

Belirli Bir Kaya Kütlelerinde Oluşturulan Yer Sarsıntılarının Ölçümü ve Değerlendirilmesi

A. Ceylanoğlu & E. Arpaz

Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

ÖZET: Patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının ölçümü ve tahmini çevresel sorunları en aza indirmede ve patlatma verimliliğinin artırılmasında büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında, belirli bir kaya biriminde (jips) değişik şarj (dinamit) miktarları kullanılarak oluşturulan yer sarsıntısı ve hava şoku farklı yön ve mesafelerde ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları, ölçüm yönü dikkate alınarak literatürdeki 11 değişik tepe parçacık hızı tahmin yöntemine göre değerlendirilmiştir. Regresyon analizi sonuçları, parçacık hızı tahmininde yalnız patlayıcı madde miktarının ve mesafenin (ölçekli mesafe) değil aynı zamanda ölçüm yönünün de dikkate alınması gerektiğini göstermiştir.

ABSTRACT: The measurement and prediction of ground vibrations induced by blasting has a great importance to minimize environmental problems and to increase blasting efficiency. Within the scope of this study, ground vibration and air blast produced by using different amounts of explosive (dynamite) in a certain rock unit (gypsum) were measured at different distances and directions. The measurement results were evaluated according to 11 different peak particle velocity estimation methods in the literature considering the measurement direction. The regression analysis results showed not only the amount of charge and distance (scaled distance) but also the direction of measurement should be taken into consideration during the estimation of particle velocity.

1 GİRİŞ

Patlatma kaynaklı yer titreşimleri bir noktadan başlayarak küresel olarak yayılmakta ve bu yayılma sırasında geçtikleri ortamın özelliklerine bağlı olarak kırılmaya/yansımaya uğramakta ve nihayetinde sönümlenmektedir. Bu durumda, değişik yönlerde farklı özellikler gösteren kaya ortamlarında yer titreşimlerinin yayılımının da düzenli olması beklenmemelidir. Özellikle patlatma kaynaklı çevresel etkilerin yoğun olduğu bölgelerde değişik yön ve mesafelerde yer sarsıntılarının izlenmesi patlatma kaynaklı çevresel sorunların giderilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

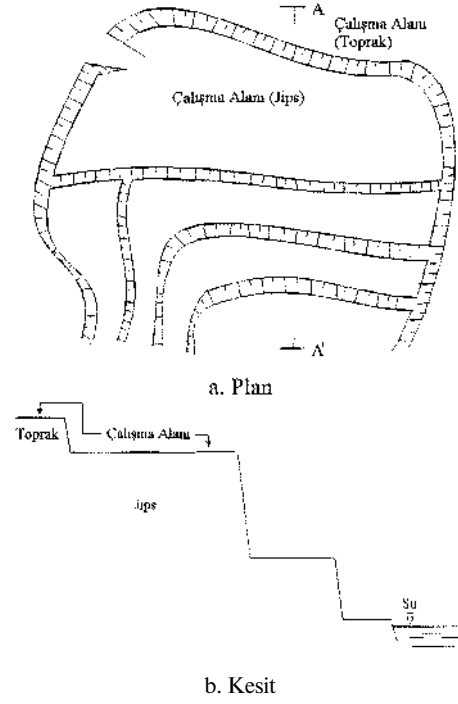
Kangal Kömür Açık İşletmesi'nde, atımların yapıldığı basamaklar dikkate alınarak yer sarsıntılarının tahminine yönelik daha iyi korelasyonlu ilişkiler elde edilmiştir (Ceylanoğlu & Arpaz 2000).

Bu araştırma kapsamında patlatma kaynaklı yer titreşimlerinin yöne bağlı değişimini belirlemek amacıyla belirli bir kaya biriminde değişik şarj miktarları kullanılarak yer sarsıntıları oluşturulmuştur. Bu sarsıntılar farklı yön ve mesafelerde ölçülmüş ve sonuçları ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmiştir.

