

# 8. DELME-PATLATMA SEMPOZYUMU BİLDİRİLER KİTABI

PROCEEDINGS OF THE 8<sup>th</sup> DRILLING-BLASTING SYMPOSIUM

19-20 Kasım/November 2015, İstanbul

**EDİTÖRLER/EDITORS**

Ümit ÖZER

Abdulkadir KARADOĞAN

Türker HÜDAVERDİ

Ülkü KALAYCI

Meriç Can ÖZYURT



**TMMOB**  
**MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI**  
**İSTANBUL ŞUBESİ**



**MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI MERKEZ YÖNETİM KURULU**  
**THE EXECUTIVE BOARD OF THE CHAMBER OF MINING ENGINEERS**

Başkan : Ayhan YÜKSEL  
II. Başkan : Hüseyin Can DOĞAN  
Yazman : Necmi ERGİN  
Sayman : Mehmet ÖZYURT  
Üyeler : Emre DEMİR  
Mehmet ZAMAN  
Emra ERGÜZELOĞLU

**MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI İSTANBUL ŞUBESİ YÖNETİM KURULU**  
**THE EXECUTIVE BOARD OF THE CHAMBER OF MINING ENGINEERS ISTANBUL**  
**BRANCH**

Başkan : Nedret DURUKAN  
II. Başkan : Nihat Alpin MÜTEVELLİOĞLU  
Yazman : Hürriyet DEMİRHAN  
Sayman : Selçuk ŞİMŞEK  
Üyeler : Burhan ERDİM  
Zeynep SERTABİPOĞLU  
Büşra ERTUĞRUL

© Kasım 2015. Tüm hakları saklıdır.

TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın yazılı izni olmaksızın bu kitap ya da kitabın bir kısmı herhangi bir biçimde çoğaltılamaz, yayımlanamaz.

ISBN: 978-605-01-0787-6

**Basım Yeri:**

Diñç Ofset Mat. Rek. San. ve Tic. Ltd. Şti.  
Davutpaşa Cad. Emintaş Matbaacılar Sitesi  
No: 103/580-581 Topkapı /Zeytinburnu/İstanbul  
Tel: 0212 493 33 00

**TMMOB Maden Mühendisleri Odası**

Selanik Cad. No: 19/4 06650 Kızılay – Ankara  
Tel : + 90 (312) 425 10 80 Fax: +90 (312) 417 52 90  
Web: www.maden.org.tr E-posta: maden@maden.org.tr

**TMMOB Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi**

Büyükdere Cad. Çınar Apt. No: 95 Kat:8 Daire:31  
Mecidiyeköy – İstanbul Fax: +90 (212) 356 74 12  
Tel: +90 (212) 356 74 10 E-posta: istanbul@maden.org.tr

Sempozyum kitabının baskısı, Çiftay İnşaat Taahhüt ve Tic. A.Ş. tarafından gerçekleştirilmiştir.

## YÜRÜTME KURULU / EXECUTIVE COMMITTEE

Başkan	Dr. Ümit ÖZER	(İÜ)
Başkan Yardımcısı	Nihat Alpin MÜTEVELLİOĞLU	(MMO)
Sekreterler	Dr. Abdulkadir KARADOĞAN	(BİLİMSEL) (İÜ)
	Mesut ERKAN	(TEKNİK) (MMO)
	Selçuk ŞİMŞEK	(SAYMAN) (MMO)
Üyeler	Necmi ERGİN	(MMO)
	Mehmet ÖZYURT	(MMO)
	Nedret DİNER DURUKAN	(MMO)
	Büşra ERTUĞRUL	(MMO)
	Hürriyet DEMİRHAN	(MMO)
	Nahit ARI	(MMO)
	Dr. Türker HÜDAVERDİ	(İTÜ)
	Umut ATLIHAN	(MMO)
	Ülkü KALAYCI	(İÜ)
	Meriç Can ÖZYURT	(İÜ)
	H. İbrahim İŞCEN	(KIRLIOĞLU)
	Müfit ERDİL	(KAPEKS)
	Hidayet OSMANOĞLU	(ORİCA)
	Gökhan HALICILAR	(NİTROMAK)
	Gökhan MERTLER	(YAVAŞÇALAR)
	Ümit KILIÇ	(MADSER)
	Bekir KARABEKMEZ	(MAKSAM)
	Oğuz ÖZKAZANÇ	(SOLAR)
	Orhan PATIR	(KOMANDO)

