

PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİMLERİN TAHMİNİ İÇİN FARKLI KAYALARIN SAHA SABİTLERİNİN BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF FIELD CONSTANTS OF DIFFERENT ROCKS FOR PREDICTION OF BLAST-INDUCED GROUND VIBRATIONS

Abdulkadir Karadoğan¹, Ümit Özer¹, Ali Kahrıman²

¹İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul

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

Yayına Geliş (Received): 21.02.12, Yayına Kabul (Accepted): 27.02.13

ÖZ: Bu çalışmada, patlatma kaynaklı titreşimlerin tahmini için farklı saha ve kayaların arazi iletim (K) ve saha sönümlenme (β) katsayılarının belirlenmesine ilişkin sonuçlar sunulmuştur. Araştırma kapsamında, çeşitli sahalar ve kaya birimlerinde maksimum parçacık hızı azalım eğrisinin belirlenmesi için, 27 farklı saha ve 7 farklı kaya biriminde gerçekleştirilen patlatmalı kazılardan kaynaklanan titreşim bileşenleri ölçülmüş ve analiz edilmiştir. Çalışma sırasında, ölçekli mesafe parametreleri dikkatli bir şekilde kaydedilirken, titreşim bileşenleri 27 farklı sahadaki tüm patlatma olayları için titreşim ölçer cihazları ile kaydedilmiştir. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda, maksimum parçacık hızının uzaklıkla azalımını temsil eden ve iyi korelasyon katsayılarına sahip ilişkiler saptanmış ve tüm sahalar ve kaya birimleri için önerilmiştir. Böylece, 7 farklı kaya birimi için arazi iletim ve saha sönümlenme katsayıları belirlenmiştir. Farklı kaya birimlerinde gerçekleştirilen bu çalışma sonucunda, söz konusu kaya birimlerindeki sahalarda bundan sonra yapılacak atımların kontrollü yapılmasının temini amacıyla, patlatma sorumlularının işini kolaylaştırmak ve atımların çevresel etkilerini en aza indirmek amacıyla, farklı kaya birimleri için pratik grafikler oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Patlatma, titreşim, kaya birimleri, sabitler, pratik abaklar

ABSTRACT: This paper presents the results for the determination of ground transmission (K) and attenuation (β) coefficients of different sites and rocks for prediction of blast-induced ground vibrations. Within the scope of this study, in order to determine the slope of the peak particle velocity attenuation curve for different sites and rock units, ground vibration components induced by blasting excavations realized at different rock units were measured and analysis. During the study, while the parameters of scaled distance were recorded carefully, the ground vibration components were measured by suitable monitors for the all blast events of 27 blasting sites. At the end of evaluation of the data pairs, relations which represent the attenuation of peak particle velocity with distance and which have good correlation coefficients were established and suggested for all sites and rock units. Thus, ground transmission and attenuation coefficients for 7 different rock units were determined. As a result of the studies in different rock units in question, some practical charts are created in order to minimize the environmental effects of the shots and make the authorities of shots job easier and make sure that the shots in different rock units will be done in a controlled way.

Keywords: Blasting, ground vibration, rock units, coefficients, practical charts

GİRİŞ

Patlatmanın kaçınılmaz olduğu madencilik, taş ocakçılığı, inşaat altyapı kazıları, kuyu-tünel çalışmaları, boru hattı çalışmaları, baraj inşaatı gibi çeşitli sektörlerde; patlatmadan kaynaklı yersarsıntısı ve hava şokundan kaynaklanan çevre problemleri ile sıkça karşılaşılmakta ve bu konudaki tartışmalar hukuka intikal etmektedir. Bu çevresel sorunlar, çalışma bölgesi yakınlarında bulunan yapı ve tüm canlıları doğrudan etkilemekte, can ve mal güvenliklerini tehdit ettiği gibi, bazı psikolojik sorunların doğmasına da yol açabilmektedir (Kahrıman, 2002; Ozer ve diğ., 2008a; Karadoğan, 2008).

Patlatmalı kazılardan kaynaklanan titreşimler, madencilik sektöründeki temel sorunlardan biridir. Patlatma sonucu dalga hareketinden üretilen basınçların düzeyine bağlı olarak, bu titreşimler, bina malzemesi veya kaya malzemesinin dayanımını aşan dinamik basınçlar tarafından yakın yerleşim alanlarındaki yapılara hasar verebilmektedir. Yani, yapılarda ve insanlar üzerinde patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin seviyesinin tahmin edilmesi, izlenmesi ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Patlatma operasyonlarında titreşim kontrolü; bir endüstri standardı ya da bir yönetmelik limiti olan güvenli bir düzey için tasarım yapmayı, patlatmaya komşu olan sakinler için bir halkla ilişkiler programı sağlamayı, ön kesme denetimleri ve yakın çevre özelliklerinin belgelenmesini sağlamayı, sismografik ölçüm yapmayı veya ölçekli mesafe gibi bir alternatif kullanmayı ve son kesme denetimleri sağlamayı içerir (Dowding 1985; Kahrıman, 2001).

Maksimum parçacık hızı (PPV) yapısal hasarın önemli bir göstergesi olarak kabul edilmiş olup, esas olarak gecikme başına maksimum şarj miktarına, patlatma noktasından ölçüm noktasına olan mesafeye ve ortamın karakteristiklerine bağlıdır (Ak ve diğ., 2009). Titreşimin tahmininde; yaygın olan bir uygulama, çeşitli ampirik yer hareketi tahmin denklemleri (sönümlenme eşitliği gibi) kullanılarak titreşime karşı yapısal tepkileri ve insan dayanıklı-

lığını tahmin etmede, maksimum parçacık hızlarını kullanır. Bu eşitlikler, saha koşullarının (örneğin jeolojik ve teknolojik koşullar) ve ölçekli mesafenin bir fonksiyonu olarak PPV'yi verir (Kuzu, 2008).

Ölçekli mesafe, sismik gelişimi ve hava şoku enerjisini etkileyen gecikme başına şarj miktarı ve patlatma ile ölçüm noktası arasındaki mesafenin kombinasyonlarından türetilmektedir. Parçacık hızını, ölçekli mesafeye bağlı olarak tahmin etmeyi esas alan yaklaşımlar, yer sarsıntısı ölçüm aletlerinin gelişmesi ve kullanılmaya başlanmasıyla ortaya atılmıştır.

Literatürde ölçekli mesafenin belirlenmesinde en sık kullanılan formül aşağıda verilmektedir.

$$SD = \frac{R}{\sqrt{W}}$$

Burada; SD: Ölçekli mesafe, R: Patlatma noktasından uzaklık (m), W: Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg).

Diğer taraftan, parçacık hızının önceden tahmin edilebilmesi için araştırmalarda daha yaygın kullanıma sahip aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$PPV \text{ (mm/sn)} = K \times (SD)^{-b}$$

Burada; K, Arazi iletim katsayısı; b, Saha sönümlenme katsayısı.

Bu çalışmanın amacı, farklı sahalarda farklı kaya birimlerinin üretimleri sırasında patlatma kaynaklı titreşimleri analiz etmek, farklı kayaların iletim ve sönümlenme katsayılarını belirlemek ve bu katsayılarla dayalı pratik patlatma grafikleri sunmaktır

ÇALIŞMA SAHALARI

Beş yılı aşkın bir süre devam eden bu araştırma çalışması Ülkemizin farklı bölgelerinden toplam 16 değişik sahada yürütülmüştür.

