

Bir Kalker Ocağında Patlatmak Kazılardan Kaynaklanan Çevresel Etkilerin Analizi

F. Cihangir, A. Kesimal, B. Erçıkıdı, O. Durmuş
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

ÖZET: Açık ocaklarda yapılan patlatma faaliyetleri sırasında ortaya çıkan başlıca çevresel sorunlar yer sarsıntısı, hava şoku, kaya fırlaması, toz ve zehirli gazlar ile dumanlardır. Bu tür sorunlar bazı koşullar altında çevredeki yapılar üzerinde hasara neden olabildikleri gibi, patlatmalı üretim çalışmalarının yürütüldüğü yerlerin yakınında yaşayan sakinler üzerinde de endişe, korku, haklı yada haksız şikayetler vb. sürekli anlaşmazlıkların kaynağı olabilmektedir.

Bu çalışmada, bir kalker ocağında yapılan üretim patlatmalarından kaynaklanan titreşimlerin çevredeki okul, cami, tarihi eser ve evlere olan etkileri araştırılmıştır. Ocakta yapılan atımlardan kaynaklanan yer sarsıntısı ve hava şoku parametrelerinin çevresel etkileri araştırılmış ve bu etkileri minimuma indirmek amacıyla 49 atımın ölçüm sonuçlarının ocağın genel durumu, basamaklar ve atım yönleri bazında ayrıntılı istatistiksel analizleri yapılmış ve maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe arasındaki korelasyon ilişkileri belirlenmiştir. Basamaklar ve atım yönleri baz alınarak yapılan regresyon analizleri sonucunda elde edilen kararlılık katsayılarının ocak geneli için bulunan kararlılık katsayılarından daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca atımların titreşim frekansları, ivme, yer değiştirme parametreleri de incelenmiş ve çevresel etkileri değerlendirilmiştir.

ABSTRACT: General environmental problems generated during blast activities in open pit mining are ground vibrations, air pressure, fly rock, dust and poisonous gases and fumes. In some cases, these problems can be the source of some continual disagreements (fear, right and unrighteous complaints, etc.) on inhabitants living close to a blast-based production in a quarry as well as damage on the buildings situated nearby.

In this study, the ground vibrations produced by blasting operations performed at a limestone quarry were searched in terms of the potential impacts on the school, mosque, historic place and village houses. Environmental effects of ground vibrations and air blast parameters arised from the blast shots were searched. In order to decrease these impacts, a statistical analyze was carried out to obtain PPV and scaled distance (SD) parameters for a whole mine, benches and shot direction. Determination coefficients estimated from the regression analyzes of the benches and shot directions were found to be higher than the coefficients calculated for the whole mine. In addition to these, vibration frequencies, acceleration and peak displacement parameters of the shots were investigated and their environmental effects were evaluated.

1. GİRİŞ

Patlatmanın kaçınılmaz olduğu madencilik, inşaat, taş ocaklığı, tünel, boru hattı gibi çeşitli sektörlerde yer sarsıntısı, kaya fırlamaları, zehirli gazlar ile dumanlar, toz ve hava şokundan kaynaklanan çevre problemleriyle sıkça karşılaşmaktadır. Bu nedenle, patlatma koşulları belirlenirken parçalanma derecesi, boyut dağılımı ve maliyet gibi teknik ve ekonomik unsurların yanında oluşabilecek çevresel problemlerin çözülmesi de göz

önünde bulundurulmalıdır. Patlatma kaynaklı parametrelerin ölçümü ve tahmin edilmesi, çevresel problemleri önlemede büyük önem taşımaktadır. Günümüzde hızlı nüfus artışına paralel olarak bazı maden ve taş ocakları, kentlerin, köylerin ve hatta tarihi eserlerin yakın bölgelerinde çalışmakta olup, çevresel açıdan ciddi sıkıntılar (gürültü, binalarda hasarlar, yaralanma, ölüm, vb.) doğurmaktadır. Bu nedenle, iyi bir patlatmadan beklenen en önemli unsurlardan biri de atımın çevresel etkiler açısından

emniyetli olmasıdır (Kalinman 1998a, Esen & Bilgin 2001, Kesimal & Erçikdi 2003).

Ülkemizde şu ana kadar patlatmanın çevresel etkilerine yönelik herhangi bir hasar kriteri oluşturulmadığından, çalışmalar üretim yapılan sahalarla özgü yapılmakta ve uluslararası standartlarla karşılaştırılarak çevresel rahatsızlıkları azaltma yoluna gidilmektedir (Kalinman 2004, Bilgin vd 2000, Siskind vd 1980).

Patlatmalar sonucu oluşan titreşimlerin büyüklüğüne etki eden en önemli parametrelerden bir tanesi kayanın jeolojik yapısıdır. Dolayısıyla açığa çıkan titreşimlerin sönümlenme hızları da kayanın jeolojik yapısına (fay, eklem, çatlak, vb.) bağlı olarak değişik yönlerde farklılık göstermektedir (Aidas & Bilgin 2004, Ceylanoğlu 2001). Bu yüzden elde edilen ölçüm sonuçlarının atım yönlerine ve basamaklara göre analiz edilmesi patlatmanın çevresel etkilerinin azaltılması açısından önem arz etmektedir (Erçikdi, 2004a, 2005, Kesimal & Kaya 2002).

Bu çalışmada bir kalker ocağında çimento hammaddesi temini amacı ile yapılan üretim patlatmalarından kaynaklanan çevresel etkiler incelenmiş ve çalışma alanının okul, cami, tarihi eser ve yerleşim yerlerine oldukça yakın olması nedeniyle yapılan atımların ölçüm ve gözlemleri hassas bir şekilde yapılmıştır (Kesimal vd 2003).

2. MALZEME VE YÖNTEM

Delme-patlatma konusunda çalışmalar yapan araştırmacılar, patlatmalarda kontrol edilebilen tasarımla ilgili faktörler ve kontrol edilemeyen jeolojik faktörlerdeki değişimler nedeniyle, en iyi yer sarsıntısı tahmin şeklinin gerçek atımların ölçülmesi ve gözlemlenmesi yoluyla elde edilebileceğini belirtmektedirler.

