



## PATLATMA KAYNAKLI YERSARSINTISI ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

B. ERÇIKDI\*, A. KESİMAL\*, E. YILMAZ\*, F. CİHANGİR\*

### Özet

Açık ocaklarda yapılan patlatma faaliyetleri sırasında ortaya çıkan başlıca çevresel sorunlar yer sarsıntısı, hava şoku ve kaya fırlamasıdır. Bu tür sorunlar bazı koşullar altında çevre yapılı üzerinde hasara neden olabildikleri gibi, patlatmalı kazı çalışmalarının yürütüldüğü yerlerin yakınında yaşayan sakinlerle de sürekli anlaşmazlıkların kaynağı olabilirler. Bu nedenle; bu tür olumsuz etkileri en aza indirecek ve üretim hedeflerini aksatmayacak kontrollü bir patlatma modelinin ortaya konulması için, patlatma sonucu oluşacak yer sarsıntısının tahminine yönelik çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Araklı-Taşönü kalker ocağında üretim esnasında patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin çevredeki okul, cami, tarihi eser ve evlere olan etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda, halen uygulanan basamaklı düşey delik patlatma kazı modeli incelenmiş ve gerçekleştirilen basamaklı atımlara eşlik edilerek yersarsıntısı sinyalleri ölçülmüştür. Yapılan istatistiksel analizler neticesinde, patlatma sonrası açığa çıkacak titreşimlerin önceden tahminine yönelik istatistiksel eşitlik 0.71 kararlılık katsayısı ile bulunmuştur. Her basamakta yapılan atımlar ve her istasyonda ölçülen atımlar ayrı ayrı değerlendirildiğinde daha yüksek kararlılık katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen eşitlik kullanılarak bundan sonra bu bölgede yapılacak patlatmalar için kılavuz görevi görecektir bir ölçekli mesafe tablosu oluşturulmuş ve patlatmadan kaynaklanan çevresel etkilerin en aza indirilmesi ile patlatma koşullarının iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Atımlar sonucu oluşan titreşimlerin frekans değerlerinin %2.63'nün 5-12 Hz arasında, %78.95'inin 13-40 Hz arasında, %18.42'sinin ise 40 Hz den daha yüksek olduğu görülmüştür. Tüm hava şoku kayıtları gürültüden rahatsız olma seviyesi olan 140 dB değerinden düşük çıkmıştır. Elde edilen verilerden maksimum parçacık hızının gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarının artması ile yükseldiği, uzaklığın artmasıyla düştüğü görülmüştür. Ayrıca yapılan 38 adet ölçüm sonucuna göre sırası ile "PPV-İvme", "PPV-Yer Değiştirme" ve "Frekans-Yer Değiştirme" arasındaki ilişki değerlendirilmiştir.

### 1. Giriş

Doğu Karadeniz illeri ve çevresinde son yıllarda artan şehirleşmeye paralel olarak; gerek alt yapı hizmetlerinde gerekli olan agrega ve diğer malzemelerin temin zorunluluğu, gerekse taş ocaklarındaki üretim dolayısıyla patlatmadan kaynaklanan

hasarlar ve atım sonrası elde edilen ürünlerin mevcut karayollarında taşınmasının çevresel etkileri daha da fazlalaşmaktadır.

Bu tür faaliyetlerin yerleşim birimlerine yakın (hatta çoğu zaman içinde) olması, ister istemez ortaya çıkan yer sarsıntısı ve hava şokundan dolayı giderek artan ölçüde çevre sorunlarına neden olmaktadır. Bu durum çevre sakinlerinin doğrudan can ve mal güvenliklerini etkileyebildiği gibi, psikolojik bazı sorunların doğmasına da zemin hazırlamaktadır [1,2]. Bu nedenle patlatma çalışmalarından sorumlu teknik elemanların, teknik ve ekonomik yönden uygun patlatma tasarımları gerçekleştirilirken; yer sarsıntısı, hava şoku ve kaya fırlaması gibi çevresel etkilerin civardaki tesis ve yerleşim birimlerine zarar vermeyeceği, kontrollü patlatma tasarımları yapmaları gerekmektedir [3]. Yapılacak patlatmalarda; parçacık hızı (mm/sn), parçacık deplasmanı (mm), parçacık ivmesi( $\text{mm}/\text{sn}^2$ ) ve frekansı (Hz) ölçmek ve bunları kontrol edilebilir sınırlarda tutarak tasarımlar gerçekleştirmek suretiyle çevresel sorunlar en aza indirilebilir [4].

Bu çalışmada, Trabzon Çimento tesislerine hammadde sağlamak amacıyla Araklı-Taşönü Kalker Ocağında yapılan üretim patlatmalarının yol açtığı çevresel etkilerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma alanının okul, cami, tarihi eser ve yerleşim yerlerine oldukça yakın olması nedeniyle yapılan ölçüm ve gözlemlerde bu yapıların yakınındaki sarsıntılar dikkate alınmıştır.

## 2. PATLATMA KAYNAKLI YER SARSINTILARININ ÖZELLİKLERİ

Yer sarsıntısının özellikleri ve niteliği, patlatma yerine yakın kesimlerde daha çok patlatma tasarımı ve delik düzeni, bilhassa bir seferde ateşlenen patlayıcı miktarı, ateşleme aralığı (gecikme süresi) ve belli bir ölçüde de ateşleme yönünden etkilenir. Bu etmenlere bağlı olarak oluşan parçacık hızı önemli bir hasar göstergesidir. Ancak patlatma kaynağından uzaklaştıkça, sarsıntının özellikleri ve niteliği daha çok yer sarsıntısı dalgasının iletildiği kaya veya zemin ortamının özelliklerinden etkilenir [5]. Sonuç olarak arazi özellikleri ve yer sarsıntısının frekansı da hasar oluşumunda önemli ve tayin edici etmenlerdir. 10 Hz değerinin altındaki frekanslar kayalarda ve zeminlerde büyük yer değişimleri ve yüksek düzeyli birim deformasyonlar oluşturduğu için hasar olasılığını da artırır [6]. Atımın yapıldığı bölgedeki ev, mesken gibi yapıların durumu (ilgili formasyon üzerinde atılan temelleri) göz önüne alındığında yer değiştirme değerinin belirli değerleri aşmaması gerekir. Bu aşılmasını gereken yer değiştirme sınır değerleri her bir yapı için Çizelge 2. 1 de özetlenmiştir [7].

Çizelge 2.1 Yapılaşma Durumuna Göre Yer Değiştirme Limit Değerleri [7].

Yapı Tipi	Yer Değiştirme Limiti (mm)
Manevi ve yüksek değerde yapılar, Maden kuyuları ve tarihi yapılar, Zayıf şartlardaki evler	0.10
Birbirine çok yakın olan evler	0.20
Tek başına ev	0.40
Çelik konstrüksiyonlu yapılar	0.76

Patlatmalardaki en kritik durum zemindeki uyarıcı dalga frekansının, bir veya iki katlı binalarda genellikle 5-10 Hz arasında değişen bina özyapısal frekansına eşit veya ondan biraz büyük olduğunda oluşur. Bu durumda bina rezonansa girer ve zemindeki uyarıcı dalga geçip gittiği halde bina sarsılmaya devam eder. Bina rezonans halindeyken, parçacık hızı sınır değerlerin altında ise binada hasar oluşmaz ama kişiler rahatsız olur. Eğer bina rezonans halindeyken parçacık hızı da yeterli büyüklükte ise binada hasar oluşur [8]. Tezel'in [9] rapor ettiği gibi, patlatma işleminin binalarda rezonans oluşturmaması için patlatma süresinin (başlangıç ile en son patlayan delik arasındaki süre) 1000 ms'nin altında kalmasına dikkat edilmelidir.

