

## Kentsel Alanda Gerçekleştirilen Tünel Kazılarında Patlatma Kaynaklı Yüzey Titreşimlerinin Kontrolü: Geniş Kesitli Bir Tünel Örneği

Abdulkadir KARADOĞAN<sup>1</sup>, Ümit ÖZER<sup>1</sup>, Ülkü KALAYCI ŞAHİNOĞLU<sup>1\*</sup>, Meriç Can ÖZYURT<sup>1</sup>, Zeynep SERTABİPOĞLU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author  
E-mail: ukalayci@iuc.edu.tr

*Araştırma Makalesi/Research Article*  
*Geliş Tarihi/Received: 14.09.2023*  
*Kabul Tarihi/Accepted: 05.10.2023*

### ÖZ

Bu çalışmada, kentsel bir alanda kazısı gerçekleştirilen geniş kesitli bir ulaşım tüneline, patlatma kaynaklı titreşimleri kontrol etmek amacıyla yapılan projelendirme aşamaları sunulmaktadır. Tünellerin yerleşim bölgelerine yakınlığı, çevresindeki birçok yapının titreşimlerden olumsuz etkilenmesine neden olabileceği gerçeğini göz önünde bulundurulduğunda, titiz bir titreşim yönetimi gerektirmiştir. Bu çalışma, patlatma faaliyetlerinden kaynaklanan titreşimleri en aza indirmeyi hedefleyen gecikme aralığı, patlatma paternini ve kazı planı optimizasyonunu içeren aşamaları kapsamaktadır. Çalışmanın sonucunda, yüzey titreşimlerini ulusal normlarda belirlenen limitlerin altında tutan, titreşime maruziyet sürelerini kısaltan, bunların yanı sıra proje süresinde ek gecikmelere neden olmayan ve tünel inşaatında mühendislik başarısını elde eden bir patlatma projesinin gerçekleştirildiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Tünel patlatması, Risk analizi, Patlatma optimizasyonu, Titreşim kontrolü

## Controlling the Surface Vibrations Resulting from Tunnel Excavation by Blasting in Urban Environments: An Example of a Large-Section Tunnel

### ABSTRACT

This study presents the sequential stages of a study conducted to control blast-induced vibrations in a wide cross-section transportation tunnel excavated within an urban area. The proximity of these tunnels to various structures necessitated vibration management to prevent adverse effects. The study encompasses delay interval optimization throughout the project duration, blast pattern refinement, and excavation plan optimization, all aimed to reduce vibrations resulting from blasting activities. As a result of the study, it has been observed that an explosive blasting project was executed, which effectively maintains surface vibrations below the limits set by national standards, shortens the duration of exposure to vibrations, and does not cause additional delays during the project's timeline. This achievement has contributed to engineering success in tunnel construction.

**Keywords:** Tunnel blasting, Risk analysis, Blasting optimization, Vibration control

### Cite as;

Karadoğan, A., Özer, Ü., Şahinoğlu, Ü.K., Özyurt, M.C., Sertabipoğlu, Z. (2023). Kentsel Alanda Gerçekleştirilen Tünel Kazılarında Patlatma Kaynaklı Yüzey Titreşimlerinin Kontrolü: Geniş Kesitli Bir Tünel Örneği, *Recep Tayyip Erdogan University Journal of Science and Engineering*, 4(2), 143-153. DOI: 10.53501/rteufemud.1360241

## 1. Giriş

Kentsel tünel inşaatında patlama kaynaklı titreşim konusu, mühendislik, çevre ve güvenlik hususları arasındaki karmaşık etkileşim nedeniyle kapsamlı pek çok araştırmanın konusu olmuştur (Ozer, 2008; Kuzu, 2008; Manolas ve Arusu, 2012; He vd., 2022). Önceki pek çok önemli çalışmada (Ozyurt vd., 2022; Shi vd., 2023; Ozer vd., 2020, 2021) tünel kazılarında patlatma kaynaklı titreşimlerin alt ve üst yapılar üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için titreşim kontrol tekniklerinin gerekliliğini ve önemi vurgulanmıştır.

Bu çalışmada kentsel alanda gerçekleştirilen geniş kesitli bir tünel kazısında, proje süresini uzatmayacak ve titreşimlerin yüzeyde çok yakın noktalarda bulunan risk noktalarında hasara sebep olmayacak bir patlatma projesi için planlanan ve uygulanan çalışma aşamaları detaylandırılarak anlatılmıştır. Özellikle kentsel alanlarda kazı alanı çevresinde risk değerlendirmesinin yapılabilmesi için çeşitli hasar normları bulunmaktadır. Bu normlar, yapıların zarar görmeden taşıyabilecekleri maksimum titreşim hızı (PPV) sınırını verir. Türkiye’de Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı tarafından yayımlanan ve *Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği*’nde belirtilen Maden ve taş ocakları ile benzeri alanlarda patlama nedeniyle oluşacak titreşimlerin en yakın yapının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri tünellerde yapılacak patlatmalar için de sınır değerler olarak kabul edilmektedir (Anonim, 2005) (Tablo 1).

Tablo 1 incelendiğinde, maden ve taş ocakları ile benzeri alanlarda patlatma nedeniyle oluşacak titreşimlerin en yakın yapıda yaratacağı zemin titreşimlerinin frekansı eğer 1 ise izin verilen en yüksek değerleri 5 mm/sn, frekansı 4 ile 10 arasındaysa izin verilen en yüksek değerleri 19 mm/sn, frekansı 30 ile 100 arasındaysa izin verilen en yüksek değerleri 50 mm/sn olacaktır.

