

Akyol Taş Ocağına Özgün Titreşim Tahmin Formülünün Belirlenmesi

Determination of Vibration Estimation Formula Unique for Akyol Quarry

MEHMET AKSOY¹, ALİ KAHRİMAN²

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

² Okan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Patlatma Mühendisliği Programı, İstanbul

Geliş (received) : 30 Eylül (September) 2013

Kabul (accepted) : 01 Temmuz (July) 2014

ÖZ

Bu çalışmada, Akyol taş ocağında yapılan patlatmalı kazılar titreşim ölçer cihazlarla izlenmiş ve bu amaçla 12 adet atımda 36 olay kaydedilmiştir. Bu ölçümler esnasında, çalışmada kullanılan ölçüm cihazlarından bir tanesi patlatma deliklerine mümkün olduğunca yakın yerleştirilerek, sahanın sönümlenme karakteristiğinin, patlatmadan hemen sonraki alanı kapsayacak şekilde belirlenmesi amaçlanmıştır. Alınan ölçümler daha sonra istatistiksel olarak analiz edilmiş ve sahaya ait özgün titreşim tahmin formülü bulunmuştur. Bulunan formülden yararlanılarak, sahada daha sonra yapılacak olan patlatmalarda rehber olarak kullanılacak patlatma titreşim tahmin grafiği oluşturulmuştur.

Key Words: Ölçekli mesafe, parçacık hızı, patlatmalı kazı, titreşim tahmini

ABSTRACT

In this study, blasting performed for excavation at Akyol quarry was monitored with vibration monitors and 36 events in twelve shots were recorded for this purpose. During these measurements, one of the vibration monitors was placed as close to shot point as possible. The idea behind this application was to determine the vibration attenuation characteristics of Akyol quarry site, including the immediate area behind the shot points. Afterwards, the records were subjected to statistical analysis. As a result, peak particle velocity (PPV) prediction formula unique for this site was obtained. Blasting chart which can be used as a guide to predict PPV for future blasting was prepared by using this formula.

Anahtar Kelimeler: Excavation by blasting, particle velocity, scaled distance, vibration prediction

GİRİŞ

Patlatmanın kaçınılmaz olduğu taş ocakçılığı, madencilik, inşaat altyapı kazıları, kuyu-tünel, boru hattı, baraj gibi çeşitli mühendislik işlerinde; yersarsıntısı ve hava şokundan kaynaklanan çevre problemleriyle sıkça karşılaşmaktadır. Bu nedenle, patlatma tasarımlarında yalnızca parçalanma derecesi, maliyet gibi teknik ve ekonomik unsurlar değil, aynı zamanda patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntısı dalgalarının sebep olduğu söz konusu problemler de dikkate alınmalı ve bu problemlerin en aza indirilmesi hedeflenmelidir. Nüfus artışına ve kentleşmeye paralel olarak, modern dünyanın ihtiyacı olan büyük inşaat ve tesislerin yapımı, endüstrinin ihtiyacı olan maden kaynaklarının üretilerek insanlığın hizmetine sunulması faaliyetleri sırasında geçmişte olduğu gibi günümüzde, hatta gelecekte de patlatmalı kazı çalışmalarının kaçınılmaz olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Hatta bu tür faaliyetlerin, kaçınılmaz olarak yerleşim bölgelerine yakın yerlerde yapıma zorunluluğu açığa çıkmaktadır.

Patlatmadan kaynaklanan dalgalar basınç, makaslama ve yüzey olmak üzere üç temel kategoriye ayrılmaktadır. Bu üç temel kategori kendi arasında gövde dalgaları ve yüzey dalgaları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Gövde dalgaları, kaya ya da zemin malzemesi içerisinde hareket ederken, yüzey dalgaları yüzey boyunca hareket etmektedir. En önemli yüzey dalgası Rayleigh dalgasıdır. Gövde dalgaları ise yine kendi arasında basınç (çekme ve basma) dalgası (P) ve bükülme veya makaslama dalgası (S) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Şekil 1). Patlatma sonucunda kısa mesafelerde öncelikli olarak gövde dalgaları oluşmaktadır. Gövde dalgaları küresel hareketlerle başka bir kaya tabakası, zemin malzemesi veya yüzey tabakasına rastlayıncaya kadar ilerlemektedir. Bu kesişmede ise makaslama ve yüzey dalgaları oluşmaktadır. Boyuna dalgalar, yayıldıkları doğrultuyla aynı yönde parçacık hareketi meydana getirmektedir. Diğer taraftan makaslama dalgaları yayılım yönüne dik yönde hareket oluşturmaktadır. Farklı dalga tiplerinin atım kaynağından yayılımı Şekil 2'de verilmiştir (Dowding, 1985; Konya ve Walter, 1991, Jimeno vd., 1995).

Patlatmalı kazı çalışmasının yürütüldüğü sahanın jeolojisi ve jeoteknik özellikleri, yer sarsıntılarının oluşumu ve yayılımı üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Homojenlik arz eden masif bir kaya kütlelerinde yapılan patlatma sonucu oluşan yer sarsıntıları bütün yönlerde yayılırken, kompleks jeolojik yapılara sahip sahalarda yapılan patlatmalardan kaynaklanan yer sarsıntılarının yayılımı, yönle değişebilmekte ve farklı yayılım kuralları vermektedir (Jimeno vd., 1995).

Bu çalışmanın amacı; çalışma sahası olarak seçilen ve patlatmalı kazı çalışması yapılan Akyol Taşocağına ait özgün titreşim yayılım formülünün belirlenmesidir. Ayrıca, çalışmada kullanılan ölçüm cihazlarından bir tanesinin mümkün olduğunca patlatma deliklerine yakın olarak yerleştirilmesi ile sahanın sönümlenme karakteristiğinin, patlatmadan hemen sonraki alanı da kapsayacak şekilde belirlenmesi amaçlanmıştır (Aksoy, 2009).

