

Kentsel Alanda Patlatmalı Temel Kazılarında İlk Kazı Başlangıç Noktası ve Atım Yönü Belirlenmesi

Abdulkadir KARADOĞAN^{1*} , Zeynep SERTABİPOĞLU KAYCI¹ , Ümit ÖZER¹ , Ülkü Kalaycı ŞAHİNOĞLU¹ , Meriç Can ÖZYURT¹ 

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Büyükçekmece/İstanbul

Sorumlu Yazar/Corresponding Author
E-mail: akadir@iuc.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article
Geliş Tarihi/Received: 28.08.2024
Kabul Tarihi/Accepted: 06.03.2025

Öz

Kentsel alanlarda patlatmalı temel kazılar, yoğun yerleşim alanlarında ve sert kaya birimlerinde kazı işlemlerinin hızlandırılması amacıyla uygulanır. Bunun yanı sıra başarılı bir patlatmadan söz edilebilmek için atımın çevresel etkiler açısından da emniyetli olması gerekir. Kentsel alanlarda yapılan patlatmalar, dikkatli planlama ve uygulama gerektiren kritik bir mühendislik disiplini gerektirir. Bu çalışmada, şehir içi patlatmalı temel kazılarda etkili olan parametrelerin öncelik sırası tespit edilmiş ve ilk kazı başlangıç noktası ve atım yönü bulmaya yönelik bir yol haritası verilmiştir. Çalışmanın devamında, belirlenen yol haritası uygulanarak örnek bir kazı çalışması yapılmış ve edinilen sonuçlar irdelenmiştir. Kazı alanında sahadaki jeolojik ve çevresel unsurlar dikkate alınarak tasarımlar geliştirilmiştir. Geliştirilen tasarımların sahada hangi bölgelerde kullanılacağı tespit edilmiş ve çevresel risk unsurları dikkate alınarak kazı başlangıç yeri ve atım yönlerine karar verilmiştir. Çalışma kapsamında kazı alanında 19 adet patlatma, belirlenen tasarımlara, yerlere ve atım yönüne uygun bir şekilde yapılmış ve çevresel bir etki yaratmadan çalışma başarılı bir şekilde tamamlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kentsel alan, temel kazısı, patlatma, ilk kazı başlangıç noktası, atım yönü

Determination of Initial Excavation Starting Point and Shot Direction in Blasting Foundation Excavations in Urban Areas

Abstract

Blasting for foundation excavation in urban areas are applied to accelerate excavation processes in densely populated areas and hard rock units. In addition, the blasting must be safe in terms of environmental effects for effective process. Blasting in urban areas requires a critical engineering discipline that both increases efficiency and requires careful planning and execution. In this study, the priority order of the parameters effective in urban blast foundation excavations was determined and a road map was provided so as to find the first excavation starting point and blast direction. Following that, a sample excavation study was carried out by applying the determined road map and the results were examined. Designs were developed by considering the geological and environmental factors in the excavation area. The areas where the developed designs planned to be used in the field were determined and the excavation start location and blasting directions were decided by considering the environmental risk factors. Within the scope of the study, 19 blasts were performed in the excavation area in accordance with the determined designs, locations and blasting directions. The current investigation was successfully completed with no negative effects on the environment.

Keywords: Urban area, foundation excavation, blasting, initial excavation starting point, blast direction

Cite as;

Karadoğan, A., Sertabipoğlu Kaycı, Z., Özer, Ü., Kalaycı Şahinoğlu, Ü. Özyurt, M. C. (2025). Kentsel Alanda Patlatmalı Temel Kazılarında İlk Kazı Başlangıç Noktası ve Atım Yönü Belirlenmesi. *Recep Tayyip Erdogan University Journal of Science and Engineering*, 6(1), 110-123. Doi: 10.53501/rteufemud.1540205

1. Giriş

Metropol şehirlerin gelişmesiyle birlikte artan nüfusa paralel olarak konut, ulaşım ve alt yapı ihtiyacının arttığı günümüzde, bu ihtiyacı karşılamayı yönelik yapılan kazılarda karşılaşılan kaya birimlerinin jeolojik yapısı gereği mekanik kazının yapılamadığı yerlerde patlatmalı kazı kaçınılmaz hale gelmiştir (Öz, 2015; Özer vd., 2018).

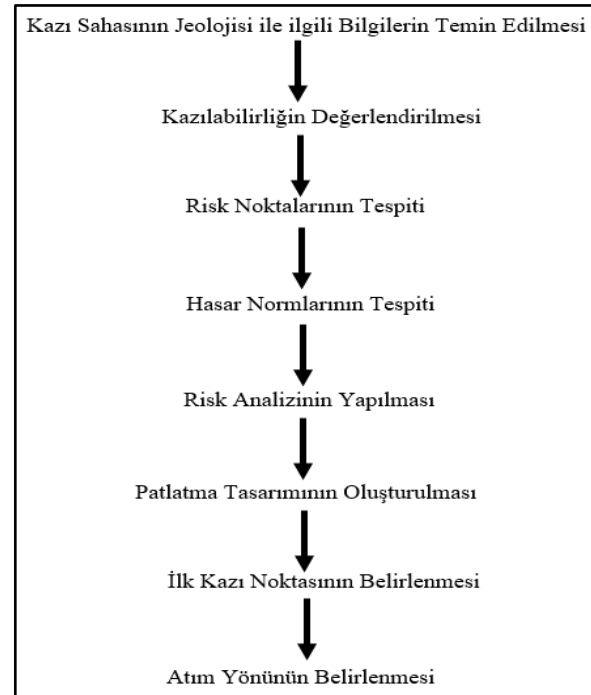
Kentsel alanlarda patlatmalı temel kazılar, yoğun yerleşim alanlarında ve sert kaya birimlerinde kazı işlemlerinin hızlandırılması amacıyla uygulanır. Bunun yanı sıra başarılı bir patlatmadan söz edilebilmek için atımın çevresel etkiler açısından da emniyetli olması gerekir. Risk noktası çok olan şehir içi atımlarda 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 Shing, 2006; Karadoğan, 2008, Özer vd., 2016a, Özer vd., 2019, Karadoğan vd., 2020, Özer vd. 2020, Chen vd., 2023, Ghoghgi vd., 2024, Taiwo vd., 2024). Dolayısıyla, kentsel alanlarda patlatma yapılırken, mühendislik, çevre ve güvenlik hususları arasındaki karmaşık etkileşim nedeniyle dikkatli bir planlama gerektir. Planlama sürecinde hedef; çevresel etkileri minimize ederek, güvenli, etkili ve verimli bir kazı süreci sağlanması ve iş programının optimize edilmesidir.

