazete yayınlanarak yürürlüğe giren “**Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik**” Geçici Madde 3 gereği Sanayilerin Halihazırda kullandıkları Düzenli Depolama Sahalarının “**İyileştirme Planlarının**” hazırlanması için:

- Tüm Mühendislik Çalışmaları,
- Avan ve Uygulama Projeleri,
- Teknik Şartnamelerin Hazırlanması,
- Keşif-Metraj Çalışmaları,
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığından proje onaylarının alınması,
- Teknik Danışmanlık.

ENDÜSTRİYEL VE MADEN ATIK DEPOLAMA SAHALARI REHABILITASYONU



TK Müşavir Mühendisler Ltd. Şti.

Ali Nihat Tarlan Cad. Balkan Sok. Yerlikaya Apt. No:2 D:7 Bostancı/İstanbul
Tel: +90 (216) 372 50 07 - 372 52 50 Fax: +90 (216) 372 56 22

web: www.tk-consulting.org
e-mail : tk@tk-consulting.org

PATLATMADA HARCANAN FAYDALI ENERJİ VE PATLATMA VERİMİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI

The Investigation of The Relation Between The Useful Energy Spent in Blasting and the Blasting Efficiency

Ülkü KALAYCI^(*)
Ümit ÖZER^(**)
Abdulkadir KARADOĞAN^(***)

ÖZET

Patlatma sırasında açığa çıkan toplam enerjinin (E_t) bir kısmı kayaya basınç uygulayarak kırılmasına harcanırken (E_p), bir kısmı kaya kütlelerinin ötelenmesine dolayısıyla kinetik enerji olarak (E_k), kırma ve ötelenmeye yetmediği durumlarda sismik enerji olarak (E_s) ve bir kısmı da ısı, ışık ve gürültü (E_{nm}) olarak atmosfere yayılmaktadır. Enerjinin korunumu ilkeleri doğrultusunda, bu kademelerde harcanan enerji oranlarının lineer toplamlarının, başlangıçta patlayıcı maddenin kimyasal yapısı sebebiyle sahip olduğu enerji miktarına eşit olması gerekir. Faydalı iş yapmaya harcanan enerji, kaya kütlelerini istenen boyuta getirmek ve yığını istenen miktarda ötelemek için gerekli olan enerji miktarıdır.

Bu çalışmada, üç farklı taşocağında izlenen toplam yedi adet atımda, kinetik enerji, parçalanma enerjisi ve sismik enerji miktarları belirlenmiş ve faydalı iş yapabilen enerji oranları hesaplanmıştır. Çalışmanın sonunda, faydalı enerji ile patlatma verimi arasındaki ilişki incelenmiş, yorumlanmış ve patlatma verimini sayısal olarak tanımlayan bir eşitlik önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: Patlatma enerji bileşenleri, faydalı patlatmada enerjisi, patlatma verimi

ABSTRACT

A part of the total explosive energy (E_t), (E_p), is consumed for the rock fragmentation by exerting the pressure on the rocks, another part, (E_k), is consumed for the movement of the rock in cases which it is insufficient for breakage and movement, another part, (E_s), is spent as seismic energy through the rock and the rest of the energy, (E_{nm}), is released to atmosphere as heat, light and noise. In accordance with principle of conservation of energy, the total of these consumed energies should be equal to the chemical energy of the explosive material at the beginning. The amount of useful energy spent is fragments rock mass to desired size and displaces the muckpile to required distance.

In this study, seven shots observed in three different quarries and kinetic energy, fragmentation energy and seismic energy were determined and the ratio of useful energy is calculated. As the result of the studies, the relationship between useful energy and blasting efficiency investigated, interpreted and an equation which numerically presents blasting efficiency was suggested.

Keywords: blasting energy components, useful blasting energy, blasting efficiency

(*) Araş. Gör. İstanbul Üniv., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., Avcılar/İSTANBUL ukalayci@istanbul.edu.tr

(**) Doç. Dr. İstanbul Üniv., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., Avcılar/İSTANBUL

(***) Yrd. Doç. Dr. İstanbul Üniv., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., Avcılar/İSTANBUL

1. GİRİŞ

Taş ocakçılığı, madencilik, inşaat altyapı kazıları, kuyu-tünel, boru hattı, baraj gibi çeşitli sektörlerde patlatmalı kazı çalışmaları, nüfus artışı, şehirleşme ve gelişmeye bağlı olarak hızla artmaktadır (Kahriman, 1995).

Madencilik faaliyetlerinde patlatmalı kazı maliyeti toplam ocak üretim maliyetinin yaklaşık %25-40'ını, dolaylı olarak da (yükleme, taşıma, primer kırma) % 10'unu oluşturmaktadır. Yani ocak maliyetinin yaklaşık % 50'si patlatmadan etkilenmektedir. Bu nedenle patlatmadaki verimliliğin işletme ekonomisi, ülke ekonomisi ve sektör gelişimi açısından oldukça önemli olduğu görülmektedir. Literatürde, bu kadar önemli olan patlatma verimliliği konusunda sıkça bahsedilmesine rağmen, optimum çözümü sunan ve verimlilik açısından etkili olan bütün parametreleri bir arada değerlendiren ve çözüm sunan bir yaklaşım bulunmamaktadır (Kahriman, 2005).

Literatürde, patlatma etkinliğinin değerlendirilmesinde genel olarak aşağıdaki hususların göz önüne alınması gerektiğinden bahsedilir (Hoek ve Bray, 1995; Paşamehmetoğlu ve diğ., 1986):

- Parçalanmış malzeme eşit olarak ileri yayılmalı ve aşırı fırlatılmış münferit bloklar görülmemelidir.
- Parçalanma mevcut kazıcılara uygun olmalıdır.
- Parçalanma homojen olmalı ve patar atımı gerektiren büyük parçaların sayısı minimum olmalıdır.
- Yığın gevşek ve kolay kazılabilir olmalıdır, yani ekskavatör kazı işinden çok, yükleme işi yapmalıdır.
- Yığın yüksekliği; ekskavatörün kepçesini kaldırabileceği yüksekliğe kadar kaldırmasına ve bir kerede doldurmasına imkân vermelidir. Bununla birlikte, etek ve arka bölümlerinde bir miktar düşük yüklenme bölgesi kaçınılmaz olup, bunlar en az düzeyde olmalıdır.
- Parçalanmış yığın eşit olarak kabarmış gözükmemelidir.
- Yığın üzerinde ağız üzerinden püskürmenin göstergesi olan kraterler, patlamamış lağımın işareti olan düz ve bozulmamış yüzeyler ile tepelikler görülmemelidir.
- Yığının arka tarafında parçalanmış

malzemenin yeterince ileri atıldığına göstergesi olan muntazam bir çukurluk gözlenmelidir.

- Önünde genellikle gerilme çatlakları görülen son kazı hattı net ve belirgin olmalıdır.
- Son kazı hattının gerisindeki basamakta asgari hasar ve en az sayıda çatlak gözlenmelidir.
- Tabanda kazı işini güçleştiren tırnaklar (parçalanmamış kısımlar) kalmamalıdır.

Patlatma esnasındaki kinetik enerjinin yarattığı ötelenme işlemi ile patlatılan yığının düzenli ve istenen boyutta yayılması, bu aşamada en önemli etkisini göstermektedir. Yığının durumu alana çok yayılmış bir şekilde ise ekskavatörün saatlik kapasitesinde önemli bir düşüş, parçalanmaya bağlı olarak kepçe dolma faktöründe azalma, ekskavatörün ve kamyonun, yükleme ve bekleme sürelerinde ise önemli bir artış gözlenecek, bununla birlikte ekskavatörün yüklenme esnasında kamyon kuyruğunda bir artış beklenecektir. Yığının durumu çok iri boyutlu ve aynaya çok bitişik halde kalırsa burada da ekskavatörün ve kamyonun verimliliği yine düşer. Ekskavatör kepçesinde ve kamyon da parça iriliğinden dolayı boşluklar kalır dolma faktörü düşer, kamyonların daha hızlı bir şekilde dolmasından dolayı ekskavatörde boş durma problemi oluşur. Bu gibi problemleri önleyebilmek adına, atım sırasındaki enerji optimizasyonu en iyi şekilde ayarlanmalıdır (Kahriman, 2005; Kalaycı, 2011).

Verimli bir patlatmadan beklenen sonuçlar minimum maliyetle istenen parça boyutunda, maksimum miktarda, uygulayıcının çalışma şartlarına uygun geometride ve yükleyici makineler için uygun bir şekilde ötelenmiş bir yığın elde etmektir (Özer, 2001; Kalaycı, 2011).

Literatürde mevcut çalışmalarda patlatma verimi yukarıdaki gibi tanımlanmaktadır. Ancak bunlar en verimli patlatmanın tanımlanmasında eksik kalır. En verimli patlatma, uygulayıcının istediği sonuçları optimum şekilde veren patlatmadır. Uygulayıcının tesisindeki kırıcıya uygun boyutta parçalanmış, basamak genişliğine-çalışma alanına uygun şekilde ötelenmiş bir yığın; ve bunların yanı sıra çalışma bölgesindeki tesis ve yapıların hasar görmeyeceği titreşim miktarını veren patlatma spesifik olarak en verimli patlatmayı tanımlar (Özer, 2001; Kalaycı, 2011).

Bu çalışmanın amacı; araştırma sahası olarak seçilen ve İstanbul ili sınırları içinde yer alan Çatalca Bölgesi Akyol taşocağı, Cebeci Bölgesi Haktaş taşocağı ve Cendere Bölgesi Akdağlar taşocağında izlenen yedi adet atımın toplam patlatma enerjisinin ve bu enerji içindeki sismik, kinetik, parçalanma, ısı, ışık ve gürültü enerjilerinin belirlenmesi, patlatmada harcanan faydalı enerji ile patlatma verimi arasındaki ilişkinin araştırılmasıdır.

2. PATLATMA ENERJİ DENGESİ VE BÖLÜŞÜMÜ

Enerji patlayıcı tarafından serbest bırakıldığında, patlama kaynaklı enerji ürünleri tarafından oluşturulankimyasalreaksiyontamamlandığında, termodinamiğin birinci ilkesine göre çevreye ısı ve iş olarak dönüştürülür.

Patlatmada enerjisinin bölüşümü patlatmanın sonuçlarından analiz edilebilir. Örneğin, kırılma (parçalanma) enerjisi detonasyon başlangıcında delik cidarında şok dalgaları olarak yayılır ve yeni kırılma yüzeyleri oluşturmak için gerekli olan enerji miktarı ile orantılıdır. Sismik enerji ise jeofonlar vasıtasıyla kaydedilen parçacık hızı değerleri kullanılarak hesaplanabilir. Kinetik enerji ise ayna hareketinin kameralar vasıtasıyla kaydedilerek, patlama süresince kırılan kayaçların kat ettiği yolun, hızın ve sürenin belirlenmesiyle hesaplanır.

Böylece patlamanın enerji dengesi şu şekilde ifade edilebilir (Spathis, 1999);

$$E_t = E_s + E_k + E_p + E_{nm} \quad (1)$$

Burada; E_t Patlatma sırasında açığa çıkan enerjiyi, E_p kaya kırılma enerjisini, E_s sismik enerjiyi, E_k kütle taşınmasını sağlayan kinetik enerjiyi, E_{nm} ise ölçülemeyen yani ısı, ışık ve ses olarak atmosfere yayılan enerjiyi simgeler. Patlatmada faydalı enerji kırma ve istenen ötelenmeyi gerçekleştirmeyi sağlayan enerji olarak nitelendirilir.

Patlatma kaynaklı titreşimleri oluşturan enerjinin hesaplanabilmesi için aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır (Hinzen, 1998; Catusus, 2004; Sanchidrian ve diğ., 2007).

$$E_s = 4\pi r^2 \rho C_L \int_0^{\infty} v^2 dt \quad (2)$$

$$C_L = ((\lambda + 2\mu)/\rho)^{1/2} \quad (3)$$

Burada, C_L : P dalgası hızı (m/sn), r : patlatma noktası ve ölçüm noktası arası mesafe (m), ρ :yoğunluk (gr/cm³), v : bileşke parçacık hızı (mm/sn), λ ve μ lame sabitleridir.

Patlatmada kütle ötelenmesini sağlayan kinetik enerji aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$E_k = \frac{1}{2} SB \int_0^H \rho V_0^2 dy \quad (4)$$

Burada;

E_k : kinetik enerji (Mj),

S : delikler arası mesafe, (m)

B : dilim kalınlığı, (m)

H : basamak yüksekliği, (m)

ρ : yoğunluk, (ton/m³)

V_0 : ilk hızdır.(m/sn)

Parçalanma enerjisi, yeni kırılma yüzeyleri oluşturmak için gerekli olan enerji miktarı ile orantılıdır. Birim yüzey başına düşen özgül kırılma enerjisini belirlemek gerekir. Kırılma enerjisi şu şekilde hesaplanır (Catusus, 2004; Sanchidrian ve diğ., 2007).

$$E_p = A_F \cdot \gamma_F \quad (5)$$

$$\gamma_F = \frac{K_{IC}^2}{2 \cdot \rho \cdot v_p^2} \quad (6)$$

Burada (A_F) Patlatma sonucunda ortaya çıkan parçaların yüzey alanı (m²), (γ_F) ise özgül kırılma enerjisi (Mj) dir. K_{IC} : tokluk dayanımı, v_p P dalgası hızı (m/sn), ρ : yoğunluk (ton/m³)' dur.

3. ÇALIŞMA SAHALARI

Çalışma yapılacak sahalarda İstanbul ili sınırları içinde yer alan Çatalca Bölgesi Akyol taşocağı (Aky), Cebeci Bölgesi Haktaş taşocağı (Hkt), Cendere Bölgesi Akdağlar taşocağı (Akd) olarak belirlenmiştir. Bahsedilen ocakların yer bulduru haritaları Şekil 1'de verilmiştir. Çalışılan sahaların genel jeolojisine ait özet bilgi aşağıdaki bölümlerde anlatılmaktadır.

3.1. Akyol Taşocağı

İnceleme alanında temeli teşkil eden

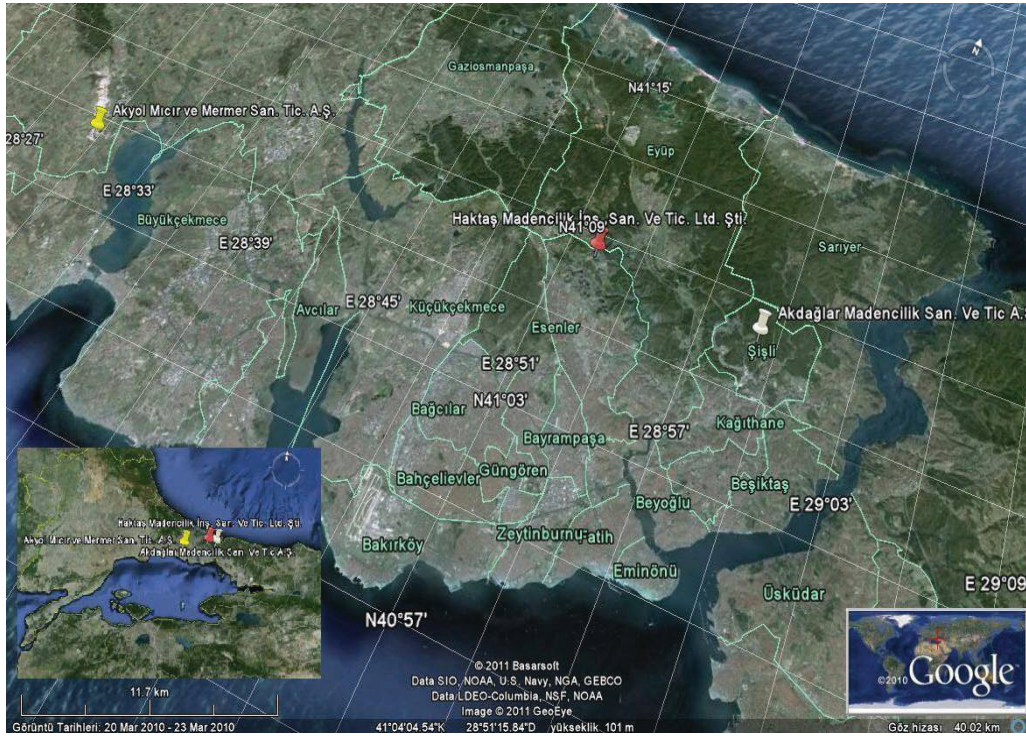
birim şistlerdir. Şistlerin üzerinde Kırklareli formasyonuna ait kireçtaşı ve marn düzeyleri bulunmaktadır. İnceleme alanında en üstte Gürpınar formasyonuna ait kömür bantları içeren kil, kumlu kil ve çok zayıf dayanımlı kumtaşı ve kiltası ardalanması bulunmaktadır. Üretimi yapılan birim kireçtaşıdır (Dalgıç ve Özer, 2009).

3.2. Haktaş Taşocağı

İnceleme alanında, altta silisli kumtaşı ve şeyllerle başlayan istif giderek organik maddece zengin

Cendere Havzası, Kemberburgaz - Ayazağa arasında, yaklaşık 10 km aralıkta, KB-GD yönünde, temeli oluşturan «Grovak - kumtaşı» formasyonu içinde doğal bir vadi konumundadır.

Cendere vadisi Ayazağa civarında yüksek tepelerle sınırlanırken, Kemberburgaz'a doğru bu yükselti giderek azalarak devam etmekte, daha sonra Kemberburgaz-Karadeniz az yüksek Neojen (kum - kil - kömür) düzlükleri ile denize doğru sifirlanmaktadır. İnceleme alanı Trakya Formasyonu üzerinde yer almaktadır (Uz, 2007).



Şekil 1: Çalışma yapılan sahaların yer buldurma haritası.

karbonatlı şeyllerle ve oradan da kireçtaşlarına geçmektedir. Yer yer yeşil renkli şeyl düzeylerine de rastlanan istif K50B-K65B doğrultulu fay düzlemleriyle kesilmiştir. Ocak güneyden K50B doğrultulu bir fay düzlemiyle sınırlanmıştır. Fay düzleminin güneyinde Trakya formasyonunun grovak ve şeylleri yüzeylenmektedir. Bu ocakta işletme sınır koşulları güneyden fay düzlemiyle, kuzeyden ise kireçtaşlarından karbonatlı şeyllere geçişle sınırlanmıştır (Kaya, 1971).

3.3. Akdağlar Taşocağı

İnceleme alanı, Cendere Havzası ve civarı jeolojik yönden temel "Grovak – Killi şist - Gre Serisi" "Trakya Serisi" veya "İstanbul temeli" olarak adlandırılmıştır.

4. ÇALIŞMA YÖNTEMİ VE BULGULAR

Çalışma kapsamında çeşitli arazi ölçümleri ve laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında arazide yapılan çalışmalar,

- Atım paterninin incelenmesi
- Titreşim ölçer cihazlar ile titreşim ölçümleri
- Video kamera ile atımların kaydedilmesi
- Parça boyut dağılımı belirlenmesi için yığın fotoğrafı alınması olarak sıralanmış ve sınıflandırılmıştır.

Laboratuvar çalışmaları kapsamında, çalışma sahalarından, atımdan önce ve sonra alınan numunelerden karot örnekler hazırlanmıştır.

Hesaplamalarda kullanmak için gereken Tokluk

Dayanımı, Nokta Yük Dayanımı, Yoğunluk Tayini ve Ultrasonik Ses Geçirgenliği Deneyleri yapılmıştır. Her bir deney için 10-15 numune kullanılmıştır (Kalaycı, 2011).

