

Sualtı Patlatmalarından Kaynaklı Titreşimlerin Yayılımında Derinlik Etkisinin Araştırılması

Investigation of Depth Effect for Underwater Blasting-Induced Vibrations Propagation

BİROL ALAS¹, SADETTİN BAĞDATLI^{2*}, ALP LÜLEÇİ³, HASAN CEYHUN TÜRE³

¹Okan Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 34722 İstanbul

²Okan Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, 34722 İstanbul

³Türk Deniz Kuvvetleri Sualtı Savunma Grup Komutanlığı, 34829 İstanbul

Geliş (received) : 22 Haziran (June) 2016

Kabul (accepted) : 07 Şubat (February) 2017

ÖZ

Dünyada özellikle son 50 yılda gelişmeye başlayan sualtı patlatma teknolojisi insani bir takım gerekler ve zorunluluklar nedeniyle ilerleme göstermeye başlamıştır. Sualtı patlatmalarının, yeryüzünde yapılan patlatmalarda olduğu gibi bir takım çevresel etkileri vardır. Sualtı patlatmalarının çevresel etkilerinden birisi de titreşimdir. Patlatma kaynaklı titreşimlerin yayılımının; mesafe, patlayıcı miktar ve jeolojik özelliklere bağlı olarak değiştiği bilinmektedir.

Bu çalışmada; sualtı patlatmalarından kaynaklı titreşimlerin değişiminde, derinlik faktörünün etkisi incelenmiştir. Bu amaçla; iki farklı dönemde, aynı bölgede, farklı derinliklerde yapılan sualtı patlatmaları istatistiksel olarak incelenerek, derinliğin sualtı patlatma kaynaklı titreşimlerine olan etkisi tartışılmıştır. Yapılan testler sonucunda; derinliğin, sualtı patlatma kaynaklı titreşimlere etki etmediği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, patlatma kaynaklı titreşim tahmini için kullanılan; maksimum parçacık hızı (PPV) ile ölçekli mesafe (SD) eşitliklerinden yararlanılarak, çalışma kapsamında yapılan patlatmaların titreşim yayılımı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Derinlik, patlayıcı, sualtı patlatma, titreşim.

ABSTRACT

The underwater blasting technology improvement that especially gained way in last 50 years, this process accelerated due to some humanitarian needs and obligations. Underwater blasting has environmental effects as surface blasting, vibration is one of them. The propagation of blasting-induced vibration which is known to vary depending on distance, amount of explosive and geological features.

In this study, effect of depth was investigated for propagation of underwater blasting-induced vibrations. In accordance with this purpose, in two different periods, underwater blasting at different depths were analyzed statistically in the same area and then depth effect discussed for impact of underwater blasting-induced vibration. As result of the test, the effect of depth could not be determined to propagation of vibration for underwater blasting. Also, PPV and SD equations were used for prediction of blasting-induced vibrations. Then, blasting-induced vibration propagation of blasting were examined within the scope of this study

Keywords: Depth, explosive, underwater blasting, vibration.

*S.Bağdatlı

e-posta: sadettin.bagdatli@okan.edu.tr

GİRİŞ

Patlayıcı maddeler kullanım alanlarına göre; ticari patlayıcılar ve askeri patlayıcılar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Askeri patlayıcılar; genellikle RDX, TNT, nitrogliserin gibi yüksek hassasiyetli maddelerden üretilen, infilak hızı yüksek patlayıcılar olup; tahrip etkisinden faydalanılarak savunma ve taarruz amaçlı olarak kullanılmaktadır. Ticari patlayıcılar ise; genellikle amonyum nitrat bazlı, infilak hızı, askeri patlayıcılara göre, nispeten düşük olan patlayıcılardır. Ticari patlayıcıların en yaygın kullanım alanı ise kaya kırma amaçlı olan madencilik ve inşaat faaliyetleridir. Özellikle, büyük hacimli alanlardaki kaya kazılarında patlatmalı kazı faaliyetleri; ekonomik ve hızlı olması nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir.

Patlayıcı maddelerin avantajları yanında dezavantajları da söz konusudur. İster askeri ister ticari amaçlı üretilen patlayıcılar olsun, bu maddeler bir takım tehlikelere ve risklere sahiptir. Kontrolsüz olarak infilak etme, statik elektrikten etkilenme (tüm patlayıcı ürünlerde söz konusu değildir) vb. tehlikelerin yanında, patlayıcı maddelerin kullanımında; titreşim, hava şoku, kaya ya da taş savrulması, toz vb. çevresel etkilerde söz konusudur. Patlatma çalışmalarında, titreşim; tesir ettiği alanın diğer çevresel etkilere nazaran daha geniş olması nedeniyle üzerinde daha çok çalışılan ve araştırılan bir alandır. Titreşim konusu, askeri ve ticari patlayıcıların kullanıldığı çalışmalar içinde, çevresel etkiler açısından önemli konulardan birisidir.

Kaya kırma amaçlı yapılan patlatmalı kazıların büyük kısmı, yerüstü ve yeraltı yapılarında yapılmaktadır. Yeraltı ve yerüstü yapılarda gerçekleştirilen patlatmalı kazı faaliyetleri yanında oldukça küçük bir oranda gerçekleştiriliyor olsa da su altında da patlatmalı kazı faaliyetleri zaman zaman kullanılan uygulamalardır. Sualtı patlatmalı kazıları genellikle; gemilerin liman ya da koylara yanaşabilmesi, iskele inşaatları, su yollarının açılması vb. amaçlarla icra edilmektedir. Yapılan bu çalışmalar, sadece ticari amaçla değil, kimi zaman askeri amaçlar için de uygulanabilmektedir.

Siğ derinliklere gemilerin yanaşabilmesi (geçici lokal alanlar için), su altında infilak etmemiş patlayıcı mühimmatların infilak ettirilmesi vb. durumlarda, savunma ya da taarruz amacı taşımayan, askeri amaçlı sualtı patlatma çalışmaları yapılabilmektedir. Bu tür patlatma ihtiyaçları genellikle plansız olarak ortaya çıktığı için, söz konusu çalışmalarda sualtında delgi yapılarak patlayıcı şarj deliklerinin oluşturulması

mümkün olmayabilmektedir. Bu gibi durumlarda, tahrip gücü yüksek patlayıcı maddelerle (C4, TNT vb.) yüzey şarjı yapılarak patlatma gerçekleştirilmektedir. Böylelikle hızlı bir şekilde kaya kırma, patlatma patlayıcı mühimmat infilakı vb. amaçlarla çalışmalar yürütülmektedir.