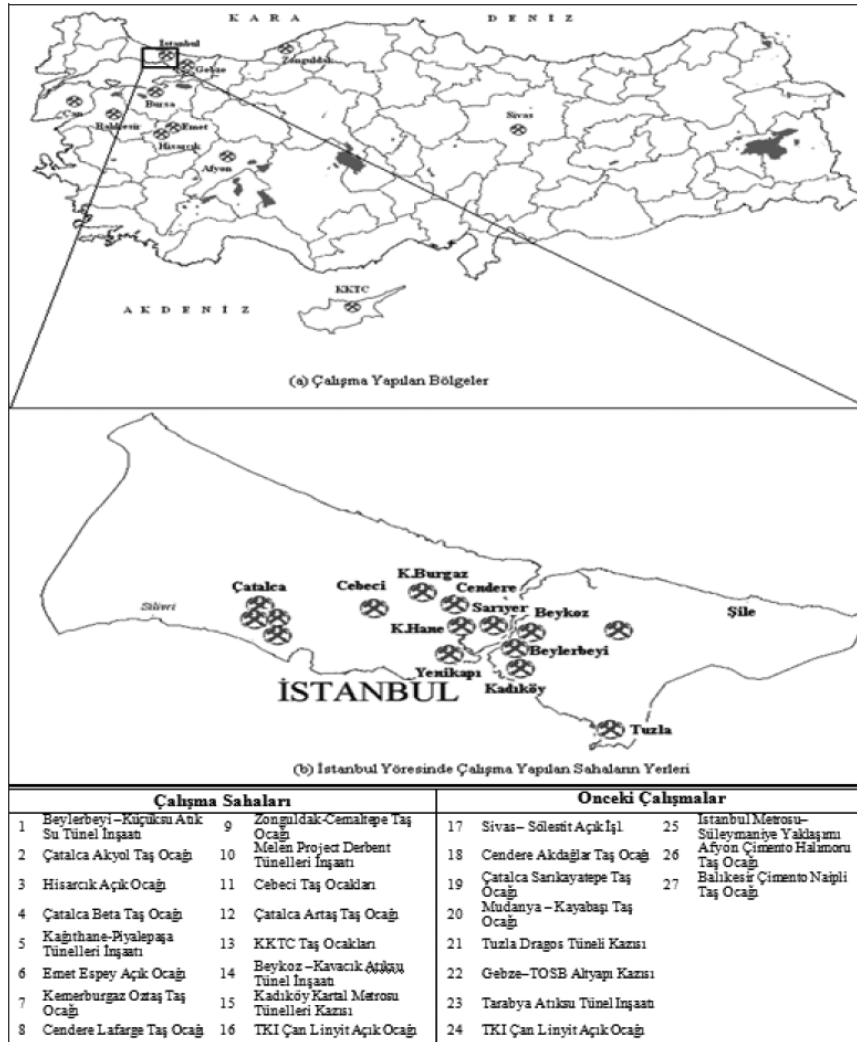
Çalışma kapsamında; öncelikle ülkemizde daha önce konuyla ilgili olarak farklı sahalarda yapılan 12 çalışma, veri çeşitliliğini ve adedini artırmak amacıyla tekrar gözden geçirilmiştir. Bu amaçla

Kahrıman ve arkadaşları tarafından 1995 yılından beri değişik sahalarda arazi çalışmalarından elde edilen veriler (Kahrıman ve Ceylanoğlu, 2001; Kahrıman ve diğ., 2002) ve sonuçlar ile Kuzu ve arkadaşlarının (2003) İstanbul Cendere Yöresi Akdağlar Taş Ocağı'nda yaptıkları çalışmaların verileri, bu araştırma kapsamında tekrar değerlendirilmiştir. Böylelikle hem ülkemiz koşullarına uygun kriter ve standartların oluşmasına katkı sağlayacak verilerin sayısı daha da fazlaştırılarak çeşitlendirilmiş hem de farklı kaya ortamlarının kendine has titreşim karakteristiklerinin ortaya konulmasına çalışılmıştır.

Yeniden değerlendirilen 11 çalışma ve araştırma kapsamında yapılan 16 çalışmanın gerçekleştirildiği faaliyet bölgeleri Şekil 1'de verilmiş olup aşağıda tanımlanmıştır.

ARAŞTIRMADA UYGULANAN YÖNTEM

Araştırma kapsamında, arazi çalışmalarında öncelikle sahalarda uygulanan patlatma paterni ve yöntemi ile ilgili gözlem ve incelemeler yapılmıştır. Arazi çalışmalarının yürütüldüğü sahalarda yapılan her patlatma ile ilgili parametrelerin kaydedilebilmesi için veri formları hazırlanmıştır.



Şekil 1. Çalışma sahalarının ve önceki çalışmaların yerleri.

Figure 1. Location of the test sites and previous studies.

Atımlarda uygulanan patlatma paterni, delik düzeni ve patlayıcı şarjı; şantiye yetkililerince sistematik olarak uygulanagelen şekliyle (herhangi bir müdahalede bulunulmadan) gözlemlenmiş ve ölçümler bu şekildeki çalışmalara spontane olarak uygulanmıştır. Titreşim ölçümlerine esas olacak söz konusu atımlarda, sadece gerekli kantitatif ölçüm ve gözlemler yapılmıştır. Firma yetkililerinin atımlarla ilgili kayıt ettikleri patern ve protokolleri gerekli verilerin türetilmesinde kullanılmıştır.

Her bir gecikme başına düşen patlayıcı maddenin miktarı, her bir delik için planlanan patlayıcı maddenin kontrollü bir şekilde şarj edilmesiyle belirlenmiştir. Atım kaynağı ile yersarsıntısı ve hava şoku kayıt istasyonu arasındaki mesafe ise GPS veya topoğrafik ölçüm cihazları kullanılarak belirlenmiştir. Ölçekli mesafenin belirlenmesinde literatürde en sık kullanılan kareköklü eşitlikten yararlanılmıştır (Karadoğan 2008; Karadoğan ve diğ., 2009).

Söz konusu sahalarda titreşim ölçümleri, ocak-

lara veya tünellere yakın yerleşim birimlerinde veya atım noktaları ile yerleşim birimleri arasındaki noktalarda yapılmıştır. Cihazlar konumlandırılırken mesafenin etkisini belirlemek amacıyla ocakların içinde veya ocaklara yakın noktalar bilinçli bir şekilde seçilmiştir. Tünel patlatmaları izlenen sahalarda ise, özellikle tünel güzergahları üzerindeki veya yakınındaki yapıların yanları bilinçli bir şekilde seçilmiştir. Daha sonra, cihazlardan elde edilen ölçüm kayıtları, bilgisayar destekli veri değerlendirme ünitesine aktarılarak değerlendirilmiştir.

ÖLÇÜM SONUÇLARI

Araştırma kapsamında çalışma yapılan yerler ile bu sahalarda izlenen atım sayıları, kaydedilen olay sayıları ve kullanılan cihaz sayısı Çizelge 1’de verilmiştir.

Yeniden değerlendirilen çalışma yerleri ile bu sahalarda izlenen atım sayıları, kaydedilen olay sayıları ve kullanılan jeofon sayısı Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışma sahalarının verileri.

Table 1. Data of the Test Sites.

