

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 (Et) bir kısmı kayaya basınç uygulayarak kırılmasına harcanırken (Ep), bir kısmı kaya kütlelerinin ötelenmesine dolayısıyla kinetik enerji olarak (Ek), kırma ve ötelenmeye yetmediği durumlarda sismik enerji olarak (Es) ve bir kısmı da ısı, ışık ve gürültü (Enm) olarak atmosfere yayılmaktadır. Enerjinin korunumu ilkeleri doğrultusunda, bu kademelerde harcanan enerji oranlarının lineer toplamalarının, 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 (Et), (Ep), is consumed for the rock fragmentation by exerting the pressure on the rocks, another part, (Ek), is consumed for the movement of the rock in cases which it is insufficient for breakage and movement, another part, (Es), is spent as seismic energy through the rock and the rest of the energy, (Enm), 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 konusundan sıkça bahsedilmesine rağmen, optimum çözümü sunan ve verimlilik açısından etkili olan bütün parametreleri bir arada değerlendiren ve çözüm sunan bir yaklaşım bulunmamaktadır (Kahriman, 2005).

Litartürde, 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 kaldıracabileceği yüksekliğe kadar kaldırmasına ve bir kerede doldurmasına imkân vermelidir. Bununla birlikte, etek ve arka bölümlerinde bir miktar düşük yüklem bölgesi kaçınılmaz olup, bunlar en az düzeyde olmalıdır.
- Parçalanmış yığın eşit olarak kabarmış gözükmelidir.
- 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 atıldığıının 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, yüklem ve bekleme sürelerinde ise önemli bir artış gözlenecek, bununla birlikte ekskavatörün yüklem 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 ayarlamalıdır (Kahriman, 2005; Kalaycı, 2011).

Verimli bir patlatmadan beklenecek 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 kayaların 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 (Hinzén, 1998; Catusus, 2004; Sanchidrian ve diğ., 2007).

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

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

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:

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

(2.83)

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 sahalar 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 sahalanın genel jeolojisine ait özet bilgi aşağıdaki bölümlerde anlatılmaktadır.

3.1.Akyol Taşocağı

İnceleme alanında temeli teşkil eden

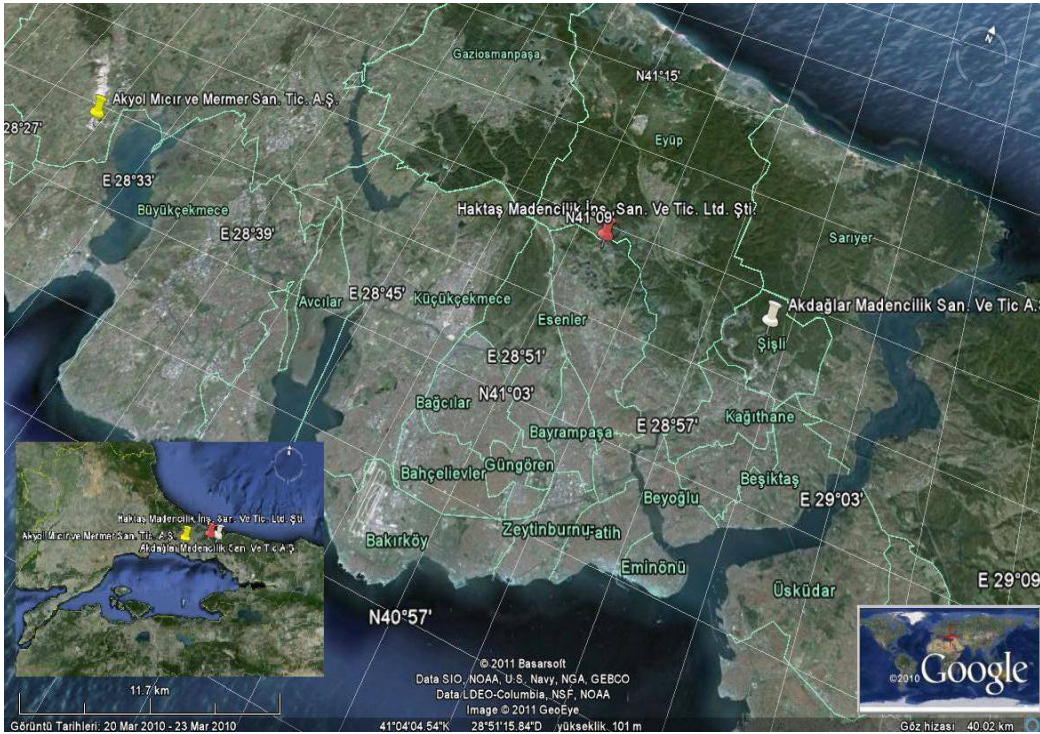
birim şistlerdir. Şistlerin üzerinde Kırklareli formasyonuna ait kireçtaşı ve marn düzeyleri bulunmaktadır. İnceleme alanında en üstte Gürpınar formasyonuna ait kömür bantları içeren kil, kumlu kil ve çok zayıf dayanımlı kumtaşı ve kıltaşı ardalanması bulunmaktadır. Üretimi yapılan birim kireçtaşıdır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