### 3. YER SARSINTISI TAHMİNİNDE KULLANILAN YAKLAŞIMLAR

Çoğu araştırmacı; tipik patlatmaların, geometrik ve jeolojik şartlardaki değişimler nedeniyle, en iyi yer sarsıntısı tahmin şeklinin, gerçek atımların gözlemlenmesi sonucu elde edilebileceğini belirtmişlerdir [10]. Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tahminine yönelik bir çok ampirik yaklaşım ortaya konulmuştur ve bu yaklaşımların kullanımı belirli şartlarla halen sınırlıdır. Günümüzde en çok sarsıntı hızını ve ölçekli mesafeyi esas alan yaklaşımlar belli ölçüde güvenilir kabul edilmektedir. Ölçekli mesafenin belirlenmesinde bir çok ampirik bağıntı kullanılmasına rağmen en sık kullanılan bağıntı aşağıdaki gibidir.

$$SD_1 = R/W^{0.5} \quad [11,12,13,14]$$

Burada;  $SD_1$ , ölçekli mesafe; R, patlatma noktasından uzaklık (m); W, gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg). Maksimum parçacık hızı tahminine yönelik olarak istatistiki çalışmaları sonucu geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan ampirik ilişki aşağıda verilmiştir:

$$PPV = K \cdot SD^{-\beta} \quad [11,12,13,14]$$

Burada; PPV, maksimum parçacık hızı (mm/sn); SD, ölçekli mesafe; K, yer iletim katsayısı;  $\beta$ , jeolojik sabit. Parçacık hızı tahmininde kullanılan saha sabitleri, ölçülen en yüksek parçacık hızı ve ölçekli mesafe değerlerinin ilişkilendirilmesi sonucunda elde edilmektedir. Bu ilişkinin saptanması için yapılan istatistiksel değerlendirmenin güvenilirliği için en az 30 hatta daha fazla veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Parçacık hızı tahmin denkleminin güvenilirliğinin sağlam olması için kararlılık katsayısı ( $r^2$ ) değerinin 0.7' den büyük olması gereklidir [15].

#### 4. ÖRNEK BİR ÇALIŞMA; ARAKLI-TAŞÖNÜ KALKER OCAĞI

##### 4.1. Çalışma Sahası ve Jeolojisi

Taşönü Köyü kalker hammadde sahası, Trabzon'un 40 km doğusunda, Araklı İlçesi'nin yaklaşık 5 km güney batısında bulunmaktadır. Kalker ocağına ait bilgiler aşağıda verilmiştir [16].

- Ocakta üretim açık işletme metodu ile yapılmakta, kayaçların kazısı delme-patlatma ile gerçekleştirilmekte, en alt basamak taban kotu ortalama 75 m, en üst basamak kotu ortalama 145 m olup toplam 5 adet üretim basamağı bulunmaktadır.
- Basamaklarda yapılan atımlarda genellikle ayna şevlerinin düzgün olmaması ve basamak üst yüzeylerinin farklı kot seviyelerine sahip olmasından dolayı delik boyları, delikler arası mesafe, sıkılama boyları ve yük mesafesi farklılık göstermektedir.
- 2. basamağın sadece bir bölgesinde yer alan kırmızı toprağımsı zonda (Şekil 4.1) yapılan atımların diğerlerine göre daha verimsiz olduğu ve atım sonucu aynada düzgün koparmanın olmadığı görülmüştür.
- Ocaktaki yeraltı su seviyesi yağışlarda yükselmekte olup, ocağın özellikle 5. basamağında atım öncesi delikler içinde yaklaşık 1-3 m arasında su seviyesi görülmektedir.

Taşönü ocağı hammadde sahası genellikle marn, marnlı kalker, kalker ve travertenden oluşmaktadır [17]. Kalker ocağı beş farklı jeolojik zon içermektedir ve ölçümler esnasındaki patlatma işlemlerinin çoğu sertliği yüksek ve homojenimsi yapı gösteren kalker zonda gerçekleştirilmiştir.

##### 4.2. Çevre Yerleşim Yerlerinin Yapılaşma Durumu

Köy yapılarının takriben % 10 kadarı betonarme özellikte, bazıları tamamen blok taşlı, bazıları ise temeli yığma blok taşlı ahşap evlerdir. Yapıların genelinde kiriş-kolon taşıyıcı elemanları olmadığından, evlerin temeli yığma veya moloz taşlardan inşa edilmiştir. Köy ilkokulu ve birkaç yapının projeli olduğu öğrenilmiştir. Köydeki birçok yapıda zaman içerisinde bazı çatlakların olduğu görülmektedir. Bu çatlakların büyük bir kısmının ocakta daha önceden yapılan kontrolsüz büyük atımlardan; bir kısmının, inşa yönteminden dolayı atmosferik olaylardan (yağmur-

kar sularının iyi drene edilememesi); bir kısmının ise, yapının zamanla taşıyıcı özelliklerini kaybetmesinden dolayı oluştuğu düşünülmektedir. Yapılan atımlara en yakın yapı olarak cami, okul, öğrenci yurdu bulunmaktadır. Bunların en yakın üst basamağa (1. basamak) uzaklığı ortalama 70-80 m civarındadır.

#### 4.3 Ocakta Delme Patlatma İşlemleri

Kalker ocağında üretim delme patlatma ile yapılmaktadır. Yapılara yakın bölgelerde toplam 150-300 kg, uzak yerlerde 550-600 kg patlayıcı madde şarj edilmektedir. Sıkılama malzemesi olarak delikten çıkan pasa kullanılmaktadır. Sıkılama boyları normal olarak 2.5 m olmasına rağmen taş fırlama riski olan yerlerde daha yüksek tutulmaktadır. 5. basamakta yapılan atımlarda, deliklerin içinde su bulunduğundan, atım delikleri su seviyesini aşınca kadar Emülit-100 ile, geriye kalan kısım ANFO ile şarj edilmektedir. Ocakta yapılan atımların özgül şarjları ortalama  $0.93 \text{ kg/m}^3$ , şarj yoğunluğu  $0.509 \text{ kg/m}$  (AN-FO delik içi yoğunluğu  $0.82 \text{ gr/cm}^3$ ) olarak gerçekleşmektedir. Ocakta manyeto ile gecikmeli ve gecikmesiz elektrikli ateşleme yapılmaktadır. Gecikmeli ateşlemelerde dip numarası 1,3,5,7,9,11,13,15 ve 17 olan kapsüller kullanılmakta, gecikmesiz ateşlemelerde ise 0 numara kapsüller kullanılmaktadır [18,19].

