

## Patlatma Sonucu Meydana Gelen Hava Şoku ve Partikül Madde Yayılımı Arasındaki İlişkinin Araştırılması

Ülkü KALAYCI ŞAHİNOĞLU<sup>1,a</sup>

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

<sup>a</sup>*ORCID: 0000-0002-2375-2550*

### Makale Bilgileri

Geliş : 02.09.2024

Kabul : 27.09.2024

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1560475

### Sorumlu Yazar

Ülkü Kalaycı ŞAHİNOĞLU

ukalayci@iuc.edu.tr

### Anahtar Kelimeler

Patlatma

Partikül madde

Toz

Hava Şoku

PM Yayılımı

**Atf şekli:** KALAYCI ŞAHİNOĞLU, Ü., (2024). Patlatma Sonucu Meydana Gelen Hava Şoku ve Partikül Madde Yayılımı Arasındaki İlişkinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(3), 831-837.

### ÖZ

Bu makalede, taşocağı faaliyetlerinde gerçekleştirilen patlatma işlemleri sonucu oluşan toplam askıda partikül madde miktarı (TAPM) ile hava şoku arasındaki ilişki incelenmiştir. Araştırma kapsamında, patlatma etkisiyle oluşan partikül madde miktarı ve hava şoku ölçümleri aynı anda aynı ölçüm noktasında yapılmış, elde edilen veriler arasındaki ilişki araştırılmıştır. Sonuç olarak, patlatma kaynaklı çevresel etkilerden hava şoku ile TAPM arasında yüksek korelasyonlu ( $R=0,9$ ) ve anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. Çalışma, hem patlatma operasyonlarının hava kalitesi üzerindeki etkilerini belirlemekte, hem patlatma ile oluşan toz bulutunun yayılım mesafesini analiz etmekte, hem de ölçümü zahmetli ve maliyetli olan toz miktarının amacıyla hava şoku ve partikül madde miktarı arasındaki ilişkiyi detaylı olarak ortaya koymaktadır.

## Investigation of the Relationship between Air Overpressure and Particulate Matter Dispersion Caused by Blasting

### Article Info

Received : 02.09.2024

Accepted : 27.09.2024

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1560475

### Corresponding Author

Ülkü Kalaycı ŞAHİNOĞLU

ukalayci@iuc.edu.tr

### Keywords

Blasting

Particulate matter

Dust

Air overpressure

PM Dispersion

**How to cite:** KALAYCI ŞAHİNOĞLU, Ü., (2024). Patlatma Sonucu Meydana Gelen Hava Şoku ve Partikül Madde Yayılımı Arasındaki İlişkinin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(3), 831-837.

### ABSTRACT

This article examines the relationship between the total suspended particulate matter (TSPM) generated by blasting operations in quarry activities and air shock. In the research, measurements of particulate matter and air shock caused by blasting were taken simultaneously at the same measurement point, and the relationship between the obtained data was analyzed. As a result, a high correlation ( $R=0,9$ ) and a significant relationship were found between air shock and TSPM, one of the environmental impacts caused by blasting. The study not only determines the effects of blasting operations on air quality but also analyzes the dispersion distance of the dust cloud generated by blasting and provides detailed insights into the relationship between air shock and particulate matter, which are challenging and costly to measure.

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada şehirleşmeyle birlikte maden ve taş ocaklarında patlatma işlemleri büyük bir hızla devam etmektedir. Yeraltı ve açık ocak kazılarında patlayıcı madde kullanımı, hem teknik hem de ekonomik nedenlerle kaçınılmaz hale gelmiştir. Kaya formasyonunda açılan bir deliğe patlayıcı yerleştirildiğinde, çok kısa sürede yüksek miktarda gaz açığa çıkar ve bu gaz, delik çevresine yoğun bir basınç uygular. Patlatma işlemi sonucunda, deliğin çevresindeki kaya pülverize olurken, pülverize olmuş zonun dışında kaya parçalanır. Ayrıca, patlatmanın neden olduğu hava şoku (AOP), yüzlerce metre uzaktan ölçülebilen bir basınç değişimine yol açar [1-3].