2 ÇALIŞILAN KAYA BİRİMİ VE BAZI ÖZELLİKLERİ

Yapılan araştırma sonucunda, gerek işletme koşullarının uygunluğu, işletmeye ve basamağa kolay ulaşılabilir olması gerekse basamak üstünün planlanan ölçümlerin yapılabileceği bir boyutta ve özellikte olması (basamaktaki kaya birimi yapısının aynadan gözlemlenebilmesi ve basamak üstünün çalışmaya elverişli genişlikte ve düzlükte olması) nedeniyle Barit Maden T.A.Ş.'ne ait sölestit açık

ocağının 1380-1396 kotları arasında yer alan jips basamağının üzeri (Şekil 1) çalışma alanı olarak seçilmiştir. Söz konusu kaya biriminin bazı malzeme ve kütle özellikleri belirlenmiş ve Çizelge 1'de verilmiştir. Ayrıca çalışma alanının hemen üstünde bulunan 4 m yüksekliğindeki basamak (toprak) üzerinde de sismik ve yer sarsıntısı ölçümleri yapılmıştır (Arpaz 2000).



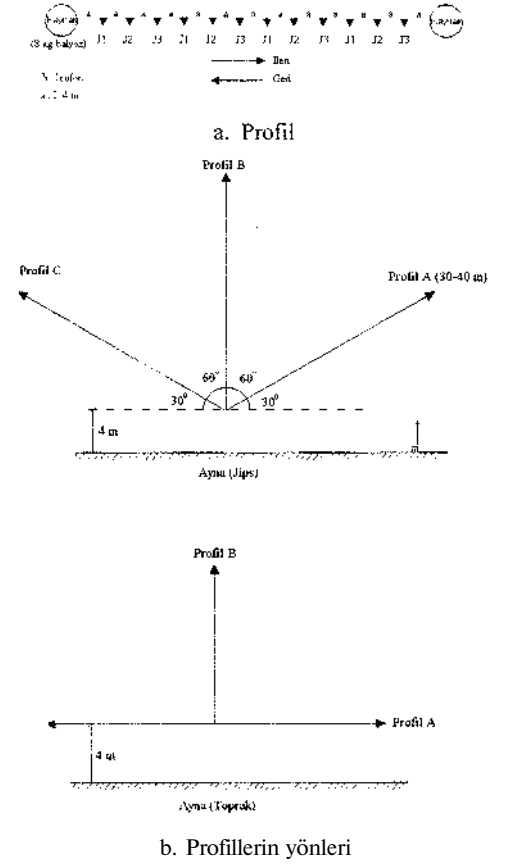
Şekil 1. Yer sarsıntısı ve hava şoku ölçümlerinin gerçekleştirildiği jips basamağı.

Çizelge 1. Çalışılan kaya biriminin bazı malzeme ve kütle özellikleri.

Çalışılan Birim	Jeoteknik Tanım	Schmidt	Nokta
		Çekici Sertliği	Yükleme Dayanımı (UM)) (MPa)
Toprak	Kahverengi, tümüyle ayrılmış Açık gri, ekSm yüzeyleri kahverengimsi, $a^?$ derecede ayrılmış, basamağın üst kısımlarında hava ile temastan kahverengimsi orta derecede ayrılmış bir zotu mevcut. Aynada iki eklem seli gözlenmekle, aynaya dik olan 1. eklem seti: $60-70^\circ$, paralel olan 2. eklem seti: 15° eğimde, ortalama eklem aralığı: 4.4 m, devamlılığı 80 cm, az pürüzlü.	18.89 ± 1.32	1.50 ± 0.47

3 SİSMİK ÖLÇÜM SONUÇLARI

Öncelikle, çalışma alanı olarak seçilen basamaklarda (jips ve toprak) yer sarsıntısı ölçümleri alınacak yönlere (Jips basamağında 3 ve üst basamakta (toprak) iki değişik yönde) Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne ait üç kanallı Abem Miniloc sismograf kullanılarak sismik hızı (P-dalga) belirleme ölçümleri yapılmıştır (Şekil 2). Söz konusu profiller (ileri ve geri) boyunca 2-4 m aralıklarla jeofonlar (3 adet) yerleştirilmiş ve 8 kg balyoz kullanılarak sağlanan sismik dalganın jeofonlara ilk ulaşım süreleri sismografla kaydedilmiştir. Bu şekilde herbir profilin ileri ve geri yönleri için yeterli sayıda (en az 12) varış süresi ve mesafeden oluşan veri çiftleri elde edilmiştir. Bu veri çiftleri ile yol-zaman (x-t) grafikleri çizilerek herbir profilin ileri ve geri yönleri için sismik hız belirlenmiştir (Çizelge 2).