## BİLİM KURULU / SCIENTIFIC COMMITTEE

Dr. Ömür ACAROĞLU	(İTÜ)	Dr. Ali KAHRİMAN	(OÜ)
Dr. Hakan AK	(OGÜ)	Dr. Abdulkadir KARADOĞAN	(İÜ)
Dr. Hürriyet AKDAŞ	(OGÜ)	Dr. Doğan KARAKUŞ	(DEÜ)
Dr. Nuri Ali AKÇIN	(BEÜ)	Dr. Celal KARPUZ	(ODTÜ)
Dr. Ufuk Gökhan AKKAYA	(İÜ)	Dr. Ayhan KESİMAL	(KTÜ)
Dr. Özgür AKKOYUN	(DÜ)	Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ	(ÇÜ)
Dr. Raşit ALTINDAĞ	(SDÜ)	Dr. Mehmet Sıddık KIZIL	(QU)
Dr. Ercan ARPAZ	(KÜ)	Dr. Gürcan KONAK	(DEÜ)
Dr. Hasan Aydın BİLGİN	(ODTÜ)	Dr. Mustafa KUMRAL	(MU)
Dr. Nuh BİLGİN	(İTÜ)	Dr. Cengiz KUZU	(İTÜ)
Dr. Niyazi BİLİM	(SÜ)	Dr. Ahmet Hakan ONUR	(DEÜ)
Dr. Ahmet DAĞ	(ÇÜ)	Dr. Ümit ÖZER	(İÜ)
Dr. Hasan ERGİN	(İTÜ)	Dr. Hakan TUNÇDEMİR	(İTÜ)
Dr. Kazım GÖRGÜLÜ	(CÜ)	Dr. Bülent TÜTMEZ	(İÜ)
Dr. Mehmet Ali HİNDİSTAN	(HÜ)	Dr. G. Gülsev UYAR	(HÜ)
Dr. Türker HÜDAVERDİ	(İTÜ)	Dr. Önder UYSAL	(DÜ)
Dr. Melih İPHAR	(OGÜ)	Dr. Bahtiyar ÜNVER	(HÜ)
Dr. Sair KAHRAMAN	(HÜ)	Dr. Olgay YARALI	(BEÜ)

(İsimler soyadına göre alfabetik olarak verilmiştir.)

## Bir Taşocağında Kullanılacak Saha Sarsıntı Yayılım Denkleminin Belirlenmesi

### *Determination of Site Specific Vibration Attenuation in a Quarry*

Ü. Kalaycı, Ü. Özer, A. Karadoğan, M.C. Özyurt

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

**ÖZET** Çalışmanın amacı, İstanbul/Türkiye’de bulunan bir taşocağında, yapılacak bir patlatma uygulaması ile oluşacak titreşimlerin büyüklüğünü tahmin edecek saha sarsıntı yayılım denklemini belirleyebilmektir. Bu amaçla çalışma sahasında son 12 yılda yapılmış patlatmalardan elde edilen saha sarsıntı yayılım denklemleri, tahmin kabiliyetleri bakımından, sahadan alınmış 102 adet titreşim kaydı test verisi olarak kullanılmak suretiyle analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda bir saha için en uygun sarsıntı yayılım denklemi seçim yöntemi ve kriterleri açıklanmıştır.

**ABSTRACT** The aim of this study is to forecast the site specific vibration attenuation formula to evaluate the magnitude of vibrations formed by blasting in a quarry operating in Turkey/Istanbul. For this purpose, different site specific vibration attenuation equations obtained from the study area in the past 12 years, forecasting capabilities according to designated new conditions, using 102 vibration records as test data obtained from the study area was investigated. Finally, the process of selecting the most appropriate equation according to different target criteria was presented and explained.

### **1 GİRİŞ**

Maden ve taşocaklarında, patlatma tekniklerinin ekonomik ve üretimsel faydalarının yanı sıra pek çok olumsuz yan etkisi de bulunmaktadır. Öncelikle, patlatmalardan kaynaklanan sismik dalgalar, çevresindeki yapılarda hasara neden olurlar (Kalaycı 2011).

Patlatma kaynaklı titreşim yayılımı üzerine geçmişten günümüze pek çok değerli çalışma ortaya konmuştur. Bu çalışmaların temel amacı çevresel sorunları izole etmek, yan amaçlar ise patlatmanın performansını denetlemek ve yapıların tepkisini tahmin ve kontrol etmektir (Dowding 1985; Ambraeys et al. 1968; Ghosh 1983).

Dowding 1985; Ghosh 1983; Gupta vd, 1988; Nicholls vd, 1971, ölçekli mesafe, gecikme başına şarj miktarı ve maksimum parçacık hızını belirleyici parametreler olarak göz önünde bulundurmış ve analiz tekniği olarak istatistiksel yöntemler kullanmışlardır.

Bilindiği üzere, patlatma kaynaklı titreşim dalgaları taşıdıkları enerji düzeyinde hasara neden olurlar. Titreşimlerin enerji seviyeleri parçacık hızı (mm/sn), parçacık yer değiştirmesi (mm), parçacık ivmesi ve dalga frekansı ile tayin edilir. Bu bileşenler birbirlerine dönüştürülebilir niteliktedirler (Dowding 1985; Ambraseys et al. 1968; Jimeno et al. 1995; Karadoğan 2008; Faramarzi et al. 2014).

Parçacık hızı tahmininde konunun karmaşıklığı ve ortamın kaotik yapısı nedeniyle hala tam çözüm sunabilecek tahmin metodu geliştirilememiştir. Yine de yaygın bir şekilde kabul görmüş ampirik maksimum parçacık hızı yayılım denklemi 1 nolu eşitlikteki gibi üssel eşitlik formunda yazılabilir (Dowding 1985);

$$PPV = k * \left(\frac{R}{W^{0,5}}\right)^{-\beta} \quad (1)$$

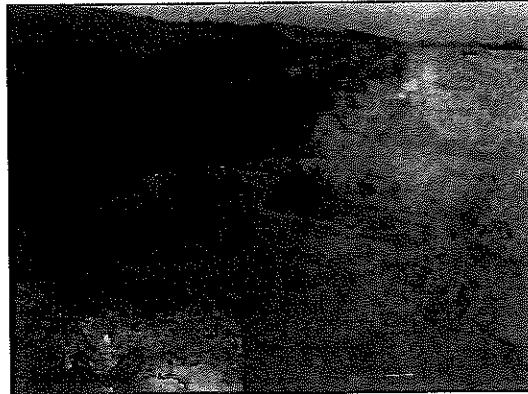
Burada *PPV* maksimum parçacık hızı, *W*, gecikme başına maksimum şarj, *R* atım noktası ile ölçüm istasyonu noktası arasındaki mesafedir.