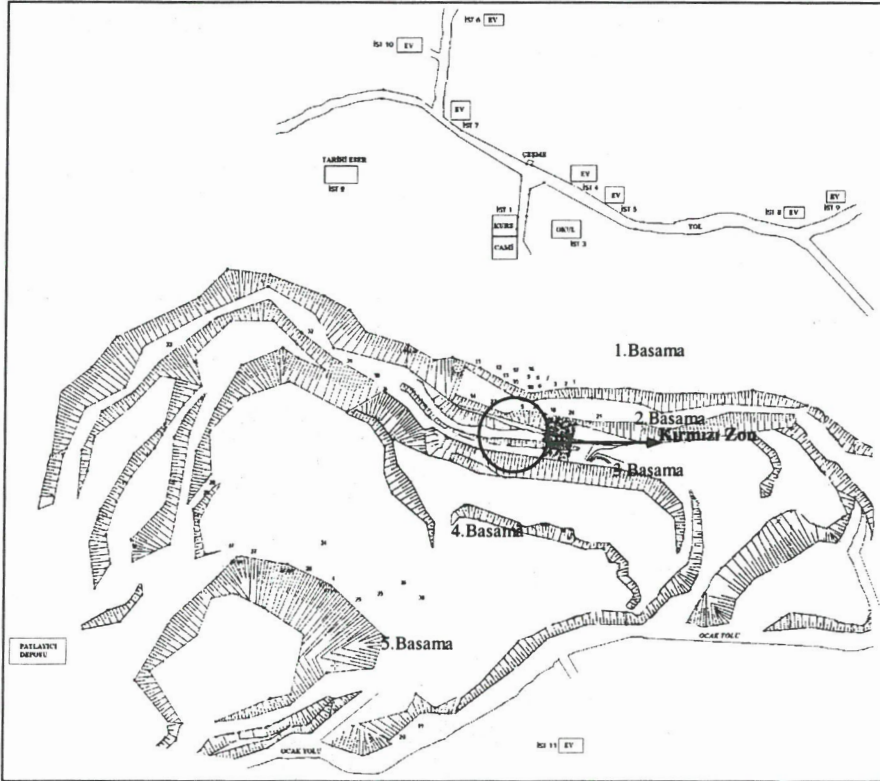
#### 4.4 Yer Titreşimlerinin Ölçülmesi

Kalker ocağında uygulanan patlatma paterni, delik düzeni ve patlayıcı şarjı; şantiye yetkililerince sistematik olarak uygulana gelen şekliyle gözlemlenmiş ve 38 adet ölçüm titreşim ölçer cihazı ve ekipmanı ile kayıt altına alınmıştır [20]. Bilahare atım paternlerinde değişiklikler yapılarak titreşim seviyeleri çevredeki yapılara zarar vermeyecek şekilde düşürülmeye çalışılmıştır. Patlatmadan kaynaklanan titreşimler, Instantel Minimate Plus Model ile ölçülmüştür (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Instantel Minimate Plus Model titreşim ölçer cihazı ve donanımı.

Instantel Minimate Plus yersarsıntısı ve hava şoku izleme cihazı, üç adet algılayıcı (boyuna, enine ve düşey), mikrofon, yazıcı, şarj kontrol ve hafıza, bilgisayar bağlantı sistemi, muhafaza ve taşıma ünitelerinden oluşmaktadır. Cihazın kayıtları; zaman esaslı olarak her bir olay için hava şoku, genlik, frekans, ivme ve parçacık hızı bileşenlerini (boyuna, enine, düşey, bileşke ve maksimum) içermektedir. Ayrıca cihaz üzerinde yer alan dijital göstergede istenildiğinde bu değerleri verebilmekte ve kaydedilen olayların ayrıntılı analizi için elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılabilir. Cihaz tek olay veya sürekli kayıt yapabilmektedir. Her bir olayın süresine (0-10 sn arasında uzaklığa bağlı olarak) bağlı olarak 150-200 arasında olayı geniş ya da özet bilgiler halinde koruma yeteneğine sahiptir. Cihazın ölçüm limitleri parçacık hızı için 0.1-254 mm/sn, frekans aralığı 2-200 Hz ve gürültü için 100-142 dB aralıkları düzeyindedir. Sismograf tarafından kaydedilen yer sarsıntısı ve hava şoku kayıtları cihazla birlikte sağlanan yazılım kullanılarak bilgisayara aktarılmaktadır. Şekil 4. 2'de çalışılan basamaklar ile ölçü alınan istasyon ve atım yapılan noktalar gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Taşocağında yapılan atımların yerleri ve ölçüm istasyonlarının görünüşü.

## 5. ÖLÇÜM SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Sahada gerçekleştirilen 38 adet atımın ölçüm sonuçları; her bir atım için parçacık hızı bileşenleri (enine-PTV, düşey-PVV, boyuna-PLV, maksimum-PPV), frekans, ivme, maksimum hava şoku ve yer değiştirme, gecikme başına düşen en fazla patlayıcı madde miktarları ve ölçekli mesafe ( $SD_1$ ) değerlerini içerecek şekilde Çizelge 5.1'de ayrıntılı olarak sunulmuştur. Sahada gerçekleştirilen parçacık hızı unsurları ve ölçekli mesafe veri çiftlerinden oluşan yersarsıntısı ölçüm sonuçları, regresyon analizine tabi tutularak, kontrollü patlatma tasarımlarında gerekli olacak saha sabitleri belirlenmiştir.

Çizelge 5.1 incelendiğinde tüm atımlar için gürültü değerleri 140 dB'in (şikayetin başlangıcı) altındadır. En yüksek hava şoku değerini veren atım (132.4 dB), patar atımı şeklinde gerçekleştirilen 14. atımdır. Ayrıca patar atımı şeklinde gerçekleştirilen 5. atımın değeri (123.3) de diğer atımlara göre daha yüksektir. Buradan yola çıkarak patar atımı şeklinde gerçekleştirilen atımların gürültü düzeyleri diğer atımlara nazaran yüksek, şikayetin başlangıcı olan değerden düşüktür. Ortalama hava şoku değeri 116.5 dB olup gürültü anlamında herhangi bir rahatsızlık bulunmamaktadır.

Gizelge 5.1 Yapılan Atımların Ölçüm Sonuçları.