Bu çalışmada, şehir içi patlatmalı temel kazılarda etkili olan parametrelerin öncelik sırası tespit edilmiş ve ilk kazı başlangıç noktası ve atım yönü bulmaya yönelik bir yol haritası verilmiştir. Çalışmanın devamında, belirlenen yol haritası uygulanarak örnek bir kazı çalışması yapılmış ve edinilen sonuçlar irdelenmiştir. Elde edilen bulgular çalışmanın ilerleyen bölümlerinde detaylı olarak sunulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Yöntemi

Şehir içinde bulunan ve sert kaya biriminden oluşan bir kazı sahasında yapılacak patlatma faaliyetlerinde ilk kazı başlangıç noktası ve atım yönünü bulmaya yönelik süreç adımları Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Şehir içi patlatmalı kazılarda izlenmesi gereken ilk kazı başlangıç noktası ve atım yönünü bulmaya yönelik süreç adımları

Figure 1. Flow chart of finding the initial excavation starting point and blast direction for urban explosive excavations

2.1.1. Kazı Sahasının Jeolojisi

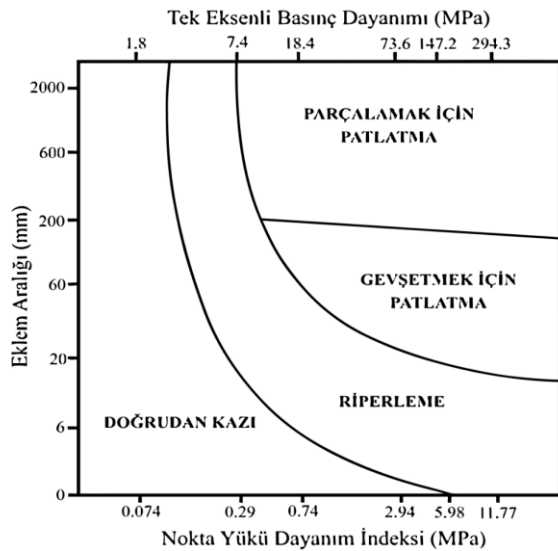
Şehir içi patlatmalarının ilk proje adımı kazı sahasına ait jeolojik bilgilerin temin edilmesidir. Çevre jeolojisi ve bu çevrede yer alan jeolojik birimlerin özelliklerinin titreşimler üzerinde büyük etkisi vardır. Homojen ve masif kayaç kütlelerinde titreşimlere neden olan elastik dalgalar her yönde yayılırlar iken, bu durum kompleks jeolojik yapılarda yönlere göre değişen bir yayılma zayıflama gösterirler (Kuzu, 2011).

Titreşimler, zemin özelliği taşıyan bir tabaka ile örtülü kayalık bir ortamda yayıldığında, frekans ve genlikleri zemin özelliklerinden etkilenir.

Zeminin elastik modülü, genellikle kayaların elastik modülünden daha düşüktür. Bu nedenle, bu tür malzemelerde dalga yayılım hızı ve titreşim frekansı azalmakta, ancak deplasman örtü tabakasının kalınlığına bağlı olarak belirgin bir şekilde artmaktadır (Jimeno vd., 1995; Karadoğan, 2008).

2.1.2. Hematolojik Çalışmalar

Kazılabilirlik, kayaçların bulundukları yerden kazı ekipmanları ile ne ölçüde koparılabildiklerinin, sökülebilirlik ise kayaların ripperli dozer ile ne ölçüde sökülerek parçalanabileceğinin göreceli ifadesidir (Ceylanoğlu vd., 2007; Alemdağ vd., 2011). Franklin vd. (1971) tarafından önerilen kazılabilirlik sınıflama sisteminde kayacın mekanik dayanımı nokta yük indeksi veya tek eksenli basma dayanımı parametreleri yardımıyla, kaya kütlesi özelliği olan süreksizlik aralığı ise sondaj veya mostralardan elde edilen veriler yardımıyla belirlenmektedir. Her iki jeoteknik parametreye ait sayısal değerlerin grafik üzerine işlenmesiyle, uygulanması önerilen kazı türü (doğrudan kazı, sökme, ön-gevşetme amaçlı patlatma ve patlatma) tayin edilebilmektedir (Gökten ve İphar, 2013) (Şekil 2).



Şekil 2. Kazılabilirlik değerlendirme (Franklin vd., 1971)

Figure 2. Excavability assessment (Franklin et al., 1971)

2.1.3. Risk Noktalarının Tespiti

Titreşim, hava şoku ve taş savrulması riskleri gözlemlenir. Şehir içi kazı sahalarının yakınında pek çok risk noktası (binalar, yollar, ankraj ve kazıklar ile altyapı iletim ve dağıtım hatları vb.) mevcut olacağından, farklı yapısal özelliklere göre sınıflandırılması ve uygun metodlarla değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu risk noktaları ile kazı sınırları arasındaki mesafeler topografik ölçümler ile belirlenmelidir.

Çalışma öncesinde çevre binalarda yerinde tespit yapılmalı, hasarlı yapılar belirlenmeli, titreşim sebebiyle oluşabilecek minör hasarlar için hane içlerinde önlem alınmalıdır. Çevre yapıların iç ve dış fotoğrafları alınarak mevcut durumu kayıt altında tutulmalıdır. Ayrıca, altyapı iletim ve dağıtım hatlarının güncel bilgileri belediyelerden temin ve teyit edilmelidir.

2.1.4. Hasar Normlarının Tespiti

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 Gürültü Kontrol Yönetmeliği’nde (Anon, 2022) belirtilen Maden ve taş ocakları ile benzeri alanlarda patlama nedeniyle oluşacak titreşimlerin en yakın yapının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri temel kazılarında yapılacak patlatmalar için de sınır değerler olarak kabul edilmektedir (Tablo 1).

Çevresel şikâyetlerin büyük bir bölümü hava şokundan kaynaklanmaktadır. Hava şoku, insanları psikolojik olarak rahatsız ederek, algı seviyesini arttırmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Madencilik Bürosu’nun (USBM) RI 8507 yönetmeliğine (Siskind vd., 1989) göre, hasarsız limit 140 dB değeri tüm patlatmalı kazılarda sınır değer olarak kabul edilmektedir.

Tablo 1. Patlatma kaynaklı çevresel etkilere ait hasar limit değerleri**Table 1.** Damage limit values for environmental impacts due to blasting

Çevresel Etki	Hasar Limiti				Norm
Kaya Savrulması	$L_{max} = 260 \times D^{2/3}$ L_{max} = Maksimum kaya savrulma mesafesi (m), D= Delik çapı (inç)				İsveç Normu (Lundborg ve diğ., 1975)
Titreşim	Yapı Tipi	Binaların Temelinde En Yüksek Titreşim Hızı (mm/s) (frekansa göre, f=Hz)			T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022, Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı: 32029. (Anon, 2022)
		f = 1-10	f = 10-50	f = 50-100	
	Endüstriyel Binalar	20	40	50	
	Evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar	5	15	20	
Titreşim	Titreşime duyarlı olup 1. ve 2. Maddenin dışında kalan binalar, tarihi ve doğal yapılar	2	8	10	8
	Hava Şoku	140 dB			Siskind vd. USBM RI 8507, 1989

Taş savrulması için ise, Lundberg vd, (1975) tarafından geliştirilmiş İsveç Normu kullanılmaktadır (Eş. 1). Bu norm, taş savrulma mesafesini delik çapının bir fonksiyonu olarak kabul eder ve olası en kötü senaryo için taş savrulma mesafesinin hesaplanmasına imkan verir.

$$L_{max} = 260 \times d^{2/3} \quad (1)$$

Bu formülde; L_{max} en kötü durumda (kontROLSÜZ şartlarda) taşların savrulabileceği uzaklık olup metre birimi ile ifade edilir. d ise delik çapı olup inç birimi ile yerleştirilir.