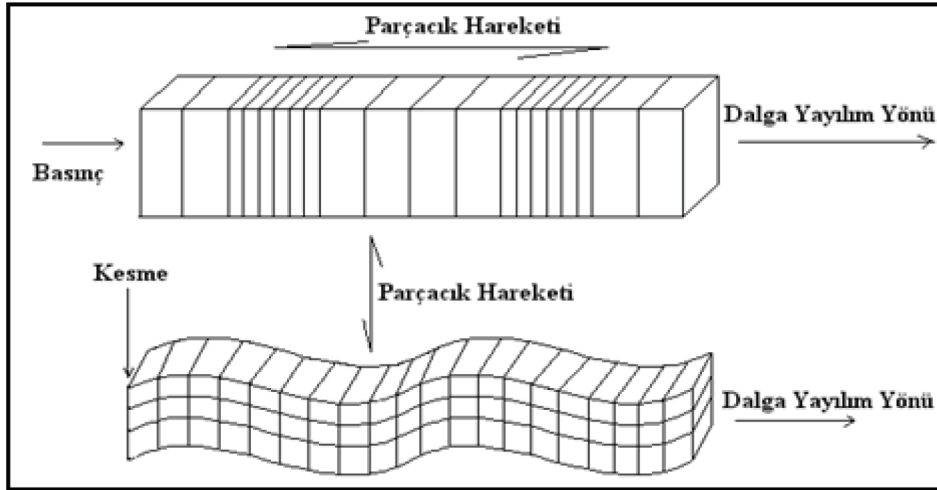
YÖNTEM

Çalışma Sahası

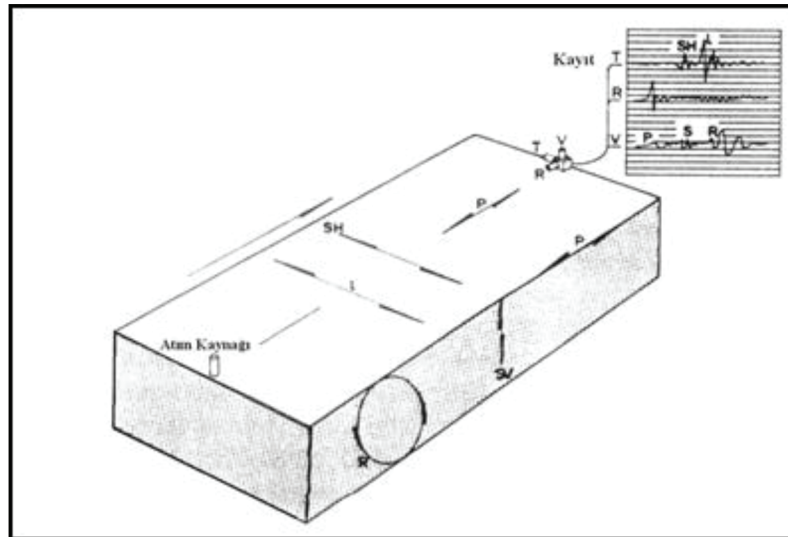
1994 yılından beri faaliyette olan Akyol Mıdır ve Mermer San. Tic. A.Ş.'nin kireçtaşı ocağı, Marmara Bölgesinin Trakya kesiminde İstanbul ili sınırları içerisinde bulunan Çatalca ilçesinin Muratbey Beldesinin hemen güneyinde yer almaktadır (Şekil 3).

Bölgenin Genel Jeolojisi

Bölge, İstanbul yarımadası güneybatısında yer alır. Bölgenin Neojen öncesi temelini Paleotektonik dönemde gelişmiş İstanbul zonu ve metamorfik kayalardan oluşan Istranca masifi oluşturur. Bu tektonik birlikler güneyde, günümüzde Kuzey Anadolu Fayı'nın yer aldığı ve Erken Eosen-Oligosen'de gelişmiş İntra-Pontid kuşağı boyunca Sakarya zonu ile karşı karşıya gelmiştir. İstanbul zonu Paleozoyik yaşlı tortul kaya birimlerinden oluşur ve Alt Tersiyer yaşlı birimlerce üzerlenir. Rodop-Pontid kuşağının bir parçası olarak kabul edilen Istranca masifi ise metamorfik kayalardan oluşmaktadır ve Erken Eosen'den Pliyosen'e kadar uzanan bir zaman aralığında gelişmiş Trakya baseni



Şekil 1. Basınç ve kesme dalgaları (Konya ve Walter, 1991)
Figure 1. Pressure and shear waves

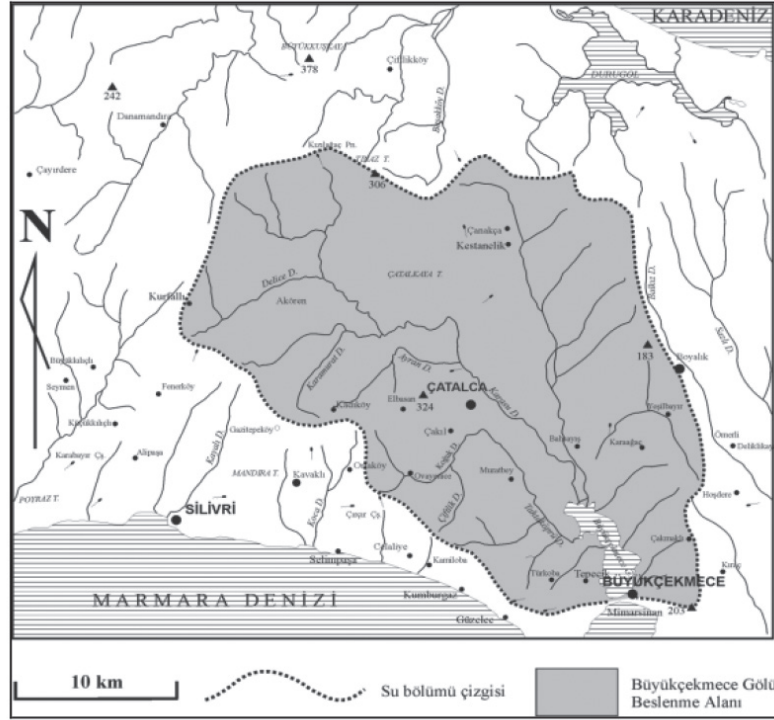


Şekil 2. Farklı dalga tiplerinin atım kaynağından yayılımı (Jimeno vd., 1995)
Figure 2. The propagation of different wave types from a source

