



Teknik Not / Technical Note

## ŞEHİR İÇİ PATLATMALI KAZI ÇALIŞMALARINDA ÇEVRESEL TİTREŞİM LİMİTLERİNE GÖRE PATLATMA TASARIMI

### BLAST DESIGN BASED ON ENVIRONMENTAL VIBRATION LIMITS FOR THE ROCK BLASTING IN URBAN AREA

Doğan Karakuş<sup>a,\*</sup>, Tuğçe Öngen<sup>a,\*\*</sup>, Mehmet Volkan Özdoğan<sup>a,\*\*\*</sup>, Hayati Yenice<sup>a,\*\*\*\*</sup>, Ahmet Hamdi Deliormanlı<sup>a,\*\*\*\*\*</sup>, Utku İkiz<sup>b,\*\*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Pınartaş Madencilik San. ve Tic. Ltd. Şti., İzmir, TÜRKİYE

**Geliş Tarihi / Received** : 25 Mayıs / May 2018

**Kabul Tarihi / Accepted** : 27 Ağustos / August 2018

#### ÖZ

#### Anahtar Sözcükler:

Şehir içi altyapı patlatmaları,  
Çevresel titreşim etkisi,  
Delik boyu,  
Anlık patlayıcı miktarı

Günümüzde kaya kütlelerinin parçalanarak taşınabilir duruma getirilmesinde patlayıcı maddeler ve patlatma teknolojisi kaçınılmaz olarak uygulanmaktadır. Madencilik çalışmalarında büyük boyutlu kaya kütlelerinin kazılmasında yaygın olarak kullanılan patlatma teknolojisi aynı zamanda şehir içi ve şehir dışı bölgelerde alan düzeltme amacıyla uygulanmaktadır. Bu çalışmada İzmir Bayraklı bölgesinde yapılması planlanan Kent Hastanesi projesinde alan düzeltme amaçlı yaklaşık 3 milyon metreküp patlatmalı kayaç kazısı sırasında, patlatmaların neden olacağı çevresel titreşim seviyesinin proje alanı yakınındaki Bayraklı Tünelleri ve Laka Köyü yerleşim birimlerini etkilememesine yönelik patlatma tasarımı aşamaları tanıtılmıştır. Bayraklı tünelleri yapısı çevresel titreşim seviyesi limit değeri esas alınarak inşaat alanı bölgelere ayrılmış ve anlık patlayıcı miktarına bağlı delik boyları belirlenmiştir.

#### ABSTRACT

#### Keywords:

Construction blasting,  
Environmental vibration,  
Blast hole lengths,  
Charge per hole

Nowadays explosives and blasting technology are commonly used in rock excavation in order to break or fragment rocks. Loading and hauling operations can be easily realized by this way. The blasting technology which is commonly used to excavate the rock masses in the mining operations is also used for construction site preparation in the various areas that are located in cities and outside of the city limits. Approximately 3 million cubic meters of rock excavation works will be carried out by using blasting for construction site preparation within the scope of Integrated Health Campus project which is planned to build in İzmir-Bayraklı. In this study, the blast design which was designed in order to prevent effects of the environmental blast induced vibration in the Bayraklı Tunnels and Laka Village settlements near the project site was introduced. The construction site was divided into different zones based on the environmental vibration level limit value and Bayraklı Tunnel structure. Also, blasthole lengths for each zones were determined by using charge per delay.

\* Sorumlu yazar: dogan.karakus@deu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-6134-1034>

\*\* tugce.ongen@deu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-9783-7330>

\*\*\* mehmet.ozdogan@deu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-6985-271X>

\*\*\*\* hayati.yenice@deu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-9376-5915>

\*\*\*\*\* ahmet.deliormanli@deu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0001-8064-0689>

\*\*\*\*\* utkuikiz@pinartas.com • <https://orcid.org/0000-0003-4801-6434>

Bu bildiri 2017 yılında düzenlenen Uluslararası Madencilik ve Çevre Sempozyumu Bildiriler Kitabı'nda yayınlanmıştır. / This paper was published in the International Mining and Environment Symposium of Turkey held in 2017.

Bu makalenin tüm yayın hakları TMMOB Maden Mühendisleri Odası'na aittir © 2018 / Copyright © 2018 Published by UCTEA Chamber of Mining Engineers of Turkey. All rights reserved.

## GİRİŞ

Artan nüfusa bağlı olarak şehirlerde konaklama ihtiyaçları da artmakta ve yaşam alanlarına yönelik projeler sürekli gündemde olmaktadır. Benzer şekilde konaklama amaçlı bu yaşam alanlarının bağlantı yolları, sağlık, eğitim ve diğer hizmetleri projelendirilerek hayata geçirilmektedir. Gerek yaşam alanları amaçlı konaklama projeleri gerekse bu alanların yol, köprü, tünel, sağlık ve eğitim yapıları gibi altyapı çalışmaları olsun hemen hemen şehir içi bütün projelerde alan düzeltmesine yönelik büyük ölçekli kazı ve/veya dolgu çalışmaları gerekmektedir. Diğer taraftan kayaç kazısı teknik ve ekonomik açıdan değerlendirildiğinde günümüzde temel iki teknoloji mevcuttur. Bunlardan birincisi kazıcı makinalarla gerçekleştirilen mekanik kazı ikincisi ise patlayıcı madde enerjisinin kayaç kazısında kullanıldığı patlatmalı kazıdır. Teknik ve ekonomik açıdan değerlendirildiğinde belirli dayanıma sahip kaya kütleleri için patlatmalı kazı çalışmaları kaçınılmaz olarak uygulanmaktadır.