Bu çalışmada İstanbul Türkiye’de bulunan bir taşocağında yapılan patlatmalardan kaynaklanan titreşimler 12 yıl boyunca izlenmiş ve titreşim analizleri literatürde kabul gören *PPV* tahmin denklemi kullanılarak incelenmiştir. Her bir çalışmada farklı tahmin yapan denklemler elde edildiği görülmüştür. Çalışmada, bu denklemlerden hangisinin seçilmesi gerektiği irdelenmiştir.

Bahsedilen denklemlerin tahmin kabiliyetlerini değerlendirmek için 102 adet titreşim kaydı test verisi olarak, denklem tahmin kabiliyetlerini ölçmek üzere kullanılmıştır. Test atımları mesafe ve şarj bilgilerine göre farklı gruplara ayrılmıştır. Her bir grup için geçmiş yıllarda elde edilen denklemler ile tahmin yaptırılmış ve sonuçları irdelenmiştir.

## 2 ÇALIŞMA SAHASI

1994 yılından beri faaliyette bulunan Akyol Mıncır 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. Çalışmanın yer bulduru haritası Şekil 1’de verilmiştir. Çalışma sahasının yerleşim birimlerine olan uzaklığı 300 metredir.



Şekil 1. Taşocağının yer bulduru haritası.

## 2.1. Jeoloji

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 kilitaşı ardalanması bulunmaktadır. Ocağın güney batısında şistler faylanmadan dolayı değişik kotlarda yüzeylenmektedir. Ayrıca şist düzeyleri ocağın kuzey batı kenarında da bulunmaktadır. Ocakta ana litoloji yaklaşık 100 m kalınlıktaki kireçtaşlarıdır. Ocağın batı kenarında 3-4 m kalınlıkta Gürpınar formasyonuna ait mostralr varken, bu düzeyler ocaktan 25 m uzaklıkta bir alanda 54 metreden daha kalın bir istif sunmaktadır. Bu istif saha gözlemlerine göre tahmin edilemeyen bir özelliktir (Dalgıç ve Özer, 2009).

İncelenen taşocağından alınan kireçtaşı örnekleri üzerinde kaya mekaniği laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar petrografik özelliklerle birlikte Çizelge 1’de verilmiştir (Kalaycı 2011; Adıgüzel, 2012).

Çizelge 1. Çalışma sahasının fiziko-mekanik özellikleri.

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2.66
Ultrasonik Ses Hızı (m/sn)	5027,15
Tokluk Dayanımı (MPa.m <sup>1/2</sup> )	1,31
TEBD (MPa)	62.4
Çekme Dayanımı (MPa)	3.3

## 2.2. Önceki Çalışmalar

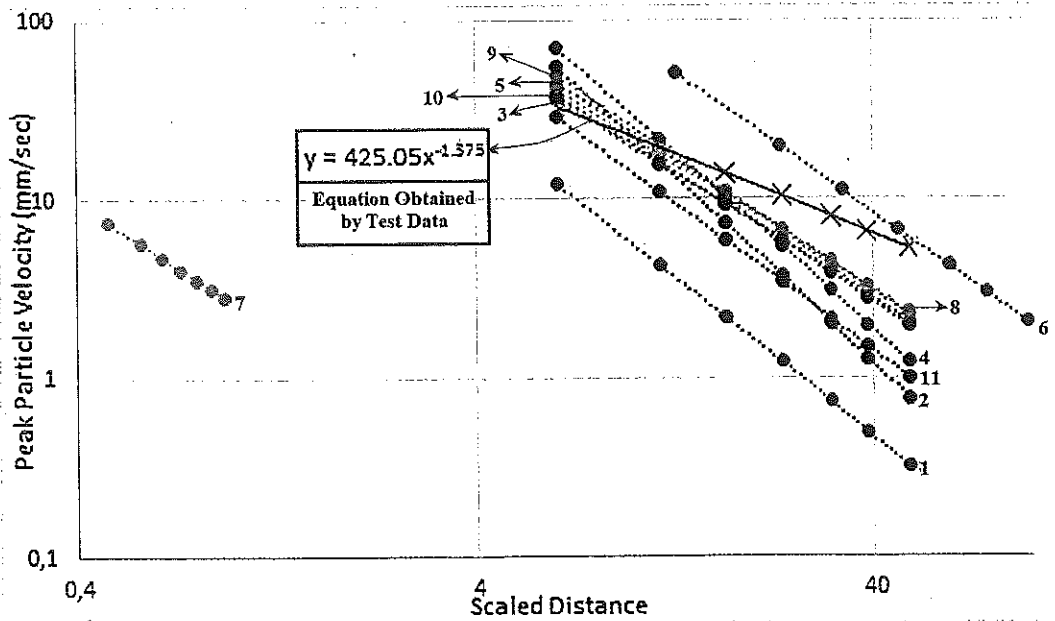
Çalışma kapsamında aynı sahada geçmiş 12 yıl içerisinde analiz edilmiş verilerden (güncel çalışma hariç) elde edilmiş 11 farklı saha sarsıntı yayılım denklemi irdelenmiştir. Geçmiş yıllara ait tahmin denklemleri, kaç olay ile değerlendirildiği, korelasyon katsayıları ve araştırmacılar Çizelge 2’de verilmiştir. Bu denklemlerde 2379 olay değerlendirilmiştir (5-6-7 no’lu denklemlerde aynı olaylar kullanılmıştır). 7 no’lu eşitlik hariç korelasyon katsayıları 0,8’in üzerindedir.

