8. DELME-PATLATMA SEMPOZYUMU
BİLDİRİLER KİTABI

PROCEEDINGS OF THE 8th DRILLING-BLASTING SYMPOSIUM

19-20 Kasım/November 2015, İstanbul

EDİTÖRLER/EDITORS
Ümit ÖZER
Abdulkadir KARADOĞAN
Türker HÜDAVERDİ
Ülkü KALAYCI
Meriç Can ÖZYURT

TMMOB
MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI
İSTANBUL ŞUBESİ

8. DELME-PATLATMA SEMPOZYUMU

BİLDİRİLER KİTABI

Proceedings of The 8th Drilling – Blasting Symposium

Editörler/Editors:

Ümit ÖZER
Abdulkadir KARADOĞAN
Türker HÜDAVERDİ
Ülkü KALAYCI
Meriç Can ÖZYURT

19 - 20 Kasım / November 2015
İSTANBUL

MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI MERKEZ YÖNETİM KURULU
THE EXECUTIVE BOARD OF THE CHAMBER OF MINING ENGINEERS

Başkan : Ayhan YÜKSEL
II. Başkan : Hüseyin Can DOĞAN
Yazman : Necmi ERGİN
Sayman : Mehmet ÖZYURT
Üyeler : Emre DEMİR
Mehmet ZAMAN
Emra ERGÜZELOĞLU

MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI İSTANBUL ŞUBESİ YÖNETİM KURULU
THE EXECUTIVE BOARD OF THE CHAMBER OF MINING ENGINEERS ISTANBUL BRANCH

Başkan : Nedret DURUKAN
II.Başkan : Nihat Alpin MÜTEVELLİOĞLU
Yazman : Hürriyet DEMİRHAN
Sayman : Selçuk ŞİMŞEK
Üyeler : Burhan ERDİM
Zeynep SERTABİPOĞLU
Büşra ERTUĞRUL

© Kasım 2015. Tüm hakları saklıdır.
TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın yazılı izni olmaksızın bu kitap ya da kitabın bir kısmı herhangi bir biçimde çoğaltılamaz, yayınlanamaz.

ISBN: 978-605-01-0787-6

Basım Yeri:
Dinç Ofset Mat. Rek. San. ve Tic. Ltd. Şti.
Davutpaşa Cad. Emintaş Matbaacılar Sitesi
No: 103/580-581 Topkapı /Zeytinburnu/İstanbul
Tel: 0212 493 33 00

TMMOB Maden Mühendisleri Odası
Selanik Cad. No: 19/4 06650 Kızılay – Ankara
Tel : + 90 (312) 425 10 80 Fax: +90 (312) 417 52 90
Web: www.maden.org.tr E-posta: maden@maden.org.tr

TMMOB Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi
Büyükdere Cad. Çınar Apt. No: 95 Kat:8 Daire:31
Mecidiyeköy – İstanbul Fax: +90 (212) 356 74 12
Tel: +90 (212) 356 74 10 E-posta: istanbul@maden.org.tr

Sempozyum kitabının baskısı, **Çiftay İnşaat Taahhüt ve Tic. A.Ş.** tarafından gerçekleştirilmiştir.

YÜRÜTME KURULU / EXECUTIVE COMMITTEE

Başkan	Dr. Ümit ÖZER	(İÜ)
Başkan Yardımcısı	Nihat Alpin MÜTEVELLİOĞLU	(MMO)
Sekreterler	Dr. Abdulkadir KARADOĞAN	(BİLİMSEL) (İÜ)
	Mesut ERKAN	(TEKNİK) (MMO)
	Selçuk ŞİMŞEK	(SAYMAN) (MMO)
Üyeler	Necmi ERGİN	(MMO)
	Mehmet ÖZYURT	(MMO)
	Nedret DİNER DURUKAN	(MMO)
	Büşra ERTUĞRUL	(MMO)
	Hürriyet DEMİRHAN	(MMO)
	Nahit ARI	(MMO)
	Dr. Türker HÜDAVERDİ	(İTÜ)
	Umut ATLIHAN	(MMO)
	Ülkü KALAYCI	(İÜ)
	Meriç Can ÖZYURT	(İÜ)
	H. İbrahim İŞCEN	(KIRLIOĞLU)
	Müfit ERDİL	(KAPEKS)
	Hidayet OSMANOĞLU	(ORİCA)
	Gökhan HALICILAR	(NİTROMAK)
	Gökhan MERTLER	(YAVAŞÇALAR)
	Ümit KILIÇ	(MADSER)
	Bekir KARABEKMEZ	(MAKSAM)
	Oğuz ÖZKAZANÇ	(SOLAR)
	Orhan PATIR	(KOMANDO)