Çalışma Yeri	Atım Sayısı	Kaydedilen Olay Sayısı	Kullanılan Titreşim Ölçer Cihaz Sayısı
İstanbul-Beylerbeyi –Küçüksu Atıksu Tünel İnşaatı	139	461	5
İstanbul-Çatalca Yöresi Akyol Taş Ocağı	715	754	10
Kütahya-Etibor Hisarcık Açık Ocağı	1361	1361	1
İstanbul-Çatalca Yöresi Beta Taş Ocağı	4	32	8
Kağıthane-Piyalepaşa Tüneli İnşaatı	126	250	4
Kütahya-Etibor Emet Espey Açık Ocağı	13	38	4
İstanbul-Kemberburgaz Yöresi Öztaş Taş Ocağı	6	31	10
İstanbul- Cendere Lafarge Çimento Taş Ocağı	2	12	6
Zonguldak Yöresi Cemaltepe Taş Ocağı	6	90	15
İstanbul-Melen Projesi Derbent Tüneli Kazısı	19	32	13
İstanbul-Cebeci Yöresi Taş Ocakları	35	35	4
İstanbul-Çatalca Yöresi Artaş Taş Ocağı	4	7	4
KKTC Taş Ocakları	6	27	3
İstanbul-Beykoz –Kavacık Atıksu Tünel İnşaatı	33	21	1
İstanbul-Kadıköy Kartal Metrosu Tüneli Kazısı	204	365	4
Çanakkale-Çan T.K.İ. Çan Linyit İşletmesi	25	246	11

Çizelge 2. Önceki çalışmaların verileri.

Table 2. Data of the previous studies.

Çalışma Yeri	Atım Sayısı	Kaydedilen Olay Sayısı	Kullanılan Titreşim Ölçer Cihaz Sayısı
Sivas-Sölestit Açık İşletmesi	47	47	1
İstanbul- Cendere Yöresi Akdağlar Taş Ocağı	33	33	1
İstanbul-Çatalca Yöresi Sarıkayatepe Taş Ocağı	73	73	1
Bursa-Mudanya Yöresi Kayabaşı Taş Ocağı	6	5	1
İstanbul-Tuzla – Dragos Tüneli Kazısı	3	3	1
Gebze-TOSB Altyapı Kazısı	149	149	1
İstanbul-Tarabya Atıksu Tünel İnşaatı	1	3	3
Çanakkale-Çan T.K.İ. Çan Linyit İşletmesi	54	54	1
İstanbul Metro-su-Süleymaniye Yaklaşımı Yenikapı Yönü Tünelleri	251	452	4
Afyon Çimento Sanayi Halımoru Taş Ocağı	5	11	4
Balıkesir Çimento Naipli Taş Ocağı	5	20	4

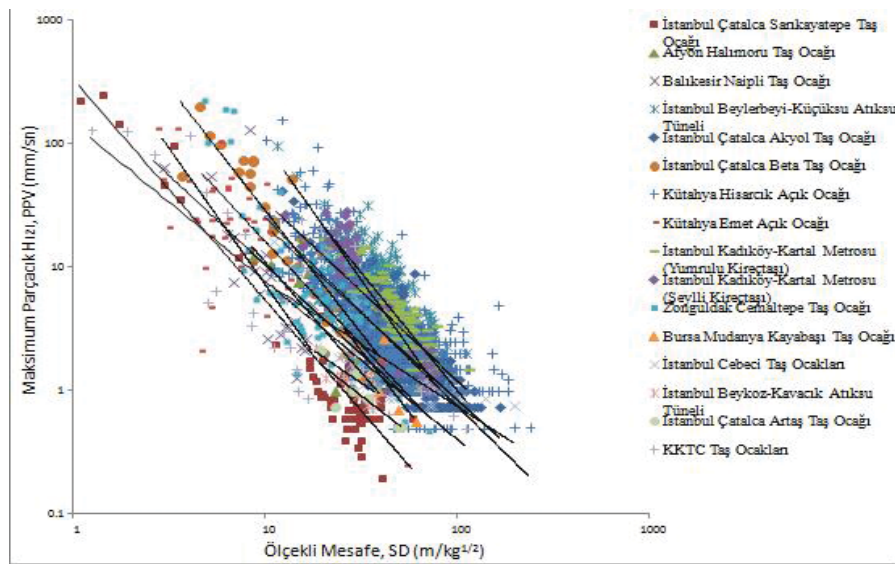
ARAZİ ÖLÇÜM SONUÇLARININ ANALİZİ

Araştırma kapsamında, çalışılan sahalarda titreşim ölçer kullanılmadığı durumlarda titreşim hızı tahmini ve buna dayalı kontrollü atım planlaması ya da hasar riski tahmini için; her bir sahada elde edilen mevcut parçacık hızı ve ölçekli mesafe veri çiftleri kullanılmak suretiyle, istatistiksel analizler yapılmıştır.

Çalışma yapılan tüm sahalarda kaya birimlerine göre değerlendirilmiştir. Benzer kaya özelliği gösteren

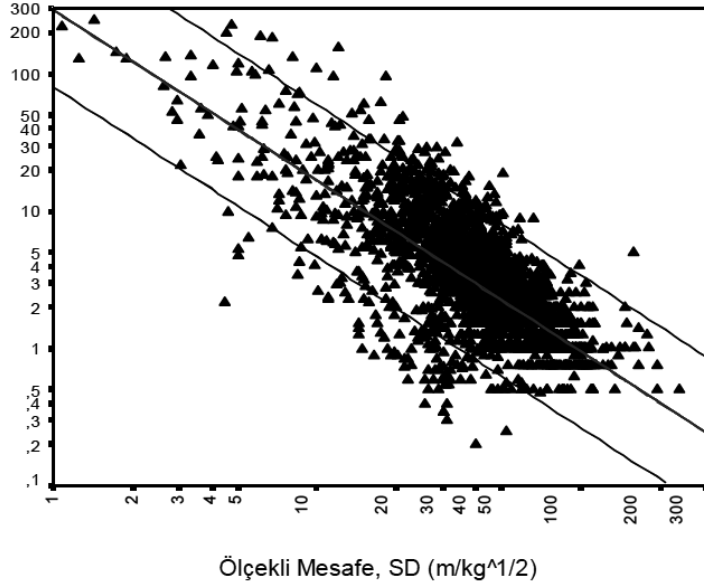
sahalardan elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirilerek regresyon analizi yapılmıştır.

Kireçtaşı sahalarda elde edilen ilişkiler her saha için ayrı ayrı Şekil 2’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere farklı sahalardaki kireçtaşlarının ölçekli mesafe parçacık hızı ilişkileri benzer eğilim göstermektedir. Tüm kireçtaşı sahalardan elde edilen veriler birlikte değerlendirildiğinde elde edilen logaritmik ilişki Şekil 3’de verilmiştir (SPSS, 1999).



Şekil 2. Kireçtaşı sahalarının PPV ve ölçekli mesafe ilişkileri.

Figure 2. PPV versus scaled distance of limestone sites.