Çizelge 2. Geçmiş yıllarda yapılmış PPV tahmin denklemleri.

Denklem No	PPV Tahmin Denklemi	Olay Sayısı	Belirleme Katsayısı (r <sup>2</sup> )	Referans
1	$PPV = 340 \left( \frac{R}{W^2} \right)^{-1.79}$	120	0,837	Kahrıman et al, 2003.
2	$PPV = 578.92 \left( \frac{R}{W^2} \right)^{-1.4621}$	302	0,7332	Adıgüzel, 2006.
3	$PPV = 495 \left( \frac{R}{W^2} \right)^{-1.407}$	476	0,65	Kahrıman et al, 2007.

4	$PPV = 2874 \left( \frac{R}{W^{\frac{1}{2}}} \right)^{-1.993}$	16	0,7921	Karadoğan et al, 2009.
5	$PPV = 691.83 \left( \frac{R}{W^{\frac{1}{2}}} \right)^{-1.47}$	582	0,65	Özer et al, 2008.
6	$PPV = 2818.38 \left( \frac{R}{W^{\frac{1}{3}}} \right)^{-1.58}$	582	0,72	Özer et al, 2008.
7	$PPV = 2.57 \left( \frac{W}{R^{\frac{2}{3}}} \right)^{1.44}$	582	0,17	Özer et al, 2008.
8	$PPV = 564 \left( \frac{R}{W^{\frac{1}{2}}} \right)^{-1.41}$	754	0,6561	Karadoğan et al, 2009.
9	$PPV = 948.7 \left( \frac{R}{W^{\frac{1}{2}}} \right)^{-1.58}$	30	0,8464	Özer et al, 2009.
10	$PPV = 2828 \left( \frac{R}{W^{\frac{1}{2}}} \right)^{-2.11}$	15	0,7921	Özer et al, 2010.
11	$PPV = 623.14 \left( \frac{R}{W^{\frac{1}{2}}} \right)^{-1.653}$	75	0,64	Kalayci, 2011.

Grafiği çizmek için aynı mesafe ve şarj verilerinden Çizelge 2'deki denklemler kullanılarak PPV değerleri hesaplanmıştır. 6. ve 7. eşitlikte farklı ölçekli mesafe (SD) yaklaşımı kullanılmıştır. Çizelge 2'de verilen 11 ayrı tahmin denkleminin grafik görüntüsü ve güncel çalışmada elde edilen saha sarsıntı yayılım denklemini Şekil 2'de toplu halde sunulmuştur.



Şekil 2. Maksimum parçacık hızı tahmin denklemleri.

Grafikten görüldüğü üzere aynı mesafe ve şarj miktarında aynı saha için bir denklem 7mm/sn PPV hesaplarken bir diğer denklem 70 mm/sn hesaplamaktadır. Bu grafik denklemlerin aynı mesafe ve şarj koşullarındaki tahmin hattını göstermek için oluşturulmuştur. Eğriler çizilirken sadece sunum amacıyla  $r=50$  m  $W=60$  kg olacak şekilde sabit değer alınmıştır.

### 2.3. Test Yöntemi

Denklemleri incelemek üzere test verisi olarak kullanılan 102 adet titreşim kaydı, farklı zamanlarda izlenen 14 atımdan elde edilmiştir. Söz konusu 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. Atımlarda, patlayıcı olarak ANFO, yemleyici olarak POWERGEL ve ateşleyici olarak da gecikmeli elektriksiz kapsüller kullanılmıştır. Atımlar sahanın mühendislerinin uyguladığı haliyle, müdahale edilmeden gözlemlenerek kayıt altına alınmıştır. Sismik ölçümler 8 adet instantel minimize plus marka titreşim ölçüm cihazıyla yapılmıştır. Söz konusu cihazların titreşim ölçüm ve frekans aralıkları sırasıyla 0-245 mm/sn ve 2-100 Hz'dir.

#### 2.3.1. Atım Tasarım Parametreleri

İzlenen atımlara ait basamak patlatma tasarım parametreleri Çizelge 3'te, titreşim bileşenlerine ait özet bilgiler Çizelge 4'te, atım noktalarının koordinatları Çizelge 5'te, ölçüm alınan istasyonların koordinatları ise Çizelge 6'da verilmektedir. Tüm atımlarda aynı gecikme aralığı ve aynı patlayıcı türü (ANFO) kullanılmıştır. Ölçümler 35 farklı istasyonda yapılmıştır. Ayrıca atım ve istasyon noktalarının görsel sunumu Şekil 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Atım tasarım parametreleri.

Atım No	Delik Sayısı	Delik Çapı (mm)	Basamak Yüksekliği (m)	Delik Boyu (m)	Dilim Kalınlığı (m)	Delikler Arası Mesafe (m)	Toplam Şarj (kg)	Gecikme Başına Top. Şarj (kg)
1	10	89	9	10	2,7	2,7	608	61
2	12	89	10	11,5	2,7	2,7	263	22
3	11	89	10,5	11,5	2,7	2,7	229	21
4	18	89	9	10	2,7	2,7	360	20
5	10	89	8	9	2,5	2,5	280	28
6	8	89	9	10	2,7	2,7	398	50
7	9	89	10,5	11,5	2,7	2,7	454,5	50,5
8	6	89	10,5	11,5	2,7	2,7	298	50
9	3	89	9	10	2,7	2,7	151,5	50,5
10	9	89	11	12	2,7	2,7	529	59
11	4	89	8,5	2-9	2,5	2,5	64	27
12	10	89	8,5	9	2,5	2,5	460	27
13	10	89	7,5	8,5	2,7	2,7	255	30
14	5	89	10,5	11,5	2,7	2,7	153	30



Çizelge 4. Titreşim kaydı parametreleri.