1870'lerde Alfred Nobel'in nitrogliserin esaslı patlayıcı maddeyi patentlendiğinden beri kayaç kazısında yeni bir dönem başlamış, gerek madencilikte gerekse baraj inşaatları, kanal projeli gibi büyük projelerde patlayıcı madde kullanılarak büyük miktarlardaki kayaç kazısı kısa sürede gerçekleştirilmiştir. O zamandan günümüze kadar patlayıcı madde teknolojisi ve patlatmalı kazı uygulamaları ihtiyaçların karşılanmasına yönelik olarak geliştirilmiştir. Günümüzde de maden mühendisliği disiplini denetimde temel prensipleri ve uygulamaları sürekli araştırılarak geliştirilmektedir.

Kayaç kazısı madencilik amaçlı, şehir dışı yol, baraj, köprü endüstriyel tesis gibi yapılar için alan düzeltme amaçlı ve şehir içi inşaat, altyapı, tesis yapılması için alan düzeltme amaçlı olmak üzere sınıflandırılabilir. Genel patlayıcı madde teknolojisi ve patlatma uygulamaları madencilik amaçlı kayaç kazısı çalışmalarında geliştirilmiş, diğer alanlarda uygulanmıştır. Madencilik amaçlı patlatmalı kazı ise açık işletme ve yeraltı üretim yöntemlerine göre temel farklılıklar içermektedir. Temel prensip olarak patlayıcı maddelerin kaya kütlesi içerisinde açılan deliklere belirli sistematikte yerleştirilerek ateşlenmesi ve açığa çıkan enerjinin kaya kütlesini parçalaması/kırması esasına dayanan patlatmalı kazı uygulamalarında genelleştirilmiş patlatma tasarım büyüklükleri yukarıda verilen sınıflama esas alınarak Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Uygulama alanlarına göre genelleştirilmiş temel patlatma tasarımı büyüklükleri

Uygulama Alanı	Delik Çapı	Delik Boyu*	Delik Başına Patlayıcı Miktarı**	
	(mm)	(m)	(kg)	
Madencilik	Açık İşletme Dekapaj	150-300	10-15	99-593
	Açık İşletme Cevher	85-150	3-12	10-120
	Açık İşletme Kırmataş	70-120	5-12	11-76
	Yeraltı Madenciligi	75-165	5-30	12-360
Şehir Dışı Altyapı	70-120	10-12	22-76	
Şehir İçi Altyapı	40-100	0,9-10	1-44	

\* Şarj kolunu boyu delik boyunun %70 olarak hesaplanmıştır.

\*\* Deliklerde ana patlayıcı olarak Anfo kullanıldığı kabul edilmiş ve Anfonun yoğunluğu 800kg/m<sup>3</sup> olarak kullanılmıştır

Genellikle madencilik çalışmaları sırasında uygulanan patlatmalı kazı çalışmalarında amaç patlayıcı miktarı ve kayaç parçalanması/kırılması optimizasyonudur. Diğer bir anlatımla çevresinde herhangi bir yerleşim birimi ve/veya yapı bulunmayan cevher üretimi veya dekapaj kazısına yönelik kazı çalışmalarında patlatmalı kazı çalışmalarının amacı devam eden yükleme, nakliye, kırma eleme prosesleri için uygun boyutlu kayaç elde edilmesidir. Patlayıcı miktarının artmasıyla patlatma sonucu oluşan yığının boyutu küçülürken, yoğun patlayıcı kullanımı operasyon maliyetlerini arttırmaktadır. Bu nedenle genelde deneme-yanılma metodu kullanılarak cevher üretimi veya dekapaj kazısına yönelik patlatma tasarımları amaca yönelik optimize edilmektedir.

Diğer taraftan kazı miktarlarının fazla olduğu şehir içi altyapı, inşaat, yaşam alanı projelerinde kaya kütlelerinin parçalanma derecesi kadar önemli bir diğer konu patlatma sonucu oluşan çevresel etkilerin minimize edilmesidir. Şehir içi büyük ölçekli inşaat ve diğer altyapı projelerinin hemen hemen tamamında kaya kütlelerinin taşınabilir boyuta indirilmesi patlayıcı madde kullanılarak ekonomik olmaktadır. Patlayıcı madde kullanılarak kazı yapılacak şehir içi projesinde ise patlatma tassa-

rımı proje çevresindeki yapıların patlatma sonucu oluşacak titreşimden olumsuz etkilenmemesi gözetilerek gerçekleştirilmektedir. Bu bildiri şehir içi patlatmalı kazı çalışmalarında çevresel titreşim seviyesi limit değerlerine göre uygulanabilir patlatma tasarımı aşamaları tanımlanmıştır. Örnek olarak İzmir ili Bayraklı ilçesinin kuzeyinde gerçekleştirilecek olan Kent Hastanesi Projesi kapsamında yaklaşık 3.2 milyon metreküp kaya kazısının yapılmasına yönelik patlatma tasarımı aşamaları ve devam eden çevresel titreşim ölçüm çalışmaları değerlendirilmiştir.

