

BİR ŞEHİR İÇİ PATLATMASINDA SİSMİK VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

THE EVALUATION OF SEISMIC DATA AT AN URBAN SITE BLASTING OPERATION

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

İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, 34320, Avcılar, İstanbul

Yayına Geliş (Received): 29.01.2016, Yayına Kabul (Accepted): 05.03.2016
Basım (Published): Şubat/February 2017

Öz

Bu çalışmanın amacı; İstanbul Anadolu yakasında, yerleşim yeri içerisinde sürdürülen bir patlatmalı temel kazısı çalışması esnasında kayıt altına alınan sismik verilerin değerlendirilmesidir. Kazı sahasının şehir merkezinde bulunması dolayısıyla risk noktalarının çok olması, patlatmanın çevresel çıktılarının uygun yöntemlerle değerlendirilmesinin ve minimize edilmesinin önemini artırmaktadır.

Bu noktadan hareketle egemen kaya birimi kireçtaşı olan söz konusu sahada bir dizi atım izlenmiştir. Birbirinden farklı titreşim yayılım karakteristiği gösteren kot aralıkları tespit edilmiş, kendi içlerinde gruplandırılmış ve bu gruplara ait özgün titreşim yayılım formülleri bulunmuştur. Gerçek titreşim spektrumunu ortaya koymak üzere dört bantlı filtre uygulanmıştır. Elde edilen gürültüden arındırılmış verilerin frekanslarını değerlendirmek üzere veriler ASCII koduna çevrilmiştir. Bu veriler MATLAB programında değerlendirilerek zaman-genlik dijital verileri elde edilmiştir. Daha sonra en yüksek genliği veren frekans grubunu bulma amacıyla tüm veriler toplu halde ele alınarak Fourier dönüşümüne tabi tutulmuştur. Bu dönüşüm ile zaman-genlik ortamındaki veriler frekans-genlik ortamına çevrilmiştir. Böylece, her bir grupta hakim olan frekans grupları tüm kayıtlar birlikte değerlendirilerek ortaya konmuştur.

Çalışma sonucunda; kazı derinliği arttıkça frekans değerlerinin düştüğü, gürültülerin ise azaldığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Temel kazısı, patlatma, patlatma kaynaklı titreşim, titreşim analizi, frekans analizi

Abstract

The goal of the study is to estimate the seismic data acquired through the study of a foundation excavation by blasting located the side of Anatolia of İstanbul. It is important that to evaluate and to minimize the environmental risks of blasting activities with the convenient methods due to its proximity to the residential area.

From this point, a series of blasting were observed in the field. The elevation ranges, show different vibration propagation characteristics from each other, were determined, classified and the vibration propagation formulas for each different elevation ranges were obtained. To obtain the real vibration spectrum Four – band filter is practiced. The data is converted to ASCII code to evaluate the frequencies. First those obtained data is input the MATLAB software for obtaining Time-Amplitude digital data. Then, to determine the frequency groups which is the peak amplitude group the whole data is subjected to Fourier Transform process. By the transform process Time – Amplitude data converted to Frequency – Amplitude data. Hence, For each group, dominant frequency groups are evaluated with the all records

Consequently, with the increasing excavation they are observed that depth frequency values and the noise are getting decreased.

Key words: Foundation excavation, blasting, blast induced vibration, vibration analysis, frequency analysis.

GİRİŞ

Başarılı bir patlatmadan beklenen en önemli unsurlardan biri atımın çevresel etkiler açısından emniyetli olmasıdır. Çevresel duyarlılıklar dikkate alındığında; patlatma kaynağından belirli bir uzaklıkta bulunan bir yerleşim biriminin ya da tesisin, patlatma sonucunda oluşacak yersarsıntısı, taş savrulması ve hava şoku gibi sonuçlardan etkilenmemesi için, patlatmanın hasara sebep olabilecek sonuçlarının uygun yöntemlerle ele alınması gerekmektedir. (Khandelwal ve Singh, 2007; Karadoğan vd, 2012).

Titreşim karakteristikleri mühendislik tasarımları için belirleyici bir faktördür. Titreşim zararlı olabilir ve kaçınılmalıdır. Titreşimin nasıl analiz edileceği, ölçüleceği ve kontrol edileceği mühendislik için önemli bir bilgidir. Titreşim teorisi cisimlerin ve ilgili kuvvetlerin salınımlı hareketleri ile ilgilenir.

Titreşim ile hasar oluşumunda, titreşimlerin yayılmış olduğu malzemenin yapısı en önemli rolü oynar. Her malzeme aynı frekans ve titreşim büyüklüğünde aynı hasarı almaz. Bunun nedeni malzemelerin iç yapısı, yani titreşimlerin yayılma ortamıdır (Dowding, 1985; Karadoğan, 2008; Kalaycı, 2011).

Birçok araştırmacı patlatma kaynaklı titreşimin yayılımını farklı amaçlarla ele almıştır. Bu çalışmaların temel amacı, patlatmanın çevresel etkilerini minimize etmek, ikincil amacı ise patlatma performansını değerlendirmek ve çevre yapıları üzerindeki etkilerini kontrol ve tahmin etmektir (Dowding 1985; Ambraeys et al. 1968; Siskind et al. 1980; Ghosh 1983). Yapısal hasarı tahmin etmede belirleyici parametreler parçacık hızı ve frekanstır (Dowding 1985; Siskind et al. 1980; Ghosh 1983; Gupta et al. 1988; Nicholls et al. 1971).

Patlatma kaynaklı titreşimler kaya kütlelerinde ve yapılarda hasara neden olur. Kaya zemin veya yapıda meydana gelen bu hasara neden olan titreşim parametreleri titreşimin büyüklüğü ve frekansıdır. Günümüzde kabul gören hasar normları, patlatma kaynaklı titreşimin yarattığı hasarı belirlemede bu parametreleri kullanır (Langerfors ve Kihlström, 1967; Medearis, 1976; USBM 1980; DIN 1984). Bu amaçla, çalışma sahasında bir dizi atımın izlenmesi ve titreşim ölçümünün sistematik bir yaklaşımla yapılması suretiyle, egemen kaya birimi kireçtaşı olan sahanın özgün titreşim yayılım formülünün bulunması düşünülmüştür. Frekans ölçümlerinin değerlendirilmesinde ise veriler ASCII koduna çevrilmiş MATLAB programı yardımıyla zaman-genlik dijital verilerine ulaşılmıştır. Gerçek spektrumu

ortaya koymak üzere dört bantlı filtre uygulanmıştır. Verilerin gürültüden arındırılması ve daha sonra en yüksek frekans grubunu bulma amacıyla tüm veriler toplu halde ele alınarak Fourier dönüşümüne tabi tutulmuştur. Bu dönüşüm ile zaman-genlik ortamındaki veriler frekans-genlik ortamına çevrilmiştir. Böylece, farklı kot aralıklarında hakim olan frekans grupları tüm kayıtlar birlikte değerlendirilerek ortaya konmuştur.