tortulları tarafından üzerlenmektedir. İstanbul zonu ile Istranca masifi Batı Karadeniz Fayı boyunca karşı karşıya gelmiştir. Neotektonik dönem yapısı olan Kuzey Anadolu Transform fayı Marmara Denizi'ni doğu-batı yönünde kateder. Bölgenin neotektonik dönem yapısal ve paleo-coğrafik evrimi bu faya bağlı olarak şekillenmiş olup Marmara Denizi'nin günümüz coğrafyasını kazanmasında da bu fay belirleyici olmuştur (Duman vd., 2004).

Çalışma alanında, en altta Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Istranca masifine ait metamorfik

birimler (Kızılağaç metagraniti, Şermat kuvarsiti ve Mahya şisti) ile İstanbul Paleozoyiğine ait kırıntılılar (Trakya formasyonu) yer alır. Bu birimler üzerinde açılal uyumsuz olarak Orta-Üst Eosen yaşlı İslambeyli formasyonu ile Kırklareli kireçtaşı bulunur, istif üste doğru Üst Eosen-Alt Oligosen yaşlı İnsaniye, Alt Oligosen yaşlı Pınarhisar, Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Süloğlu, Danişment ve Alt Miyosen yaşlı Çantaköy formasyonlarından oluşur. Orta-Üst Miyosen yaşlı Ergene formasyonu bu istif üzerinde açılal uyumsuzlukla (Celaliye kuzeyi



Şekil 3. Çalışma sahası yer bulduru haritası
Figure 3. The location of the site

dışında) yer alır. Aynı yaşlı Bakırköy formasyonu Ergene formasyonu üzerinde geçişlidir. Pliyo-Kuvaterner yaşlı taraça birimleri ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar tüm birimleri açısız uyumsuzlukla örter (Duman vd., 2004).

Laboratuvar Çalışmaları

Çalışma sahasında bulunan kireçtaşı formasyonunun jeomekanik parametrelerini belirlemek amacıyla, ağırlıklı olarak üretim ve titreşim ölçümlerinin yapıldığı bölgeler olmak üzere, ocağın dört farklı bölgesinden kireçtaşı numuneleri alınmış ve İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü kaya mekaniği laboratuvarına getirilmiştir. Getirilen bu numunelerden ISRM standartlarına (Ulusay ve Hudson, 2007) uygun olarak karot numuneler hazırlanmıştır.

Sahada bulunan kireçtaşının jeomekanik parametrelerini belirlemek amacıyla bu numuneler üzerinde:

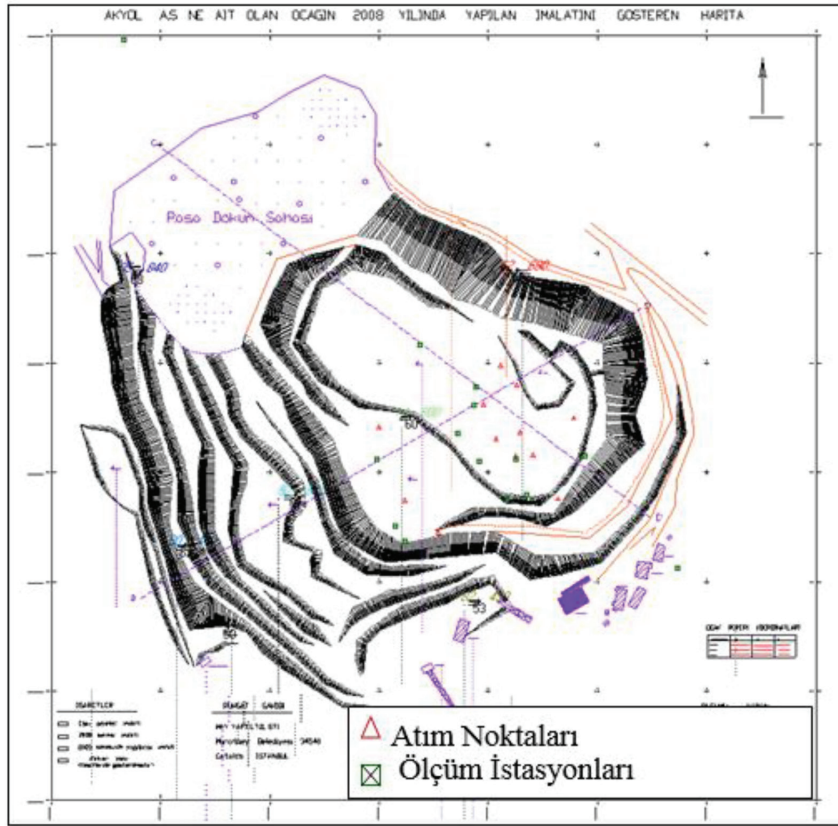
- Yoğunluk ve Gözeneklilik Tayini
- Endirekt Çekme (Brazilian) Dayanımı Tayini

- Tek Eksenli Deformabilite Tayini
 - Üç Eksenli Basma Dayanımı Tayini
- deneyle yapılmıştır.