3.2.Haktaş Taşocağı

İnceleme alanında, altta silisli kumtaşı ve şeyillerle 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 tepe ve sırtlarla sınırlanırken, Kemberburgaz'a doğru bu yükselti giderek azalarak devam etmekte, daha sonra Kemberburgaz-Karadeniz az yüksek Neojen (kum - kil - kömür) düzlükleri ile denize doğru sıfırlanmaktadır. İnceleme alanı Trakya Formasyonu üzerinde yer almaktadır (Uz, 2007).



Şekil 1: Çalışma yapılan sahaların yer buldurma haritası.

karbonatlı şeyillerle ve oradan da kireçtaşlarına geçmektedir. Yer yer yeşil renkli şeyil 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 şeyilleri yüzeylenmektedir. Bu ocakta işletme sınır koşulları güneyden fay düzlemiyle, kuzeyden ise kireçtaşlarından karbonatlı şeyillere 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 temelli" olarak adlandırılmıştır.

4. ÇALIŞMA YÖNTEMİ VE BULGULAR

Çalışma kapsamında çeşitli arazi ölçümler 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	2
(Aky)4	8	1	89	85	10,5	11,5	1	2,7	2,7
(Hkt)1	5	1	89	90	14	12	-	3	2
(Akd)1*	9	1	89	90	12	13	1	2,5	2,5
(Akd)2*	14	1	89	90	12	13	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 _{ic}	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 aktarılabacak 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 (kırma 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 enerjisinin 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 taşocağıklarında 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:

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

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 düşürecektir.

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 bağıntılar 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 yaratabileceği 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

Catasus, 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.

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

Kahrıman, 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.

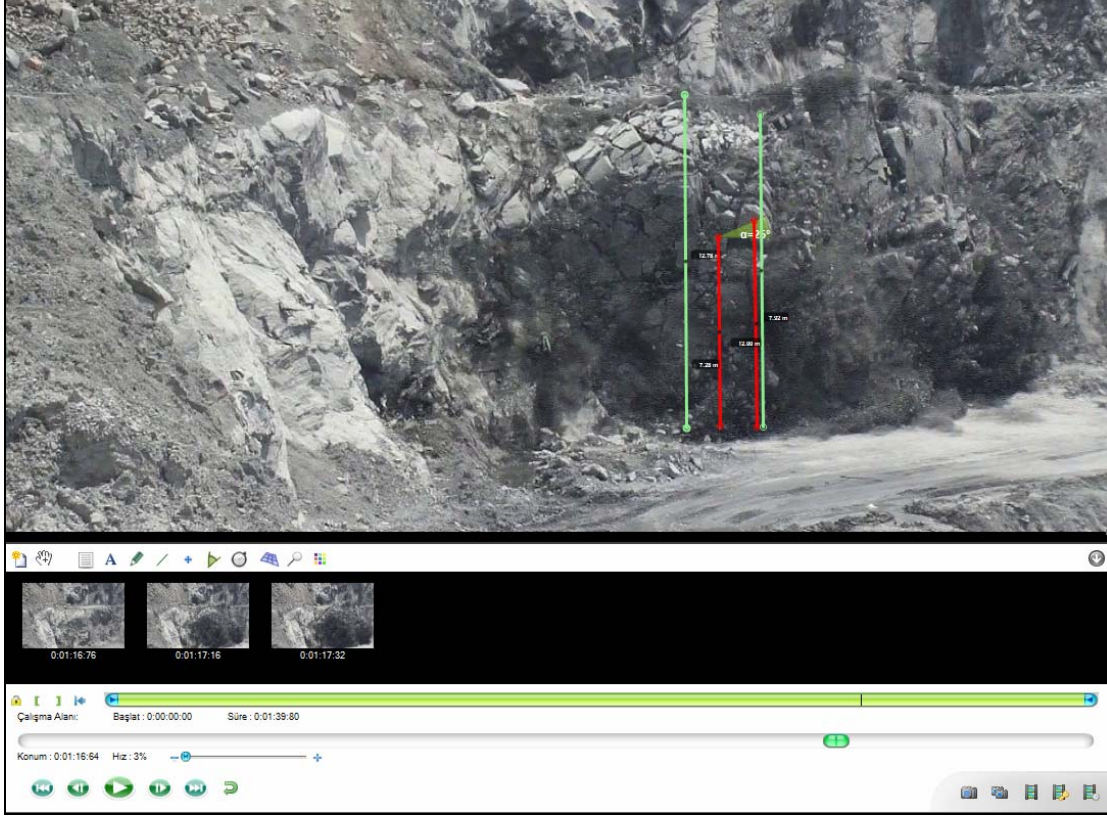
Paşamehmetoğlu, A.G., 1986; "Divriği Madenleri Müessesesi Açık Ocağında Patlatma Sorunlarının Etüdü", ODTÜ, Ankara.