## 1. PATLATMA KAYNAKLI ÇEVRESEL TİTREŞİM LİMİTLERİ

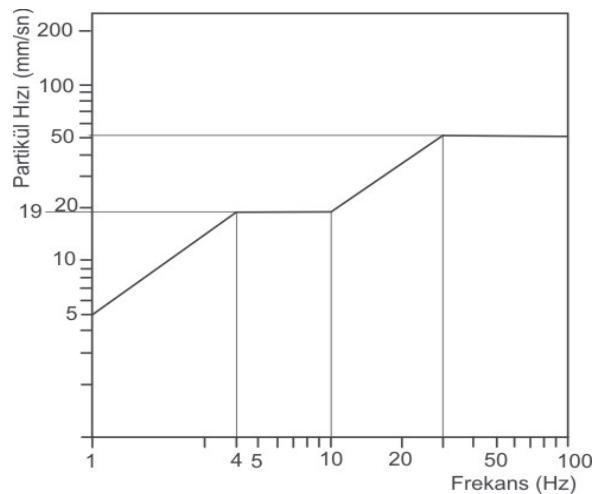
Patlatma işlemleri sonucu patlayıcı madde enerjisinin bir kısmı kayacı parçalamak için kullanılırken bir kısmı da kaya kütesinin içerisinde kaya kütle özelliklerine bağlı olarak titreşimler oluşturmaktadır. Diğer taraftan patlatmalar sonucu gürültü oluşumu, taş savrulması ve toz emisyonu da meydana gelmektedir. Patlatma işlemlerinin kaçınılmaz olarak yapıldığı kazı çalışmalarında özellikle patlatma kaynaklı çevresel titreşim etkilerinin göz önüne alınarak gerekli teknik ve ekonomik şartların sağlanması gerekmektedir. Patlatma sonucu oluşan çevresel titreşim etkilerinin ölçülmesi ve ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla literatürde çok sayıda farklı yaklaşımlar mevcuttur. Genel bir değerlendirmeye 1940'lı yıllardan sonra konuyla ilgili çalışmalar yoğunlaşarak devam etmiştir. Yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde patlatma sonucu oluşan sismik dalgaların meydana getirdiği parçacık hızları ve frekans, çevreye olumsuz etki yaratmadaki en etkili parametrelerdir (Öngen vd., 2015a) Bu çerçevede ülkeler yapıların zemininde oluşacak patlatma kaynaklı çevresel titreşim limit değerleriyle ilgili kendi yapı kalitelerini göz önünde bulundurularak Yönetmelikler oluşturmuştur. Oluşturulan yönetmeliklerde temel yaklaşım frekans değerine karşılık oluşan bileşke partikül hız değeri göz önünde bulundurularak çizilmiş eğri sınırlarıdır. Bir bölgede gerçekleştirilecek patlatma sonucu oluşan titreşim seviyesinin incelenen yapı zemininde oluşturacağı bileşke partikül hız değerinin Yönetmelikte verilen limit eğri sınırının altında olması gerekliliği yasal olarak tanımlanmıştır. Ülkemizde benzer yaklaşımla ilgili yasal düzenleme Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 04.06.2010 tarihinde Resmi Gazete'de yayımla-

narak yürürlüğe giren 26809 sayılı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'dir. Yönetmeliğin 25. maddesi (a) bendi maden ve taşocaklarında yapılan patlatmalardan kaynaklanan titreşimler ile ilgilidir. Yönetmeliğin 25. Madde a bendi şöyledir. "...MADDE 25 – (1) Çeşitli titreşim kaynaklarının neden olacağı çevresel titreşimin kontrol altına alınmasına ilişkin esaslar; a)Maden ve taş ocakları ile benzeri faaliyette bulunan alanlardaki patlatmaların çevredeki çok hassas kullanımlarda oluşturduğu zemin titreşim seviyesi bu Yönetmeliğin ekindeki Ek-VIII'de yer alan Tablo-6'da verilen sınır değerleri aşamaz..." Yönetmelikte atıf yapılan Ek-VIII'de yer alan Tablo-6, Çizelge 2'de verilmiştir. Sınır değerleri baz alınarak tabloda tarif edilen yöntemle göre çizilen partikül hızı-frekans eğrisi Şekil 1'de verilmiştir.

Çizelge 2. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği Ek-VIII'de verilen Tablo 6

Titreşim Frekansı (Hz)	İzin Verilen En Yüksek Titreşim Hızı (Tepe Değeri-mm/s)
1	5
4-10	19
30-100	50

(1 Hz- 4 Hz arasında 5 mm/s'den 19 mm/s'ye; 10 Hz- 30 Hz arasında 19 mm/s'den 50 mm/s'ye, logaritmik çizilen grafikte doğrusal olarak yükselmektedir)



Şekil 1. Partikül hızı-frekans sınır değerleri (Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği 25/a maddesinde tarif edilen esaslara göre)