Patlatmanın başlıca çevresel olumsuzluklarından biri toz oluşumu ve yayılımıdır. Patlatma sırasında oluşan toz, çok küçük parça boyutlarında olup atmosferik koşullara bağlı olarak yüzlerce metre uzağa taşınabilir. Havadaki partikül madde, insan sağlığını etkileyen önemli kirleticilerdendir. Patlatma sonucu oluşan toz, havada bulunmaması gereken maddelerin atmosfere karışmasına yol açar. Tozun 10 mikrondan büyük kısmı dış solunum yollarında kalırken, 10 mikrondan küçük kısmı bronşlarda, 1-2 mikron çapındaki partiküller alveollerde tutulur. 0,1 mikron çapındaki partiküller ise alveoller aracılığıyla kana karışabilir [4-6]. Literatürde partikül madde (PM) ölçüm ve analizinin büyük önemi bilinmekle birlikte, taşocağı faaliyetlerinde toz ölçümü ile ilgili çalışma oldukça sınırlıdır [3].

Patlatma ile atmosfere yayılan bir diğer çevresel etki hava şokudur. Havadaki gaz molekülleri oldukça düzenli bir şekilde dağılmakta ve rastgele hareket halinde bulunmaktadır. Ses dalgalarının yayılım mekanizması, bir molekülden diğer bir moleküle moleküler yer değiştirme sırasında momentum transferi şeklinde açıklanmaktadır. Değişik hava koşulları altında ve kötü patlatma uygulamalarında hava şokları oldukça yüksek mesafelere ulaşabilmektedir.

Ses, basınç ya da desibel (dB) olmak üzere iki farklı birim ile ifade edilebilmektedir. Hava şoku, basınç ya da ses ölçerler kullanılarak ölçülebilmektedir. İnsan kulağıyla duyulabilen yaygın aralıklı genlikler ve frekanslardan dolayı akustik mühendisleri sesi desibel terimi ile ifade etmektedir [7,8].

Partikül maddenin mesafeye bağlı sönümlenmenin yanı sıra, atmosferik koşullardan etkilendiği bilindiği gibi [9,10]; hava şokunun da özellikle sıcaklık, hava basıncı ve rüzgar gibi hava koşullarından etkilendiği bilinmektedir [11]. Bu çalışmada, önce partikül madde yayılımı karakteristiği, sonrasında da hava şoku ile ilişkisi ortaya konmuştur.

Patlatmanın çevresel etkileri irdelenirken, toz oluşumu göz ardı edilen bir husustur. Bu çalışma ile, hem ocak içi çevresel koşullarla ilgili farkındalığın hem de literatürdeki bilgi birikiminin artırılması hedeflenmekte, ayrıca patlatma ile oluşan toz bulutunun yayılım mesafesini analiz etmek, hem de ölçümü zahmetli ve maliyetli olan toz miktarı ile hava şoku arasındaki ilişkiyi detaylı olarak ortaya koymaktır. Literatürde patlatma operasyonlarına yakın mesafede toz örnekleme yapan bir çalışma bulunmamakla birlikte, hava şoku ile toz ölçümünü bir arada yaparak ilişkilendiren bir çalışma da mevcut değildir.

## 2. YÖNTEM

Çalışma kapsamında, sahada titreşim, hava şoku ve toz ölçümleri gerçekleştirilmiş, ayrıca laboratuvar ortamında toz ölçümü yapılan filtrelerin analiziyle PM miktarı belirlenmiştir. Toplanan veriler, istatistiksel analizlere tabi tutulmuş ve sonuçların geçerliliği R katsayısı (korelasyon katsayısı) ile doğrulanmış; veri sayısına bağlı istatistiksel ilişkinin anlamlılığını değerlendirmek için ise t-testi (Eşitlik 1) uygulanmıştır [12].

$$t = \frac{R}{\sqrt{\left(\frac{1-R^2}{n-2}\right)}} \quad (1)$$

Burada, R korelasyon katsayısı, n ise veri sayısıdır.