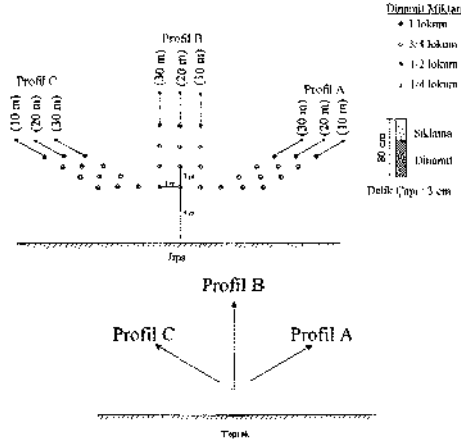
Şekil 2. Sismik hız (P-dalga) ölçümü.

4 YER SARSINTISI VE HAVA ŞOKU ÖLÇÜM SONUÇLARI

Sismik ölçüm alınan profiller boyunca dört değişik dinamit miktarı (1/4, 1/2, 3/4 ve 1 lokum) kullanılarak toplam 39 atım yapılmıştır (Şekil 3). Atımlarda çukur oluşması ve çevresinin bozulması nedeniyle Şekil 3'de gösterildiği gibi atım yönü

Çizelge 2. Profillerin sismik hızları.

Basamak	Profil	Sismik Hız (m/sn)
Jips	Profil A	İleri 1705
		Geri 2355
		Ortalama 2030
	Profil B	İleri 2025
		Geri 1932
		Ortalama 1799
Profil C	İleri 1709	
	Geri 2046	
	Ortalama 1873	
Toprak	Profil A	İleri 452
		Geri 352
		Ortalama 402
	Profil B	İleri 361
		Geri 405
		Ortalama 383



Şekil 3. Yer sarsıntısı ve hava şoku ölçümü.

dikkate alınarak atımlar, ileri-geri ve sağa-sola kaydırılarak farklı noktalarda yapılmıştır. Üç değişik yönün her birinde dört farklı dinamit miktarı ve herbir dinamit miktarı için üç değişik mesafede alınan yer sarsıntısı ve hava şoku ölçüm sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Yer sarsıntısı ve hava şoku ölçümleri Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne ait InstanTel firmasının

ürettiği DS-677 titreşim ölçer cihazı (Blastnat kullanılarak yapılmıştır.

5 OLCUM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının önceden tahminine yönelik birçok kişi ve kuruluş çeşitli araştırmalar yapmış ve maksimum parçacık hızının ölçekli mesafeye bağlı tahmini literatürün çoğunda kabul görmüştür. Maksimum parçacık hızının tahminine yönelik yapılan bazı çalışmaların sonuçları (Gupta vd. 1988) kronolojik olarak aşağıda verilmektedir,

i. Ambraseys ve Hendron (1968)

$$PPV = K*(R/W)^M f$$

ii. Nicholls, Johnson ve Duvall (1971)

$$PPV = K*(R/W^0.5)^P$$

iii. Langefors ve Kihlström (1973)

$$PPV = K*[(W/R^{15})^{0.5}]^B$$

iv. Hindistan Standartları Enst.(1973)

$$PPV = K*[(W^{0.67}/R)]^P$$

v. Davies ve Ark., (1964), Attewell

vd., (1965), Shoop ve Daemen (1983), Birch ve Chaffer (1983)

$$PPV = K*R^{\alpha}*W^{\beta}$$

vi. Ghosh ve Daemen (1983)

$$PPV = K*(R/W^{0.5})^{\beta}*e^{-\alpha R}$$

vii. Ghosh ve Daemen (1983)

$$PPV = K*(R/W^{0.33})^{\beta}*e^{-\alpha R}$$

viii. Gupta vd. (1987)

$$PPV = K*[(W/R^{1.5})^{0.5}]^{\beta}*e^{-\alpha R}$$

ix. Gupta vd. (1987)

$$PPV = K*(W^{0.67}/R)^{\beta}*e^{-\alpha R}$$

x. Gupta vd. (1988)

$$PPV = K*(R/W^{0.5})^{\beta}*e^{-\alpha(R/W)}$$

xi. CMSR (Roy, P.P., 1991)

$$PPV = n + K*(R/W^{0.5})^{-1}$$

xii. Bilgin vd. (1998)

$$PPV = K*(R/W^{0.5})^{\alpha}*B^{\beta}$$

Burada;