Ölçüm tarihi	Amm No	Del. Sayı	Del. Boyu	Parçacık Hızı			Frekans (Hz)	Max Hava Hava sökü (dB)	Max Yer değırtim e (mm)	İvme (g)	Geç. Baş. Sürü W (kg)	Top. Par. Miktar (kg)	Uzaklık R (m)	Ölçekli Mesafe SID	R/W <sup>1/2</sup>	Ölçüm Yeri	İvme Yeri	Atımın Yapılığı Basınak
				Emim e	Düşe y	Boyu ma												
12.05.2003	1	5	12.5	7.49	4.44	14.1	14.1	110.2	0.140	0.159	51.4	257	118	16.46		1	1	1
14.05.2003	2	5	12.0	6.60	7.87	9.78	9.78	115.7	0.137	0.079	54	270	110	14.97		4	1	1
22.05.2003	3	5	12.5	12.4	5.71	12.3	12.4	125.1	0.137	0.199	52.6	263	99	13.65		3	3	1
25.05.2003	4	13	12.5	2.79	1.02	5.46	5.46	115.0	0.042	0.066	690	690	405	15.42		1	1	5
15.07.2003	5	Patla F	-	8.38	2.67	17.4	17.4	123.3	0.159	0.199	59	177	120	15.62		1	1	2
15.07.2003	6	6	13.0	15.6	5.84	20.1	20.1	117.5	0.167	0.212	53	318	107	14.69		1	1	1
16.07.2003	7	6	12.0	6.73	2.79	6.48	6.73	117.5	0.052	0.119	52	312	162	22.46		7	1	1
16.07.2003	8	6	12.5	5.59	2.29	10.5	10.5	118.3	0.059	0.172	52	312	155	21.49		7	1	1
18.07.2003	9	3	11.0	12.7	8.13	15.7	15.7	120.1	0.197	0.186	52	156	143	19.83		4	1	1
20.07.2003	10	5	11.5	3.30	1.27	2.16	3.30	112.0	0.046	0.039	52	260	212	29.43		8	1	1
20.07.2003	11	6	12.5	2.29	0.76	1.40	2.29	115.0	0.015	0.079	52	312	230	31.92		9	1	1
24.07.2003	12	6	12.0	31.4	8.51	31.9	31.9	119.3	0.252	0.451	52	312	105	14.56		1	1	1
24.07.2003	13	3	12.5	36.8	12.2	40.1	40.1	116.9	0.319	0.610	52	156	96	13.31		1	1	1
28.07.2003	14	Patla F	-	12.8	4.95	18.7	18.7	132.4	0.168	0.225	136.5	136.5	131	11.22		1	1	2
28.07.2003	15	6	12.5	25.7	6.35	26.9	26.9	120.4	0.208	0.398	52	312	100	13.86		1	1	1
26.09.2003	16	5	13.0	5.33	2.54	3.68	5.33	109.5	0.074	0.053	46.5	232.5	203	29.76		10	1	1
27.09.2003	17	5	12.0	5.84	4.57	5.84	5.84	115.9	0.049	0.093	46.5	232.5	140	20.53		2	1	1
02.10.2003	18	4	15.0	9.91	3.30	6.98	9.91	114.0	0.053	0.212	65	260	95	11.78		3	2	2(K)
03.10.2003	19	5	15.0	5.71	3.17	5.71	5.71	116.9	0.068	0.093	64	320	142	17.75		11	1	Yol Ken
03.10.2003	20	5	15.0	5.59	3.30	4.06	5.59	116.7	0.053	0.079	64	320	147	18.375		11	1	Yol Ken
09.10.2003	21	5	12.0	1.65	1.78	2.29	2.29	114.6	0.037	0.026	51.5	257.5	175	24.38		2	2	2
09.10.2003	22	5	12.0	20.3	5.59	14.5	20.3	112.8	0.155	0.305	51.5	257.5	112	15.61		1	2	2
11.10.2003	23	5	12.0	11.6	4.83	16.0	16.0	116.6	0.120	0.225	52.25	261.2	107	14.80		1	2	2
14.10.2003	24	4	6.5	2.16	1.78	7.37	7.37	107.0	0.021	0.093	26.5	106	120	23.31		1	2	2(K)
15.10.2003	25	10	6.5	6.98	1.65	4.06	6.98	123.0	0.061	0.093	265	265	260	15.97		1	5	5



17.10.2003	26	10	6,5	2,16	0,64	1,78	2,16	39	117,1	0,015	0,039	53	265	255	35,03	1	5
18.10.2003	27	13	6,5	0,13	0,64	0,64	0,64	>100	117,2	0,0003	0,026	26,5	344,5	245	47,59	2	5
20.10.2003	28	5	6,5	2,41	2,16	3,56	3,56	57	118,7	0,064	0,106	26,5	132,5	185	35,94	2	4
22.10.2003	29	6	8,5	4,19	4,44	3,17	4,44	43	114,6	0,020	0,265	36,5	219	190	31,45	2	4
08.12.2003	30	4	6,5	5,97	1,52	5,33	5,97	34	112,6	0,0384	0,106	29	116	135	28,06	1	3
17.12.2003	31	4	6,5	3,68	3,05	5,21	5,21	85	116,6	0,0143	0,252	27,25	109	88	16,86	2	3
26.12.2003	32	5	6,5	7,24	8,00	9,27	9,27	>100	117,9	0,0208	0,597	26,5	132,5	80	15,54	2	3
30.12.2003	33	4	6,5	7,62	6,22	10,7	10,7	85	117	0,0218	0,703	26,5	106	85	16,51	2	3
12.04.2004	34	10	6,5	1,14	0,64	1,02	1,14	19	120,9	0,0098	0,027	54,50	272,2	205	27,76	3	5
20.04.2004	35	9	6,5	1,14	1,40	2,03	2,03	23	109,5	0,0211	0,027	52,50	236,2	200	27,60	3	5
26.04.2004	36	9	6,5	2,03	1,14	2,16	2,16	32	110,6	0,0158	0,053	26,25	236,2	135	26,35	11	5
07.05.2004	37	7	7,5	0,51	0,76	0,76	0,76	34	112,3	0,0067	0,027	27,25	190,7	180	34,48	2	5
12.05.2004	38	10	6,5	1,14	1,02	1,27	1,27	20	117,4	0,0149	0,027	26,25	262,5	125	24,39	11	5

Not: K: Atımların verimsiz olduğu kırmızı topraklı bölge.

## 5.1 Ölçüm Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

Ocakta yapılan tüm atımlar (38 adet), kırmızımsı toprak zonda yapılan atımlar (18 ve 24. atımlar) çıkartılarak geriye kalan 36 adet atım, ayrıca 1. 2. ve 5. basamaklarda gerçekleştirilen atımlar ve ölçümü İstasyon 1 ve İstasyon 2’de alınan atımlar için ayrı ayrı istatistiksel analiz yapılmış ve sonuçları Çizelge 5. 2’ de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Atımlar İçin Parçacık Hızı ve Ölçekli Mesafe Arasındaki İlişkiler.