Yer titreşimlerinin değerlendirilmesinde etkili olan en önemli Uç parametre; patlatma ile ölçüm alınan yapı arasındaki mesafe, gecikme başına kullanılan patlayıcı madde miktarı ve titreşimin frekansdır. Patlatma ile oluşan sarsıntılar taşıdıkları enerji düzeyinde hasara neden olmaktadır. Sarsıntılarının enerji düzeyleri; parçacık yer değiştirmesi (deplasman-mm), parçacık hızı (mm/s), parçacık ivmesi (mm/s²) ve dalga frekansı (Hz) parametreleri ile ölçülmeye çalışılmaktadır.

Patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının önceden tahminine yönelik birçok kişi ve kuruluş araştırmalar yapmış (Kahrıman 1998b, Erçikdi,

2004b, c, Kesimal vd 2004) ve maksimum parçacık hızının (PPV) ölçekli mesafeye (SD) bağlı talimini literatürün çoğunda kabul görmüştür. Ölçekli mesafe; sismik gelişimi ve hava şoku enerjisini etkileyen gecikme başına şarj miktarı ve patlatma ile ölçüm noktası arasındaki mesafenin kombinasyonlarından türetilmektedir.

Üretim yapılan çalışma sahalarında maksimum parçacık hızı ve ölçekli mesafe değerlerinin (>30 atımla) ilişkilendirilmesi gerekir ve istatistiksel analiz sonucunda kararlılık katsayısı (r^2) değeri en az 0.7 olmalıdır (Costa & Ayderes 1996).

Çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen patlatma hasar kriterleri günümüze kadar değişik başarı dereceleriyle uygulanmış gelmiştir. Bu kriterlerden içerdikleri parametreler açısından benzerlik gösteren ve uygulamalarda yaygın olarak başvurulan normlardan en önemli iki tanesi ABD Madencilik Bürosu (USBM) ve Alman DIN 4150 normlarıdır.

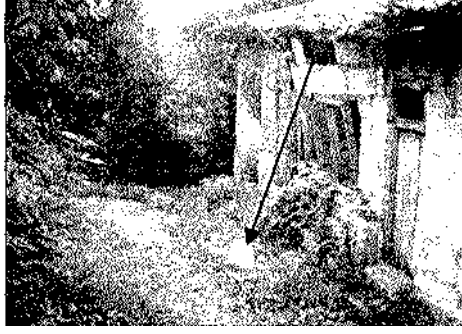
Çalışma kapsamında kalker ocağında öncelikle bazı gözlem ve incelemeler yapılmış ve tespitler aşağıda verilmiştir.

Kalker ocağı hammadde sahası genellikle marn, marnlı kalker, kalker ve travertenden oluşmakta ve bazı bölgelerde karsük boşluklar bulunmaktadır (Erguvanlı 1965).

İşletmede 5 adet üretim basamağı bulunmaktadır. Ocakta yeraltı su seviyesi yağışlarla birlikte yükselmekte ve ocağın en alt basamağı olan 5. basamakta atım öncesinde delikler içinde yaklaşık 1-3 m arasında su seviyesi görülmektedir.

Ocakta kazı işlemleri düşey delikli delme-patlatma yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Patlayıcı olarak AN-FO ve yemleyici olarak Emulite 100 kullanılmakta ve patlatma işlemleri elektrikli kapsüllerle gecikmeli ve gecikmesiz olarak delik sayısı 3-13 arasında değişen gruplar halinde gerçekleştirilmektedir.

Ruhsat sınırlarına yakın mesafede bulunan tarihi eser, okul, cami ve evlerin %10 kadan betonarme, bazıları tamamen blok taşlı, bazıları ise temeli yığma blok taşlı ahşap evlerdir. Yapıların çoğunda, atımlardan kaynaklanan tuğla kesmeleri, sıva çatlakları, sıva dökülmeleri ve yığma duvarların yıkılması gibi hasarlar yapılan çalışmalarla tespit edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çevredeki yapılarda yığma duvarların yıkılması

3. ÖLÇÜM SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Patlatmalı kazı ile sahada gerçekleştirilen 49 adet atımın ölçüm sonuçları; her bir atım için parçacık hızı bileşenleri (enine-PTV, dikey-PPV, boyuna-PLV, maksimum-PPV), maksimum frekans, hava şoku, yer değiştirme ve ivme, gecikme başına düşen en fazla patlayıcı madde miktarları ve SD değerlerini içerecek şekilde Çizelge 1'de ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Bu çalışma kapsamında sahada gerçekleştirilen toplam 49 adet atımın parçacık hızı unsurları ve ölçekli mesafe veri çiftlerinden oluşan yersarsıntısı ölçüm sonuçlarının veri sayısı bakımından analizleri basamaklar ve ölçüm istasyonları (yön) bazında şu şekilde yapılmıştır; 1. basamakta titreşim ölçümü alınan 15 adet atım, 5. basamakta titreşim ölçümü alınan 17 adet atım, ölçümü İstasyon 1'de alınan 16 adet atım, ölçümü İstasyon 2'de alınan 11 adet atım ve ölçümü İstasyon 3'de alınan 7 adet atım için ayrı ayrı regresyon analizi yapılarak kontrollü patlatma tasarımlarında gerekli olan ayrıntılı bir çalışma yapılmıştır. Diğer basamak ve istasyonlardaki veri sayıları çok yetersiz olduğu için analizleri yapılmamıştır.

Patlatmadan kaynaklanan gürültünün çevresel etkisi dikkate alındığında, önceden gürültü düzeyinin tahmini önem taşımaktadır. Ancak Çizelge 1 incelendiğinde tüm atımlar için gürültü değerleri 140 dB'in (rahatsızlığın başlangıcı) altında olduğundan regresyon analizine gerek görülmemiştir. En yüksek hava şoku değerini veren atım (132.4 dB) patar atımı şeklinde gerçekleştirilen 15. atımdır.