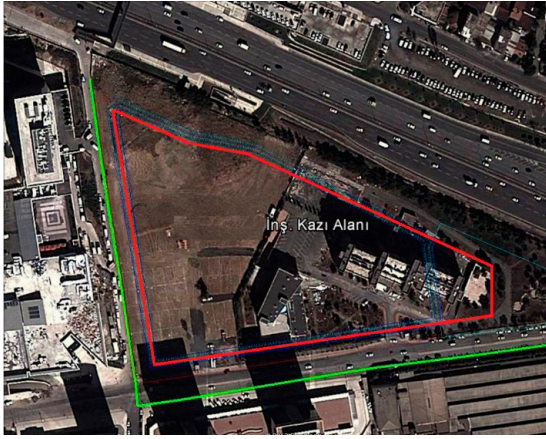
ÇALIŞMA SAHASI

İstanbul ili Maltepe ilçesinde yürütülen patlatmalı temel kazı projesi çalışma sahası olarak belirlenmiştir. Söz konusu temel kazısı inceleme alanı ve çevre bölgenin genel görünümü Şekil 1'deki planda gösterilmiştir. Kazı sahasının güneyinde yaklaşık 30 m, kuzeyinde yaklaşık 120 m ve batısında yaklaşık 10 m yakınından doğalgaz hattı geçmekte olup doğalgaz hattı asfalt üst kotunun 80 cm altında bulunmaktadır. Kazı alanının güneyinde 35 m yakınında İbank Sosyal Tesisleri ve 30 m yakınında İplik Fabrikası Binası, kuzeyin de yaklaşık 20 m mesafede metro istasyonu girişi ve yaklaşık 28 m mesafede ise D100 karayolu bulunmaktadır. Saha çevresindeki risk söz konusu olabilecek yapıların kazı alanına mesafeleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Kazı alanı çevresindeki yapıların en yakın mesafeleri

Table 1. The distance of the nearest structures to the excavation site

Yapılar	Mesafe (m)
Doğalgaz Boru Hattı	10
Türk Telekom Hattı	10
Metro Girişi	20
D100 Karayolu	28
İplik Fabrikası	30
Ofis Binaları	35
AVM Binası ve Yanındaki Bina	35



Şekil 1. Temel kazısı alanı ve çevre bölgenin genel görünümü

Figure 1. Aerial view from foundation excavation area and the surrounding region

SAHANIN JEOLJİSİ

İstanbul Gurubu stratigrafik istifinin en altını oluşturan bu birim yaygın olarak Kurtköy ve Maltepe (Kartal) kuzeyinde yüzeyler. Genel olarak mor renkli çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşlarından veya bunların ardışımından yapılmıştır. Bütün özelliklerinin görüldüğü bir tip kesit mevcut değildir. Yalnız Formasyona ilişkin değişik Fasiyeler değişik bölgelerde ve stratigrafik yönden değişik düzeylerde ortaya çıkar. Formasyon Maltepe kuzeyinde de açıkça görüldüğü gibi mor renkli, çoğunlukla kaotik içyapılı, tabakalanması belirsiz, ünite kalınlıkları 15-20 metreyi bulabilen para çakıltaşlarından oluşmuştur. Çökme ünitelerinin üst kesimlerinde, seyrek de olsa paralel laminasyon ve çapraz tabakalanma izlenmektedir. Ünitelerin alt çökme yüzeyleri aşınmalı ve kanallıdır. Ünite içlerinde kum boyutlu matriks içerisinde yüzer durumlu kuvars, volkanik ve düşük dereceli metamorfiklerden türemiş maksimum boyutları 10 cm. 'ye kadar olan çakıllar izlenir. Bunlardan başka kırmızı renkli çamur klastlarında yaygındır. Alüvyon yelpazesi çökelleri olarak nitelenebilecek bu çökeller E-5 yarmalarında ve Kurtköy kuzeyinde izlendiği gibi kumtaşı-çamurtaşı ardışımından oluşan yine mor renkli bir istifte yanıl ve düşey geçişlidir. Merceksel geometri devreler halindeki istif içerisindeki üniteler altta aşınmalı ve kanallı dokanaklarla başlarlar. Bu yüzeylerde yaygın yük kalıpları gelişmiştir. Ünitelerin alt kesimleri çakıllı ve dereceli, üst kesimleri de büyük ölçekli tekne tipi çapraz tabakalıdır. Tane boyu ve çapraz tabakaların genliği ünite üstüne doğru küçülür. Üstteki

çamur taşlarına geçiş derecelidir. Çamurtaşları daha koyu mor renklidir ve içlerinde paralel, dalgalı paralel ve küçük ölçekli çapraz laminasyon yaygın sedimanter yapı türleridir. Çamurtaşları üzerinde bir sonraki devre yine aşınmalı bir alt sınırla başlamaktadır. Devre kalınlıkları 0,5 - 9 m. arasında değişmektedir. Menderesli akarsu ortamında çökeltilmiş olan bu istif yaklaşık 150 m. kalınlıktadır. Kınalıada Kayaburnu çevresinde Kurtköy Formasyonu'nun üst kesimi yüzeyler. 178 m. kalınlık sunan istifin alt 100 m.'si birbiri ile aşınmalı-dokanaklı, mor renkli kumtaşlarından oluşmuştur. Bu kumtaşı tabakaları içerisinde büyük-küçük ölçekli özellikle tekne tipi çapraz tabakalaşma yaygındır. Kesitin üst kesimi ise menderesli akarsu koşullarını yansıtan ince-orta tabakalı ve mor renkli kumtaşı-çamurtaşı ardışımından oluşmuştur. Petrografik olarak %75 kuvars, %20 ayrılmış ortoz türü feldspat, %2-3 mika, %1-2 opal minerallerinden yapılmıştır.