	Saha Sabitleri	Parçacık Hızları			
		Enine (PTV)	Düşey (PVV)	Boyuna (PLV)	Maksimum (PPV)
Yapılan Tüm Atımların İstatistiksel Analizi		SD <sub>1</sub>	SD <sub>1</sub>	SD <sub>1</sub>	SD <sub>1</sub>
	K	20447	901.58	13822	13225
	β	-2.7917	-1.9437	-2.6165	-2.5578
	r <sup>2</sup>	<b>0.68</b>	<b>0.62</b>	<b>0.69</b>	<b>0.71</b>
18 ve 24 No’lu Atımlar Haricinde Yapılan Atımların İstatistiksel Analizi	K	27449	1274.9	24066	20409
	β	-2.8795	-2.0506	-2.7972	-2.6993
	r <sup>2</sup>	<b>0.69</b>	<b>0.65</b>	<b>0.73</b>	<b>0.74</b>
	K	6529.5	2723.8	51473	12155
Basamak 1’de Yapılan Atımların İstatistiksel Analizi	β	-2.2339	-2.2081	-2.933	-2.3903
	r <sup>2</sup>	<b>0.70</b>	<b>0.77</b>	<b>0.77</b>	<b>0.78</b>
	K	21668	176.24	32517	36119
	β	-2.8459	-1.4059	-2.8898	-2.9035
Basamak 2’de Yapılan Atımların İstatistiksel Analizi	r <sup>2</sup>	<b>0.68</b>	<b>0.63</b>	<b>0.82</b>	<b>0.76</b>
	K	2289.7	5.1248	560.54	511.06
	β	-2.3023	-0.529	-1.7663	-1.728
	r <sup>2</sup>	<b>0.59</b>	<b>0.32</b>	<b>0.71</b>	<b>0.67</b>
Basamak 5’de Yapılan Atımların İstatistiksel Analizi	K	8361.2	2201.8	11799	9241.4
	β	-2.3696	-2.2728	-2.4233	-2.3045
	r <sup>2</sup>	<b>0.64</b>	<b>0.72</b>	<b>0.70</b>	<b>0.77</b>
	K	157987	3255.1	7024.5	11999
Ölçümü İstasyon 1’de Gerçekleştirilen Atımların İstatistiksel Analizi	β	-3.5691	-2.3017	-2.4829	-2.6148
	r <sup>2</sup>	<b>0.94</b>	<b>0.82</b>	<b>0.89</b>	<b>0.92</b>
	K	157987	3255.1	7024.5	11999
	β	-3.5691	-2.3017	-2.4829	-2.6148
Ölçümü İstasyon 2’de Gerçekleştirilen Atımların İstatistiksel Analizi	r <sup>2</sup>	<b>0.94</b>	<b>0.82</b>	<b>0.89</b>	<b>0.92</b>

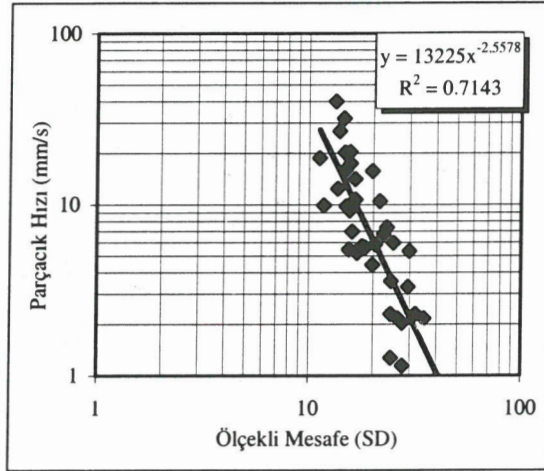
$$\text{Parçacık Hızı} = K \times \text{SD}^{\beta}, \quad (r^2: \text{Kararlılık katsayısı})$$

Tüm atımlar için (38 atım) parçacık hızı bileşenleri ve ölçekli mesafe değerleri arasında ilişkiyi belirlemek amacıyla yapılan regresyon analizinde, parçacık hızının maksimum bileşeninin kararlılık katsayısı 0.71 olarak elde edilmiştir. Enine ve boyuna bileşenlerinin kararlılık katsayıları sınır değer olarak belirtilen 0.7 değerine çok yakın çıkmıştır. Parçacık hızının düşey bileşeni için bu değer 0.62’dir (Çizelge 5.2). Bu sahada bundan sonra yapılacak patlatmalar sonucu açığa çıkacak maksimum parçacık hızını önceden tahmin edebilmek için kullanılması önerilen ampirik bağıntı aşağıda verilmiştir.

$$PPV(\text{mm/sn})=13225SD^{-2.5578} \quad r^2=0.71$$

Parçacık hızı ile ölçekli mesafe arasındaki logaritmik ilişkinin grafik gösterimi ise, noktaların dağılımını da içerecek şekilde Şekil 5.1 'de gösterilmiştir.

Kırmızı zonda (Şekil 4.2) yapılan atımların (18 ve 24. atım) sonuçlarının aynı basamak kotundaki diğer atımlara göre oldukça düşük sonuç vermesinden dolayı bu iki atım değerinin çıkartılarak yapıldığı istatistiksel analizi sonunda elde edilen kararlılık katsayılarının tüm atımların analizi sonunda elde edilen değerlere göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Özellikle 18. atımda gecikme başına patlayan patlayıcı miktarının (65 kg) yüksek olmasına rağmen maksimum parçacık hızı diğer atımlarla kıyaslandığında oldukça düşük çıkmıştır (9.91 mm/sn). Buradan, farklı kaya kütle özelliklerinin patlatma kaynaklı yer titreşimlerinin oluşumu ve dağılımı üzerinde etkili olduğu ve istatistiksel analizlerde bunların göz önüne alınması gerektiği anlaşılmaktadır.



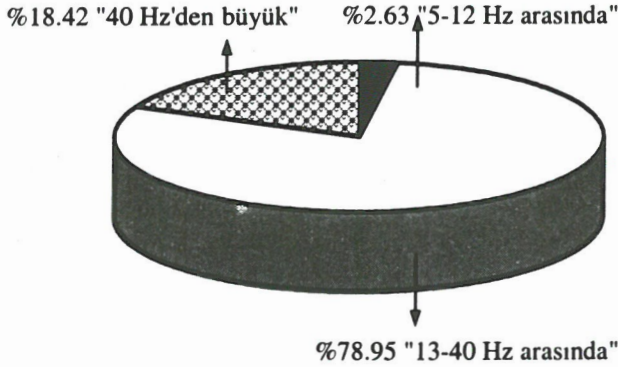
Şekil 5.1 En yüksek parçacık hızı ve ölçekli mesafe arasındaki ilişki.

1. basamakta yapılan 14 adet atım, 2. basamakta yapılan (18. ve 24. atımlar hariç) 5 adet atım ve 5. basamakta gerçekleştirilen 9 adet atım için ayrı ayrı regresyon analizi yapılmış ve her basamakta yapılan atımların kendi içerisinde değerlendirilmesi sonucunda daha yüksek korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Dolayısıyla her bir basamakta yapılan yeteri sayıda ( $\geq 30$ ) atım sonrası yapılacak değerlendirmelerde daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca İstasyon 1'de ölçülen 13 adet atımın ve ölçümü İstasyon 2'de alınan 9 adet atımın ayrı ayrı regresyon analizi yapılmış ve kararlılık katsayıları oldukça yüksek çıkmıştır

(Çizelge 5.2). Kararlılık katsayılarının yüksek çıkması; atımların farklı basamaklarda gerçekleştirilmesi ve farklı uzaklık ve patlayıcı miktarlarına sahip olmalarına rağmen açığa çıkan titreşimlerin yayılımı esnasında aynı jeolojik formasyondan geçerek ölçüm noktasına ulaşmasından kaynaklanabilir.