PPV: Mak. parçacık hızı (mm/sn)

B: Dilim kalınlığı (m)

R : Patlatma noktasından uzaklık (m)

W: Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg)

K, β, α, n: Saha sabitleri

$e^{-\alpha R}$: İnelastik seyrelme faktörü

$e^{-\alpha(R/W)}$: İnelastik sönme faktörü

Belirli bir kaya biriminde ($j'P'$) dinamit kullanılarak gerçekleştirilen 36 adet atıma ait yer sarsıntısı ölçüm sonuçlarının tümü ve her bir profil

için yukarıda verilen parçacık hızı tahmin yöntemlerine göre ayrı ayrı regresyon analizi yapılmıştır. Bu analizler sonucunda elde edilen maksimum parçacık hızı (PPV) ilişkileri Çizelge 4'de sunulmuştur. Bu regresyon analizlerinde profiller bazında elde edilen ilişkiler daha yüksek

korelasyon katsayıları ile sonuçlanmıştır. Maksimum parçacık hızı ilişkisinin korelasyon katsayısı tüm atımlar dikkate alındığında 0.76 iken, ölçüm profili

Çizelge 3. Yer sarsıntısı ve hava şoku ölçüm sonuçlar

Ölçüm No	Profil	Dinamit Miktarı (Lokum Adet)	Ölçüm Mesafesi (R) (m)	Ölçekli Mesafe (R.W ^{1/5})	Parçacık Hızı ve Frekansı								Hava Şoku ve Frekansı			
					Enine (PPVT)		Düsey (PPVV)		Boyuna (PPVL)		Bilçke (PVS)		Maksimum (PPV)		Hz	dbI
					mm/sn	Hz	mm/sn	Hz	mm/sn	Hz	mm/sn	mm/sn	mm/sn	mm/sn		
JİPS																
1		1/4	10	1.474	0.51	2	2.41	N/A	10.03	N/A	10.03	10.03	N/A	112.6	N/A	
2		1/4	20	2.949	0.7	N/A	0.6	N/A	1.86	N/A	2.03	1.86	N/A	108	73	
3		1/4	30	4.423	0.56	N/A	0.41	N/A	0.65	N/A	0.71	0.65	N/A	119.8	51	
4		1/2	10	1.043	38.86	N/A	1.02	N/A	2.41	N/A	38.89	38.86	N/A	118.1	73	
5		1/2	20	2.085	8.89	N/A	0.64	N/A	1.02	N/A	8.92	8.89	N/A	116	7	
6		1/2	30	3.128	6.22	N/A	0.64	N/A	0.89	N/A	6.24	6.22	N/A	136.5	N/A	
7	A	3/4	10	0.851	14.73	N/A	2.16	N/A	3.05	N/A	14.8	14.73	N/A	121.4	51	
8		3/4	20	1.703	8.51	N/A	0.51	N/A	1.52	N/A	8.6	8.51	N/A	123.7	6	
9		3/4	30	2.554	14.22	N/A	0.64	N/A	1.91	N/A	14.24	14.22	N/A	119.4	73	
10		1	10	0.737	26.16	N/A	2.41	N/A	4.57	N/A	26.43	26.16	N/A	124.1	51	
11		1	20	1.474	28.19	N/A	1.52	N/A	3.3	N/A	28.23	28.19	N/A	117.5	64	
12		1	30	2.212	6.1	N/A	0.51	N/A	1.52	N/A	6.11	6.1	N/A	140.7	N/A	
