

Yıl:7 | Sayı:13 | Ocak 2018

ISSN: 2146-9431

Year:7 | Number:13 | January 2018

## İçindekiler

Hakan Ak, Mehmet Aksoy

**Akyazı Tüneli Patlatmalı Kazı Çalışmalarında Oluşan Titreşimlerin Çevresel Etkilerinin Araştırılması.....1**

Serdar Yaşar, Ali Osman Yılmaz

**Negatif Açılı Bir Kama Tipi Keskidenden Elde Edilen Deneysel Sonuçların Teorik Sonuçlarla Kıyaslanması.....13**

Gökhan ALTIN, Serkan INAL, İbrahim ALP & Mehmet Emin LEKİLİ

**Recovery of Chromite from Processing Plant Tailing by Vertical Ring and Pulsating High-Gradient Magnetic Separation.....23**

Fatma Sinem Özkan

**Ünlüpınar (Kelkit-Gümüşhane) Yöresindeki Kireçtaşlarının Doğal Yapı Taşı olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması.....37**



Makale Gönderim Tarihi: 05.10.2017

Yayına Kabul Tarihi: 27.10.2017

## Akyazı Tüneli Patlatmalı Kazı Çalışmalarında Oluşan Titreşimlerin Çevresel Etkilerinin Araştırılması

*Akyazı Tüneli Patlatmalı Kazı Çalışmalarında Oluşan Titreşimlerin Çevresel Etkilerinin Araştırılması*Hakan Ak<sup>1\*</sup>, Mehmet Aksoy<sup>1</sup><sup>1</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, Eskişehir\*Sorumlu Yazar: [hak@ogu.edu.tr](mailto:hak@ogu.edu.tr)

### Özet

Madencilik ve inşaat sektöründe yapılan patlatmalı kazılar, titreşim ve hava şoku gibi çevresel sorunlara neden olabilmektedir. Patlatma kaynaklı çevresel sorunları azaltmak için yerleşim bölgelerinde yapılacak patlatmaların dikkatlice tasarlanması ve atımların kontrollü olarak yapılması zorunludur. Patlatmaların tasarlanması ve kontrolü için sahaya özgün titreşim yayılım denkleminin belirlenmesi ve hasar risk analizinin yapılması, patlatmanın çevresel etkilerini azaltmada oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında, Trabzon ili Akyazı ilçesindeki Akyazı karayolu tüneline yapılan patlatmalı kazı çalışmaları titreşim ve hava şoku ölçer cihazlarla izlenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Yapılan patlatmaların çevredeki yapılar için hasar riski yaratıp yaratmayacağı değerlendirilmiştir. Kaydedilen olaylardan elde edilen ölçekli mesafe (SD) ve en büyük parçacık hızı (PPV) veri çiftleri istatistiksel analize tabi tutularak bu sahaya özgün titreşim yayılım denkleminin sabitleri belirlenmiştir. Elde edilen bu denklem kullanılarak farklı mesafelerde farklı gecikme başına düşen şarj miktarları için en büyük parçacık hız (PPV) tahminleri yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Hava şoku, patlatma, yer sarsıntısı, titreşim yayılım denklemi, tünel

### Abstract

Excavation by blasting in mining and civil works can cause environmental problems such as vibration and air shock. In order to reduce these environmental problems, blasting should be carefully designed and performed under control. The determination of the attenuation characteristics of the site and the analysis of damage risks are important to reduce the environmental impacts of blasting. In this study, shots fired at the construction of Akyazı Highway Tunnel at Trabzon city were monitored and recorded by using vibration monitors. Firstly, these events were evaluated in terms of damage risks. The site constants of attenuation formulae were found by applying statistical analysis to SD-PPV data pairs. Peak particle velocities are predicted for different explosive amounts per delay with different distances.

**Keywords:** Air shock, blasting, vibration, ground attenuation formulae, tunnel

## 1. Giriş

Delme ve patlatma, madencilik ve inşaat sektöründe en yaygın olarak kullanılan kazı tekniğidir. Patlatmanın kaçınılmaz olduğu bu ve benzeri sektörlerde, yer sarsıntısı ve hava şokundan kaynaklanan çevre problemleri ile sıkça karşılaşmakta, bölge halkı ve inşaat firması arasında çeşitli anlaşmazlık ve sorunlara neden olmaktadır (Ak ve ark., 2013). Bu nedenle söz konusu bu sorunların önlenmesi ya da yönetmeliklerde belirtilen sınır değerlerin altında tutulması giderek önem kazanmaktadır.

Patlatma ile çevreye verilen olumsuzlukların en önemlisi yer sarsıntısıdır (titreşim). Patlatma kaynaklı şok dalgaları kayaç içinde sismik dalgalar şeklinde ve her yöne doğru yayılır. Bu sismik dalgalar, kayaçların derinliklerine ulaşabilen P ve S dalgası şeklinde sınıflandırılır ve gövde dalgaları olarak adlandırılır. Kayaç yapısında bulunan tabakalar, süreksizlikler yansıma ve kırılma odakları oluşturarak yüzey dalgaları olarak isimlendirilen sismik dalgaların oluşmasına neden olur. Jeolojik yapıya bağlı olarak oluşan yüzey dalgaları çok çeşitli olmasına rağmen temel olarak iki yüzey dalgası (Rayleigh ve Love dalgaları) tanımlanmaktadır (Erkoç, 1998). Bu sismik dalgalar yüzeyde titreşim olarak hissedilir ve çeşitli çevresel sorunlara yol açar.