## 5.2. Atımların Titreşim Frekanslarının Değerlendirilmesi

Sahada yapılan 38 adet patlatma ölçümünde kaydedilen en yüksek parçacık hızlarına karşılık gelen frekans değerlerinin dağılımı da incelenmiştir (Şekil 5.2). Bu dağılıma bakıldığında, sahada yapılan atımlar sonucu oluşan titreşimlerin frekans değerlerinin %2.63'ünün 5-12 Hz arasında, %78.95'inin 13-40 Hz arasında, %18.42'sinin ise 40 Hz den daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu dağılımdan da anlaşılacağı üzere titreşimler, oldukça yüksek frekanslı olarak sonuçlanmıştır. Yüksek frekanslı bir titreşimin, düşük frekanslı bir titreşime göre (belli bir hız için) çok daha az hasar riski taşıyacağı bir çok araştırmacı tarafından belirtilmiştir [21,22]. Atımlarda ölçülen frekansların oldukça yüksek olması ve genel olarak konutların öz yapısal frekanslarının 5-10 Hz arasında değiştiği göz önüne alındığında, hasar riskinin en az düzeyde olacağı anlaşılmaktadır.



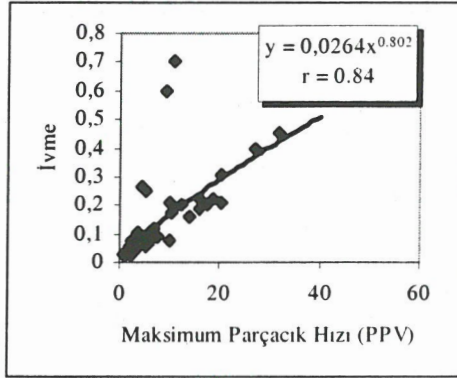
Şekil 5.2 İzlenen atımlardaki maksimum parçacık hızına karşılık frekansların dağılımı.

Ayrıca patlatma işleminin çevredeki yapılarda rezonans oluşturmaması için patlatma süresinin (başlangıç ile en son patlayan delik arasındaki süre) 1000 ms'nin altında olması gerekmektedir. Taşoçağında yapılan atımlarda başlangıç ile en son patlayan delik arasındaki maksimum süre tüm kapsüller kullanıldığında 510 ms'dir. Böylece yapılarda oluşabilecek rezonans engellenmiştir.

## 5.3 PPV-İvme, PPV-Yer Değiştirme, Frekans-Yer Değiştirme İlişkisi

Yapılan 38 adet ölçüm sonucuna göre sırası ile "PPV-İvme", "PPV-Yer Değiştirme" ve "Frekans-Yer Değiştirme" ilişkileri incelenmiş ve sonuçlar

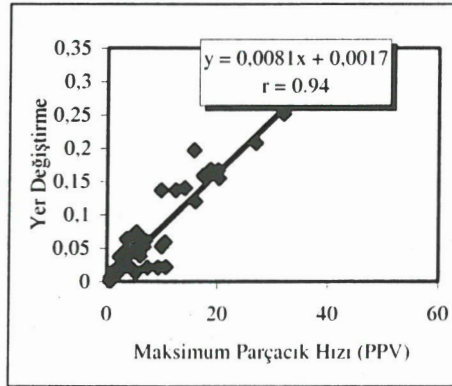
özetlenmiştir. Maksimum parçacık hızı ile ivme arasında korelasyon katsayısı (r) 0.84 değeri ile oldukça yüksek çıkmış ve aralarında yüksek bir korelasyonun olduğu anlaşılmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 Maksimum parçacık hızı ile ivme arasındaki ilişki.

Şekil 5.3'den anlaşılacağı gibi parçacık hızının artması ile ivme de artış göstermiştir. İvmenin yüksek olması patlatma ile çalışılan işletmelerde istenmeyen bir parametredir, aksi halde maksimum parçacık hızlarının yüksek olduğu durumlarda yapısal hasarların oluşmasına yol açabilir.

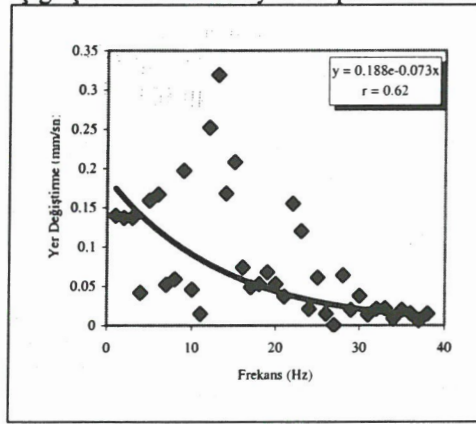
Maksimum parçacık hızı ile yer değiştirme arasındaki ilişki incelendiğinde, korelasyon katsayısı değeri (r) 0.94 elde edilmiş ve aralarında kuvvetli bir ilişkinin olduğu anlaşılmıştır (Şekil 5.4). Parçacık hızının artması ile artan yer değiştirme yapılarında hasar oluşumu potansiyelini artıracaktır.



Şekil 5.4 Maksimum parçacık hızı ile yer değiştirme arasındaki ilişki.

Atım yapılan bölgenin yerleşim yapıları incelendiğinde; genellikle yığma bina üzerinde kurulu yapıların çokluğu, bir adet de çok eski tarihi yapı bir evin olduğu göz önüne alındığında yer değiştirme değerinin 0.1 mm'yi aşmaması gerektiği sonucuna varılmıştır. Ölçümler sonucunda toplam 38 kayıdın 26 tanesi; 0.00-0.10 mm arasında, 9 tanesi 0.10-0.20 mm arasında, 2 tanesi 0.20-0.30 mm arasında ve 1 tanesi de 0.319 mm yer değiştirme değeri ile sonuçlanmıştır. Özellikle kademe boyunun 6 metreye düşürülmesinden sonra yapılan atımların maksimum parçacık hızları ve dolayısıyla yer değiştirme değerleri de düşük çıkmıştır.

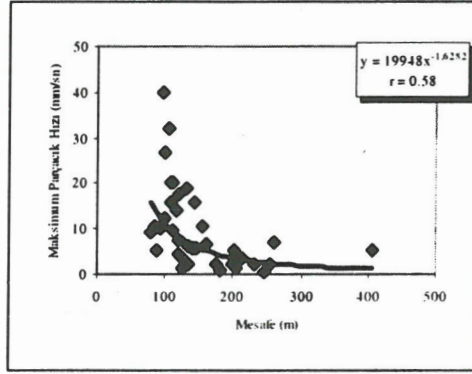
Şekil 5.5 frekansın yer değiştirme ile olan ilişkisini göstermektedir. İnceleme sonucunda, korelasyon katsayısı değerinin (r) 0.62 çıktığı ve frekans- yer değiştirme arasında orta seviyede bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Buradan frekans arttıkça yer değiştirmenin azalacağı görülmekte ve frekansın arttığı durumda yapılarda hasar riski olasılığının da azalacağı sonucuna varılmaktadır. Bu yüzden özellikle tek katlı yapıların bulunduğu yerleşim birimlerine yakın patlatma işlemlerinde düşük frekansların açığa çıkması istenilmeyen bir parametredir.



Şekil 5.5 Frekans ile yer değiştirme arasındaki ilişki.