Ayrıca, titreşim ve hava şokunun tahmin edilebilirliğini ortaya koyan, literatürde yerleşmiş ölçekli mesafe (SD) ilişkisi (Eşitlik 2) kullanılmıştır.

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

Burada R: mesafe, W: gecikme başına şarj miktarıdır. Çalışma sürecine dair detaylı bilgiler, takip eden bölümlerde sunulmuştur.

## 2.1. Çalışma Sahası

İstanbul'da, yerleşim yerlerine yakın bir taş ocağında yerinde inceleme ve gözlemler gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte, kaya kütle durumu ve kazı çalışmaları yerinde gözlemlenmiş, patlatma tasarım parametreleri kaydedilmiştir. Atım öncesi ve sırasında atmosferik parametreler izlenmiş, havadaki partikül madde parça boyut dağılımı Cascade Impactor cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca, izlenen atımlar sırasında titreşim ve hava şoku değerleri de kayıt altına alınmıştır [3].

## 2.2. Çalışma Sahasının Jeolojisi

İnceleme alanında altta yatan birim şistlerdir. Kırklareli formasyonuna kadar uzanan kireçtaşı ve marn seviyeleri şistler üzerinde yer alır. İnceleme alanında kil, kumlu kil ve çok zayıf dayanımlı kumtaşı araldanması vardır ve bu araldanmanın üzerinde kazılan birim Kırklareli Kireçtaşı'dır. Kırklareli Kireçtaşı resif ortamının çeşitli fasiyeslerini temsil eden karbonatlardan oluşmaktadır. Kireçtaşı, kirli beyaz, açık krem, gri, orta-kalın, çok kalın tabakalı, bol makrofosiller ve bentonik foraminifer içeren kireçtaşlarından oluşur. İçi boş ve gözenekli bir dokuya sahiptir ve yer yer dolomitleşme gösterir. Büyük ve küçük paleokarstik eriyik boşlukları yaygındır. Bol alg içeren kireçtaşı, mercan içeriği ve tanetaşı tipi hakimdir. Çalışma sahasında yer alan kaya birimleri kalsitik yapıda, beyaz ve gri renkli olup, homojen ve altere olmamış bir durumdadır. Üretilen kaya birimleri kalsitik yapıdaki kireçtaşlarıdır [13-15].

## 2.3. Saha Çalışmaları

Saha çalışmaları sırasında, yağışsız günlerde, operasyonu aksatmayacak şekilde uygulanagelen patlatmalar izlenmiştir. İzlenen atımların patlatma paternleri kayıt altına alınmış, atımlar sırasında titreşim ve hava şoku ölçümleri İntantel marka titreşim ve hava şoku ölçer cihazla gerçekleştirilmiş, PM ölçümleri Cascade Impactor cihazı ile alınmıştır. Örneklemeler, 0,45 mikron gözenek boyutuna sahip 82 mm kuvars fiber QMA filtreler kullanılarak yapılmış, filtreler ölçüm öncesi ve sonrası desikatörde 48 saat şartlandırılmıştır. Filtreler hassas terazilerle ağırlıklandırılmıştır. Atımlar esnasında oluşan toz bulutuna ait PM örnekleme yapıldıktan sonra, filtreler laboratuvar ortamında tartılarak, ilk ağırlık ve son ağırlık farkı yöntemiyle toz miktarları tespit edilmiştir.

Yapılan titreşim, hava şoku ve toz ölçümleri her bir atım için aynı istasyonda (aynı konumda) yapılmıştır. Ölçüm istasyonları her bir atım için tozun ve hava şokunun rüzgar etkisiyle hareket edeceği düşüncesinden hareketle, aynı atımdan istasyon notasına doğru rüzgar yönünde seçilmiştir. Belirlenen yöntemlerle yapılan örneklemeleere ait sonuçlar bulgular bölümünde detaylarıyla sunulmaktadır.