BİLİM KURULU / SCIENTIFIC COMMITTEE

Dr. Ömür ACAROĞLU	(İTÜ)	Dr. Ali KAHRİMAN	(OÜ)
Dr. Hakan AK	(OGÜ)	Dr. Abdulkadir KARADOĞAN	(İÜ)
Dr. Hürriyet AKDAŞ	(OGÜ)	Dr. Doğan KARAKUŞ	(DEÜ)
Dr. Nuri Ali AKÇIN	(BEÜ)	Dr. Celal KARPUZ	(ODTÜ)
Dr. Ufuk Gökhan AKKAYA	(İÜ)	Dr. Ayhan KESİMAL	(KTÜ)
Dr. Özgür AKKOYUN	(DÜ)	Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ	(ÇU)
Dr. Raşit ALTINDAĞ	(SDÜ)	Dr. Mehmet Sıddık KIZIL	(QU)
Dr. Ercan ARPAZ	(KÜ)	Dr. Gürcan KONAK	(DEÜ)
Dr. Hasan Aydın BİLGİN	(ODTÜ)	Dr. Mustafa KUMRAL	(MU)
Dr. Nuh BİLGİN	(İTÜ)	Dr. Cengiz KUZU	(İTÜ)
Dr. Niyazi BİLİM	(SÜ)	Dr. Ahmet Hakan ONUR	(DEÜ)
Dr. Ahmet DAĞ	(ÇÜ)	Dr. Ümit ÖZER	(İÜ)
Dr. Hasan ERGİN	(İTÜ)	Dr. Hakan TUNÇDEMİR	(İTÜ)
Dr. Kazım GÖRGÜLÜ	(CÜ)	Dr. Bülent TÜTMEZ	(İÜ)
Dr. Mehmet Ali HİNDİSTAN	(HÜ)	Dr. G. Gülsev UYAR	(HÜ)
Dr. Türker HÜDAVERDİ	(İTÜ)	Dr. Önder UYSAL	(DÜ)
Dr. Melih İPHAR	(OGÜ)	Dr. Bahtiyar ÜNVER	(HÜ)
Dr. Sair KAHRAMAN	(HÜ)	Dr. Olgay YARALI	(BEÜ)

(*İsimler soyadına göre alfabetik olarak verilmiştir.)*

SUNUŞ

TMMOB ve bağlı Odamızın temel görevlerinden biri de bilimsel çalışmaları ve deneysel yaklaşımları kamuoyuna sunmak ve üyeleri ile paylaşmak için bilimsel toplantılar düzenlemektir. Bu çalışmalardan biri olan Delme Patlatma Sempozyumu'nun sekizincisi TMMOB Maden Mühendisleri Odası ve İstanbul Şubesi tarafından 19-20 Kasım 2015 tarihinde İstanbul'da organize edilmiştir.

Yeraltı ve yerüstü kazılarının önemli ve vazgeçilemez adımlarından biri olan delme patlatma işleri konusundaki yeni teknoloji ve uygulamaları paylaşmak, sorunları uzmanlarıyla tartışmak ve kamuoyuna sunmak bu sempozyumlar aracılığı ile mümkün olmaktadır.