Yüzey titreşimlerinin kontrolü kapsamında yapılan çalışmalar, öngörülen 19 mm/sn titreşim limitini aşmamak için risk analiziyle gecikme

başına kullanılacak maksimum parçacık hızının belirlenmesi, aşamalı kazı düzeniyle, tünel aynasının stabilite ve atım büyüklüğü gözetilerek en uygun boyutlu kazı alanlarına bölünmesi, gecikme aralığı optimizasyonu ile uzun titreşim süreleriyle insan algısını olumsuz etkilemeyecek, her deliğin ayrı gecikmede patlatılacağı yani kesişmelerin olmayacağı ve uygun parçalanmaya olanak verecek gecikme aralığının belirlenmesidir.

**Tablo 1.** Maden ve taş ocakları ile benzeri alanlarda patlatma nedeniyle oluşacak titreşimlerin en yakın yapıda yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri

*Table 1. The maximum allowable values of ground vibrations that will be created in the nearest structure by the vibrations that will occur due to blasting in mines, quarries and similar areas*

Titreşim frekansı (Hz)	İzin verilen en yüksek titreşim hızı (mm/sn)
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.

\*\*Bu değerler, 30 Kasım 2022 tarih ve 32029 sayılı Resmi Gazete 'de yayınlanan Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği ile güncellenmiştir. Ancak çalışma, ilgili güncelleme tarihinden önceki dönemde yapıldığından çalışmada eski hasar limitleri kullanılmıştır.

## 2. Çalışma Sahası

Çalışma alanı İstanbul'un Avrupa yakasında yer almaktadır (Şekil 1). Kuzey Marmara Otoyolu, Türkiye'nin en büyük sanayi bölgelerine ev sahipliği yapan, yüksek standartlı, güvenli, kaliteli ve kesintisiz bir ulaşım yatırımdır. Proje, Türkiye'nin en yoğun trafiğine sahip Marmara Bölgesi'nde, Avrupa ile Asya arasında kesintisiz, sürekli ve rahat bir bağlantı sunmaktadır. Kuzey Marmara Otoyolu'nun 4 şeritli ve çift tüplü tünelleri, toplam 400 kilometrelik mesafe ile dünyanın en büyük tüneli olma özelliğini taşımaktadır. Söz konusu güzergahta patlatmalı çalışmaya konu olan tüneller ikiz tünel olarak inşa edilmekte olup her bir tünelin kesit alanı yaklaşık 220 m<sup>2</sup>'dir. Tünel güzergahı boyunca pek çok tünel pasajı bulunmaktadır. Bu çalışmada yerbulduru haritasında gösterilen ve Şaft 2 bölgesi

olarak adlandırılan sahadaki çalışmalar konu edilmektedir.



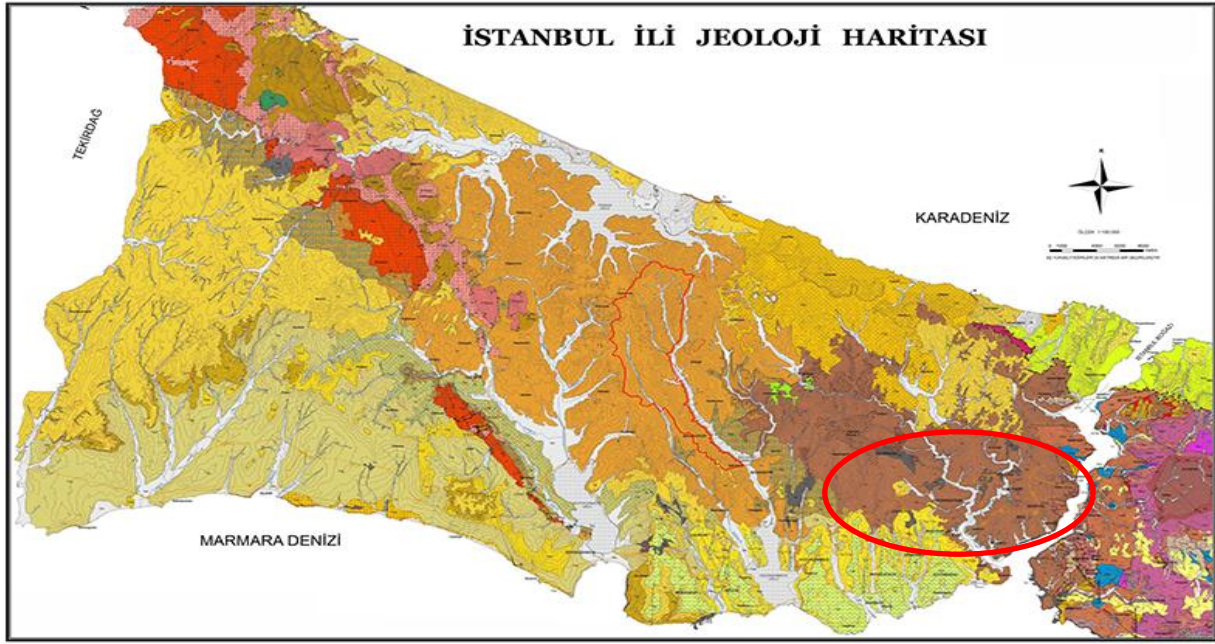
Şekil 1. Çalışma sahası güzergahı ve yer bulduru haritası

Figure 1. The route and location map of the study area

## 2.1. İnceleme alanı jeolojisi

Çalışma alanında karşılaşılan jeolojik birim, kumtaşı-kiltaşı-silttaşı-şeyl aralanmasından oluşan Trakya formasyonudur. Cebeciköy kireçtaşları, türbülanslı ve kademeli geçişli bir akarsuyun, bozunma renginde koyu sarımsı kahve renginde, gri yüzeyli çamurtaşı merceği, grimsi mavi, siyahımsı gri renkli ve siyah minerallerin

oluşturduğu türbiditik çökellerdir. Cebeciköy kireçtaşı üyesi, inceleme alanının Trakya formasyonu içindeki kayaç birimidir. Yer bulduru haritasında ve jeoloji haritasında çalışma sahası kırmızı daire içerisinde gösterilmektedir. Şekil 2’de verilen çalışma alanının jeoloji haritası ve çalışma alanındaki kaya biriminin mühendislik parametreleri Tablo 2’de özetlenmiştir (TTS Mühendislik, 2018).