13		1/4	10	1.474	5.46	N/A	1.14	85	3.18	N/A	5.68	5.46	N/A	113.6	30	
14		1/4	20	2.949	3.18	N/A	0.64	N/A	0.89	N/A	3.19	3.18	N/A	108.8	11	
15		1/4	30	4.423	1.91	N/A	0.25	N/A	0.38	N/A	1.92	1.91	N/A	109.6	51	
16		1/2	10	1.043	19.18	N/A	1.91	85	2.16	N/A	19.26	19.18	N/A	119.6	73	
17		1/2	20	2.085	23.5	N/A	2.29	N/A	3.81	N/A	23.56	23.5	N/A	115.6	73	
18		1/2	30	3.128	2.41	N/A	0.64	N/A	0.58	N/A	2.41	2.41	N/A	107.1	N/A	
19	B	3/4	10	0.851	15.37	N/A	3.43	N/A	5.97	N/A	15.51	15.37	N/A	122.2	64	
20		3/4	20	1.703	26.04	N/A	0.89	N/A	3.18	N/A	26.04	26.04	N/A	120	N/A	
21		3/4	30	2.554	15.88	N/A	1.4	N/A	1.4	N/A	15.89	15.88	N/A	110.9	73	
22		1	10	0.737	260	N/A	10.67	N/A	4.57	N/A	260	260	N/A	126	51	
23		1	20	1.474	30.61	N/A	2.41	N/A	6.86	N/A	30.7	30.61	N/A	120	73	
24		1	30	2.212	12.57	N/A	1.4	N/A	1.65	N/A	12.64	12.57	N/A	114.4	73	
25		1/4	10	1.474	45.34	N/A	4.83	N/A	11.43	N/A	45.48	45.34	N/A	142	N/A	
26		1/4	20	2.949	0.51	N/A	0.38	N/A	1.4	N/A	1.48	1.4	N/A	109.6	57	
27		1/4	30	4.423	0.19	N/A	0.19	85	0.65	N/A	0.65	0.65	N/A	106.1	51	
28		1/2	10	1.043	0.64	N/A	0.13	N/A	0.13	N/A	0.64	0.64	N/A	112.6	5	
29		1/2	20	2.085	4.06	N/A	1.4	N/A	2.16	N/A	4.24	4.06	N/A	114.4	73	
30	C	1/2	30	3.128	3.81	N/A	0.51	N/A	0.76	N/A	3.84	3.81	N/A	106.1	64	
31		3/4	10	0.851	52.71	N/A	3.05	N/A	17.27	N/A	54.91	52.71	N/A	122	73	
32		3/4	20	1.703	31.37	N/A	1.78	N/A	3.18	N/A	31.48	31.37	N/A	116	73	
33		3/4	30	2.554	12.7	N/A	0.64	N/A	1.78	N/A	12.73	12.7	N/A	116	85	
34		1	10	0.737	49.66	N/A	8.76	3	14.61	N/A	50.26	49.66	N/A	142	N/A	
35		1	20	1.474	25.91	N/A	2.92	N/A	3.56	N/A	26.1	25.91	N/A	134.3	85	
36		1	30	2.212	4.19	N/A	0.25	N/A	0.64	N/A	4.21	4.19	N/A	142	N/A	
TOPRAK																
37	A	1/4	10	1.474	18.42	37	2.54	43	2.79	39	18.43	18.42	37	139.2	64.0	
38	B	1/4	10	1.474	11.30	34	2.16	37	2.41	47	11.53	11.3	34	126.8	73.0	
39	C	1/4	10	1.474	18.67	27	4.70	39	4.57	52	18.70	18.67	27	142.0	N/A	

* W : 1 Lokum 184 gr alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4. Literatürdeki parçacık hızı tahminlerine göre