Patlatma kaynaklı çevresel sorunlar, patlatmalı kazı yapılan bölge ve yakınlarında bulunan yapı ve tüm canlıları doğrudan etkilemekte, can ve mal güvenliklerini tehdit ettiği gibi, çeşitli psikolojik sorunların doğmasına da yol açabilmektedir. Bu yüzden patlatmadan kaynaklanan çevresel etkilerin belirlenmesine yönelik yer sarsıntısı ve hava şoku ölçümleri büyük önem taşımaktadır. Patlatmalı kazılarda patlatma tasarımları bu çevresel sorunları en aza indirecek şekilde planlanmalı ve planlanan patlatma tasarımları kontrollü olarak gerçekleştirilmelidir. Bu tür tasarımlar ancak sistematik deneysel çalışmalarla mümkün olabilmektedir (Karadoğan ve ark., 2010; Arpaz, 2000; Dowding, 1985; Johnston ve Durucan, 1994; Kahrıman, 1995; Kahrıman ve ark., 2006; Karadoğan, 2008; Kahrıman ve Ceylanoğlu, 2001). Bu tür tasarımları gerçekleştirmek için literatürde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

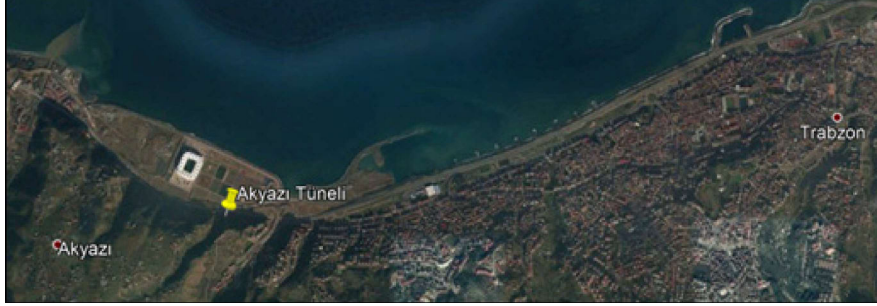
Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının değerlendirilmesi ile ilgili literatürde yapılan çalışmaların büyük bölümü, atımda kullanılan gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarı ve atım noktasına olan mesafe gibi iki önemli parametre üzerinde durmakta ve patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarını bu iki parametreye dayanan eşitliklerle modellenmektedir. Önerilen ölçüme dayalı modellerde patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının oluşum ve gelişiminde etkili olan veya olabilecek diğer faktörler saha sabitlerin aracılığıyla modele katılmaktadır (Arpaz ve ark., 2013).

Ölçüm temeline dayanan yöntem; sahada yapılan patlatmalı kazı çalışmalarının titreşim ve hava şoku ölçer cihazlarla izlenmesi, yeterli sayıda olay kaydının alınması, kaydedilen bu olayların istatistiksel analize tabi tutularak sahaya özgün titreşim yayılım denklemindeki saha sabitlerinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Sahaya özgün yayılım denkleminin belirlenmesinde literatürde farklı genel tahmin denklemleri (USBM, Ambraseys-Hendron, Langefors-Kihlstrom ve Birch-Schaffer v.b.) önerilmiştir (Khandelwal ve Singh, 2007; Ceylanoğlu ve Arpaz, 2001).

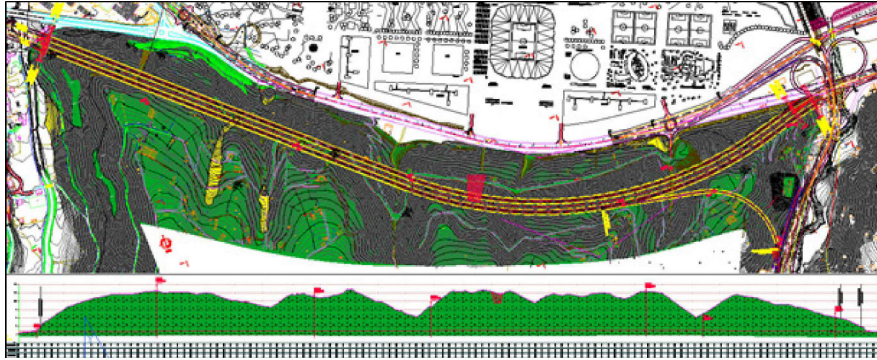
Bu çalışma kapsamında; Trabzon şehir geçişi Kanuni Bulvarı ile Akyazı ve sahil bağlantı yolları yapımı işi bünyesinde açılan Akyazı Tüneli çalışmaları dâhilinde yapılan patlatmalardan kaynaklanan titreşim ve hava şoku ölçümleri yapılmış ve sahaya özgün titreşim yayılım denkleminin saha sabitleri belirlenmiştir.