Çalışma kapsamında Çatalca Bölgesi Akyol

taşocağında (Aky) dört, Cebeci Bölgesi Haktaş taşocağında (Hkt) bir ve Cendere Bölgesi Akdağlar taşocağında (Akd) iki adet olmak üzere izlenen toplam yedi adet atımın patlatma geometrisi Tablo 1'de verilmiştir.

Söz konusu sahalarda yapılan çalışmalar

Tablo 1. İzlenen Atımların Geometrisi

Atım No	Delik Sayısı	Sıra Sayısı	Delik Çapı (mm)	Delik Eğimi (°)	Basamak Yüksekliği (m)	Delik Boyu (m)	Delik Taban Payı (m)	Dilim Kalınlığı (m)	Delikler Arası Mesafe (m)
(Aky)1	9	1	89	85	10,5	11,5	1	2,7	2,7
(Aky)2	6	1	89	85	10,5	11,5	1	2,7	2,7
(Aky)3	13	1	89	85	10,5	11,5	1	2,0	2,0
(Aky)4	8	1	89	85	10,5	11,5	1	2,7	2,7
(Hkt)1	5	1	89	90	14,0	12,0	-	3,0	2,0
(Akd)1*	9	1	89	90	12,0	13,0	1	2,5	2,5
(Akd)2*	14	1	89	90	12,0	13,0	1	2,5	2,5

sonucunda elde edilen veriler analiz edilmiş, izlenen atımların kinetik enerjileri, kırılma enerjileri, sismik enerjileri ve patlayıcı enerjileri her saha ve her atım için hesaplanmış ve enerji bölüşümleri belirlenmiştir. Elde edilen bulgular aşağıda detaylı olarak verilmiş olup örnek olarak Akd1 nolu atıma ait parçalanma ve ötelenme analizi ve sismik enerji hesabına baz olacak olay raporu Ek'te verilmiştir.

4.1. Kinetik Enerjinin Belirlenmesi

Çalışmada izlenen atımlara ait yüksek çözünürlüklü video kamera ile alınan görüntü kayıtları kinovea programı ile analiz edilerek kinetik enerji hesabına baz olacak veriler üretilmiştir.

Analiz sonucu elde edilen hız, süre ve hareket düzlemi açısı bulguları literatürde bahsedilen eğik atış ilk hız formülünde yerine konularak kinetik enerji formülünde kullanılacak ilk hız değeri bulunmuştur. Atımlara ait bulunan mesafe süre ve hız bilgileri Tablo 2'de özet olarak verilmiştir.

Tablo 2. İzlenen Atımlara ait Mesafe Süre ve Hız Bilgileri

Atım No	t (sn)	h (m)	V_{oy}	α	V_o
(Aky)1	0.25	2.0	9.3	35	16.3
(Aky)2	0.18	0.5	3.9	22	10.4
(Aky)3	0.41	3.5	10.5	16	18.7
(Aky)4	0.41	0.6	3.6	19	12.2
(Hkt)1	0.18	0.72	4.88	22	13.0
(Akd)1	0.2	0.66	4.28	25	10.1
(Akd)2	0.15	0.59	4.67	36	7.9

Elde edilen hız bilgileri, laboratuvar deneyleri ve atım paterninden elde edilen geometrik bilgiler kullanılarak literatürde bahsedilen kinetik enerji formülü ile kinetik enerji miktarı tespit edilmiştir. Tespit edilen bilgiler Tablo 3'de özet olarak sunulmuştur.

Tablo 3. İzlenen Atımlarda Tespit Edilen Kinetik Enerji Miktarları

Atım No	V (BxSxHxn) (m ³)	ρ (ton/m ³)	m (ton)	Ek (Mj)	Ek (Mj/delik)
(Aky)1	688.9	2.57	1770.5	234.9	26.1
(Aky)2	459.3	2.57	1180.3	63.5	10.6
(Aky)3	546.0	2.57	1403.2	246.9	34.6
(Aky)4	688.9	2.57	1770.5	130.7	14.5
(Hkt)1	630	2.71	1707.3	145.0	19,3
(Akd)1*	675	2.54	1715	88,0	-
(Akd)2*	1050	2.54	2667	84,1	-

* Bu atımlarda gecikme kullanılmadığından hesaplamalar atım bazında değerlendirilmiştir.

4.2. Kırılma Enerjisinin Belirlenmesi

Kırılma enerjisi belirlenirken, tokluk dayanımı, P dalga hızı, numunelerin geometrik parametreleri ve split desktop programından sayısal görüntü işleme tekniği ile elde edilen parça boyut dağılım değerleri kullanılmıştır.

Çalışmaların yapıldığı ocaklarda, izlenen atımlara ait kırılma enerjileri Akyol, Akdağlar ve Haktaş Taş Ocakları için Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. İzlenen Atımlara ait Kırılma Enerjileri.

Atım No	Yoğunluk (ton/m ³)	P hızı (m/sn)	K _{1c}	E _p (Mj/delik)
(Aky)1	2.75	5027.15	1.33	3.5
(Aky)2	2.75	5027.15	1.33	2.4
(Aky)3	2.75	5027.15	1.33	6.4
(Aky)4	2.75	5027.15	1.33	2.8
(Hkt)1	2.71	5005.00	1.12	1,6
(Akd)1*	2.54	4116.70	1.43	54.1
(Akd)2*	2.54	4116.70	1.43	121.7

* Bu atımlarda gecikme kullanılmadığından hesaplamalar atım bazında değerlendirilmiştir.

4.3. Sismik Enerjinin Belirlenmesi

Sismik enerji belirlenirken patlatma kaynaklı titreşim bileşenleri (enine, boyuna ve düşey olarak), bileşke parçacık hızı, mesafe ve kayacın fiziksel özellikleri verilerinden faydalanılmıştır.

Tablo 5. İzlenen Atımlara ait Sismik Enerjiler.

(Aky) İstasyon No	1.Atım		2.Atım		3.Atım		4.Atım	
	R (m)	Es (Mj)	R (m)	Es (Mj)	R (m)	Es (Mj)	R (m)	Es (Mj)
1	150.6	4.2	147.7	4.3	190.1	8.7	50.8	95.5
2	191.3	7.6	209.1	0.3	234.9	6.7	166.2	9.3
3	214.0	6.3	187.6	4.8	221.4	5.4	5	129.9
4	192.5	7.6	89.6	27.9	-	-	150.2	1.5
5	219.7	6.9	522.2	5.4	-	-	-	-
6	505.5	5.1	219.5	6.6	-	-	-	-
7	106.4	40.1	-	-	-	-	-	-
(Hkt)	1.Atım		2.Atım		3.Atım		4.Atım	
1	84.8	23.7	-	-	-	-	-	-
2	79.9	10.1	-	-	-	-	-	-
3	36.0	36.7	-	-	-	-	-	-
4	59	43.3	-	-	-	-	-	-
(Akd)	1.Atım		2.Atım		3.Atım		4.Atım	
1	98.1	151.8	100.6	35.0	-	-	-	-
2	101.8	82.7	138.8	27.3	-	-	-	-
3	78.3	186.1	50.6	193.6	-	-	-	-
4	111.7	69.5	-	-	-	-	-	-

Literatür bölümünde verilen eşitlikler Excell programına HASP modülü eklenerek ASCII kodlarının eldesiyle oluşturulan hesap sistemi ile yapılmıştır. ASAP UTILITIES programı ile elde edilen sonuçlar yukarıda Tablo 5'de özetlenmiştir.

Yapılan literatür araştırmalarına göre, bu tür çalışmalarda sismik ölçüm yapılırken genellikle tek istasyon noktasının kullanıldığı görülmüştür. Ancak sismik enerji hesabı yapılırken tek istasyondan alınan titreşim kaydı üzerinden hesaplama yapmanın yanlış olduğu görülmüş ve birkaç noktadan alınan titreşim kayıtlarından hareketle yapılan sismik enerji hesaplarından hareketle, sismik enerji yayılım denkleminin ortaya konması gerektiği ve hesaplamalarında buna göre yapılması gerektiği görülmüştür.

4.4. Patlayıcı Madde Enerjisinin Belirlenmesi

Patlayıcı ile kayaca aktarılacak toplam enerji miktarını belirlerken delik sayısı, bir atımda kullanılan toplam patlayıcı madde miktarı ve her bir delik içinde bulunan patlayıcı madde miktarı atımlar esnasında gözlemlenmiş ve firmada konu ile ilgili mühendis bilgileri ile teyit edilmiştir. İzlenen atımlara ait geometrik bilgiler ve patlayıcı madde miktarları Tablo 6'da özet olarak verilmiştir.

Atımlarda patlayıcı madde olarak ANFO, yemleyici olarak kartuş tip yemleyici kullanılmıştır. Hesaplamalarda patlayıcı madde enerjisi ilgili firma ürün kataloğundan elde edilen bilgilere göre hesaplanmıştır. ANFO'nun enerjisi 3.89 Mj/kg olarak alınmıştır.

Tablo 6. İzlenen Atımlara ait Delik Sayısı ve Şarj Bilgileri

Atım no	Delik Sayısı	Sıra Sayısı	Delik başına patlayıcı madde miktarı (kg)	Gecikme başına patlayıcı madde miktarı (kg)	Toplam patlayıcı madde miktarı (kg)	Delik başına enerji miktarı (Mj/kg)	Toplam enerji miktarı (Mj)
(Aky)1	9	1	50,5	50,5	454,5	196,5	1768
(Aky)2	6	1	49,7	49,7	298	193,2	1159,1
(Aky)3	13	1	46,3	46,3	601,5	180	2339,4
(Aky)4	9	1	50	50	450	194,5	1750,5
(Hkt)1	5	1	41,5	41,5	207,5	161,4	807,2
(Akd)1*	9	1	37,5	337,5	337,5	145,9	1312,9
(Akd)2*	14	1	52,8	739,2	739,2	205,4	2875,5

Atımlarda kullanılan yemleyici enerji 4.4 Mj/kg olarak katalog değerinden görülmekle birlikte,

kullanılan ANFO'ya göre ağırlıkça oranı çok düşük olduğundan toplam enerji miktarının hesabı ANFO'ya göre yapılmıştır.

4.5. Enerji Bölüşümleri

Patlatma ile kayaca aktarılan enerjinin bölüşüm kademeleri (kıрма enerjisi, sismik enerji ve ötelenme enerjisi) hesaplanmış ve Tablo 7'de özet olarak verilmiştir.

Tablo 7. İzlenen Atımlara ait Enerji Bölüşümü Özet Tablosu

Atım No	E_p (MJ/delik)	E_k (Mj/delik)	E_s (Mj/delik)	E_t (Mj/delik)	E_{nm} (MJ/delik)
(Aky)1	3,5	26,1	97,7	196,5	69,1
(Aky)2	2,4	10,6	117,8	193,2	62,4
(Aky)3	6,4	34,6	55,4	180	83,6
(Aky)4	2,8	14,5	146,2	194,5	31,3
(Hkt)1	1,6	19,3	96,2	161,4	44,3
(Akd)1*	54.1	88	629,0	1312,9	541.9
(Akd)2*	121.7	84.1	1184,4	2875,5	1485.4

* Bu atımlarda gecikme kullanılmadığından veriler atım bazında değerlendirilmiştir.

4.6. Faydalı Enerji İle Patlatma Verimi Arasındaki İlişki

Faydalı enerjinin patlayıcı enerjisi içindeki oranı:

$$x = \frac{E_k + E_p}{E_t} \quad (7)$$

eşitliği ile ifade edilebilir. Burada,

E_k , kinetik enerji miktarı; E_p parçalanma enerjisi miktarı, E_t ise toplam patlayıcı enerjisi miktarıdır.

Büyüklikleri hesaplanmış enerji bölüşüm kademelerinin toplam enerji içerisindeki yüzdeleri ve faydalı iş yapmaya kullanılan enerji miktarları Tablo 8'de toplu halde verilmiş olup, verim ile ilişkileri alt başlıklar halinde açıklanmıştır.

Tablo 8. Enerji Bölüşümleri Toplu Değerlendirme Özeti

Atım No	% E_k	% E_s	% E_p	% E_{nm}	% E_t	Faydalı Enerji (%)
(Aky)1	13,3	49,8	1,8	35,2	100	15,1
(Aky)2	5,5	61	1,3	32,3	100	6,8
(Aky)3	19,2	31	3,5	46,5	100	22,8
(Aky)4	7,5	75,2	1,3	16,1	100	8,8
(Hkt)1	12	59,6	1,0	27,5	100	13
(Akd)1	6.7	47.9	4.1	41.3	100	10,8
(Akd)2	2.9	41.2	4.2	51.7	100	4,2

Analiz edilen atımlarda toplam faydalı enerji oranı %4-23 arasında değişirken, parçalanmaya harcanan enerji oranları çok daha küçük değerlerde bulunmuştur. Kayayı kırmaya harcanan enerji toplam enerji oranı içerisinde %1,00-4,23 arasında değişmektedir.

Bu durum Akyol taşocağında izlenen atımlarda patlatma enerjisinden yeterince faydalanılmadığının bir göstergesidir. Akyol taşocağında izlenen üçüncü atımda dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe diğer atımlardan daha düşük seçilmiştir. Bunun sonucunda parçalanma enerjisi çok az da olsa artmış ve birinci, ikinci, ve dördüncü atımdan daha fazla olmuştur. Akyol taşocağında yapılan çalışmalarda, ikinci ve üçüncü atımların paternleri aynı olmasına rağmen enerji bölüşümleri farklılık göstermiştir. Bunun nedeninin ise üçüncü atımda ayna tabanında tırnak olması düşünülmüştür. Bu da patern ve şarj miktarı uygun olsa dahi, önceki atımda ayna düzgün kesilmemiş ise yani tırnak kalmış ise patlatma veriminin olumsuz etkileneceğinin bir göstergesidir.

Akdağlar taşocağında ise; izlenen iki adet atımda parçalanmaya harcanan enerjiler %4 civarındadır. Bu atımlarda, kinetik enerji bölümü toplam enerji içerisinde %4 civarında kalmış, sismisiteye ayrılan enerji miktarı %40-47 arasında değişim göstermiştir. Bu ocakta yapılan atımlarda parçalanmaya harcanan enerji bölümünün azlığı yanında ötelemeye harcanan enerjinde düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin gecikmeli ateşleme sistemi kullanılmaması olduğu düşünülmektedir. Yani bu ocakta yapılan patlatmalarda verim oldukça düşüktür.

Haktaş taşocağında, izlenen atımda kinetik enerji bölümü % 12 civarında çıkmıştır. Bununla birlikte sismik enerjiye ayrılan kısım %59 civarındadır. Bu durum da yine şarj miktarı veya patern sorunu olduğunun bir göstergesidir. Parçalanmaya harcanan enerji ise, toplam enerji içerisinde %1 lik bir değere sahiptir. Bu atımda parçalanmaya harcanan enerji Akyol ve Akdağlar taşocağlarında hesaplanan miktarlardan daha azdır.

Ancak Eşitlik 7 patlatma verimi ile faydalı enerji arasındaki ilişkiyi ifade etmez. Patlatma veriminden söz edebilmek için enerji bölüşümünde ve verimde etkili olan bütün

parametrelerin bir arada değerlendirilmesi ve en verimli patlatmanın tanımlanması gerekir.

En verimli patlatma, uygulayıcının istediği sonuçları optimum şekilde veren patlatmadır. Uygulayıcının tesisindeki kırıcıya uygun boyutta parçalanmış, basamak genişliğine-çalışma alanına uygun şekilde ötelenmiş bir yığın; ve bunların yanı sıra çalışma bölgesindeki tesis ve yapıların hasar görmeyeceği titreşim miktarını veren patlatma spesifik olarak en verimli patlatmayı tanımlar.

Patlatma verimi sayısal olarak şu şekilde hesaplanabilir:

$$V = 100 - [|Eki-Ekg| + |Epi-Epg| + |Esi-Esg|] \quad (8)$$

Burada;

V (%): Patlatma verimi

Esi (%): Uygulayıcı tarafından istenen sismik enerji miktarı

Esg(%): Gerçekleşen patlatmadaki sismik enerji miktarı

Eki (%): Uygulayıcı tarafından beklenen kinetik (ötelenme) enerji miktarı

Ekg(%): Gerçekleşen patlatmadaki kinetik enerji miktarı

Epi(%): Uygulayıcı tarafından istenen parçalanma enerjisi miktarı

Epg (%): Gerçekleşen patlatmadaki parçalanma enerjisi miktarıdır.

Burada istenen enerji miktarı ile gerçekleşen enerji miktarı birbirine ne kadar yakın olursa, verim de o ölçüde yüksek olacaktır. Diğer bir deyişle, istenen parça boyut, titreşim ve ötelenme değerlerinden, yüksek veya düşük, ne kadar farklı bir değer bulunursa, en verimli patlatmadan o oranda uzaklaşılır.

Bir diğer nokta ise patern ile patlatma sonuçlarının beraber değerlendirilmesi gerektiğidir. Patlatmada belirlenecek en uygun patern ile gereği kadar patlayıcı madde enerjisi kullanılarak optimum sonuçların alınması istenir. Ancak bu şekilde en verimli patlatmaya ulaşılabilir.

Birkaç örnekle açıklanacak olursa, dilim kalınlığı gereğinden fazlaysa bu durum sismik enerjinin yüksek, parçalanma enerjisinin düşük çıkması olarak sonuçlanabilir. Aynı şekilde dilim kalınlığı

olması gerekenden az ise bu durum parçalanma enerjisinin fazla olmasıyla sonuçlanacaktır. Veya patlayıcı enerjisi gereğinden fazlaysa istenen kırma ve ötelenme sonuçları elde edilse bile sismik enerji yüksek çıkacak bu da verimi düşüreceklerdir.

Patlatmada sismik dalga oluşturmak için ayrıca enerji harcanması istenmez. Toplam enerjinin faydalı enerji olarak kırma ve ötelemeye harcanması istenir.

Bu çalışmada, patlatma verimi ile faydalı enerji arasındaki ilişki patlatmanın sonuçları yönünden yorumlanmıştır. Kaya kütle yapısına göre verimin değişimi, patlatma veriminin sayısal olarak yorumlanması ve enerji bölüşüm kademelerinin verim içindeki etki ağırlıklarının belirlenmesi hala devam eden çalışmalardır.

4.7. Parçalanma Verimliliği

Parça boyutunun ince olması verimliliği doğrudan etkiler. Çünkü parça boyutu küçüldükçe, özellikle çok ince tanelerde, yüzey alanı çok büyüyeceğinden o yüzey alanını oluşturmak için harcanacak enerji de artar. Bu çalışmada toplam faydalı enerji oranı %4-15 arasında değişirken, parçalanmaya harcanan enerji oranı çok daha küçük değerlerde bulunmuştur. Kırmaya harcanan (Ep) enerji toplam enerji oranı içerisinde % 1,25-4,23 arasında değişmektedir. Bu durum izlenen atımlarda patlatma enerjisinden yeterince faydalanılmadığının bir göstergesidir.

Akyol taşocağında izlenen üçüncü atımda, dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe diğer atımlardan daha düşük seçilmiştir. Bunun sonucunda parçalanma enerjisi çok az da olsa artmış ve birinci, ikinci ve dördüncü atımlardan daha fazla olmuştur.

Haktaş taşocağında izlenen atımda ise parçalanmaya harcanan enerji, toplam enerji içerisinde %1'lik bir değere sahiptir. Bu atımda parçalanmaya harcanan enerji miktarı da Akyol taşocağındakilere yakın düzeydedir. Akdağlar taşocağında ise; izlenen iki adet atımda parçalanmaya harcanan enerjiler %4 civarındadır.