Parçacık Hızı Tahminleri

Literatürde, patlatmadan kaynaklanan parçacık hızlarının tahminine yönelik bir çok çalışma vardır. Bu çalışmalarda, çeşitli genel tahmin eşitlikleri önerilmiştir. Yaygın olarak kullanılan eşitliklerden bazıları Çizelge 1'de verilmiştir. Bu çizelgede verilen genel eşitliklerden USBM, Ambrasey-Hendron ve Langefors-Khilstrom eşitlikleri Khandelwal ve Singh (2007) tarafından yayınlanmış, Birch ve Schafer eşitliği Ceylanoğlu ve Arpaz (2001) tarafından yayınlanmış çalışmalardan alıntılanmıştır. Bilgin ve diğerleri (1998) ise yayınladıkları bir çalışmada kendi eşitliklerini önermişlerdir.

Bu genel tahmin eşitlik parametreleri (diğer bir deyişle saha sabitleri), arazide yapılan patlatmaların titreşim ölçer cihazlarıyla izlenmesiyle elde edilen olayların istatistiksel analiziyle elde edilirler. Bu çalışmada, tepe parçacık hızı (PPV-



Şekil 4. Atım noktaları ve ölçüm istasyonlarının ocak genel planı üzerinde gösterimi
Figure 4. The location of shots and monitoring stations on the general quarry plan

Çizelge 1. Parçacık hızı tahmin eşitlikleri
Table 1. Particle velocity prediction formulas

| Tahmin Eşitlik Adı | Eşitlik |
|----------------------------------|---|
| USBM (Duvall and Fogelson, 1962) | $ppv = K \left(\frac{R}{W_d^{1/2}} \right)^{-\beta}$ |
| Ambraseys-Hendron (1968) | $ppv = K \left(\frac{R}{W_d^{1/3}} \right)^{-\beta}$ |
| Langefors-Kihlstrom (1978) | $ppv = K \left(\sqrt{\frac{W_d}{R^{2/3}}} \right)^{\beta}$ |
| Birch ve Schaffer (1983) | $ppv = K * R^{\alpha} * W_d^{\beta}$ |
| Bilgin ve diğerleri (1998) | $ppv = K \left(\frac{R}{W_d^{1/2}} \right)^{\alpha} * B^{\beta}$ |

PPV: Tepe parçacık hızı (mm/s)

R : mesafe (m)

W_d : gecikme başına kullanılan patlayıcı madde miktarı (kg)

B: dilim kalınlığı (m)

K, α , β : saha sabitleri

Peak Particle Velocity) tahminleri için, literatürde de oldukça yaygın kullanılan USBM genel tahmin eşitliği seçilmiştir. Burada, ölçekli mesafe (*SD-Scaled Distance*) kavramından kısaca bahsetmek gerekmektedir.

Ölçekli mesafe kavramı olarak, yer hareketlerinin değişik uzaklıklardaki patlatma seviyelerinin miktarları ile ilişkilidir. Ölçek, uzaklığa bağlı olarak kullanılan birimsiz bir faktördür. Ölçekli mesafe, uzaklık ve sismik dalgaların temelini etkileyen veya hava şoklarındaki enerjiyi yaratan patlayıcı madde miktarı kullanılarak ortaya konulmuş bir kavramdır. Kayada meydana gelen dalga hareketlerini yaratan toplam enerji bir anda ateşlenen patlayıcı madde miktarına bağlı olarak değişmektedir. Patlatma kaynağından itibaren oluşan dalgalar ileriye doğru yayılırken, basınç dalgası etkisinde kalan kayanın hacmi artmaktadır. Ölçekli mesafe, sismik gelişimi ve hava şoku enerjisini etkileyen gecikme başına şarj miktarı ve patlatma ile ölçüm noktası arasındaki mesafenin kombinasyonlarından türetilmektedir.

Ölçekli mesafe, parçacık hızlarını tahmin etmek için seçilen USBM genel tahmin eşitliğinde, aşağıda verilen formül ile hesaplanır.

$$SD = \frac{R}{W_d^{1/2}} SD = \frac{R}{W_d^{1/2}} \quad (1)$$

Burada; SD ölçekli mesafe, R atım ile ölçüm istasyonu arasındaki mesafe (m), W_d gecikme başına kullanılan toplam patlayıcı madde miktarı (kg).

BULGULAR

Laboratuvar Çalışmaları

Numuneler üzerinde yapılan Yoğunluk ve Gözeneklilik, Endirekt Çekme Dayanımı ve Tek Eksenli Deformabilite deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Numuneler üzerinde uygulanan Üç Eksenli Basma Dayanımı deneylerinden elde edilen verilerle Dayanım ve Mohr Zarfları çizilmiştir. Çizilen Dayanım ve Mohr zarfından kayacın jeomekanik özelliklerinden olan iç sürtünme açısı (ϕ), kohezyon (c) ve tek eksenli basma dayanımları (σ_c) hesaplanmış ve Çizelge 3'te verilmiştir.

Arazi Çalışmaları

Çalışma sahası olarak seçilen Akyol taşocağında, çeşitli araştırmacılar titreşim ölçümleri yapmış ve saha için titreşim tahmin eşitliği önermişlerdir (Özer vd., 2007; Özer vd., 2008).

Bu çalışmanın yukarıda bahsedilen çalışmalarından farkı, gözlemlenen atımlarda titreşim ölçer cihazlarından bir tanesi, imkânlar ve basamak şartları elverdiği sürece patlatma deliğine çok yakın mesafelerde konumlandırılmış ve ölçümler alınmış olmasıdır. Böyle yapılmasının iki temel nedeni vardır. Birincisi, sahanın sönmülendirme karakteristiğinin, patlatmadan sonraki alanı kapsayacak şekilde belirlenmesidir. İkincisi ise, bu çalışmadan elde edilen verilerin, çalışmanın bir sonraki aşaması olan sayısal modelleme çalışmasında kullanılacak olmasıdır (Aksoy, 2009). Yapılan bu atımlarla ilgili ayrıntılar aşağıda verilmektedir.