## 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Saha çalışmaları bölümünde detayları belirtilen arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda, sahada gerçekleşen patlatma paternleri, hava şoku ölçümleri ve partikül madde örnekleme sonuçları sınıflandırılmıştır. Atımların anlaşılmasında kolaylık sağlamak üzere atımlar yakın mesafeden uzak mesafeye göre olacak şekilde 1'den 5'e kadar sıralanmıştır. Sahada gerçekleştirilen atımlara ait paternler Çizelge 1'de sunulmaktadır.

**Çizelge 1.** Sahada ölçümleri izlenen atımlara ait paternler [3]

Atım no	Delik boyu (m)	Sıkılama (m)	Dilim kalınlığı (m)	Delikler arası mesafe (m)	Delik sayısı	Gecikme başına şarj (kg)
1	12	3	2,5	3 -3,5	63	51
2	12	3	2,5	3 -3,5	63	51
3	14	3	2,5	3	50	64
4	12	3	3	3	70	51
5	12	3	3	3	70	51

PM ölçümleri, 110-496 m mesafeler arasında, her patlama için farklı mesafelerde alınmıştır. Rüzgar yönü doğrultusunda mesafeye göre sönümlenme oranı tespit edilmiştir. Cascade Impactor cihazı ile toplanan ve

boyutlandırılan partikül maddeler, ultra hassas terazilerle tartılarak sınıflandırılmış ve her boyut aralığındaki partikül madde miktarı kaydedilmiştir. Yapılan bu değerlendirmelerin sonuçları Çizelge 2’de sunulmaktadır.

**Çizelge 2.** Sahada gerçekleştirilen TAPM ölçüm sonuçları [10]

Ölçüm no	Mesafe (m)	TAPM konsantrasyonu (mg/m <sup>3</sup> )
1	110	17,29
2	232	11,14
3	303	8,98
4	364	6,09
5	496	2,17

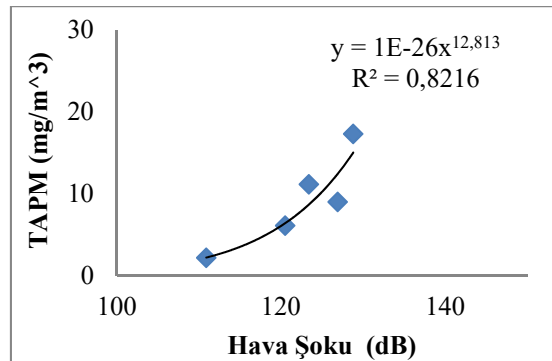
Atım paternleri ve PM sonuçları beraber değerlendirildiğinde, ortalama 3.2 ton patlayıcı kullanıldığında, toplam askıda partikül madde (TAPM) konsantrasyonları sırasıyla 110 m için 17,29 mg/m<sup>3</sup>, 232 m için 11,14 mg/m<sup>3</sup>, 303 m için 8,98 mg/m<sup>3</sup>, 364 m için 6,09 mg/m<sup>3</sup> ve 496 m mesafe için 2,17 mg/m<sup>3</sup> olarak elde edilmiştir [3].

Çalışma kapsamında yapılan hava şoku ve titreşim ölçümlerine dair elde edilen bulgular Çizelge 3’te sunulmaktadır.