**Şekil 2.** Çalışma sahasının jeolojik haritası

**Figure 2.** The geological map of the study area

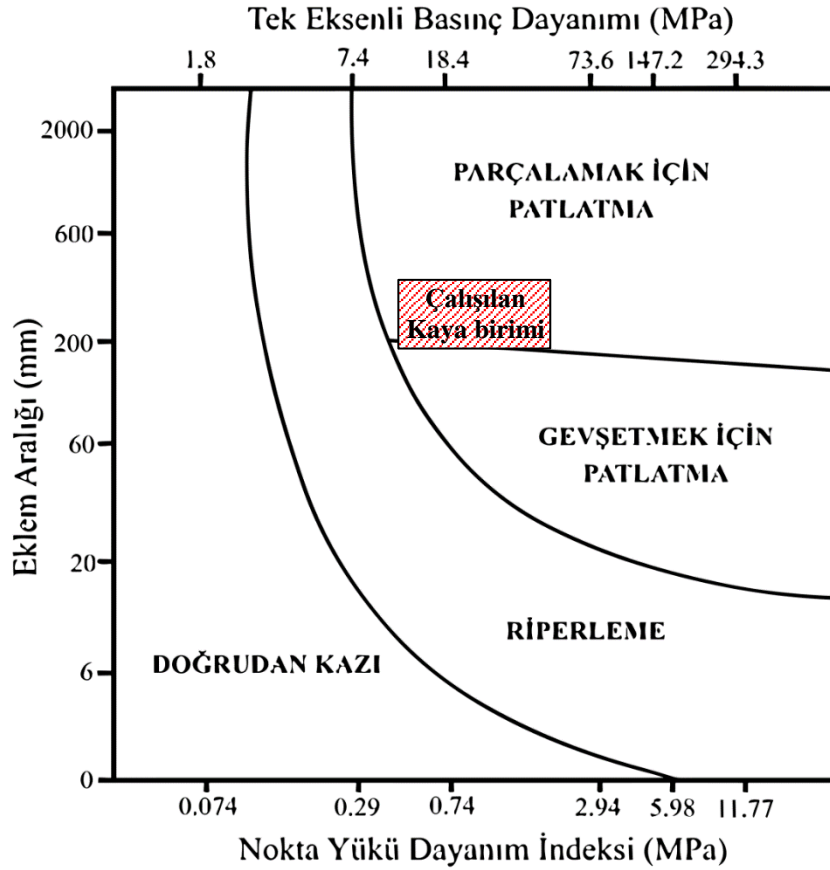
Tablo 2 incelendiğinde, kazı yapılan birimin kireçtaşı olduğu, Tek eksenli basma dayanımının ( $\sigma$ ) 35-40 MPa arasında, kohezyon ( $c$ ) değerinin 0,155 ile 0,217 arasında değiştiği görülmektedir. Yoğunluğunun ( $\gamma$ ) 26 kN/m<sup>3</sup>, jeolojik dayanım indeksinin ise 28 olduğu tespit edilmiştir. Kaya kütlesi bloklu kaya sınıfında değerlendirilmektedir.

Elde edilen mekanik veriler Franklin vd. (1971) tarafından önerilen kazılabilirlik abağı ile değerlendirildiğinde, kayanın sağlam yapısı nedeniyle (abak üzerinde kırmızı ile taralı alanda gösterilen) kazının patlatma ile gerçekleştirilmesinin teknik açıdan gereklilik olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 3).

**Tablo 2.** Çalışma sahasının jeoteknik özellikleri

**Table 2.** The geotechnical properties of the study area

Birim	$\sigma$ (MPa)	$c$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	GSI
Kireçtaşı	35,4-40	0,155-0,217	26	28



Şekil 3. Çalışma sahası kaya birimlerine ait kazılabilirlik değerlendirilmesi

Figure 3. The excavability evaluation of the formation encountered in the study area

### 3. Titreşim Kontrolü

Titreşim kontrolü çalışmaları 4 aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada risk analiziyle hangi kesit çapı, proje uzunluğu ve diğer tasarım parametrelerinden bağımsız olarak, çevre yapılarında hasara neden olmamak için gecikme başına kullanılacak maksimum patlayıcı miktarının belirlenmesi yer alır. İkinci aşamada, İlk üç aşama planlama çalışmalarını kapsar. Son aşamada ise tasarlanan mühendislik çalışmalarının sahada uygulanması ile yapılan ölçümlerle hesapların doğrulaması ve gerek olması halinde revizyon çalışmalarını içermektedir. Proje kapsamında gerçekleştirilen titreşim kontrolü aşamaları aşağıda sırasıyla başlıklar halinde açıklanmaktadır.

#### 3.1. Risk Analizi ile Gecikme Başına Şarj Miktarının Tespiti

Kuzey Marmara otoyolu Şaft 2 Bölgesi kazısı kapsamında yapılacak patlatmalı kazı

kazı aynası, hem stabilite hem de atım başına delik sayısını düşürerek titreşim optimizasyonu yapmak üzere kısımlara ayrılmış ve kazı bu farklı aşamalarda gerçekleştirilmiştir. Çalışmadaki üçüncü aşamada, çalışma ekibinin kentsel alan tünel kazıları için geliştirdiği rose cut (Ozer vd., 2018; Özyurt vd., 2023) sistemiyle gecikme aralığı optimizasyonu yapılmıştır.

çalışmalarından kaynaklanacak olan titreşimlerin, bölgede bulunan yapılara etkisini en aza indirmek için, her bir atımda gecikme başına kullanılacak en fazla patlayıcı madde miktarının belirlenmesi gerekmektedir.