Madencilik faaliyetleri, tünel ve karayolları inşası, bina/köprü yıkımları gibi birçok alanda uygulanan delme patlatma işi maden mühendislerinin uzmanlık alanlarından biridir. Ancak dünyamızın geldiği noktada teknoloji ve uygulaması çok boyutlu düşünülmesi gereken parametrelerdir. İşçi sağlığı, insan ve çevre boyutu öncelikli olmadan hiçbir faaliyetin yapılması düşünülemez.

Bütün bunları bir araya getirdiğimizde bilim ve teknolojinin uygulayıcısı olan mühendislerimizin çok önemli bir sorumluluğu da; güvenli iş yeri koşullarından taviz vermeksizin, tüm çalışmalarda insan öncelikli düşünerek, çevre uyumu, ekolojik denge etkisi, doğa ve ülke geleceğini göz önünde bulundurarak iş planlaması yapması ve uygulamaya geçmesidir.

Sempozyum hazırlık sürecinde; gerek bildiri gerek emekleriyle katkı veren bilim insanlarımıza, kamu ve özel sektördeki kuruluşlara, odamızın değerli yönetim kurullarına ve özellikle bu yüksek tempolu süreçte büyük özveride bulunan Sempozyum Yürütme Kurulumuza teşekkürü borç biliriz.

Patlayıcı madde sektöründeki gelişmelerin barışçıl amaçlarla ve sadece sempozyumumuza konu, insan odaklı faaliyetler için kullanılması ve yaşamı kolaylaştırması en önemli dileğimizdir.

"10 Ekim 2015'de yitirdiklerimize en derin duygularla…"

Saygılarımızla,

TMMOB Maden Mühendisleri Odası
İstanbul Şubesi Yönetim Kurulu
Kasım 2015/ İstanbul

ÖNSÖZ

1993 yılında başlatılan "**Delme - Patlatma Sempozyumu"** nun sekizincisini 2015 yılında gerçekleştirme olanağına ulaşmış bulunuyoruz.

Makineli kazının teknik ve ekonomik açıdan yetersiz olduğu durumlarda patlatmalı kazı kaçınılmazdır. Bu özelliğinden dolayı günümüzde madencilik ve inşaat iş kolları başta olmak üzere birçok sektörde uygulanmaktadır. Gelişmekte olan ülkemizde madencilik yatırımlarının hız kazanması, büyüyen şehirleşmelere bağlı olarak kentsel dönüşüm ve altyapı çalışmaları, ulaşım sektörünün hızla gelişmesi, enerji ihtiyacının karşılanması amacı ile yapılan enerji yatırımları delme-patlatma sektörü açısından ülkemizi bir çekim merkezi haline dönüştürmüştür. Bu dönüşümle birlikte sektörümüz açısından çözüm bekleyen bazı konular da vardır. Örneğin; patlatma kaynaklı titreşimler, gürültü ve hava şoku standardı açısından, ülkemiz gerçekleri olan yapı stoku çeşitliliği gözetilmeksizin hazırlanmış olan ve "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi" Yönetmeliğinde titreşimle ilgili verilen tanımlama yetersiz kalmaktadır. Aynı yönetmelikte patlatma kaynaklı gürültü ve hava şokuna ait bir tanımlama da bulunmamaktadır. Patlayıcı sevkiyatı, mekanize şarj gibi konular ise yeterince ele alınmamaktadır.

Bu eksikliklerin çözümü için Maden Mühendisleri Odası, üniversitelerin ilgili bölümleri ve ilgili kamu kurum ve kuruluşlarından uzmanların oluşturacağı ortak bir çalışma platformu sonucu ortaya çıkacak çalışmanın ilgili mercilere iletilmesi gerekmektedir.