Bu yönetmelikte verilen değerler Maden ve Taş Ocakları ile Benzeri Alanlarda yapılan patlatmalı kazı çalışmaları sonucu oluşan titreşim seviyelerinin sahaya yakın yerleşim birimleri/binalar gibi yerüstü yapıları için verilen yasal sınır değerlerdir. Diğer ülkelerdeki yönetmeliklerde yerüstü yapıları için düzenlenmiş kısıtlı sayıda olmakla birlikte yeraltı yapıları için sadece limit bileşke partikül hızı değerleri verilmiştir. Oysa çoğu şehir içi patlatmalı kazı gerektiren projede, proje alanına yakın metro veya karayolu tüneli söz konusu olmaktadır. Metro tüneli, karayolu tüneli, su kuyusu gibi yeraltı yapılarının titreşim seviyelerinden etkilenme mekanizması yerüstü yapılarından farklıdır. Yerüstü yapılarının kendi rezonans değerleri vardır. Herhangi bir kaynaktan yayılan titreşimler, gövde ve yüzey dalgaları olarak farklı frekanslarda sismik dalgalar oluşturmaktadır. Çevresel titreşim etkisi açısından değerlendirildiğinde; genliği yüksek, frekansları düşük olan yüzey dalgaları en tehlikeli dalgalardır. Bu dalgalar yapıların genelde 10-20 Hz civarında olan düşük doğal frekansları ile rezonansa girebilir, kaynaktan yayılan çevresel titreşim incelenen yapının temelinden geçip gittiği halde kafes sistemleri şeklinde olan binada serbest salınım hareketleri meydana gelebilir. Bina rezonans halindeyken, partikül hızı sınır değerlerin altında ise binada hasar oluşmaz fakat binada bulunan insanlar rahatsız olabilir (Dowding, 1985). Ancak yeraltı yapılarının (Karayolu tünelleri, Metro tünelleri, su kuyuları, maden üretim kuyuları, baraj enjeksiyonları vb.) serbest yüzeyi kısıtlı olmasından dolayı rezonans değerleri yoktur. Diğer bir ifadeyle yeraltı yapısının, bulunduğu yeraltı ortamından bağımsız serbest salınım yapma şansı yoktur. Yeraltı mühendislik yapıları genel olarak açıklıkları ve destek sistemleri ile karakterize edilirler. Bir yeraltı yapısının yakınında yapılan patlatma sonucu oluşan titreşim seviyesinin, hangi destek sisteminde hangi açıklıkta ne kadar etkisinin oluşabileceğinin belirlenmesiyle ilgili özel şartlar altında yapılmış çalışmalar mevcut olup standart bir limit değer öngörülmesi oldukça zordur (Öngen vd., 2015b).

### 1.1. Çevresel Titreşim Seviyesi Tahmini

Patlatma kaynaklı titreşim seviyesinin belirleyici olduğu projelerde, uygulayıcı bir bölgede yapılan patlatma sonucu oluşan titreşimin hangi mesafede

hangi seviyede olacağını önceden tahmin etmek ister. Oluşacak titreşim seviyesinin yasal limitlerin altında olması zorunluluğu bu talebi gerektirmektedir. Ancak oluşan titreşimde patlayıcı miktarı, mesafe ana değişken olmak üzere patlatma tasarım parametreleri, gecikme aralığı ve en önemlisi patlatma yapılan bölge ile titreşim seviyesinin tahmini talep edilen bölge arasındaki jeolojik yapı değişkenleri titreşimin miktarının tahminini oldukça karmaşıklştırmaktadır. Konuyla ilgili değişkenlerin fazla oluşu ve patlatmalı kazı projelerinde uygulamaya yönelik değerlerin sıklıkla talep edilmesi nedeniyle oldukça fazla akademik çalışma yapılmış ve yapılamaya devam edilmektedir.

Patlatma kaynaklı titreşimin bileşke parçacık hızının belirlenmesi için çeşitli araştırmacılar tarafından farklı tahmin modelleri oluşturulmuştur. Söz konusu tahmin modellerinin hepsinde amaç anlık patlayıcı miktarı ve mesafeye bağlı olarak titreşimin yayılma özelliklerinin karakterize edilmesidir. Günümüze kadar yapılmış olan çalışmalar ışığında, uygulanan patlatma paternleri ve patlatma yapılan sahaların jeolojisindeki farklılıklar, patlatma sonucu oluşan titreşimlerin elasto-dinamik eşitlikler ile çözülemeyeceği düşünülmüş, patlatma kaynaklı titreşimlerin kestiriminde yeterli sayıda gözlem atımları yapılarak, titreşimlerin karakterize edilmesi ve ampirik değerlendirme yapılması ile daha güvenilir sonuçlar elde edileceği sonucuna varılmıştır. Patlatma kaynaklı çevresel titreşim parçacık hızlarının ampirik olarak tahmini için literatüre geçmiş birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda yukarıda verilen yaklaşımlar ışığında anlık patlayıcı miktarı ve mesafe ile bileşke parçacık hızı değerleri tahmin modelleri oluşturulmuştur. Bileşke parçacık hızı tahminine yönelik ampirik formüllerden yaygın olarak kullanılanları Çizelge 3'de verilmektedir.

Bu yaklaşımlar farklılıklar gösterse de birçoğu ölçekli mesafe-bileşke partikül hızı değişimini baz almaktadır. Kısaca bu değişimi baz alan yaklaşımlarda, ölçekli mesafe kavramı "patlatmada kullanılan anlık patlayıcı miktarı" ile "ölçüm noktasının patlatma alanına olan uzaklığı"nın birbirine oranı şeklinde ifade edilmektedir. Bu çalışmada tahmin modellerinden geçerliliği bir çok çalışmada ortaya konulmuş ve en yaygın kullanıma sahip olan USBM (Duvall and Fogelson, 1962) eşitliği baz alınmıştır.