#### 5.4. PPV-Uzaklık, PPV-Gecikme Başına Patlayıcı Madde Miktarı İlişkisi

Ocakta gerçekleştirilen 38 adet atım farklı basamaklarda ve farklı istasyonlarda ölçüldüğü için patlatma noktası ile ölçüm istasyonu arasındaki uzaklık da farklılık göstermektedir. Çoğu jeolojik ortamda patlatma noktasından belirli bir uzaklıkta ölçülen parçacık hızı değeri, mesafe iki katına çıktığında değerinin 1/3'ne düşmektedir. Örneğin patlatma noktasından 122 metre uzaklıkta ölçülen parçacık hızı değerinin 9 mm/sn olduğunu düşünürsek, bu değer 30 metre uzaklıktaki değerinin 81 mm/sn olması beklenmektedir [23]. Şekil 5.6 incelendiğinde maksimum parçacık hızı ile uzaklık arasındaki kararlılık katsayısının 0.58 çıktığı ve aralarında orta seviyede bir ilişkinin olduğu görülmektedir.



Şekil 5.6 Maksimum parçacık hızı-mesafe arasındaki ilişki.

Şekil 5.6'dan maksimum parçacık hızı uzaklığın azalmasıyla birlikte artmakta olup, patlatma yerine yakın mesafede bulunan yerleşim birimlerinde hasar oluşumu riskine karşı patlatma tasarım parametrelerinin çevrede rahatsızlık oluşturmayacak biçimde dizayn edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının düşürülmesi için uygulanan en önemli yöntem gecikme başına patlayan patlayıcı miktarının düşürülmesidir. Yapılan çalışmada; İstasyon 1 ve İstasyon 2'den alınan ölçümlerde, delik boyları aynı olan, patlatma noktası-ölçüm noktası arasındaki uzaklığın birbirine çok yakın olduğu ve aynı basamakta gerçekleştirilen 25, 26, ve 27. atımların sonuçları incelendiğinde sırası ile gecikme başına düşen patlayıcı miktarının düşmesi ile birlikte parçacık hızının 6.98 mm/sn den 0.64 mm/sn'ye kadar düştüğü gözlenmiştir. Bu sonuca ilave olarak delikler arasında gecikme uygulanarak veya ara kuşlama yaparak gecikme başına patlatılan patlayıcı miktarının düşürülmesinin yer titreşimlerinin düşürülmesinde ne kadar etkili olduğu da görülmüştür (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3 Atım No. 25-27 Arasındaki Patlatma Parametreleri ve PPV Üzerindeki Etkisi.

Atım No.	Basamak	Delik Boyu (m)	Gecikme Başına Pat. Miktarı (kg)	Gecikme Aralıkları (ms)	Mesafe (m)	PPV (mm/sn)
25	5	6.5	265	Yok	260	6.98
26	5	6.5	53	60	255	2.16
27	5	6.5	26.5	60	245	0.64

### 5.5. Atım Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan istatistiksel analiz sonucu oluşturulan eşitlik kullanılarak elde edilen maksimum parçacık hızı değerleri ile araziden ölçülen değerlerinin birbirine yakınlıkları Çizelge 5.4'de incelenmiştir.

Çizelge 5.4 Hesaplanan ve Ölçülen Parçacık Hızları.

Rastgele Seçilmiş Atım Nosu	Maksimum Parçacık Hızı	
	Hesaplanan	Gerçekleşen
1	10.23	14.10
7	4.62	6.73
11	1.88	2.29
27	0.67	0.63
28	3.74	3.56
30	3.49	5.97
33	10.15	10.70
PPV = 13225 SD <sup>-2.5578</sup>		

Çizelgeden görüldüğü gibi yerinde ölçülmüş değerler ile formülle tahmin edilmiş değerler arasındaki sapma %18.5'i geçmemektedir. Bu taktirde geliştirilen bu fonksiyon kullanılarak, benzer atımlardaki muhtemel titreşim değerleri, ölçme ekipmanına gerek olmadan belirli güvenilirlikte belirli bir zaman için tahmin edilebilecektir.

Atımların kontrollü yapılmasının temini amacıyla elde edilen bu ilişki (PPV=13225 SD<sup>-2.5578</sup>), çalışma sahasında belirli miktardaki bir şarjla yapılacak patlatmalardaki maksimum parçacık hızının hesaplanması için veya söz konusu sahada hasar etkisi oluşturacak belirli bir parçacık hızı limitine göre kullanılabilir en fazla patlayıcı madde miktarının (mesafenin fonksiyonu olarak değişen miktarları için) bulunması için ortaya konulmuştur. Bu eşitlikten elde edilen ve patlatmalarda yardımcı olacak kılavuz çizelge (Çizelge 5.5) aşağıda verilmiştir.



Çizelge 5.5 Mesafeye Göre Patlayıcı ve En Yüksek Parçacık Hızı Tahmini.

İzin verilen parçacık hızı 13 mm/sn		Gecikme Başına Kullanılacak Patlayıcı Miktarı 25 kg	
Mesafe (m)	Gecikme başına kullanılabilecek toplam şarj (kg)	Mesafe (m)	Tahmin edilen en yüksek parçacık hızı (mm/sn)
90	36	90	8.14
100	45	100	6.22
130	75	130	3.18
150	100	150	2.21
175	136	175	1.49
200	178	200	1.06
250	278	250	0.60
300	401	300	0.37
400	712	400	0.18
500	1112	500	0.10

## 6. SONUÇLAR

Trabzon Araklı ilçesi Taşönü kalker ocağında yapılan patlatmalardan kaynaklanan yer sarsıntısı ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi neticesinde tüm hava şoku kayıtları gürültüden rahatsız olma seviyesi olan 140 dB değerinden düşük çıkmıştır. Yapılan istatistiksel analiz sonucu maksimum parçacık hızının önceden tahminine yönelik olarak kararlılık katsayısı yüksek olan bir fonksiyon geliştirilmiş, yerinde ölçülmüş değerler ile hesaplanan değerler arasındaki sapma %18.5'i geçmemiştir. Her basamakta yapılan atımların ve her istasyonda ölçülen atımların ayrı ayrı değerlendirilmesi neticesinde elde edilen kararlılık katsayılarının yüksek olması, bize basamak atımlarının ve ölçümü aynı istasyonda gerçekleştirilen atımların kendi içinde değerlendirilmesinin daha sağlıklı ve tutarlı sonuçlar vereceğini göstermiştir.

Titreşim ölçümlerine ait frekans değerlerinin oldukça yüksek çıktığı ve binalarda hasar oluşumu riskini azaltacağı anlaşılmaktadır. Maksimum parçacık hızının artmasıyla birlikte İvme ve Yer Değiştirme değerleri de paralel olarak artış göstermiştir. Bazı atımların yer değiştirme değerinin, aşılması gereken değerden (0.1 mm) yüksek olduğu ve düşük frekansların yer değiştirme değerine arttırıcı yönde etki ettiği görülmüştür. Ayrıca maksimum parçacık hızı uzaklık arttıkça düşmüş ve gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarının azaltılması titreşimlerin düşürülmesinde olumlu sonuç vermiştir.