## 2. Çalışma Sahası

Bu çalışma Trabzon il sınırları içerisinde bulunan Akyazı tüneli kazısı esnasında gerçekleştirilmiş olup haritadaki yeri Google Earth görüntüsü olarak Şekil 1’de verilmiştir. Akyazı tünelinin yaklaşık 2476 m uzunluğunda, 3 şeritli ve çift tüplü olarak NATM yöntemiyle açılması planlanmıştır. Ayrıca proje sahasında Akyazı tünelinin yaklaşık km:2+540’sinde ayrılıp anayola bağlanan 2 şeritli, yaklaşık 616 m uzunluğunda bağlantı tüneli yer almaktadır. Akyazı tünelinin plan ve kesit görünümü Şekil 2’de verilmiştir.



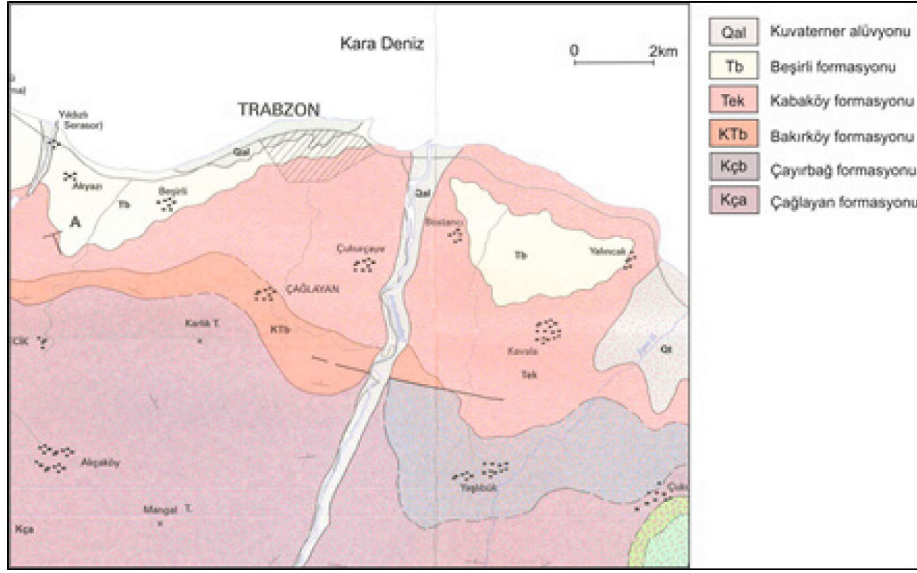
Şekil 1. Çalışma sahası yer bulduru haritası



Şekil 2. Akyazı tüneli plan ve kesit görünümü

## 3. Çalışma Sahasının Jeolojisi

Trabzon İli, Doğu Pontid Tektonik Ünitesinin kuzeydoğusunda yer alır. Bu tektonik ünite; batıda Kızılırmak vadisinden, doğuda Gürcistan sınırına kadar yaklaşık 500 km uzunluğunda ve kuzeyde Karadeniz kıyısından, güneyde Kuzey Anadolu Fayına kadar yaklaşık 50-75 km genişliğinde metallojenik bir kuşak oluşturur. Geniş anlamda ise; Alpin dağ oluşuma bağlı olarak Jura-Pliyosen zaman aralığında gelişmiş adayayı dizisinin bir parçasıdır. Trabzon ili ve çevresinin genelleştirilmiş jeoloji haritası Şekil 3, stratigrafik kesit ise Şekil 4’de verilmiştir (Fugro Sial, 2013).



Şekil 3. Trabzon ili ve civarının genelleştirilmiş jeoloji haritası (Fugro Sial, 2013).

Yaş	Formasyon	Kaya Türü	Açıklamalar
<b>Kuvaterner</b>	Alüvyon	Qal	Çakıl, kum, kilden oluşan dere çökeli, taraça ve yamaç molozu
<b>Pliyosen</b>	Beşirli formasyonu	Tb	Kumtaşı, çamurtaşı, konglomera, bazalt ve aglomera
<b>Eosen</b>	Kabaköy formasyonu	Tek	Andezit, bazalt ve piroklastikleri, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve tuf
<b>Paleosen</b>	Bakırköy formasyonu	KTb	Uyumsuzluk Kumtaşı, marn, şeyl, killi kireçtaşı, tuf
<b>Üst Kretase</b> <b>Kampaniyen</b> <b>Maastrichtiyen</b>	Çayırbağ formasyonu	Kçb	Riyolit, riyodasit ve piroklastikleri
	Çağlayan formasyonu	Kça	Bazalt, andezit ve piroklastikleri

Şekil 4. Trabzon ili ve çevresine ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Fugro Sial, 2013).

Akyazı tünel inşaatı güzergâhı boyunca, ana kaya birimi Beşirli formasyonudur. Bu formasyon, Kabaköy Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelen kaba taneli çakıltaşı ve kumtaşları formasyonudur ve Güven (1983) tarafından Beşirli Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Fugro Sial, 2013).