**Çizelge 3.** Çalışma kapsamında yapılan hava şoku ve titreşim ölçümleri [3]

Atım no	Titreşim ölçer modeli	Enine parçacık hızı (mm/sn)	Enine frekans (Hz)	Boyuna parçacık hızı (mm/sn)	Boyuna frekans (Hz)	Düşey parçacık hızı (mm/sn)	Düşey frekans (Hz)	Max. parçacık hızı (PPV)	Hava şoku (dB)
1	Instantel BE10708	0,9	32,0	1,7	25,6	1,1	28,4	1,7	123,4
2	Instantel BE10704	1,1	73,1	1,0	46,6	2,5	64	2,5	120,5
3	Instantel BE10704	,8	42,7	1,3	73,1	2,2	100	2,2	126,9
4	Instantel BE10704	1,3	18,3	0,9	17,7	1,5	19	1,5	110,9
5	Instantel BE10704	8,3	23,3	9,8	73,1	10	73,1	10,0	128,8

Çizelge 2 ve Çizelge 3’de sunulan veriler, aynı anda aynı ölçüm noktasında yapılmış ve çalışma kapsamında birlikte değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler arasındaki ilişki araştırılmıştır. Hava şoku ve toz yayılımının aynı ortamda (hava) yayıldığı, dolayısıyla benzer koşullardan etkileneceği düşüncesinden hareketle, toplam askıda partikül madde ile hava şoku arasında Şekil 1’de gösterilen şekilde ilişki bulunmuştur.

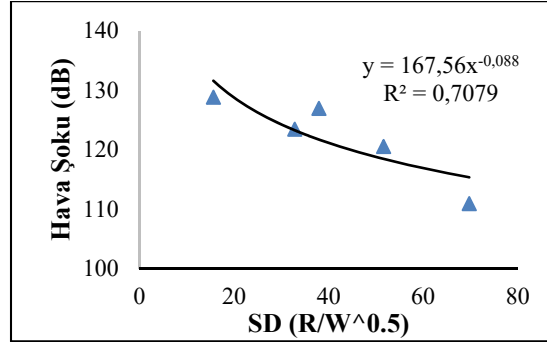


**Şekil 1.** TAPM ile AOP arasındaki istatistiki ilişki

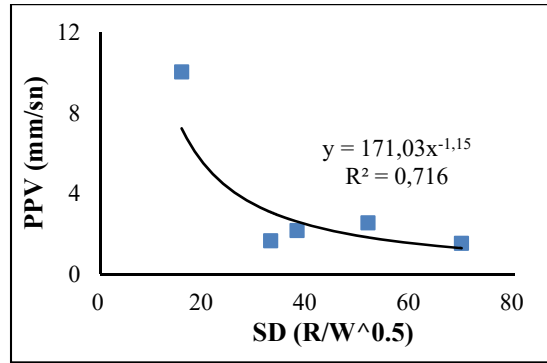
Toplam askıda partikül madde ile hava şoku arasındaki istatistiki ilişki Eşitlik 3 ile ifade edilebilir.

$$TAPM = 1E^{-26} \times AOP^{12,813} (R = 0,91) \quad (3)$$

Patlatmanın toz dışındaki diğer olumsuz çevresel etkileri olan hava şoku ve titreşimlerin, pratik olarak ölçekli mesafeden etkilendiği bilinmektedir [16]. Bu nedenle, çalışma kapsamında SD ile hava şoku arasında ve ölçekli mesafe ile parçacık hızı (PPV) arasındaki ilişki irdelenmiş ve sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 2. AOP ile SD arasındaki ilişki



Şekil 3. PPV ile SD arasındaki ilişki

Şekil 2 ve 3'te sunulan regresyon analizlerine göre, ölçekli mesafe ile hava şoku arasındaki istatistiksel ilişki Eşitlik 4'te, ölçekli mesafe ile maksimum parçacık hızı arasındaki istatistiksel ilişki Eşitlik 5'teki formüllerle ifade edilebilir.

$$\text{AOP} = 167.56 \times \text{SD}^{-0,088} \quad (R^2 = 0,71) \quad (4)$$

$$\text{PPV} = 171.03 \times \text{SD}^{-1,15} \quad (R^2 = 0,72) \quad (5)$$

Elde edilen Eşitlik 3, 4 ve 5 için veri setlerinin %98, %95 ve %90 güven seviyelerinde anlamlılıklarını test etmek amacıyla, t-testi yapılmıştır (Eşitlik 1). Yapılan t-testi sonuçları, Eşitlik 3, 4 ve 5 için sırasıyla aşağıda sunulmaktadır.