Gerçekleştirilen bu tür işlemlerin, yerleşim alanlarına yakın olması durumunda özellikle titreşim etkilerinin karada ki yapılara etkisi önem arz etmektedir. Literatürde, karada gerçekleştirilen patlatma çalışmalarından kaynaklı titreşimlerin yayılımına yönelik Duvall ve Fogelson (1962); Langefors ve Khilström (1978); Kahrman (2004); Khandelwal ve Singh (2007); Ozer (2008) gibi birçok araştırmacı çalışma gerçekleştirmiştir. Söz konusu araştırmalar; kaya üzerinde delik delinmesi ve deliğin içerisine patlayıcı şarj edilmesi ile gerçekleştirilen patlatmaların mesafe ve kullanılan patlayıcı miktarına bağlı olarak gerçekleştirilen çalışmalardır.

Bu araştırma kapsamında ise; Lüleci (2014) ve Türe (2015)'nin araştırmaları esnasında, sualtında yapılan patlatmalarda, kaya üzerine delgi vb. işlem yapılmadan sabitlenmiş patlayıcı maddenin infilak etmesiyle oluşan titreşimlerin, sualtı patlatma derinliğine bağlı olarak değişim gösterip göstermediği incelenmiştir. Ayrıca, madencilik ve inşaat faaliyetlerinde yapılan patlatmalarda oluşan yer sarsıntılarının tahmin edilmesinde kullanılan eşitliklerin, kayada delik oluşturulmadan, yüzey şarjı ile yapılacak sualtı patlatmalardan kaynaklı titreşimlerin tahmininde kullanılıp kullanılmayacağı değerlendirilmiştir.

ARAŞTIRMADA KULLANILAN YÖNTEM

Patlatmadan kaynaklı oluşan titreşimlerin etkileri genellikle maksimum parçacık hızı (PPV- Peak Particle Velocity) ile incelenmektedir. Maksimum parçacık hızını belirlemede farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda, anlık olarak (gecikme başına) patlatılacak patlayıcı miktarı ile mesafe ilişkilendirilerek ölçekli mesafe değeri tespit edilir. Ölçekli mesafeyi belirlemede literatürde bulunan birkaç denklemden biri Eşitlik (1) dir. Ölçekli mesafe kavramı ile ilişkilendirilerek maksimum parçacık hızı tahmininde sıklıkla kullanılan denklem ise Eşitlik (2) de verilmiştir (Duvall ve Fogelson, 1962; Nicholls vd., 1971; Siskind vd., 1980).

$$SD = R/W^{0.5} \quad (1)$$

$$PPV = K * (SD)^{-\beta} \quad (2)$$

Burada; SD ölçekli mesafe, PPV maksimum parçacık hızı (mm/s), R patlatma noktası ile ölçüm noktası arası mesafe (m), W gecikme başına kullanılan (anlık) patlayıcı miktarı (kg), K ve β arazi katsayılarıdır.

Maksimum parçacık hızını oluşturan parametreler incelendiğinde; R ve W parametreleri değiştirilebilir bağımsız değişkenler iken, K ve β ise çalışma yapılan arazinin jeolojik özelliklerine göre değişiklik gösteren bağımlı değişkenlerdir.

Araştırmada; Eşitlik (1) de verilen denklem temel alınarak, sualtı patlatmalarda, su derinliğinin maksimum parçacık hızına etkisinin olup olmadığı incelenmiştir. Bu amaçla, 2 farklı dönemde, aynı bölgede sualtı patlatma çalışmaları yapılmıştır. Patlatma çalışmaları esnasında oluşan patlatma kaynaklı titreşimler, titreşim ölçer cihazlar vasıtasıyla kayıt edilmiştir. Elde edilen kayıtlar farklı istatistiksel yöntemlerle analiz edilerek, patlatma kaynaklı titreşimlerin oluşumunda derinliğin etkisi değerlendirilmiştir.

ÇALIŞMA YAPILAN BÖLGENİN KONUMU VE JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

Çalışmanın gerçekleştirildiği yer İstanbul ili, Beykoz ilçesi, Riva Köyü, Çayağzı mevkiinde bulunan Soğanadası yarım adasıdır (Şekil 1). İstanbul iline TEM yolu, Kavacık sapağı yolu ile 23 km, Beykoz ilçesine eski köy yolları üzerinden 22 km uzaklıktadır. Toplam uzunluğu 70 kilometre olan, İstanbul'un su ihtiyacının yarısını karşılayan ve Ömerli Barajı'nın su kaynağını oluşturan Riva Deresi, Gebze'den doğar ve Riva'da Karadeniz'e dökülerek son bulur.

Çalışmanın gerçekleştirildiği Riva Bölgesi'nin içinde bulunduğu formasyon, İstanbul Boğazı'nın her iki yakasında dar şerit biçiminde, Karadeniz kıyısına kabaca koşut uzanan Üst Kretase yaşlı kırıntılı ve volkanik kayalar kapsayan Sarıyer Formasyonu adıyla adlandırılmıştır.

Karadeniz kıyısına kadar uzanan ilçe sınırları içinde, söz konusu kırıntılı ve volkanitlerin kalın bir istifini kapsayan Sarıyer adının istifin tümü için formasyon adı olarak korunması, adlamada öncelik kuralı da gözetilerek, benimsenmiştir. İstifin alt düzeyinde kırıntılılar üst düzeyinde ise volkanitler egemendir. Birbirleriyle yan ve düşey geçişli olan ve birbirlerine ait kaya türlerini ara katkılar halinde de kapsayabilen bu iki düzeyin, tek bir formasyona ait üyeleri olarak adlandırılması yeğlenmiştir. Bu düşünce ile Bozhane Formasyonu tek başına "Bozhane Üyesi" ve başlıca

volkanitlerden oluşan Garipçe ve Kısırkaya formasyonları ise birleştirilerek "Garipçe Üyesi" adlarıyla Sarıyer Formasyonu kapsamında incelenmiştir.

Riva Bölgesinin içinde olduğu Garipçe Üyesi adını, Boğaz'ın batı yakasında, söz konusu volkanitlerin yoğun olarak yüzelediği Garipçe köyünden alır. Boğaz'ın Karadeniz'e çıkış kesiminin her iki yakasında ve Karadeniz kıyı kesiminde yaygın olan volkanitler çeşitli araştırmacılar tarafından değişik adlar altında incelenmiştir.