Trabzon'un batısında Beşirli köyü dolaylarında tip kesit veren formasyon Akyazı, Sera dere, kalenima Dere ağızlarında ve Yorma batısında izlenir. Formasyonun kalınlığı 50-75 m arasında değişmektedir. Formasyon genellikle gevşek çimentolu, iri taneli konglomera, daha az kumtaşı



ve kiltası seviyelerinden oluşmaktadır. Bu malzemeler tümüyle Kabaköy formasyonundan türemiştir. Yer yer iri taneli andezit veya bazalt çakıl ve bloklardan oluşan konglomeralar, aglomerayı andırır. Bazen iyi derecelenme ve çapraz tabakalanma yapıları gözlenirse de, yine de etkin aşınma ve kısa mesafeli taşınma sonucu hızlı çökelmiş bir yığılım malzemesi görünümü egemendir. Yaşını saptayacak herhangi bir veri bulunamayan formasyonun, Eosen yaşlı Kabaköy formasyonu üzerinde uyumsuz olarak bulunuşu ve kumlu-killi seviyelerde taşınmış Miyosen yaşlı fosil parçaları içermesi göz önünde tutularak Pliyosen yaşlı olduğu kabul edilmiştir (Fugro Sial, 2013).

#### **4. Çalışmada Uygulanan Yöntem**

Sahadaki patlatmalar araştırma ekibince farklı tarihlerde yerinde yapılan gözlem ve ölçümlerle izlenmiştir. Çalışmalar esnasında, öncelikle söz konusu sahada uygulanagelmekte olan patlatma düzeni ile ilgili gözlem ve incelemeler yapılmış, tünelde uygulanan patlatma düzenine müdahale edilmemiştir.

Saha çalışmasında, Akyazı Tünelinde toplam 17 adet atım, 3 adet titreşim ve hava şoku ölçer cihazıyla toplamda 16 farklı istasyonda izlenmiştir. İstasyon noktalarının yerleri seçilirken kritik noktalarda bulunan yapıların yakınlarında olmasına özen gösterilmiştir. Kritik yapıların yanında oluşturulan istasyon noktalarından iki tanesinin fotoğrafı Şekil 5’de verilmektedir. İzlenen atımlara ait patlatma geometrisi ve oluşturulan istasyonların konum bilgileri ilgili şirketin mühendislerince sağlanmıştır.



Şekil 5. İki farklı titreşim ölçüm istasyonunun görünümü

Oluşturulan bu istasyon noktalarında alınan titreşim ve hava şoku kayıtları, öncelikle ülkemizin eşik hasar limitlerine göre değerlendirilmiştir. Sonrasında elde edilen veri çiftleri (PPV-SD) istatistiksel analize tabi tutularak çalışma sahasına özgün titreşim yayılım tahmin denklemi belirlenmiş ve risk analizleri yapılmıştır.

#### **5. Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi**

Akyazı tünel inşaatında sağ ve sol tüplerde yapılan patlatmalı kazılarda, ilgili firma mühendislerince geliştirilen üç adet genel patlatma düzeni kullanılmaktadır. Bu düzenlerden bir tanesi örnek olarak Şekil 6’da verilmektedir.



KAPSÜL NO	KAPSÜL SAYISI	LOKUM MİKTARI	TOPLAM DİNAMİT
1	8	5	20 KG
3	8	5	20 KG
5	8	5	20 KG
7	6	5	15 KG
9	10	5	25 KG
11	10	5	25 KG
13	10	5	25 KG
15	10	5	25 KG
17	10	2	10 KG
19	10	5	25 KG
21	10	5	25 KG
23	10	5	25 KG
TOPLAM	110		260 KG

Şekil 6. Genel patlatma düzeni örneği

Tünel patlatmalı kazı çalışmaları, delik çapı 45 mm ve delik boyu 3,5 m olacak şekilde yapılmaktadır. Akyazı tünel çalışmalarında yapılan patlatmalı kazılarda, araştırma ekibince titreşim ve hava şoku ölçümleri yapılan atımlara ait patlatma geometrisi bilgileri ve atım noktalarının koordinatları Tablo 1'de verilmiştir (Ak ve Aksoy, 2014a; 2014b).

Tablo 1. İzlenen atımlara ait patlatma geometrisi ve atım noktası koordinatları

Atım No	Atım Noktası Koordinatları			Delik Sayısı (adet)	Toplam Şarj (kg)	Gecikme Başına Şarj (kg)	Atım Yeri
	Y	X	Z				
1	555003	4540114	13,40	74	160	20	Çıkış sağ tüp
2	554922	4540125	14,10	110	260	25	Çıkış sol tüp
3	554999	4540113	13,40	76	158	20	Çıkış sağ tüp
4	553178	4541023	21,00	76	160	16	Giriş sağ tüp
5	553201	4541046	21,00	90	260	30	Giriş sol tüp
6	554919	4540124	14,10	110	260	25	Çıkış sol tüp
7	554997	4540111	13,40	76	160	20	Çıkış sağ tüp
8	553181	4541021	20,80	90	220	25	Giriş sağ tüp
9	553203	4541044	20,80	90	260	30	Giriş sol tüp
10	554994	4540110	13,40	76	160	20	Çıkış sağ tüp
11	554916	4540124	14,10	110	260	25	Çıkış sol tüp
12	553708	4540581	13,95	100	280	30	Giriş sol tüp
13	554242	4540184	15,39	100	280	30	Çıkış sol tüp
14	553685	4540560	13,89	100	280	30	Giriş sağ tüp
15	553712	4540578	14,07	100	280	30	Giriş sol tüp
16	553694	4540559	14,01	100	280	30	Giriş sağ tüp
17	553714	4540576	14,00	100	280	30	Giriş sol tüp