Araştırmaya konu olan sahaya yönelik olarak yapılan risk analizinde; söz konusu sahada yapılan deneme atımları sonucunda geliştirilen ve Eş. 1’de verilen tahmin denklemi kullanılmıştır (Özer vd., 2020).

$$PPV = 17817 \left(\frac{R}{\sqrt{W}}\right)^{-2.075}, \quad (R = 0.8) \quad (1)$$



Sahada risk unsuru olacak yapılar güzergâhın üzerinde olup risk noktalarının her bir atım için güncellenmesi gerekmektedir. Bu nedenle yüzeye olabilecek en yakın noktalar için belirlenmiş risk mesafeleri Tablo 3'te verilmektedir.

**Tablo 3.** Güzergâh boyunca en yakın riskli yapılara olan mesafeler

**Table 3.** The distances to the risky areas along the tunnel route

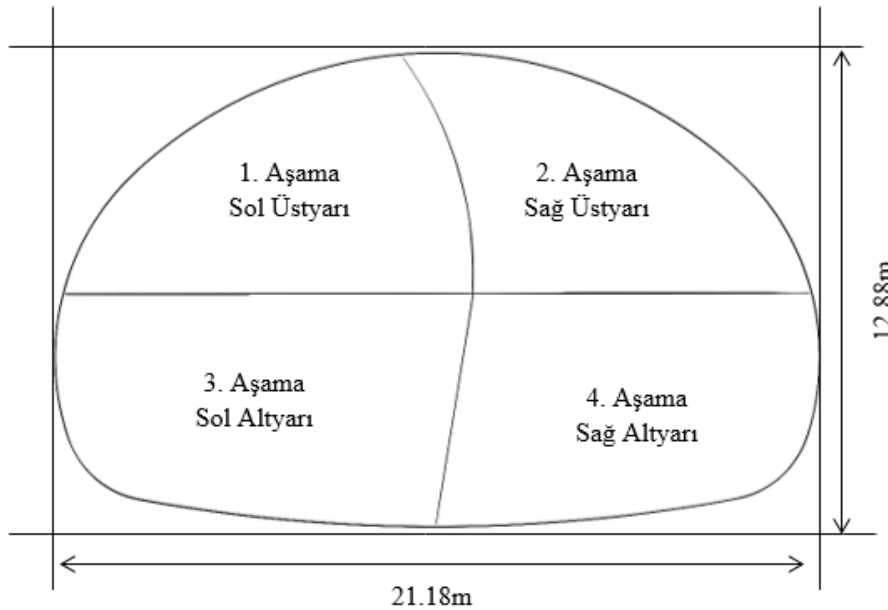
Risk Noktası	Mesafe (m)	Şarj (kg)
Risk noktası 1	35	1,65
Risk noktası 2	40	2,2

Bu mesafeler güzergâha en yakın risk noktaları olduğundan, bu noktaları korumak üzere yapılan tasarımlar daha uzak mesafeler için de güvenli

olacaktır. Eşitlik 1 ve Tablo 2'deki mesafeler gözönünde bulundurulduğunda, uygulanabilecek gecikme başına en yüksek şarj miktarları belirlenen risk noktaları için sırasıyla 1,635 kg ve 2,18 kg olarak uygulanmıştır.

### 3.2. Aşamalı Kazı Planı ve Uygulaması

Aşamalı kazı veya NATM, özellikle tünel aynasının geniş kesit alanı nedeniyle bir sonraki bölüme geçmeden önce ilk desteği sağlarken tünelin daha küçük aşamalarda kazılmasını içerir. Bu yöntem, kazı sürecinin güvenliği, mevcut ekipmanlar, bir atımda patlatılacak delik sayısı ve hafriyat planı da göz önünde bulundurularak planlanmıştır. Yapılan aşamalı kazı planı Şekil 4'te verilmektedir.



**Şekil 4.** Aşamalı kazı düzeni

**Figure 4.** The order of the staged excavation

Yapılan bu çalışmanın uygulamadaki temel amaç daha küçük bölümlerde kazı yaparak, olası arızaların veya çökmelerin etkisi daha küçük bir alanla sınırlandırılması ve stabilitenin sağlanmasıdır. Her bölümün kazı ve destek kurulumundan öğrenilen derslerin, sonraki bölümlere uygulanabilmesini ve kazı sürecinin sürekli iyileştirilmesine olanak tanınmasını sağlanmıştır. Ayrıca, kesit kazısı yüzey titreşimlerinin kontrol edilmesine ve azaltılmasına yardımcı olmak üzere planlanmıştır. Buna göre kesit alanları 27,4 m<sup>2</sup> ile 43,5 m<sup>2</sup>

arasında değişmektedir. Her bölüm için daha az sayıda delikle atım gerçekleştirilerek titreşimlerin süresi kısaltılmış ve olası süperpozisyonları (aynı gecikmede birden fazla deliğin aynı anda patlaması) önleyerek titreşimlerin daha uzak mesafelere yayılması engellenmiştir. Buna göre uygulanan tasarımlar Tablo 4'te sunulmaktadır.

Planlanan atımlarda 1 no'lu aşamada (sol üstyarı) 93 adet delik, 2 no'lu aşamada (sağ üstyarı) 46 adet delik, 3 no'lu aşamada (sol altyarı) 71 adet delik ve 4 no'lu aşamada (sağ altyarı) 58 adet

delik olmak üzere toplam 268 adet delik yer almaktadır. Sonraki aşamada atımlardan meydana gelecek titreşimlerin süre bakımından kontrolünü

sağlamak adına gecikme aralığı optimizasyonu yapılmıştır.