Çizelge 3. Bileşke parçacık hızı tahminine yönelik çeşitli ampirik yaklaşımlar (Karakuş vd. 2015)

Önerilen Çalışma	Eşitlik
USBM (Duvall ve Fogelson, 1962)	$ppv = K \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-\beta}$
Langefors ve Kihlström (1978)	$ppv = K \left( \frac{W}{\sqrt{R^3}} \right)^{\beta}$
Ghosh ve Daemen (1983)	$ppv = K \left( \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \right)^{\beta} e^{-\alpha R}$
Davies ve ark (1964)	$ppv = K * R^{\alpha} * W^{\beta}$
Birch ve Schaffer (1983)	
Gupta ve ark (1987)	$ppv = K \left( \frac{W}{\sqrt{R^3}} \right)^{\beta} e^{-\alpha R}$
Bilgin ve ark (1998)	$ppv = K \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{\alpha} B^{\beta}$
Pal Roy (1991)	$ppv = n + K \left( \frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-1}$
Ambraseys ve Hendron (1968)	$ppv = K \left( \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \right)^{-\beta}$
Hindistan Standartları Enstitüsü (1973)	$ppv = K \left( \frac{W}{\sqrt[3]{R^2}} \right)^{\beta}$

PPV: Maksimum parçacık hızı (mm/s)

R : Mesafe (m)

W: Gecikme başına düşen (anlık) maksimum patlayıcı miktarı (Kg)

B: dilim kalınlığı(m)

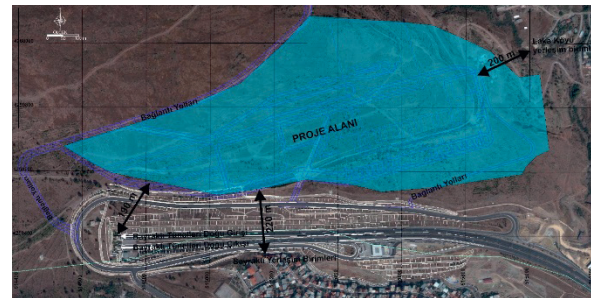
K, n,  $\beta$ ,  $\alpha$  : saha sabitleri

## 2. ÇEVRESEL TİTREŞİM SEVİYESİNE GÖRE PATLATMA TASARIMI UYGULAMA ÇALIŞMASI

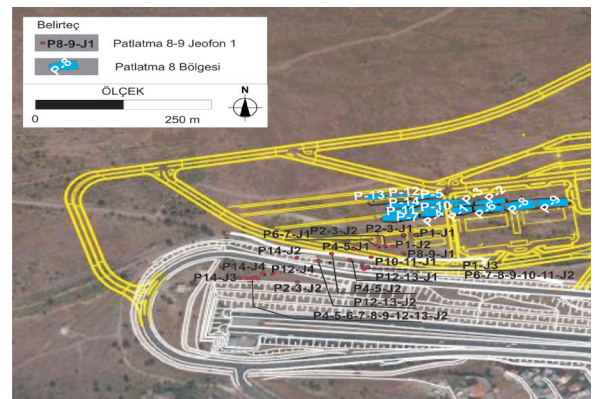
Bu çalışmada İzmir İli Bayraklı İlçesinde gerçekleştirilecek Kent Hastanesi projesi patlatmalı kazı çalışmalarının neden olacağı titreşim seviyelerinden, proje alanının yakınındaki Bayraklı Çevre Yolu Tünelleri yeraltı yapısının etkilenmesi için geliştirilen patlatma tasarımı değerlendirilmiştir. Proje alanı konumu ve Bayraklı çevre yolu tünellerinin konumu Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2'de verilen proje alanı içerisinde 260m ile 150m kotları arasında kademeli olarak alan düzeltilmesi yapılması projelendirilmiş olup toplam kazı miktarı yaklaşık 3,2 milyon metreküp civarındadır. Proje alanın ve çevresinin genel jeolojisi değerlendirildiğinde, bölgede yer alan kaya birimleri Bornova Karmaşığı, Yamanlar Volkanitleri ve Gölsel Tortullar olmak üzere üç ana grupta toplanmaktadır (Innocenti ve Mazzuoli, 1972, Türk ve Koca, 1994).

Bu ana gruplardan en fazla kazısı yapılacak jeolojik birim Andezit-Dasit karakterindeki volkanik ürün ve türevlerini içerirler ve dayanımları itibarıyla patlatmalı kazı gerektirmektedirler. Diğer taraftan neredeyse tamamı patlatmalı kazı ile düzenlenebilecek proje alanının 190 m güneybatısında Bayraklı Çevre Yolu Tünelleri bulunmaktadır. Proje alanında gerçekleştirilecek patlatmaların neden olduğu titreşim seviyelerinin Bayraklı Çevre Yolu Tünellerine zarar vermeyecek seviyede olması mühendislik problemi olarak tanımlanmıştır. Bunun için öncelikle bölgede anlık patlayıcı miktarı ve mesafeye bağlı olarak çevresel titreşim yayılma karakteristiğinin ortaya konulmasına yönelik test atımları yapılmış ve bu atımlar sırasında titreşim ölçümleri alınarak sonuçlar modellenmiştir. 14 adet titreşim ölçümüne yönelik test patlatmasının üçünde iki jeofon, dokuzunda üç jeofon ve ikisinde de dört jeofon kullanılarak toplam 41 titreşim ölçümü alınmıştır. Titreşim ölçümlerinde yöntem olarak patlatma yapılan bölge ile proje alanına yakın kritik olarak değerlendirilen 190 m mesafede yer alan Bayraklı Çevre Yolu Tünelleri yönü esas alınmıştır. Patlatma noktaları ve titreşim ölçüm istasyonlarının konumu Şekil 3'de verilmektedir.