İzlenen tüm atımlarda patlayıcı enerjisinin çok küçük bölümlerinin parçalanmaya harcandığı görülmüştür.

4.8. Sismik Verimlilik

Çalışmaların gerçekleştirildiği ocaklarda ve izlenen atımlarda, önceki bölümlerde sistematigi anlatılmış olan yöntemle hesaplanan sismik enerjiler incelendiğinde;

Akyol taşocağında, izlenen dört adet atımda sismik enerjiye harcanan patlayıcı enerjisi kısmı % 30-75 arasında değişmektedir. Akyol taşocağında yapılan onuncu atımda sismik enerjinin daha yüksek çıkmasının nedeni basamak aynasında tırnak olmasına bağlanmıştır. Haktaş taşocağında ise, %59, Akdağlar taşocağında da %40-47 arasında değişim göstermiştir. Bu durum aslında parçalanmaya harcanan enerji miktarlarının düşük oluşu nedeniyle izah etmektedir. Yani sismik dalga yaratmak için harcanan enerji, parçalamaya harcanan enerjiden çok daha fazladır.

4.9. Kinetik Verimlilik

Akyol taşocağında yapılan çalışmalarda kinetik enerji olarak harcanan enerji bölümü %5 ile % 20 arasındadır. Bu durum her bir atımın farklı karakterde olduğunu, patlayıcı enerjisinden her atımda aynı oranda faydalanılmadığını göstermektedir. Akyol taşocağında izlenen üçüncü atımda dilim kalınlığı ve deliklerarası mesafe diğer atımlardan daha düşük seçilmiştir. Bunun sonucunda ötelenmeye harcanan enerji daha fazla olmuştur. Haktaş taşocağında ise, izlenen atımda kinetik enerji bölümü % 12 civarında çıkmıştır. Akdağlar taşocağında yapılan iki atımda kinetik enerji bölümü toplam enerji içerisinde % 3-7 aralığında kalmıştır. Yani bu ocakta yapılan atımlarda ötelemeye harcanan enerji düşüktür.

5. SONUÇLAR

İzlenen atımlarda bir delikteki patlayıcı madde miktarının enerji eşdeğeri alınarak, Sismik enerjiler, Kırılma ve Ötelenme enerjileri hesaplanmış ve her bir atım için kullanılmış olan faydalı enerji miktarları % cinsinden bulunmuştur.

Analizler, arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve hesaplamalardan elde edilen bulgulardan hareketle ve literatürde kabul görmüş yaklaşım ve bağlantılar kullanılarak yapılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür ki patlatma operasyonlarında kırılma ve ötelenme enerjisi düşük, sismik enerji ise yüksektir. Yani sismik dalga yaratmak için harcanan enerji, parçalamaya harcanan enerjiden çok daha fazladır. Bu durum aslında parçalanmaya harcanan enerji miktarlarının düşük oluşu nedeniyle izah etmektedir. Bu durum da patlatma verimliliğini olumsuz etkilemekte, ardışık işlemlerde (yükleme, taşıma, kırma gibi) oluşan ocak üretim maliyetini yükseltmektedir ve aynı zamanda sismik enerjiye daha fazla pay ayrıldığından çevresel açıdan sorunlar yaratılabileceği görülmüştür.

Parçalanma enerjisinin düşük sismik enerjinin ise yüksek olması tasarımda bir hata olduğunun göstergesidir. Yani bu patlatmalarda patlayıcı enerjisinden yeterince faydalanılmamıştır ve patlatma verimleri düşük çıkmıştır. Bunun nedeninin ise, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe ve/veya şarj miktarındaki hatalardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yapılan çalışmalar sonucunda patlayıcı ile kayaya aktarılan enerjinin yaklaşık % 70 inin hesaplanabildiği görülmüştür. Hesaplanamayan kısmın ise gürültü, hava şoku, ısı ve ışık şeklinde atmosfere yayıldığı anlaşılmıştır.

Patlayıcı madde enerjisinden optimum derecede faydalanılamaması patlayıcı madde miktarını yani patlatma maliyetini etkilemektedir. Verimli bir patlatmadan bahsedebilmek için olabilecek en düşük maliyetle alınabilecek en yüksek sonuçları sağlamak gerekir.

Enerji bölüşümünde sabit bir oran olmadığı, bölüşüm oranlarının patern aynı kalsa bile basamak ayna profiline göre değişim gösterdiği anlaşılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı T-10296 numaralı projesi ile destekleyen İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğine, 110M555 numaralı projesi ile destekleyen TÜBİTAK'a, Akyol taşocağı, Akdağlar taşocağı, Haktaş taşocağı sahiplerine ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Catusus, P.S., 2004; "Experimental Analysis of Fragmentation, Vibration and Rock Movement in Open Pit Blasting", Thesis Doctoral, Universidad Politécnic de Madrid Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas.

Dalgıç, S. ve Özer, Ü., 2009; "Akyol Mıdır Ve Mermer San. Tic. A.Ş. Ye Ait Muratbey Kalker Ocağında Meydana Gelen Heyelanın Jeolojik - Jeoteknik Özelliklerine Ait Rapor", İ.Ü. Mühendislik Fakültesi, İstanbul.

Hinzen, K.G., 1998; "Comparison of Seismic and Explosive Energy in Five Smooth Blasting Test Rounds", International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 35(7), 957-967.

Hoek, E. ve Bray, W.J., 1995; "Kaya Şev Stabilitesi", MMO Yayını, (Çevirenler: Paşamehmetoğlu A.G., Özgenoğlu, A. ve Karpuz, C.), Ankara.

Kahriman, A., 1995; "Sivas Ulaş Yöresi Sölestit Cevheri ve Yankayaçları İçin Optimum Patlatma Koşullarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleri ile İlişkilendirilmesi", Doktora Tezi, C.Ü., Sivas.

Kahriman, A., 2005; "Maden ve Taşocaklarında Uygulamalı Kaya Patlatma Teknikleri (Seminer Notu)", İstanbul.

Kalaycı, Ü., 2011; "Patlatmada Harcanan Faydalı Enerji İle Patlatma Verimi Arasındaki İlişkinin

Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Kaya, O., 1971; "İstanbul'un Karbonifer Stratigrafisi", Türkiye Jeol. Kur. Bült., 14(2), 143-199.

Uz, B., 21007; "Akdağlar Madencilik A.Ş.'Nin Ayazağa Köyü Cendere Mevkiinde Yer Alan Kırmataş Ocağı ve Malzemenin Jeolojik/Yapısal, Mineralojik-Petrografik ve Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Etüt ve Değerlendirme Raporu", İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mineraloji Petrografi ABD., İstanbul.

Özer, Ü., 2001; "Patlatma Kinematığının Araştırılması ve Patlatma Simülasyonu", Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

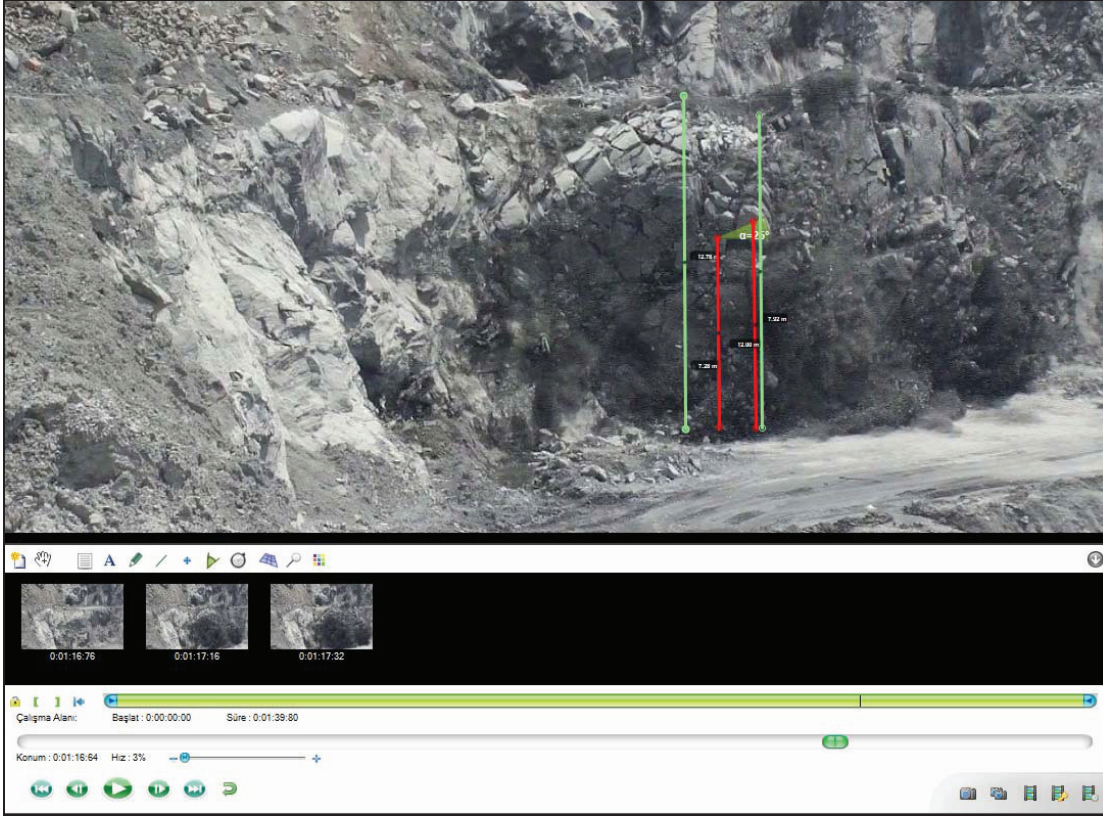
Paşamehmetoğlu, A.G., 1986; "Divriği Madenleri Müessesesi Açık Ocağında Patlatma Sorunlarının Etüdü", ODTÜ, Ankara.

Sanchidrian, J. A., Segarra, P., ve Lopez, L. M., 2007; "Energy Components in Rock Blasting", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 44(1), p:130-147.

Spathis A.T., 1999; "On the Energy Efficiency of Blasting", Proceedings of the Sixth International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, The South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, 81-90.

EK :

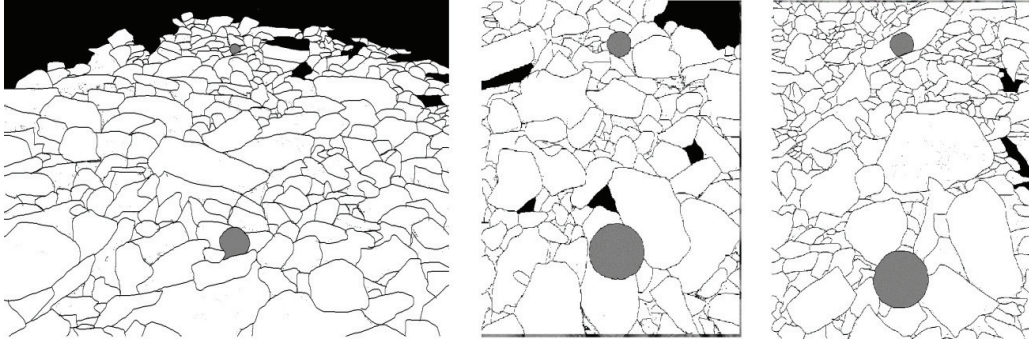
Kinetik enerji miktarını belirlemek amacıyla yapılan mesafe ve süre bilgilerinin analizi.



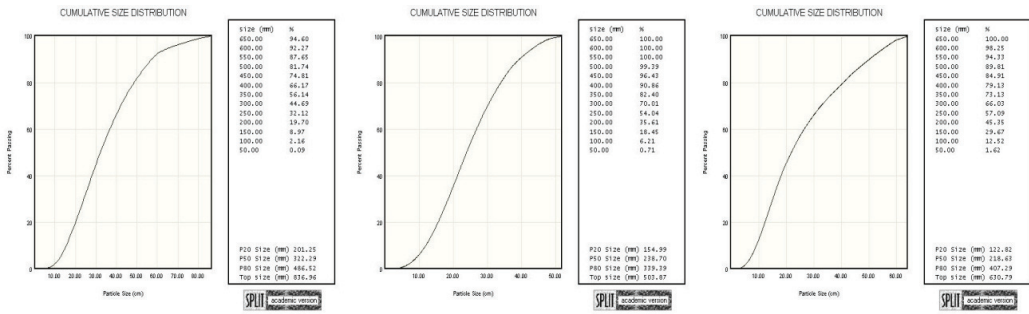
Parçalanma enerjisi belirlemek amacıyla yapılan parça boyut dağılımı analizi.



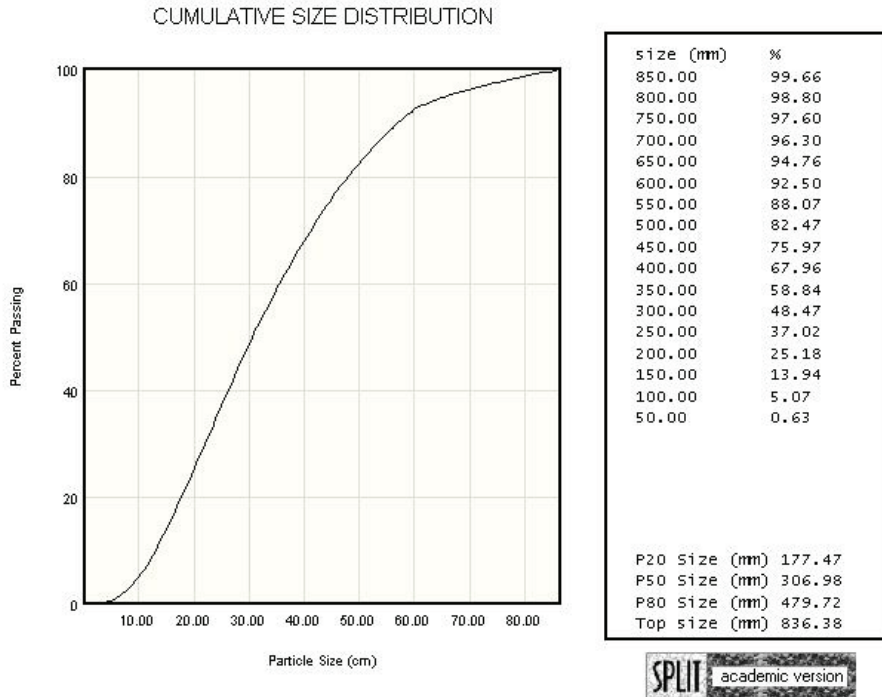
Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların gray-scale görüntüleri.



Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların Split Desktop programı ile işlenmiş görünümü



Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların kümülatif parça boyut dağılımları

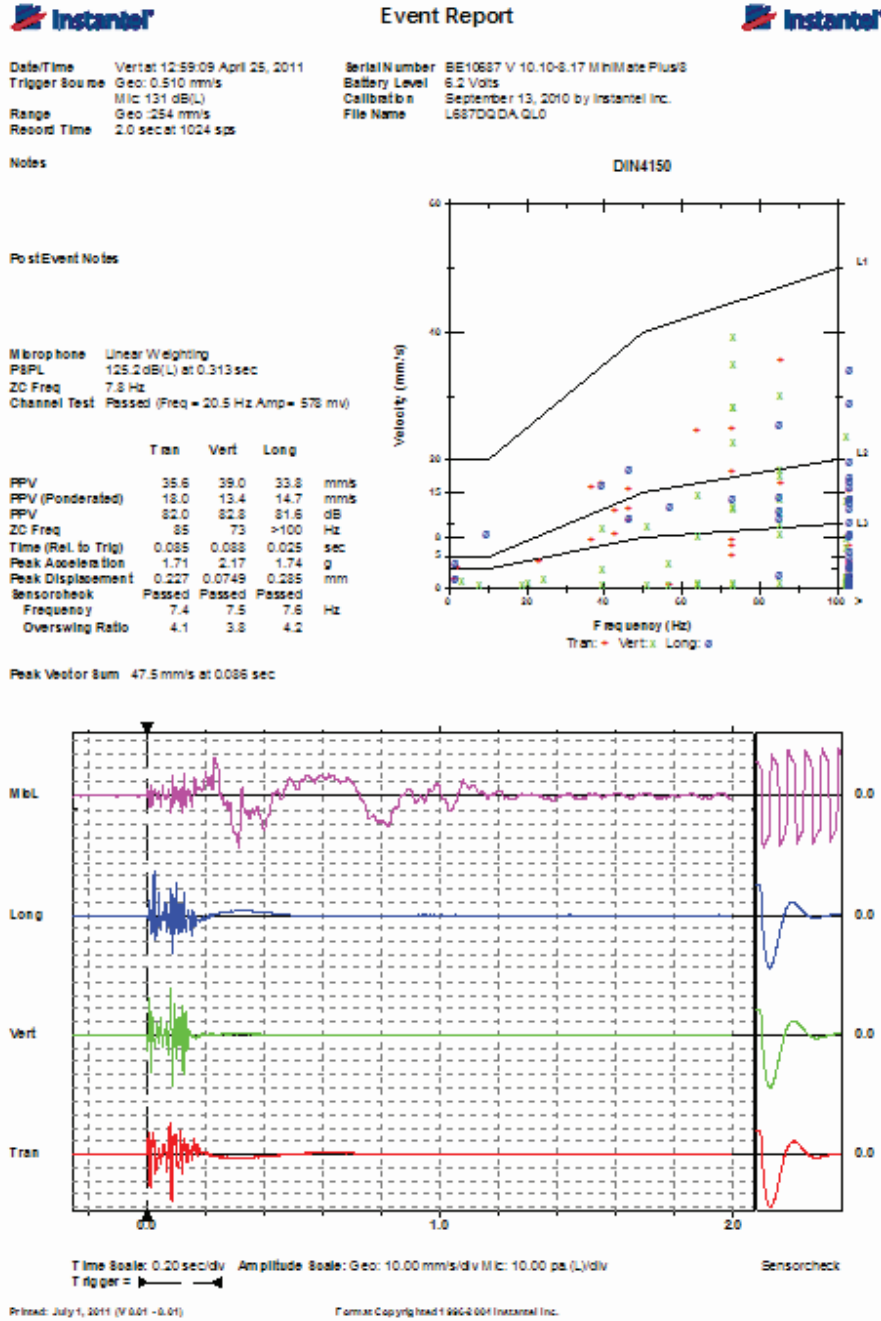


Yığının kümülatif parça boyut dağılımı

Parça boyut dağılım analizi

Dağılım Sınıfı	Parça Boyutu (mm)
P20	177.47
P50	306.98
P80	479.72
En büyük parça	836.38

sismik enerji analizinde kullanılan titreşim olay raporu.



Yüksek Hassasiyet Düşük Maliyet

GPS ALICISI

İster birkaç "dm"

İster "cm"

Hassasiyet artık daha uygun fiyata

- Maden arama
- İzin ve ruhsat
- Maden yatakları haritaları
- Rezerv hesaplamaları
- Dekopaj
- ÇED raporları...

İçin vazgeçilmez
konum ölçüm ve uygulama cihazı



ashtech.