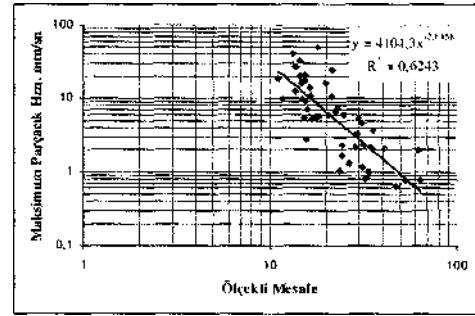
3. L Atımların analizi ve değerlendirilmesi

Sahada gerçekleştirilen parçacık hızı unsurları ve ölçekli mesafe veri çiftlerinden oluşan yersarsıntısı ölçüm sonuçlarının; şu ana kadar titreşim ölçümü alınan toplam 49 adet atıma göre 1. basamak, 5. basamak, istasyon 1, istasyon 2 ve istasyon 3 için ayrı ayrı regresyon analizi yapılarak kontrollü patlatma tasarımlarında gerekli olacak saha sabitleri (K ve β) Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2 incelendiğinde, 49 adet atım için parçacık hızının enine, boyuna, dikey ve maksimum bileşenlerinin kararlılık katsayısı (r) değerleri 0.7'den küçüktür. Bunun sebebinin, sahanın jeolojik yapısından, patlatma paterninden ve alımların değişik basamaklarda yapılmasından kaynaklandığı söylenebilir. Ocakta bugüne kadar gerçekleştirilen toplam 49 atıma göre maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe arasındaki ilişkiyi veren formül aşağıda verilmiştir.

$$PPV \text{ (mm/sn)} = 4104.3 \times SD^{0.21458} \quad r^2 = 0.62 \quad (3)$$

Ocağın geneli için maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe arasındaki ilişkinin logaritmik ölçekte grafik gösterimi ise, noktaların dağılımını da ifade edecek şekilde Şekil 2'te gösterilmiştir.



Şekil 2. Maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe arasındaki ilişki

1. basamakta yapılan 15 adet atım ve 5. basamakta gerçekleştirilen 17 adet atım için ayrı ayrı regresyon analizi yapılmış ve her basamakta yapılan atımların kendi içerisinde değerlendirilmesi sonucunda nispeten yüksek, fakat 0.7'den düşük kararlılık katsayısı değerleri elde edilmiştir (bkz. Çizelge 2). Bunun sebebi ise, atımların aynı basamakta gerçekleştirilmesine rağmen ölçümü alınan değişik

Çizelge 1. Yapılan atımların ölçüm sonuçları

Ölçüm Tarihi	Atım No	Delik Sayısı	Parçacık Hızı (mm/sn)				Maks. Frekans (Hz)	Maks. Hava Şoku (dB)	Maks. Yer Değiştirme (mm)	Maks. İvme (g)	Gec. Baş. Top. Pat. (kg)	Top. Pat. (kg)	Uzaklık (m)	Ölçekli Mesafe (SD) R/W ^{1/2}	Ölçüm Yeri (Yön)	Atım Basamağı
			Enine	Düsey	Boyuna	Maks.										
12.05.2003	1	5	7.49	4.44	14.1	14.1	16	110.2	0.140	0.159	51.4	257	118	16.46	İst 1	1
14.05.2003	2	5	6.60	7.87	9.78	9.78	11	115.7	0.137	0.079	54	270	110	14.97	İst 4	1
22.05.2003	3	5	12.4	5.71	12.3	12.4	18	125.1	0.137	0.199	52.6	263	99	13.65	İst 3	1
25.05.2003	4	13	4.79	2.02	5.46	5.46	39	115.0	0.042	0.066	690	690	405	15.42	İst6	5
15.07.2003	5	Patar	8.38	2.67	17.4	17.4	19	123.3	0.159	0.199	59	177	120	15.62	İst 1	2
15.07.2003	6	6	15.6	5.84	20.1	20.1	23	117.5	0.167	0.212	53	318	107	14.69	İst 1	1
16.07.2003	7	6	6.73	2.79	6.48	6.73	22	117.5	0.052	0.119	52	312	162	22.46	İst 7	1
16.07.2003	8	6	5.59	2.29	10.5	10.5	30	118.3	0.089	0.172	52	312	155	21.49	İst 7	1
18.07.2003	9	3	7.7	8.13	15.7	15.7	17	120.1	0.197	0.186	52	156	143	19.83	İst 4	1
18.07.2003	10	6	48.8	10.7	16.0	48.8	16	120.2	0.558	0.835	52	312	131	18.17	İst 5	1
20.07.2003	11	5	3.30	1.27	2.16	3.30	15	112.0	0.046	0.039	52	260	212	29.43	İst 8	1
20.07.2003	12	6	2.29	0.76	1.40	2.29	57	115.0	0.015	0.079	52	312	230	31.92	İst 9	1
24.07.2003	13	6	31.4	8.51	31.9	31.9	21	119.3	0.252	0.451	52	312	105	14.56	İst 1	1
24.07.2003	14	3	36.8	12.2	40.1	40.1	26	116.9	0.319	0.610	52	156	96	13.31	İst 1	1
28.07.2003	15	Patar	12.8	4.95	18.7	18.7	23	132.4	0.168	0.225	136.5	136.5	131	11.22	İst 1	2
28.07.2003	16	6	25.7	6.35	26.9	26.9	26	120.4	0.248	0.398	52	312	100	13.86	İst 1	1
26.09.2003	17	5	5.33	2.54	3.68	5.33	14	109.5	0.074	0.053	46.5	232.5	203	29.76	İst 10	1
27.09.2003	18	5	5.84	4.57	2.67	5.84	26	115.9	0.049	0.093	46.5	232.5	140	20.53	İst 2	1
02.10.2003	19	4	9.91	3.30	6.98	9.91	34	114.0	0.073	0.212	65	260	95	11.78	İst 3	2
03.10.2003	20	5	5.71	3.17	3.17	5.71	24	116.9	0.068	0.093	64	320	142	17.75	İst 11	Yk
03.10.2003	21	5	5.59	3.30	4.06	5.59	26	116.7	0.053	0.079	64	320	147	18.375	İst 11	Yk
09.10.2003	22	5	1.65	1.78	2.29	2.29	13	114.6	0.037	0.026	51.5	257.5	175	24.38	İst 2	2
09.10.2003	23	5	20.3	5.59	14.5	20.3	21	112.8	0.155	0.305	51.5	257.5	112	15.61	İst 1	2
09.10.2003	24	3	6.9	5.38	23.9	23.9	17	113.8	0.246	0.265	25.75	151	109	21.69	İst 1	2
11.10.2003	25	5	11.6	4.83	16.0	16.0	21	116.6	0.120	0.225	52.25	261.25	107	14.80	İst 1	2
14.10.2003	26	4	2.16	1.78	7.37	7.37	26	107.0	0.061	0.093	26.5	106	120	23.31	İst 1	2
15.10.2003	27	10	6.98	1.65	4.06	6.98	18	123.0	0.061	0.093	26.5	265	260	15.97	İst 1	5
17.10.2003	28	10	2.16	0.64	1.78	2.16	39	117.1	0.015	0.039	53	265	255	35.03	İst 1	5
18.10.2003	29	13	0.53	0.63	0.63	0.63	91	117.2	0.0003	0.026	26.5	344.5	245	47.59	İst 2	5
20.10.2003	30	5	2.41	2.16	3.56	3.56	22	118.7	0.064	0.106	26.5	132.5	185	35.94	İst 2	4
22.10.2003	31	6	3.19	4.44	3.17	4.44	43	114.6	0.020	0.265	36.5	219	190	31.45	İst 2	4
08.12.2003	32	4	5.97	1.52	5.33	5.97	34	112.6	0.0384	0.106	29	116	135	25.06	İst 1	3
17.12.2003	33	4	3.68	3.05	5.21	5.21	15	116.6	0.0443	0.252	27.25	109	88	16.86	İst 2	3
26.12.2003	34	5	7.24	8.00	9.27	9.27	25	117.9	0.0808	0.107	26.5	132.5	80	15.54	İst 2	3
30.12.2003	35	4	7.62	6.22	10.7	10.7	28	127	0.0918	0.203	26.5	106	85	16.51	İst 2	3
07.01.2004	36	11	0.78	0.65	0.73	0.78	60	103	0.0017	0.0133	56	308	241	32.20	İst 2	5
26.03.2004	37	10	2.56	2.02	2.67	2.67	15	125.4	0.0336	0.0398	270	270	260	15.82	İst 3	5