8. Delme-Patlatma Sempozyumu'nun gerçekleşmesinde ve düzenlenmesinde desteklerini esirgemeyen şirket ve kuruluşlara sempozyum yürütme kurulu adına içtenlikle teşekkürlerimizi sunarız. Bu sempozyum için çağrılı bildirileri ile katkı sunan yerli ve yabancı konuşmacılara ve çalışmalarını bildiri şeklinde hazırlayıp sunan değerli yazarlara, bilim kurulu üyelerine, sempozyum kitabının hazırlanmasında yoğun emeği geçen editörlere, sempozyumun düzenlenmesinde görev alan yürütme kurulu üyelerine ve Maden Mühendisleri Odası Merkez ve İstanbul Şubesi Yönetim Kurullarına teşekkür ederiz. Bu sempozyumun ve bildiriler kitabının ülkemize, araştırmacılara ve ilgili şirket ve sektör çalışanlarına yararlı olmasını ümit ederiz.

Saygılarımızla,

Sempozyum Yürütme Kurulu Adına

Doç. Dr. Ümit ÖZER

Sempozyum Yürütme Kurulu Başkanı
Kasım 2015/ İstanbul

İÇİNDEKİLER

Sayfa

Precision Presplit Design
C.J. Konya, A.J. Konya 1

How Far Can You Stretch The Size Distribution of Rock Fragments?
J.A. Sanchidrián 11

Are Vibration Measurements From Blasting Reliable Enough?
P. Segarra 23

Türkiye Patlayıcı Sektöründe Teknik Otorite İhtiyacı
The Need For Technical Authority in Turkish Explosives Industry
M. Erdil 35

Drilling and Blasting Technology of Modern Mines
Modern Madenlerde Delme ve Patlatma Teknolojisi
M. Erkayaoğlu, Ö. Düzgün 41

Küresel ve Balistik Tip Buton Uçların Delme Hızı ve Aşınma Oranlarının Kumtaşı Kayacında Analizi
Analysis of the Penetration Rate and Wear of the Spherical and Ballistic Type Button Bits on Sandstone Rock
O. Su 51

Rotari Sondaj Matkaplarının Optimum Seçimi ve İşletilmesi İçin Yeni Bir Yöntem
A New Method to Optimize the Rotary Drill Bit Selection and Operation
H. Ergin, Ö. Acaroğlu, M. Toker, B. Ergener, D. Akkriş 59

Yeni Nesil Rotari Sondaj Matkapları: Klaw Matkap Performans Analizi ve Konili Matkapla Kıyaslanması
New Generation Rotary Drill Bits: Klaw Bit Performance Analysis and Compared with Tricone Bit
B. Ergener, D. Akkriş, C. Larson, Ö. Acaroğlu, H. Ergin, U. Çalışkan, M. Toker 67

Delme-Patlatma Parametrelerinin DelPat v8 Yazılımı ile Tasarlanması ve Uygulamadaki Sonuçlarının Karşılaştırılması
Designing Drilling-Blasting Parameters with the DelPat v8 Software and Comparing the Results with Actual Data
C. Çeliksırt, V. Erkan 77

Eti Maden Kırka Ocağı İçin Bilgisayar Destekli Patlatma Tasarımı
Computer−Aided Blast Design for Eti Maden Kırka Boron Mine
E. Ferah, T. Hüdaverdi 85

The Analysis of Ground Vibrations Induced by Foundation Excavation Test Blasts nearby a Buried High Pressure Gas Pipeline
Yüksek Basınçlı Gömülü Gaz Boru Hattı Yakınında Yapılan Test Patlatmalarının Yol Açtığı Yer Titreşimlerinin Analizi
Y. Dağaşan, O. Erten, H.A. Bilgin 97

Kırka Bor Açık İşletmesinde Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Değerlendirilmesi
An Evaluation of Blast-Induced Vibrations in Open-Pit Boron Mine, Kırka
K. Görgülü, A. Koçaslan, M.K. Dilmaç, Y.S. Durutürk, Ö. Uysal, E. Arpaz 109

Patlatma Kaynaklı Titreşim Analizlerinde En Yüksek Parçacık Hızı-Ölçekli Mesafe İlişkisini Esas Alan Yaklaşımın Olumsuzlukları
Negativity of the Approach Based on Peak Particle Velocity-Scaled Distance Relationship in Blasting Induced Vibration Analysis
G.G. Uyar, C. O. Aksoy..... 119