2.1.5. Risk Analizinin Yapılması

Patlatmalı temel kazısı nedeniyle atım lokasyonlarına yakın mesafelerde yer alan çevredeki yapılarda oluşabilecek hasarlara yönelik risk analizi yapılması gerekir. Analizde mümkün olan en uygun parametreler kullanılarak en olumsuz durumda oluşabilecek sarsıntı etkilerinin kabul edilebilir olup olmadığı tahkik

edilmelidir. Bununla birlikte çalışma alanındaki olası yer altı yapılarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Temel kazısı kapsamında yapılacak patlatmalı kazı çalışmalarından kaynaklanacak olan titreşimlerin, bölge etrafında bulunan yapılara etkisini en aza indirmek için, temel kazısında, her bir atımda gecikme başına kullanılacak en fazla patlayıcı madde miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Titreşim, hava şoku ve taş savrulması için risk analizi yapılır ve atım yönü ve kazı başlangıç noktasının belirlenmesinde temel olarak bu verilerden yararlanılır.

2.1.6. Patlatma Tasarımının Oluşturulması

Sonuçlar bakımından değerlendirildiğinde, maden ve taşocaklarındaki üretim atımları ile şehir içi patlatmalı kazıların belirgin farkları vardır. Burada göz ardı edilmemesi gereken en önemli husus, parça boyutundan ziyade çevresel etkileri minimize etmektir. Tasarımda dikkat edilmesi gereken önemli hususlar, risk analiz sonu

elde edilen gecikme başına şarj miktarı ile gecikme aralığının seçimidir. Risk noktalarının çokluğu nedeniyle sahanın çeşitli bölgelerine, özellikle gecikme başına düşen şarj miktarının farklılık gösterdiği birden fazla patlatma tasarım modelleri gerekebilmektedir. Bu husus çalışma başlamadan önce her mesafe için ayrı ayrı belirlenmelidir.

2.1.7. İlk Kazı Noktasının Belirlenmesi

Yapılan risk analizi sonucunda, patlatma yapılamayacak kadar riskli bölgeler belirlenir. Sonrasında, kısmen daha düşük şarjların uygulandığı tasarımlar risk noktasından sonra gelen kuşakta kalır, en güvenli patlatmalar sahanın orta kısımlarında kalan patlatmalar olacaktır. Bu sebeple ilk kazı noktası risk noktasından en uzak ve kazı sahasının merkezinde kalan alanlardan seçilmelidir. Ayrıca, ilk kazı noktası belirlerken jeoteknik açıdan kazı işleminin güvenli yapılabilmesi için en uygun stabil bölge seçilmelidir.

2.1.8 Atım Yönünün Belirlenmesi

Atım yönü, titreşim ve taş savrulması üzerinde temel belirleyici etkiye sahiptir. Basamak patlatması düzeninde patlatma kaynaklı titreşimlerin yayılım ortamı basamak arkasıdır. Riskli noktalar göz önünde bulundurulduğunda, risk analizi sonucu elde edilen titreşim mesafesi basamak arkası yönü doğrultusunda gerçekleşecektir. Taş savrulmaları ise sıkılama ve basamak aynası yönünde hareket etme eğilimindedir. Bu sebeple, atım yönü risk noktaları doğrultusunda ise patlatma örtüleri (mat) serme gibi ek güvenlik önlemleri alınması gerekmektedir. Ayrıca bu yön, patlatılan malzemenin kolayca taşınacağı şekilde planlanmalıdır.

2.2. Uygulama Örneği

2.2.1. Çalışma Sahası

Çalışma kapsamında belirlenen kriter ve yol haritalarının takip edilerek uygulanan bir kentsel alan kazısı örneği bu bölümde sunulmaktadır. Çalışma sahası, Dijitalpark Teknokent binasının

patlatmalı açık saha kazısıdır (Çekmeköy'deki Dijitalpark Teknokent koordinatı 41.01423 N; 29.20664 E dir.). Saha, İstanbul İli, Çekmeköy İlçesinde bulunmaktadır. Kazı sahasının güneyinde yaklaşık 20 m mesafede risk unsurları bulunmaktadır. Ayrıca kazı sahası sınırı boyunca fore kazıklar bulunmaktadır (Özer vd., 2022). Söz konusu kazı proje alanı ve çevre bölgenin genel görünümü ile kazı çalışmalarından etkilenebilecek yapılar ve diğer tesislerin konumu Şekil 3'de gösterilmiştir. Ayrıca, söz konusu saha çevresindeki risk söz konusu olabilecek yapıların kazı alanına mesafeleri Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 3. Proje alanı ve çevre bölgenin genel görünümü (URL-1, 2024)

Figure 3. General view of the project area and the surrounding region (URL-1, 2024)

Tablo 2. Kazı alanı çevresindeki yapıların en yakın mesafeleri

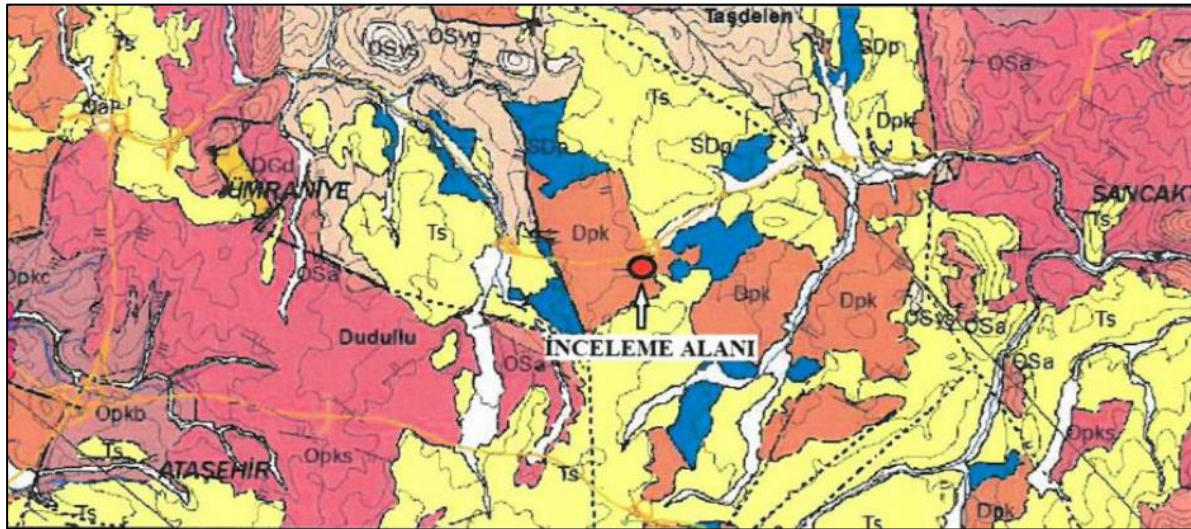
Table 2. Nearest distances to structures around the excavation area