Metot No	Maksimum Parçacık Hızı (PPV) İlişkileri	Korelasyon Katsayısı, r
Tüm Atımlar		
1	$PPV=109.75(R/W^{0.333})^{-1.79}$	0.64
2	$PPV=27.77(RAV^{0.5})^{-1.81}$	0.69
3	$PPV=6.99((W/R^{3/2})^{0.5})^{2.31}$	0.73
4	$PPV=6.99(W/R^{2/3})^{1.73}$	0.73
5	$PPV=0.34R^{-1.36}W^{1.58}$	0.75
6	$PPV=10.11(RAV^{0.5})^{-2.92}e^{0.0834}R$	0.74
7	$PPV=128.61(RAV^{0.333})^{-4.04}e^{0.1447}R$	0.72
8	$PPV=2.48((W/R^{3/2})^{0.5})^{3.02}e^{0.047}R$	0.75
9	$PPV=2.48(W^{2/3}/R)^{2.26}e^{0.047}R$	0.75
10	$PPV=38.61(W^{2/3}/R)^{-0.49}e^{-4.8699}(RAV)$	0.76
11	$PPV=67.01(RAV^{0.5})^{-1} + -20.097$	0.54
A Profili Atımları		
1	$PPV=91.56(RAV^{0.333})^{-1.73}$	0.76
2	$PPV=24.09(RAV^{0.5})^{-1.72}$	0.81
3	$PPV=6.52((W/R^{3/2})^{0.5})^{2.17}$	0.84
4	$PPV=6.52(W/R^{2/3})^{1.63}$	0.84
5	$PPV=0.79R^{-1.37}W^{1.38}$	0.86
6	$PPV=10.3(RAV^{0.5})^{-2.65}e^{0.0701}R$	0.85
7	$PPV=105.51(RAV^{0.333})^{-3.73}e^{0.1294}R$	0.84
8	$PPV=2.95((W/R^{3/2})^{0.5})^{2.71}e^{0.036}R$	0.86
9	$PPV=2.95(W^{2/3}/R)^{2.03}e^{0.036}R$	0.86
10	$PPV=35.83(W^{2/3}/R)^{-0.15}e^{-5.7864}(R/W)$	0.92
11	$PPV=22.69(RAV^{0.5})^{-1} + -0.748$	0.69
B Profili Atımları		
1	$PPV=161.49(RAV^{0.333})^{-1.86}$	0.70
2	$PPV=39.78(RAV^{0.5})^{-1.9}$	0.77
3	$PPV=9.26((W/R^{3/2})^{0.5})^{2.47}$	0.82
4	$PPV=9.26(W/R^{2/3})^{1.85}$	0.82
5	$PPV=0.12R^{-1.32}W^{1.84}$	0.87
6	$PPV=10.99(RAV^{0.5})^{-3.32}e^{0.1061}R$	0.84
7	$PPV=195.11(RAV^{0.333})^{-4.53}e^{0.1725}R$	0.81
8	$PPV=2.18((W/R^{3/2})^{0.5})^{3.45}e^{0.0656}R$	0.86
9	$PPV=2.18(W^{2/3}/R)^{2.59}e^{0.0656}R$	0.86
10	$PPV=51.47(W^{2/3}/R)^{-0.88}e^{-0.8083}(RAV)$	0.81
11	$PPV=135.83(RAV^{0.5})^{-1} + -51.833$	0.68
C Profili Atımları		
1	$PPV=89.4(R/W^{0.333})^{-1.8}$	0.55
2	$PPV=22.35(R/W^{0.5})^{-1.8}$	0.59
3	$PPV=5.66((W/R^{3/2})^{0.5})^{2.29}$	0.62
4	$PPV=5.66(W/R^{2/3})^{1.72}$	0.62
5	$PPV=0.41R^{-1.4}W^{1.51}$	0.63
6	$PPV=9.12(RAV^{0.5})^{-2.79}e^{0.074}R$	0.62
7	$PPV=103.34(RAV^{0.333})^{-3.85}e^{0.1322}R$	0.61
8	$PPV=2.38((W/R^{3/2})^{0.5})^{2.88}e^{0.0393}R$	0.63
9	$PPV=2.38(W^{2/3}/R)^{2.16}e^{0.0393}R$	0.63
10	$PPV=31.38(W^{2/3}/R)^{-0.45}e^{-5.015}(IVW)$	0.65
11	$PPV=42.52(RAV^{0.5})^{-1} + -7.709$	0.75

R: Ölçüm mesafesi, m; W: Dinamit miktarı, g

dikkate alınarak yapılan analizlerde A, B ve C profillerinde sırasıyla 0.92, 0.87 ve 0.75 olarak sonuçlanmıştır.

Patlayıcı madde miktarı dikkate alınarak titreşim unsurlarının mesafeye bağlı değişimlerini belirlemek amacıyla titreşim unsurlarının eşdeğer haritaları çizilmiştir. Bu haritalar incelendiğinde titreşim unsurlarının bazı yönlerde daha kısa mesafelerde sönümlenirken bazı yönlerde ise enerjilerini daha uzak noktalara taşıyabildikleri görülmüştür. Diğer yandan, hızlı ve yavaş sönümlenme yönleri şarj miktarına bağlı olarak da değişmiştir. Bu durum, enerji miktarının kaya ortamının davranışını değiştirdiği şeklinde açıklanabilir. Örnek olarak Şekil 4'de maksimum parçacık hızı değerlerinin değişik şarj miktarlarındaki eş değer haritaları verilmiştir.