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 :

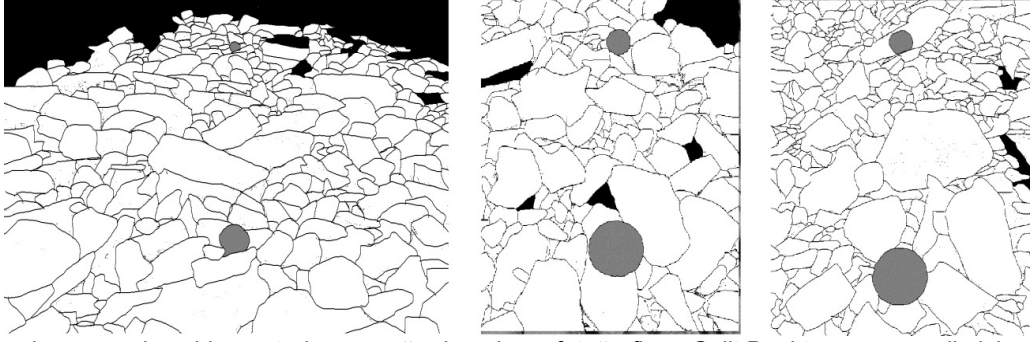
Kinetik enerji miktarını belirlemek amacıyla yapılan mesafe ve süre bilgilerinin analizi.



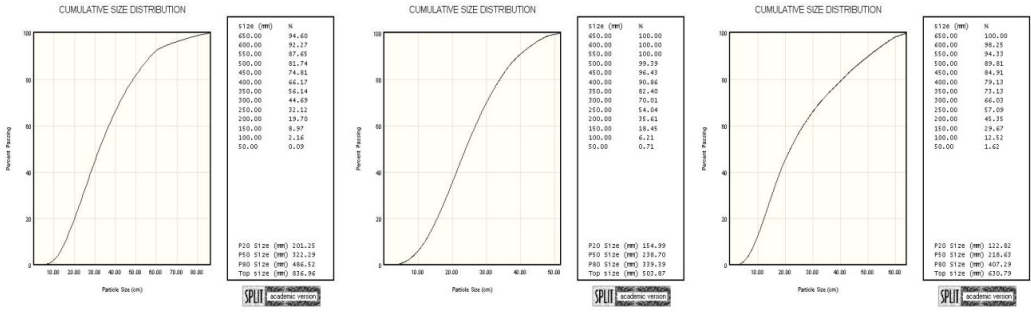
Parçalanma enerjisi belirlemek amacıyla yapılan parça boyut dağılımı analizi.



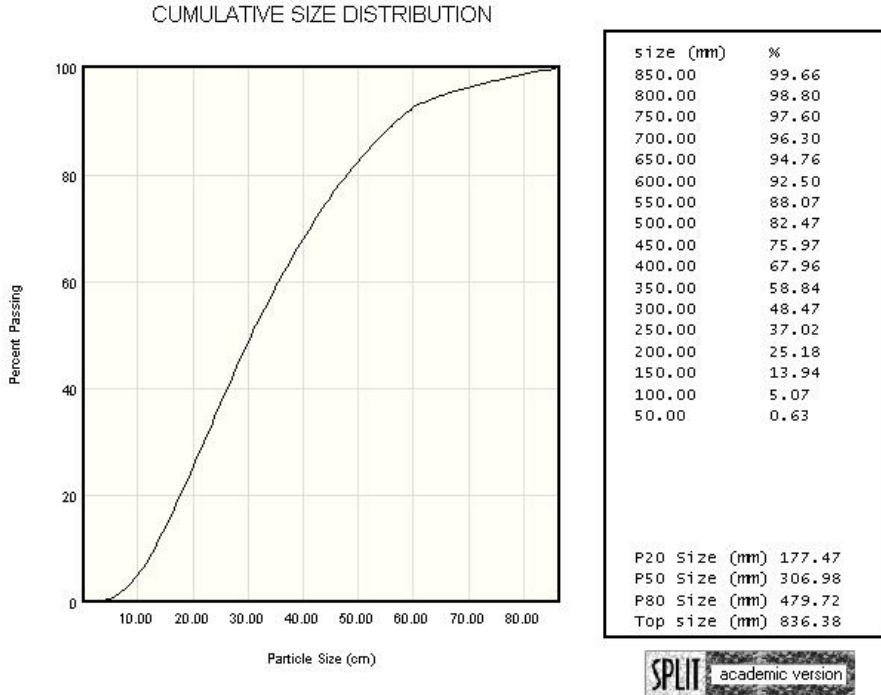
Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların gray-scale görüntüleri.