Yapılar	Mesafe (m)
Fore Kazıklar	Kazı Sınırında 1,6
Konutlar	Güney Yönünde En Yakın 20

2.2.2. Sahanın Jeolojisi

Çalışma sahası ve yakın çevresinde, Pendik Formasyonu Kartal Üyesi (Dpk) birimleri yer almaktadır. Pendik Formasyonu büyük bölümüyle kil-mil-ince kum boyu gereçli, mikalı şeylerden oluşur; belirli kesimlerinde özellikle üst düzeylerinde kireçtaşı arakatlıdır. Gerçekleştirilen sondaj çalışmalarında Dolgu, Siltli Kil, Volkanik Sokulum, Kıltaşı-Şeyl, Kireçtaşı ara katlı Kıltaşı ve Kireçtaşı

birimlerine rastlanmıştır (Abidin ve Aydın, 2020) (Şekil 4).



Şekil 4. İnceleme alanı ve çevre bölgenin jeoloji haritası (Abidin ve Aydın, 2020).

Figure 4. Geological map of the study area and the surrounding region (Abidin and Aydın, 2020)

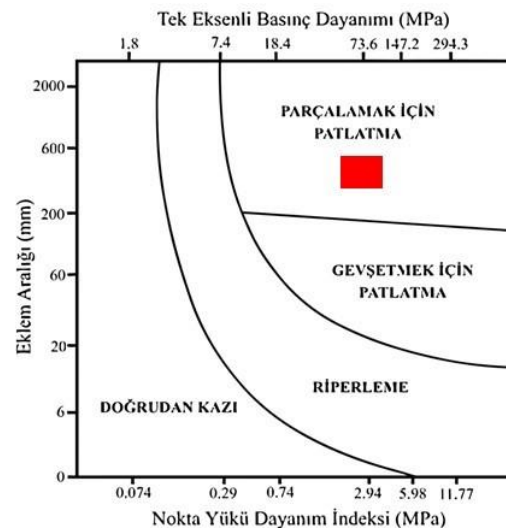
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Sahanın Kazılabilirliğinin Değerlendirilmesi

Çalışma sahasında patlatmalı kazı yapılacak birim kireçtaşıdır. Abidin ve Aydın (2020)'nin inceleme alanında yapmış olduğu çalışmalara göre, patlatmalı kazı yapılacak birim olan kireçtaşı için nokta yük indis değerleri 1,77-4,48 MPa arasındadır. Dolayısıyla da çalışma sahasının düşük, orta ve yüksek kaya birimlerine sahip olduğu söylenebilir. Sahaya ait etüt raporlarından (Abidin ve Aydın, 2020) alınan kaya birimlerinin dayanımlarına göre yapılan kazılabilirlik-patlatılabilirlik değerlendirmesi Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 5'den anlaşılabacağı üzere, formasyonun sert ve sağlam kaya birimlerine sahip olması sebebiyle, teknik ve ekonomik nedenlerden dolayı temel kazısının kontrollü basamak patlatması teknikleri ile yapılması gerekmektedir.

3.2. Sahanın Risk Noktalarının Belirlenmesi

Şekil 3 ve Tablo 2’de görüldüğü gibi sahanın güneyinde en yakın risk unsuru 20 m mesafedir. Ayrıca kazı sahası sınırı boyunca fore kazıklar bulunmaktadır.



Şekil 5. Çalışma sahası kaya birimlerine ait kazılabilirlik değerlendirmesi

Figure 5. Excavability assessment of rock units in the study area

3.3. Kullanılacak Norm ve Hasar Limitleri

Günümüzde Ülkemizde Maksimum titreşim hızı (PPV) sınırı için, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2022, Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği (Anon, 2022) halen yürürlüktedir. Ancak bu çalışmada, arazi faaliyetleri yapıldığı dönem süresince yürürlükte olan ve Tablo 3'te sunulan T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2010, Çevresel

Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nde belirtilen sınır değerler kullanılmış; beton yapılar için 19 mm/s'lik parçacık hızı, çalışma sahasında bulunan fore kazıklar için ise 50 mm/sn'lik parçacık hızı değeri eşik hasar limiti olarak alınmıştır.

Tablo 3. Maden ve taş ocakları ile benzeri alanlarda patlama nedeniyle oluşacak titreşimlerin en yakın yapının dışında yaratacağı zemin titreşimlerinin izin verilen en yüksek değerleri (Anon, 2010)

Table 3. Maximum permissible values of ground vibrations outside the nearest structure caused by vibrations due to explosion in mines, quarries and similar areas (Anon, 2010)

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

Not: 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 beraber değişmiştir.

Hava şoku için hasarsız limit 140 dB değeri tüm patlatmalı kazılarda sınır değer olarak kabul edilmiştir. Taş savrulması için ise, Lundberg vd, (1975) tarafından geliştirilmiş İsveç Normu kullanılmıştır.

3.4. Risk Analizi

3.4.1. Patlatma Kaynaklı Titreşime Yönelik Risk Analizi

Söz konusu temel kazısı kapsamında yapılacak patlatmalı kazı çalışmalarından kaynaklanacak olan titreşimlerin, bölge etrafında bulunan yapılara etkisini en aza indirmek için, söz konusu temel kazısında, her bir atımda gecikme başına kullanılacak en fazla patlayıcı madde miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, kazı sahasındaki hakim jeolojik formasyonlarla benzer özellik gösteren ve söz konusu çalışma alanına yakın bir bölgede yapılan Özer vd. (2016b)'nin yaptıkları çalışmalar sonucunda geliştirilen Eş. 2'de verilen tahmin denklemi kullanılmıştır.

$$PPV = 217.83 \times SD^{-1.227} \quad (r = 0.76) \quad (2)$$

Verilen yaklaşıma göre kazı sahası sınırında bulunan fore kazıklar için eşik hasar limiti olan 50 mm/s ve çeşitli mesafelerde bulunan betonarme yapılar için eşik hasar limiti olan 19 mm/s aşılmaması için kullanılacak gecikme başına en fazla şarj miktarları tahmini Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4'den de anlaşılabileceği gibi, fore kazıklara 3 m mesafede kullanılabilecek gecikme başına en fazla patlayıcı miktarı 3,6 kg, 6 m mesafede 14,6 kg olacaktır. Temel kazısı çevresinde, risk oluşturabilecek yapılara 20 m mesafede yapılacak atımlarda kullanılabilecek gecikme başına en fazla patlayıcı madde miktarı 7,5 kg iken, bu değer 40 m mesafede 30 kg olacaktır. Buradan da anlaşılabileceği gibi patlatma geometrisi tasarımlarının mini basamak uygulaması şeklinde mesafenin fonksiyonuna bağlı bir değişken olarak düzenlenmesi gerekmektedir.