Atım No	Max. Parçacık Hızı (PPV) (mm/sn)	Frekans f (Hz)	Ölçeki Mesafe (SD)	İstasyon No	Atım No	Max. Parçacık Hızı (PPV) (mm/sn)	Frekans f (Hz)	Ölçeki Mesafe (SD)	İstasyon No	Atım No	Max. Parçacık Hızı (PPV) (mm/sn)	Frekans f (Hz)	Ölçeki Mesafe (SD)	İstasyon No
1	1.78	16	39.27	1	2	5.97	42.7	48.77	1	3	2.41	46.5	36.94	1
	6.98	34.1	17.74	2		9.52	46.5	26.7	2		1.52	39.4	37.74	2
	15.1	42.7	15.18	3		*	*	33.11	3		1.14	30.1	40.29	3
	3.05	24.4	27.19	4		21.3	73.1	19.45	4		1.4	34.1	31.39	4
	4.7	17.7	34.17	5		7.11	39.4	50.85	5		6.48	42.7	26.94	5
	*	*	12.15	6		1.52	21.3	71.1	6		2.16	17.7	53.35	6
	3.56	28.4	28.71	7		1.78	34.1	71.3	7		7.37	30.1	24.12	7
	*	*	33.48	8		2.03	7.76	81.81	8		*	*	34.42	8
	35.1	17.7	13.86	9		2.54	17.1	57.46	9		9.02	34.1	17.83	9
4	1.65	30	82.66	10	5	0.76	48.6	83.06	10	6	39	73.1	10.37	21
	8.51	73	37.24	11		*	*	18.44	11		5.21	85.3	15.69	22
	3.56	23	40.23	12		1.52	34	38.44	12		4.7	19	17.07	23
	1.78	20	82.13	13		3.43	13	63.13	13		6.6	73.1	15.69	24
	1.4	27	65.31	14		3.3	30	47.54	14		18.3	26.9	13.23	25
	3.05	23	72.53	15		3.94	20	55.8	15		4.19	25.6	17.99	26
	*	*	27.2	17		10.2	17	22.24	17		*	*	70.76	27
	4.44	34	29.85	18		1.78	20	27.29	18					
	2.29	32	44.17	19		3.05	24	24.2	19					
	4.06	22	58.3	20		6.35	19	36.26	20					
7	4.57	73.1	21.2	21	8	4.19	46.5	20.96	21	9	0.889	32	26.9	22
	0.889	26.9	26.91	22		1.27	34.1	29.67	22		1.14	13	24.11	23
	2.41	22	30.11	23		2.41	20	31.15	23		3.56	100	17.41	24
	2.67	25.6	27.09	24		3.3	26.9	26.62	24		57.4	9.48	2.4	25
	9.4	32	14.97	25		16	28.4	12.71	25		0.889	39.4	23.48	26
	1.14	28.4	30.92	26		1.4	16	31.47	26		*	*	83.45	27
	0.762	24.4	71.13	27		0.762	23.3	74.11	27					
10	0.508	39.4	41.8	21	11	22.4	28.4	10.31	28	12	53.3	64	8.49	28
	*	*	37.71	22		34.8	100	8.09	29		40.4	73.1	9.22	29
	0.889	18.3	46.45	23		24.3	34.1	10.01	30		41.3	39.4	10.02	30
	0.508	25.6	47.28	24		40.5	51.2	10.15	31		45.6	46.5	11.7	31
	1.52	26.9	38.12	25		39.9	56.9	7.69	32		53.7	64	10.42	32
	0.254	100	48.47	26		22.5	56.9	10.34	33		24.6	42.7	13.12	33
	2.03	28.4	43.07	27		8.25	100	12.39	34		10.9	34.1	15.13	34
13	2.92	32	46.18	28	14	6.48	36.6	16.77	35		12.8	39.4	17.83	35
	0.889	100	52.83	29		2.41	34.1	46.35	28					
	2.29	34.1	49.22	30		0.762	32	52.69	29					
	2.67	46.5	54.2	31		2.29	30.1	49.11	30					
	0.762	64	62.9	32		1.9	32	53.97	31					
	*	*	64.58	33		0.762	39.4	63	32					
	0.508	39.4	62.86	34		0.508	32	64.61	33					
	*	*	69.69	35		0.635	39.4	62.68	34					
					*	*	70.18	35						