Kurtköy Formasyonu ile üzerindeki Aydos Formasyonu arasında bazı bölgelerde merceksel geometri, baskın olarak kuvars çakıllarından yapılmış, çakıltaşları mevcuttur. Önal (1982)'ye göre bunlar Kurtköy Formasyonu'nun üst kesimlerinde Kıyı ovası Fasiyesi içine açılmış kanal dolgularıdır. Kurtköy Formasyonu'nu oluşturan tüm litolojiler ileri derecede diyajenez sonucu çok sert kaya halini almışlardır. Birimin alt sınırı İstanbul çevresinde görülmez. Üstten Aydos Formasyonu ile tedrici geçişlidir. Kurtköy Formasyonu alüvyon yelpaze çökellerinin bulunduğu bölgelerde bu Fasiyesin fay kontrollü gelişmesi nedeniyle kalın; Aydos Formasyonu ile ilişkili olduğu bölgelerde ise, kıyı ovalarında kalınlık olarak daha ince ve ince taneli çökellerin bulunması nedeniyle giderek incelen bir kama şeklindedir. Formasyonun önceki araştırmalara göre Orta Ordovisiyen 'den daha yaşlıdır (İBB, 2013).

KAYA MALZEMESİ ÖZELLİKLERİ

Çalışılacak kaya birimlerinin patlatmalı kazı gerektirip gerektirmediği konusunda sahada incelemeler yapılmış ve numuneler alınmıştır. Alınan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucu gri ve bej renkli kaya malzemesi numunelerine ait Yoğunluk ve Tek Eksenli Basma Dayanımı (TEBD) değerleri Çizelge 1'de sunulmuştur. Bu bulgulara göre sahada yapılacak kazı faaliyetinin patlatmalı kazı faaliyeti olması gerektiği anlaşılmıştır.

Çizelge 2. Deney sonuçları**Table 2.** Test results

Kaya Tanımı	Yoğunluk (g/cm ³)	“TEBD” (MPa)
Bej Renkli	2,53	115
Gri Renkli	2,72	47

ARAŞTIRMADA UYGULANAN YÖNTEM

Yüklenici firmanın sahadaki süregelen çalışmalarının detayları aşağıdaki gibidir;

Atımlarda uygulanan patlatma paternleri, delik düzenleri ve patlayıcı şarjları gözlemlenmektedir. Kazı sahası çevresinde bulunan riskli yapıların bulunduğu noktalara titreşim ölçer cihazlar yerleştirilerek patlatma kaynaklı titreşim değerleri kaydedilmektedir. Taş savrulmasını elimine etmek amacıyla deliklerin üzeri bantlarla örtülmektedir. İzlenen atım sonunda patlatma performansı ivedi bir şekilde değerlendirilerek bir sonraki atım planlanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında; araştırmacılar tarafından yapılan ölçümlerde atım noktaları ile yer sarsıntısı istasyonlarının koordinatları topografik aletlerle, maksimum bileşke parçacık hızı ile frekans değerleri titreşim ölçer cihazlar ile belirlenmiştir.

Kaydedilen olayların değerlendirilmesi sırasında literatürde yaygın kullanıma sahip maksimum parçacık hızı (PPV) tahmin denklemi kullanılarak, bundan sonra yapılacak atımların oluşturacağı yersarsıntısını önceden tahmin edilmesini sağlayacak formüller verilmiştir. Eşitlik 1’de gösterilen denklem, ölçekli mesafe değerini farklı ifade eden bu tahmin denklemlerinin genel yapısını vermektedir. Eşitlik 2’de ise ölçekli mesafe’nin hesaplanmasında kullanılan denklem verilmektedir.

$$(PPV = k * SD^{\beta}) \quad (1)$$

Burada; PPV, maksimum parçacık hızı (mm/sn); SD, ölçekli mesafe; k ve β ise saha sabitlerini ifade eder.

$$(SD = R / W^{0.5}) \quad (2)$$

Burada; SD, ölçekli mesafe; R, mesafe (m); W, gecikme başına düşen maksimum şarj miktarını (kg) ifade eder.

Bu çalışmada, yer sarsıntısı ölçüm sonuçlarının çevredeki tesis ve yapılara etki derecelerini tah-

min ve mukayese etmek amacıyla; parçacık hızı bileşenleri, oluşum frekansları da dikkate alınarak 04/06/2010 tarihli 27601 sayılı Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği”nin 25/A maddesine göre değerlendirilmiştir.

Litaratürde frekans tahmini için birden fazla yöntem bulunmaktadır. Patlatma kaynaklı titreşim verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan frekans tahmin yöntemlerinden zero crossing ve fourier dönüşüm yöntemi en yaygın olarak kullanılmaktadır. Zc yöntemi maksimum genliği veren dalganın sıfır ekseninden 2 geçişi arasındaki süreyi kullanarak 1/T formülüyle frekansı hesaplar. Bu yöntem düzgün sinüzoidal dalgalarda çok doğru sonuç vermesine karşılık patlatma kaynaklı titreşim kayıtlarındaki gibi bileşik düzensiz üst üste binmiş ve gürültü içeren kayıtlarda aynı doğrulukta sonuç verememektedir.

Böyle durumlarda zaman-genlik ortamındaki verileri frekans-genlik ortamına çeviren ve her bir frekans grubunu birbirinden ayıran Fourier dönüşümü tercih edilmelidir. Bu çalışmada her kot grubu için gruplandırılmış veriler toplu halde fourier dönüşümüne tabi tutulmuş ve tek bir kaydın değil bütün kayıtları kapsayan tek bir frekans aralığı tespit edilmiştir.

Frekans ölçümlerinin değerlendirilmesinde ise veriler ASCII koduna çevrilmiş MATLAB programı yardımıyla zaman-genlik dijital verilerine ulaşılmıştır. Gerçek spektrumu ortaya koymak üzere dört bantlı filtre uygulanmıştır.

Verilerin gürültüden arındırılması ve daha sonra en yüksek frekans grubunu bulma amacıyla tüm veriler toplu halde ele alınarak Fourier dönüşümüne tabi tutulmuştur. Bu dönüşüm ile zaman-genlik ortamındaki veriler frekans-genlik ortamına çevrilmiştir. Böylece, farklı kot aralıklarında hakim olan frekans grupları tüm kayıtlar birlikte değerlendirilerek ortaya konacaktır (Matlab, 2014).

Fourier dönüşümünde kullanılan denklem Eşitlik 3’te gösterilmiştir. FfT (x) fonksiyonunu elde etmek için kullanılan N uzunluğunda bir vektörün değişim fonksiyonu,

$$X(k) = \sum_{k=1}^N X(k) \omega_N^{(j-1)(k-1)} \quad (3)$$

$$X(j) = (1/N) \sum_{K=1}^N X(k) \omega_N^{-(j-1)(k-1)} \quad (4)$$

$$\omega_N = e^{-\frac{2\pi i}{N}} \quad (5)$$

Burada, W_N birimin n 'inci köklerini ifade eder.