GEOMATICS
GROUP

Beyler Cd. 1644. Sk. No:2
Dostkent Sitesi Yanı
Çayyolu / ANKARA
Tel : 0 312 238 22 55
Fax : 0 312 238 22 85
web : www.gpsturk.net

KURU KÖMÜR ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN TANITILMASI VE BAZI TÜRK KÖMÜRLERİNİN TEMİZLENMESİ İÇİN FGX CİHAZININ DENENMESİ

Introduction of Dry Coal Beneficiation Methods and Testing of FGX Device for Cleaning Some Turkish Coals

Hasan HACİFAZLIOĞLU*

ÖZET

Bu çalışmada, geçmişten günümüze kadar geliştirilmiş olan kuru kömür zenginleştirme yöntemleri tanıtılmış ve son yıllarda Çin'de geliştirilmiş olan FGX cihazı ile bazı Türk kömürlerinin zenginleştirilebilirliği araştırılmıştır. FGX cihazı ile yapılan deneyler sonucunda, Türk kömürlerindeki kül ancak %10 ile 15 aralığında giderilebilmiştir. FGX cihazı ile yüksek kül giderme oranları sağlanamamıştır. Manisa (Soma) kömürüne uygulanan yüzdürme-batırma deneyi sonucunda, Soma kömüründen %6.50 ile %25.52 küllü temiz kömürlerin elde edilebileceği görülmüş ancak FGX cihazı ile optimum koşulda %30 küllü temiz kömür elde edilmiştir. FGX cihazı ile yüksek kül giderim değerlerinin elde edilememesinin en büyük nedeni başta Taggart kriteri, yani ayırma ortamının (havanın) yoğunluğunun düşük olmasıdır. Ayrıca FGX cihazının bir diğer sakıncası 10mm'den daha ince taneleri hiç ayırmadan direkt temiz kömür ürününe geçirmiş olmasıdır. Sonuç olarak FGX, 10 mm'den daha büyük tanelerin zenginleştirilmesinde verimli olup, yalnızca ön-zenginleştirme amacına yönelik olarak kullanılabilen bir kuru zenginleştirme cihazıdır. Özellikle Termik santrallerin yaygınlaştığı günümüzde, serbest yan taşların bu cihaz ile uzaklaştırılması santralde yakılan kömürün külünde düşümler sağlayacak ve ısı değeri artarken oluşturduğu cüruf ve uçucu kül miktarı azalacaktır.

Anahtar Sözcükler: Kuru Zenginleştirme, Kömür, FGX, Akışkan Yatak, Havalı Jig, Allair, Bradford

ABSTRACT

In this study, dry coal beneficiation methods, which have been developed from past to present, are introduced and beneficiability of some Turkish coals is investigated with FGX device developed in China. As a result of tests conducted by FGX device, ash in Turkish coals could only be removed at an interval of 10% to 15%. High ratios for ash removal could not be ensured by FGX device. As a result of float-and-sink test applied to Manisa (Soma) coal, it was seen that clean coals with an ash of 6.50% to 25.52% could be obtained but clean coal with 30% ash was obtained by FGX device in optimum conditions. The major reason why high ash removal values could not be achieved with FGX device is that first of all, Taggart criterion, in other words the density of separation medium (air), is low. Besides, another disadvantage of FGX device was that it carried particles finer than 10 mm directly into clean coal product without separating. Consequentially, FGX is efficient in beneficiation of particles greater than 10 mm; it is a dry beneficiation device that can only be used for pre-beneficiation purposes. In the present day, when especially power plants have become widespread, removal of free lateral stones with that device would enable reductions in ash of coals burned in power plants and the amount of fly ash and slag, which they form while heating value increases, would decrease.

Keywords: Dry Beneficiation, Coal, FGX, Fluidized Bed, Pneumatic Jig, Allair Jig, Bradford

* Araş. Gör. İstanbul Üniv., Müh. Fak., Maden Müh. Böl., Avcılar/İSTANBUL hasanh@istanbul.edu.tr

1. GİRİŞ

Son yıllarda kömür madenciliğinin özellikle kurak bölgelerde yaygınlaşmasıyla birlikte su kullanılmadan kömürün temizlenmesine yönelik çalışmalarda artmıştır. Temeli on sekizinci yüzyılın başlarına dayanan bu yöntemde su yerine hava kullanılmakta ve bu ortamda kömür ile yan taş çeşitli cihazlar ve onların değişik çalışma prensipleriyle birbirinden ayrılmaktadır. Geliştirilen cihazlar, kömür ve yan taş arasındaki bazı fiziksel özellik farklılığından faydalanarak ayırma yapmaktadır. Bu farklılıklar; yoğunluk, renk, gevreklik, elektriksel özellik ya da manyetik duyarlılık olabilmektedir. Günümüzde en yaygın kullanılan FGX ve Allair jigi gibi kuru zenginleştirme yöntemleri yoğunluk farkına dayalı zenginleştirme yapan cihazlardır. Optik, elektrostatik ve manyetik yöntemler ise uygulama zorlukları, düşük verimlilikleri ve yüksek işletim maliyetleri nedeni ile çok fazla uygulama alanı bulamamıştır.

Kuru zenginleştirme yönteminin klasik yaş yöntemlere göre birçok avantajı bulunmaktadır. Özellikle termik santrallerde yakılan yüksek nem ve kül oranına sahip linyitler için kuru yöntemle zenginleştirme; üzerinde özellikle durulan bir yöntem olmaya başlamıştır. Bunun nedeni genelde tüvenan haliyle yakılan linyitlerin yüksek kül oranının yarattığı problemlerin (çürük ve kurum oluşumu, korozyon vb.) azaltılma isteğidir. Yaş yıkama yöntemi ile kül oranındaki düşüğe bağlı enerji içeriğindeki artışın büyük kısmı yüzey nemi artışı ile kaybedilmektedir. Bazı düşük dereceli kömürler suyla muamele edildiğinde ufalanabilmekte, nem ve aşırı ince tanelerden kaynaklanan sorunlara sebep olabilmektedir. Kimyasal maddeler içeren ince taneli çamurun atılması, baraj yapımı ve bakım maliyetleri önemli oranlarda olabilmektedir. Yaş yöntemlerde önemli bir maliyet unsuru olan suyun neden olduğu tesis atık problemleri, kuru yöntemlerde oluşmamakta, büyük hacimli atık barajlarına gereksinim duyulmamakta, ıslanma nedeni ile kömür nemi artmamakta, işlem daha basit olmaktadır. Ayrıca kışın sert geçtiği bölgelerde suyun donması, ya da bazı kurak bölgelerde su sıkıntısının yaşanması da yaş yöntemin dezavantajlarını oluşturmaktadır. Ayrıca, kuru yöntemlerde daha az tozlaşma veya ufalanma meydana gelmekte ve toz kayıplar minimize olmaktadır [1,2,3]. Kuru zenginleştirme yöntemleri özellikle 1930-1990 yılları arasında yaygın bir şekilde uygulanmış ancak düşük

ayırma yoğunlukları ve düşük ayırma verimlilikleri nedeni ile zamanla popüleritesini yitirmiştir. Ancak son yıllarda küresel ısınma ve iklim değişiklikleri nedeniyle ortaya çıkan su sıkıntısı, kömürlerin kuru olarak zenginleştirilmesini tekrar gündeme getirmiş ve yapılan yeni tasarım ve yaklaşımlar ile kuru kömür zenginleştiriminin daha önceleri oluşturduğu düşük yoğunluk ve düşük ayırma verimi gibi dezavantajları ortadan kaldırmıştır. Yeni geliştirilen cihazlarda hava ortamına mikronize manyetit (ağır ortam) ilave edilerek ortam yoğunlukları artırılmış ve değişik tasarımlarla cihazların ayırma verimlilikleri yükseltilmiştir [1,4,5].

Bu çalışma kapsamında, geçmişten günümüze kadar geliştirilmiş olan kuru zenginleştirme yöntemleri tanıtılacak ve bu yöntemlerden biri olan karma kuru kömür temizleyicisi FGX cihazı ile bazı Türk kömürlerinin zenginleştirilebilirliği araştırılacaktır.

2. KURU KÖMÜR ZENGİNLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Geçmişten günümüze kadar geliştirilmiş olan kuru kömür zenginleştirme yöntemleri Çizelge 1'de özetlenmiştir. Elle ayıklama yöntemi kuru zenginleştirme teknolojisinin en ilkel yöntemi olup halen pek çok tesiste uygulanmaktadır. Günümüzde en yaygın kullanılan kuru zenginleştirme cihazları yoğunluk farkı esasına dayalı zenginleştirme yapan cihazlardır. Endüstriyel ölçekte; FX, FGX, Akaflo ve Allair jiginin Çin, Amerika, Avustralya gibi ülkelerde pek çok uygulaması mevcuttur.

Genel olarak kuru kömür hazırlama teknolojilerini 5 ana grup altında toplamamız mümkündür. Bunlar uygulama sıklığına göre; yoğunluk farkına dayalı yöntemler, görüntü ve renk farklılığına dayalı yöntemler, boyut, şekil, ufalanma, esneklik ve sürtünme katsayısına dayalı yöntemler, manyetik duyarlılığa dayalı yöntemler ve iletkenliğe dayalı yöntemlerdir.

2.1. Yoğunluk Farkına Göre Ayırma Yapan Yöntemler

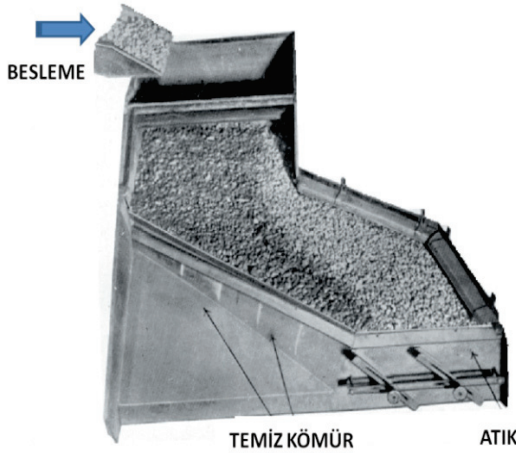
Kuru zenginleştirme yöntemlerinin çoğu bu gruba girmektedir. Ayrıca endüstride en çok kullanılan cihazlarda bu grup içerisinde yer almaktadır. Bunlar; havalı masalar, havalı jigler, karma kuru temizleme cihazları ve kuru ağır ortam (akışkan yataklı) ayırma cihazlarıdır.

Çizelge 1. Kuru Kömür Zenginleştirme Yöntemleri.

<i>Kuru Zenginleştirme Metodu</i>	<i>Alternatif Tipleri</i>	<i>Ayırma Farklılığı</i>	<i>Uygulama Boyutu (mm)</i>	<i>Referans</i>
<i>Elle Ayıklama</i>	Ocakta (yerinde) Bant üstünde Döner tablada	Görünüş Renk Yoğunluk	30-300	[1,3,14]
<i>Optik Ayırma</i>	Rhewum Datasort, Optosort GmbH Sortex-Z	Görünüş, Renk, Radyoaktivite Manyetik rezorans Mikrodalga NMR-hydrogen	1-250	[3] www.rhwum.com www.optosort.com www.buhlergroup.com
<i>Eleme (Elekler)</i>	Derric Elek, Metso Elek Hein Lehmann	Boyut, Şekil, Ufalanma	0.2-300	[1, 3,14] www.metso.com www.heinlehmman.com www.derrickequipment.com
<i>Hızlandırıcı</i>	Accelerator	Ufalanma Esneklik	10-200	www.imperial-technologies.com
<i>Döner Kırıcı</i>	Bradford, McNally	Ufalanma Esneklik	10-2000	[1,2, 3, 7] www.penncrusher.com
<i>Havalı Masa</i>	APS Masası, 3-S Masası, Berry Masası	Yoğunluk	1-10	[1,2, 3,7]
<i>Havalı Jig</i>	Air Flow Jig, All Air Jig,	Yoğunluk	2-50	[1,3,7,8] www.indiamart.com
<i>Spiral Ayırıcı</i>	Pardee spirali	Sürtünme Katsayısı	1-10	[3,6]
<i>Beresford Ayırıcısı</i>	Beresford masası	Esneklik, Sürtünme katsayısı	10-35	[1,2,3, 6]
<i>Karma Kuru Temizleme Cihazları</i>	FMC, FX, FGX, Akaflow	Yoğunluk	100-1	[8,9,10,11] www.fgxseptech.com www.akwauv.com
<i>Kuru Ağır Ortam Ayırması</i>	Akışkan yataklı ayırıcılar.	Yoğunluk	300-0	[4,5,6,13]
<i>Manyetik Separatörler</i>	Yüksek alan şiddetli Düşük alan şiddetli	Manyetik Duyarlılık	1-100	[14,15,16] www.eriez.com www.metso.com
<i>Elektriksel Ayırıcılar</i>	Elektrodinamik Elektrostatik	İletkenlik	2-0	[3, 7, 13] www.outotec.com www.metso.com

2.1.1. Havalı Masalar

Havalı masalarla ilgili ilk patent 1850 yılında alınmıştır. İlk endüstriyel uygulamaları ise 1924 yılında başlamıştır. Şekil ve çalışma prensibi olarak Deister sarsıntılı masalarına benzemektedir ancak masa yüzeyleri delikli olmaktadır. Eğimli yüzeye sahip masaya beslenen tüvenan kömür, elek şeklindeki masa yüzeyinden gelen statik hava ile tabakalandırılmakta, hafif olan ve hava akımı ile hareket kazanan temiz kömür masanın en uç daralan kısmından ayırıcının üst kısmından kazanılmaktadır. Elek yüzeyine temas eden yan taş ise eğimin tersi yönünde taşınarak masadan uzaklaştırılmaktadır. Bu masalardan en bilinen tipleri; APS, 3-S, Saxson Cleaner ve Berry masasıdır. Kapasiteleri 12-60 ton/saat arasında, kömür besleme boyutları ise 2-4 mm'den 5-10 cm'ye kadar değişebilmektedir [1,6]. Şekil 1'de APS masası gösterilmiştir.

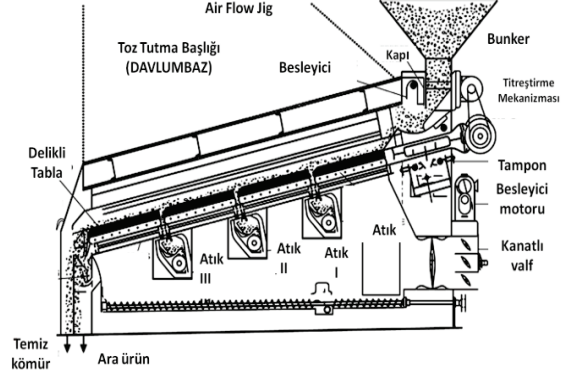


Şekil 1. Havalı masa.

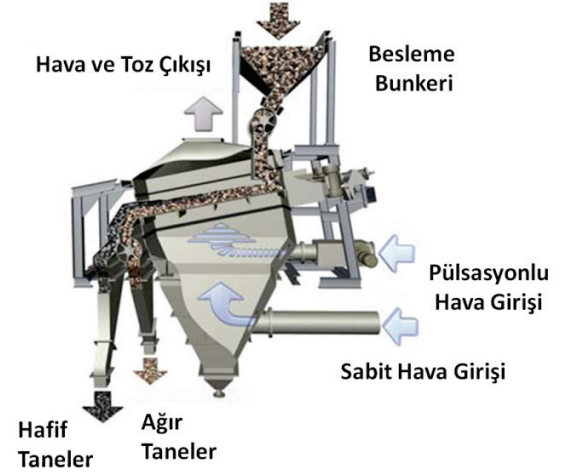
2.1.2. Havalı Jigler

Havalı jiglerin ilki Earl Stump tarafından 1932 yılında geliştirilmiştir. Airflow jig adıyla bilinen bu jig Şekil 2'de gösterildiği gibi; eğimli ve titreşimli bir elek şeklindedir. Alt kısımdan verilen basınçlı hava delikli yüzeye alttan girmekte ve altta yoğunluğu yüksek taş, üstte hafif kömür olmak üzere tabakalaşma meydana getirmektedir. Ağır taneler, tabakadan elek yüzeyi boyunca yerleştirilmiş uç boşaltma ünitesi ile alınmaktadır. Yüzeyin sonunda dördüncü bir boşaltma sistemi ara ürün için yerleştirilmiştir. Çok sayıda taş çıkış düzeneği olması, yatak kalınlığının ve artık içeriğinin az olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle de besleme ve çıkış bölgeleri arasında direnç farklılıkları meydana geldiği

için, elek yüzeyi altına seramik topraklar konularak havanın kısa devre yapması engellenmeye çalışılmaktadır. Seramik toprakların oluşturduğu tabakanın kalınlığı besleme tarafından çıkış tarafına doğru artmaktadır [1,7]



Şekil 2. Airflow jig.



Şekil 3. Allair jig.

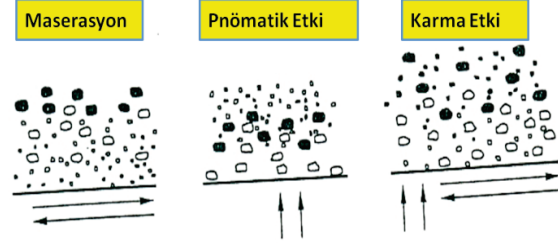
Son yıllarda RWTH Aachen Üniversitesi ve Allmineral tarafından geliştirilen ve özellikle Amerika ve Avrupa'da kullanımı yaygın olan popüler bir havalı jig modeli Allair jigidir. Şekil 3'de görülen Allair jiginde hava; biri sabit diğeri pulsasyonlu olmak üzere iki farklı bölgeden verilmekte ve bu yolla düzenli bir tabakalaşma ile hassas ayırım elde edilebilmektedir. Tabakanın üst kısmından hafif taneler (kömür) alınmakta iken alt kısmından ağır taneler alınmaktadır. Sistemin en önemli avantajı 1-50 mm kömürün sınıflandırılmadan direkt sisteme belenebilmesidir. Her bir metrelik jig tabla genişliği için kapasitesi 50 t/s'e kadar çıkabilmektedir. Endüstriyel uygulamalarda besleme külüne bağlı olarak %10 ile %20 arasında küllü temiz

kömürlerin elde edilebileceği belirtilmektedir. Artık külü ise uygulamalara bağlı olarak %50 ile %60 arasında değişmektedir. [3,8].

2.1.3. Karma Kuru Kömür Temizleme Cihazları

Bu gruba giren cihazlar FMC, FX, FGX ve Akaflow ticari isimleri ile bilinmektedir. Çin'de geliştirilmiş olan bu cihazlar Türkiye'de dahil olmak üzere dünyanın çeşitli ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel havalı jiglere beslenen malzeme boyutu 50 mm ile sınırlı iken karma kuru kömür temizleme cihazlarına 100 mm'ye kadar tüvenan kömür beslemesi yapılabilmektedir. Bu cihazların endüstriyel ölçekte saatte 500 tona kadar kömür temizleme yapabilen uygulamaları mevcuttur [9].