Garipçe Üyesi; başlıca andezit-bazaltik andezit türü volkanit kökenli kum, çakıl, kocataş (blok) boyutunda kaotik gereç kapsayan, genellikle porfirik dokulu aglomera, volkanik breş ve lavlardan oluşur ve İshaklı-Kılıçlı köyleri arasındaki asfalt yol boyunca görüldüğü gibi, Bozhane Üyesi'nin kırıntılılarıyla ardalananaglomera düzeyleri ile başlar. Üste doğru volkanitler ve volkanik kökenli çökeller egemen olur. (Gedik vd., 2005)

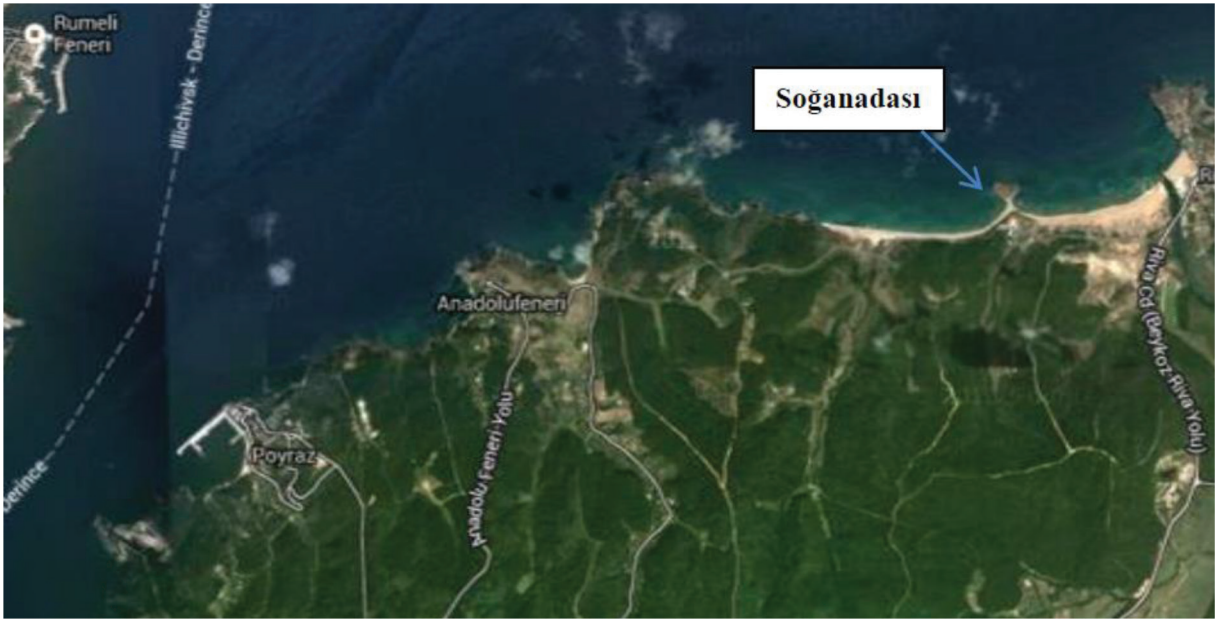
ARAŞTIRMADA KULLANILAN MALZEME VE CİHAZLAR

Çalışmalarda; C-4 plastik patlayıcı, emniyetli fitil, infilaklı fitil, adi kapsül, askeri ateşleme çakmağı, derinlikölçer, zodiak bot, lazer mesafe ölçer ve GPS kullanılmıştır. Kullanılan patlayıcı malzemelerin bir kısmı Şekil 2'de gösterilmiştir.

Patlatma kaynaklı titreşimler Instanetel firmasının ürettiği Mini Mate Plus ve Minimate Blaster model titreşim ölçer cihazları ile ölçülmüştür. Sistem üç adet algılayıcı (boyuna, enine ve düşey), mikrofon, yazıcı, şarj, kontrol ve hafıza, bilgisayar bağlantı sistemi, muhafaza ve taşıma ünitelerinden oluşmaktadır. Cihazın kayıtları; zaman esaslı olarak her bir olay için hava şoku, genlik, frekans, ivme ve parçacık hızı bileşenlerini (boyuna, enine, düşey, bileşke ve maksimum) içermektedir.

ARAZİ ÇALIŞMALARI

Arazi çalışmaları iki farklı dönemde gerçekleştirilmiştir. İlk olarak Aralık-2013 döneminde 1.dönem patlatma çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar doğrultusunda Nisan-2015 döneminde 2.dönem patlatma çalışmaları gerçekleştirilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Her iki dönemde yapılan çalışmalar aşağıda detaylı olarak aktarılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanının uydu görüntüsü (Google Earth)
Figure 1. Satellite image of the study area (Google Earth)



Şekil 2. Çalışmada kullanılan patlayıcı malzemeler
Figure 2. Explosive materials used in study

Patlatma çalışmalarının tamamı, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı ile yapılan protokole istinaden Sualtı Savunma Grup Komutanlığı'nın icra ettikleri sualtı tahrir eğitimlerinden istifade ile gerçekleştirilmiştir.

1. Dönem Arazi Çalışmaları

1. dönem arazi çalışmaları kapsamında, derinliğin titreşim değerlerine olan etkisini belirleyebilmek aç-

sından, denizin kara ile birleştiği 0 noktası (su üstünde), deniz içerisinde ise 0.5m, 1 m ve 2 m derinlikler çalışma noktaları olarak belirlenmiştir. Fakat olumsuz hava koşulları sebebiyle 1 m derinliğin altına inmek çalışma esnasında mümkün olmadığı için 2 m lik derinlik iptal edilerek, bu grupta patlatılması planlanan patlayıcı maddeler 1 m derinlikte kullanılmıştır. Oluşturulan 3 farklı derinlikteki 4 grupta, her bir grupta sırasıyla; 25 gr., 50 gr., 100 gr., 200 gr. ve 500 gr. lık miktarlarda C-4 plastik patlayıcı kullanılmıştır. Kullanılan patlayıcıların tümü eğitilmiş ve yetkin personel tarafından hazırlanarak kullanılacağı alana yerleştirilmiş, yerleştirilen noktanın derinlik ve koordinatları (GPS ve lazermetre ile) itina ile kaydedilmiştir. Titreşimin yayılımını görmek üzere sistematik olarak yerleştirilen titreşim ölçer cihazların koordinatları yine GPS vasıtasıyla ölçülerek kayıt edilmiştir. Patlatma ve ölçüm konumları Çizelge1 ve 2'de verilmiş ve Şekil 3'te kesit ve plan olarak gösterilmiştir. Ateşlenen tüm patlayıcılar derinlik, koordinat, patlayıcı madde miktarı ve patlama saatine göre dikkatlice kayıt edilmiştir.