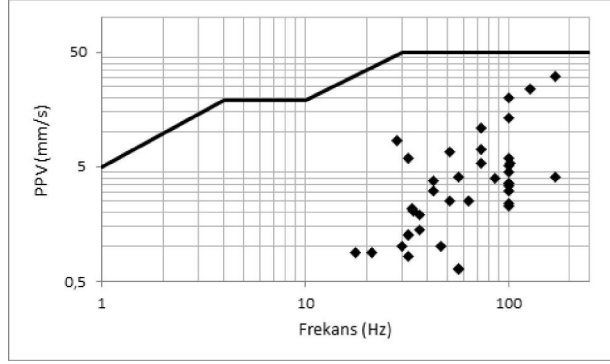
Kayıt altına alınan 40 adet olayın en büyük parçacık hızları (PPV), hava şokları, frekans değerleri ile ölçekli mesafe değerlerini ve istasyon noktası koordinatlarını içeren bilgiler Tablo 2’de ayrıntılı olarak verilmiştir (Ak ve Aksoy, 2014a; 2014b).

Tablo 2. Ölçülen titreşimlere ait veriler

Atım No	İstasyon No	Kayıt Cihazı	İstasyon Noktası Koordinatları			Mesafe (R) (m)	Ölçekli Mesafe (SD)	Hava Şoku (dB)	Maks. PPV (mm/s)	F (Hz)
			Y	X	Z					
1	1	White	555154	4540135	14.83	153	34.12	140	4.06	171
	2	Blaster I	555121	4540146	23.21	123	27.45	123	2.16	34
	3	Blaster II	555123	4540128	22.96	122	27.23	119	3.05	43
2	1	White	555154	4540135	14.83	232	46.39	132	1.02	47
	2	Blaster I	555121	4540146	23.21	200	40.01	130	0.83	32
	4	Blaster II	555119	4540078	30.38	203	40.57	*	*	*
3	7	White	555059	4540089	41.26	70	15.68	118	30.48	171
	5	Blaster I	555102	4540143	25.85	108	24.16	133	6.73	51
	6	Blaster II	555087	4540112	33.89	90	20.06	126	8.51	28
4	8	White	553044	4541160	12.06	192	47.93	148	4.06	57
	9	Blaster I	553065	4541183	12.06	196	49.06	134	*	*
	10	Blaster II	553008	4541119	20.00	195	48.82	136	0.64	57
5	11	White	553102	4541191	11.00	175	31.94	130	1.27	32
	9	Blaster I	553065	4541183	12.06	193	35.26	148	1.40	37
	8	Blaster II	553044	4541160	12.06	194	35.37	145	0.64	57
6	7	White	555059	4540089	41.26	147	29.40	118	2.54	51
	12	Blaster I	555022	4540048	38.79	130	26.07	111	5.97	100
	6	Blaster II	555087	4540112	33.89	169	33.83	129	1.90	37
7	7	White	555059	4540089	41.26	72	16.03	120	24.13	128
	12	Blaster I	555022	4540048	38.79	72	16.18	115	20.10	100
	6	Blaster II	555087	4540112	33.89	92	20.56	129	7.11	73
8	11	White	553102	4541191	11.00	188	37.53	125	1.02	30
	9	Blaster I	553065	4541183	12.06	200	40.03	135	*	*
	13	Blaster II	552955	4541187	8.71	281	56.19	142	0.89	21
9	11	White	553102	4541191	11.00	179	32.65	131	1.27	32
	9	Blaster I	553065	4541183	12.06	197	35.98	147	2.03	34
	13	Blaster II	552955	4541187	8.71	287	52.43	135	0.89	18
10	7	White	555059	4540089	41.26	74	16.58	118	10.99	73
	12	Blaster I	555022	4540048	38.79	72	16.20	115	13.50	100
	14	Blaster II	555084	4540056	27.03	106	23.73	124	5.97	32
11	7	White	555059	4540089	41.26	150	29.95	118	5.33	102
	12	Blaster I	555022	4540048	38.79	132	26.48	112	5.08	100
	6	Blaster II	555087	4540112	33.89	172	34.42	130	2.54	64
12	15	Blaster I	553832	4540424	69.88	208	37.96	102	3.43	100
	16	Blaster II	553845	4540426	64.01	213	38.86	94	3.56	100
13	15	Blaster I	555154	4540135	14.83	479	87.43	*	*	*
	16	Blaster II	555121	4540146	23.21	468	85.48	*	*	*
14	15	Blaster I	555123	4540128	22.96	208	37.91	106	3.05	100
	16	Blaster II	555154	4540135	14.83	214	39.11	96	5.33	73
15	15	Blaster I	555121	4540146	23.21	203	37.06	103	2.41	100
	16	Blaster II	555119	4540078	30.38	208	37.94	94	3.94	85
16	15	Blaster I	555059	4540089	41.26	200	36.59	106	2.29	100
	16	Blaster II	555102	4540143	25.85	207	37.72	96	3.81	43
17	15	Blaster I	555087	4540112	33.89	200	36.55	104	3.56	100
	16	Blaster II	553044	4541160	12.06	205	37.42	94	4.44	100

## 6. Hasar risk analizi

Yapılan patlatmalı kazı çalışmalarında ölçülen yer sarsıntıları, Çevre ve Orman Bakanlığı’nın “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği” nin 25/a maddesine göre değerlendirilmiş ve PPV-Frekans grafiği Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Atımlarda kaydedilen maksimum parçacık hızı ve frekans grafiği