$$t = 5,98 > t_{0,900, n=5} = 1,64 \quad (\text{Eşitlik 3 için})$$

$$t = 9,1 > t_{0,950, n=5} = 1,96 \quad (\text{Eşitlik 4 için})$$

$$t = 11,79 > t_{0,980, n=5} = 2,92 \quad (\text{Eşitlik 5 için})$$

Yukarıda görüldüğü gibi, veriler %90, %95 ve %98 anlamlılık seviyelerine göre anlamlı bulunmuştur. Dolayısıyla partikül maddenin mesafeye bağlı sönümlenmenin yanı sıra, atmosferik koşullardan etkilendiği bilindiği gibi [10] hava şokunun da özellikle sıcaklık, hava basıncı ve rüzgar gibi hava koşullarından etkilendiği bilinmektedir [11]. Bu çalışmada, farklı mesafelerde PM ölçümleri yapılmış, sonrasında da hava şoku ile yüksek korelasyonu ve anlamlı ilişkisi ortaya konmuştur.

Ayrıca, farklı PM fraksiyonlarının da benzer mesafeye göre sönümlenme davranışı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, farklı PM fraksiyonlarının da benzer davranışı göstereceği sonucuna ulaşılabılır. Çalışmada kaydedilen titreşim ölçümleri ile partikül madde yayılımı arasında anlamlı bir ilişkiye ulaşılamamıştır. Bunun nedeni yayılım ortamının farklılığı ve sürekliliği olduğu düşünülmektedir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında kentsel sit ocağında patlatma noktasından 110-496 m mesafede PM örneklemeleri yapılmıştır. Araştırma, hava kirliliğinin kontrol altına alınması konusundaki bilgi birikimini artırmak için açık ocak madenciliği operasyonlarının temel çevresel etkilerinden biri olan PM'nin sönümlenme özelliklerini ortaya koymaktadır. Yapılan çalışmaya göre elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Elde edilen toz, hava şoku ve titreşim değerleri karşılaştırıldığında, hava şoku ile partikül madde sönümlenmesinin benzer nitelikte olduğu, titreşimlerin ise yayılım ortamlarının farklı olmasından dolayı, farklı yayılım karakteristiğine sahip olduğu belirlenmiştir.

Literatürde patlatma operasyonlarına yakın mesafede toz örnekleme yapan bir çalışma bulunmamakla birlikte, bu araştırmadan elde edilen sonuçlar TAPM miktarının inşaat işleri gibi benzer faaliyetler aralığında olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada, ilk olarak partikül madde yayılımının karakteristikleri incelenmiş ve ardından bu yayılımın hava şoku ile ilişkisi analiz edilmiştir. Arazi koşullarında partikül madde ölçümü genellikle zahmetli ve zaman alıcı bir süreçtir. Bu nedenle, rutin olarak gerçekleştirilen ve daha uygun maliyetli olan hava şoku ölçümleri kullanılarak partikül madde miktarının tahmin edilmesi, mühendislik uygulamalarında önemli bir kolaylık sağlayacaktır.

Gelecek araştırmalar için, bu çalışmanın bulgularının farklı sahalarda, farklı atmosferik koşullarda edilmesi tavsiye edilmektedir. Farklı çevresel ve operasyonel faktörlerin etkisini değerlendirmek amacıyla daha geniş bir veri seti kullanılması, elde edilen sonuçların genelleştirilebilirliğini artıracaktır. Ayrıca, daha uzun izleme süreleri ve daha çeşitli patlatma parametreleri ile gerçekleştirilecek çalışmalar, hava şoku ve partikül madde yayılımı arasındaki ilişkinin daha derinlemesine anlaşılmasını sağlayabilir.