08.04.2004	38	12	0.83	0.75	0.98	0.98	95	111.2	0.0023	0.0265	52.80	317	249	34.26	Ist 3	5
12.04.2004	39	10	1.14	0.64	1.02	1.14	19	129.9	0.0098	0.0265	54.50	272.25	234	31.69	Ist 3	5
14.04.2004	40	8	0.58	0.78	0.81	0.81	73	116.1	0.0045	0.0265	52.50	210	241	33.26	Ist 3	5
20.04.2004	41	9	1.14	1.40	2.03	2.03	23	109.5	0.0211	0.0265	52.50	236.25	256	35.33	Ist 3	5
22.04.2004	42	12	1.01	1.03	1.64	1.64	57	119.3	0.0055	0.0265	52.50	262.5	176	24.29	Ist 1	5
26.04.2004	43	9	2.03	1.14	2.16	2.16	32	110.6	0.0158	0.0530	26.25	236.25	147	28.69	Ist 1	5
07.05.2004	44	7	0.51	0.76	0.76	0.76	34	112.3	0.0067	0.0265	27.25	190.75	280	53.64	Ist 2	5
10.05.2004	45	10	1.02	0.86	1.02	1.02	24	110.2	0.0115	0.0265	26.25	262.5	122	23.81	Ist 1	5
12.05.2004	46	10	1.14	1.02	1.27	1.27	20	117.4	0.0149	0.0265	26.25	262.5	137	26.73	Ist 1	5
27.07.2004	47	6	1.97	1.03	1.32	1.97	43	108.4	0.0249	0.079	23.00	138	300	62.55	Ist 1	4
02.08.2004	48	6	1.63	1.18	2.05	2.05	98	118.3	0.00174	0.026	23.00	138	198	41.28	Ist 2	5
16.08.2004	49	6	0.762	0.381	0.381	0.76	27	104.9	0.0107	0.026	11.67	70	219	64.11	Ist 1	5

Çizelge 2. Regresyon analizi yapılan tüm atımlar için parçacık hızı ve ölçekli mesafe arasındaki ilişkiler.

	Saha Sabitleri	Parçacık Hızları			
		Enine (PTV)	Düşey (PVV)	Boyuna (PLV)	Maksimum (PPV)
		SD _i	SD _i	SD _i	SD _i
Yapılan Tüm Atımların İstatistiksel Analizi	K	2878.9	364.27	4407	4104.3
	β	-2.1065	-1.6182	-2.216	-2.1458
	r^2	0.63	0.61	0.66	0.62
Basamak 1'de Yapılan Atımların İstatistiksel Analizi	K	8494.2	3098.5	54876	15011
	β	-2.299	-2.2324	-2.9451	-2.4301
	r^2	0.58	0.71	0.76	0.66
Basamak 5'de Yapılan Atımların İstatistiksel Analizi	K	140.62	19.48	137.26	117.98
	β	-1.374	-0.888	-1.3477	-1.276
	r^2	0.58	0.64	0.63	0.56
Ölçümü İstasyon 1'de (Cami) Gerçekleştirilen Atımların İstatistiksel Analizi	K	1848.7	329.9	7280.2	3620.4
	β	-1.8216	-1.568	-2.2226	-1.9427
	r^2	0.76	0.72	0.81	0.83
Ölçümü İstasyon 2'de (Tarihi Eser) Gerçekleştirilen Atımların İstatistiksel Analizi	K	1402.3	663.9	1092.3	1719
	β	-1.9412	-1.7211	-1.8222	-1.9263
	r^2	0.75	0.68	0.69	0.72
Ölçümü İstasyon 3'te (Okul) Gerçekleştirilen Atımların İstatistiksel Analizi	K	2997.8	164.97	840.02	1386.3
	β	-2.3176	-1.4953	-1.8813	-2.02
	r^2	0.88	0.78	0.78	0.81