Atımlarda kaydedilen olaylarda ortaya çıkan maksimum parçacık hızlarına karşılık gelen frekans değerlerinin dağılımları incelendiğinde; frekans değerlerinin yüksek ve bu frekans değerlerine karşılık gelen maksimum parçacık hızı (PPV) değerlerinin ise yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin altında kaldığı görülmektedir. Patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin frekanslarının yüksek olması, bu titreşimlerin çevredeki yapılara hasar verme riskini, yapıların öz frekans değerlerinden (5-10 Hz) oldukça yüksek olması nedeniyle azaltmaktadır. Yapılan ölçümler esnasında kaydedilen en büyük parçacık hızı (PPV) ve ölçekli mesafe (SD) veri çiftleri, bu sahaya özgün titreşim yayılım formülünün belirlenmesi amacıyla istatistiksel analize tabi tutulmuştur. Bu analizde, literatürde yaygın olarak kullanılan ve aşağıda genel formu Eş.1'de verilen tahmin denkleminin bu sahaya özgün saha sabitleri belirlenmiştir (Dowding, 1985):

$$PPV = K \cdot SD^{-\beta}$$

1

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

PPV: en büyük parçacık hızı (mm/sn)

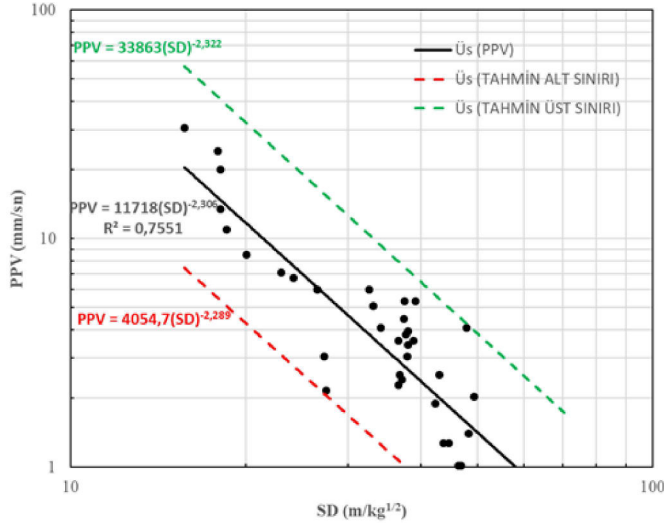
SD: Ölçekli mesafe

R: Atım ve ölçüm istasyonu arası uzaklık (m)

W: Gecikme başına düşen patlayıcı miktarı (kg)

K,  $\beta$ : saha sabitleri

Ayrıca bu veri çiftlerinden yararlanarak %95 tahmin güven aralıkları ve alt, üst güven tahmin eşitlikleri bulunmuştur. Elde edilen alt, ortalama ve üst tahmin aralığı grafikleri Şekil 8'de ve eşitlikleri ise Tablo 9'da verilmiştir.



Şekil 8. PPV-SD üst, ortalama ve alt sınır tahmin grafiği

Tablo 9. Alt, ortalama ve üst tahmin güven aralığı denklemleri

Tahmin Denklemleri	Eşitlik
Üst tahmin güven aralığı denklemi (%95)	$PPV = 33863(SD)^{-2,322}$
Ortalama tahmin denklemi (%50)	$PPV = 11718(SD)^{-2,306}$ ( $r=0,87$ )
Alt tahmin güven aralığı denklemi (%95)	$PPV = 4055(SD)^{-2,289}$

Ortalama tahmin eşitliği kullanılarak, farklı mesafe ve farklı gecikme başına düşen şarj (patlayıcı madde) miktarları için parçacık hızı tahminleri yapılmış ve tahminler Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Ortalama tahmin denklemi kullanılarak hesaplanan parçacık hız değerleri

Gecikme Başına Şarj Miktarı (kg)	Tahmin Edilen Parçacık Hız Değerleri (mm/sn)								
	Mesafe (m)								
	50	75	100	125	150	175	200	225	250
5	9,06	3,56	1,83	1,09	0,72	0,50	0,37	0,28	0,22
10	20,14	7,91	4,07	2,43	1,60	1,12	0,82	0,63	0,49
15	32,14	12,62	6,50	3,89	2,55	1,79	1,31	1,00	0,79
20	44,78	17,58	9,06	5,41	3,56	2,49	1,83	1,40	1,09
25	57,92	22,74	11,71	7,00	4,60	3,22	2,37	1,81	1,42
30	71,47	28,06	14,45	8,64	5,67	3,98	2,92	2,23	1,75

Ortalama tahmin denklemi ile eşik hasar ve mesafe gözetilerek hesaplanan güvenli patlayıcı madde miktarları Tablo 11'de verilmiştir. Bu tabloda izin verilen eşik hasar limitleri yönetmelikte belirtilen en düşük hız limitleri olarak alınmıştır.