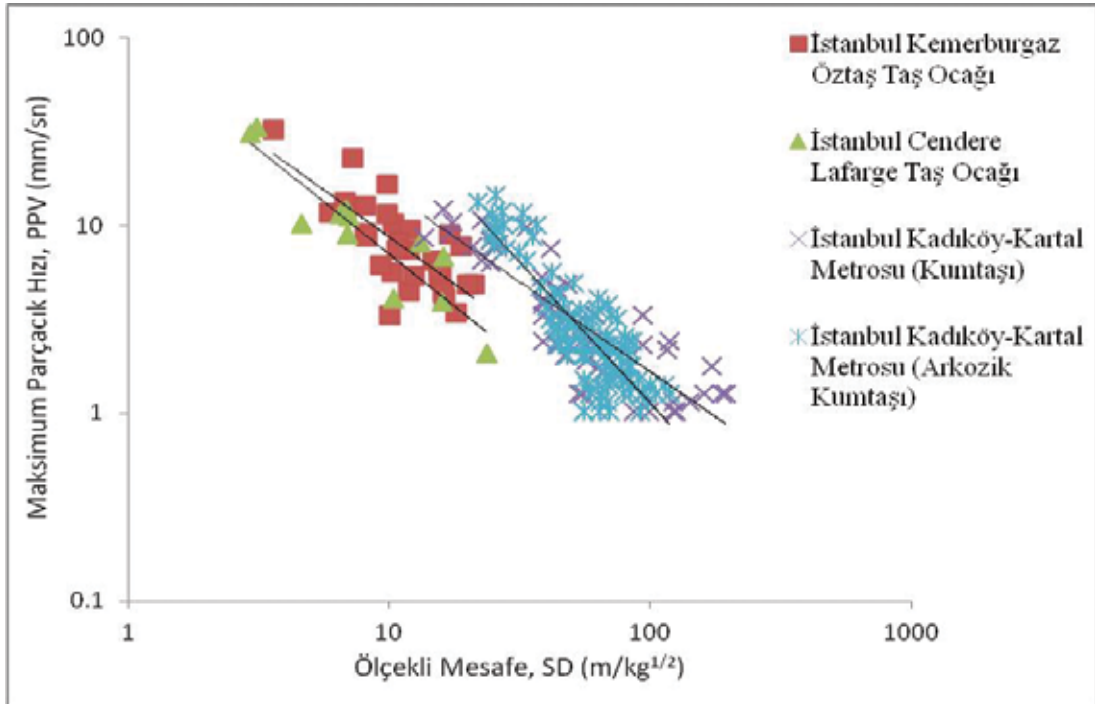


Şekil 3. Kireçtaşı için PPV ve ölçekli mesafe ilişkisi.

Figure 3. PPV versus scaled distance for limestone.

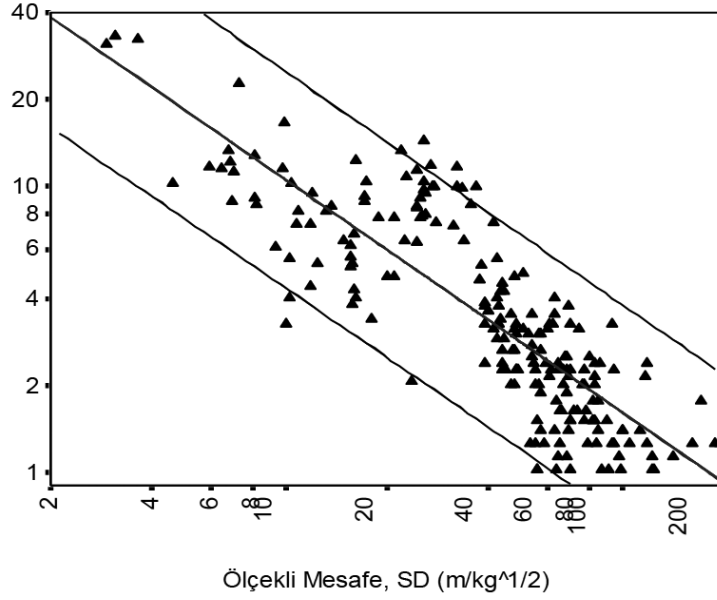
Kumtaşı sahalarında elde edilen ilişkiler her saha için ayrı ayrı Şekil 4’de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere farklı sahalardaki kumtaşlarının ölçekli mesafe parçacık hızı ilişkileri benzer

eğilim göstermektedir. Tüm kumtaşı sahalarından elde edilen veriler birlikte değerlendirildiğinde, elde edilen logaritmik ilişki Şekil 5’de verilmiştir (SPSS, 1999).



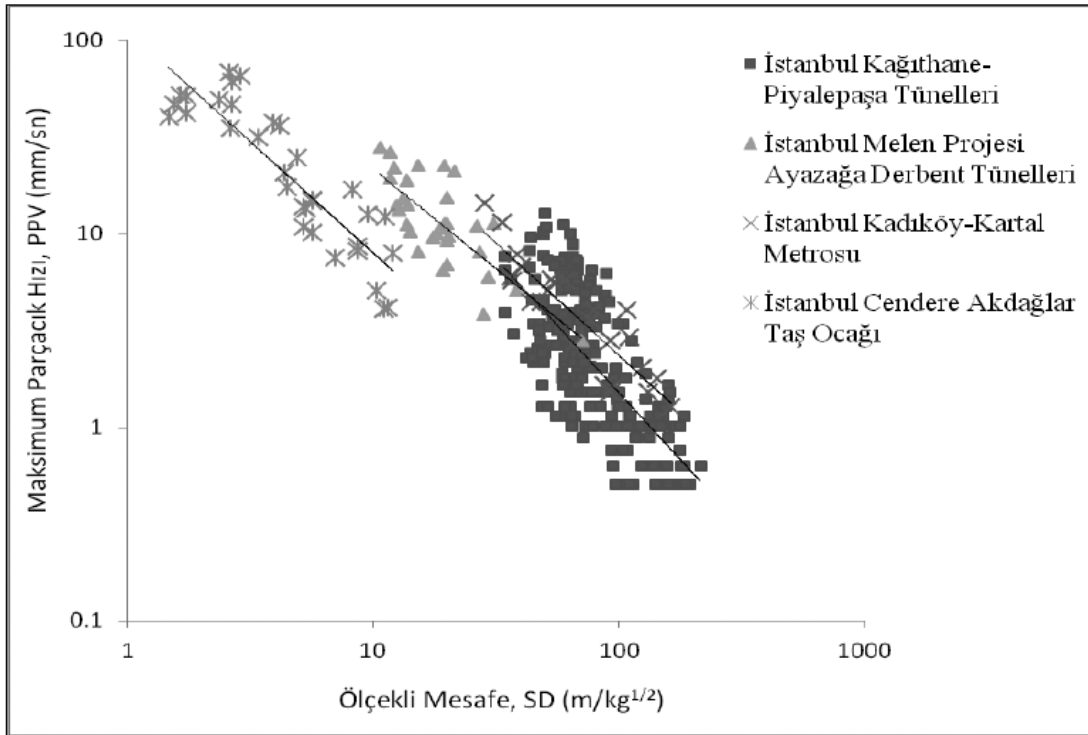
Şekil 4. Kumtaşı sahalarının PPV ve ölçekli mesafe ilişkileri.

Figure 4. PPV versus scaled distance of sandstone sites.



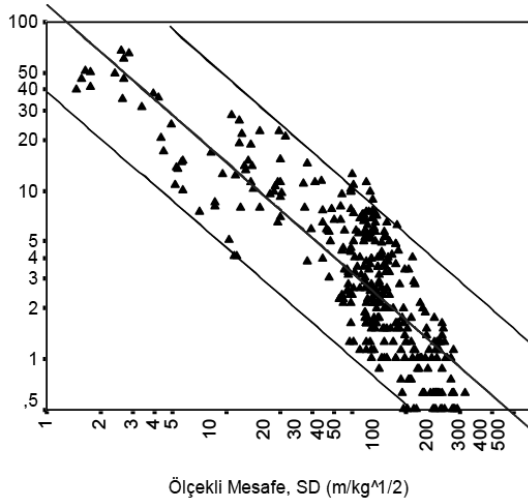
Şekil 5. Kumtaşı için PPV ve ölçekli mesafe ilişkisi.

Figure 5. PPV versus scaled distance for sandstone.



Şekil 6. Grovak +silttaşı sahalarının PPV ve ölçekli mesafe ilişkileri.