**Tablo 4.** Şaft 2 bölgesi uygulanan patlatma tasarımları

**Table 4.** The applied blasting patterns in the Shaft-2 region

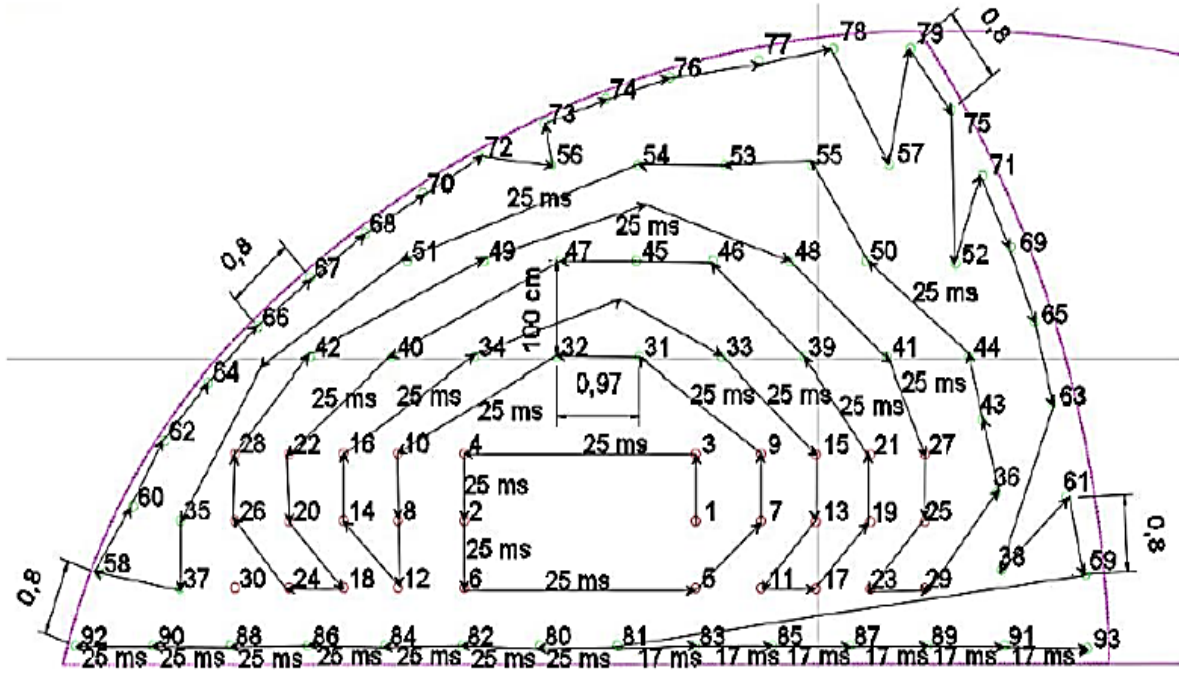
	<b>Delik adedi</b>	<b>Delik boyu (m)</b>	<b>Sıkılama boyu (m)</b>	<b>Sıralar arası mesafe (m)</b>	<b>Delikler arası mesafe (m)</b>
Sol üstyarı	93	2,35	1,75	1,0	0,8-1,0
Sağ üstyarı	46	2,35	1,75	1,2	1,0
Sol altyarı	71	2,35	1,75	1,0	0,9
Sağ altyarı	58	2,35	1,75	1,0	0,9

### 3.3. Gecikme Aralığı Optimizasyonu

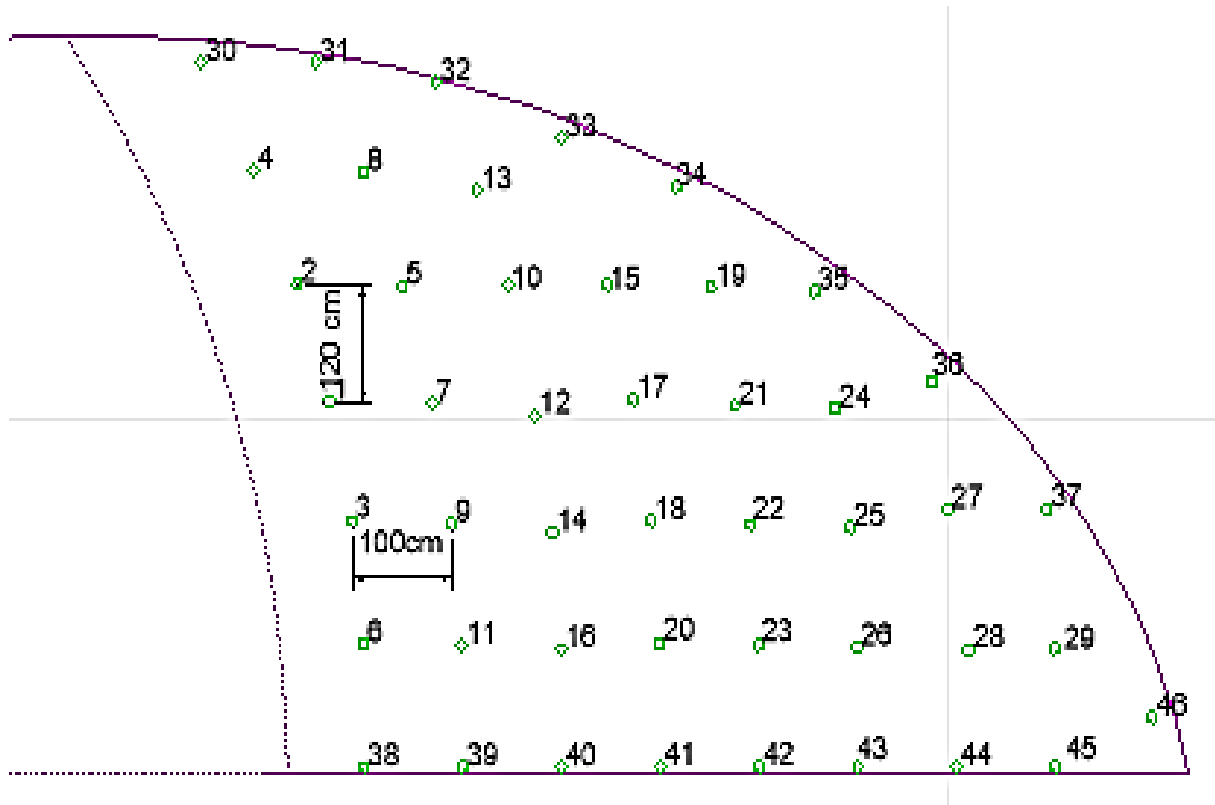
Çalışmada 1 nolu bölgede 93 adet delikle, geleneksel yöntemlerle 25 mslik gecikme aralıklarında titreşim süresi 2825 ms (yaklaşık 3 saniye) süreceği, dolayısıyla insanların titreşimleri uzun sürelerde hissetmesinden dolayı daha yüksek düzeyde hassasiyet ve rahatsızlık oluşacağı tespit edilmiştir. Bu sebeple çalışma ekibinin çalışmalarda kullandığı rose cut yöntemiyle atımların süresinin kısaltılması gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemle uygulanan atımda, atım süresi 1,16 saniyeye düşürülmüştür (Şekil 5). Yöntemde atım süresinin önemli ölçüde kılalmasının yanı sıra parçalanma performansının değişmediği ve istenilen ilerlemenin sağlandığı görülmüştür. Bununla birlikte, diğer yarılarda titreşimi düşürmek ve patlatma performansını iyileştirme amacıyla elektronik ateşleme