1. Dönem Patlatma Çalışmaları

Söz konusu sahada, derinliğin titreşim değerlerine olan etkisini belirleyebilmek açısından, denizin kara ile birleştiği 0 noktası (karada), deniz içerisinde ise 0.5 m ve 1m derinlikte 4 grupta, her bir grupta sırasıyla; 25 gr., 50 gr., 100 gr., 200 gr. ve 500 gr. lık miktarlarda C-4 plastik patlayıcı patlatılmıştır. Toplamda gerçekleştirilen 20 adet atım esnasında oluşan 134 adet olayın parçacık hızı bileşenleri ölçekli mesafe unsurları ve derinlikler ile birlikte kayıt edilmiştir. Ölçümlere ait bazı ölçüm değerleri Çizelge 3' te verilmiştir.

Çalışma süresince 8 adet kalibrasyonları güncel titreşim ölçer cihaz patlatma noktalarına göre, titreşimin yayılımını gösterecek şekilde sistematik olarak

yerleştirilmiştir. Bazı atımlarda, kullanılan patlayıcı miktarı ve cihaz ile patlatma noktası arasındaki mesafeden dolayı kayıt alınamamıştır.

Elde Edilen Kayıtların İstatiksel Olarak İncelenmesi

Çalışma kapsamında 20 atımda kayıt edilen 134 olay 3 farklı derinlikte elde edilmiştir. Bu derinlikler; denizin kara ile birleştiği 0 noktası (su üstünde), deniz içerisinde ise 0.5 m ve 1 m olarak uygulanmıştır. Elde edilen verilerden patlayıcı miktarları, patlatma noktası ile ölçüm istasyonları arası mesafeler ve derinlik bileşenleri kullanılarak bu bileşenlerin parçacık hızına olan etkisi analiz edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda Parçacık hızı (PPV) ile hesaplanan ölçekli mesafe (SD) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki elde edilmiştir. PPV ile derinlik ilişkisini incelemek için ise Anova, Kruskal Wallis-H Testi, Doğrusal Regresyon, Lojistik Regresyon gibi istatistiksel testler yapılmış, verilerin gruplandırılmadığı/yerleştirilemediği sonuçları edilmiştir.

Titreşim Yayılımının İzlenmesi ve Arazi Katsayılarının Tespiti

Yukarıda bahse konu derinlik ve PPV arasında istatistiksel bir bağlantı elde edilememesinden dolayı, derinlik değerleri mesafe (uzaklık) olarak değerlendirilmiş ve ölçekli mesafe hesabında etkin bir parametre olarak kullanılmıştır (Dowding, 1985).

Bu tür uygulamalarda en sık kullanılan yöntem olan maksimum parçacık hızı değerleri ve ölçekli mesafe değerleri için regresyon analizi yapılarak çalışılan sahaya özgü K, arazi katsayısı ile β , arazi sönümlenme katsayısı tespit edilmiştir.

Çizelge 1. Patlatma yapılan gruplara ait konumlar
Table 1. Coordinates of blasting groups

Patlatma Grup No	Enlem	Boylam	Derinlik (m)
1	41.222500	29.200278	0
2	41.222500	29.200278	0.5
3	41.222778	29.200000	1
4	41.222778	29.200000	1

m: metre

Çizelge 2. Titreşim ölçer cihaz istasyonlarına ait konumlar
Table 2. Coordinates of seismograph

Cihaz Seri Numarası	Enlem	Boylam	Yükseklik
13744	41.222778	29.200278	6
20486	41.189444	29.200278	4
20488	41.222500	29.200556	6
20487	41.222778	29.200556	6
13743	41.222778	29.200556	6
14361	41.222778	29.200833	6
13426	41.222778	29.200833	6
14360	41.222778	29.200833	8



Şekil 3. Patlatma ve titreşim ölçüm noktalarını gösterir uydu ve kesit görüntüsü (1.Dönem)

Figure 3. Satellite image and cross-section view of blasting and vibration measurement points (1st period)

%50 Ortalama tahmin denklemi

$$PPV = 2786.1 * SD^{-1.41} \quad (r = 0.79) \quad (3)$$

%95 Üst tahmin denklemi

$$PPV = 14223.3 * SD^{-1.41} \quad (r = 1) \quad (4)$$

Burada; r korelasyon katsayısıdır.

Literatüre göre iyi bir korelasyon katsayısı ile bulunan bağıntılar yukarıda olduğu gibidir. Elde edilen korelasyon katsayısı; patlayıcı maddenin kaya içerisine sabitlenerek gerçekleştirildiği delik içi patlatma uygu-

lamalarına kıyasla oldukça yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. Yüzey şarjı şeklinde gerçekleştirilen patlatmalarda, açığa çıkan enerjinin daha düzensiz dağılması beklenmektedir. Çalışmada elde edilen verilerin birbiriyle ilişkili sonuçlar vermesinin başlıca nedeni, patlayıcı maddelerin zemine sıkı biçimde sabitlenmiş olması, hazırlanan düzeneklerin üzerlerinin ağırlıklarla desteklenerek stabil hale getirilmesinin etkisi olduğu düşünülmektedir. Elde edilen maksimum parçacık hızı değerlerinin tamamının düşey (vertical) bileşende kayıt edilmesi bu görüşü destekler

Çizelge 3. Bazı Patlatma Titreşim Sonuçları (1.Dönem)
Table 3. Examples of vibrations of someblastings

Grup No	Max. Parçacık Hızı (PPV) (mm/s)	Frekans (f) (Hz)	Gecikme Başına Toplam şarj (W) (kg)	Mesafe (R) (m)	Ölçekli Mesafe (SD)	Derinlik (m)
1	3.05	64	0.2	35.51	79.40	0
1	3.17	73	0.5	52.61	74.40	0
2	7.62	49	0.1	14.32	45.28	0.5
2	1.78	79	0.2	35.51	79.40	0.5
3	31.7	64	0.1	14.32	45.28	1
3	3.05	64	0.2	35.51	79.40	1
4	0.635	93	0.025	39.46	249.57	1

niteliktedir. Fakat bu konuda, çalışma esnasında detaylı değerlendirme yapma imkanı oluşmadığı için kati bir görüş bildirmek mümkün olmamaktadır.