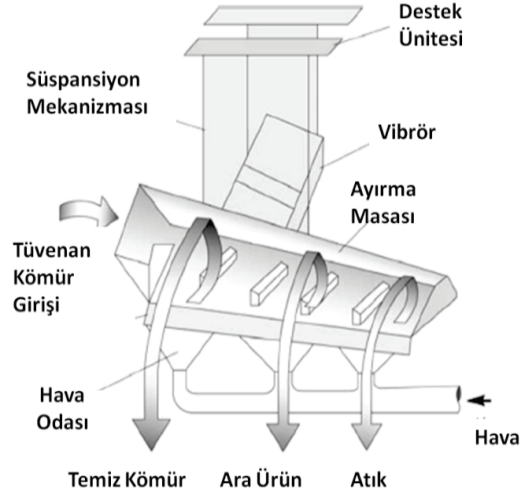
Karma kuru temizleme cihazlarında tüvenan kömür kırılırken meydana gelen toz kömür taneciklerinin havayla birlikte oluşturdukları iki fazlı hava-katı karışımı otojen bir ağır ortam etkisi yaratmaktadır. Buna ek olarak mekanik bir vibrasyon yardımıyla oluşturulan separasyon kuvveti de malzemenin helisel dönme hareketini sağlamaktadır. Böylece, malzeme bu ağır ortamda yüzer hale gelmekte ve tedricen azalan yoğunluk farkına göre dizilerek tabakalanmaktadır [10,11]. FGX cihazında karma etkilerle oluşturulan tabakalaşma Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. FGX cihazında tabakalaşma

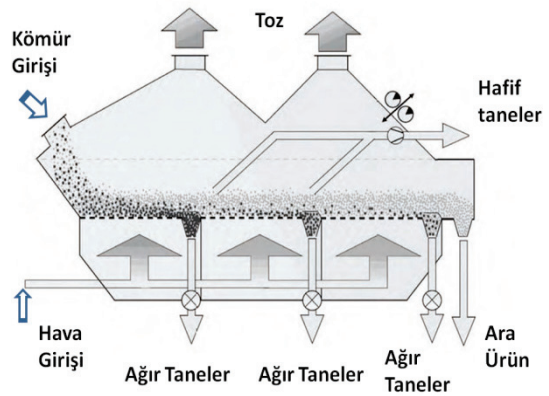
Şekil 5'de basit yapısı verilen FGX cihazının ana parçaları; süspansiyon mekanizması, destek ünitesi, kömür besleme girişi, ayırma masası, vibrör, hava odası, hava besleme girişi, temiz kömür, ara ürün ve atık çıkış yollarıdır. Basıncı hava, masanın altından verilmekte ve delikli masa yüzeyinden geçerek kömürleri yoğunluk farkına göre tabakalandırmaktadır. Havanın yanı sıra karma etki oluşturulabilmesi için, ayırma masası bir vibromotor ile titreştirilmektedir. Bu cihaza beslenen malzeme içerisinde %10-20 oranında toz malzemenin bulunması gerekmektedir. Aksi halde otojen ağır ortam

etkisi meydana gelmeyeceği için etkili bir ayırma gerçekleşmeyecektir. FMC ve FX cihazları da bazı küçük farklılıklarıyla birlikte FGX cihazına benzer prensiple çalışan cihazlardır.



Şekil 5. FGX karma kuru temizleyicisi

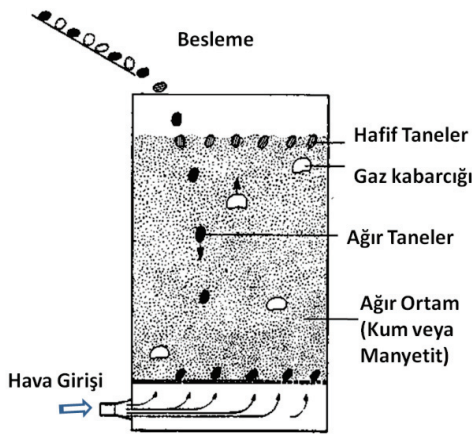
Akaflow tasarım olarak FGX cihazından farklıdır. Ancak, FGX cihazında olduğu gibi vibrasyon ve otojen ortam etkisinden faydalanan karma bir kuru temizleme cihazıdır. Akaflow cihazı, 3 mm'den daha küçük boyutlu ince tanelerin zenginleştirilmesi için geliştirilmiştir. Bu cihaz, taneler arasındaki yoğunluk farkının 0.3 g/cm³'den daha az olması durumunda bile etkili bir ayırma gerçekleştirebilmektedir. Özellikle ince taneli feldispat ve kuvars ayırma endüstriyel ölçekte uygulamaları mevcuttur. Sahil kuvarlarından demir, titan gibi ağır minerallerin giderilmesi için kullanılabilir. Kapasiteleri 120 cm masa genişliği için saatte 5 ile 25 ton arasında değişmektedir (Şekil 6).



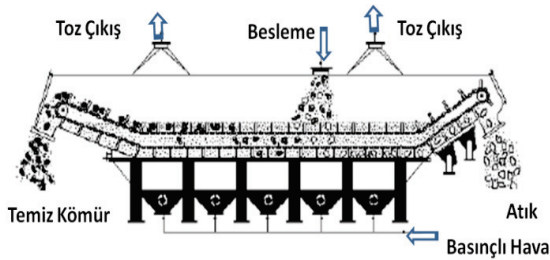
Şekil 6. Akaflow cihazı

2.1.4. Kuru Ağır Ortam Cihazları

Bu tip cihazlarda, basınçlı havanın yanında ayırma ortamının yoğunluğunun artırılması için kum, manyetit ve hematit gibi ağır ortam oluşturmikronize (-38 µm) boyutlu malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler ayırma odası içerisinde akışkan bir yatak (ortam) oluşturduğu için bu cihazlara “akışkan yataklı” kuru temizleme cihazları da denilmektedir. Mikronize öğütülmüş ağır ortam malzemeleri Şekil 7’de görüldüğü gibi havanın etkisi ile ayırma odasında askıda tutulmakta ve yoğunluğu 1.3 g/cm³ ile 2 g/cm³ arasında değişen bir ağır ortam oluşmaktadır. Bu ortam sayesinde yoğunluğu daha büyük olan tanelerde etkili bir şekilde ayrılabilir. Bu cihazın genellikle 50 mm’nin altındaki boyutlarda etkili olduğu belirtilmektedir. Sistemin en önemli dezavantajı kum ve manyetitin geri kazanılma zorluğudur [5, 12,13]. Pilot ölçekli bir akışkan yataklı ayırıcı Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Akışkan yataklı ayırıcı

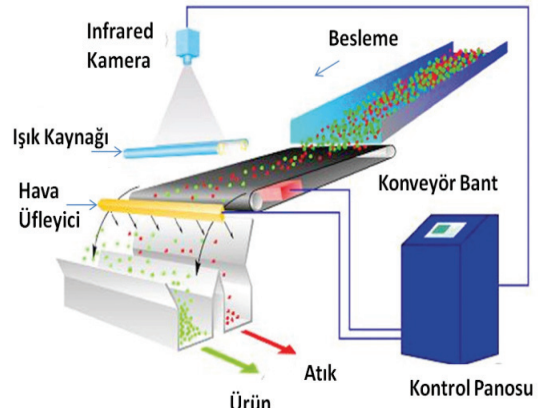


Şekil 8. Akışkan yataklı ayırıcı

2.2. Görüntü ve Renk Farklılığına Göre Ayırma/Ayıqlama

Bu yöntemleri “elle ayıklama” ve “optik ayırma” olmak üzere 2 bölümde incelemek mümkündür.

Elle ayıklama yöntemi bilinen en eski kuru zenginleştirme yöntemi olup, yavaş hareket eden bir bant üzerinde yeterince serbestleşmiş olan kömür ve yan taşın insan seçiciliği ve gücü ile bant üzerinden, yada ocak yerinden alınması ve ayrılması esasına dayanır. Optik ayırma ise; x-ışını, optik tanımlama, elektromanyetik tanımlama gibi yöntemlerle oluşturulmuş otomatik ayıklama yapan bir cihazdır [1]. Bazı mineraller uzun ve kısa dalgalı ultraviyole ışınları altında ışınırlar. Bu özelliklerinden yararlanılarak serbestleşmiş mineral taneleri ultraviyole ışın kaynakları altından geçirildiğinde otomatik optik ayırıcılarla ayıklanarak zenginleştirilebilirler. Şekil 9’da bir optik ayırıcının çalışma prensibi gösterilmiştir.



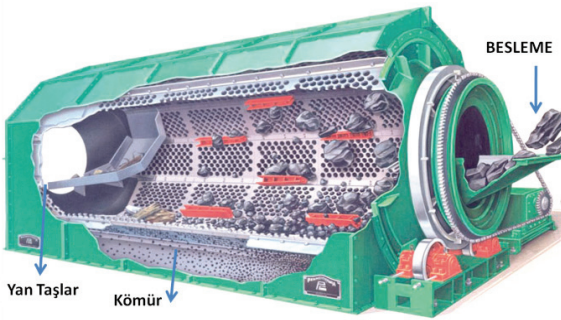
Şekil 9. Optik ayırıcı

Endüstriyel ölçekte uygulamaları çok yaygın olmayan optik ayırıcılardan en bilinen ticari tipleri Optosort ve Rheum Datasort ayırıcılarıdır. Optosort cihazında ayırma işlemi, gerek ayrılacak malzemenin spektral özelliklerine gerekse optik olmayan özelliklerine dayanarak sağlanmaktadır. Ayırmada önemli olan, ayrılması istenen malzemenin artık malzemeden farklı özellikte olmasıdır. Malzemelerin spektral özelliklerinden yola çıkılarak aydınlatmadaki değişiklikler ve multi-sensorik teşhis sistemleri ile taneleri birbirinden ayırmaktadır. Optosort, 300 ile 0.5 mm arasındaki dar besleme tane boyutlarında etkili ayırma yapabilmektedir. Kapasiteleri saatte 150 tona kadar çıkabilmektedir. Rheum Datasort cihazı ise; malzemeyi renkli veya siyah-beyaz olması özelliğine göre teşhis etmekte olup, renkli malzemede tek taraflı algılama, desenli malzemelerde çift taraflı algılama yapmaktadır. Parlaklık ve yansımaya göre, siyah-beyaz

malzeme: volfram, kömür, kurşun-çinko cevheri, talk, magnezyum, kireçtaşı, feldspat, jips, çoklu renklere göre: feldspat, fındık, cam gibi taneleri birbirinden ayırabilmektedir.

2.3. Boyut, Şekil, Ufalanma, Esneklik ve Sürtünme Katsayısına Dayalı Yöntemler

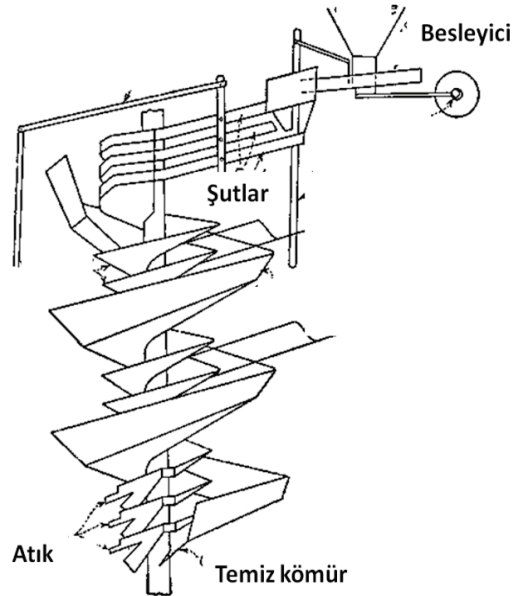
Kömür ve yan taşı oluşturan maddeler çeşitli sertlikteki minerallerden oluşurlar. Değişik sertlikteki madde karışımları kırıldığı zaman, yumuşak maddeler daha çok, sert maddeler daha az ufalanırlar. Diğer taraftan, kömür yan taşta göre daha gevrek bir yapıda olduğu için, dışarıdan gelen bir etki ile daha fazla ufalanır. Sonuçta ince tanelerde yumuşak madde zenginleşmesi iri tanelerde ise sert madde zenginleşmesi gözlenir. Burada karışım halindeki iri ve ince tanelerin bir elekten elenmesi sonucu bir zenginleştirme işlemi gerçekleştirilmiş olur. Kuru kömür zenginleştirmede yaygın olarak kullanılan Bradford kırıcısının içerisinde raflı bir elek yer almaktadır. Eleğin dönmesi ile taneler en yüksek noktaya kadar çıkmakta ve buradan aşağıya düşmektedir. Bu esnada kömür, yan taşta göre daha fazla ufalanmakta ve eleğin gözlerinden geçerek kırıcının altına inmektedir. Ufalanamayan yan taş ise kırıcının çıkış ağzından alınarak ayırım gerçekleştirilir. Günümüzde bu tip silindirik elekli kırıcılar çoğu kömür hazırlama tesislerinde ön zenginleştirme amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 10. Bradford kırıcısı ile zenginleştirme

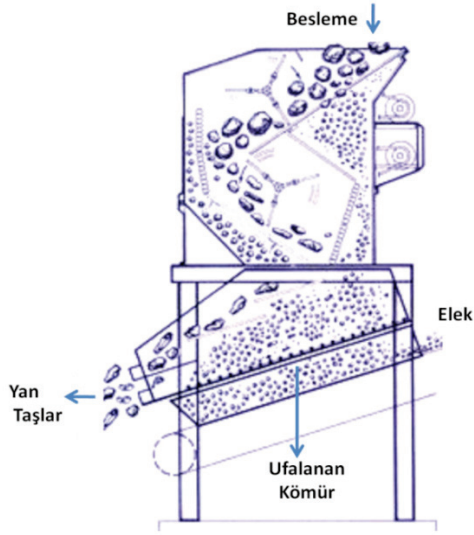
Beresford ayırıcısında ise, belirli boyuta kırılmış tüvenan kömür pürüzsüz eğimli cam masa üzerine beslenir. Masa üzerinde kömür yan taşta göre daha hızlı hareket eder ve masanın en uzak noktasından alınarak ayırım gerçekleştirilir. Burada faydalanan özellik kömürün yan taşta göre daha yüksek esnekliğe ve daha

düşük sürtünme katsayısına sahip olmasıdır [3,6]. Sürtünme katsayısının devreye girdiği bir diğer kömür-yan taş ayırıcısı olan Pardee spirali Şekil 11'de gösterilmiştir. Bu sistemde, tüvenan kömür hızla şutlanarak spirale üstten beslenmekte; yerçekimi, merkezkaç ve sürtünme kuvvetlerinin etkisi ile kömür-yan taş ayırımı gerçekleştirilmektedir. Kömür, daha düşük yoğunluğu ($\sim 1.2 \text{ g/cm}^3$) ve daha az sürtünme katsayısı ile yan taşta göre daha hızlı hareket ettiği için daha yüksek bir ivmeye ya da daha büyük merkezkaç kuvvetine maruz kalır. Bu durumda kömür spiralin eşiklerini aşarak dış kısımdan alınırken, yan taş ise yüksek yoğunluğu ($\sim 2.5 \text{ g/cm}^3$) nedeni ile daha az ivmelenir ve spiralin şaftı boyunca merkezden hareket ederek ayırım gerçekleştirilir [6].



Şekil 11. Pardee spirali ile zenginleştirme

Kömür ve yan taşın farklı kırılma hızlarından faydalanarak geliştirilmiş olan bir diğer kuru ayırıcı tipi ivmelendirici (accelerator)'dir. Şekil 12'de verilen cihazda tüvenan kömür yüksek bir noktadan şutlanmakta, aşağıya doğru inerken çeşitli mekanik (plaka vs.) donanımlarla ivmelendirilmektedir. Bu esnada, kömür cihazda yer alan çarpma plakalarına çarparak ufalanmaktadır. Yan taş ise daha sağlam olduğu için daha az kırılmaktadır. Son aşamada ufalanan kömür taneleri cihazın altındaki bir elekten elenmekte, kırılmayan sağlam yan taş ise eleğin üstünden alınarak ayırım gerçekleştirilmektedir.



Şekil 12. İvmelendirici ile zenginleştirme

2.4. Manyetik Duyarlılığa Göre Ayırma Yapan Yöntemler

Manyetik ayırmada yararlanılan özellik minerallerin farklı manyetik duyarlılıklarıdır. Kömürün içerisinde, pirit (FeS_2) gibi bünyesinde demir bulunan çeşitli inorganik safsızlıklar bulunmaktadır. Bu tür demirli safsızlıkların yüksek alan şiddetli bir manyetik ayırıcıdan geçirilmesi durumunda ayrılması mümkündür. Kömürün inorganik kısmı, pirit mineralinin saflığına bağlı olarak zayıf paramanyetik veya diyamanyetik; organik kısmı ise tamamen diyamanyetik özellik gösterir. Bu özellikler manyetik ayırmada yeterli olmayıp, genellikle pirit taneciklerinin manyetik hassasiyetlerinin artırılması gerekir. İlk yapılan çalışmalarda, piritin manyetik hassasiyeti, aşırı ısıtılmış buhar ile karıştırılarak sağlanmıştır. Bu yolla, pirit oksitlenmekte ve daha güçlü manyetik özelliği olan pirotin (FeS) gibi demir oksit bileşiklerine dönüşmektedir. Daha sonraki çalışmalarda ise, mikrodalga enerjisinden faydalanarak seçimli ısıtma ile pirit taneciklerinin manyetik özellikleri artırılmıştır. Bu yolla, manyetik duyarlılıkları yükseltilebilir piritler daha sonraki aşamada 10000 Gauss ve üstü yüksek alan şiddetli RE (rare-earth) tipi veya elektromıknatıslı manyetik ayırıcılarla ayrılabilir [14,15].

Endüstriyel ölçekte manyetik ayırıcılarla kükürt giderme işlemi kömürün %50'den fazla pirit ve mineral madde içermesi durumunda ekonomik olmaktadır. Bu yüzden manyetik ayırıcılar kömür

zenginleştirme işlemlerinde kullanılmamakta ve yapılan çalışmalar genellikle deneysel ölçekte kalmaktadır. Yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılar ile çeşitli tipteki kömürlerden piritik kükürt %70-90 aralığında giderilebilmektedir [14].

RE tipi Permroll manyetik ayırıcısında Tunçbilek kömüründen kül gideriminin yapıldığı bir çalışmada [16], külü oluşturan marnın %20.31 oranında Fe_2O_3 içerdiği ve manyetik duyarlılığa sahip olduğu belirtilmiştir. Sonuçta, %37.12 kül içeren Tunçbilek kömüründen %28.35 küllü ürünler elde edilmiştir. Diğer taraftan kükürt giderme başarısının %40.33 olduğu belirtilmiş ve kükürt %2.61'den %2.25'e düşürülmüştür.

Endüstriyel kömür zenginleştirme işlemlerinde her ne kadar kuru manyetik ayırıcılar kullanılsa da, ağır ortam esaslı sulu kömür yıkama tesisinde yaş manyetik ayırıcılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Buradaki amaç; ağır ortamı oluşturan toz manyetitinin ince kömür taneleri arasından geri kazanılmasıdır. Kömür-pirit ayırımında kullanılabilecek RE tipi kuru manyetik tambur Şekil 13'de gösterilmiştir.

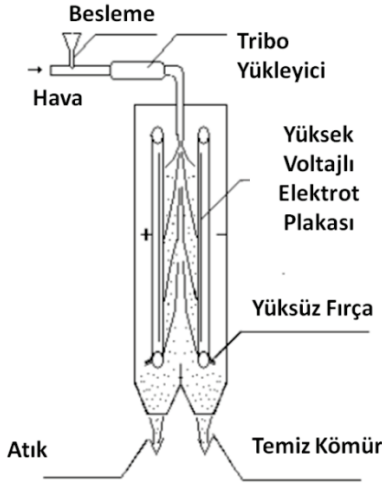


Şekil 13. RE tipi yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırıcı.

2.5. İletkenlik Özelliğine Göre Ayırma Yapan Yöntemler

Bu yöntemde kömür ve yan taşın birbirinden ayrılmasında kömür ve yan taşın elektrik iletkenliğinin birbirinden farklı olması özelliğinden faydalanılır. Bu tip ayırıcılar; elektrodinamik ve elektrostatik ayırıcılar olmak üzere başlıca iki grupta toplanabilir. Elektrodinamik ayırıcılar -2 mm kömürler için uygun iken, elektrostatik ayırma -0.25 mm boyutlu kömür

için uygun olmaktadır. Bu cihazlara besleme yapılmadan önce kömürün dar tane aralığında sınıflandırılması, şlamdan arındırılması ve havada kuru hale getirilmesi gerekmektedir [1]. Uygulama zorlukları ve maliyetleri nedeniyle elektrostatik ve elektrodinamik ayırıcıların endüstriyel uygulaması bulunmamaktadır.