3.4.2. Patlatma Kaynaklı Taş Savrulmasına Yönelik Risk Analizi

Lundberg vd, (1975) tarafından geliştirilmiş İsveç Normu'na göre, önerilen patlatma tasarımlarında kullanılan delik çapı (89 mm = 3.5 inç) için en kötü senaryoda taş savrulma mesafesi 600 m'dir.

3.5. Patlatma Tasarımı

Risk analizine göre, söz konusu sahada üretim patlatmalarında risk unsurları gözetilerek uygulanabilecek üç ayrı patlatma ön tasarım modeli önerilmiş olup detayları Tablo 5'de verilmiştir. Tablo 5'de sunulan tasarımların uygulanacağı bölgeleri gösteren plan haritası ise Şekil 6'da sunulmaktadır.

Tasarımlarda kademeli basamak tasarımları kullanılmıştır. Ayrıca, şarj konsantrasyonunun (1 m delikteki şarj miktarı) minimum tutulması amaçlanmış, ancak 76 mm ve daha küçük çaplı deliklerin dolumu sırasında karşılaşılan zorluk nedeniyle tüm deliklerin 89 mm çapında olmasına karar verilmiştir. Patlayıcı madde olarak ANFO ve ateşleme elemanı olarak da elektriksiz kapsül

sisteminin kullanılması planlanmıştır.

Tablo 4. Temel kazısında mesafenin fonksiyonu olarak gecikme başına kullanılabilecek en fazla şarj miktarları

Table 4. Maximum charge quantities that can be used per delay as a function of distance in foundation excavation

Mesafe (m)	Risk Noktası Adı	Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği Eşik Hasar Limiti (mm/sn)	Gecikme Başına Kullanılabilecek Patlayıcı Madde Miktarı (kg)
1			0,4
2			1,6
3			3,6
4			6,5
5	Kazı sahası		10,1
6	sınırında bulunan	50	14,6
7	fore kazıklar		19,8
8			25,9
9			32,8
10			40,4
15			91,0
20	Güney Yönünde		7,5
	En Yakın Bina		
25	Güney Yönünde		11,7
	Binalar		
30	Güney Yönünde		16,9
	Binalar	19	
35	Güney Yönünde		23,0
	Binalar		
40	Güney Yönünde		30,0
	Binalar		
50	Güney Yönünde		46,9
	Binalar		

Risk analizi yapılarak elde edilen ve Tablo 4’de verilen değişik mesafelerde gecikme başına kullanılması gereken en yüksek patlayıcı madde miktarları dikkate alındığında, üretim patlatmaları için Tablo 5’de önerilen patlatma ön tasarımları söz konusu kazı alanı içerisinde fore kazıklara 5 m mesafeye kadar belirlenen ve kritik bölge olarak adlandırılan bölüme kadar belirlenen bölgelerde yapılabilecek patlatmada kullanılabilecektir (Şekil 6). Şekil 6’da belirlenen bölgelerde söz konusu sahada patlatma tasarım parametrelerinin plan görünümüleri Şekil 7, 8 ve 9’da gösterilmiştir.

Tasarım 1, temel kazı alanının tüm yerlerinde kullanılabileceği gibi, kazı sahası sınırında bulunan fore kazıklara 5 m mesafeye kadar olan ve kırmızı ile işaretlenen kritik bölgenin dışında olan tüm uzaklıklarda yapılacak patlatmalarda tercih edilmelidir (Şekil 6). Tasarım 2, kazı sahası sınırında bulunan fore kazıklara 12 m mesafeden daha uzak yerlerinde kullanılabilir.

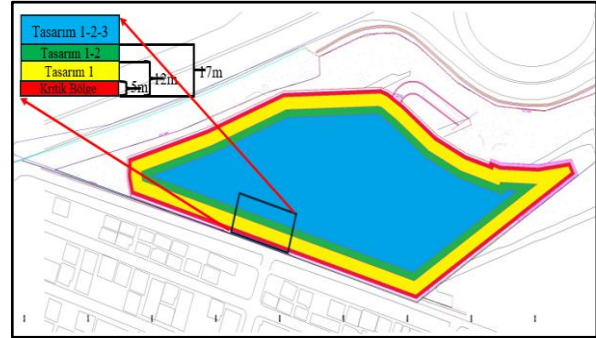
Tasarım 3 ise kazı sahası sınırında bulunan fore kazıklara 17 m’den daha uzak mesafelerde yapılacak patlatmalarda tercih edilmelidir.

Tablo 5. Saha şartlarına göre önerilen üretim patlatmaları ön tasarım modelleri**Table 5.** Preliminary design models of proposed production blasting according to site conditions

	Tasarım 1	Tasarım 2	Tasarım 3
Patlayıcı Madde Türü	ANFO	ANFO	ANFO
Patlayıcı Mad. Yoğunluğu (kg/m ³)	800	800	800
Delik Eğimi (°)	85	85	85
Şarj Konstarasyonu, lb (kg/m)	5	5	5
Delik Çapı, (mm)	89	89	89
Basamak Yüksekliği K (m)	4	6	8
Delik Taban Payı, U (m)	-	-	-
Delik Uzunluğu, H (m)	4	6	8
Dilim Kalınlığı, B (m)	2	2,5	2,5
Delikler Arası Mesafe, S (m)	2	2,5	3
Sıkılama Boyu, ho (m)	3	3	3
Yemleme (kg)	0,5	0,5	0,5
Şarj Boyu (m)	1	3	5
Delik Şarj Miktarı Q (kg)	5,5	15,5	25,5
Gecikme Başına Maks. Şarj Miktarı (kg)	5,5	15,5	25,5
Özgül Şarj (kg/m ³)	0,34	0,41	0,43
Özgül Delme (m/m ³)	0,26	0,17	0,14
Fore Kazıklara En Yakın Mesafe (m)	5-12	>12	>17

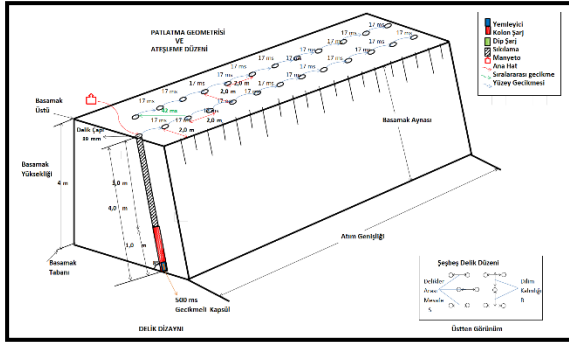
3.6. İlk Kazı Noktasının Belirlenmesi

Çalışma sahasına yönelik yapılan risk analizi sonucunda, patlatma yapılamayacak kadar riskli kritik bölgeler belirlenir (Şekil 6). Sonrasında, kısmen daha düşük şarjların uygulandığı tasarımlar risk noktasından sonra gelen kuşakta kalır, en güvenli patlatmalar sahanın orta kısımlarında kalan patlatmalar olacaktır. Bu sebeple ilk kazı noktası risk noktasından en uzak ve kazı sahasının merkezinde kalan alanlardan seçilmelidir. Şekil 10'da görüldüğü gibi çalışma sahasının orta kısmı risk noktalarına en uzak bölgededir. Bu bölgeden patlatmaya başlanmalıdır (41.01413 N; 29.20324 E). Ayrıca proje kapsamında yapılması planlanan binaların temellerinin bulunduğu yer de kazı alanının bu bölgesidir. Sahada uygulanacak ilk patlatmalar da bu bölgede planlanmış ve başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