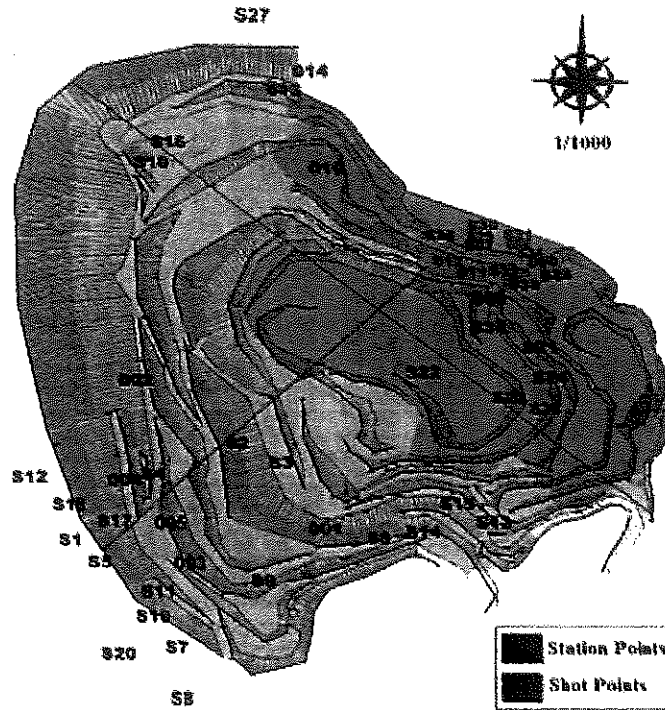
\* Yeterli genlikte sismik dalga oluşmadığından kayıt alınamamıştır.

Çizelge 5. İstasyon noktalarının koordinatları.

İstasyon No.	İstasyon Noktası Koordinatları			İstasyon No.	İstasyon Noktası Koordinatları			İstasyon No.	İstasyon Noktası Koordinatları		
	Y	X	Z		Y	X	Z		Y	X	Z
1	4549644	625467	116	13	4549674	625940	52	25	4549967	626022	44
2	4549760	625679	17	14	4549652	625857	54	26	4549814	625997	54
3	4549757	625712	17	15	4549696	625900	52	27	4550314	625637	52
4	4549737	625569	44	16	4550134	625591	59	28	4550029	625902	25
5	4549612	625510	111	17	4549678	625504	110	29	4550026	625950	25
6	4549653	625857	59	18	4549696	625477	111	30	4550036	625934	35
7	4549501	625609	96	19	4549547	625578	79	31	4550028	625963	35
8	4549450	625608	93	20	4549485	625567	90	32	4549967	625969	15
9	4549591	625690	89	21	4549891	626004	44	33	4549966	625983	25
10	4550108	625593	69	22	4549839	625882	50	34	4549993	625996	35
11	4549576	625580	66	23	4549814	625971	59	35	4549902	625949	15
12	4549717	625419	116	24	4549858	626031	40				

Çizelge 6. Atım noktası koordinatları.

Atım No.	Atım Noktası Koordinatları			Atım No.	Atım Noktası Koordinatları		
	Y	X	Z		Y	X	Z
1	4549653	625764	40	8	4550032	625961	35
2	4549827	625574	30	9	4549980	626011	45
3	4549602	625618	52	10	4550102	625763	35
4	4549740	625579	37	11	4549988	625935	15
5	4549669	625606	52	12	4549990	625920	15
6	4549923	625945	15	13	4550212	625732	65
7	4550023	625932	35	14	4550222	625742	65



Şekil 3. Atım ve istasyon noktalarının genel görünüşü.

Bu çalışma kapsamında sahanın farklı bölgelerinden ve farklı tarihlerde yapılan 14 adet atıma ait toplam 102 adet titreşim verisi mesafe ve şarjlarına göre 8 gruba ayrılmıştır. Elde edilen verilerde yapılan incelemeye göre gecikme başına şarj değeri tüm atımlarda 20-30 kg ve 50-60 kg arasındadır, gruplama yapılırken bu değerler dikkate alınmıştır. Ayrıca mesafe için 0-100 m, 100-200 m, 200-300 m ve 300-500 m'deki atımlar gruplandırılmıştır. Gruplandırılan atım parametreleri kullanılarak Çizelge 3'de verilen denklemler ile *PPV* tahmini yapılmış, ölçülen değerler ile her denklem için yapılan tahminlerin arasındaki mutlak farkları hesaplanmış ve her denklem için elde edilen farkların ortalamaları alınmıştır (Çizelge 7). Bu bilgiler ışığında, farklı mesafe ve şarj bilgilerine göre 8 ayrı grup oluşturulmuştur. Tahmin farkı ortalaması aşağıdaki eşitlikte ifade edilen şekilde hesaplanmıştır.

$$\sum_{i=1}^n \frac{PPVm - PPVp}{n} \quad (2)$$

Burada *PPVm*, test atımlarında ölçülen *PPV* değeri, *PPVp*, her bir denklem ile hesaplanan *PPV* değeri, *n*, belirlenen mesafe ve şarj grubundaki veri sayısıdır.

Çizelge 7. Farklı mesafe gruplarına göre hesaplanan tahmin farkı ortalamaları.

Tanım	Gerçek değerler ile tahmin değerleri arasındaki farkın ortalaması										
	Eş.1	Eş.2	Eş.3	Eş.4	Eş.5	Eş.6	Eş.7	Eş.8	Eş.9	Eş.10	Eş.11
0-100 m / 20-30 kg şarj	10.1	9.2	23.6	12.7	9.4	11.1	10.7	9.6	16.4	12.3	22.8
0-100 m / 50-60 kg şarj	31.8	41.5	23.7	25.4	39.4	27.7	75.5	82.8	28.2	28.0	19.0
100-200 m / 20-30 kg şarj	2.7	2.7	3.2	2.7	2.7	2.7	3.3	3.0	3.3	2.7	4.3
100-200 m / 50-60 kg şarj	5.5	5.7	3.7	4.7	5.3	5.3	3.1	4.6	3.2	4.6	4.7
200-300 m / 20-30 kg şarj	1.8	1.7	1.9	1.9	1.9	1.8	2.7	2.4	2.5	1.9	3.1
200-300 m / 50-60 kg şarj	2.7	2.7	1.9	2.4	2.6	2.7	1.7	1.9	1.7	2.3	2.5
300-500 m / 20-30 kg şarj	1.5	1.4	1.4	1.5	1.5	1.4	1.8	1.6	1.7	1.5	2.0
300-500 m / 50-60 kg şarj	1.4	1.2	1.8	1.2	1.1	1.4	0.5	0.6	0.5	1.1	0.6