## 7. KAYNAKÇA

- [1] Erçıkıdı, B., Kesimal, A., Yılmaz, E., Kaya, R., *Bafra Yöresi Titrekkaya Mevkii Taşocağının Üretiminde Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimlerin Bölgedeki Tarihi Yapılar Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi*, 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, (2003), 221-229.
- [2] Kaya, R., Kesimal, A., Yılmaz, E., Erçıkıdı, B., *A Review of Environmental Effects Resulting From Quarry Blasting*, 3<sup>rd</sup> Intern. Conference SGEM 2003, Modern Man. of Mine Producing, Geology and Environ. Protection, Bulgaria, (2003) 87-96.
- [3] Kahrıman, A., Görgün, S., Karadoğın, A., Tuncer, G., *Açık Ocak Basamak Patlatmalarından Kaynaklanan Yer Sarsıntısı Hızının Tahmini: Çan Linyit İşletmesi'nde Örnek Bir Çalışma*, Türkiye 17. Uluslar arası Madencilik Kongresi ve Sergisi – TUMAKS 2001, Ankara, (2001) 29-38.
- [4] Esen, S., Bilgin, H.A., *Evaluation of Blast Vibrations From Sekköy Surface Coal Mine in Turkey*, Proceedings of 27<sup>th</sup> Annual Conference on Explosives and Blasting Techniques, Editor: P.Sterk, International Society of Explosive Engineers Orlando, Florida, USA, (2001) 313-327.
- [5] Dowding, C.H., *Blast Vibration Monitoring and Control*, Prentice-Hall, (1985), 297 pages.
- [6] Siskind, D. E., Stagg, M.S., Kopp, J.W., Dowding, C.H., *Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting*, RI 8507, Bureau of Mines, (1980), 74 pages.
- [7] Anonim, *Explosives in Opencast Minig*, (1975).

- [8] Bilgin, H.A., Esen, S., ve Kılıç, M., *Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Binalar Üzerindeki Etkisi ve Büyütme Faktörünün Önemi*, 16. Madencilik Kongresi, Ankara, (1999) 25-32.
- [9] Tezel N., , *Kontrollü Patlatma*, Nitro-MAK Sektörel Dergi, (2003), No.1, 26-29.
- [10] Kahriman, A., Kesimal, A., Tuncer, G., *Prediction and Measurement of Environmental Problems Produced From Blasting*, Second International Symposium on Mine Environmental Engineering, (1998), 231-239.
- [11] Singh, P.K., Roy, P.M., Singh, K.R., *Responses of Roof and Pillars of Underground Coal Mines to Vibration Induced by Adjacent Open-Pit Blasting*, Environmental Geology, (2004), In Press.
- [12] Kahriman, A., *Analysis of Parameters of Ground Vibration Produced From Bench Blasting at A Limestone Quarry*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, (2004), 24, 887-892.
- [13] Aldaş, G.G.U. and Bilgin, H.A., *Effect of Some Rock Mass Properties on Blasting-Induced Ground Vibration Wave Characteristics*, CIM Bulletin, (2004), 97(1079), 52-59.
- [14] Kahriman, A., and Ceylanoğlu, A., *Blast Design And Optimization Studies For a Celestite Open-Pit Mine in Turkey*, Mineral Resource Engineering, (1996), 5(2), 93-100.
- [15] Costa, E. S. and Ayderes, S., *Practical Way to Reduce Environmental Rock Blasting Problems*, Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production Proceedings, Cagliari, (1996), 291-297.
- [16] Erçıkdi, B., *Araklı-Taşönü Kalker Ocağında Yapılan Atımların Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, (2004), 130 sayfa.

- [17] Erguvanlı, K., *Trabzon Çimento Fabrikası Araklı-Taşönü Köyü Hammadde Raporu*, (1975), 30 sayfa.
- [18] Erçıkdi, B., Kesimal, A., Yılmaz, E., *Safety Evaluation Of A Historic Place and School Close To Limestone Quarry Blasts*, International Conference SGEM 2004, Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, Bulgaria, (2004), 181-192.
- [19] Erçıkdi, B., Kesimal, A., Yılmaz, E., *Araklı-Taşönü Kalker Ocağında Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Değerlendirilmesi*, KAYAMEK'2004-VII Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Sivas, (2004), 337-347.
- [20] Kesimal, A., Erçıkdi, B., Kaya, R., Yılmaz, E., *Trabzon ili, Araklı İlçesi, Taşönü Köyü Hudutlarında Bulunan Kalker Taşocağının Üretiminde Patlatmadan Kaynaklanan Titreşim Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi*, KTÜ, Döner Sermaye Projesi, Trabzon. (2003), 60 sayfa.
- [21] Kahriman, A., Görgün, S., Karadoğan, A., Tuncer, G., *Taşıt Araçları yan Sanayi Altyapı İnşaatında Patlatmadan Kaynaklanan Titreşim Ölçümleri ve Değerlendirilmesi*, 4. Delme ve Patlatma Sempozyumu, Ankara, (2000), 125-134.
- [22] Bilgin, H.A, Esen, S., Kılıç, M., , *TKİ Çan Linyit İşletmesinde Patlatmaların Yol Açtığı Çevre Sorunlarının Giderilmesi İçin Araştırma*, ODTÜ, Nihai Rapor, Ankara, (1998), 19 sayfa.
- [23] ISEE, *Blasters Handbook*, International Society of Explosives Engineers, Cleveland, Ohio, (1998), 742 pages.

## THE EVALUATION OF BLASTING INDUCED GROUND VIBRATION MEASUREMENT RESULTS

B. ERÇIKDI\*, A. KESİMAL\*, E. YILMAZ\*, F. CİHANGİR\*

*Abstract.* The principal environmental disturbances created by blasting in open pit mines are ground vibrations, air blast and fly rock. All of them can, under some circumstances, cause damage to civil structures nearby and, apart from this, be the source of permanent conflict with the inhabitants who live close to the operation. Therefore, prediction of ground vibration components is of great importance for the minimization of the environmental complaints. In this study, the potential impact of ground vibrations produced from blasting operations performed at Araklı-Taşözü limestone quarry on the school, mosque, historic place and village houses was investigated. The current method of excavation, which is based on cautious bench blasting with vertical or angle holes, was evaluated by measuring ground vibration components at different locations. From the statistical analysis of the results, the peak particle velocity equation was constructed with a coefficient of determination 0.71 in order to predict the ground vibrations resulting from the blasting activities in the quarry. Higher coefficients of determination were obtained for each bench and sensor location. Using the general equation obtained, it was aimed to establish a scaled distance table, which will be used as a guide for future blasting operations to adjust blasting parameters and hence to reduce environmental impact. It was found that 2.63%, 78.95% and 18.42% of blast induced ground vibrations had a frequency of 5-12 Hz, 13-40 Hz and higher than 40 Hz, respectively. The intensity of the air blast in all measurements was recorded below 140 dB, which is the level of human annoyance. The experimental vibration data showed that the peak particle velocity increased with increasing the charge weight per delay while it decreased with increasing the distance from the blast location towards the measuring point. The correlations between "PPV-Acceleration", "PPV-Displacement" and "Frequency-Displacement" were evaluated using the results of ground vibration measurements taken from 38 blast events.

*Keywords:* Open-Pit Blasting, Seismic Measurements, Ground Vibration

\*Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,  
Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye  
[bercikdi@ktu.edu.tr](mailto:bercikdi@ktu.edu.tr),