ÖLÇÜM SONUÇLARI

Çalışma kapsamında; 10 atıma ait 82 adet olay kayıt altına alınmıştır. Atımlar, 10-19 kot aralığı,

20-29 kot aralığı ve 30-35 kot aralığı olmak üzere üç gruba ayrılmış ve sırasıyla I-II ve III rakamlarıyla numaralandırılmıştır. Kaydedilen atımların atım numaraları koordinatları ve grup numaraları Çizelge 3'te; yer sarsıntısı ölçüm istasyonlarının koordinatları ise Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Kayıt altına alınan bazı olayların parçacık hızları, hava şokları ve frekans değerleri ile patlayıcı madde miktarlarını ve ölçekli mesafe değerlerini içeren bilgiler Çizelge 5'te ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 3. Atım koordinatları

Table 3. Shot coordinates

Atım No	Koordinatlar			Grup
	Y	X	Z	
1	429940	4531961	34	III
2	429946	4531963	33	III
3	429970	4531929	33	III
4	429871	4531975	28	II
5	429892	4531969	27	II
6	429921	4531944	26	II
7	429786	4531991	26	II
8	429728	4532017	17	I
9	429736	4532025	17	I
10	429763	4531982	18	I

Çizelge 4. Ölçüm istasyonu koordinatları

Table 4. Vibration monitoring station coordinates

İstasyon No	Koordinatlar		
	Y	X	Z
1	429796	4532032	41
2	429754	4532041	43
3	429741	4532048	44
4	429729	4532052	44
5	429713	4531960	36
6	429679	4532047	42
7	429685	4531877	32
8	429757	4531836	32
9	429824	4531848	33
10	429753	4532058	37
11	429776	4532118	37
12	429679	4532047	42
13	429910	4531987	38
14	429881	4531864	35
15	429650	4531685	26
16	429973	4531957	38
17	429863	4531891	34
18	429718	4532051	44
19	429962	4532127	52

Çizelge 5. Kayıt altına alınan bazı olayların titreşim veri kayıtları
Table 5. The vibration data of some of the recorded events

Atım No	Titreşim Ölçer Modeli	Max. Parçacık Hızı (PPV) (mm/s)	Frekans f (Hz)	Hava Şoku (dB)	Gecikme Başına Toplam Şarj (W) (kg)	Ölçekli Mesafe (SD)	İstasyon No
1	BE10709	2,159	39,38	116,4	10,55	41,76	1
	BE10688	0,508	56,89	116,4	10,55	75,64	7
	BE5724	0,508	14,63	118,6	10,55	62,91	8
	BE10705	0,889	17,66	123,7	10,55	45,73	9
	BE10706	0,508	16,52	112,3	10,55	57,15	10
	BE10771	1,27	36,57	88	10,55	63,22	11
	BE10772	0,635	22,26	112,6	10,55	76,80	12
	BE10707	20,83	39,38	131,6	10,55	6,84	13
	BE10773	29,72	51,2	93,98	10,55	10,08	16
	BE10687	4,699	32	122,9	10,55	28,04	17
2	BE10709	2,921	19,69	115,7	11,7	48,28	1
	BE10688	1,27	16,52	88	11,7	65,04	3
	BE10687	1,143	20,48	111,2	11,7	68,06	5
	BE10708	0,508	39,38	113,3	11,7	80,38	7
	BE5724	0,635	15,06	115,4	11,7	66,83	8
	BE10705	1,143	17,66	119	11,7	49,19	9
	BE10706	0,508	17,66	105,5	11,7	62,82	10
	BE10707	0,635	18,29	97,5	11,7	67,11	11
	BE10772	0,635	18,96	110,9	11,7	81,99	12
	BE10771	17,65	46,55	88	11,7	12,77	13
BE10704	0,635	15,06	114,6	11,7	82,22	18	
BE10687	0,762	22,26	109,5	8,05	70,17	19	
3	BE10709	1,524	24,38	88	11	55,54	1
	BE10688	1,143	17,66	88	11	72,70	3
	BE10772	0,635	21,33	88	11	89,88	12
	BE10773	10,67	56,89	91,48	11	19,35	13
4	BE10709	4,57	21,3	124,5	13	26,07	1
	BE10688	2,41	16	118,7	13	37,43	2
	BE10706	3,43	24,4	117,9	13	41,67	3
	BE10707	1,9	20,5	117,5	13	44,98	4
	BE10687	1,27	16,5	118,7	13	44,82	5
	BE10708	1,27	19,7	120,8	13	57,02	6
	BE10704	0,635	13,1	125,5	13	55,21	8
	BE10705	1,27	21,3	124,8	13	38,02	9
5	BE10709	4,06	24,4	127,9	11,75	33,39	1
	BE10688	4,32	23,3	121,1	11,75		3
	BE10772	1,4	20,5	112,8	11,75	66,43	6
	BE10707	1,02	28,4	121,6	11,75	71,70	7
	BE10705	1,78	25,6	124,8	11,75	40,11	9
	BE10706	0,762	21,3	116,6	11,75	48,11	10
	BE5724	10,8	21,3	130	11,75	26,45	14
	BE10708	0,889	15,1	104,2	11,75	109,47	15

6	BE10709	4,06	24,4	127,9	11,75	33,65	1
	BE10688	2,47	23,3	121,1	11,75	35,66	3
	BE10772	1,4	20,5	112,8	11,75	66,44	6
	BE10707	1,02	28,4	121,6	11,75	71,71	7
	BE10705	1,78	25,6	124,8	11,75	40,12	9
	BE10706	0,762	21,3	116,6	11,75	48,12	10
	BE5724	10,8	21,3	130	11,75	26,47	14
	BE10708	0,889	15,1	104,2	11,75	109,47	15
7	BE10709	15,2	64	125,3	13	12,05	1
	BE10688	11,9	25,6	121	13	17,02	2
	BE10706	15,7	23,3	117,9	13	20,70	3
	BE10707	7,75	23,3	119,7	13	23,55	4
8	BE10709	9,144	25,6	126,3	16,5	17,89	1
	BE10688	9,525	26,95	91,48	16,5	10,41	3
	BE10687	21,08	30,12	135,9	16,5	7,73	5
	BE10708	2,794	34,13	122,4	16,5	27,84	7
	BE5724	1,651	14,22	123,4	16,5	36,23	8
	BE10705	1,143	16,52	124,3	16,5	40,13	9
	BE10706	11,43	30,12	126,3	16,5	12,64	10
	BE10707	5,207	25,6	115,9	16,5	27,74	11
	BE10772	14,1	25,6	124,6	16,5	15,59	12
	BE10771	2,921	39,38	108,4	16,5	45,47	13
BE10773	1,905	46,55	88	16,5	10,90	18	
9	BE10709	15,37	24,38	88	16,5	15,70	1
	BE10688	37,34	32	93,98	16,5	8,61	3
	BE10687	13,46	32	132	16,5	11,38	5
	BE10708	0,508	22,26	120,5	16,5	30,91	7
	BE5724	1,524	11,64	121,5	16,5	36,81	8
	BE10705	1,143	14,63	122,7	16,5	38,64	9
	BE10706	10,29	22,26	127	16,5	10,15	10
	BE10707	4,826	24,38	115,2	16,5	25,12	11
	BE10772	1,905	20,48	111,8	16,5	16,49	12
	BE10771	2,921	28,44	88	16,5	43,86	13
10	BE10709	22,99	36,57	128,8	14,55	10,19	1
	BE10688	34,42	32	93,98	14,55	9,61	3
	BE10687	13,21	30,12	130,6	14,55	15,16	5
	BE10705	1,397	18,96	121,2	14,55	38,96	9
	BE10707	3,429	22,26	115,2	14,55	26,30	11
	BE10772	11,05	21,33	124,3	14,55	20,13	12
	BE10771	2,794	28,44	88	14,55	38,65	13

VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Verilerden hareketle; ölçülen maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe veri çiftleri kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucunda, bölgede yapılacak kontrollü patlatma tasarımlarında, parçacık hızı tahmininde kullanılması önerilen çalışma sahasının sabitleri aşağıdaki formüllerle ifade edilmiştir.

10-19 kot aralığında yapılan atımlar için;

$$PPV = 754,73 * SD^{-1,644} \quad (R^2 = 0,666) \quad (6)$$

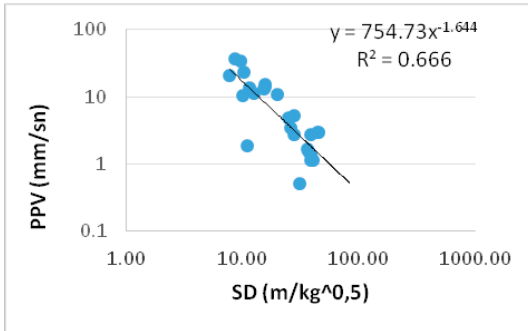
20-29 kot aralığında yapılan atımlar için;

$$PPV = 1171,2 * SD^{-1,687} \quad (R^2 = 0,758) \quad (7)$$

30-35 kot aralığında yapılan atımlar için;

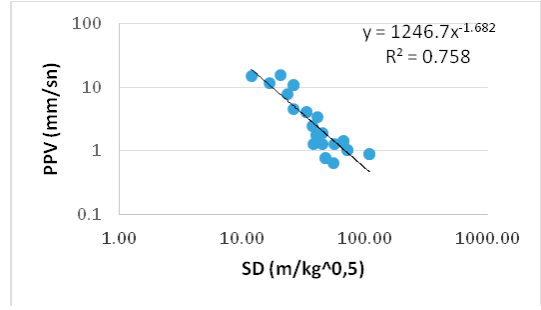
$$PPV = 1144,5 * SD^{-1,723} \quad (R^2 = 0,8942) \quad (8)$$

İyi bir korelasyon katsayısı ile sonuçlanmış olan bu formül, bölgede titreşim ölçer kullanılmadığı durumlarda; herhangi bir atımdaki gecikme başına kullanılan belirli miktardaki bir patlayıcı maddenin yaratacağı titreşimin hızının belirli bir uzaklıktaki değerinin ne olacağını tahmin etmede önemli bir yaklaşım olarak rahatlıkla (kabul edilebilir limitlerdeki bir sapma ile) kullanılabilir. Literatüre uygun olarak oldukça iyi korelasyon katsayısıyla elde edilen bu fonksiyonun grafiksel görünümü de Şekil 2, 3 ve 4'te gösterilmiştir.



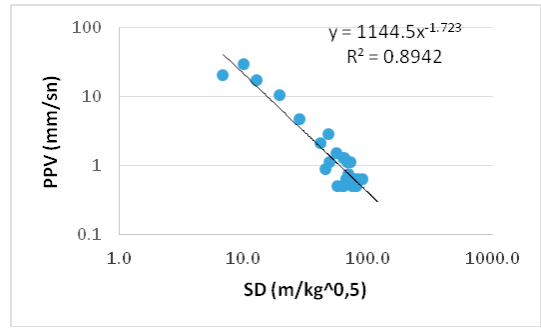
Şekil 2. 10-19 kot aralığında yapılan atımlara ait PPV-SD denklemi

Figure 2. The PPV-SD equation of shots, located in elevation 10-19.



Şekil 3. 20-29 Kot aralığında yapılan atımlara ait PPV-SD ilişkisi

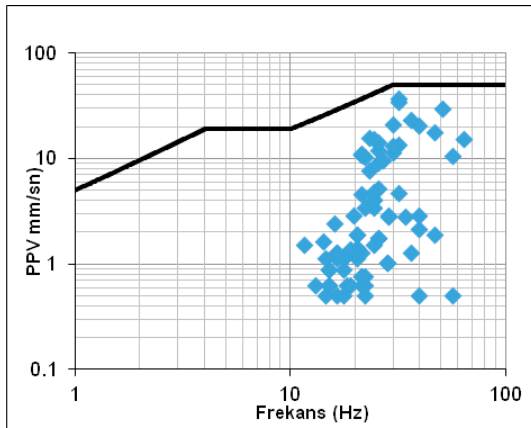
Figure 3. The PPV-SD equation of shots, located in elevation 20-29.



Şekil 4. 30-35 kot aralığında yapılan atımlara ait PPV-SD ilişkisi

Figure 4. The PPV-SD equation of shots, located in elevation 30-35.

Bu çalışmada, yer sarsıntısı ölçüm sonuçlarının çevredeki tesis ve yapılara etki derecelerini tahmin ve mukayese etmek amacıyla; T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği"nin 25/A maddesine yapılan değerlendirme uyarınca yönetmelikte verilen limitler kullanılarak çizilen grafik ve veriler arasındaki PPV-frekans ilişkisi Şekil 5'te sunulmaktadır.



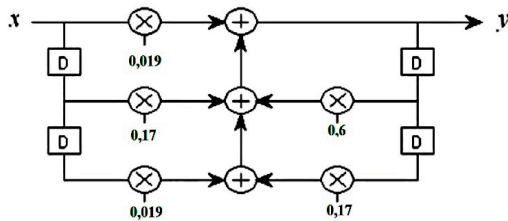
Şekil 5. Maksimum parçacık hızı ve frekansların “Çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimi yönetmeliği” ne göre yorumu

Figure 5. The peak particle velocity and evaluation of frequency values according to the “Environmental noise assessment and management regulation”

Şekil 5’te görüldüğü üzere, söz konusu atımların çevredeki tesis ve yapılarda hasara neden olacak seviyelerde olmadığı anlaşılmaktadır.