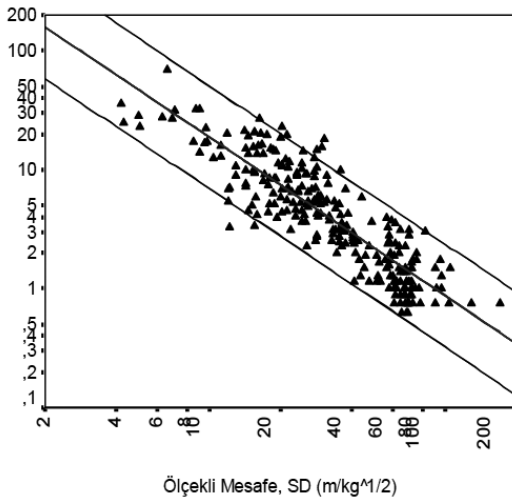
Figure 6. PPV versus scaled distance of greywacke + siltstone sites.



Şekil 7. Grovak +silttaşı için PPV ve ölçekli mesafe ilişkisi.

Figure 7. PPV versus scaled distance for greywacke+siltstone.

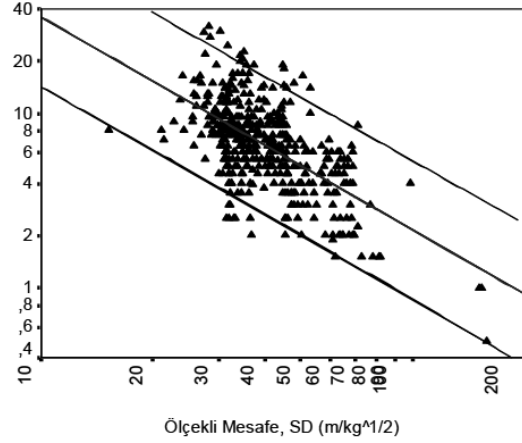
Marn+Kil+Kömür sahasından elde edilen verilerin logaritmik ilişkisi Şekil 8’de verilmiştir (SPSS, 1999).



Şekil 8. Marn+kil+kömür için PPV ve ölçekli mesafe ilişkisi.

Figure 8. PPV versus scaled distance for marl + clay + coal.

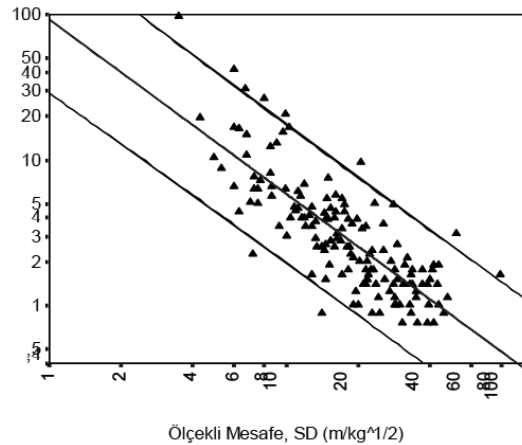
Kiltaşı sahasından elde edilen verilerin logaritmik ilişkisi Şekil 9’da verilmiştir (SPSS, 1999).



Şekil 9. Kiltaşı için PPV ve ölçekli mesafe ilişkisi.

Figure 9. PPV versus scaled distance for claystone.

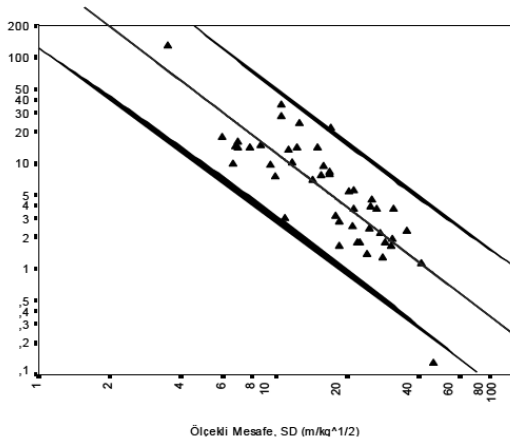
Granit sahasından elde edilen verilerin logaritmik ilişkisi Şekil 10’da verilmiştir (SPSS, 1999).



Şekil 10. Granit için PPV ve ölçekli mesafe ilişkisi.

Figure 10. PPV versus scaled distance for granite.

Sölestit sahasından elde edilen verilerin logaritmik ilişkisi Şekil 11’de verilmiştir (SPSS, 1999).



Şekil 11. Jips+anhidrit+sölestit için PPV ve ölçekli mesafe ilişkisi.

Figure 11. PPV versus scaled distance for gypsum + anhydrite + celestite.

Yapılan regresyon analizleri sonucunda % 50 ve % 95 tahmin hatlarına göre her bir saha için elde edilen saha sabitleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Her bir saha için elde edilen ölçüm sayıları dikkate alındığında, çeşitli kaya birimleri için çok

sayıda veriye dayalı (uluslararası değerlerin çok üzerinde) tahmin denklemleri ortaya konulmuştur.

Çalışma yapılan tüm sahalar kaya birimlerine göre de irdelenmiştir. Benzer kaya özelliği gösteren sahalardan elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirilerek yapılan regresyon analizinde, Çizelge 4’de verilen kaya birimleri için % 50 ve % 95 tahmin hatlarına göre saha sabitleri belirlenmiştir. Çizelge 4’de verilen saha sabitleri, verilen kaya birimlerinde yapılacak çalışmalarda titreşim ölçer kullanılmadığı durumlarda yapılacak tahminlerde ve atım planlamalarında kullanılabilecektir.

Araştırma kapsamında yapılan en önemli iş; istatistiksel açıdan çok büyük miktarlardaki veri çiftleri (titreşim hızı, patlayıcı şarjı ve mesafeye dayalı) elde edilerek, ülkemiz patlatmalı kazı faaliyetleri genelinde yaygın olarak karşılaşılan kaya birimlerindeki, titreşim hızı yayılımı ve frekans dağılımlarının tahminine yönelik çok ciddi veriler elde edilmiştir. Bu verilerden hareketle risk analizleri ve hasar kriteri oluşturmaya yönelik çalışmalar için temel oluşturulmuştur.

Çizelge 3. Çalışma sahalarnın saha sabitleri.

Table 3. Field constants for test sites.

Patlatma Çalışmalarının İzlendiği Sahalar	Kaya Birimi	Atım Sayısı	Ölçüm Alınan Kayıt Sayısı	% 50 Ortalama Tahmin Denklemi Saha Sabitleri			% 95 Üst Tahmin Denklemi Saha Sabitleri		
				K	b	r	K	b	r
İstanbul-Çatalca Sarıkayatepe Taş Ocağı	Kireçtaşı	73	73	340	1.79	0.93	1148	1.79	1
Mudanya – Kayabaşı Taş Ocağı	Kireçtaşı	6	5	2115	1.99	0.83	12589	1.99	1
İstanbul-Tarabya Atıksu Tünel ve Kollektörleri İnşaatı	Kireçtaşı	1	3	13	0.26	0.07	-	-	-
Afyon Çimento Halımoru Taş Ocağı	Kireçtaşı	5	11	696	1.79	0.89	2188	1.79	1
Balıkesir Çimento Naipli Taş Ocağı	Kireçtaşı	5	20	1190	2.21	0.79	6607	2.21	1
İstanbul-Beylerbeyi –Küçüksu Atıksu Tünel İnşaatı	Kireçtaşı	139	461	978	1.45	0.67	3020	1.45	1
İstanbul-Çatalca Akyol Taş Ocağı	Kireçtaşı	715	754	564	1.41	0.81	1288	1.41	1
Kütahya-Hisarçık Açık Ocağı	Kireçtaşı	1361	1361	839	1.52	0.80	2291	1.52	1

Çizelge 3. (devamı)

Table 3. (cont.)