2. Dönem Arazi Çalışmaları

1. dönem arazi çalışmaları kapsamında yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler gözlemsel olarak incelendiğinde her ne kadar derinliğe bağlı bir değişim görülmüş olsa da istatistiksel analizler sonucunda bu değişim tespit edilmemiştir. Bunun nedeninin verilerin derinlik değişkenine göre yeterli sayıda olmayışı ve hava şartları münasebetiyle patlayıcı düzeneklerin kayaç üzerine yerleştirilip sabitlenmesinde yaşanan sıkıntılar olduğu düşünülmektedir. Bu problemlerin giderilerek, 2.dönem arazi çalışmalarında bir uygulama modeli oluşturulmuştur.

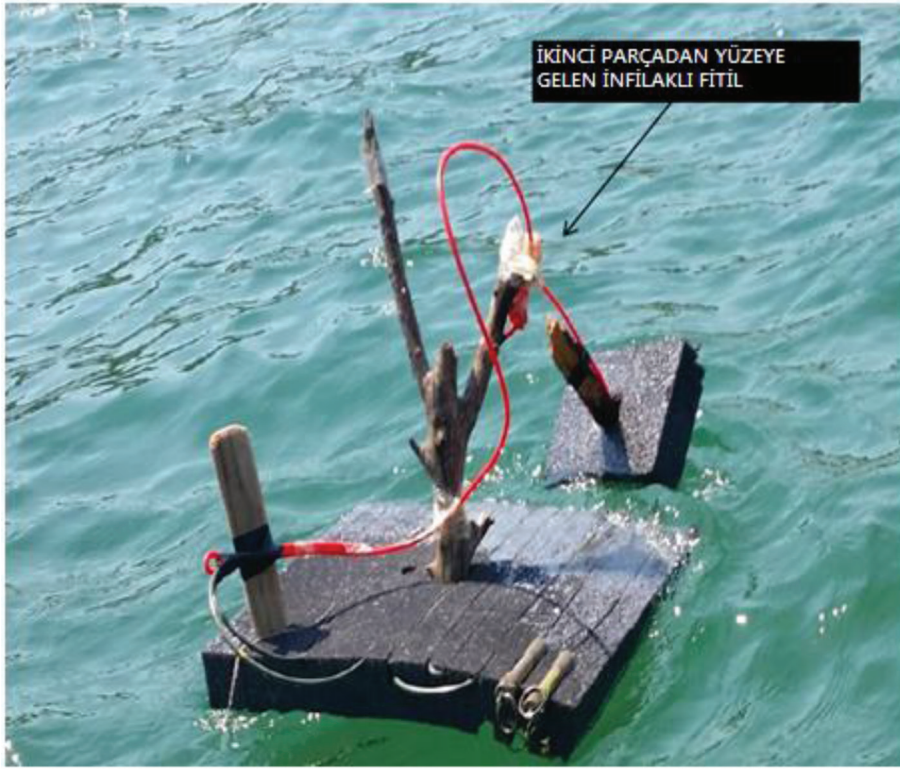
Oluşturulan modele göre; patlatma derinliklerinin artırılması, patlayıcı düzeneklerinin deniz tabanında hareket etmeyecek şekilde sabitlenmesi planlanmıştır. Bu doğrultuda sualtı patlayıcı düzenekleri hazırlanmıştır. Sualtı patlatma düzeneği temel olarak 2 parçadan oluşmaktadır. Birinci parçada patlatma süresine göre kesimi yapılmış olan emniyetli fitile bağlı adi kapsül ve ucuna irtibatlı ateşleme çakmağı su üzerinde yüzecek köpüğe yerleştirilmiştir. Adi kapsülün su sızdırmazlığı sağlanmış ve ucuna ikinci parçayla irtibatı sağlayacak olan infilaklı fitil irtibatlanmıştır.

Sualtı Patlatma Düzeneğinin ikinci kısmında C4 ana patlayıcı üzerine infilaklı fitil sarılmış ve aynı infilaklı fitil derinliğe göre ayarlanarak yüzeye gelecek uzunlukta kesilmiştir. İkinci parçada C4 ana patlayıcıyı tabana

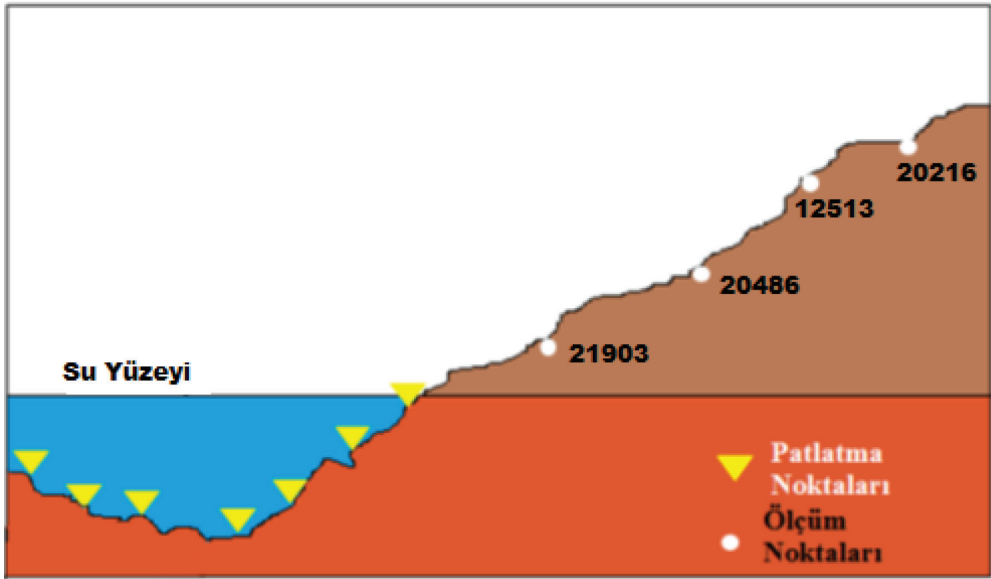
sabitlenme maksatlı olarak kaya parçası ana dolguya ip vasıtasıyla bağlanmıştır. Araştırma kapsamında yapılan düzeneğe ait fotoğraf Şekil 4'te olduğu gibidir.