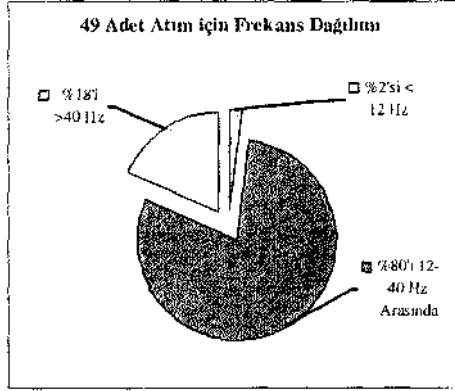
$$\text{Parçacık Hızı} = K \times \text{SD}^{\beta} \quad (r^2: \text{Kararlılık katsayısı})$$

yönlere istasyonlara dalgaların farklı jeolojik ortamlardan geçerek ulaştığı düşünülebilir.

Ayrıca ölçümü İstasyon 1'de almanl0 adet atım, ölçümü İstasyon 2'de alman 11 adet atım ve ölçümü İstasyon 3'te yapılan 7 adet atım için ayrı ayrı regresyon analizi yapılmış ve kararlılık katsayıları oldukça yüksek çıkmıştır (Çizelge 2). Atımların farklı basamaklarda gerçekleştirilmesi ve farklı uzaklık ve patlayıcı miktarlarına sahip olmalarına rağmen kararlılık katsayılarının yüksek çıkmasının; açığa çıkan titreşimlerin yayılımı esnasında benzer jeolojik formasyondan geçerek ölçüm noktasına ulaşmasından kaynaklandığı söylenebilir.

3.2. Sahada gerçekleştirilen 49 adet atımın titreşim frekanslarının değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında sahada yapılan 49 adet patlatma ölçümünde kaydedilen maksimum parçacık hızlarına karşılık gelen frekans değerlerinin dağılımı da incelenmiştir. Bu dağılıma bakıldığında, sahada yapılan atımlar sonucu oluşan titreşimlerin frekans değerlerinin %2'sinin <12 Hz, %80'inin 12-40 Hz arasında ve %18'inin 40 Hz den yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 3). Bu dağılımdan da anlaşılacağı üzere titreşimler, nispeten yüksek frekanslı sonuçlanmıştır. Belli bir hız için yüksek frekanslı bir titreşimin, düşük frekanslı bir titreşime göre çok daha az hasar riski taşıyacağı bilinmektedir. Atımlarda ölçülen frekansların nispeten yüksek olması ve genel olarak konutların öz yapısal frekanslarının 5-10 Hz arasında değiştiği göz önüne alındığında, hasar riskinin en az düzeyde olacağı anlaşılmaktadır.



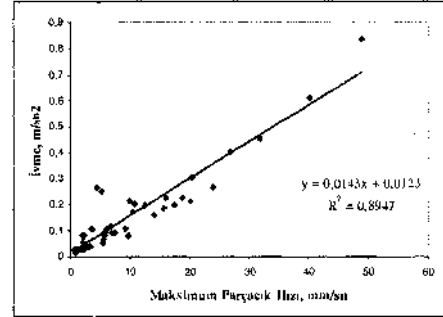
Şekil 3. İzlenen atımlarda oluşan maksimum PPV'ye karşılık gelen frekansların dağılımı.

Ayrıca patlatma işleminin binalarda rezonans oluşturmaması için patlatma süresinin (başlangıç ile en son patlayan delik arasındaki süre) 1000 ms'nin üstünde olması da binaların rezonansa girmelerine neden olmaktadır. Ocakta yapılan atımlarda başlangıç ile en son patlayan delik arasındaki maksimum süre 780 ms'dir. Dolayısıyla bu sürenin 1000 ms'nin altında olması da binaların rezonansa girmesine engel olmaktadır.

3.3. Frekans-Yer Değiştirme, PPV-Yer Değiştirme, PPV-İvme ilişkisi

Yapılan 49 adet ölçüm sonucuna göre sırası ile "PPV-İvme", "PPV-Yer Değiştirme" ve "Frekans-Yer Değiştirme" ilişkileri incelenmiş ve sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Maksimum parçacık hızı ile ivme arasındaki kararlılık katsayısı (r^2) 0.89 olarak elde edilmiştir (Şekil 4). Grafikten de anlaşılacağı gibi ivmenin artması ile parçacık hızının da arttığı görülmektedir. Gerçekte bunun doğruluk payı yüksek olup yapılan ölçümler sonucunda da aralarında yüksek bir ilişkinin olduğu teyit edilmiştir. Yalnız ivmenin yüksek olması patlatma ile çalışılan işletmelerde istenmeyen bir durumdur. Aksi halde maksimum parçacık hızlarının yüksek çıkmasına ve hasarların oluşmasına yol açabilir.

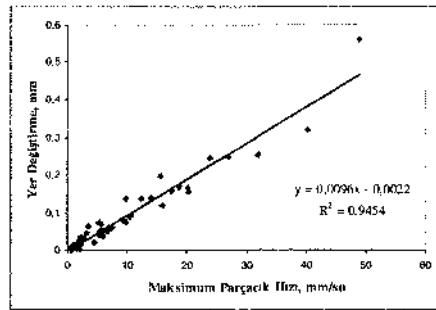


Şekil 4. İvmenin parçacık hızına etkisi

Maksimum parçacık hızı ile yer değiştirme arasındaki ilişki incelendiğinde, kararlılık katsayısı değeri (r^2) 0.95 elde edilmiştir ve aralarında çok kuvvetli bir ilişkinin olduğu anlaşılmıştır (Şekil 5). Grafikten parçacık hızının artması ile yer değiştirmenin de arttığı görülmektedir. Dolayısıyla parçacık hızındaki artış, yapılarda oluşabilecek hasar riski potansiyelini artırmaktadır.