Kayıtların hakim frekansları veya frekans gruplarının ölçüm yapılamayacak zamanlarda tahmin edilmesinde karşılaşılan zorluklar nedeniyle verilerin gürültüleri önce filtrelenmiş sonra da gürültülerin değil gerçek verilerin frekanslarını bulmak üzere fourier dönüşümüyle alınan bütün kayıtlar toplu halde frekans analizine tabi tutulmuştur.

Filtrelemede kullanılan 4 bantlı filtre akış şeması Şekil 6’da sunulmaktadır.



Şekil 6. Bant filtre katsayıları ve akış şeması
Figure 6. Band filter coefficients and flowchart

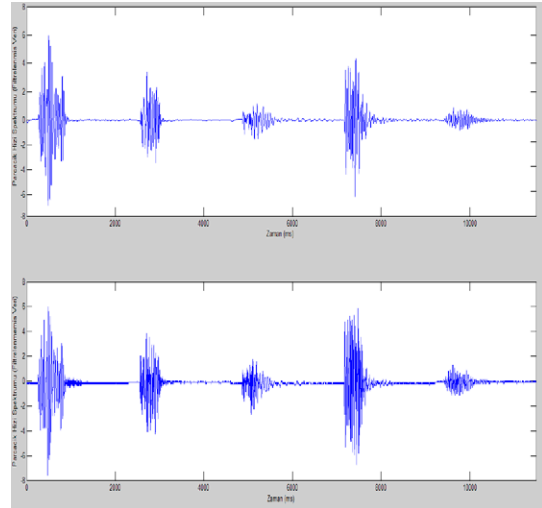
Kaydedilmiş olaylara filtre uygulanması sonucu elde edilen titreşim spektrumları Şekil 7, 8 ve 9’da gösterilmiştir. Şekillerde 82 verinin toplu halde sunun yapılmamış, her kot aralığından rastgele 5 veri seçilmiştir.

Şekillerde üst görüntü filtrelenmiş spektrumu alt görüntü ise filtrelenmemiş spektrumdur. Uygula-

lanan filtreleme analiziyle veriler gürültülerinden temizlenmiştir. 1. Ve 2. Grupta uygulanan filtre katsayıları eşit olmasına karşılık 3. Grupta filtre katsayılarının artırılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Yani 3. Grup verilerinde daha yüksek gürültü tespit edilmiştir.

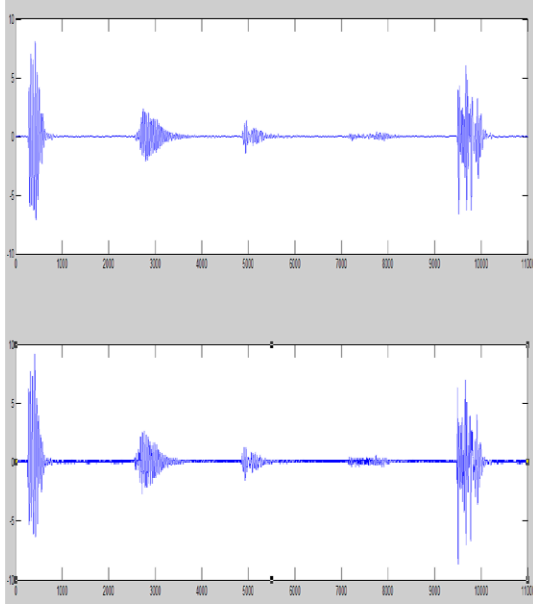
Gerçek spektrumu ortaya koymak üzere dört bantlı filtre uygulanmıştır. Verilerin gürültüden arındırılması ve daha sonra en yüksek frekans grubunu bulma amacıyla tüm veriler toplu halde ele alınarak Fourier dönüşümüne tabi tutulmuştur. Bu dönüşüm ile zaman-genlik ortamındaki veriler frekans-genlik ortamına çevrilmiştir.

11 numaralı atımda BE10704 numaralı titreşim ölçer cihazın kaydettiği olaya ait filtrelenmiş titreşim spektrumu Şekil 10’da gösterilmiştir.



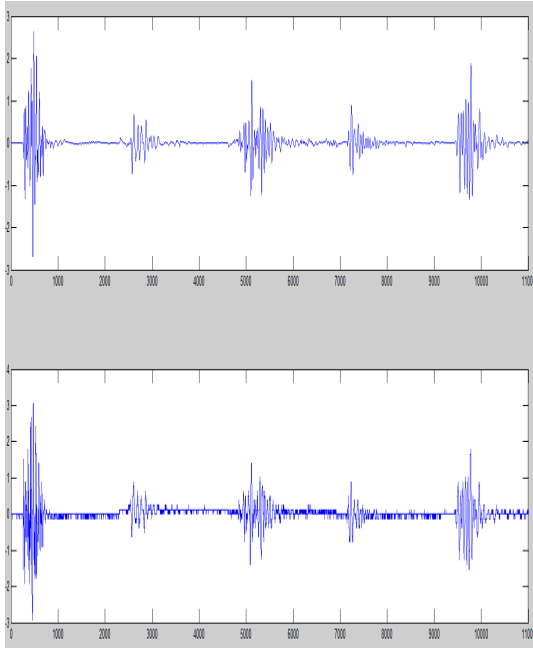
Şekil 7. 10-19 kot aralığına ait filtrelenmiş titreşim verilerinin spektrumu

Figure 7. The filtered vibration spectrum of elevation 10-19



Şekil 8. 20-29 kot aralığına ait filtrelenmiş titreşim verilerinin spektrumu

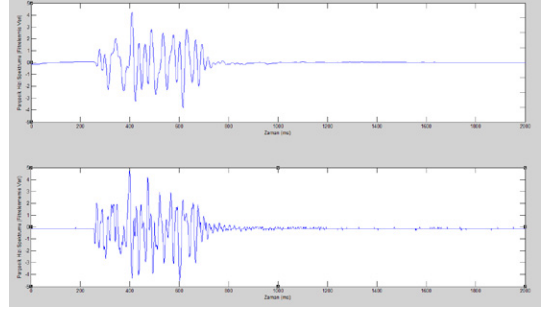
Figure 8. The filtered vibration spectrum of elevation 20-29