Dalgıçlar öncelikle ikinci parçada bulunan C4 ana patlayıcıyı kaya parçası yardımıyla dibe sabitleyerek infilaklı fitil ucu ile satha gelirler, müteakiben birinci parçaya ait infilaklı fitil ucu ile ellerinde bulunan infilaklı fitil ucu irtibatlanarak verilen komutla ateşleme çakmakları çekilir ve dalgıçlar bota alınarak emniyetli sektörde patlatmalar beklenir. Patlatmalar arasındaki 1'er dakikalık zaman farkı emniyetli fitillerin uygun uzunluklarda kesilmesiyle ayarlanmıştır.

Derinliğin titreşim değerlerine olan etkisini belirleyebilmek maksadıyla denizin kara ile birleştiği 0/0.5 m, 2 m, 3 m ve 4 m derinlikler çalışma noktaları olarak belirlenmiştir. Patlatma noktalarında dalgıçlar vasıtasıyla patlayıcılar dibe sabitlenerek 8 defa 284 gr ve 8 defa da 568 gr C-4 plastik patlayıcı kullanılarak patlatma yapılmıştır. Kullanılan patlayıcıların dibe bırakıldığı noktaların derinliği akustik el sonarıyla, patlayıcıların titreşim ölçer cihaza olan mesafeleri lazer mesafe ölçerle, patlatma nokta koordinatları ise GPS ile kaydedilmiştir. Şekil 5'te kesit olarak görüleceği üzere patlatma noktalarına göre, titreşimin yayılımını görmek üzere sistematik olarak yerleştirilen 4 adet titreşim ölçer cihazın koordinatları yine GPS vasıtasıyla ölçülerek kayıt edilmiştir. Daha sonra ateşlenen tüm patlayıcılar derinlik, koordinat, patlayıcı madde miktarı ve patlama saatine göre dikkatlice kayıt edilmiştir. Patlatma ve titreşim ölçüm istasyonlarının konumları, önceki dönemki çalışma ile oldukça yakın



Şekil 4. Sualtı patlatma düzeneği
Figure 4. Underwater blasting assembly



Şekil 5. Patlatma ve titreşim ölçüm noktalarını gösterir kesit görüntüsü (2.Dönem)
Figure 5. Cross-section view of blasting and vibration measurement points (2nd period)

konumlarda ve aynı doğrultularda seçilmiştir. Bunka-ki amaç, her iki araştırmada da benzer jeolojik yapı-lardan faydalanmaktır.

2. Dönem Patlatma Çalışmaları

Söz konusu sahada, derinliğin titreşim değerlerine olan etkisini belirleyebilmek açısından, denizin kara

ile birleştiği 0/0.5 m, 2 m, 3 m ve 4 m derinlikler çalışma noktaları olarak belirlenmiş derinlikler akustik el sonarı yardımıyla tespit edilmiştir. Dalgıçlar ve hazırlanan sualtı patlatma düzenekleri Zodiak Bot vasıtasıyla sahada belirlenen noktalara intikal ettirilmiş, dalgıçlar patlayıcıları dibe sabitlemiş, patlayıcıların sabitlendiği noktaların titreşim ölçer cihazlara mesafeleri lazer mesafe ölçer ile bot üzerinden ölçülmüştür. Her grupta 4 dalgıç ve patlayıcı düzenek ile toplam 4 grupta 16 sualtı patlatması yapılmıştır.

Çalışma kapsamında 16 farklı atımda 64 adet olay kayıt edilmiştir. Çalışma süresince 4 adet kalibrasyonları güncel titreşim ölçer cihaz patlatma noktalarına göre, titreşimin yayılımını gösterecek şekilde sistematik olarak yerleştirilmiştir. Bununla birlikte oluşan titreşimler; enine, boyuna ve düşey olmak üzere 3 boyutta ölçülmüştür. Sualtı patlatmalarından kaynaklı titreşimlerin derinliğe bağlı değişkenliğinin olup olmadığı ve mesafeye bağlı analizler ile PPV ve ölçekli mesafe arasında regresyon analizi yapılmıştır.

Elde Edilen Kayıtların İstatiksel Olarak İncelenmesi

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen veriler 2 gruba ayrılmıştır. Bunlar;

1. Çizelge 5 ve 6'da görüldüğü gibi derinliğe göre toplamda 7 gruba ayrılmıştır. (283 gr ve 566 gr şarj için)
2. Çizelge 7 ve 8'de görüldüğü gibi mesafeye göre toplamda 14 gruba ayrılmıştır. (283 gr ve 566 gr şarj için)

Her gruptaki ölçü sayısı ≤ 10 olduğundan dolayı, parametrik testlerden tek yönlü varyans analizinin parametrik olmayan karşılığı Kruskal Wallis varyans analizi uygulanmıştır (Akdağ ve Sümbüloğlu, 2010).

Uygulama deseni olarak:

1- Şarj= 283 gr

a) Mesafeye göre gruplar arasındaki farkın incelenmesi

b) Derinliğe göre gruplar arasındaki farkın incelenmesi

2- Şarj= 566 gr

c) Mesafeye göre gruplar arasındaki farkın incelenmesi

d) Derinliğe göre gruplar arasındaki farkın incelenmesi yapılmıştır.

Bağımlı değişken olarak maksimum parçacık hızı alınmıştır.

Şarj= 0.283 Mesafeye göre gruplar arasındaki farkın incelenmesi:

Hipotezler:

H0: Mesafeler arasında maksimum parçacık hızı açısından farklılık yoktur.

H1: Mesafeler arasında maksimum parçacık hızı açısından farklılık vardır.

Test sonucuna göre 0,000 (Sig) >0.05 olduğu için (chi-square=20,544) Mesafeler arasında maksimum parçacık hızı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Şarj= 0.283 Derinliğe göre gruplar arasındaki farkın incelenmesi:

Hipotezler:

H0: Derinlikler arasında maksimum parçacık hızı açısından farklılık yoktur.

H1: Derinlikler arasında maksimum parçacık hızı açısından farklılık vardır.