Atımın yapıldığı bölgedeki ev, mesken gibi yapıların durumu (formasyon üzerinde atılan temel) göz önüne alındığında yer değiştirme değerinin belirli değeri aşmaması gerekir. Bu aşmaması gereken yer değiştirme sınır değerleri her bir yapı için Çizelge 3'te özetlenmiştir.

Atım yapılan bölgenin yerleşim yapılan incelendiğinde; genellikle yığma bina üzerinde kurulu yapıların çokluğu, bir adet de çok eski tarihi yapıları bir evin olduğu göz önüne alındığında yer değiştirme değerinin 0.1 mm'yi aşmaması gerektiği sonucuna varılmıştır. Çizelge 3 incelendiğinde bu çalışma kapsamında ölçümü alınan 1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 23, 24 ve 25 nolu atımların yer değiştirme değerlerinin 0,1 mm'den yüksek, diğer atımların yer değiştirme değerlerinin ise 0,1 mm'den küçük olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, sadece yukarıda sıralanan atımların çevredeki yapılarda hasar riski olasılığı oluşturduğu görülmektedir.

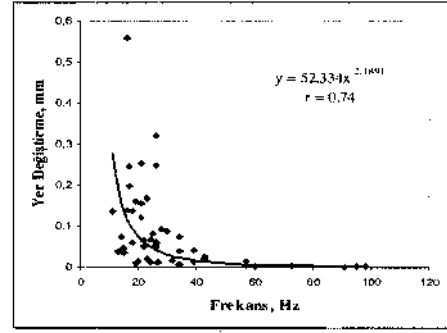


Şekil 5. Parçacık hızının yer değiştirmeye etkisi

Çizelge 3. Yapılaşma durumuna göre yer değiştirme limit değerleri

Yapı Tipi	Yer Değiştirme Limiti (mm)
Manevi ve yüksek değerde yapılar. Maden kuyuları, Zayıf şartlardaki evler, Tarihi yapılar (eserler)	0.10
Birbirine çok yakın olan evler	0.20
Tek başına ev	0.40
Çelik konstrüksiyonlu yapılar	0.76 "1"

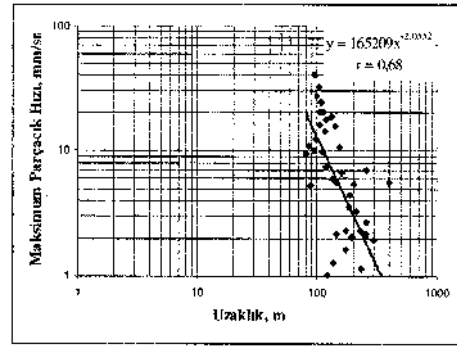
Şekil 6'da ise frekansın yer değiştirme ile ilişkisi incelendiğinde, korelasyon katsayısı değerinin (r) 0.74 çıktığı görülmektedir. Buradan frekans arttıkça yer değiştirmenin azalacağı görülmekte ve frekansın arttığı durumda yapılarda hasar riski olasılığının da azalacağı sonucuna varılmaktadır.



Şekil 6. Frekansın yer değiştirmeye etkisi

3.4. PPV- Uzaklık arasındaki ilişkisi

Çoğu jeolojik ortamda patlatma noktasından belirli bir uzaklıkta ölçülen parçacık hızı değeri, mesafe iki katına çıktığında değerinin 1/3'üne düşmektedir. Örneğin patlatma noktasından 30 metre uzaklıkta ölçülen parçacık hızı değerinin 81 mm/sn olduğunu düşünersek, bu değerin 120 metre uzaklıkta 9 mm/sn olması beklenmektedir. Şekil 7'ye bakıldığında maksimum parçacık hızı ile uzaklık arasındaki korelasyon katsayısının 0.68 çıktığı ve aralarında nispeten yüksek sayılabilecek bir ilişkinin olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Maksimum parçacık hızı ile mesafe arasındaki ilişki

Şekilden maksimum parçacık hızının, uzaklığın azalmasıyla birlikte artmakta olduğu ve patlatma yerine yakın mesafede bulunan yerleşim birimlerinde hasar oluşumu riskine karşı patlatma tasarım parametrelerinin çevrede rahatsızlık

oluşturmayacak biçimde dizayn edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

istasyonlarda yapılan atımlardan rastgele seçilmiş olan atımlar için, istasyonlarda elde edilen eşitlikler ile tüm ocak için elde edilen genel eşitlik kullanılarak hesaplanan ve cihazın ölçtüğü PPV değerleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir (Çizelge 4, 5, 6).

3.5. Atım sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapılan bu istatistiksel değerlendirmeler sonucunda, aşağıdaki çizelgelere numaraları verilen değişik

Çizelge 4. İstasyon no. 1 ve ocak geneli için elde edilen eşitlikler kullanılarak hesaplanan değerlerin ölçülen değerler ile karşılaştırılması.

Rastgele Seçilen Atım No	Ölçüm İstasyonu	Cihazla Ölçülen Maks. PPV	Ocağın Genel eşitliğine göre PPV	İst.1'de geliştirilen eşitliğe göre PPV
1	İst. 1	14,1	10,07	15,69
5	İst. 1	17,4	11,26	17,36
6	İst. 1	20,1	12,84	19,55
13	İst. 1	31,9	13,10	19,91
14	İst. 1	40,1	15,88	23,69
16	İst. 1	26,9	14,55	21,89
23	İst. 1	20,3	11,29	17,40
25	İst. 1	16	12,65	19,28
26	İst. 1	7,37	4,77	7,98
32	İst. 1	5,97	4,08	6,93
47	İst. 1	1,97	0,57	1,17
49	İst. 1	0,762	0,54	1,12
Elde Edilen Eşitlik			PPV=4104,3*SD ^{0,055}	PPV=362Ü,4*SD ^{0,42}
Kararlılık Katsayısı, (?)			0,62	0,83
Ortalama Hata			41,405	21,476

Çizelge 5. İstasyon no. 2 ve ocak geneli için elde edilen eşitlikler kullanılarak hesaplanan değerlerin ölçülen değerler ile karşılaştırılması.