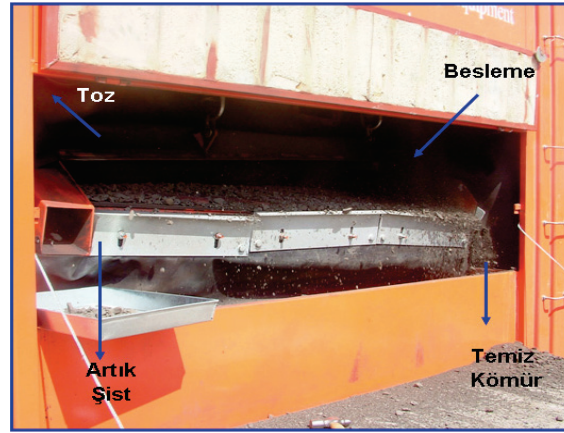
Şekil 14. Triboelektrik ayırıcı

Elektrostatik ayırmada, ayırma kademesinden önce, tanecikler elektrostatik olarak mutlaka yüklenmelidir. Özellikle son yıllarda geliştirilmiş olan triboelektrostatik (Şekil 14) yöntemde tanelerin yüklenmesi, öğütülmüş kömürün bir boru içerisinde basınçlı hava ile taşınırken oluşturduğu türbülans sonucunda, birbirlerine çarpması veya sürtmesi ile elde edilir. Bu yolla, kömür pozitif yük kazanırken, pirit ile kül oluşturan diğer mineraller ise negatif yüklenirler. Daha sonra bu taneler elektrostatik ayırıcı ile birbirinden ayrılır [3,13].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

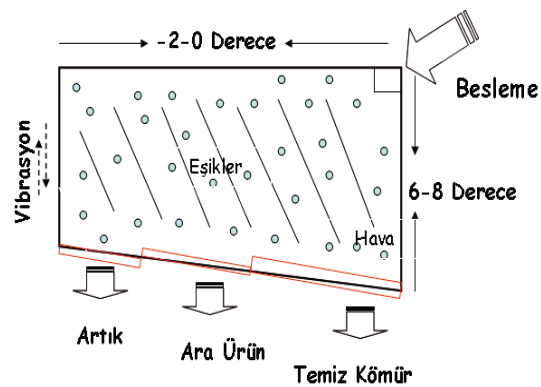
3.1. Kuru Kömür Temizleme Cihazı FGX

DeneySEL çalışmalarında kapasitesi 10 t/saat ve toplam gücü 25.64 kW olan Tangshan Shenzhou firmasının FGX adlı *karma kuru kömür temizleme cihazı* kullanılmıştır. Bu cihazda ayırma masasının toplam ayırma alanı 1 m²'dir. Cihaz 4.1 metre boyunda ve 6.2 metre genişliğinde olup, toplam ağırlığı 3164 kg'dır (Şekil 15).



Şekil 15. FGX kuru kömür temizleme cihazı.

Şekil 16'da verilen cihazın ayırma masasında 7 adet eşik bulunmakta ve bu eşikler arasındaki mesafe 15cm uzunluğundadır. Eşikler birbirine paralel olarak yerleştirilmiştir. Ön panelde yer alan taşma eşikleri ise test edilen kömürler için temiz kömür kısmında 2 cm, ara ürün kısmında 1 cm, artık kısmında ise yoktur. Sisteme hava; maksimum kapasitesi saatte 30.000 m³ olan, 18.5 kW'lık bir motora sahip, 70 cm çapındaki bir fan ile masa altındaki 3 ayrı borudan verilmektedir. Her bir boru masa üzerinde temiz kömür, ara ürün ve artık bölmelerinin hava ihtiyacını karşılamaktadır. Temiz kömür kısmında bulunan borunun %80'i açık, ara üründe %50'si, artık kısmında ise borunun %30'u açık olarak ayarlanmıştır. Diğer taraftan, ayırma masası genliğinin (amplitüt) ayarı için 0.7 kW'lık 2 adet vibromotor kullanılmıştır. Masa genliği kömür tipine bağlı olarak 2 ile 4 mm arasında değiştirilmiştir. Masanın boyuna eğimi -2 ile 0 derece arasında, enine eğimi ise 8 ile 6 derece arasında uygun ayırma koşullarına bağlı olarak ayarlanmıştır.



Şekil 16. FGX'de ayırmanın yapıldığı masanın görüntüsü.

3.2. Tüvenan Kömür Örnekleri

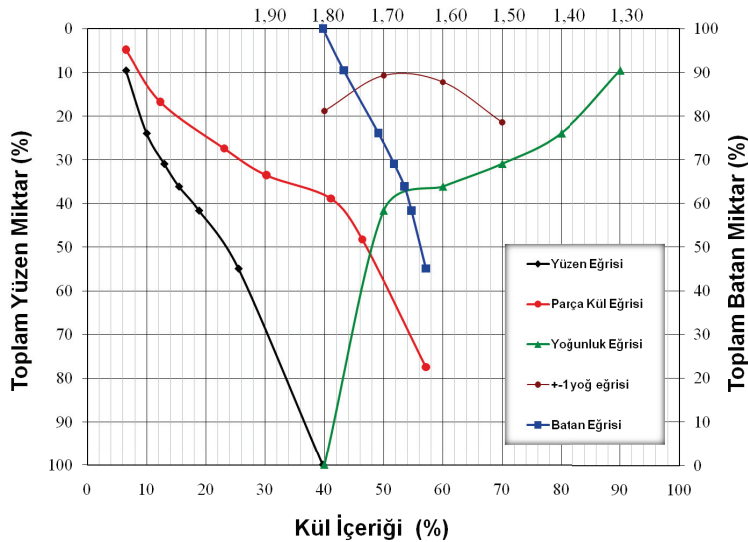
FGX ile zenginleştirme deneylerinde Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden getirilen tüvenan kömür örnekleri kullanılmıştır. Bu kömürler çeşitli nem ve kül içeriklerine sahip; Manisa-Soma, Muğla-Eskihisar, Kütahya-Emirler, Bolu-Mengen, Adıyaman-Gölbasi ve Kastamonu-Azdavay yöresine ait tüvenan kömür örnekleridir. FGX cihazına tüvenan kömürler beslenmeden önce bir çeneli kırıcı ile 50 mm'nin altına kırılmış ve hiçbir ön işleme tabi tutulmadan tozu ile birlikte cihaza beslenmiştir. Cihazdan, temiz kömür, ara ürün, artık ve toz ürün (siklon filtre tozu) olmak üzere 4 ürün alınmıştır. Elde edilen ürünler kuru bazda kül ve ısı değer yönünden analiz edilerek sonuçlar yorumlanmıştır. Kül giderme oranları aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$\text{Kül Giderme (\%)} = 100 - (Y_c \cdot A_c / A_f)$$

Burada, Y_c temiz kömür miktarı, A_c ve A_f sırasıyla temiz kömür ve beslenen kömürün kül içeriklerini ifade etmektedir. Kuru zenginleştirme yönteminin, klasik yaş zenginleştirme yöntemiyle karşılaştırılabilmesi için örnek olarak seçilen Manisa (Soma) kömürüne bir dizi yüzdürme-batırma testleri yapılmıştır. -50+0.5mm fraksiyonun yüzdürme batırma sonuçları Çizelge 2'de, yüzdürme batırma eğrisi ise Şekil 16'da verilmiştir. Bu sonuçlara göre, Manisa (Soma) kömürünün 1.30 gr/cm³ yoğunlukta yıkanması durumunda %6.50 küllü bir ürünün %9.50'lik ağırlıkça kazanım değeri ile alınabileceği, 1.50 yoğunlukta yıkanması durumunda ise %15.45 küllü bir ürünün %36.10'luk ağırlıkça kazanım değeri ile elde edilebileceği görülmektedir.

Çizelge 2. Manisa (Soma) Kömür Örneğinin Yüzdürme-Batırma Sonuçları.

Yoğunluk Aralığı (gr/cm ³)	Yoğunluk Aralığındaki Malzeme			Toplam Yüzen			Toplam Batan		
	Miktar (%)	Kül (%)	M*K (%)	Miktar (%)	M*K (%)	Kül (%)	Miktar (%)	M*K (%)	Kül (%)
-1.30	9.50	6.50	61.75	9.50	61.75	6.50	100.00	3975.99	39.76
+1.30-1.40	14.40	12.30	177.12	23.90	238.87	9.99	90.50	3914.24	43.25
+1.40 -1.50	7.00	23.10	161.70	30.90	400.57	12.96	76.10	3737.12	49.11
+ 1.50 -1.60	5.20	30.20	157.04	36.10	557.61	15.45	69.10	3575.42	51.74
+1.60-1.70	5.50	41.10	226.05	41.60	783.66	18.84	63.90	3418.38	53.50
+1.70-1.80	13.30	46.40	617.12	54.90	1400.78	25.52	58.40	3192.33	54.66
+1.80	45.10	57.10	2575.21	100.00	3975.99	39.76	45.10	2575.21	57.10
TOPLAM	100.00	39.76							



Şekil 17. Manisa (Soma) kömür örneğinin yüzdürme-batırma eğrileri.

Çizelge 3. Farklı Kömürlerin FGX'de Temizlenmesi Durumunda Elde Edilen Ürünler ve Özellikleri.

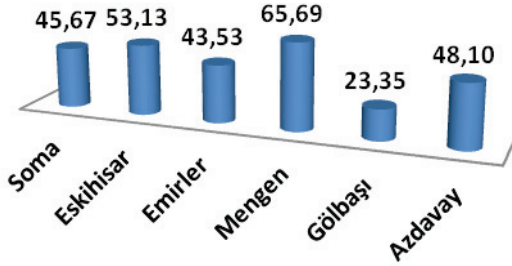
Kömür Örneği	Ürünler	Nem (%)	Kül (%)	Miktar (%)	Alt Isıl Değer (kcal/kg)
MANİSA (SOMA) KÖMÜRÜ (0-50 mm)	Temiz Kömür	12.00	30.00	62.00	3010.00
	Ara Ürün	10.00	54.00	10.00	-
	Atık	7.00	73.00	21.00	-
	Toz	8.00	35.00	1.00	-
	Tüvenan	11.00	39.68	100.00	2480.00
MUĞLA (ESKİHİSAR) KÖMÜRÜ (0-50 mm)	Temiz Kömür	35.00	24.00	70.00	2000.00
	Ara Ürün	27.00	50.00	8.00	-
	Atık	18.00	69.00	20.00	-
	Toz	18.00	62.00	2.00	-
	Tüvenan	32.00	35.84	100.00	680.00
KÜTAHYA (EMİRLER) KÖMÜRÜ (0-50 mm)	Temiz Kömür	22.00	34.00	71.00	2700.00
	Ara Ürün	18.00	55.00	9.00	-
	Atık	14.00	69.00	18.00	-
	Toz	11.00	62.00	2.00	-
	Tüvenan	20.00	42.75	100.00	1900.00
BOLU (MENGEN) KÖMÜRÜ (0-50 mm)	Temiz Kömür	9.00	12.00	68.00	5800.00
	Ara Ürün	6.00	35.00	12.00	-
	Atık	3.00	59.00	18.00	-
	Toz	3.00	40.00	2.00	-
	Tüvenan	8.00	23.78	100.00	4400.00
ADIYAMAN (GÖLBAŞI) KÖMÜRÜ (0-50 mm)	Temiz Kömür	40.00	27.00	85.00	1400.00
	Ara Ürün	35.00	32.00	5.00	-
	Atık	25.00	54.00	9.00	-
	Toz	25.00	53.00	1.00	-
	Tüvenan	38.00	29.94	100.00	1300.00
KASTAMONU (AZDAVAY) KÖMÜRÜ (0-50 mm)	Temiz Kömür	18.00	31.00	70.00	3300.00
	Ara Ürün	15.00	55.00	14.00	-
	Atık	14.00	79.00	15.00	-
	Toz	13.00	56.00	1.00	-
	Tüvenan	15.00	41.81	100.00	2300.00

4. BULGULAR

FGX cihazına beslenen değişik tipteki Türk kömürlerinden elde edilen; temiz kömür, ara ürün, artık ve toz ürünlere ait özellikler Çizelge 3'de verilmektedir. Şekil 18'de ise FGX cihazının farklı kömürlerdeki kül giderme oranları gösterilmiştir. Şekil 19'da FGX ayırma masasının görüntüsü, Şekil 20'de ise soma kömürünün

temiz ve artık kısmının görüntüleri verilmiştir. Çizelge 2'ye göre en düşük küllü temiz kömür Bolu-Mengen kömüründen elde edilmiştir. Bu durumun muhtemel nedeni, Mengen tüvenan kömürünün yan taşı ile kömürü arasındaki yüksek yoğunluk farkı ve tanelerin yeterince serbest halde olmasıdır. Ayrıca Mengen kömüründe yan taş olarak düşük oranda kil, yüksek oranda konglomera türü yüksek yoğunluklu tanelere

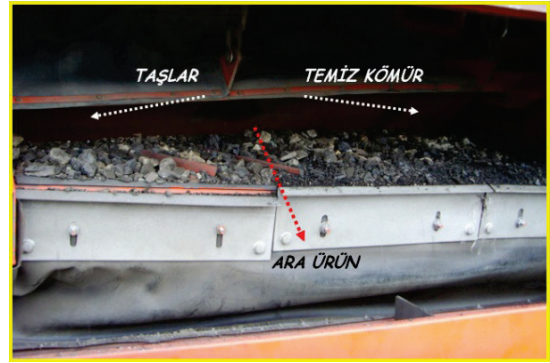
rastlanmıştır. FGX cihazı, %23.78 kül içerikli Mengen kömüründen %12 küllü ev yakıtı (kükürt içeriğinin %2'nin altında olması koşulu ile) kalitesinde (>4500 kcal/kg ısıl değer) bir temiz kömür üretmiştir. Tüvenan kömürün alt ısıl değeri 4400 kcal/kg'dan 5800 kcal/kg seviyesine yükselmiştir. Diğer taraftan, Muğla-Eskihisar tüvenan kömürünün külü %35.84'den %24'e; Manisa-Soma kömürünün külü %39.68'den %30'a; Kastamonu-Azdavay kömürünün külü %41.81'den %31'e; Kütahya-Emirler kömürünün külü %42.75'den %34'e ve Adıyaman-Gölbaşı kömürünün külü %29.94'den %27 düşmüştür. En düşük kül giderme başarısı ise Şekil 18'den de görülebileceği gibi Adıyaman-Gölbaşı kömürünün zenginleştirilmesi durumunda elde edilmiştir. Bu durumun muhtemel nedeni, kömür ve yan taş arasındaki göreceli yoğunluk farkının diğer kömür örneklerine göre daha düşük olması, yani Adıyaman-Gölbaşı linyitinin yıkanabilirlik özelliğinin düşük olmasından kaynaklanmıştır.



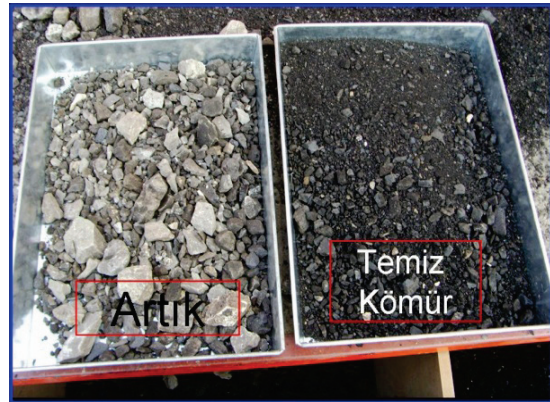
Şekil 18. FGX ile değişik Türk kömürlerinden kül giderme oranlarının karşılaştırılması.

Çizelge 3'deki bulgulardan ürünlerin nem içeriklerine bakıldığı zaman, elde edilen temiz kömürlerin nem içeriğinin beslenen tüvenan kömürün nem içeriğine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Örneğin; FGX cihazına beslenen Azdavay tüvenan kömürünün nem içeriği %15 iken elde edilen temiz kömürün nem içeriği %18 bulunmuştur. Benzer şekilde; Eskihisar kömürünün nemi %32'den %35'e; Emirler kömürünün nemi %20'den %22'ye ve Gölbaşı kömürünün nemi %38'den %40'a yükselmiştir. Bunun nedeni, FGX cihazında, yüzey alanı büyük olan dolayısıyla daha fazla nem tutan ince boyutlu tanelerin verimli bir şekilde ayrılamamasıdır. Başka bir deyişle, FGX'in

çalışma koşulları gereği yüksek nem içeren ince boyutlu tanelerin hemen hemen tamamının her hangi bir ayrışmaya uğramadan direkt temiz kömür ürününe geçmiş olmasıdır. Öyle ki; taşların bulunduğu artık kısmında neredeyse hiç ince boyutlu (<10mm) malzeme yoktur. Taşların bulunduğu artık kısmına yapılan elek analizi sonucunda, artığın %98'inin 10mm'den daha büyük tanelerden oluştuğu saptanmıştır. Bu bulgu, FGX cihazının kısmen boyuta göre ayırma yaptığının bir göstergesidir. Bu durum Şekil 19 ve Şekil 20'de verilen ürün görüntülerinden de açıkça görülmektedir. Cihazda 10mm'nin altındaki boyutlarda zenginleştirmenin olmaması (direkt temiz kömüre geçmesi), kül gideriminde önemli bir dezavantaj oluşturmuş ve bu yüzden yüksek kül giderme oranları elde edilememiştir.



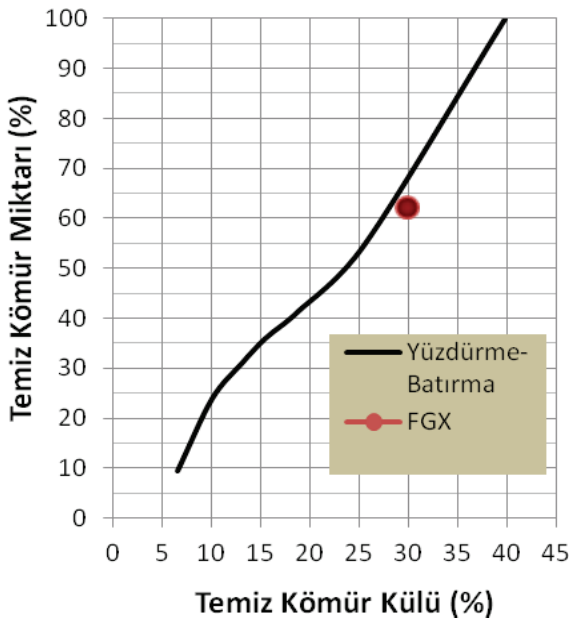
Şekil 19. FGX masası üzerinde boyuta göre ayrışmanın bir görüntüsü (soma kömürü).



Şekil 20. FGX'den elde edilen artık ve temiz kömürün görüntüsü (soma kömürü).