Test sonucuna göre 0,000 (Sig) >0.05 olduğu için (chi-square=1,436) Derinlikler arasında maksimum

Çizelge 4. Titreşim ölçer cihaz istasyonlarına ait konumlar (2.dönem)
Table 4. Coordinates of seismograph (2nd period)

Cihaz Seri Numarası	Enlem	Boylam	Yükseklik
21903	41.223028	29.200083	1
20486	41.223111	29.200194	7
12313	41.223222	29.200333	11
20216	41.223278	29.200319	15

Çizelge 5. Derinliğe Bağlı Parçacık Hızı Değerleri (283 gr Şarj),
Table 5. PPV values depending on depth (for 283 gr explosive)

	Derinlik	N	Ortalama Değer
Maksimum Parçacık Hızı PPV (mm/sn)	0.1 m	8	16.38
	2.3 m	4	17.5
	3 m	8	18.5
	3.8 m	4	11.75
	4.1 m	8	16.5
	Toplam	32	

m: metre, N: örnek sayısı

Çizelge 6. Derinliğe Bağlı Parçacık Hızı Değerleri (566 gr Şarj)
Table 6. PPV values depending on depth (for 566 gr explosive)

	Derinlik	N	Ortalama Değer
Maksimum Parçacık Hızı PPV (mm/sn)	0.1 m	8	19.44
	2.3 m	4	18.63
	2.8 m	4	16.63
	3 m	4	15.38
	3.3 m	4	18.38
	4.1 m	8	12.06
	Toplam	32	

m: metre, N: örnek sayısı

parçacık hızı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Şarj= 0.566 Mesafeye göre gruplar arasındaki farkın incelenmesi:

Hipotezler:

H0: Mesafeler arasında maksimum parçacık hızı açısından farklılık yoktur.

H1: Mesafeler arasında maksimum parçacık hızı açısından farklılık vardır.

Test sonucuna göre 0,000 (Sig) >0.05 olduğu için (chi-square=16,738) Mesafeler arasında maksimum parçacık hızı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Şarj= 0.566 Derinliğe göre gruplar arasındaki farkın incelenmesi:

Hipotezler:

H0: Derinlikler arasında maksimum parçacık hızı açısından farklılık yoktur.

H1: Derinlikler arasında maksimum parçacık hızı açısından farklılık vardır.

Test sonucuna göre 0.000 (Sig) >0.05 olduğu için (chi-square=3.000) Derinlikler arasında maksimum parçacık hızı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

2.dönem arazi çalışmalarından elde edilen titreşim verileri; farklı derinlik, mesafe ve patlayıcı miktarlarına göre istatistiksel olarak farklı yöntemlere göre değerlendirilmiştir. Yapılan testler sonucunda incelenen veriler açısından istatistiksel olarak anlamlı bir sonuca ulaşılamamıştır.

Çizelge 7. Mesafeye Bağlı Parçacık Hızı Değerleri (283 gr Şarj),
Table 7. PPV values depending on distance (for 283 gr explosive)

	Derinlik	N	Ortalama Değer
Maksimum Parçacık Hızı PPV (mm/sn)	5 - 10 m	2	27.00
	20 - 25 m	3	23.33
	30 - 35 m	2	30.50
	35 - 40 m	4	16.25
	40 - 45 m	1	32.00
	45 - 50 m	2	23.00
	50 - 55 m	6	14.83
	60 - 65 m	4	11.75
	65 - 70 m	1	12.00
	70 - 75 m	2	8.00
	75 - 80 m	1	3.00
	80 - 85 m	3	7.67
	90 - 95 m	1	10.00
	Toplam	32	

m: metre, N: örnek sayısı

Titreşim Yayılımının İzlenmesi ve Arazi Katsayılarının Tespiti

2. dönem arazi çalışmalarında da derinlik, mesafe ve PPV arasında istatistiksel bir bağlantı elde edilememesinden dolayı, derinlik değerleri mesafe (uzaklık) olarak değerlendirilmiş ve ölçekli mesafe hesabında etkin bir parametre olarak kullanılmıştır.

Maksimum parçacık hızı değerleri ve ölçekli mesafe değerleri için regresyon analizi yapılarak çalşılan sahaya özgü K, arazi katsayısı ile β , arazi sönümlenme katsayısı tespit edilmiştir.

%50 tahmin hattı

$$PPV=260.02*SD^{-0.86} \quad (r=0,72) \quad (5)$$

%95 tahmin hattı

$$PPV=909.91*SD^{-0.88} \quad (r=1) \quad (6)$$

Literatüre göre iyi bir korelasyon katsayısı ile bulunan bağıntılar elde edilmiştir. Yukarıda (5) numaralı eşitlikle verilen, 2. dönem arazi çalışmalarından elde

edilen korelasyon katsayısı, (3) numaralı eşitlikte verilen 1. dönem arazi çalışmalarından elde edilen korelasyon katsayısına ($r=0,79$) nazaran daha düşük oranla elde edilmiştir. Bunun nedeni ise; 2 m ve daha derin noktalarda gerçekleştirilen atımlarda, patlayıcı düzeneklerin bir kısmının zemine yeterinde iyi sabitlenememesi olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca çalışma kapsamında, her 2 dönemde yapılan arazi çalışmalarından elde edilen arazi katsayıları birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

TESPİT EDİLEN ARAZİ KATSAYILARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Her 2 dönemde yapılan patlatma çalışmalarından elde edilen titreşim verileri, PPV-SD değerleri ile ilişkilendirilerek literatüre uygun olarak regresyon analizi yapılmıştır (Dowding, 1985). Analiz sonucunda, çalşılan arazinin K ve β arazi katsayıları, %50 ortalama tahmin ve %95 üst tahmin hattına göre tespit edilerek; (3), (4), (5), ve (6) numaralı eşitliklerde verilmiştir.

Çizelge 8. Mesafeye Bağlı Parçacık Hızı Değerleri (566 gr Şarj)
Table 8. PPV values depending on distance (for 566 gr explosive)

	Derinlik	N	Ortalama Değer
	5 - 10 m	2	31.00
	20 - 25 m	3	24.83
	30 - 35 m	2	18.00
	35 - 40 m	3	19.00
	45 - 50 m	3	15.83
	50 - 55 m	5	19.30
Maksimum Parçacık Hızı PPV (mm/sn)	60 - 65 m	4	13.25
	65 -70 m	2	20.25
	70 - 75 m	1	2.50
	75 - 80 m	1	12.00
	80 - 85 m	2	10.00
	85 - 90 m	2	8.75
	90 - 95 m	2	4.50
	Toplam	32	

m: metre, N: örnek sayısı

Elde edilen arazi katsayılarının birbiriyle olan uyumluluğu karşılaştırılması amacıyla; eşit miktarlarda patlayıcı miktariyle, eşit mesafelerde oluşturacakları PPV değerleri hesaplanmıştır. Karşılaştırmada %50'lik eşitlikler kendi arasında, %95'lik eşitlikler kendi arasında değerlendirilmiştir. Karşılaştırmalar, Çizelge 9'da toplu olarak verilmiştir.