Tablo 11. Eşik hasar ve mesafe gözetilerek ortalama tahmin denklemi ile hesaplanan patlayıcı miktarları

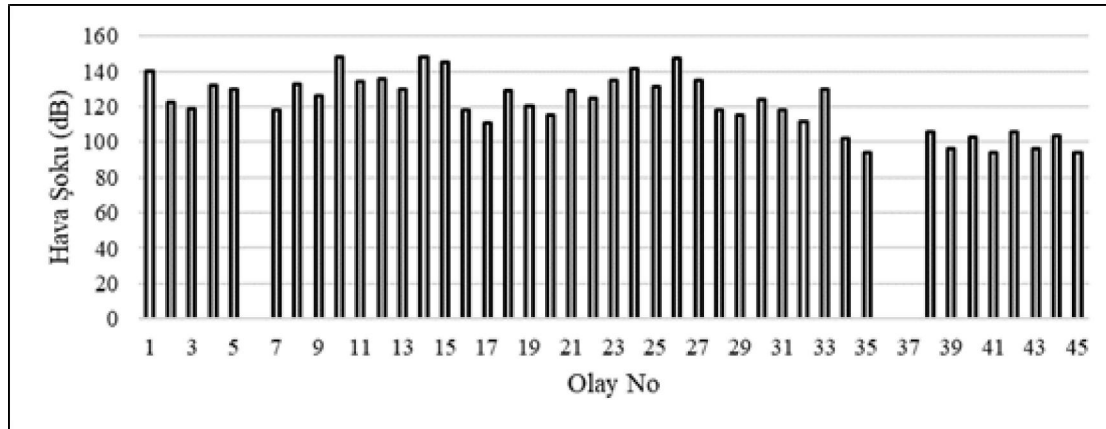
İzin verilen Eşik Hasar Limiti (PPV, mm/sn)	Mesafe (m)	Gecikme Başına Maksimum Şarj Miktarı (W, kg)
5	50	3
	75	7
	100	12
	125	19
	150	27
	175	37
19	50	10
	75	21
	100	38
	125	59
	150	86
	175	116

Tablo 11 incelendiğinde eşik hasar limiti 5 mm/sn alındığında 50 metre ve 175 metre arası mesafeler için hesaplanan gecikme başına şarj miktarı 3 kg ile 37 kg arasında değişmektedir. Tünel inşaatında genel olarak 20-30 kg arasında gecikme başına şarj kullanıldığı göz önünde bulundurulursa, atım noktasına 150 metreden daha yakın ve sağlam olmayan veya tarihi yapılarda hasar riski oluşabileceği söylenebilir. Bu durumda üst tahmin denklemi kullanılarak yeni patlayıcı miktarları %95 güvenilirlikle hesaplanabilir. Ancak, hesaplanan yeni patlayıcı miktarları ile ekonomik patlatmalı kazı yapılamayabilir ve alternatif kazı yöntemlerinin kullanılması zorunluluğu doğabilir.

### 6.1. Hava şoku

Patlatmalar sırasında desibel (dB) olarak ölçülen hava şokları ölçme istasyonunda 140 dB' den yüksek değerlere ulaştığında; sestən rahatsız olma, pencere camı kırılmaları, binalarda hasar gibi olumsuzluklara neden olabilmektedir. ABD'de (USBM ve OSM kuralları) yapılan yasal düzenlemelerle 140 desibele karşılık gelen hava şoku düzeyi hasar başlangıç ve gürültü üst sınırı olarak belirlenmiştir.

Araştırma kapsamında, söz konusu tünelde yapılan 17 atımın titreşim ölçer cihazları tarafından hava şoku değerleri de kayıt edilmiştir. Elde edilen hava şoku değerleri Şekil 12'de sütun grafiği olarak verilmektedir.



Şekil 12. İstasyon noktalarında ölçülen hava şoku değerleri

Şekil 12 incelendiğinde, 6 adet hava şoku ölçümünün 140 dB ve bu değer üzerinde olduğu görülmektedir. Bu ölçümlerin yapıldığı istasyon noktalarının, portal önünde ya da yakınında olması ve portal önünde herhangi bir önlem alınmaması nedeniyle hava şoku değerlerin yüksek çıkması beklenen bir durumdur.

## **7. Sonuçlar**

Akyazı tüneli inşaatı esnasında yapılan patlatmalı kazı çalışmalarından farklı tarihlerde titreşim ve hava şoku ölçümleri yapılmıştır. İzlenen atımlarda kaydedilen parçacık hız ve frekansları, yönetmeliğe göre değerlendirilmiş ve tüm ölçümlerin izin verilen sınırların altında kaldığı görülmüştür.

Yapılan ölçümlere ait PPV-SD veri çiftleri istatistiksel analize tabi tutularak bu sahaya özgün yayılım denklemlerinin saha sabitleri alt, ortalama ve üst güven aralıkları göz önüne alınarak belirlenmiştir. Ortalama tahmin denklemi kullanılarak farklı mesafe ve farklı gecikme başına düşen şarj miktarları için parçacık hızları tahminleri yapılmıştır. Tünelde yapılacak patlatma noktasının çevredeki yapılara olan mesafesi 150 metrenin üzerinde olduğu durumlarda, parçacık hız tahminleri için ortalama tahmin denkleminin kullanılması önerilmektedir.