Çizelge 7 incelendiğinde, 300-500 m mesafede 50-60 kg şarj için en iyi tahmin yapan denklemler 7. ve 9. denklemler iken aynı mesafede 20-30 kg şarj için en iyi tahmin yapan denklemler 2., 3. ve 5. denklemlerdir. Yakın mesafede gerçek değerden sapma oranlarının yüksek çıkmasının nedeni ölçülen titreşim değerlerinin yüksek olmasıdır. Yapılan bu değerlendirme sonucunda, farklı mesafe ve şarj koşullarında farklı doğrulukta sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

### 3 TARTIŞMA VE SONUÇ

Denklemlerin tahmin hattı dışındaki bir koşulda çözüm aranırken en yakın sonucu verecek denklemin belirlenmesi için, elde edilen bu 8 tahmin farkı ortalama verilerinin yanı sıra karar verici olarak  $r^2$ , her yıl ocak çukurunun derinleşmesi göz önünde bulundurularak verilerin toplandığı yıl ve veri sayısı değerlendirilmeye tabi tutulmuştur.

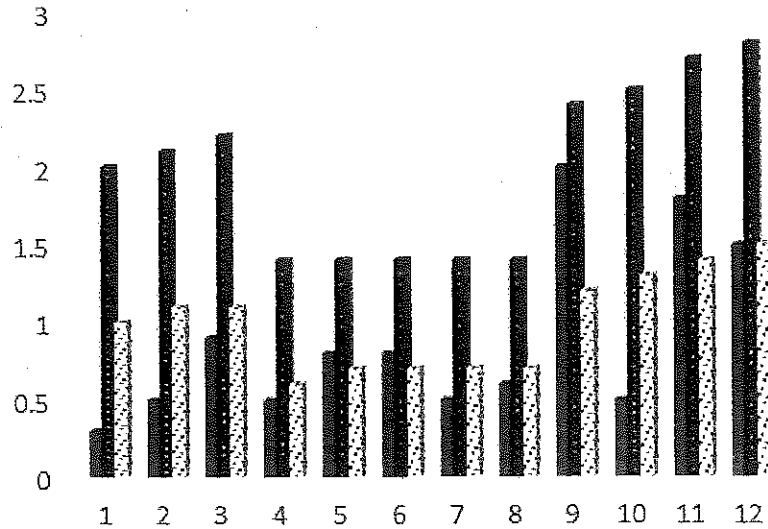
Bu kriterlerin çoğunluğunu sağlayan denklem olarak 11 no'lu denklem seçilmiştir. Belirlenen mesafe için seçilen denklemin test verileriyle elde edilen tahmin denkleminde daha iyi sonuç

verdiği görülmüştür (şarj miktarı arttığında ya da farklı bir mesafedeki hasar belirlenmek istendiğinde seçilmesi gereken denklemi belirleyecek yöntem tanıtılmıştır). 300 m mesafe ve 30-60 kg şarj aralığında test verilerinde ölçülen PPV değerleri, test verilerinden elde edilen tahmin denklemiyle hesaplanan PPV değerleri ve elde edilen tahmin denklemiyle hesaplanan PPV değerleri Çizelge 8’de sunulmaktadır.

Çizelge 8’deki verilerin histogram grafiği halinde sunumu Şekil 4’de verilmiştir. Şekil 4’de Yeşil renkli çubuklar test verilerini, Siyah renkli çubuklar test verilerinden elde edilen tahmin denklemiyle hesaplanan PPV değerlerini ve beyaz renkli çubuklar önerilen tahmin denklemiyle hesaplanan PPV değerlerini göstermektedir.

Çizelge 8. Test edilen ve tahmin edilen PPV değerleri.

Test Verilerindeki PPV Değerleri	Gecikme Başına Şarj Miktarı	Mesafe	Test Verileri ile Elde Edilen Denklem Tahmin Değerleri	Önerilen Denklem Tahmin Değerleri
0.3	58.8	371.6	2.0	1.0
0.5	58.8	362.5	2.1	1.1
0.9	58.8	356.1	2.2	1.1
0.5	30.0	353.9	1.4	0.6
0.8	30.0	345.0	1.4	0.7
0.8	30.0	344.5	1.4	0.7
0.5	30.0	344.3	1.4	0.7
0.6	30.0	343.3	1.4	0.7
2.0	58.8	330.2	2.4	1.2
0.5	58.8	320.4	2.5	1.3
1.8	61.0	306.7	2.7	1.4
1.5	58.8	292.2	2.8	1.5



Şekil 4. Test verileri, test verilerinden elde edilen ve önerilen denklemin tahmin sonuçları.

Uzak mesafede hasar görme riski olan bina göz önünde bulundurulduğundan uzak mesafede en doğru tahmin yapan (tahminde hata oranı en düşük olan) denklem grubuna en yüksek puan verilmiştir. Daha sonraki uygulayıcı bu akışı örnek alarak kendi önem derecesini kendi belirleyebilir.