Şekil 9. 30-35 kot aralığına ait filtrelenmiş titreşim verilerinin spektrumu

Figure 9. The filtered vibration spectrum of elevation 30-35

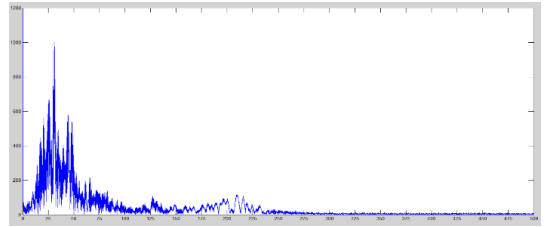
11 numaralı atımda BE10704 numaralı titreşim ölçer cihazın kaydettiği olaya ait filtrelenmiş titreşim spektrumu Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. 11 numaralı atımda BE10704 numaralı titreşim ölçer cihazın kaydettiği olaya ait gürültüden arındırılmış ve ham görüntüsü

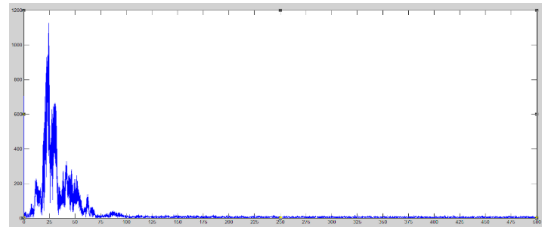
Figure 1. The filtered and unfiltered image of the vibration data recorded by BE10704 no. device in Shot 11

Farklı kot aralıklarında hakim olan frekans grupları tüm kayıtlar birlikte Fourier dönüşümü ile değerlendirilerek ortaya konmuştur. Şekil 11, 12 ve 13'te farklı kot aralıklarına ait frekans aralığı spektrumları gösterilmektedir.



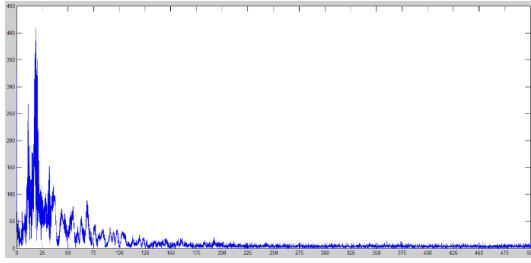
Şekil 11. 10-19 Kot Aralığı İçin Frekans Spektrumu

Figure 11. Frequency Spectrum of Elevation 10-19



Şekil 12. 20-29 kot aralığı için frekans spektrumu

Figure 12. Frequency spectrum of elevation 20-29



Şekil 13. 30-35 kot aralığı için frekans spektrumu
Figure 13. Frequency spectrum of elevation 30-35

Yapılan analizler sonucunda her kot grubunun hakim frekansı birbirinden farklı olarak elde edilmiştir. Belirlenen kot gruplarına göre elde edilen hakim frekanslar sırasıyla, I. Grupta 25-29 Hz, II. Grupta 19-23 Hz, III. Grupta ise 17-20 Hz olarak belirlenmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatürde kabul gören yöntemlerle maksimum parçacık hızı verileri çok yüksek doğruluk oranında tahmin edilebilir ancak frekans tahmininde aynı doğrulukla sonuç verebilecek bir yöntem kullanılmamaktadır. Bu çalışmada frekans tahmininde alternatif olarak kullanılacak bir yöntem ve uygulaması açıklanmıştır.

Yerleşim yeri içerisinde sürdürülen bir temel kazısı çalışması esnasında, hakim kaya biriminin kireçtaşı olması sebebiyle patlatmalı kazının kaçınılmaz olduğu anlaşılmıştır. Kazı sahasının şehir merkezinde bulunması ve risk noktalarının çok olmasından dolayı patlatma sonucu açığa çıkan titreşim verilerinin uygun yöntemlerle değerlendirilmesi ihtiyacı doğmuştur.

Çalışmada 10 atıma ait kayıt altına alınmış 84 adet sismik veri incelenmiş, verilerin incelenmesinde uygulanan yöntemler açıklanmış, uygulanmış ve veriler istatistiki olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında izlenen atımlarda kayıt altına alınan titreşim ve frekans çiftleri hasar normları nazarında incelendiğinde çevredeki yapılara hasar verebilecek düzeyde olmadıkları anlaşılmıştır.

Titreşim verileri hasar normlarında kullanılması, tahmin yöntemlerinde kullanılması ve sismik enerji kanalıyla tek başına patlatma performansı hakkında bilgi vermesi gibi özellikleri sebebiyle daha detaylı analiz edilmiştir.

Patlatma titreşim kayıtları çoğunlukla bileşik ve üst üste binmiş dalgalardan oluşur ve yüksek

oranda gürültü içerir. Titreşim verisi üzerindeki bir gürültü frekans ve enerji hesaplamalarında çok yüksek yanlıya sebep olabilir. Bu nedenle titreşim verilerinin gürültüden arındırılması gerekmektedir.

Buradan hareketle kayıt altına alınan veriler ilk aşamada filtrelenerek gürültülerinden temizlenmiş ve gerçek spektrumları ortaya konmuştur. Değerlendirme yapılırken BlastWare ve matlab programları kullanılmıştır.

Daha sonra ise gürültüsüz kayıtlar toplu halde fourier dönüşümüne tabi tutulmuştur. Bunun sebebi bir kot aralığına ait tüm verilerin baskın frekanslarını aynı grafik üzerinde görmektir.

Yapılan analizler sonucu I. Ve II. Grupta uygulanan filtre katsayıları eşit olmasına karşılık III. Grupta filtre katsayılarının artırılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Yani III. Grup verilerinde daha yüksek gürültü tespit edilmiştir.

Frekans analizi sonucunda ise I. Grupta baskın frekans aralığı 25-29 Hz, II. Grupta 19-23 Hz, III. Grupta ise 17-20 Hz olarak belirlenmiştir.

Bu sonuçlardan yola çıkarak kazı derinliği arttıkça frekans değerleri düşerken gürültülerin azaldığı söylenebilir.

Yerleşim yeri içerisinde bulunan kazı sahalarında dikkat edilmesi gereken ek hususlar aşağıda sıralanmıştır;

- Altyapı unsurları ve çevre yapılar, her atımda dikkate alınmalıdır.
- Atımlar sürekli olarak izlenmeli, dikkatle tasarlanmalı ve özenle uygulanmalıdır.
- Atımların verileri ve titreşim sonuçları dikkate alınarak gelecekte uygulanacak atımların paternleri sürekli bir şekilde teknik elemanların kontrollerinden geçirilmesi, atımların kazı hızı sürekliliği, güvenliği, verimliliği ve çevresel etkilerin en aza indirilmesi açısından yararlı olacaktır.
- Yapılan Frekans analizi sonucuna göre kazı derinliği arttıkça frekansın azaldığı belirlenmiştir. Bu noktadan hareketle kazı derinliğindeki artışa bağlı olarak derinlere inildikçe yapılacak patlatmalarda, hasar normlarındaki PPV-Frekans ilişkisi dikkate alınarak gerektiği hallerde patlayıcı miktarları, gecikme aralıkları ve patlatma tasarımının revize edilmesi çevre yapılarda oluşabilecek hasar açısından daha emniyetli olacaktır.