#### 5. TEŞEKKÜR

Yazar, araştırmayı finansal olarak FHZ-2022-36383 no'lu proje ile destekleyen İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) koordinasyon birimine, ayrıca, katkılarından dolayı Prof. Dr. Ülkü ALVER ŞAHİN'e, Prof. Dr. Ümit ÖZER'e ve Ekrem GÜNDOĞDU'ya teşekkür eder.

#### 6. KAYNAKLAR

1. Özer, U. 2001. Investigation of blasting kinematics and simulation of blasting. PhD Thesis, Çukurova University, Institute of Sciences, 188.
2. Jimeno, E., Jimeno, C., Carcedo, F., 1995. Drilling and blasting of rocks. A.A. Balkema.
3. Kalaycı Şahinoğlu, Ü., 2023. Patlatma sonucu meydana gelen partikül maddelerin yayılım karakteristiğinin araştırılması. Proje Sonuç Raporu, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri, Proje no: FHZ-2022-36383, İstanbul.
4. WHO (World Health Organization), 2020. New WHO global air quality guidelines aim to save millions of lives from air pollution. <https://www.who.int/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>, Erişim tarihi: 25.03.2022.
5. EPA (Environmental Protection Agency), 2021. Particulate matter (PM) basics. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>, Erişim tarihi: 29.03.2022.
6. Sahin, U.A., Harrison, R.M., Alam, M.S., Beddows, D.C.S., Bousiotis, D., Shi, Z., Crilley, L.R., Bloss, W., Brean, J., Khanna, I., Verma, R., 2022. Measurement report: Interpretation of wide range particulate matter size distributions in Delhi'. Atmospheric Chemistry and Physics, 22(8), 5415-5433.
7. Özer, Ü., Karadoğan, A., Özyurt, M.C., Kalaycı Şahinoğlu, Ü., 2012. Denizli ili, Acıpayam ilçesi, Suçatı köyü mevkiinde 201200601 ruhsat numaralı IV (Krom) maden ocağında gerçekleştirilecek patlatmalı kazı işi kapsamında risk analizine dayalı patlatmalı kazı ön tasarımı. Döner Sermaye Projesi.
8. Kılıç, A.M., Kahraman, E., 2016. Patlatmadan kaynaklı çevresel etkilerin incelenmesi ve uygulamaya ilişkin bir örnek. Çukurova Üniversitesi, 8. Uluslararası Kırmataş Sempozyumu, 13-14 Ekim 2016, Kütahya-Türkiye.
9. Onat, B. Stakeeva, B., 2014. Assessment of fine particulate matters in the subway system of Istanbul. Indoor and Built Environment, 23(4), 574-583.

10. Kalaycı Şahinoğlu, Ü., 2023. The assessment of blast-induced dust in an urban site quarry. *Journal of Mining Science*, 59(3), 1-13.
11. Özer, U., Karadoğan, A., Özyurt, M.C., Sertabipoğlu, Z., Şahinoğlu, Ü., 2020. Modelling of blasting-induced air overpressure wave propagation under atmospheric conditions by using ANN model. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(16).
12. Akdeniz, F., (1998). *Probability and statistics*. Baki Kitabevi. ISBN: 975-96039-7-7.
13. Kalaycı, Ü., 2011. Patlatmada harcanan faydalı enerji ile patlatma verimi arasındaki ilişkinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 236.
14. Örgün, Y., Yalçın, T., Bozkurtoğlu, E., Duman, E., Yiğitbaş, E., Kuzu, C., Nasuf, E., Öztürk, A., 2003. İstanbul-Çatalca-Muratbey civarında yapılan madencilik faaliyetlerinin Büyükçekmece göl havzasında yer alan yeraltı yüzey sularında ve çevreye olan etkisi. Kuvaterner Çalışmayı IV. İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, İstanbul.
15. Yıldırım, H., 2020. Technical report. The Rectorate of Istanbul Technical University, Disaster Management Coordination Unit, İstanbul.
16. Dowding, C.H., 1996. *Construction vibration*. Prentice Hall Inc., Eaglewood Cliffs, 69.