Patlatma Çalışmalarının İzlendiği Sahalar	Kaya Birimi	Atım Sayısı	Ölçüm Alınan Kayıt Sayısı	% 50 Ortalama Tahmin Denklemleri Saha Sabitleri			% 95 Üst Tahmin Denklemleri Saha Sabitleri		
				K	b	r	K	b	r
				Kütahya-Emet Espey Açık Ocağı	Kireçtaşı	13	38	294	1.45
İstanbul-Çatalca Beta Taş Ocağı	Kireçtaşı	4	32	2874	1.99	0.89	10715	1.99	1
Zonguldak-Cemaltepe Taş Ocağı	Kireçtaşı	6	90	773	1.67	0.79	3311	1.67	1
İstanbul-Cebeci Taş Ocakları	Kireçtaşı	35	35	78	1.01	0.81	229	1.01	1
İstanbul-Çatalca Artaş Taş Ocağı	Kireçtaşı	4	7	59	1.20	0.83	145	1.20	1
İstanbul-Beykoz-Kavacık Atıksu Tüneli	Kireçtaşı	33	21	46	1.06	0.64	85	1.06	1
KKTC Taş Ocakları	Kireçtaşı	6	27	148	1.28	0.81	1445	1.28	1
İstanbul-Kemerburgaz Öztaş Taş Ocağı	Kumtaşı	6	31	87	1.00	0.75	182	1.00	1
İstanbul- Cendere Lafarge Taş Ocağı	Kumtaşı	2	12	91	1.11	0.91	209	1.11	1
İstanbul-Kağıthane-Piyalepaşa Tünelleri	Grovak- Silttaşı	126	250	890	1.38	0.71	2754	1.38	1
İstanbul- Cendere Akdağlar Taş Ocağı	Grovak	33	33	113	1.15	0.89	257	1.15	1
İstanbul-Melen Projesi Derbent Tünelleri Kazısı	Silttaşı	19	32	70	0.74	0.30	490	1.03	1
Tuzla – Dragos Tüneli	Silttaşı	3	3	3.6	0.25	0.20	-	-	-
Çan-T.K.İ. Çan Açık Ocağı	Marn+Kil+ Kömür	79	300	408	1.34	0.89	1072	1.34	1
İstanbul Metrosu– Süleymaniye Yaklaşımı	Kiltaşı	251	452	600	1.22	0.61	1479	1.22	1
Yenikapı Yönü Tünelleri	Granit	149	149	92	1.19	0.79	275	1.19	1
Gebze–TOSB Altyapı Kazısı	Granit	149	149	92	1.19	0.79	275	1.19	1
Gebze–TOSB Altyapı Kazısı	Jips + Anhidrit +	47	47	645	1.71	0.83	2570	1.71	1
Sivas–Sölestit Açık İşletmesi	Sölestit Grovak	11	25	496	1.16	0.89	955	1.16	1
İstanbul-Kadıköy Kartal Metrosu Tünelleri Kazısı	Ym. kireçtaşı	59	116	6702	1.91	0.86	13182	1.91	1
(Tünel Patlatması)	Şeyl- kireçtaşı	44	59	16139	2.20	0.93	38019	2.20	1
	Kumtaşı	40	51	137	0.96	0.86	302	0.96	1
	Ark. kumtaşı	59	114	1134	1.50	0.86	2291	1.50	1

En Yüksek Parçacık Hızı Tahmin Denklemi : $PPV = K \cdot (SD)^b$

Çizelge 4. Farklı kaya birimleri için saha sabitleri.

Table 4. Field constants for different rock units.

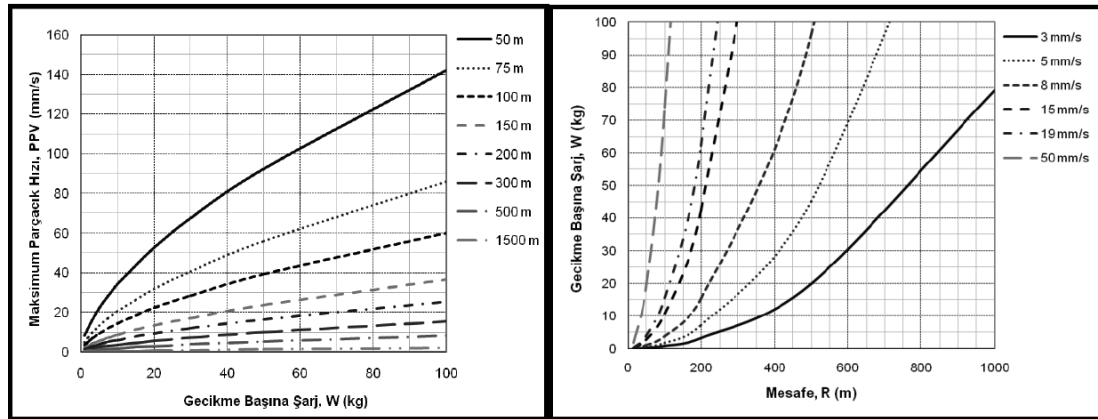
Kaya Birimi	Atım Sayısı	Ölçüm Alınan Kayıt Sayısı	% 50 Ortalama Tahmin Denklemi Saha Sabitleri			% 95 Üst Tahmin Denklemi Saha Sabitleri		
			K	b	r	K	b	r
Kireçtaşı	2509	3110	292	1.24	0.74	1047	1.24	1
Kumtaşı	107	209	67	0.81	0.84	162	0.81	1
Grovak+ Silttaşı	192	340	126	0.93	0.85	407	0.93	1
Marn+Kil+Kömür	79	300	408	1.34	0.88	1072	1.34	1
Kiltaşı	251	452	600	1.22	0.61	1479	1.22	1
Granit	149	149	92	1.19	0.79	275	1.19	1
Jips + Anhidrit + Sölestit	47	47	645	1.71	0.83	2570	1.71	1

En Yüksek Parçacık Hızı Tahmin Denklemi : $PPV = K \cdot (SD)^b$

Araştırma kapsamında söz konusu kaya birimlerinin oluşturduğu sahalarda bundan sonra yapılacak atımların kontrollü yapılmasının temini amacıyla, patlatma sorumlularının işini kolaylaştırmak ve atımların daha çok psikolojik olduğu anlaşılan çevresel etkilerini en aza indirmek amacıyla, Özer ve diğ. (2008) tarafından geliştirilen pratik grafikler Ülkemizdeki farklı kaya birimleri için yeniden oluşturulmuştur.

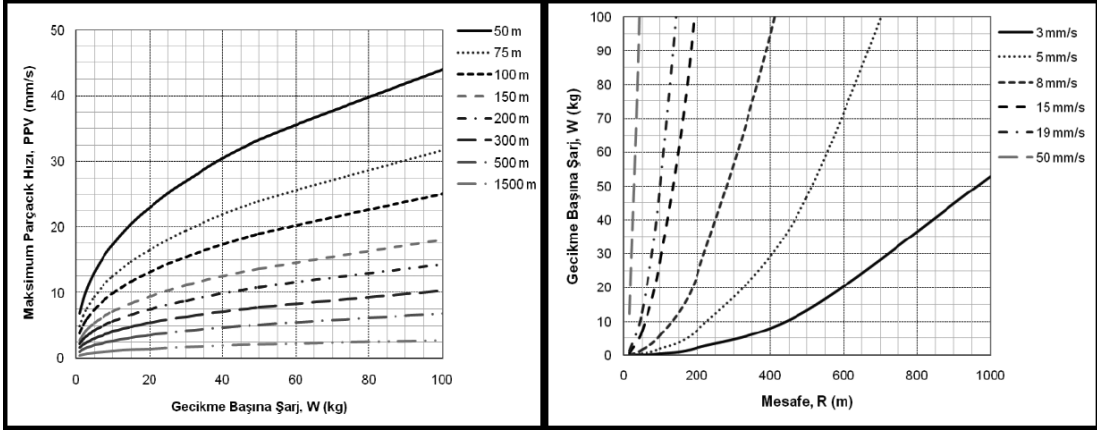
edilen ampirik ilişkiler kullanılarak oluşturulan ve aşağıda verilen Şekil 12'den Şekil 18'e kadarki grafiklerle çalışılan her kaya birimi için gecikme başına şarj ve mesafe değerlerine bağlı olarak maksimum parçacık hızı (PPV) ve uluslararası standartlarda değişik yapı türleri için belirlenen PPV limit değerleri ve mesafe değerlerine bağlı olarak gecikme başına şarj değerlerinin kolayca hesaplanabilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada incelenen kaya birimleri için elde