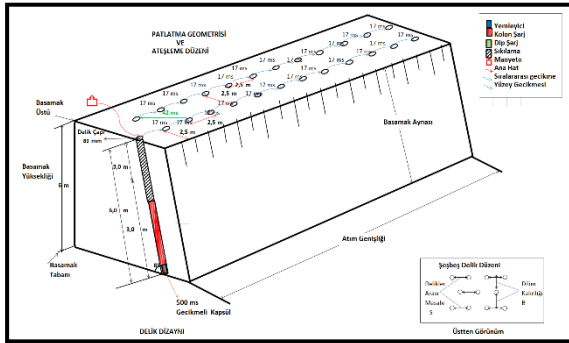


Şekil 6. Önerilen tasarımların uygulanacağı bölgeleri gösteren plan haritası (Birim: metre)

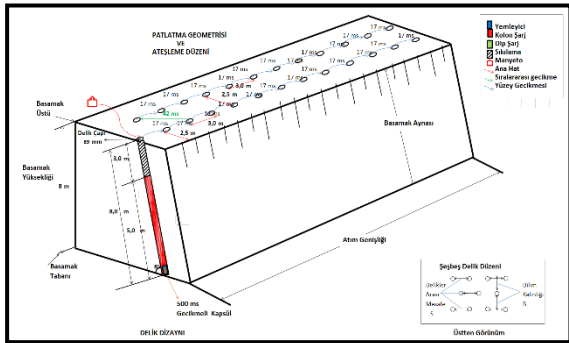
Figure 6. Plan map showing the areas where the proposed designs to be implemented (Unit: meter)



Şekil 7. Önerilen patlatma tasarımı-1
Figure 7. Proposed blasting design-1



Şekil 8. Önerilen patlatma tasarımı-2
Figure 8. Proposed blasting design-2



Şekil 9. Önerilen patlatma tasarımı-3
Figure 9. Proposed Blasting Design-3



Şekil 10. Kazı alanında patlatmaya başlanacak bölge (URL-1, 2024)
Figure 10. Area to start blasting in the excavation area (URL-1, 2024)

3.7. Atım Yönünün Belirlenmesi

Atım yönü, titreşim ve taş savrulması üzerinde temel belirleyici etkiye sahiptir. Basamak patlatması düzeninde patlatma kaynaklı titreşimlerin yayılım ortamı basamak arkasıdır. Riskli noktalar göz önünde bulundurulduğunda, risk analizi sonucu elde edilen titreşim mesafesi basamak arkası yönü doğrultusunda gerçekleşecektir. Kazı alanına yönelik yapılan risk analizi sonucunda belirlenen tasarımların kazı sahasında kullanılacak bölgeler tespit edilmiş ve kazı başlangıç bölgesine karar verilmiştir (41.014138 N; 29.20290 E). Çalışma sahasında kazı alanının güneyinde en yakın 20 m mesafelerde yerleşim birime ait binalar mevcuttur. Şekil 11'de kazı alanı çevresi ve belirlenen atım yönleri gösterilmiştir.

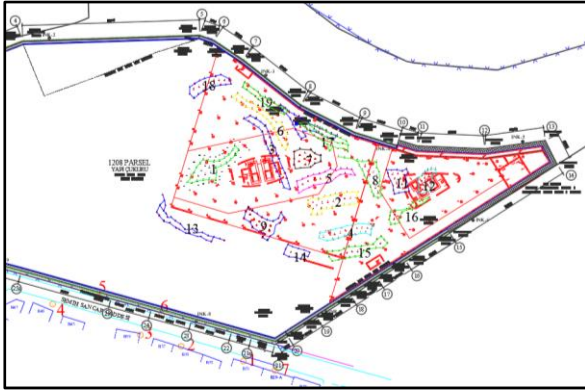


Şekil 11. Kazı alanında atım yönlerinin belirlenmesi (URL-1, 2024)
Figure 11. Determination of blast directions in the excavation area (URL-1, 2024)

Şekil 11'de görüleceği üzere, ilk başlangıç bölgesindeki atımların yönü risk arz eden binaların bulunduğu yöne doğru belirlenmiş ve sahada başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Kazı alanı genişledikçe binalardan uzak bölgelerde kazı aynalarının ilerlemesine bağlı olarak atım yönünde değişimler de olmuştur. Özellikle kazı alanının güneyinde ve fore kazıklara yaklaşılacak bölgelerde atım yönünün saha içerisine bakacağı şekilde patlatmalar planlanmıştır. Sahada yapılan atımlarda planlanan atım yönlerine uygun patlatmalar başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Patlatmalar sırasında da taş savrulmasını önlemek için ilave güvenlik önlemi olarak patlatma örtüleri (mat) kullanılmış ve taş savrulması açısından herhangi bir çevresel sıkıntı yaşanmamıştır.

3.8. Uygulanan Tasarımların Değerlendirilmesi

Kazı sahasında gerçekleştirilen patlatmalı kazı çalışmalarından kaynaklanan titreşimlerin ve hava şokunun hasar riski açısından değerlendirilmesi amacıyla, risk analizine dayalı olarak söz konusu saha için önerilen tasarımlar, sahada yapılan 19 atımda kullanılmış ve bu atımlarda titreşim ve hava şoku ölçümleri yapılmıştır. Titreşim ve hava şoku ölçümünde Instantel Minimate Plus Model titreşim ölçer cihazları kullanılmış ve saha çevresinde bulunan riskli yapıların bulunduğu noktalarda ve kazı sınırındaki fore kazıklara yerleştirilmiştir (Şekil 12). 19 atıma ait parçacık hızı, frekans ve hava şoku değerleri kayıt cihazları ile kaydedilmiştir.

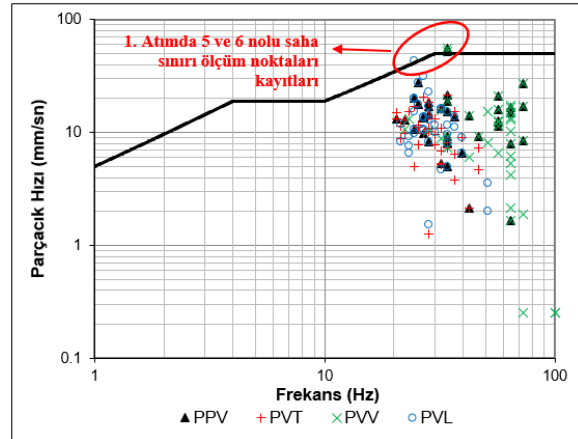


Şekil 12. Kazı alanında yapılan patlatmaların ve ölçüm noktalarının konumları

Figure 12. Locations of blasting and measurement points in the excavation area

Titreşim değerlerinin, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği" nin (Anon, 20210) 25/a maddesinde verilen limitler kullanılarak çizilen grafik üzerindeki ilişkileri Şekil 13'de sunulmuştur. Şekil 13'de enine (PVT) boyuna (PVL) ve düşey yönde (PVV) kaydedilmiş olan ve bunlarının içinden her bir atım için en yüksek olan (PPV) titreşim büyüklükleri ulusal norm sınır çizgileriyle birlikte gösterilmiştir.