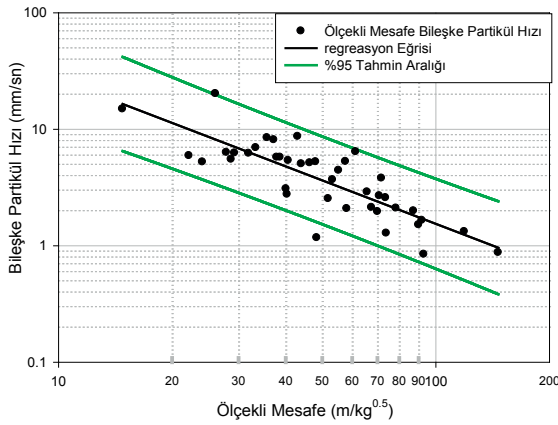


Şekil 2. Proje alanının ve çevresinin uydu görüntüsü (Karakuş vd., 2016)



Şekil 3 Patlatma noktaları, jeofonların konumu (Karakuş vd., 2016).

Test atımlarında farklı mesafelerden farklı anlık patlayıcı miktarında 0,843 mm/sn ile 20,2 mm/sn arasında değişen bileşke partikül hız değerleri ölçülmüştür. Patlatmalı kazı çalışmalarının yapılacağı proje alanı içinde belirli patlayıcı miktarlarında uygulanan patlatmaların incelenen yönde ne kadar mesafeye yayıldığı ve hangi mesafelerde sönmüldüğünün karakterize edilmesi amaçlanmıştır. Sönümlenme mesafesinin belirlenebilmesi patlatma yapılan bölge ile riskli yönde değişik patlayıcı miktarı ve mesafelerde titreşim ölçümleri alınarak arazi ( $K$ ) ve sönmümlenme ( $\beta$ ) katsayılarının modellenmesi ile mümkündür. 41 titreşim ölçümü kullanılarak oluşturulan ölçekli mesafe-bileşke partikül hızı ilişkisi Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4 İncelenen bölgede ölçekli mesafe-bileşke partikül hızı ilişkisi (Karakuş vd., 2016)

Ölçekli mesafe bileşke partikül hız eğrisi analiz sonucunda proje alanında araştırılan bölge için arazi ve sönmümlenme katsayıları  $K = 464,5$  ;

$\beta = 1,24$  olarak  $R^2=0,673$  regresyon katsayısı ile belirlenmiştir. Elde edilen katsayılar verilen USBM (Duvall ve Fogelson, 1962) eşitliğinde kullanıldığında aşağıdaki gibi ifade edilir (Eşitlik 1).

$$BPH = 464,5 \left( \frac{R}{\sqrt{Q}} \right)^{-1,24} \dots \dots \dots (1)$$

Genel olarak patlatma kaynaklı titreşimleri sahanın çevresindeki yerüstü yapılarına (Yerleşim Birimlerine) etkisi ve sınır partikül hızı değerleri Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nin 25. maddesi (a) bendinde verilmektedir. Anılan yönetmelikte maden, taşocakları ve benzeri alanlarda yapılan patlatmalardan

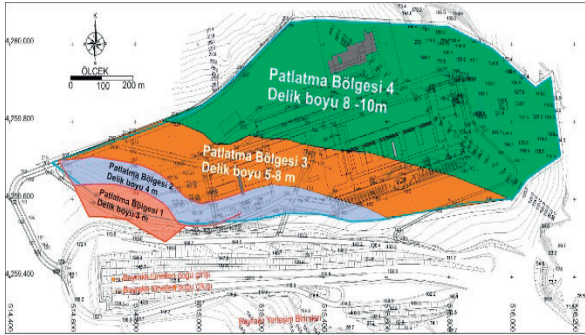
kaynaklanan titreşimler için sınır değerler frekans değerlerine bağlı olarak ele alınmıştır ve farklı frekans değerlerine göre farklı sınır partikül hızları bulunmaktadır (Çizelge 1). Yapılan bu çalışmada ise Proje alanı sınırından yaklaşık 190 m mesafede bulunan Bayraklı Çevre Yolu Tünellerine etkisi de değerlendirilmiştir. Yapılan araştırma patlatmalarında elde edilen ölçekli mesafe-bileşke partikül hızı ilişkisi kullanılarak patlatmalar sonucu oluşacak titreşim seviyesinin sönmümlenme mesafesi matematiksel olarak hesaplanabilir. Yönetmelikte yeraltı yapıları için herhangi bir hasar limit değeri verilmediği için güvenli bölgede kalınması amacıyla geçmiş pratikler göz önünde bulundurularak frekanstan bağımsız olarak limit titreşim seviyesi 2 mm/sn değeri kullanılmıştır. Buna göre 2 mm/sn bileşke partikül hızının proje alanının en yakın noktasından itibaren 190 m mesafe bulunan Bayraklı Tünellerinde oluşmaması için mesafelere bağlı olarak anlık patlayıcı miktarları belirlenmiştir (Çizelge 4)

Çizelge 4 Farklı mesafelerde 2 mm/sn bileşke partikül hızını aşmayacak patlayıcı miktarları

Bileşke Partikül Hızı (mm/sn)	Mesafe (m)	Patlayıcı Miktarı (Kg)
2	100	2
2	150	3
2	200	6
2	250	10
2	300	14
2	350	19