Düzenlenen Atım Geometrileri

Söz konusu ocakta gözlemlenen toplam 12 atıma ait atım bilgileri, tasarım parametreleri, delik geometrisi ve ateşleme bilgileri, patlayıcı madde bilgileri, istasyon noktalarının koordinatları ve titreşim ölçümleri, oluşturulan patlatma veri formlarına her atım için ayrı ayrı kaydedilmiştir (Aksoy, 2009).

Bu atımlara ait basamak patlatma geometrisi parametreleri Çizelge 4'te verilmektedir. Atım noktalarının koordinatları da Çizelge 5'te verilmektedir.

Atımlarda, patlayıcı madde olarak ANFO yemleyici olarak POWERGEL ve ateşleyici olarak da gecikmeli elektriksiz kapsüller kullanılmıştır.

Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirme

Araştırma kapsamında söz konusu sahada toplam 12 adet atıma ait kaya içi titreşimlerin oluşturduğu parçacık hızı, deplasman ve frekans değerleri, toplam 3 adet titreşim ölçer cihazı ile kaydedilmiştir.

Cihaz, kuruluş modunda 0,50 mm/sn'nin üzerinde oluşacak titreşim hızı seviyelerini ölçecek hassasiyette ayarlanmıştır. Bu ayarlama normal trafik akışının yarattığı titreşim seviyelerinden

Çizelge 2. Kireçtaşı jeomekanik özellikleri (Aksoy, 2009)
Table 2. Geomechanical properties of limestone

| | Kuru (Bulk) Yoğunluk (gr/cm ³) | Mineral Tane Yoğunluk (gr/cm ³) | Toplam Gözeneklilik (%) | Çekme Dayanımı (σ_c) Mpa | Tek Eksenli Basma Dayanımı (σ_c) MPa | Sekant Elastisite Modülü (Es) GPa | Poisson Oranı (ν_p) |
|-------------------|--|--|-------------------------------|---|--|--|---------------------------------|
| Ortalama | 2,58 | 2,75 | 6,30 | 5,83 | 68,21 | 52,39 | 0,30 |
| Standart Sapma | 0,11 | 0,03 | 3,48 | 1,70 | 20,98 | 10,57 | 0,06 |

Çizelge 3. Mohr ve Dayanım zarfı parametreleri (Aksoy, 2009)
Table 3. Mohr and Strength envelope parameters

| Parametreler | Dayanım Zarfı | Mohr Zarfı |
|---|---------------|------------|
| İç Sürtünme Açısı, ϕ (°) | 41,90 | 39,44 |
| Kohezyon, c (MPa) | 14,38 | 16,70 |
| Tek Eksenli Basınç Dayanımı, σ_c (MPa) | 64,44 | 70,72 |

Çizelge 4. Titreşim ölçümü yapılan atımların genel patlatma geometrisi*
Table 4. General blasting pattern of the shots monitored

| Atım No | Delik Sayısı | Basamak Yüksekliği K (m) | Delik Boyu H (m) | Toplam Patlayıcı Miktarı Q (kg) | Gecikme Başına Patlayıcı Miktarı W(kg) | Toplam Kapsül Adedi |
|------------|-----------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------------------|--|------------------------|
| 1 | 12 | 9 | 10 | 547 | 46 | 26 |
| 2 | 15 | 10 | 11 | 803 | 54 | 32 |
| 3 | 13 | 10 | 11 | 668 | 51 | 28 |
| 4 | 17 | 10 | 11 | 897 | 53 | 36 |
| 5 | 11 | 10 | 11 | 560 | 51 | 24 |
| 6 | 11 | 10 | 11 | 575 | 52 | 24 |
| 7 | 12 | 10 | 11 | 627 | 52 | 26 |
| 8 | 8 | 10 | 11 | 403 | 50 | 18 |
| 9 | 19 | 10 | 11 | 999 | 53 | 40 |
| 10 | 11 | 9 | 10 | 476 | 43 | 19 |
| 11 | 18 | 10 | 11 | 914 | 51 | 38 |
| 12 | 10 | 10 | 11 | 521 | 52 | 22 |

*Tüm atımlarda: Delik çapı (d) 89 mm; delik eğimi 90o, Dilim kalınlığı (B) ve delikler arası mesafe (S) 2,5 m sıklama boyu (h0) 3 m olarak belirlenmiş ve atım delikleri tek sıra olarak delinmiştir.

veya bina içi insan hareketlerinin yaratacağı titreşim seviyelerinden (0,6 mm/s civarındadır) çok daha düşük titreşimleri kaydedecek seviyededir.

Ölçüm istasyonları bilinçli olarak söz konusu sahanın yakınında olan Muratbey Beldesinde bulunan yapıların yakınlara ve tesis binalarının yakınlara yerleştirilmiştir. Ölçüm istasyonlarının

Çizelge 5. Atım noktalarının koordinatları
Table 5. The coordinates of shot points

| Atım Nokta No | Atım Noktası Koordinatları | | |
|---------------|----------------------------|---------|----|
| | Y | X | Z |
| 1 | 625878 | 4549949 | 5 |
| 2 | 625700 | 4549941 | 15 |
| 3 | 625829 | 4549936 | 5 |
| 4 | 625841 | 4549915 | 5 |
| 5 | 625826 | 4549979 | 5 |
| 6 | 625825 | 4549914 | 5 |
| 7 | 625807 | 4549930 | 5 |
| 8 | 625754 | 4549844 | 15 |
| 9 | 625864 | 4549875 | 5 |
| 10 | 625724 | 4549874 | 15 |
| 11 | 625796 | 4549961 | 5 |
| 12 | 625811 | 4549997 | 5 |