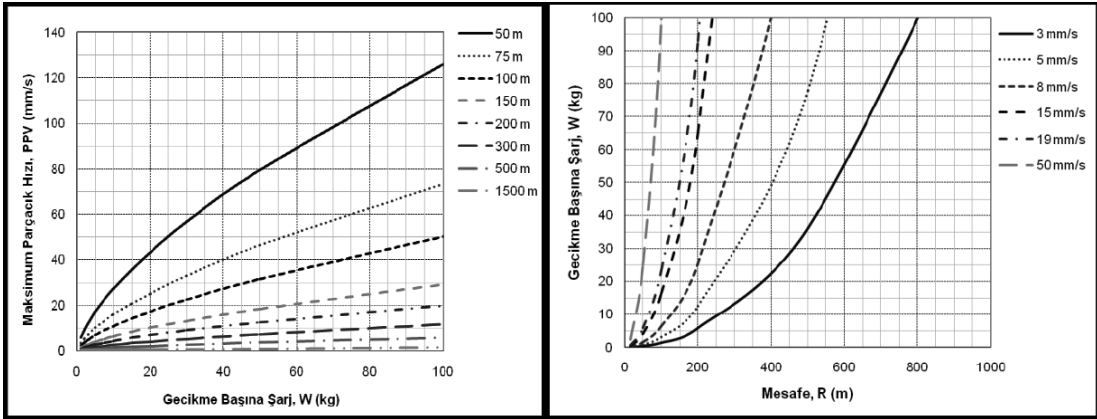
Şekil 12. Kireçtaşı için PPV ve gecikme başına şarj tahmini.

Figure 12. Prediction of PPV and charge per delay for limestone.



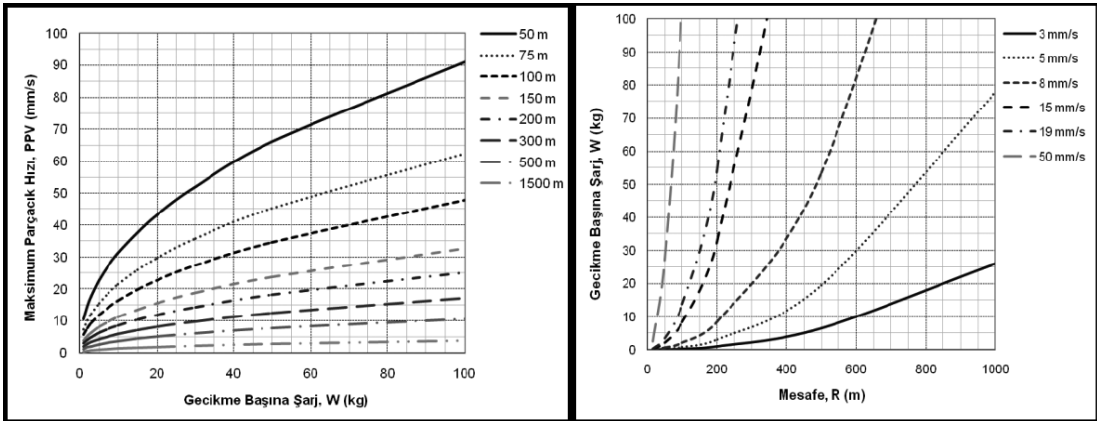
Şekil 13. Kumtaşı için PPV ve gecikme başına şarj tahmini.

Figure 13. Prediction of PPV and charge per delay for sandstone.



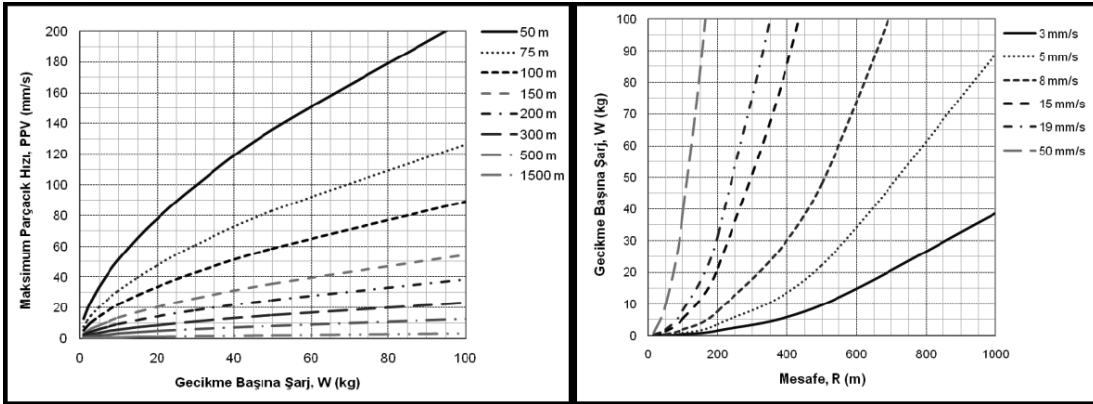
Şekil 14. Marn+kil+kömür için PPV ve gecikme başına şarj tahmini.

Figure 14. Prediction of PPV and charge per delay for marl+clay+coal.



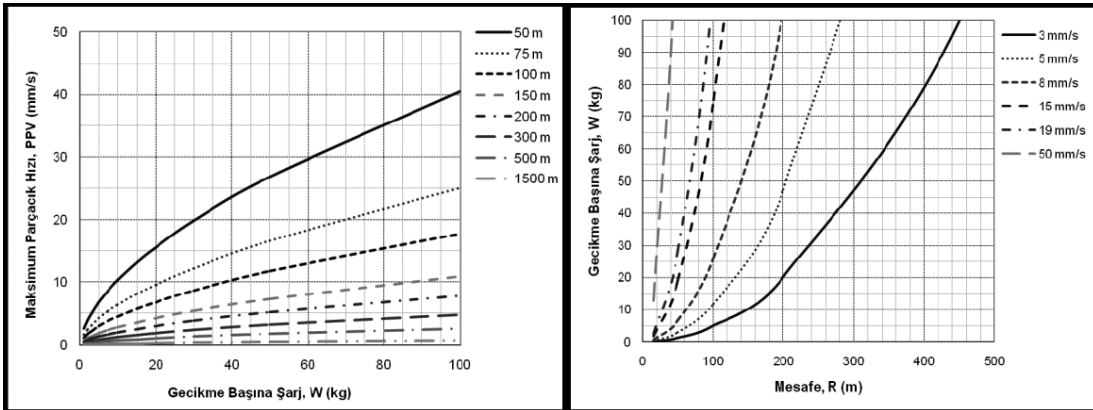
Şekil 15. Grovack+silttaşı için PPV ve gecikme başına şarj tahmini.

Figure 15. Prediction of PPV and charge per delay for greywacke+siltstone.