Rastgele Seçilen Atım No	Ölçüm İstasyonu	Cihazla Ölçülen Maks. PPV	Ocağın Genel eşitliğine göre PPV	İst.2'de geliştirilen eşitliğe göre PPV
18	İst. 2	5,84	6,27	5,10
33	İst. 2	5,21	9,57	7,45
34	İst. 2	9,27	11,39	8,71
35	İst. 2	10,7	10,00	7,75
44	İst. 2	0,762	0,80	0,80
48	İst. 2	2,05	1,40	1,33
Elde Edilen Eşitlik			PPV=4104,3*SD ^{2,1458}	PPV=1719*SD ^{1,9263}
Kararlılık Katsayısı, (r)			0,62	0,72
Ortalama Hata			26,192	21,584

Çizelge 6. İstasyon no. 3 ve ocak geneli için elde edilen titreşimler kullanılarak hesaplanan değerlerin ölçülen değerler ile karşılaştırılması.

Rastgele Seçilen Atım No	Ölçüm İstasyonu	Cihazla Ölçülen Maks. PPV	Ocağın Genel eşitliğine göre PPV	İst.3'te geliştirilen eşitliğe göre PPV
3	İst. 3	12,4	15,05	- 7,06
19	İst. 3	9,91	20,63	9,50
38	İst. 3	0,98	2,09	1,10
39	İst. 3	1,14	2,47	1,29
Elde Edilen Eşitlik			PPV=4104,3*SD ^{1/55}	PPV=1386,3*SD ^{2/22}
Kararlılık Katsayısı, (r ²)			0,62	0,81
Ortalama Hata (%)			89,766	18,09

Yukarıdaki çizelgelerden görüldüğü gibi tüm atımlar için ölçülmüş değerler ile formülle tahmin edilmiş değerler arasındaki hata payında büyük farklılıklar görülebilmektedir. Dolayısıyla, tüm atımlar için geliştirilen genel eşitlik kullanılarak benzer atımlardaki muhtemel titreşim değerleri, ölçme ekipmanına gerek olmadan belirli güvenilirlikte belirli bir zaman için tahmin edildiğinde gerçekleşen değer ile çok farklı sonuçlar verebilecektir. İstasyonlar bazında incelendiği zaman ise ortalama hata değerinin oldukça düşük ve daha güvenilir sonuçlar vereceği görülmektedir. Çizelge 4,5 ve 6'dan da görüldüğü üzere istasyonlar için elde edilen kararlılık katsayısı değerleri ocak genelindeki kararlılık katsayısından yüksektir ve böylece ocak geneli için hesaplanan PPV değerlerine göre, cihazla ölçülen değerlerden daha düşük sapma göstermiştir. Bu yüzden, yeterli veri ile (en az 30 adet) ocakta çalışılan basamakların yönlerine göre yapılacak değerlendirme sonucunda daha sağlıklı sonuçlar elde edileceği ve oluşturulacak eşitliğin kullanılması halinde daha güvenilir olacağı görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Kalker ocağında yapılan üretim çalışmaları esnasında yapılan gözlemler, incelemeler ve titreşim ölçer cihazı ile bu çalışma kapsamında elde edilen 49 adet titreşim ve hava şoku kayıtlarından ortaya çıkan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- » Titreşim ölçümü kaydedilen atımların ilk 25'ine herhangi bir müdahalede bulunulmamış, 26-31 arasındaki 6 atımda değişik tasarımlar uygulanmış ve elde edilen değerlere göre geri kalan 18 atım, geliştirilen optimum patlatma tasarımına göre gerçekleştirilmiştir.

Hava şokları kayıtları en yüksek 132.4 dB, en düşük 104.9 dB değerlerinde olmuştur. Bu değerler standartlardaki gürültüden rahatsız olma seviyesi olan 140 dB değerinden düşüktür. Dolayısıyla çevresel rahatsızlık yaratmayacağı anlaşılmıştır.

Sahada yapılan 49 patlatma ölçümünde kaydedilen en yüksek parçacık hızlarına karşılık gelen frekans değerlerinin dağılımı da incelenmiştir. Bu dağılıma bakıldığında, sahada yapılan atımlar sonucu oluşan titreşimlerin frekans değerlerinin %2'si <12 Hz, %80'i 12-40 Hz, %18'i ise >40 Hz olarak gerçekleşmiştir. Atımlarda ölçülen frekansların yüksek olması ve genel olarak konutların öz yapısal frekanslarının 5-10 Hz arasında değiştiği göz önüne alındığında, hasar riskinin en az düzeyde olacağı görülmektedir.

Cihaz ile kayıt edilen titreşim ölçümlerinin istatistiksel analizi sonucu ocağa ait maksimum parçacık hızının tahminine yönelik PPV = 4104.4 SD^{1/55} eşitliği, 0.62 kararlılık katsayısı ile geliştirilmiştir. Yerinde ölçülmüş değerler ile formülle tahmin edilmiş değerler arasındaki hata payı ortalama %52.45'tir. Dolayısıyla toplam 49 atım için geliştirilen bu fonksiyon eşitliği kullanılarak, benzer atımlardaki muhtemel titreşim değerleri, ölçme ekipmanına gerek olmadan belirli güvenilirlikte belirli bir zaman için tahmin etmek şu an için güvenli değildir. Ancak, bunun yerine istasyonlar bazında yapılan (yönlere göre) değerlendirmelerde ise hem kararlılık katsayılarının yüksek çıkması hem de buna bağlı olarak hata paylarının düşük çıkması, yönlere göre oluşturulan eşitliklerin kullanılmasının daha sağlıklı sonuçlar vereceğini göstermektedir. Ancak yönlere göre oluşturulan eşitliklerin güvenliğinin artırılması için veri sayılarının da yeterli olması (en az 30 adet) gerekmektedir. Bu yüzden ocakta yapılan