REFERENCES

- Ambraseys NR Hendron AJ, 1968, Dynamic Behaviour of Rock Masses, in: *Rock Mechanics in Engineering Practice*, Editors: Stagg KG, Zienkiewicz OC, John Wiley and Sons, London, 203-207.
- Brady, B.H.G, and Brown E.T., 1985, *Rock Mechanics for Undergroud Mining*, Chapman Hall. 517 pages.
- Bulletin of United States Bureau of Mines (1980), USA.
- Crandell, F.J., 1949; *Ground Vibration Due to Blasting and Its Effect Upon Structures*, Reprinted from *Journal of Boston Society of Civil Engineers*.
- Dowding CH (1985) *Blast Vibration Monitoring and Control*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, pp. 119-126.
- German Standard DIN 4150-3:1999 "Structural Vibration – Part 3: Effects of Vibration on Structures"
- Ghosh A, Daemen JJK, 1983, A Simple New Blast Vibration Predictor (Based on Wave Propagation Laws), 24. U.S. Symp. On Rock Mechanics, June, 151-161.
- İBB 2013, *Kent Jeolojisi Haritalama ve Yer Mühendislik Veri Tabanı Çalışmaları Raporu*, İstanbul.
- Kalayci Ü, Karadoğan A, Özer Ü, Güçlücan Z, Akgül M (2011) "Beykoz Atık Su Tüneli Kazı Çalışmaları Sırasında Patlatma Kaynaklı Titreşim Analizi" *The Symposium of Mining and Environment*, İzmir, Turkey, 2-3 January, Vol.1, pp.133-142.
- Kalayci Ü., Özer Ü., Karadoğan A., Özyurt M.C., "Investigation of Dominant Frequency by Vibration Monitors", VI. Uluslararası Doğaltaş Kongresi, ANTALYA, TÜRKİYE, 22-25 Ekim 2014, pp.63-63
- Kalayci Ü, Özer Ü, Karadoğan A (2012) "Patlatmada Harcanan Faydalı Enerji İle Patlatma Verimi Arasındaki İlişkinin Araştırılması", *The Journal of Mining*, vol.5, pp.14-18.
- Kalayci Ü (2011) *The Investigation Of Relationship Between Spending Useful Energy in Blasting with The Efficiency Of Blasting*. İstanbul University, Institute of Sciences, Master Thesis.
- Karadogan, A., 2008, *Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimler İçin Ulusal Yapı Hasar Kriterleri Oluşturulabilirliğinin Araştırılması*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi
- Karadoğan A., Özer Ü., Kahrıman A., "Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Tahmini İçin Farklı Kayaların Saha Sabitlerinin Belirlenmesi", *İstanbul Yerbilimleri Dergisi (E.A:İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi)*, cilt.25, ss.9-23, 2012.
- Khandelwal M, Singh TN, (2007) Evaluation of blast-induced ground vibration predictors. *Soil Dyn Earthq Eng* 27(2007):116–125.
- Langefors, U, Khilström, B., 1973, *Rock Blasting*, John Wiley and Sons, New York.
- Less, G., Özcan E., Aral I. Okay, 2011, *Straigraphy and Larger Formanifera of Middle Eocene to Lower Oligocene Shallow-Marine Units in the Northern and Eastern Parts of the Thrace Basin, NW Turkey*, *Turkish Journal of Earth sciences*, TÜBİTAK
- Matlab, 2014, *Users Manual*.
- Medearis, K., 1976, *Structural response to nuclear detonation ground motions*, *Proceedings of the ASCE Engineering Mechanics Division Specialty Conference on the Dynamic Response of Structures*, March.
- Nicholls HR, Johnson CF, Duvall, W, 1971, *Blasting Vibrations and Their Effects on Structure*, United States Department of Interior, USBM, Bulletin 656.
- Ozer U, Karadogan A, Kalayci, U, Aksoy M, Ketici, Z, *Effects to The Motion of Vibrations Waves of Fault Planes*, ISEE Symposium, 2011, Tennessee, USA.
- Ozer, U., Karadoğan, A., Kalayci, Ü., Özyurt, M.C., (2014), *İstanbul İli Maltepe İlçesi 2588 Ada 25-27-29-31-33 Parseller, 2543 Ada 10-18-36-37-39 Parseller ve 496 Ada 3 Parselde Gerçekleştirilen Proje İşleri Kapsamında Patlatmalı Temel Kazısı İçin Ön Tasarım Raporu (Teknik Rapor)*, 2014
- Ozer, U., Karadoğan, A., Özyurt, M.C., *İstanbul İli Maltepe İlçesi 2588 Ada 25-27-29-31-33 Parseller, 2543 Ada 10-18-36-37-39 Parseller ve 496 Ada 3 Parselde Gerçekleştirilen Proje İşleri Kapsamında Patlatmalı Temel Kazısı Çalışmalarından Kaynaklanan Titreşim ve Hava Şoku Ölçümlerinin Değerlendirilmesi (Teknik Rapor)*, 2015
- Ozer, U., Karadogan, A., Aksoy, M., 2013, *Açık Ocaklarda Patlatma Enerji Bileşenleri Dağılımının Belirlenmesi ve Bu Dağılımdan Hareketle Patlatma Tasarım Optimizasyonu Yapılabilirliğinin Araştırılması*, Tübitak Project, Project No: 110M555

- Rumsey DJ (2011) *Statistics For Dummies*, ISBN: 978-0-470-91108-2, 384 pages.
- Siskind, D.E., Stagg, J. Kopp, J.W., Dowding C.H., 1980, *Structure Response and Damage Produced by Ground Vibrations from Surface Mine Blasting*. USBM Report of Investigation 8507, U.S. Bureau of Mines, Twin Cities.
- Uzler, H.M., Dalgiç, S., Uzer, U., Vize (Kirkklareli) 200703840 Ruhsat Numaralı II.Grup Taşocaklığında Gerçekleştirilen Patlatmalı Madencilik Faaliyetlerinin Jeolojik, Hidrojeolojik ve Madencilik Açısından Değerlendirilmesi, İstanbul Üniversitesi Çevre ve Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, İstanbul, 2011.