Test patlatmalarında ölçülen titreşim seviyeleri temel alınarak Proje alanı patlatmalı kazı çalışmaları için tasarım parametreleri hesaplanmıştır. Çevresel titreşim seviyesinin oluşmasında ve denetiminde temel değişkenler gecikme başına kullanılan patlayıcı miktarı ve patlatma yapılan nokta ile incelenen yapı arasındaki mesafedir. Patlatmalı kazı proje alanı ve çevresindeki yapıların konumları değiştirilemeyeceği için titreşim seviyesi risk sınırlarının belirlenmesi, ancak gecikme başına patlayıcı miktarının belirlenmesi ile mümkün olabilecektir. Buna göre Proje alanında delik boyuna göre patlayıcı denetiminin dolayısıyla çevresel titreşim seviyesi denetiminin yapıldığı bölgelere ayrılmıştır. Proje alanı sınırları içerisinde

de yapılacak patlatmalarda 2 mm/sn değeri baz alınarak titreşim ölçümleri sonucu elde edilen matematiksel model kullanılarak mesafelere göre anlık patlayıcı miktarları belirlenmiştir. Patlatma Bölgesi 1, Patlatma Bölgesi 2 ve Patlatma Bölgesi 3 ve Patlatma Bölgesi 4 olarak kodlanan bu bölgelerde patlatmanın neden olduğu çevresel titreşim seviyesinin denetlenebilmesi için farklı delik boylarında farklı patlayıcı miktarları belirlenmiştir. Şekil 5'de yukarıda tanımlanan bu alanların sınırları verilmektedir.

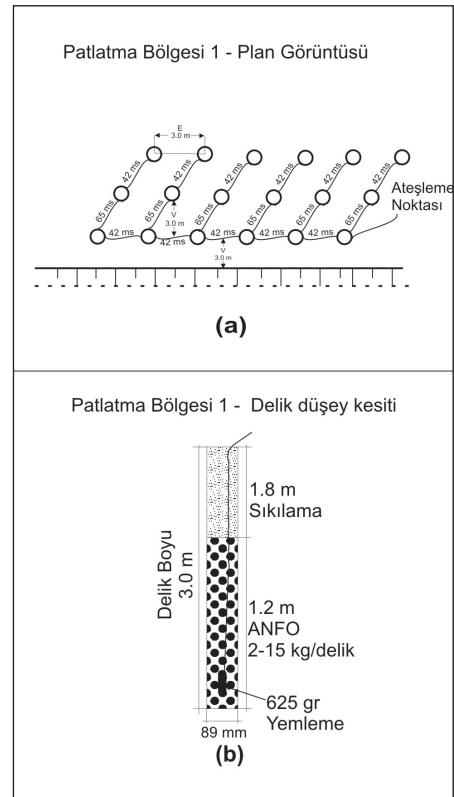


Şekil 5. Proje alanında patlatmalı kazı çalışmalarında uygulanacak delik boylarına göre belirlenmiş bölgelerin sınırları (Karakuş vd., 2016)

Şekil 5'de çevresel titreşim seviyesi limit değerlerine göre sınırları belirlenmiş bölgeler için uygulanabilir patlatma tasarımları yapılmıştır. Burada örnek olarak Patlatma Bölgesi 1 için oluşturulmuş patlatma tasarımı verilmiştir. Buna göre Patlatma Bölgesi 1 proje alanı içerisinde patlatma kaynaklı çevresel titreşim seviyesi açısından en riskli bölgedir. Güneybatısında Bayraklı Tünelleri Doğu Girişine, en yakın kısım Patlatma Bölgesi 1'dir. Bu bölgede basamak yükseklikleri anlık patlayıcı madde denetimi için test araştırma patlatmalarında uygulanan delik boyları gözetilerek 3 m olarak tasarlanmıştır. Bölgede titreşim seviyesi limit değer göz önünde bulundurularak anlık patlayıcı miktarı 6,5 kg'a kadar düşürülmüştür. Bölgede projelendirilen kot ile doğal arazi arasında en fazla 15 m kot farkı vardır. Bu nedenle her ne kadar patlatma tasarımı açısından ekonomik görünmesede çevresel titreşim seviyesi kısıtı nedeniyle 5 ayrı kazı basamakları oluşturulmalıdır. Sıkılamanın 1,8 m seçilmiş olması Patlatma Bölgesi 1'de gerçekleştirilecek patlatmalarda kaya fırlaması riskini de minimize edilmiş olacaktır. Patlatma Bölgesi 1 patlatma tasarımı parametreleri Çizelge 5'de, patlatma geometrisi plan görüntüsü Şekil 6'da verilmiştir.

Çizelge 5. Patlatma Bölgesi 1 tasarım parametreleri

Basamak Yüksekliği	2,0 m
Delik Çapı	89 mm
Delik Boyu	3,0 m
Delikler Arası Mesafe	3,0 m
Dilim Kalınlığı	3,0 m
Sıkılama Boyu	1,8 m
Şarj Kolonu yüksekliği	1,2 m
Gecikme Sistemi	NONEL (delik içi 500 ms yüzey 42 ms, 65 ms)
Yemleme	0,625 kg/delik
Patlayıcı Madde Miktarı (ANFO)	6,55 kg/delik



Şekil 6. Patlatma Bölgesi 1 patlatma paterni a) Plan görünüşü, b) Patlatma deliği düşey kesiti (Karakuş vd., 2016)

Proje alanında çevresel titreşim limit değerine göre oluşturulan patlatma tasarımları göz önünde bulundurularak kazı çalışmaları başlamış ve mevcut durumda Projedeki kazı miktarının %82'si tamamlanmıştır. Patlatma tasarımlarında limit titreşim seviyesinin aşılmasının takibi amacıyla proje süresince rastgele 64 patlatmadan 106 titreşim ölçümü gerçekleştirilmiştir. Takip patlatmaları 4 farklı böl-

gedede yapılmış olup Bayraklı Çevre Yolu tünelleri yönünde çevresel titreşim seviyesi limit değerinin üstünde titreşim ölçümü alınmamıştır.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Patlatmalı kazı çalışmaları sırasında çevresel titreşim seviyesi limit değerlerine göre patlatma tasarımı aşamaları bu çalışmada uygulayıcıya yön göstermesi amacıyla değerlendirilmiştir. Bilindiği gibi patlatma sonucu oluşan titreşim seviyesi kontrol edilebilir ve kontrol edilemeyen değişkenler tarafından denetlenmektedir. Titreşimin büyüklüğünü denetleyen en önemli kontrol edilemeyen parametrelerden birisi jeolojik yapıdır. Jeolojik yapının sayısallaştırılması ve tahmin modellerinde yer alması değişkenlerin fazlalığı nedeniyle mümkün görülmemektedir. Bu nedenle ancak yerinde titreşim ölçümleri sayesinde bölgesel katsayılarla ifade edilebilmektedir.