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



Yığınin 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.



Event Report



Date/Time: Veritat 12:59:09 April 25, 2011
 Trigger Source: Geo: 0.510 mm/s
 Range: Geo: 1254 mm/s
 Record Time: 2.0 sec at 1024 sps

Serial Number: BE10687 V 10.10-6.17 MiniMate Plus8
 Battery Level: 6.2 Volts
 Calibration: September 13, 2010 by Instante! Inc.
 File Name: L6870QDA.GLO

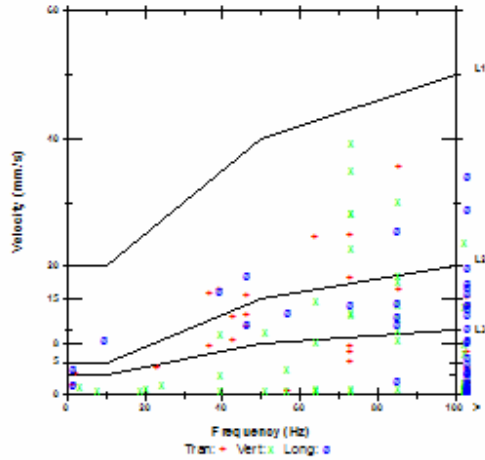
Notes

DIN4150

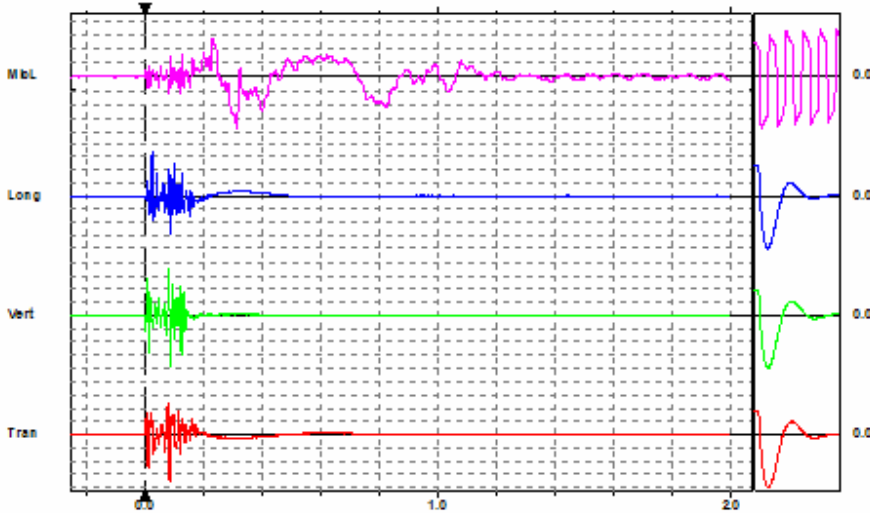
Post-Event Notes

Mikrophone: Linear Weighting
 P8PL: 125.2 dB(L) at 0.313 sec
 ZC Freq: 7.8 Hz
 Channel Test: Passed (Freq = 20.5 Hz Amp = 578 mv)

	Tran	Vert	Long	
RPV	35.6	39.0	33.8	mm/s
RPV (Ponderated)	13.0	13.4	14.7	mm/s
RPV	82.0	82.8	81.6	dB
ZC Freq	85	73	>100	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.085	0.088	0.025	sec
Peak Acceleration	1.71	2.17	1.74	g
Peak Displacement	0.227	0.0749	0.285	mm
Sensorcheck	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.4	7.5	7.6	Hz
Overswing Ratio	4.1	3.8	4.2	



Peak Vector Sum: 47.5 mm/s at 0.086 sec



Time Scale: 0.20 sec/div Amplitude Scale: Geo: 10.00 mm/s/div Mic: 10.00 ps (L)/div
 Trigger =

Sensorcheck