Çizelge 6. İstasyon noktalarının koordinatları
Table 6. The coordinates of station points

| İstasyon Nokta No | Koordinat Değeri | | |
|-------------------|------------------|---------|----|
| | Y | X | Z |
| 1 | 625973 | 4549812 | 57 |
| 2 | 625466 | 4550296 | 85 |
| 3 | 625698 | 4549912 | 15 |
| 4 | 625888 | 4549915 | 5 |
| 5 | 625787 | 4549961 | 5 |
| 6 | 625825 | 4549912 | 5 |
| 7 | 625789 | 4549978 | 5 |
| 8 | 625792 | 4549910 | 5 |
| 9 | 625835 | 4549879 | 5 |
| 10 | 625724 | 4549837 | 15 |
| 11 | 625816 | 4549875 | 5 |
| 12 | 625715 | 4549851 | 15 |
| 13 | 625772 | 4549936 | 5 |
| 14 | 625737 | 4550017 | 5 |

koordinatları Çizelge 6'da gösterilmiştir. Ayrıca, atım noktaları ve ölçüm istasyonları, ocak genel planı üzerinde Şekil 4'de gösterilmiştir. Akyol taş ocağında gözlemlenen 12 atıma ait titreşim ölçüm sonuçları Çizelge 7'de verilmektedir.

Atım Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

Araştırma kapsamında; Akyol Taş Ocağı'nda toplam 12 adet atıma ait 36 olay kaydedilmiştir. Bu çalışmada parçacık hızı tahmini için gecikme başına düşen en fazla patlayıcı miktarı ve kaynak ile ölçüm istasyonu arasındaki uzaklıklar dikkate alınarak türetilen ölçekli mesafe ile parçacık hızı arasındaki ilişki incelenmiştir.

Bu çalışmada ölçülen tepe parçacık hızı (PPV) ile ölçekli mesafe (SD) veri çiftleri arasında Microsoft Excel programı kullanılarak regresyon analizi yapılmış ve bulunan ilişki Eşitlik 2'de verilmiştir (Aksoy, 2009).

$$PPV=1533*SD^{-1,77} \quad (2)$$

PPV-SD ilişkisine ait elde edilen tahmin eşitliğinin (korelasyon katsayısı $R = 0,962$) grafiksel görünümü Şekil 5'te verilmektedir.

Elde edilen titreşim yayılım formülünden yararlanarak, bundan sonra sahada yapılacak atımlarda, rehber olarak kullanılacak, gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarının

Çizelge 7. Akyol taş ocağında yapılan titreşim ölçümlerine ait sonuçlar
Table 7. Recorded vibration results at Akyol Quarry

| Atım No | Cihaz Seri No | Parçacık hızı ve frekans ölçüm değerleri | | | | | | Mesafe (m) | Ölçekli mesafe ($m/kg^{1/2}$) | İstasyon No |
|---------|---------------|--|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------------------------------|-------------|
| | | Yatay | | Düşey | | Boyuna | | | | |
| | | Hız (mm/s) | F. (Hz) | Hız (mm/s) | F. (Hz) | Hız (mm/s) | F. (Hz) | | | |
| 1 | 10704 | 6,22 | 22,3 | 3,17 | 28,4 | 6,73 | 34,1 | 184,04 | 27,26 | 3 |
| | 10705 | 3,65 | 24,5 | 5,26 | 26,3 | 6,32 | 32,5 | 172,05 | 26,55 | 1 |
| | 10708 | 21,8 | 46,5 | 119 | 85,3 | 69,3 | 73,1 | 35,44 | 5,25 | 4 |
| 2 | 10704 | 94,6 | 32 | 167 | 39,4 | 76,5 | 36,6 | 29,07 | 3,97 | 3 |
| | 10705 | 3,65 | 24,5 | 5,26 | 26,3 | 6,32 | 32,5 | 301,94 | 43,13 | 1 |
| | 10708 | 2,03 | 42,7 | 2,03 | 51,2 | 2,92 | 34,1 | 190,05 | 25,98 | 4 |
| 3 | 10704 | 33,7 | 42,7 | 31,5 | 51,2 | 36,6 | 46,5 | 24,33 | 3,39 | 6 |
| | 10705 | 3,65 | 24,5 | 5,26 | 26,3 | 6,32 | 32,5 | 194,1 | 27,05 | 1 |
| | 10709 | 47,9 | 16,5 | 69,3 | 5,45 | 72,4 | 73,1 | 48,88 | 6,81 | 5 |
| 4 | 10704 | 24,1 | 51,2 | 124 | 64 | 49 | 36,6 | 16,28 | 2,24 | 6 |
| | 10705 | 3,65 | 24,5 | 5,26 | 26,3 | 6,32 | 32,5 | 172,05 | 23,63 | 1 |
| | 10709 | 11,3 | 32 | 15,2 | 100 | 19,4 | 73,1 | 70,94 | 9,74 | 5 |
| 5 | 10704 | 18,5 | 30,1 | 11,3 | 32 | 19,9 | 51,2 | 76,92 | 10,77 | 8 |
| | 10705 | 3,65 | 24,5 | 5,26 | 26,3 | 6,32 | 32,5 | 225,09 | 31,52 | 1 |
| | 10709 | 50,5 | 85,3 | 61,5 | 85,3 | 72,1 | 85,3 | 37,01 | 5,18 | 7 |
| 6 | 10704 | 60,5 | 51,2 | 52,6 | 64 | 59,9 | 17,7 | 33,24 | 4,59 | 8 |
| | 10705 | 3,65 | 24,5 | 5,26 | 26,3 | 6,32 | 32,5 | 183,52 | 25,33 | 1 |
| | 10709 | 16,9 | 100 | 10,9 | 100 | 15,4 | 32 | 73,43 | 10,13 | 7 |
| 7 | 10704 | 7,49 | 73,1 | 6,86 | 85,3 | 7,49 | 42,7 | 125,05 | 17,26 | 10 |
| | 10705 | 3,65 | 24,5 | 5,26 | 26,3 | 6,32 | 32,5 | 479,74 | 66,21 | 2 |
| | 10709 | 32,8 | 85,3 | 34,5 | 24,4 | 65,9 | 56,9 | 58,18 | 8,03 | 9 |