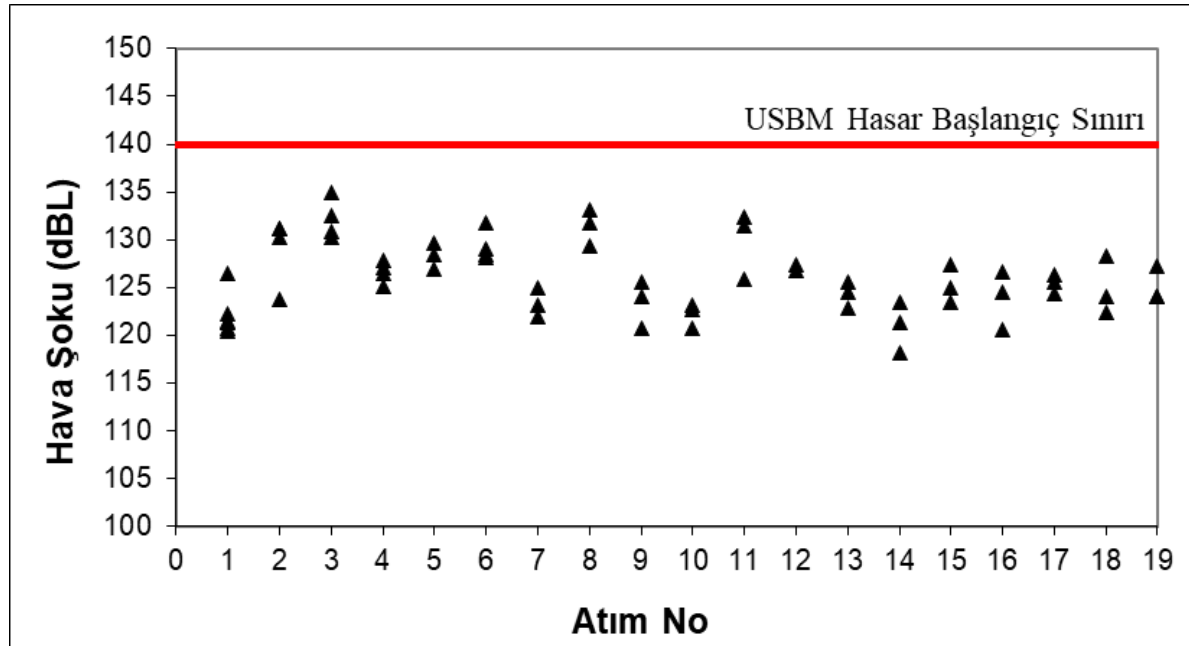
Yapılan değerlendirmeye göre Şekil 13'de görüldüğü gibi, çalışmada risk analizine dayalı olarak önerilen ve uygulanan tasarımlar sonucu yapılan atımlarda meydana gelen titreşim büyüklükleri, çevre yapılarda hasara neden olabilecek seviyelerde gerçekleşmemiştir. Sadece 1. Atımda saha sınırında belirlenen 5 ve 6 nolu ölçüm noktalarındaki değerler sınır değerinin üzerinde çıkmıştır.



Şekil 13. Önerilen tasarımlardan elde edilen parçacık hızının Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre yorumu

Figure 13. Interpretation of particle velocities obtained from the proposed designs according to the Environmental Noise Assessment and Management Regulation

Çalışma kapsamında, söz konusu sahada yapılan patlatmaların hava şoku açısından USBM'in sınır hava şoku değeri altında kalmıştır (Şekil 14). Dolayısı ile çevredeki yerleşim birimlerindeki yapılar, binalar, saha içindeki fore kazıklar üzerinde etkili olamayacağı anlaşılmıştır. Ayrıca sahada yapılan atımların hiçbirinde taş savrulması görülmemiştir.



Şekil 14. Atımlarda kaydedilen hava şoku değerlerinin USBM normuna göre değerlendirmesi

Figure 14. Evaluation of air shock values recorded in pulses according to USBM norm

4. Sonuçlar

Kentsel alanlarda patlatma yapılırken, mühendislik, çevre ve güvenlik hususları arasındaki karmaşık etkileşim nedeniyle dikkatli bir planlama gerektirir. Planlama sürecinde hedef; çevresel etkileri minimize ederek, güvenli, etkili ve verimli bir kazı süreci sağlanması ve iş programının optimize edilmesidir.

Bu çalışmada, şehir içi patlatmalı temel kazılarda etkili olan parametrelerin öncelik sırası tespit edilmiş ve ilk kazı başlangıç noktası ve atım yönü bulmaya yönelik bir yol haritası verilmiştir. Belirlenen yol haritası uygulanarak örnek bir kazı çalışması yapılmıştır. Çalışma sahasının orta kısmı risk noktalarına en uzak bölge olduğundan ve proje kapsamında yapılması planlanan binaların temellerinin bulunduğu yer de kazı alanının seçilen bölgesinde olduğundan, sahada uygulanacak ilk patlatmalar da bu bölgede planlanmış ve başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Kazı başlangıç bölgesindeki atımların yönü risk arz eden binaların bulunduğu yöne doğru belirlenmiş ve kazı alanı genişledikçe binalardan uzak bölgelerde kazı aynalarının ilerlemesine bağlı olarak atım yönünde değişimler de olmuştur. Özellikle kazı alanının güneyinde ve fore kazıklara yaklaşılacak bölgelerde atım yönünün

saha içerisine bakacağı şekilde patlatmalar planlanmıştır. Sahada yapılan atımlarda planlanan atım yönlerine uygun patlatmalar başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

Patlatmalar sırasında da taş savrulmasını önlemek için ilave güvenlik önlemi olarak patlatma örtüleri (mat) kullanılmış ve taş savrulması açısından herhangi bir çevresel sıkıntı yaşanmamıştır. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar irdelendiğinde proje süresince kaydedilen titreşim ve hava şoku değerleri norm ve yönetmeliklerin sınır değerlerinin altında kaldığı görülmüştür.

Bu çalışma, patlatma planlayıcı ve uygulayıcıların kentsel alanda patlatmalı temel kazılarında etkili parametrelerin öncelik sırasına uygun olarak planlanma yapmasının, patlatmaların başlangıç yerini ve atım yönlerini doğru belirlenmesinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Günümüzde patlatma kaynaklı çevresel etkiler yapısal hasar oluşturmada da, insanları rahatsız ettiği için, kimi zaman kazı faaliyetleri durdurulmaktadır. Gelecekte kentsel alanlarda yer sarsıntısı ve hava şokuna insan tepkilerinin incelendiği araştırmaların yapılması gerekmektedir.