Oluşan titreşim seviyesinin büyüklüğü, ortama yayılan enerji miktarı dolayısıyla patlayıcı madde ve sönmelenme mesafesi ile denetlenebilir Patlayıcı madde miktarı kontrol edilebilir parametredir. Ancak patlatma verimi açısından değerlendirildiğinde patlayıcı madde miktarının azaltılmasıyla diğer tasarım parametrelerinin de düzenlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada çevresel titreşimin denetlenmesinin zorunlu olduğu bir şehir içi patlatmalı kazı çalışmasında patlayıcı madde miktarının azaltılmasına bağlı olarak patlatma tasarımı değişimi değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada öncelikle patlatmalı kazı gerçekleştirilecek Kent Hastanesi projesi ve patlatma sonucu oluşacak çevresel titreşimden etkilenebilecek riskli Bayraklı Çevre Yolu Tünelleri konuları tanımlanmıştır. Proje alanında titreşim yayılma karakteristiğinin ortaya konulması amacıyla test patlatmaları gerçekleştirilmiş ve bu patlatmalar sırasında titreşim ölçümleri yapılarak sonuçları modellenmiştir. Elde edilen model katsayıları kullanılarak Proje alanı çevresel titreşim seviyesi limit değerlerine göre anlık patlayıcı miktarı denetimi esas alınarak 4 farklı patlatma bölgesine ayrılmıştır. Belirlenen anlık patlayıcı miktarlarına göre her bölge için patlatma tasarımı oluşturulmuş ve kazı çalışmaları başlamıştır. Kazı çalışmaları süresince sürekli titreşim ölçümleriyle modelin doğruluğu ortaya konulmuş veri seti artırılarak model güncellenmiştir.

Günümüz patlayıcı madde teknolojisi ve uygulamalarındaki gelişmeler patlatmalar sonucu oluşan çevresel etkileri denetlenebilir mühendislik hizmetleri olmasına olanak sağlamaktadır. Bu yaklaşımla ele alındığında şehir içi belirli miktarın üzerinde ve

belirli dayanıma sahip kaya kütleleri kazı çalışmaları patlayıcı madde kullanılarak gerçekleştirilebilir. Geçmişte patlatmanın neden olacağı çevresel titreşim, kaya savrulması gibi çevresel nedenlerle uygulamasından kaçınılan patlatmalı kazı çalışmaları özellikle gecikme elemanı teknolojisindeki gelişmeler sayesinde uygulanabilir olarak değerlendirilmektedir. Diğer taraftan şehir içi imar ve diğer altyapı tesislerinin derin kazı taleplerinin karşılanması içinde patlatmalı kazı hem teknik hem de ekonomik olarak uygun bir alternatiftir.

## KAYNAKLAR

- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2010. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, 04.06.2010 Tarihli 26809 Sayılı Resmi Gazete.
- Dowding, C.H., 1985. Blast Vibration Monitoring and Control, s. 295.
- Duvall W. I., Fogelson D.,E.,1962. Review of Criteria for Estimating Damage to Residences from Blasting Vibrations., U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines., s.19.
- Indian Standard Institute. Criteria for Safety and Design of Structures Subjected to Underground Blast. ISI Bull 1973;IS-6922.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., 1972. Petrology of the İzmir-Karaburun Volcanic Area: Bull. Volcanologique, 36(1): 83-103.
- Karakuş, D., Konak, G., Onur, A.H., Öngen, T., Turan, G.,2015. Patlatmalı Kazı Çalışmaları Sonucu Oluşan Çevresel Titreşimlerin Ölçümü ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi",VIII. Delme-Patlatma Sempozyumu, İstanbul, 152-161.
- Koca, M, Y., Türk, N., 1994. Ayrışmanın Andezitlerin Petrografik, Kimyasal ve Jeomekanik Özelliklerine Etkisi. 47. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 382-392.
- Langefors, U., Kihlstrom, B., 1978. The Modern Technique of Rock Blasting, 3rd ed. Halsted Press, a Division of John Wiley & Sons, Inc., New York, s. 438.
- Öngen T., Karakuş D., Gönen A., Turan G.,2015a. Hammadde Ocaklarında Patlatmalı Kazı Çalışmaları Sonucu Oluşan Çevresel Titreşimlerin İki Farklı Tahmin Modeli ile Değerlendirilmesi-Örnek Çalışma, 9. Uluslararası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 623-636.
- Öngen, T., Pamukçu, Ç., Özdoğan, M.V., Deliormanlı, A.H., Kaakuş, D., 2015b. Patlatmalı Kazı Çalışmaları Sonucu Oluşan Çevresel Titreşimlerin Yeraltı Yapılarına Etkisinin Değerlendirilmesi-Örnek Çalışma, 24th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Antalya, 493-503.