sisteminden faydalanılmıştır. Tünellerde elektronik ateşleme sistemi ile yüzey titreşimlerinin azaltılması ve rose cut uygulaması hakkında detaylı bilgilere Özyurt vd. (2023) ve Özer vd. (2018) kaynaklarından ulaşılabilir. Delik içinde tek seriden oluşan uzun gecikmeli kapsül ile kısa gecikme aralığı içeren yüzey kapsüllerinin birlikte kullanılmıştır. Sol üstyarı (1. aşama) için elektriksiz ateşleme sistemli patlatma tasarımı Şekil 5'te, sağ üstyarı (2. aşama) için elektronik ateşleme sistemli patlatma tasarımı Şekil 6'da, sol altyarı (3. aşama) patlatma tasarımı Şekil 7'de sağ altyarı (4. aşama) patlatma tasarımı Şekil 8'de görülmektedir.

Yapılan özel uygulama sonucunda, rose cut sistemiyle ateşleme süresi yarı yarıya kısaltılmış, elektronik detonatörlerle titreşim süresi ve parçalanma kontrolü sağlanmıştır.

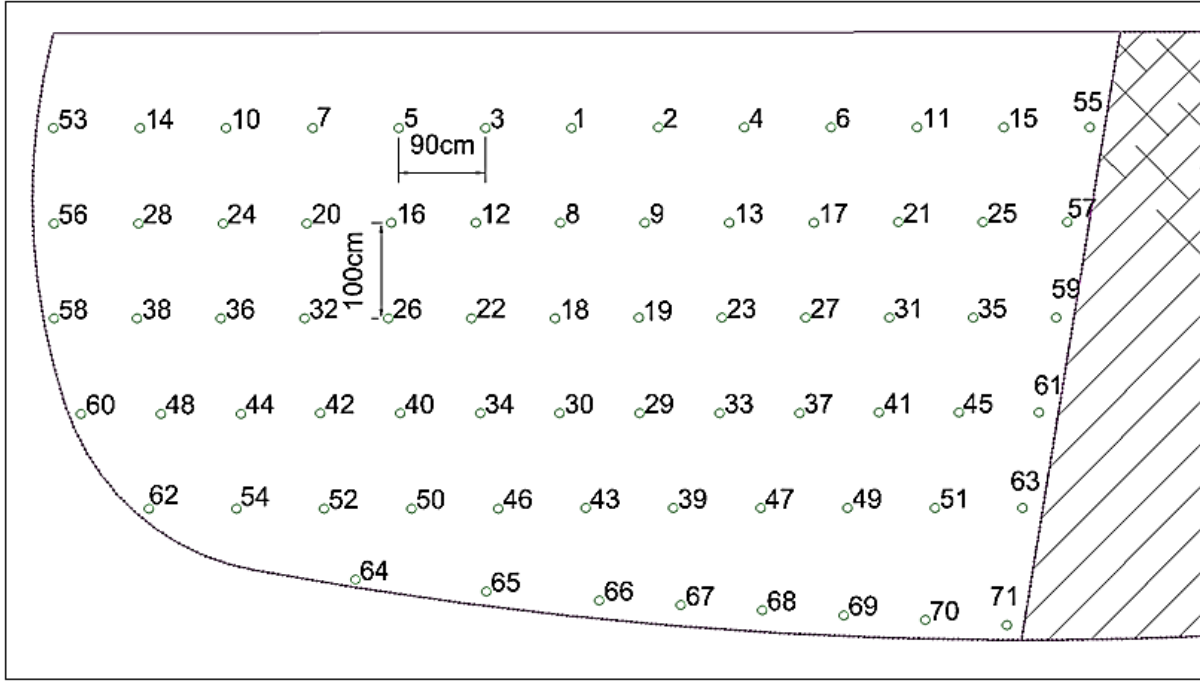


Şekil 5. Sol üstyarı (1.aşama) için elektriksiz ateşleme sistemli rose cut patlatma tasarımı  
 Figure 5. Rose cut blasting sequence design with non-electric ignition system for the upper left half (1st stage)