Atım noktasına 150 metreden yakın olan kritik hassas yapılar için ise tahminin güvenilirliğini arttırmak için (%95); gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarlarının tahmininde, üst tahmin denkleminin kullanılması önerilmektedir. Ancak, bu denklem kullanılarak hesaplanacak patlayıcı madde miktarlarının oldukça düşük olacağı ve ekonomik patlatmalı kazı yapılamayacağı bilinen bir gerçektir. Bu durumda diğer kazı yöntemlerinin kullanılması önerilmekle beraber, kazı ekonomisi ve imkânları delme – patlatma yönteminin kullanılmasını zorunlu kılıyorsa, ortalama tahmin denklemi kullanılarak gecikme başına düşen şarj miktarları hesaplanabilir. Bu miktarlar ile yapılacak patlatmaların sürekli olarak titreşim ölçer cihazları ile izlenmesi gerekmektedir. Ölçülen titreşim değerlerinin izin verilen sınırların üzerine çıkması durumunda ise patlatma paterninin gözden geçirilmesi önerilmektedir. Bu nedenle kullanılacak patlayıcı madde miktarları belirlenirken patlatma noktasına yakın kritik yapıların durumları dikkatlice araştırılıp belirlenmelidir.

Son olarak, patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin, her zaman çevre yapılar için belli bir hızda hasar riski taşıyabileceği gerçeği gözden uzak tutulmamalıdır. Meskûn mahallerde yapılan patlatmalı kazı çalışmalarından kaynaklanan yer sarsıntısı veya hava şoku izin verilen sınırların altında kalsa bile insanlar üzerinde psikolojik etkiler bırakabilir. Bu etkileri en aza indirmek için; öncelikle bu bölgedeki insanların konu hakkında bilgilendirilmesi, yapılacak atımların belirli aralıklarla titreşim ölçümlerinin yapılması, patlatma tasarım ve protokollerinin tutulması önem arz etmektedir.

## **Kaynaklar**

Ak, H., İphar, M., Yavuz, M., Konuk A., 2013. Bir Maden İşletmesinde Patlatmadan Kaynaklanan Çevresel Etkilerin Analizi, VII. Delme Patlatma Sempozyumu, 07-08 Kasım, Eskişehir, 69-78.

Ak, H. ve Aksoy, M., 2014a. Trabzon Şehir Geçişi Kanuni Bulvarı Projesi Akyazı Tüneli Patlatmalı Kazı Çalışmalarından Kaynaklanan Titreşim ve Hava Şoku Ölçümü ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Döner Sermaye Projesi, Ocak.

Ak, H. ve Aksoy, M., 2014b. Trabzon Şehir Geçişi Kanuni Bulvarı Projesi Akyazı, Beşirli ve Boztepe Tüneli Patlatmalı Kazı Çalışmalarından Kaynaklanan Titreşim ve Hava Şoku Ölçümü ve Çevresel



Etkilerinin Değerlendirilmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Döner Sermaye Projesi, Eylül.

Arpaz, E., 2000. Türkiye'deki Bazı Açık İşletmelerde Patlatmalardan Kaynaklanan Titreşimlerin İzlenmesi ve Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.

Ceylanoğlu, A., Arpaz, E., 2001. Belirli bir Kaya Kütlelerinde Oluşturulan Yer Sarsıntılarının Ölçümü ve Değerlendirilmesi, Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi TUMAKS 2001, 19-22 Haziran 2001, Ankara, pp 39-45.

Dowding, C.H., 1985. Blast Vibration Monitoring and Control, Prentice-Hall, USA.

Erkoç, Ö.Y., 1998. Patlatma ile Çevreye Verilen Sarsıntılar ve Hasar Kriteri Üzerine Bir Tartışma, III. Delme ve Patlatma Sempozyumu, 129-139.

Fugro Sial, 2013. Trabzon Şehir Geçişi Kanuni Bulvarı İle Akyazı Ve Sahil Bağlantı Yolları Yapımı İşi Akyazı Tüneli Jeolojik - Hidrojeolojik Mühendislik Jeolojisi Etüd Raporu, Fugro Sial Yerbilimleri Müşavirlik ve Mühendislik Ltd. Şti, Temmuz.

Jonston, G.J., Durucan, Ş., 1994. The Numerical Prediction, Analysis and Modelling of Ground Vibration Induced by Blasting, Third International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, 18-20 October, İstanbul.

Kahriman, A., 1995. Sivas Ulaş Yöresi Sölesit Cevheri ve Yankayaçları için Optimum Patlatma Koşullarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleri ile İlişkilendirilmesi, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.

Kahriman, A., Özer, U., Aksoy, M., Karadoğan, A., Tuncer, G., 2006. Environmental Impacts of Bench Blasting at Hisarcık Boron Open Pit Mine in Turkey, Environmental Geology, Vol. 50, No 7, P 1015-1023.

Kahriman, A., Ceylanoğlu, A., 2001. Evaluation of Measurement Results of Ground Vibration Induced by Blasting in a Celestite Open Pit Mine in Turkey, Pakistan Journal of Applied Sciences, 1(2), p 135-138.

Karadoğan, A., 2008. Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimler İçin Ulusal Yapı Hasar Kriterleri Oluşturulabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Karadoğan, A., Özer, Ü., Kahriman, A., 2010. Patlatmadan Kaynaklanan Sarsıntılar İçin Risk Analizi Modeli, VI. Delme Patlatma Sempozyumu, 4-5 Kasım, Ankara, 205-217.

Khandelwal, M., and Singh, T.N., 2007. Evaluation of blast-induced ground vibration predictors, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 27 (2007) pp 116–125.