Üst basamakta (toprak) üç değişik yönde (aynı dinamik miktar ve aynı mesafe) ölçülen maksimum parçacık hızlarının değerleri jipse göre birbirlerine daha yakın sonuçlanmıştır. Bu durumun toprağın jipse göre daha homojen olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Yer sarsıntısı ölçümleri ile aynı anda gerçekleştirilen hava şoku ölçümleri (Çizelge 3) literatürdeki parçacık hızı tahmin yöntemlerine göre ayrı ayrı değerlendirilmiş ancak kabul edilebilir korelasyon katsayıları elde edilememiştir. Dinamik miktar ve ölçüm mesafesi dikkate alınarak gerek tüm veriler gerekse herbir profil için çoklu regresyon analizleri yapılmıştır (Çizelge 5). Çizelge 5'den de görülebileceği gibi, hava ortamının homojen olması nedeniyle korelasyon katsayıları hem oldukça yüksek hem de birbirlerine çok yakın değerlerdedir.

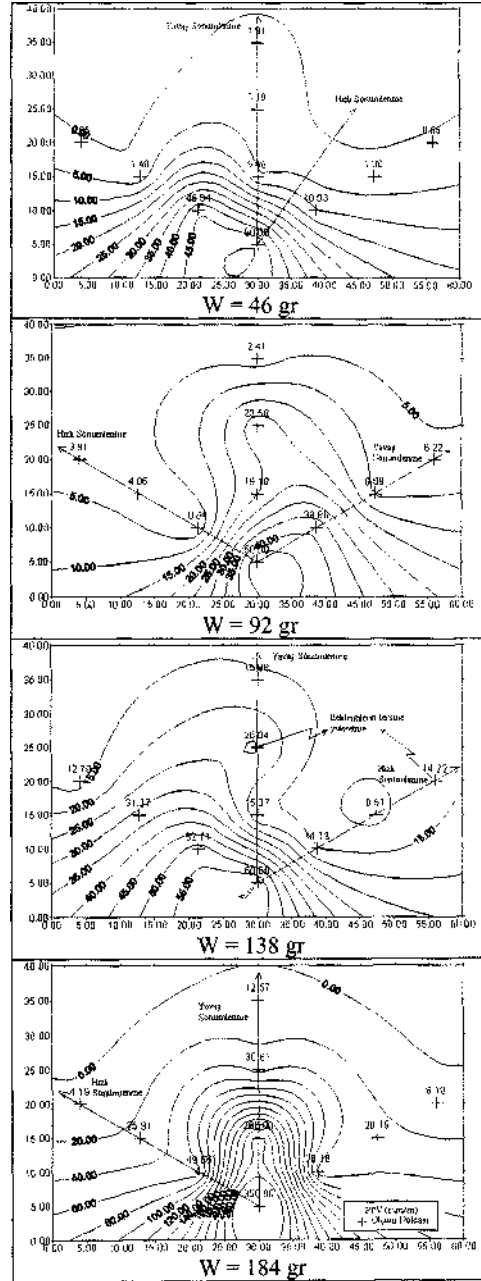
Çizelge 5. Hava şoku ölçümlerinin çoklu regresyon analizi sonuçları.

Kullanılan Veriler	Hava Şoku, N (db)	Korelasyon katsayısı, r
Tüm veriler	$N = 813.899 * (1/R) + 0.524 * W$	0.96
A Profili	$N = 738.963 * (1/R) + 0.568 * W$	0.95
B Profili	$N = 844.538 * (1/R) + 0.476 * W$	0.96
C Profili	$N = 858.195 * (1/R) + 0.528 * W$	0.97

R : Ölçüm mesafesi, m ; W : Dinamit miktarı, gr

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yer sarsıntısı düzeylerinin yöne bağlı değişimlerini açık bir şekilde ortaya koyabilmek amacıyla belirli bir kaya biriminde (jips) dinamik kaynaklı yer sarsıntıları oluşturulmuştur. Bu sarsıntılar farklı yön



Şekil 4. Maksimum parçacık hızı (PPV) değerlerinin değişik şarj miktarlarındaki eşdeğer haritaları.

ve mesafelerde ölçülmüş ve parçacık hızı değerlerinin yöne bağlı olarak değiştiği ve farklı sönümlenme karakteri gösterdiği görülmüştür.