Manisa (soma) kömürünün 1.3 ile 1.8 gr/cm³ aralığındaki yüzdürme-batırma sonuçlarına göre; %39.76 kül içerikli tüvenan kömürden

%6.50 ile %25.52 küllü kömürlerin ağırlıkça %9.50 ile %54.90'luk verimlerle kazanılabileceği açıkça görülmektedir. Oysa FGX'den elde edilen sonuçlara göre; beslenen tüvenan kömürün %62'si %30 küllü olarak elde edilebilmiştir. FGX cihazından elde edilen sonucun, yüzdürme-batırma sonuçları (yüzen eğrisi) ile karşılaştırması Şekil 21'de verilmiştir. Şekil 21'e göre, FGX cihazı, ağırlıkça kazanım yönünden yüzdürme-batırma sonucu ile hemen hemen aynı verimi sağlamıştır. Ancak kül giderim verimi açısından değerlendirildiğinde yüzdürme-batırma test sonuçları %6.5 küle kadar düşebilmekte iken FGX cihazında ince ayırımı yapılamaması nedeni ile kül içeriği %30'un altına düşürülemez.



Şekil 21. Soma kömürünün yüzdürme-batırma test sonucu ile FGX'den elde edilen sonucun karşılaştırılması.

5. SONUÇLAR

Küresel ısınma ve su sıkıntısının hızla arttığı günümüzde, kuru yöntemlerle kömürün zenginleştirilebilmesi önemli bir teknoloji olarak görülmektedir. Ancak uygulamalarda yaşanan sıkıntılar, düşük kül giderim oranları ve istenilen kalitede ürünlerin elde edilememesi bu yöntemlerin her seferinde ikinci planda kalmasına neden olmuştur. Bu yüzden dünya genelinde pek çok kuru kömür temizleyici

geliştirilmesine rağmen bunlardan ancak birkaçı endüstriyel ölçekte uygulama alanı bulabilmiştir. Bunlardan en bilinen tipleri sırasıyla Almanya ve Çin'de geliştirilmiş olan Allair jig ve FGX karma kuru kömür temizleme cihazlarıdır.

Bu çalışma kapsamında, özellikle Çin'de kullanımı yaygın olan FGX cihazı ile bazı Türk kömürlerinin temizlenebilirliği araştırılmıştır. En iyi koşullarda FGX cihazı ile %65'e varan bir kül giderim başarısı elde edilmiştir. Ancak, çoğu kömürlerimizde kül yüzdesindeki düşüş oranı %10 ile %15 aralığında kalmıştır. Bu durumun bir nedeni FGX cihazının 10 mm'den ince boyutlu malzemeyi ayıramaması ve direkt temiz kömür ürününe göndermesidir. Ev yakıtı kalitesinde kömür (%10-18 küllü ve en az 4500 kcal/kg ısı değerli) yalnızca %23.78 besleme külüne sahip Bolu-Mengen tüvenan kömüründen üretilmiş olup, diğer kömürlerden ev yakıtı kalitesinde kömür üretilmemiştir.

FGX cihazı daha çok kömüre göre göreceli yoğunluğu oldukça yüksek olan iri boyutlu taşların uzaklaştırılması şeklinde performans göstermiştir. Bu bakımdan cihaz özellikle düşük kalorili kömürlerin yakıldığı termik santrallerde taş ayıklayıcısı olarak kullanılabilir. Düşük küllü (%10-18) ürünlerin istendiği uygulamalarda ise yaş yıkama öncesinde ön-zenginleştirme cihazı olarak kullanılabilirliği açıkça görülmektedir.

KAYNAKLAR

Arslan, V., "Kuru kömür hazırlama yöntemleri", Madencilik Dergisi, 45 (3): 9-18,2006.

Alderman, J. K., "Improving power plant performance and reducing emissions through the use of pneumatic dry cleaning for low rank coal", SME Annual Meeting, February 26-28, Denver, Colorado, 2001.

Dwari, R.K., Hanumantha, K. "Dry beneficiation of coal-A Review", Mineral Processing and Extractive Metallurgy, 28:177-234, 2007.

Luo, Z., Chen, Q., "Effect of Fine Coal Accumulation on Dense Phase Fluidized Bed Performance", Int. J. Mineral Processing, 63:217-224, 2001.

Chen, Q., Yang, Y., 2003. Development of Dry

Beneficiation of Coal in China”, Coal Preparation, 23:3–12, 2003.

Houwelingen, J.A., Jong, T.P.R., “Dry cleaning of coal: Review, Fundamentals and opportunities”, Geologica Belgica, 7/3-4: 335-343, 2004.

Donnelly, J., 1999; “Potential Revival of Dry Cleaning of Coal”, The Australian Coal Review, October, 12-20, 1999.

Weinstein, R., Snoby, R., “Advances in dry jigging improves coal quality”, Mining Engineering, January, 29-34, 2007.

Hacıfazlıoğlu, H., Buyurgan, S. “Soma Kömürlerin FGX Cihazı ile Temizlenmesi”, TMMOB 21. Madencilik Kong ve Sergisi, Antalya, 443-450, 2009.

Shaolei, Z., “Compaund dry cleaning being an effective method on pre-removing refuse in heavy-medium cola washeries”, China Coal, 1: 9-11, 2006.

Gongmin, L., Yunsong, Y., “Development and application of FGX series compaund dry coal cleaning system”, China Coal, 1: 17-28, 2006.

Weithkaemper, L., Wotruba, H., Sampio, C.H., “Effective Dry density beneficiation of fine coal using a new developed fluidized bed separator”, International Coal Preparation Congress, 587-595, 2010.

Chen, Q., Wang, H. Clean processing and Utilization of coal enrgy, The Chinese Journal of Process Engineering, 6 (3), 507-511, 2006.

 nal, G., G ney, A. “K m r hazırlama yöntemleri ve tesisleri”, K m r, ed. O. Kural,  zg n Ofset Matbacılık A.Ő., İstanbul, 269-295, 1998.

Yaman, S.,  elik, M.S., K  kbayrak, S., “Kömürün k k rd n n giderilmesi”, K m r, ed. O.Kural, KurtiŐ Matbaası, İstanbul, 337-351. 1998.

Bozkurt, V., Bilir, V., Bozkurt, R. Tunçbilek 0-30 mm kriblaj  r n n n kalite arttırımı, III. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu, ed. G.  nal, 11-13 Eylül, İstanbul, 294-301, 1990.

ÖZGÜL ŞARJIN PATLATMA VERİMLİLİĞİNE ETKİSİNİN İRDELENMESİ

Investigation of the Effect of Specific Charge on Blasting Efficiency

Abdurrahman TOSUN*
Gürcan KONAK**
Tuğçe ÖNGEN***
Doğan KARAKUŞ****
Ahmet Hakan ONUR*****

ÖZET

Patlatma operasyonlarında sahanın yapısal jeolojisi ve kullanılan patlayıcı madde miktarı, patlatma verimini belirlemektedir. Bu iki değer, patlatma sonucu oluşan yığın boyut dağılımını ve yığın içinde meydana gelen patar miktarını etkilemektedir. Dolayısıyla yığının ortalama boyut dağılımı ve yığın içinde oluşan patar miktarının azlığı veya çokluğu da patlatma verimini tespit eden faktörlerdendir. Literatürde birçok araştırmacı, sahanın yapısal özelliklerine göre patlatma veriminin nasıl değiştiği ile ilgili birtakım araştırmalar yapmıştır. Bu çalışmada, hep aynı yönde patlatmalar dizayn edilerek sahanın yapısal özellikleri sabit tutulmaya çalışılmış ve patlatma deneylerinde kullanılan özgül şarj değerlerine göre yığının ortalama boyut dağılımı ile yığın içinde oluşan patar miktarının değişimi araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Patlatma verimi, özgül şarj, yığın boyut dağılımı, patar miktarı

ABSTRACT

Structural geology of the field and the amount of explosives used in blasting operations, determine the efficiency of blasting. These two values affect muck pile fragmentation as a result of blasting and the amount of boulder in the pile. Thus, the mean muck pile fragmentation and abundance or lack of the boulders in the pile are the factors that determine blasting efficiency. Many researchers in the literature have studied some of the change in the efficiency of blasting according to the structural characteristics of field. In this study, structural characteristics of the field kept constant by designing all blast at the same direction and mean size distribution and amount of boulders in the pile were investigated according to changing specific charges in blasting experiments.

Key Words: Blasting efficiency, specific charge, muck pile fragmentation, the amount of boulder

* Araş. Gör. Dokuz Eylül Ün. Fen Bilimleri Enstitüsü, Buca/İZMİR, abdurahman.tosun@deu.edu.tr

** Doç. Dr. Dokuz Eylül Ün. Müh. Fak., Maden Müh. Böl., Bornova/İZMİR

*** Araş. Gör. Dokuz Eylül Ün. Müh. Fak., Maden Müh. Böl., Bornova/İZMİR

**** Yrd. Doç. Dr. Dokuz Eylül Ün. Müh. Fak., Maden Müh. Böl., Bornova/İZMİR

***** Prof. Dr. Dokuz Eylül Ün. Müh. Fak., Maden Müh. Böl., Bornova/İZMİR

1. GİRİŞ

Açık ocak işletmeciliğinde sert kayaçların kazılması sırasında kaçınılmaz olarak patlatma işlemleri yapılmaktadır. Patlatma işleminde patlatma verimini etkileyen faktörlerden bazıları, birim hacimde kayacın patlaması için kullanılan patlayıcı madde miktarı (özgül şarj) ve sahanın yapısal özellikleridir. Bu faktörler sabit veya değişken olarak tanımlanabilir. Değişken faktörler, patlatmaya ait kontrol edilebilir parametrelerdir (delik boyu, deliklerarası mesafe, delik çapı, delik eğimi, patlayıcı madde miktarı v.b.). Patlatma operasyonlarında delik boyu, deliklerarası mesafe, delik çapı, delik eğimi, patlayıcı türü, patlayıcı madde miktarları ve gecikme aralıkları gibi parametrelerde değişiklik yapmak oldukça kolaydır. Patlatma bölgesinin jeolojisi genellikle, değiştirilemeyen sabit bir faktör olarak tanımlanmaktadır. Ancak patlatma, kayacın daha kolay parçalanabilmesi için en uygun yönde yapılabilirse değiştirilebilir bir faktör olacaktır. Patlatma yeri ve tabakaların yönelimi konusunda herhangi bir değişiklik yapmak hemen hemen imkânsız veya zor olduğundan dolayı, patlatma üzerine en büyük etkiye sahip faktörün sahanın yapısal özellikleri olduğu ortadadır.

Bazı araştırmacılar süreksizliklerin patlatma verimi üzerine etkilerini tespit ve azaltma yönünde çalışmalar yapmışlardır. Singh D.P ve Sarma K.S' nin 1983 yılında, Singh D.P ve Sastry V.R'nin 1987 yılında laboratuvar boyutunda bazı çalışmalar yapmıştır. Bu konuyu matematiksel yöntemler kullanarak inceleyen araştırmacılar da mevcuttur. Fakat arazide gerçekleştirilecek araştırmalar maliyet açısından yüksek olduğu için bu şekildeki araştırmaların sayısı azdır (Lande, 1983; Bilgin ve vd., 1993).

İki süreksizliğin arasının kapalı, boşluklu ya da dolgulu olmasına bağlı olarak bu süreksizlikler patlatma ile oluşan basınç dalgalarını farklı iletmektedirler (Obert ve Duvall, 1950). Sistematik eklemler kayacın patlatılabilirliğini daha zor bir duruma sokabilir, zayıf zon ve damarlar veya boşluklu süreksizlik yapısı patlayıcının infilak koşullarını değiştirip, açığa çıkan enerjiyi azaltır ve bu enerjinin istenmeyen yönlerde yayılımına sebep olur. Süreksizliklerin arasının kapalı olması dalgaların iletimini etkilemezken, kayaç yapısında boşluklu ya da dolgulu süreksizlik mevcutsa basınç dalgasını farklı

yönlere yansıtmakta ve kuvvetini azaltmaktadır. (Zagreba, 2003). Böyle durumlarda kaya kütlesi daha az kırılır ve patarlanacak kadar büyük boyutlu malzemeler açığa çıkar.

Hopler (1998) eklemler yapıların başlıca iki nedenden dolayı kötü parçalanmaya sebep olduklarına da değinmiştir. Eklemler yapılar, patlatma sonucu oluşan basınç dalgalarının yarıda kesilmelerine sebep olurlar. Bu durum çatlaklı formasyonların, düzgün olmayan kayaç parçalanması ve büyük boyutlu malzemenin ortaya çıkmasına neden olarak çelişkili bir duruma sebep olmaktadır. Eklemler yapılar patlayıcı enerjisinin kaya kütlesi içindeki yayılımını sınırlandırmaktadır. Eklemler yapılar patlayıcı enerjisinin hapsolmemesine neden olabilirler. Patlayıcı enerjisi kaya kütlesi içinde tutulamaz ise patlatma sonrası iri parçalar oluşacaktır. Aralıklı kayaç tabakaları veya kayaçlar arasındaki toprak dolgulu zayıflık düzlemleri gibi zonlarda hava şoku yada gaz kaçıışı meydana gelebilir. Gaz kaçıışına sebep olan bu açıklıkların olduğu kısımlarda sıkılama malzemesi kullanılarak patlatmadan daha sağlıklı sonuçlar elde etmek mümkün olabilecektir.

Yapılan birtakım çalışmalar göstermiştir ki, içerdikleri süreksizliklere bağlı olarak oluşan doğal kaya bloklarının boyutları patlatma sonrası boyut dağılımında önemli bir rol oynamıştır (Ash, 1973; Efremov vd., 1980).

Özkahraman ve Bilgin (1996), dilim kalınlığı sabit kalmak koşuluyla paralel süreksizlik yönünün en geniş kırılma açısını oluşturduğunu, RMR değerleri birbirine yakın olan kaya kütlelerinde en düşük maliyetle en yüksek verim elde edilmesi için şev aynasının yönü hâkim süreksizlik yönü doğrultusunda seçilmesi gerektiğini yaptığı çalışmalarla ortaya koymuştur.

Ali Mortazavi ve P. D. Katsabanis (2000), süreksizliklerin konumu, dolgu durumu, devamlılığı ve eğimini basamak patlatmasında dilim kalınlığının kırılması açısından ele almış, farklı açılarda birbirine dik iki çatlak setiyle patlatma arasındaki ilişkiyi irdelemişler ve buna yönelik bir simülasyon yapmışlardır. Bu simülasyonu çatlaklı kayalarda karşılaşılan tipik patlatma problemlerinin çözülmesi amacıyla kullanmışlardır. Ampirik yaklaşımların birçok jeolojik şartlar ve patlatma koşullarında genelleştirilemeyeceğinin üstünde durarak, yarar

sağlayacak bir model geliştirip patlatma sonrası parçalanmayı tahmin etmeye çalışmışlardır. Tabaka eğim yönü ile basamak aynası aynı yöne doğru olduğunda; geri çatlakların daha fazla meydana geleceği, tırnak problemlerinin daha az olabirliğinin mevcut olduğu, atımın daha ileriye olacağı ve yığın şeklinin daha düzgün olacağına, tabaka eğim yönü ile basamak aynası zıt yöne doğru olduğunda; atımın öne doğru daha az olacağı, patlatma enerjisinin kısmen sönmüleneceği bunun sonucunda yığın içinde daha iri boyutta parçaların oluşacağına, tırnak problemlerinin artacağını tespit etmişlerdir.

Özkahraman (1994), özgül şarj üzerinde, süreksizlik yönelimlerinin etkili olduğunu ve özgül şarj değerlerinin; süreksizlik yönelimlerinin, aynaya paralel olduğu durumlarda minimum olduğunu ifade etmektedir.

Gupta ve Adhikari (1989), patlatma sonrası tane boyut dağılımı için saha çalışmaları anlamında patlatma öncesi ve sonrası arazinin jeolojik durumunu kıyaslayan çalışmaların eksik olduğunu düşünerek, kireçtaşı ve dolomit kayalarda 2 farklı ocakta saha çalışmaları yapmışlardır. Patlatma öncesi mevcut kırıkların etkisi ile temel parçalanma mekanizması arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır.

Hafsaoui ve Talhi (2009), patlatma sonrası parça boyutuna süreksizlik yönleri ve patlayıcı maddelerin delik içindeki yerinin etkisini incelemek amacıyla, laboratuvar boyutunda kireçtaşı özelliklerine uygun 18 farklı model oluşturmuşlardır. Bu modellere 6 farklı konumda süreksizlik yerleştirip, ateşleyiciyi de delik içinde 3 farklı konuma yerleştirmişlerdir. Her blokta tek delik olup dilim kalınlığını hepsinde sabit almışlardır. Patlatma işlemleri sonrası elde edilen 3 farklı grafikte aynı zamanda Kuz-Ram tahmin modeliyle de karşılaştırma yapmışlardır. Yapmış oldukları bu çalışmada ateşleyiciyi patlatma deliğinin ortasına yerleştirdiklerinde tüm süreksizlik yönlerinde en iyi parçalanmayı elde etmişler, yığının ortalama tane boyutu değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Patlatma işleminden önce parçalanma verimini arttırabilmek açısından kayacın çekme mukavemetine yönelik testlerin de yapılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Da Gama (1983), arazi şartlarında yapmış olduğu basamak patlatmalarında homojen kayalara nazaran süreksizlik içeren kayalarda

Bond 3. ufalama kanununa göre daha az enerji ile patlatma yapılabileceğini öngömmüştür.

Fourney vd. (1983), laboratuvar boyutunda yapmış olduğu çalışmada parçalanma mekanizması ile çatlak takımları arasında ilinti kurmuştur. Homojen kayaya nazaran süreksizlik içeren kayalarda elde edilen ortalama tane boyutunun daha küçük olduğunu, yaklaşık 1,5 kat aza indirildiğini öne sürmüştür.

Harries (1983), arazi çalışmalarında gerçekleştirmiş olduğu tam ölçekli basamak patlatmalarında; çatlak setleri ve/veya tabakalanma arasındaki ortalama mesafenin artmasının patlatma sonucu oluşacak kırılma derecesini de arttıracak ileri sürmüştür. Çatlak sayısında artış gözleniyorsa, dilim kalınlığı, deliklerarası mesafe ve sıkılama boyunu arttırmak, buna bağlı olarak da kullanılacak patlayıcı maddenin enerjisini azaltmak gerekebileceği fikrini öne sürmüştür.

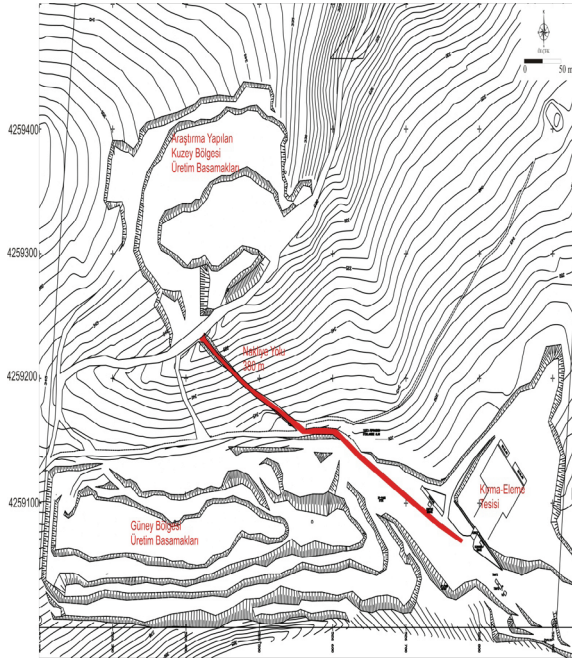
Ash (1973), en iyi parçalanmanın; patlatma deliklerinin kaya kütlelerinde gözlenen en belirgin süreksizlik yönelimine dik yönde delinmesiyle elde edileceğini, eklem setlerine paralel olarak delinen delikler ile büyük boyutlu parçalanma meydana geleceğini ifade etmiştir.