Yazar katkısı

Karadoğan, A., Sertabipoğlu, Z., Özer, Ü., Kalaycı Şahinoğlu, Ü., Özyurt, M. C.: çalışma için fikir oluşturulması, çalışmanın planlanması, verilerin toplanması, değerlendirilmesi, raporlanması ve revizyonu bölümlerinde görev almışlardır.

Teşekkür

Yazarlar, arazi çalışmaları süresince gerekli imkân ve yardımlarda bulunan Turgut Müteahhitlik San. ve Tic. A.Ş. çalışanlarına ve yetkililerine teşekkür eder.

Finansman Beyanı

Bu araştırma herhangi bir fon kuruluşundan, ticari veya kar amacı gütmeyen sektörlerden özel bir hibe almamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Etik Standartlar

Bu çalışma için Etik Kurul Kararı gerekmemektedir.

Kaynaklar

- Anon, (2010). Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara. <https://mevzuat.csb.gov.tr/#/>
- Anon, (2022). Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ankara. <https://mevzuat.csb.gov.tr/#/>
- Abidin, M., Aydın, Y.E. (2020). İstanbul İli Çekmeköy İlçesi Taşdelen Mahallesi Pafta:7 Parsel:1208, Parsel bazında zemin ve temel etüdü veri raporu. Rapor No:5327. Ekşioğlu Mimarlık Mühendislik İnşaat ve Ticaret Ltd. Şti. (307s).
- Alemdağ, S., Kaya, A., Görocak, Z., Dağ, S. (2011). Farklı ayrışma derecesine sahip kaya kütlelerinin kazılabilirlik özellikleri: Gümüşhane Granitoyidi Örneği.

Gümüşhane, KD Türkiye. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 35 (2), 133-149.

- Chen X, Chennakeshava N, Wildeboer R, Mischi M, Sloun RJGV (2023) Shear-Wave Particle-Velocity Estimation and Enhancement Using a Multi-Resolution Convolutional Neural Network. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 49(7), 1518-1526. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2023.02.004>.
- Ceylanoglu, A., Gül, Y., Akın A. (2007). Kazılabilirlik ve ripirlenebilirlik sınıflama sistemlerinin incelenmesi ve yeni bir sınıflama sisteminin önerilmesi. *Madencilik Dergisi*, 46 (2), 13-26.
- 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.
- Ghojoghi E, Farsangi MAE, Mansouri H, Rashedi R (2024) Prediction and minimization of blasting flyrock distance, using deep neural networks and gravitational search algorithm, JAYA, and multi-verse optimization algorithms, *Heliyon*, 10(19). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37876>.
- Göktaş R. M., İphar, M. (2013). Açık işletmelerde kayaç sökülebilirlik tayin yöntemleri. *MT Bilimsel Yeraltı Kaynakları Dergisi*, 2 (3), 1-16.
- Jimeno, C.L., Jimeno, E.L., Carcedo, F.J.A. (1995). Drilling and Blasting of Rocks, (Translated by De Ramiro, Y.V), A.A Balkemo Publisher, 197 (7), Rotterdam, Netherlands, pp 390.
- Kahndelwal, M., Shing, T.N. (2006). Prediction of blast induced ground vibrations and frequency in opencast mine: a neural network approach, *Journal of Sound and Vibration*. 289: 711-25. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2005.02.044>
- Karadoğan, A. (2008). Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimler İçin Ulusal Yapı Hasar Kriterleri Oluşturulabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Karadoğan, A., Özyurt, M. C., Kalaycı Şahinoğlu, Ü., & Özer, Ü., (2020). Prediction Of Blast Induced Ground Vibrations By Using Artificial Neural Networks. *Scientific*

- Mining Journal* , 59(4), 265-273.
- Kuzu, C. (2011). Taşocağı işletmeciliğinde patlama kaynaklı çevresel etkiler. *Madencilik Türkiye Dergisi*, 13, 64-72.
- Lundborg, N., Persson, A., Ladegaard-Pedersen, A., and Holmberg, R. (1975). Keeping the lid on flyrock in open pit blasting. *Engineering and Mining Journal*, 176, 95-100.
- Öz, M. (2015). Temel Kazı Patlatmalarından Kaynaklı Çevresel Sorunlar, Alınabilecek Tedbirler ve Patlatmada İş Güvenliği Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Okan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Özer, Ü., Karadoğan, A., Özyurt, M.C., Sertabipoğlu, Z., Şahinoğlu Kalaycı, Ü. (2022). Dijitalpark Teknokent Çekmeköy Projesi işi kapsamında patlatma kaynaklı titreşim ve hava şoku ölçümlerinin değerlendirilmesi, Döner Sermaye Projesi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İstanbul.
- Özer, Ü., Karadoğan, A., Özyurt, M.C., Sertabipoğlu, Z., Şahinoğlu Kalaycı, Ü., Sefer, İ., Zaif, B.C., Durdu, A., Kişi, A., Günay, M. K., Karadoğan, H., Özkul, O., Bayındır, O., Yurttaş, M., 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 2018, İstanbul, Türkiye, ss.307-313.
- Ozer, U., Karadogan, A., Ozyurt, M. C., Sahinoglu, Ü., & Sertabipoglu, Z., (2019). Environmentally sensitive blasting design based on risk analysis by using artificial neural networks. *Arabian Journal Of Geosciences* ,12(2).
- Ozer, U., Karadoğan, A., Özyurt, M. C., Sertabipoglu, Z., & Sahinoglu, Ü., (2020). Modelling of blasting-induced air overpressure wave propagation under atmospheric conditions by using ANN model. *Arabian Journal Of Geosciences* , 13(16).
- Özer, Ü., Karadoğan, A., Özyurt, M.C., (2016). 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 işi kapsamında patlatmalı temel kazısı çalışmalarından kaynaklanan titreşim ve hava şoku ölçümlerinin değerlendirilmesi”, Döner Sermaye Projesi, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İstanbul.
- Özer Ü., Kalaycı Şahinoğlu Ü., Karadoğan A., Özyurt M. C. (2016). Kentsel alanda patlatmalı kazılarda proje adımları, 8. International Aggregates Symposium, 13 - 14 Ekim 2016, Kütahya, Türkiye, cilt.1, ss.162-170.
- Taiwo BO, Fissha Y, Hosseini S, Khishe M, Kahraman E, Adebayo B, Sazid M. et al. (2024) Machine learning based prediction of flyrock distance in rock blasting: A safe and sustainable mining approach. *Green and Smart Mining Engineering*, 1(3), 346-361, <https://doi.org/10.1016/j.gsme.2024.08.006>.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2022). Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı: 32029.
- URL-1, (2024) <https://earth.google.com/web/@41.01458742,29.20214812,143.26265106a,1324.5265622d,35y,359.99829885h,0t,0r/data=ChYqEAgBEgoyMDIwLTA1LTA5GABCaggBOgMKATBCAggASg0IARAA>, 15 Ağustos 2024.