Üst basamakta (toprak) üç değişik yönde (aynı dinamit miktarı ve aynı mesafe) ölçülen maksimum parçacık hızlarının değerleri jipse göre birbirlerine daha yakın sonuçlanmıştır. Bu durumun toprağın jipse göre daha homojen olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca hava ortamının homojen olması nedeniyle tüm veriler ve profillerde, parçacık hızı ilişkilerine göre hem daha yüksek hemde birbirlerine çok yakın korelasyonlu hava şoku tahmini ilişkileri elde edilmiştir.

Bu sonuçlar ve kaya kütesinin heterojen olduğu dikkate alındığında, bir yönde alınan veya farklı yönlerde alınarak bir arada değerlendirilen yer sarsıntısı ölçümlerine göre parçacık hızı tahminlerinin yanıltıcı olabileceği söylenebilir. Bu nedenle, özellikle kritik durumlarda değişik yönler için parçacık hızı ilişkilerinin belirlenmesi hem daha uygun hem de daha güvenilir olacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu araştırmayı desteklemeleri nedeniyle Cumhuriyet Üniversitesi Araştırma Fonuna ve Barit Maden T.A.Ş. yetkililerine teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Arpaz, E. 2000. Türkiye'deki bazı açık işletmelerde patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin izlenmesi ve değerlendirilmesi, *C. Ü. Fen Bil. Enst. Doktora Tezi*, 230 s., Sivas.
- Attewell, P.B., Farmer, I.W., Haslam, D. 1965. Prediction of ground vibration parameters from major quarry blasts, *Mining and Minerals Eng.*, December, pp. 621-626.
- Bilgin, A., Esen, S., Kılıç, M. 1998. TKİ Çan Linyit İşletmesi'nde patlatmaların yol açtığı çevre sorunlarının giderilmesi için araştırma, Nihai Rapor, *Tüt Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Birch, W.J., Chaffer, R. 1983. Prediction of ground vibration from blasting on opencast sites, *Trans. Inst. Min. Metall. (Sec. A: Mining Industry)*, April.
- Ceylanoğlu, A., Arpaz, E. 2000. Divriği Demir ve Kangal Kömür Açık İşletmelerinde patlatma kaynaklı yer sarsıntısı ve hava şoku ölçümlerinin sonuçları, *4. Delme ve Patlatma Sempozyumu*, (18-19 Nisan): 135-145, Ankara.
- Davies, B., Farmer, I.W., Attewell, P.B. 1964. Ground vibration from shallow sub-surface blasts, *The Engineeringol* 217, pp. 553-559, London.
- Ghosh, A., Daemen, U.K. 1983. A simple new blast vibration predictor (Based on Wave Propagation Laws), *24" U.S. Symp. on Rock Mechanics*, June, pp. 151-161.
- Gupta R.N., Roy, P., Singh, B. 1988. On a blast induced blast vibration predictor for efficient blasting, *Proceedings of the 22nd International Conference on Safety in Mines*, 1015-1021 .Beijing, China.

- Gupta, R.N., Roy, P.P., Bagachi, A., Singh, B. 1987. Dynamic effects in various rock mass and their predictions, *J. Mines, Met. Fuels*, pp. 455-462.
- I.S.I. 1973. Criteria for safety and design of structures subjected to underground blast, *Indian Standart*, ISI Bulletin No: IS-6922.
- Langefors, U., Khilström, B. 1973. Rock blasting, *John Wiley and Sons*, New York.
- Nicholls, H.R., Johnson, C.F., Duvall, W.I. 1971. Blasting vibrations and their effects on structures, *United States-Department of Interior*, USBM, Bulletin 656.
- Roy, P.P. 1991. Vibration control in an opencast mine based on improved blast vibration predictors. *Mining Science and Technolgy*; 12(1991): pp. 157-165.
- Shoop, S.A., Daemen, J.J.K. 1983. Site-specific predictions of ground vibrations induced by blasting, *AIME Spring Meeting*, March, Atlanta.