Patlatma işleminde, yığın boyut dağılımının daha iyi sonuçlanabilmesi için tabaka eğim yönü ile patlatma aynasının eğim yönü aynı olmalıdır. Bu şekildeki tabakalarda patlatma işleminde son sıra deliklerin diplerinde aşırı parçalanmalar meydana gelebilmektedir. Patlayıcı enerjisi önceden kayacın yapısında bulunan çatlaklar boyunca hareket ederek kayacı gevşetme ve yer değiştirme işini yapmaktadır.

Patlatma sonucu oluşan yığın içinde sahanın yapısal özellikleri ve özgül şarj kullanımına bağlı olarak bir miktar patar oluşmaktadır. Yığın içinde oluşan patar miktarı ve yığın boyut dağılımı o patlatma işleminin verimini belirlemektedir. Yukarıda verilen araştırmalar, sahanın yapısal özelliklerinin, patlatma verimini nasıl etkilediği ile ilgilidir. Oysa ki patlatma operasyonlarında özgül şarj kullanımı da patlatma verimini etkilemektedir. Pekin, A. (2010) ve Topal. İ. vd. (2011) özgül şarj ile yığın boyut dağılımı arasında ters orantı olduğunu vurgulamışlar ancak bu araştırmalarda patlatma aynalarının yapısal özelliklerini kontrol altına almamışlardır. Ayrıca özgül şarj

değerini de patlatma delik geometrisine göre hesaplamışlardır.

Bu araştırmada, Şekil 1’de verilen Batıçım (Batı Anadolu Çimento Fabrikası)’na ait Arkavadi kalker ocağında sekiz adet patlatma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Üretim basamakları, kırma-eleme tesisi ve patlatma bölgesi plan görüntüsü

Patlatma işlemi öncesi işletmenin üretim planını bozmamak amacıyla sürekli aynı yönde patlatma operasyonları sağlanmış ve bu nedenle patlatma aynasının yapısal özellikleri sabit kalmıştır. Ölçülen patlatma aynalarının yapısal özellikleri Lilly’nin 1986’da belirlediği sahanın yapısal özellikleri sınıflandırmasına göre hep aynı değerler olarak ortaya çıkmıştır. Patlatma deneylerinde sadece özgül şarj parametresi değiştirilerek patlatma sonrası oluşan yığının ortalama boyut dağılımı değerleri ve yığın içindeki patar miktarları belirlenmiştir. Özgül şarj değişimine göre yığının ortalama boyut dağılımı değerleriyle ve yığın içinde oluşan patar miktarları arasında ikili korelasyon analizleri yapılmıştır.

2. ARAZİ ÇALIŞMALARI

Arazi çalışmaları kapsamında patlatma öncesi patlatma aynalarının süreksizlik özellikleri belirlenmiş, sonrasında da yığının ortalama boyut dağılımı, özgül şarj ve yığın içindeki patar miktarları ölçülmüştür.

Patlatma aynalarının yapısal özelliklerinin belirlenmesinde şerit metre ve pusula kullanılmıştır. Şerit metre ile patlatma aynalarının çatlak sıklığı ölçülürken; pusula ile de patlatma aynaları ve tabakalara ait eğim ve eğim yönü açıları belirlenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Çalışma Sahalarından Ölçülen Patlatma Aynalarına ait Süreksizlik Değerleri

Deney no	t (°)	a (°)	d
1	323	150	62,31
2	323	158	45,67
3	280	144	34,21
4	340	160	42,97
5	276	117	26,65
6	302	130	22,34
7	309	130	40,16
8	293	120	25,62

t = Patlatma aynasının tabakalanmalarına ait eğim yönü açısı (°)

a = Patlatma aynasına ait eğim yönü açısı (°)

d= Düşey süreksizlik aralığı (cm/çatlak)

Çizelge 2. Çalışma Sahalarından Ölçülen Patlatmaya ait Kontrol Edilebilen Değerler

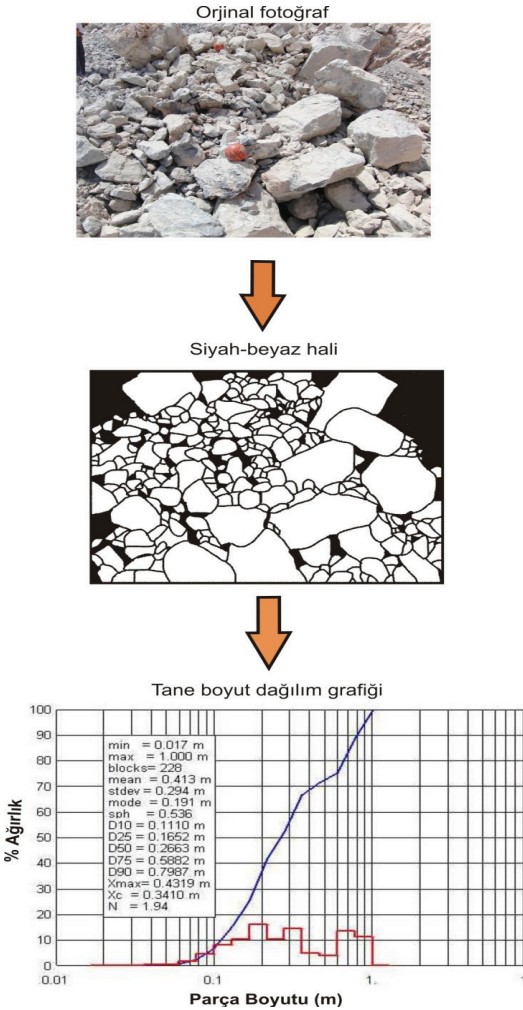
Deney no	Delik sayısı/ sırası	B	S	D	H	Qe
1	30/2	2,50	2,44	89	9,5	34,79
2	20/2	2,77	2,25	89	10,5	33,13
3	20/2	2,37	2,39	89	10,1	31,88
4	12/2	2,84	2,11	89	10,1	30,83
5	18/2	2,55	2,10	89	10,1	31,18
6	18/2	2,17	2,43	89	12,5	47,85
7	20/2	2,39	2,33	89	16,0	68,13
8	12/2	2,18	2,64	89	10,00	33,96

B= Ortalama dilim kalınlığı (m)

S= Ortalama deliklerarası mesafe (m)
D= Delik çapı (mm)
H= Basamak yüksekliği (m)
Qe= Delik başına kullanılan patlayıcı miktarı (kg).

Patlatma işleminin kontrol edilebilen parametreleri olarak dilim kalınlığı, deliklerarası mesafe, delik çapı, basamak yüksekliği ve patlayıcı madde miktarı, değerleri her patlatma deneyi için çok hassas bir şekilde belirlenmiştir. Patlatma deneyleri için ölçülen teknik parametreler Çizelge 2'de verilmektedir.

Gerçekleştirilen tüm patlatma deneylerinde, patlatma sonucu oluşan yığın üzerinden tüm yığını temsil edecek şekilde fotoğraf görüntüleri alınmıştır. Alınan bu görüntüler kullanılarak her bir patlatma deneyi için Wipfrag görüntü işleme tekniği ile tüm yığının ortalama tane boyut değerleri tespit edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Örnek olarak patlatma yığınının bir fotoğrafın Wipfrag görüntü analiz aşamaları

Özgül şarj değeri, bir metre küp kayacın patlamasını sağlayan patlayıcı madde miktarıdır. Patlatma deneylerinde, öncelikle kullanılan patlayıcı madde miktarları hassas bir şekilde gözlemlenerek kaydedilmiştir. Sonrasında da bütün patlatma deneyleri için patlatma sonucu oluşan tüm malzemenin yüklenip nakledilmesi sırasında gözlemler yapılmış ve yığını oluşturan tüm malzeme miktarları işletmeye ait kantardan rapor edilerek alınmıştır. Kullanılan patlayıcı madde miktarlarının, yığınları oluşturan malzeme metreküp değerlerine bölünmesiyle de patlatma deneylerinde kullanılan özgül şarj değerleri tespit edilmiştir.

Patlatma sonucu oluşan malzeme içinde kayaç faktörü ve özgül şarj kullanımına bağlı olarak bir miktar patar oluşmaktadır. Malzeme içinde oluşan patarlar, çalışma sahalarında malzemenin yüklenmesi sırasında ayrı bir yere biriktirilmiştir (Şekil 3). Tüm malzeme yüklenip nakledildikten sonra patarların hidrolik kırıcı tarafından kırılıp kamyonlara yüklenmesi sağlanmıştır. Oluşan patar miktarları, işletmeye ait kantarda tartılıp kaydedilmiştir.



Şekil 3. Yığın içinde meydana gelen patarlar

3. DEĞERLENDİRME

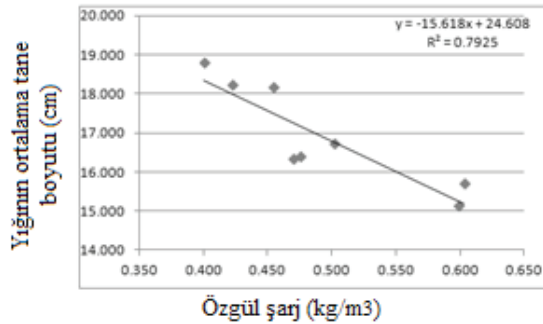
Bu araştırma çalışmasında metod olarak patlatma deneylerine ait özgül şarj değerleriyle patlatma sonucu oluşan yığının ortalama tane boyutu ve yığın içinde meydana gelen patar miktarları arasında değerlendirmeler yapılmıştır.

Çizelge 3'de patlatma deneylerine ait özgül şarj ve yığının ortalama boyut değerleri verilmiştir.

Çizelge 3. Özgül Şarj ile Yığının Ortalama Boyut Dağılımı Değerleri

Deney No.	Özgül şarj (kg/m ³)	Yığının ortalama tane boyutu (cm)
1	0,502	16,730
2	0,422	18,230
3	0,454	18,190
4	0,401	18,800
5	0,469	16,340
6	0,598	15,150
7	0,603	15,730
8	0,475	16,400

Şekil 4'den de görüldüğü gibi özgül şarj ile yığının ortalama boyut değerleri arasında ters orantılı olarak 0.7925'lik bir regresyon katsayısı oluşmuştur.



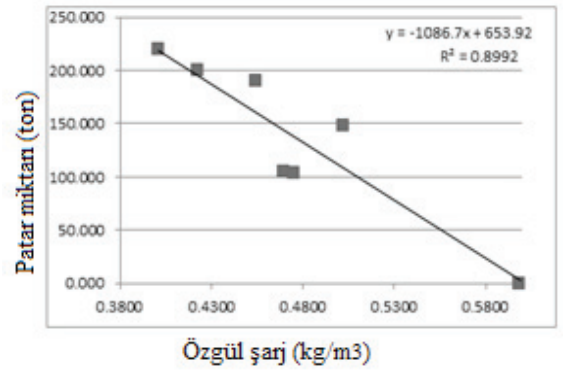
Şekil 4. Özgül şarj ile yığının ortalama boyut dağılımı arasındaki ilişki

Yukarıda ayrıntısı verilen yöntem kullanılarak sekiz adet patlatma deneyinde oluşan patar miktarları kaydedilmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Özgül Şarj ile Patar Miktarı Değerleri

Deney No.	Özgül şarj (kg/m ³)	Toplam patar miktarı (ton)
1	0,502	148,48
2	0,422	200,00
3	0,454	190,00
4	0,401	220,00
5	0,469	105,00
6	0,598	0,00
7	0,603	0,00
8	0,475	103,00

Arkavadi çalışma sahasında yapılan patlatma deneyleri sonucunda ortaya çıkan patar miktarlarıyla özgül şarj değişimleri Şekil 5'de verilmektedir.



Şekil 5. Özgül şarj değerleriyle ile patar miktarları arasındaki ilişki

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Batı Anadolu Çimento Fabrikası'na ait Arkavadi olarak adlandırılan bölgede sekiz adet patlatma deneyi yapılarak değerlendirilmiştir.

Patlatma deneylerinin tümünde patlatılacak aynanın süreksizlik ölçümleri, hat etüdü ve pusula yöntemleriyle belirlenip, patlatma geometrisi-delik düzeni bilgileri ile birlikte kullanılan patlayıcı miktarları tespit edilmiştir. Patlatma aynalarına ait süreksizlik özellikleri, Lilly'nin 1986 yılında belirlemiş olduğu süreksizlik tanımlarına göre hep aynı değerler olarak kalmıştır.

Her bir patlatma deneyinde patlatma sonucu oluşan yığından boyut dağılımı analizi yapmak

üzere görüntüler alınmıştır. Boyut dağılım analizleri, WipFrag görüntü analiz programı ile yığının ortalama boyut değeri (D50) her patlatma yığını için belirlenmiştir. Belirlenen boyut dağılımı analizlerinden en ince parçalanma D50 değerinin 15,15 cm olduğu 6. patlatma deneyi olurken; en iri parçalanma da D50 değerinin 18,80 cm olduğu 4. patlatma deneyinde görülmüştür.

Birim hacimdeki patlayıcı madde miktarı (özgül şarj), her deney için ayrı ayrı tüm malzemenin yüklenip tesiste kırılması beklenene kadar çok hassas bir şekilde belirlenmiştir. En yüksek özgül şarj değeri 0,603 kg/m³ değeri ile 7. patlatma deneyinde; en düşük özgül şarj değerinin ise 0,401 kg/m³ değeri ile 4. patlatma deneyinde olduğu görülmüştür.

Patlatma ile oluşan yığın içindeki patarların, her bir patlatma deneyi için tüm malzemenin yüklenmesi sırasında yığın içinden ayıklanarak ayrı bir yerde toplanması sağlanmıştır. Toplanan patarlar, malzeme yüklenmesi bittikten sonra hidrolik kırıcı ile kırılması sağlanıp, kamyonlarla nakledilmiştir. Nakledilen patarların miktarları, işletmeye ait kantardan her bir patlatma deneyi için kaydedilmiştir. 6. ve 7. Patlatma deneylerinde hiç patar oluşmazken, 4. patlatma deneyinde 220 ton ile en yüksek patar miktarı olarak tespit edilmiştir.

Yapılan patlatma deneylerinden özgül şarj değerinin artmasıyla yığın ortalama tane boyutu ve patlatma işlemi ile oluşan patar miktarı değerlerinin azaldığı görülmüştür.

Bu araştırmada, patlatma sonucu oluşan yığının ortalama boyut dağılımı ile yığın içinde meydana gelen patar miktarı değerleri arasında da bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Yığının ortalama boyut dağılımı değeri arttıkça yığın içindeki patar miktarının da arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

Ash, R.L., 1973; "The influence of geological discontinuities on rock blasting", Minneapolis Ph.D. Dissertation, University of Minnesota.

Bilgin, H. A., Paşamehmetoğlu, A.G., Özkahraman H.T., 1993, "Optimum burden determination and fragmentation evaluation by full scale slab blasting", Proc. 4th Int. Symp. On

Rock Fragmentation By Blasting, Vienna, Austria.

Da Gama, D., 1983, "Use of comminution theory to predict fragmentation of jointed rock masses subjected to blasting", Proceedings, First International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, (565-579) Lulea, Sweden.

Efremov. E., vd., 1980, "Influence on the structure of a medium on fragment-size composition in blasting", Rock Breaking. Institute of Geotechnical Mechanics, Academy of Science of Ukrainian SSR.

Fourney, L. W., Barker, B. D. ve Holloway, C. D., 1983, "Fragmentation in Jointed Rock Material", Proceedings First International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Lulea, Sweden. 505-531.

Gupta, R.N., Adhikari, G.R., 1989, "Influence of discontinuity structure on rock fragmentation by blasting", International Journal of Mining and Geological Engineering, 239-248.

Hafsaoui, A., Talhi, K., 2009, "Influence of joint direction and position of explosive charge on fragmentation" The Arabian Journal for Science and Engineering, Volume 34, Number 2A.

Harries, G., 1983, "A mathematical model of cratering and blasting", Proceeding National Symposium on Rock Fragmentation, Adelaide, 41-54.

Hopler, Robert B., 1998, "Blaster's Handbook", International Society of Explosives Engineers (17.Baskı). Cleveland, Ohio, USA: ISBN: 1-892396-00-9.

Lande, G., 1983, "Influence of Structural Geology on Controlled Blasting in Sedimentary Rocks", Case History. Proc. Int. Symp. On Rock Fragmentation By Blasting. Lulea. Sweden.

Lilly, P.A., 1986, "An Empirical Method of Assessing Rock Mass Blastability" In ProcLarge Open Pit Mining Conference, 89-92.

Mortazavi, A., Katsabanis. P. D., 2000, "Modelling the effects of discontinuity orientation, continuity, and dip on the process of burden breakage in bench blasting", International Journal of Blasting

and Fragmentation, 175-197.

Obert, L., ve Duvall, W. I., 1950, "Generation and Agitation of Strain Waves in Rock Part I", USBM,RI 4583.

Özkahraman, H. T., 1994, "Critical evaluation of blast design parameters for discontinuous rocks by blasting", Ph. D. Thesis METU.

Özkahraman, H. T. ve Bilgin H.A., 1996, "Hâkim Süreksizlik Yönünün Patlatmaya Etkisi Yerinde İnceleme", 2. Delme ve Patlatma Sempozyumu, Ankara.

Pekin, A. 2010, "Ercan Taş Ocağı Delme-Patlatma Sisteminin İncelenmesi", Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü", Balıkesir.
Singh, D.P. ve Sarma, K.S., 1983, "Influence of joints on rock blasting", A Model Scale Study, Proc. 1st Int. Symp. On Rock Fragmentation By Blasting, Lulea, Sweden.

Singh D.P. ve Sastry V.R., 1987, "Role of weakness planes in bench blasting", A Critical Study. Proc. 2nd int. Symp. On rock fragmentation by blasting, Keystone. Colorado.

Topal, İ., Elevation, B., Akçakoca, H. Ve Oğul, K., "2011, Bir Kırmataş İşletmesinde Patlatma Delik Düzeni Değişiminin Kayaç Prçalanmasına Etkisi", Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, Ankara.

Zagreba, V., 2003, "A blasting fragmentation model of rocks. Master of Science in Mining Engineering", West Virginia University.



ankrajlar



*ağır iş
ankrajları*



*rüzgar tribünü
ankrajları*



*yük kaldırma
halkaları*



saplamalar



U-boltlar



U-keleçeler



boru keleçeleri



köşebent keleçeleri

*kutu, INP, H Profil
keleçeleri*



*test
makinası*

Aksa, Her siparişte müşterilerine siparişe ait malzemenin çekme dayanım test raporunu vermektedir.

AKSA
Endüstri Makina Sanayi Tic. Ltd. Şti.
Industry, Machine Trade Co. Ltd.

unifix
u n i q u e fixture

Merkez Ofis
21. Cadde 617.Sok. No: 1/23 İvedik OSB
Ostim 06370 ANKARA
Tel : +90 (312) 395 29 22 (pbx)
Fax: +90 (312) 395 29 23
Fabrika
27. Cadde No: 89 İvedik OSB - Ostim / ANK.
www.aksabolt.com aksabolt@aksabolt.com





patlatmanın ötesinde değerler sunar...



ORICA-NİTRO

PATLAYICI MADDELER SAN. ve TİC. A.Ş.

Hülya Sokak No:45, 06700 G.O.P. ANKARA / TURKEY
Tel: (90) 312. 446 16 00 Pbx • Fax: (90) 312. 446 15 55
Fabrika Tel: (90) 312. 865 19 63 • Fax: (90) 312. 865 19 68
www.orica-nitro.com.tr