- alımlara eşlik edilerek ölçümlerinin alınmasının daha faydalı olacağı, istasyonlara göre oluşturulan eşitliklerin güvenilirliğinin artırılmasına katkı sağlayacağı ve böylelikle çevre yapı ve tesislere zarar vermeyecek daha kontrollü atımların planlanabileceği ve sürdürülebileceği düşünülmektedir.
- » Maksimum parçacık hızının artmasıyla birlikte ivme ve yer değiştirme değerleri de paralel olarak artış göstermiştir. İlk 25 atımdan itibaren yapılan çalışmalarla aşılması gereken değer olan (0.1 mm) altında yer değiştirme değerleri istikrarlı bir şekilde elde edilmiştir. Ayrıca gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarının azaltılmasıyla birlikte daha düşük titreşim seviyeleri elde edilmiş ve titreşim değerlerinin uzaklığın artmasıyla düştüğü gözlemlenmiştir.
 - Sonuç olarak, kontrollü patlatma ilkelerinin uygulanmakta olduğu bu kalker ocağının üretimi sırasında patlatmalardan kaynaklanan titreşim ve hava şoku değerlerinin uluslararası standartlara göre uygun seviyelere getirildiği ve çevredeki yerleşim bölgelerinde hasar oluşturmayacağı gözükmektedir.
 - Sistematik bir şekilde yürütülmesi gereken bu tür patlatma yöntemlerinin kontrol amaçlı ölçümlerle desteklenerek çevresel açıdan problemleri (yapılarda çatlaklar, cam kırılması, vb.) önlemek üzere devam ettirilmesinde yarar vardır.

5. KAYNAKLAR

- Aldaş, G.G.U. and Bilgin, H.A., 2004. Effect of some rock mass properties on blasting-induced ground vibration wave Characteristics. *CM Bulletin*, »7 (.1079), 52-59.
- Bilgin, H. A., Esen, S., Kılıç, M., ve Aidas, G. G. U., 2000. Yeniköy linyit işletmesinde patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının incelenmesi, 4. *Deline ve Patlatma Sempozyumu*, Ankara, 147-159.
- Ceylanoğlu, A., Arpa/, E., 2001. Bekli bir kaya kütesinde oluşturulan yer sarsıntılarının ölçümü ve değerlendirilmesi, *Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi-TUMAKS21M*, yy-45.
- Costa, E. S., Ayderes, S., 1996. Practical way to reduce environmental rock blasting problems. *Proceedings of the Ein iomni nai Issues and Waste Management in Energy and Mmetal Pioduction*. Cagliaii. 291-297
- Erçikdi, B., 2004a. Araklı-Taşönü kalker ocağında yapılan atımların çevresel etkilerinin değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Trabzon, 130 sayfa
- Erçikdi, B., Kesimal, A., Yılmaz, E., 2004b. Saitiyi evaluation of a historic place and school close to limestone quarry blasts, *11th National Conference SUEM 21/04, Modern*

Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, Bulgaria, 181-192.

- Erçikdi, B., Kesimal, A., Yılmaz, E., 2004c. Araklı-Taşönü kalker ocağında patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının değerlendirilmesi, *KAYAMEK'2004-VII Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Sivas, 337-347.
- Erçikdi, B., Kesimal, A., Yılmaz, E., Cihangir, F., 2005. Patlatma kaynaklı yer sarsıntısı ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi, *Fen Bilimleri Dergisi*, Dumlupınar Üniversitesi, (Basım aşamasında).
- Ergüvanlı, K., 1975. Trabzon Çimento Fabrikası Araklı-Taşönü Koyu Hammaddede Raporu, 30 sayfa
- Esen, S ve Bilgin, U.A., 2001. Evaluation of blast vibrations from Sekköy surface coal mine in Turkey, *Proceedings of 27th Annual Conference on Explosives and Blasting Techniques, ISEE*, Orlando, Florida, USA, 313-327.
- Kahrman, A., Kesimal, A. and Tuneer, G., 1998a. Prediction and measurements of environmental problems induced by bench blasting in a quarry, 5* *National Open Pit Mining Conference*, Bulgaria, 290-297.
- Kahrman, A., Kesimal, A., Tuncet, G. 1998b. Prediction and measurements of environmental problems produced from blasting. *Second Symposium on Mine Environmental Engineering*, England, 231-239.
- Kahrman, A., 2004. Analysis of parameters of ground vibration produced from bench blasting at a limestone quarry, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 887-892.
- Kahrman, A., and Ceylanoğlu, A., 1996. Blast design and optimization studies for a celestite open-pit mine in Turkey, *Mineral Resource Engineering*, 5 (2), 93-100.
- Kesimal, A., ve Kaya, R., 2002. A review of environmental effects produced by quarries for running black sea coastal highway construction project, *ISWA 2002 World Environment Congress 2k Exhibition*, Istanbul, 2217-2224.
- Kesimal, A., ve Erçikdi, B., 2003. Samsun ili, Bafra İlçesi, Altunkaya baraj yolunun 28+500 km.sinin sağ tarafındaki litrekaya mevki laşocağının üretiminde patlatmadan kaynaklanan titreşim ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi, *Kalaycıoğlu İnş. Maden Taahhüt Tic. Ltd. Şti. KTÜ. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Döner Sermaye Projesi*, Trabzon, 40 sayfa.
- Kesimal, A., Erçikdi, B., Kaya, R., Yılmaz, E., 2003. Trabzon ili. Araklı ilçesi, Taşönü koyu hudutlarında bulunan kalker ocağının üretiminde patlatmadan kaynaklanan titreşim ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi, *Trabzon Çimento Sanayi A.Ş. KTÜ. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Döner Sermaye Projesi*, Trabzon, 55 sayfa.
- Kesimal, A., Cihangir, F., Erçikdi, B., Yılmaz, E., 2004. Trabzon ili, Araklı ilçesi, Taşönü köyü hudutlarında bulunan kalker ocağının üretiminde patlatmadan kaynaklanan titreşim ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi. Ara Rapor 1, *Trabzon Çimento Sanayi A.Ş., İCTÜ. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Döner Sermaye Projesi*, Trabzon, 20 sayfa.
- Siskind, D. E., Stagg, M.S., Kopp, J.W., Downing, C.H., 1980. Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting. RI 8507, Bureau of Mines, 74.