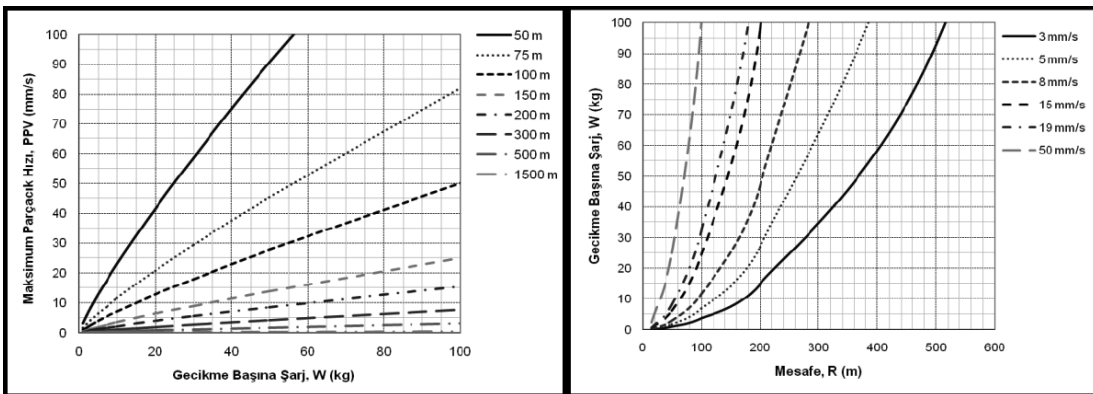
Şekil 16. Kiltası için PPV ve gecikme başına şarj tahmini.

Figure 16. Prediction of PPV and charge per delay for claystone.



Şekil 17. Granit için PPV ve gecikme başına şarj tahmini.

Figure 17. Prediction of PPV and charge per delay for granite.



Şekil 18. Jips+anhidrit+sölestit için PPV ve gecikme başına şarj tahmini.

Figure 18. Prediction of PPV and charge per delay for gypsum+anhydrite+celestite.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, değişik kaya birimlerinde oluşturulan ve yerleşim alanlarına oldukça yakın olan 27 farklı patlatma sahasında (16 yeni çalışma ve 11 önceki çalışma) kapsamlı bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Maksimum parçacık hızları ve ölçekli mesafeler arasında kullanılabilir ilişkiler saptamak için, tüm sahalarda ve kaya birimlerinden elde edilen veri çiftleri kullanılarak, istatistiksel analizler yapılmıştır. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda, ortalama ve % 95 tahmin hatlarında iyi korelasyon katsayıları veren ampirik ilişkiler saptanmış ve bu ilişkiler tüm saha ve kaya birimleri için önerilmiştir. Böylece, 7 farklı kaya birimi için arazi iletim ve saha sönümlenme katsayıları belirlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda, 7 farklı kaya birimi için, pratik grafikler hazırlanmış ve sunulmuştur. Bu grafikler, arazi iletim ve sönümlenme katsayılarını içeren kayalar için elde edilen eşitliklere ait %95 tahmin hattı denklemlerine dayanır. Patlatmaların tasarımından sorumlu kişiler, maksimum parçacık hızı ve gecikme başına şarj miktarını belirlemek ve tahmin etmek için, bu grafikleri kullanarak söz konusu kaya birimlerinde gelecekte yapılacak patlatmaları tasarlayabilirler.

Parçacık hızının tahmini için saptanan saha sabitlerinin, diğer etkilerden dolayı düzensiz sonuçlar verebileceği dikkate alınmalıdır. Bu katsayıların güvenilirliğini desteklemek için, daha fazla patlatma olayı, her saha ve kaya için ocağın gelişimine bağlı olarak, daha çok ölçüm sonuçları ile değişik yönlerde izlenmeli ve regresyon analizleri güncellenmelidir.

SUMMARY

In this study, an extensive research work realized at 27 different blasting sites (11 previous studies and 16 new studies) constituted different rock units and located quite close to residential areas. In order to establish useful relationships between peak particle

velocities and scaled distances, statistical analysis were performed using the data pairs obtained from all these sites and rock units. At the end of analysis of the data pairs, empirical relations, which gives average line at upper bound 95% prediction line with a good correlation coefficients were established and suggested for each site and different rock units. Thus, ground transmission and attenuation coefficients for 7 different rock units and 27 different sites were determined.

It should be taken into consideration that these coefficients established just for prediction of particle velocity would give erratic results because of other various effects. To support the reliability of these coefficients more events should be monitored in different directions and regression analysis should be updated by more measurement results depending on advances of time and mine for each site and rock unit.

As the result of the study, practical blasting charts were prepared and presented for the 7 different rock units. These charts were based on the proposed 95% prediction line equations including ground transmission and attenuation coefficients. The persons in charge of designing blasts can design future blasts at these rock units by utilizing this charts to determine or estimate peak particle velocities and maximum charge per delay.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliği (Proje No: 429/13092005 ve T-865/02062006) ve Devlet Planlama Teşkilatı (Proje No: 2005K120990) tarafından desteklenmiştir.

Yazarlar, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliği ve Devlet Planlama Teşkilatı'na finansal destekleri için teşekkür eder.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Ak, H., Iphar, M., Yavuz M., Konuk, A., 2009,** Evaluation of ground vibration effect of blasting operations in a magnesite mine, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29: 4: 669-676.
- Dowding, C.H., 1985,** Blast Vibration Monitoring and Control, Prentice-Hall, USA.
- Kahriman, A., 2002,** Analysis of Ground Vibrations Caused by Bench Blasting at Can Open – Pit Lignite Mine in Turkey, *International Journal of Geosciences Environmental Geology*, 41:6:653-661.
- Kahriman, A., Tuncer, G., Görgün, S., Karadoğan, A., 2002,** Monitoring and Analysing Ground Vibration Induced by Different Blasting Excavation Activities, Seventh International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production, October 7-10, Cagliari, Italy, 385-394.
- Kahriman, A., 2001,** Prediction of Particle Velocity Caused by Blasting for an Infrastructure Excavation Covering Granite Bedrock, *Mineral Resources Engineering, Imperial College Pres*, 10(2), 205-218.
- Kahriman, A., Ceylanoğlu, A., 2001,** Evaluation of Measurement Results of Ground Vibration Induced by Blasting in A Celestite Open-Pit Mine in Turkey, *Pakistan Journal of Applied Sciences*, 1(2), Faisalabad, Pakistan, 135-138.
- Karadoğan, A., Kahriman A., Ozer, U., 2009,** The analysis of blast-induced ground vibrations for different rock units, 9th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference & Expo: Modern Management of Mine Producing Geology and Environmental Protection, SGEM 2009, 14-19 June, Varna, Bulgaria, pp 481-494.
- Karadoğan, A., 2008,** Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimler İçin Ulusal Yapı Hasar Kriterleri Oluşturulabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Kuzu, C., 2008,** The importance of site specific characters in prediction models for blast induced ground vibrations, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28: 5: 405-414.
- Kuzu, C., Ergin, H., 2003,** Patlatma Kaynaklı Titreşimlerde OSMRE Çözümleri-I İstanbul Cendere Havzası'ndan Bir Uygulama Örneği, III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 3-4 Aralık İstanbul, 115-120.
- Ozer, U., Karadoğan, A., Aksoy, M., Adigüzel, D., Ozdemir, K., 2008a,** The analysis of the ground vibrations induced by blasting and the investigation of establishing the national structure damage criteria, The Research Fund of the University of Istanbul, Project Number: 429/13092005, Istanbul.
- Ozer, U., Kahriman, A., Aksoy, M., Adigüzel, D., Karadoğan, A., 2008b,** The Analysis of Ground Vibrations Induced by Bench Blasting at Akyol Quarry and Practical Blasting Charts, *Environmental Geology*, 54: 4: 737-743.
- SPSS, 1999,** Statistical Software, SPSS 10.0 for Windows