Elde edilen arazi katsayılarından yararlanılarak elde edilen PPV değerleri karşılaştırıldığında %95'lik tahmin eşitlikleri ile hesaplanan PPV değerleri arasında farklıların, %50'lik tahmin eşitlikleri ile hesaplanan PPV değerlerine nazaran daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, %50'lik tahmin eşitliklerinin birbirlerine daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu araştırma kapsamında; askeri tip patlayıcılar ile deniz tabanında gerçekleştirilen sualtı patlatmalarından kaynaklı titreşimlerin karadaki yayılımına, patlatma derinliğinin etki edip etmediği incelenmiştir. Bu

kapsamda; 2 farklı dönemde, aynı bölgede sualtı patlatmaları gerçekleştirilmiştir. Farklı derinlik ve mesafelerde gerçekleştirilen patlatmalarda oluşan yer sarsıntıları, titreşim ölçer cihazlar vasıtasıyla kayıt edilmiştir. Kayıt edilen değerler farklı istatistiksel metotlarla test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda, denizin kara ile birleştiği 0 noktası (su üstünde), sualtında ise; 0.5 m, 1 m, 2 m, 3 m ve 4 m, derinliklerde deniz tabanına yerleştirilen patlayıcılar ile gerçekleştirilen patlatmalarda oluşan yer sarsıntılarının, karadaki yayılımına derinlik faktörünün, incelenen derinlik aralığında etkisi olduğuna dair bir sonuca ulaşılamamıştır. Sığ derinliklerde, yüzeysel şarj ile gerçekleştirilecek patlatmaların derinliğe bağlı değişkenlik göstermediği sonucuna varılmıştır.

Ayrıca, madencilik ve inşaat faaliyetlerinde gerçekleştirilen patlamalardan kaynaklı yer sarsıntılarının tahmininde sıklıkla kullanılan PPV-SD değerlerinin ilişkilendirilmesi ile elde edilen eşitliklerin, askeri patlayıcıların kaya yüzeyine şarjı ile yapılan sualtı patlatmalarından kaynaklı yer sarsıntılarının tahmininde

Çizelge 9. Elde edilen arazi katsayılarının karşılaştırılması
Table 9. Comparison of obtained coefficients

Eşitlikler	Mesafe (R) (m)	Patlayıcı Miktarı (W) (kg)	Maksimum Parçacık Hızı (PPV) (mm/s)
1.Dönem Arazi Çalışmalarına Ait Eşitlikler	PPV = 2786.1 x SD ^{-1.41} (3)	50	11.206
		100	4.217
		150	2.381
	PPV = 14223.3 x SD ^{-1.41} (4)	50	57.207
		100	21.528
		150	12.154
2.Dönem Arazi Çalışmalarına Ait Eşitlikler	PPV=260.02*SD ^{-0.86} (5)	50	8.993
		100	4.955
		150	3.496
	PPV=909.91*SD ^{-0.88} (6)	50	29.101
		100	15.812
		150	11.067

kullanılıp kullanılmayacağı da incelenmiştir. Bu amaçla, araziye yönelik K ve β arazi katsayıları tespit edilerek, PPV tahmininde bulunulmuştur. Sonuçlar karşılaştırıldığında elde edilen sonuçlar birbirleriyle tam olarak uyumlu olmasa da, tespit edilen sonuçların kısmen benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu durum; askeri patlayıcıların yüzey şarjı olarak kullanıldığı sualtı patlatmalarında, PPV tahmin eşitliğinin, patlatma öncesi titreşim tahminine yönelik olarak yardımcı olabileceği görüşünü oluşturmuştur.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, araştırmadaki desteklerinden dolayı Okan Üniversitesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Ali Kahrıman'a, Türk Deniz Kuvvetleri Sualtı Savunma Grup Komutanlığı ile değerli personeline, makalenin değerlendirilmesi aşamasında düzeltme ve önerileri ile değerli katkılar sağlayan hakemler Doç. Dr. Güzin Gülsev UYAR ve Doç. Dr. Doğan KARAKUŞ'a ve bu derginin çıkartılmasında emek sarf eden tüm yayın ekibine teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Akdağ, B., ve Sümbüloğlu, K., 2010. Önemlilik Testleri. Hatiboğlu, Ankara.
- Dowding, C. H., 1985. Blast Vibration Monitoring and Control. Prentice-Hall, New Jersey, USA.
- Duvall, W. I., ve H. Fogelson, 1962. Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibrations. U.S. Bureau of Mines, RI5868., USA.
- Gedik, İ., Timur, E., Duru, M., ve Pehlivan, Ş., 2005. MTA 1:50.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları - İstanbul F-23d Paftası, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kahrıman, A., 2004. Analysis of parameters of ground vibration produced from bench blasting at a limestone quarry. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 24, Issue 11, 887–892.
- Khandelwal, M. ve Singh T., 2007. Evaluation of blast-induced ground vibration predictors. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 27, 116–125.

- Langefors, U., ve Khilström, B., 1978. The Modern Technique of Blasting. 3rd Ed, Halsted Press, Sweden.
- Lüleci, A., 2014. Sualtı Patlatmalarından Kaynaklı Titreşim Değerlerinin Çevresel Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Okan Üniversitesi FBE, İstanbul
- Nicholls, H.R., Johnson, C.F., ve Duvall, W.L., 1971. Blasting Vibrations And Their Effectson Structure. United States Department of Interior, USBM, Bulletin 656., USA.
- Ozer U., 2008. Environmental impacts of ground vibration induced by blasting at different rock units on the Kadikoy-Kartal metro tunnel. Engineering Geology, Volume 100, 82–90
- Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W., Dowding, C.H., 1980, StructureResponseAndDamageProducedByGroundVibrationFromSurface Mine Blasting, USBM, RI8507.
- Türe, H.C., 2015. Sualtı Patlatmalarından Kaynaklı Titreşimlerin Derinliğe Bağlı Değişkenliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Okan Üniversitesi FBE, İstanbul