| Atım No | Cihaz Seri No | Parçacık hızı ve frekans ölçüm değerleri | | | | | | Mesafe (m) | Ölçekli mesafe (m/kg ^{1/2}) | İstasyon No |
|---------|---------------|--|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------------------------------------|-------------|
| | | Yatay | | Düşey | | Boyuna | | | | |
| | | Hız (mm/s) | F. (Hz) | Hız (mm/s) | F. (Hz) | Hız (mm/s) | F. (Hz) | | | |
| | 10704 | 199 | 36,6 | 161 | 16 | 229 | 64 | 30,81 | 4,34 | 10 |
| 8 | 10705 | 3,65 | 24,5 | 5,26 | 26,3 | 6,32 | 32,5 | 430,76 | 60,62 | 2 |
| | 10709 | 29,8 | 56,9 | 17,1 | 64 | 21,2 | 51,2 | 88,8 | 12,50 | 9 |
| | 10704 | 10,2 | 56,9 | 11,4 | 64 | 17,9 | 73,1 | 151,25 | 20,86 | 12 |
| 9 | 10705 | 3,65 | 24,5 | 5,26 | 26,3 | 6,32 | 32,5 | 535,17 | 73,51 | 2 |
| | 10709 | 73,2 | 6,56 | 174 | 51,2 | 102 | 56,9 | 48 | 6,62 | 11 |
| | 10704 | 111 | 8,39 | 138 | 46,5 | 214 | 32 | 24,7 | 3,75 | 12 |
| 10 | 10705 | 3,65 | 24,5 | 5,26 | 26,3 | 6,32 | 32,5 | 397,94 | 57,44 | 2 |
| | 10709 | 5,08 | 64 | 3,68 | 100 | 4,06 | 46,5 | 92,55 | 14,07 | 11 |
| | 10704 | 46,4 | 64 | 49,4 | 32 | 58,8 | 64 | 34,66 | 4,85 | 13 |
| 11 | 10705 | 3,65 | 24,5 | 5,26 | 26,3 | 6,32 | 32,5 | 472,96 | 66,23 | 2 |
| | 10709 | 22,4 | 100 | 16 | 64 | 9,27 | 85,3 | 56,01 | 7,84 | 14 |
| | 10704 | 25,5 | 64 | 8,25 | 28,4 | 13,1 | 64 | 72,4 | 10,03 | 13 |
| 12 | 10705 | 3,65 | 24,5 | 5,26 | 26,3 | 6,32 | 32,5 | 492,35 | 67,95 | 2 |
| | 10709 | 116 | 56,9 | 225 | 85,3 | 83,3 | 5,63 | 24,41 | 3,37 | 14 |

bulunabileceği patlatma grafiği elde edilmiştir. Bu patlatma grafiği, ilk olarak Özer ve arkadaşları tarafından söz konusu saha için yaptıkları bir çalışmada kullanılmıştır (Özer vd., 2008). Elde edilen bu grafik Şekil 6'da verilmektedir.

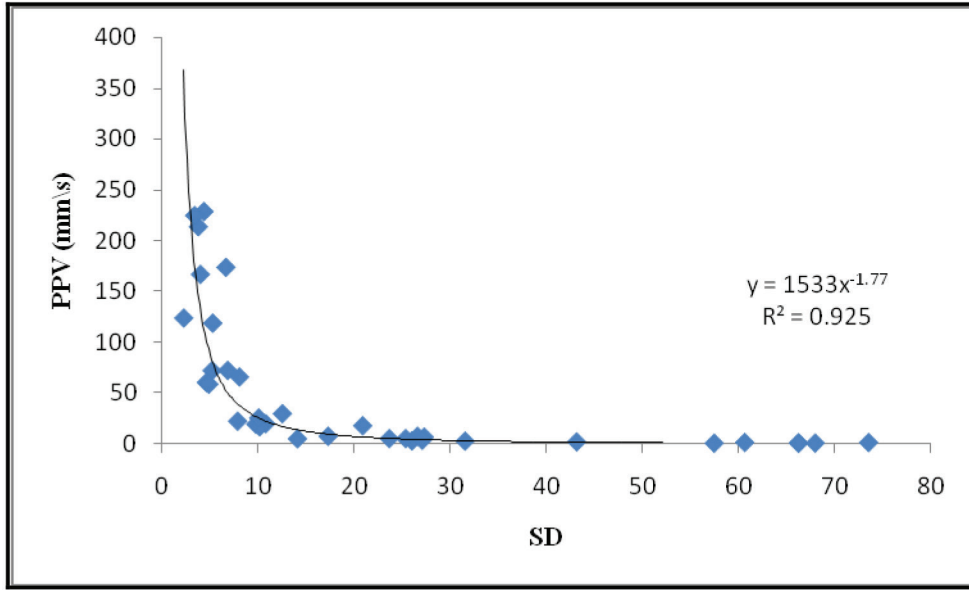
SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Günümüzde, patlatmadan kaynaklanan çevresel sorunlar madencilik faaliyetlerini önemli ölçüde sınırlandırmaya başlamıştır. Bu yüzden, yapılan atımların izlenmesi ve titreşimlerin kaydedilmesi, patlatma kaynaklı çevresel sorunları ortadan kaldırmak veya en aza indirmek açısından oldukça önemlidir. Parçacık hızı hala patlatma tasarımlarında kullanılan en önemli faktörlerden biri olduğu için, Akyol açık ocağında parçacık hız ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra elde edilen veri çiftleri istatistiksel analize tabi tutulmuştur. Bu analizin sonucunda, ölçekli mesafe ve tepe parçacık hızı arasında oldukça güçlü görgül bir ilişki elde edilmiştir.