Geçmiş yıllarda oluşturulmuş denklemler incelendiğinde, malzeme yorulması göz önüne alınacak şekilde yıllara göre inceleme yapılmış ancak ilerleyen yıllara göre belirgin bir eğilim yakalanamamıştır. Ancak ocak geometrisi değiştiği için denklem yılının önem derecesi olduğu kanısına varılmıştır.

Hasar tahmininde bulunacak araştırmacıların değerlendirebileceği bazı öneriler aşağıda sıralanmıştır:

- Yönlere göre analiz yapılmalı,
- Saha farklı jeolojik birimlere ayrılmalı, basamaklarla ve jeolojik birimlerle ve süreksizlik yapılarıyla ilişkilendirilmeli,
- Bir saha için oluşturulmuş saha sarsıntı yayılım denkleminin her atım için güvenilirliği olmadığı bilinmeli, uygun yöntemlerle analiz yapılmalı,
- Her atım için hasar riskinden endişe edilen bölgelerde sürekli kayıt alınmalı,
- İnelastik davranış gösterebilecek atım noktasına yakın bölgede bulunan zonlar ayrı değerlendirmelidir.

Geçmiş yıllarda oluşturulmuş denklemler incelendiğinde, Malzeme yorulması gözönüne alınacak şekilde yıllara göre inceleme yapılmış ancak ilerleyen yıllara göre belirgin bir trend yakalanamamıştır. Ancak ocak geometrisi değiştiği için denklem yılının önem derecesi olduğu kanısına varılmıştır.

## KAYNAKLAR

- Adıgüzel D (2009) "Çatalca Yöresi Akyol Taş Ocağında Patlatmadan Kaynaklanan Titreşim Etkilerinin Araştırılması", Master Thesis, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Adıgüzel D (2012) Determination of Optimal Aggregate Blending with Linear Programming in Concrete Production (PhD thesis) İstanbul University, Institute of Sciences.
- Ambraseys NR Hendron AJ (1968) Dynamic Behaviour of Rock Masses, in: Rock Mechanics in Engineering Practice, Editors: Stagg KG, Zienkiewicz OC, John Wiley and Sons, London, 203-207.
- Dalgıç, S., Özer, Ü., "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, (2009).
- Dowding CH (1985) Blast Vibration Monitoring and Control, Prentice-Hall, USA.
- Faramarzi F, Ebrahimi Farsangi MA, Mansouri H (2014) Simultaneous Investigation of Blast Induced Ground Vibration and Airblast Effects on Safety Level of Structures and Human in Surface blasting. International Journal of Mining Science and Technology.
- Ghosh A, Daemen JJK (1983) A Simple New Blast Vibration Predictor (Based on Wave Propagation Laws), 24. U.S. Symp. on Rock Mechanics, June, 151-161.
- Gupta RN, Roy PP, Singh B (1988) On a Blast Induced Blast Vibration Predictor for Efficient Blasting, Safety in Mines Research Proceedings of The 22nd International Conference of Safety in Mines Research Institutes, Editor: Dai Guoquan.
- JIMENO, C.L., Jimeno, E.L., Carcedo, F.J.A., Translated by Ramiro, Y.V., "Drilling and Blasting of Rocks", A.A., Balkema Publishers, Brookfield, ISBN: 90 5410 1977, Rotterdam Pp 390, (1995)

- Kalaycı Ü (2011) The Investigation of Relationship Between Spending Useful Energy in Blasting with the Efficiency of Blasting, İstanbul University, Institute of Sciences, Master Thesis.
- Kahriman A., Tuncer G., Görgün S., Karadoğan A., Özdemir K, (2003) "Evaluation of The Ground Vibration Attenuation Produced From Blasting for the Different Rock Masses", Twenty-Ninth Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, ABD, 02-05, vol.1, pp.193-201
- Kahriman 2007, Maden ve Taşocaklarında Kaya Patlatma Tekniği Seminer Notu.
- Karadoğan A, (2008) Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimler İçin Ulusal Yapı Hasar Kriterleri Oluşturulabilirliğinin Araştırılması (PhD thesis) İstanbul University, Institute of Sciences.
- Karadoğan A., Kahriman A., Özer Ü (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, Bulgaria, 14-19 pp.481-494
- Nicholls HR, Johnson CF, Duvall, WL (1971) Blasting Vibrations and Their Effects on Structure, United States Department of Interior, USBM, Bulletin 656.
- Özer Ü., Kahriman A., Karadoğan A., Kaya E., Açıkel G., Biçer S, (2008) "The Investigation of Ground Vibration Measurements at an Agregate Quarry in Istanbul-Turkey", 8th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference & Expo: Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM, Bulgaria, 15-21 vol.1, pp.253-265.
- Özer Ü., Aksoy M., Adıgüzel D., Karadoğan A., Kahriman A., Özden H., Kara Y, (2009), "A Study of Investigating the Relationship Between Blast Fragmentation and Ground Vibrations Induced by Blasting", " 9th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference & Expo: Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, Bulgaria, vol.1, pp.333-340.
- Özer Ü., Aksoy M., Karadoğan A., Kalaycı Ü., Adıgüzel D. (2010), "The Relationship Between Ground Vibration, Particle Size and Seismic Energy Caused by Blasting", 9th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference & Expo: Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM 2010, BULGARISTAN, vol.1, pp.575-582.