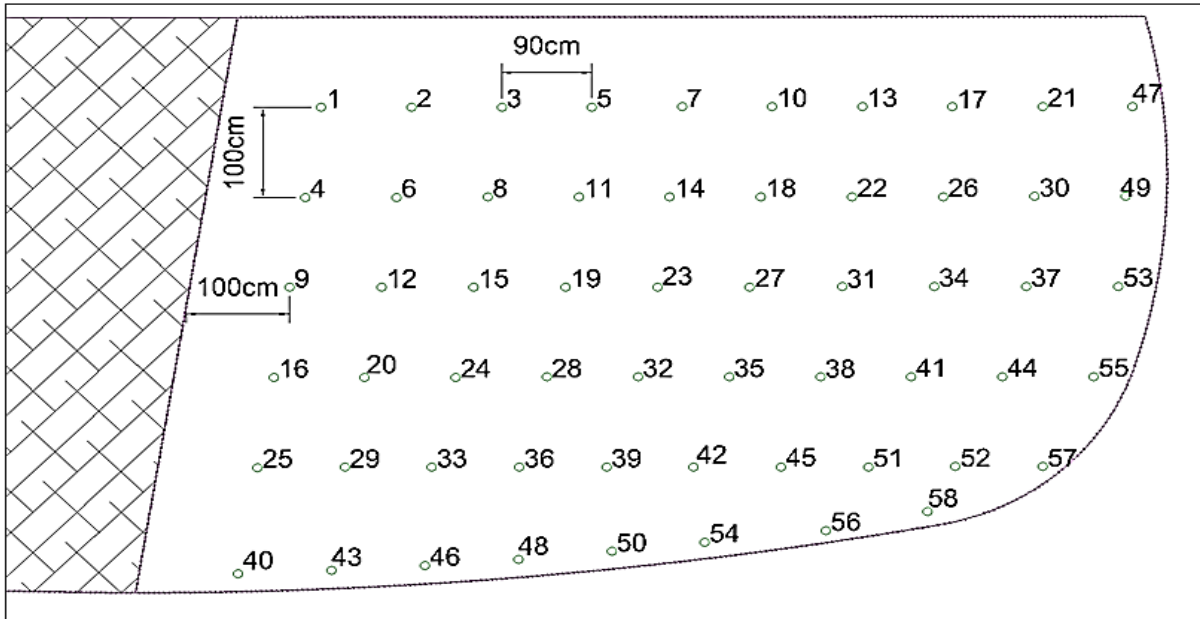
Şekil 6. Sağ üstyarı (2.aşama) için elektronik ateşleme sistemli patlatma tasarımı  
 Figure 6. Blasting design with electronic ignition system for the upper right half (2nd stage)





Şekil 7. Sol altıyarı (3. aşama) patlatma tasarımı

Figure 7. Blasting design of lower left half (stage 3)



Şekil 8. Sağ altıyarı (4. aşama) patlatma tasarımı

Figure 8. Blasting design of lower right half (stage 4)

### 3.4. Uygulanan Tasarımların Değerlendirilmesi

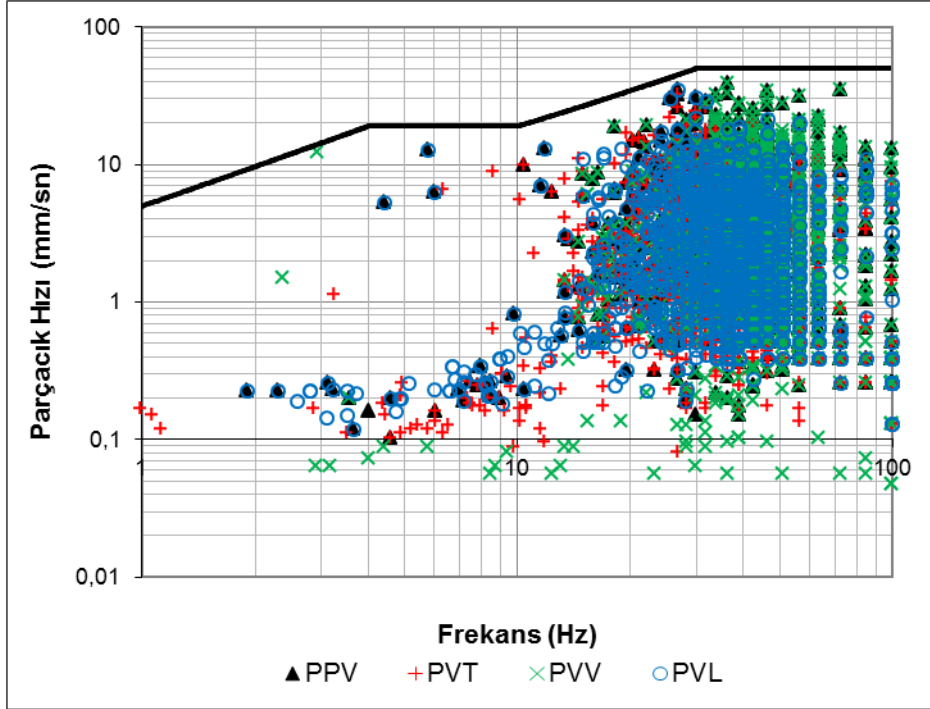
Uygulanan tasarımlar, giriş bölümünde verilen TC. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının yayınladığı çevresel gürültünün kontrolü ve yönetimi yönetmeliğine göre değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeye

göre, uygulanan şarj miktarına göre patlatma tasarımı, stabilite ve ilerleme miktarı gözönünde bulundurularak yapılan aşamalı kazı ve ateşleme planı uygulandığında elde edilen sonuçlar Şekil 9'da verilmektedir.

Şekil 9'da enine (PVV) boyuna (PVL) ve düşey yönde (PVT) kaydedilmiş olan ve bunlarının

içinden her bir atım için en yüksek olan (PPV) titreşim büyüklükleri ulusal norm sınır çizgileriyle birlikte gösterilmiştir. Şekil 9'da da görüldüğü üzere, çalışmada önerilen ve

uygulanan tasarımlar sonucu meydana gelen titreşim büyüklüklerinin çevre yapılarında hasara neden olabilecek seviyelerde gerçekleşmemiştir.