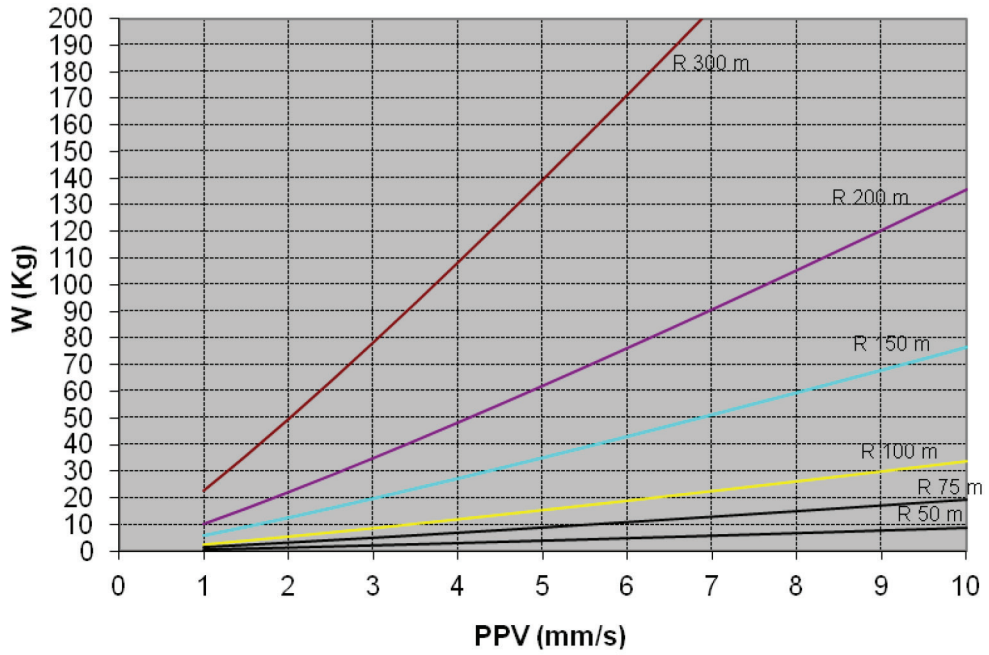
Bu çalışma esnasında, gözlemlenen atımlarda titreşim ölçer cihazlarından bir tanesi, imkânlar ve basamak şartları elverdiği ölçüde patlatma deliğine yakın mesafelerde konumlandırılmış ve ölçümler alınmıştır. Böyle yapılmasının nedeni ise, sahanın sönümlenme karakteristiğinin, patlatmadan sonraki alanı kapsayacak şekilde belirlenmesidir.

Sonuç olarak, adı geçen saha için elde edilen ilişki kullanılarak patlatma grafiği hazırlanmış ve sunulmuştur. Böylece; patlatmadan sorumlu mühendisler, bu sahada gelecekte yapılacak patlatmalarda, gecikme başına düşen şarj miktarını belirlemede ve buna bağlı olarak da parçacık hızlarını tahmin etmede, verilmiş patlatma grafiğinden yararlanabilirler.

Ayrıca, yapılacak olan patlatma noktasına daha yakın bölgelerdeki parçacık hız tahminlerinde verilen grafiğin kullanılması ile daha sağlıklı tahminler yapılabileceği düşünülmektedir.



Şekil 5. PPV- SD ilişkisi
Figure 5. PPV vs SD



Şekil 6. Akyol taş ocağına ait patlatma grafiği
Figure 6. Practical blasting chart for Akyol Quarry

KAYNAKLAR

- Aksoy, M., 2009. Patlatmadan Kaynaklanan Titreşim Dalgalarının, Stokastik Yaklaşımla 3-Boyutlu Sayısal Analiz, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Bilgin, H.A. Esen, S. Kılıç, M. 1998., TKİ Çan Linyit İşletmesinde Patlatmaların Yol Açtığı Çevre Sorunlarının Giderilmesi İçin Araştırma, ODTÜ, Nihai Rapor, 19 -21, Ankara.
- Ceylanoğlu A., Arpaz E. 2001., Belirli bir Kaya Kütlelerinde Oluşturulan Yer Sarsıntılarının Ölçümü ve Değerlendirilmesi. Türkiye 17. Uluslar arası Madencilik Kongresi ve Sergisi TUMAKS, 19-22 Haziran, ANKARA, 39-45
- Dowding C.H., 1985. Blast Vibration Monitoring and Control. Prentice-Hall, USA
- Duman, T.Y., Keçer, M., Ateş, Ş., Emre, Ö., Gedik, İ., Karakaya, F., Durmaz, S., Olgun, Ş., Şahin, H., Gökmenoğlu, O., 2004. İstanbul Metropolü Batısındaki (Küçükçekmece-Silivri-Çatalca Yöresi) Kentsel Gelişme Alanlarının Yer Bilim Verileri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayın Serisi – 3 Ankara.
- Jimeno C.L., Jimeno, E.L., Carcendo, F.J.A., 1995. Drilling and Blasting of Rocks, AA-Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- Konya, C.J., Walter, E.J., 1991. Rock Blasting and Overbreak Control. NHI Course No: 13211, US Department of Transportation, Virginia, USA.
- Khandelwal, M., Singh, T.N., 2007. Evaluation of blast-induced ground vibration predictors. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 27, 116–125.
- Özer, Ü., Kahrıman, A., Aksoy, M., Adıgüzel, D., Karadoğan, A., 2007. The investigation of ground vibrations induced by bench blasting at different quarries at Çatalca district in Turkey. 33rd Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, 28–31 January, Nashville, Tennessee, USA, 1, 241–253.
- Özer, Ü., Kahrıman, A., Aksoy, M., Adıgüzel, D., Karadoğan, A., 2008. The Analysis of Gro-

und Vibrations Induced by Bench Blasting at Akyol Quarry and Practical Blasting Charts, Environ Geology, DOI 10.1007/s00254-007-0859-7, 54:737–743.

- Ulusay, R., Hudson, J.A., (Editors) 2007. The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring; 1974–2006, prepared by the Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics: ISRM Turkish National Group Ankara, Turkey. 628 ISBN 978-975-93675-4-1.