**Şekil 9.** Önerilen tasarımlardan elde edilen maksimum parçacık hızlarının çevresel gürültünün kontrolü ve yönetimi yönetmeliğine göre yorumu

**Figure 9.** Interpretation of the maximum particle velocities obtained from the proposed designs according to the environmental noise control and management regulation

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, çağdaş kentsel yapılaşmanın vazgeçilmezi olan tünel kazılarının planlanmasında göz önünde bulundurulması gereken kapsamlı bir etki dizisini ortaya çıkararak, geniş kesitli bir tünel kazısında projelendirme aşamasında yapılan titreşim kontrolüne yönelik çalışmaları detaylı olarak anlatılmıştır. Bu kapsamda, ulusal yönetmelikçe öngörülen 19 mm/sn titreşim limitini aşmamak için risk analiziyle gecikme başına kullanılabilir maksimum parçacık hızının belirlenmiştir. Aşamalı kazı düzeniyle, tünel aynasının stabilite ve delik sayısına göre atım büyüklükleri gözetilerek en uygun boyutlu kazı alanlarına bölünmüştür.

Gecikme aralığı optimizasyonu ile uzun titreşim süreleriyle insan algısını olumsuz etkilemeyecek, her deliğin ayrı gecikmede patlatılacağı yani

süperpozisyonların olmayacağı ve uygun parçalanmaya olanak verecek gecikme aralığının belirlenmiş ve sahada başarıyla uygulanmıştır.

Çalışma sonucunda, proje süresince kaydedilen titreşim değerleri yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin altında gerçekleşmiş, uygulanan tasarımların projede gecikmelere ve aksaklıklara sebep olmamış ve uygulanan yeni gecikme düzeniyle atım sürelerinin kısaltılarak çevrede konfor iyileştirmesi yapılmıştır. Böylece, kentsel alanda gerçekleştirilen geniş kesitli bir tünel kazısında patlatma kaynaklı yüzey titreşimlerinin kontrolü başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

#### Yazar Katkısı

A. Karadoğan, Ü. Özer, Ü. Kalaycı Şahinoğlu, M. C. Özyurt, Z. Sertabipoğlu: çalışma için fikir oluşturulması, çalışmanın planlanması, verilerin

toplanması, değerlendirilmesi, raporlanması ve revizyonu bölümlerinde görev almışlardır.

### Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmaya desteklerinden dolayı İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi Dekanlığına, T.C. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne ve Kalyon A.Ş. yetkililerine teşekkür eder.

### Kaynaklar

Anon, (2005). Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, (2002/49/EC).

Franklin, J.A., Broch, E., Walton, G. (1971). Logging the mechanical character of rock. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, 80, A1-A9.

He, R., Jiang, N., Li, D. W., Qi, J.F. (2022). Dynamic response characteristic of building structure under blasting vibration of underneath tunnel. *Shock and Vibration*, 2022, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2022/9980665>

Kuzu, C. (2008). The mitigation of the vibration effects caused by tunnel blasts in urban areas: a case study in Istanbul. *Environmental geology*, 54, 1075-1080. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0875-7>

Manolas, F.I., Arusu, T. (2012). Blasting works in urban areas: A Singapore case study. *Electrical Measuring Instruments and Measurements*, 23-30.

Ozer, U. (2008). Environmental impacts of ground vibration induced by blasting at different rock units on the Kadikoy-Kartal metro tunnel. *Engineering Geology*, 100, 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.006>

Ozer, U., Karadoğan, A., Yıldırım, K., Özyurt, M.C., Sertabipoğlu, Z., Kalaycı Şahinoğlu, Ü., Özkul, O., Bayındır, O., Yurttaş, M., Sefer, İ., Zaif, C.B., Durdu, A., Kişi, A., Günay, M.,

Karaoğan, H., Çevik, İ., Şireci, S., Şahin, S., Kanlıçay, E. (2018). Kuzey marmara otoyolu, cebeci tüneli patlatmalı kazısında gecikme aralığının parça boyut dağılımı ve ilerleme üzerine etkisinin analizi. 4. *Uluslararası Yeraltı Kazıları Sempozyumu & Sergisi*, 13-14 Eylül, İstanbul, Türkiye.

Ozer, U., Karadoğan, A., Sertabipoğlu, Z., Kalaycı Şahinoğlu U., Ozyurt, M.C. (2020). İstanbul İli Sultangazi, Arnavutköy, Eyüp, Çatalca ve Silivri İlçeleri Kuzey Marmara Otoyolu (3.Boğaz Köprüsü Dahil) Projesi Kınalı Odayeri (Bağlantı Yolları Dahil) 1. Kesim (0+000 - 40+370), 2. Kesim (40+370 - 58+013), 7. Kesim (61+117 - 71+244) İnşaatı İşi Kapsamında Patlatmalı Kazı Çalışmalarında Patlatma Kaynaklı Titreşim ve Hava Şoku Ölçümü ve Değerlendirilmesi, Döner Sermaye Projesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi.

Ozer, U., Karadoğan, A., Sertabipoğlu, Z., Kalaycı Şahinoğlu U., Ozyurt, M.C. (2021). Kuzey Marmara Otoyolu (3. Bogaz Koprusu Dahil) Projesi Nakkas Basaksehir (Baglanti Yolları Dahil) Kesimi Projesi Km:35+300-49+399 İsi Kapsamında Risk Analizine Dayali Patlatma Tasarımı, Döner sermaye projesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi.

Ozyurt, M.C., Ozer, U., Karadoğan, A., Sertabipoğlu, Z., Kalaycı Şahinoğlu U. (2023). Evaluation of the environmental effects of blasting during the construction of the Rumeli Hisarüstü-Aşiyen funicular line. *5th International Underground Excavations Symposium and Exhibition*, 5-7 Haziran, İstanbul, Türkiye.

Shi, H., Jiang, N., Zhou, C., Zhnag, Y., Yao, Y., Zhou, W., Cai, Z. (2023). Safety assessment of ancient buddhist pagoda induced by underpass metro tunnel blasting vibration. *Engineering Failure Analysis*, 145, 107051. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.10705>

TTS Mühendislik, (2018). Jeoteknik Rapor.