Patlatmalarda Yaşanan Taş Savrulması Olayının İncelenmesi
The Investigation of Fly Rock Event Occurred in Blasting
A. Yücel, M. G. Özdoğan, T. Depçi..... 133

Piroteknik Kaya Kırıcı Kartuşların Kullanım Alanları ve İlgili Kaya Biriminde Maksimum Parçacık Hızı Tahmini
The Usage Areas of the Pyrotechnic Rock Breaker Cartridges and the Peak Particle Velocity Estimation in the Related Rock Formation
E. Özsarıkamış..... 139

Açık Ocak Patlatma Sonuçlarının Değerlendirilmesinde Yersel Lazer Tarayıcıların (LIDAR) Kullanımı
The Use of Terrestrial Laser Scanning (LIDAR) for the Evaluation of Open Pit Blasting Results
İ.C. Engin, N. Maerz..... 151

Bir Taşocağında Kullanılacak Saha Sarsıntı Yayılım Denkleminin Belirlenmesi
Determination of Site Specific Vibration Attenuation in a Quarry
Ü. Kalaycı, Ü. Özer, A. Karadoğan, M.C. Özyurt 161

5 Eylül 2012 Afyonkarahisar Mühimmat Deposu Patlamasının Sismik-Akustik Kayıtlar Kullanılarak İrdelenmesi
An Investigation of 5th September 2012 Afyonkarahisar Ammunition Depot Explosion by Using Seismic-Acoustic Records
F. Kuran, S. Polat 173

Kartal Meeting Point Projesinde Uygulanan Patlatmalı Temel Kazısında Elektronik Kapsül Kullanımının Hava Şoku, Sarsıntı ve Verimlilik Açısından İncelenmesi
The Analysis of the Use of Electronic Detonators in Blast for Foundation Excavation in Kartal Meeting Point in Terms of Airblast, Vibration and Efficiency
M. Yurttaş, O. Özkul, U. Atlıhan, O. Bayındır..... 187

Zonguldak Ilıksu Mevkiinde Kontrollu Basamak Patlatması Uygulamaları
Cautious Bench Blasting Practices at Zonguldak Ilıksu Site
H.A. Bilgin, M. Kılıç, M.S. Kahveci, Y. Dağaşan, B. Ünlütürk..... 197

Kaya Fırlamalarının Çoklu Regresyon ve Bulanık Mantık Yöntemleriyle Tahmin Edilebilirliği
Prediction of Flyrock Distance Using Multiple Regression and Fuzzy Logic
M. Sarı, E. Ghasemi, M. Ataei..... 209

Patlayıcının Duyarsızlaşma ve Etkileşim Yolu ile Bozulması
Explosives Malfunction from Sympathetic Detonation to Shock Desensitization
M. Derya, Ü. Kılıç, V. Alabaş..... 217

Patlayıcı Maddelerle İlgili Mevzuatın Değerlendirilmesi
Assessing Legislation Related With Explosive Substances
Ç. Uzun..... 229

Türkiye'deki Patlayıcı Mevzuatının İncelenmesi, Eksiklerinin Tespiti ve Çözüm Önerileri
Examining the Turkey's Explosive Legislation, Determining Its Insufficiencies and Solution Offers
E. Karakaş, A. Kahriman, A. Çeltikçi, S. Bağdatlı..... 235

Tüm Emek İş Sitesi Binalarının Patlayıcı Kullanılarak Yıkımı
Demolition of the Tüm Emek Iş Buildings by Using Explosives
Ü. Özer, A. Karadoğan, M.C. Özyurt, Ü. Kalaycı, U. Tutar, B. Demir, F. Toprak..... 245

Kırmataş İşletmelerinde Delme-Patlatma İşleminin Toplam Maliyete Olan Etkisinin Belirlenmesi
Determination of the Effect of Drilling-Blasting Operation on Total Cost in Quarry
N. Bilim, A. Çelik, B. Kekeç 259

Patlatma Ekonomisi
Blasting Economy
E. Alpaydın 267

"Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Odayeri-Paşaköy (3. Boğaz Köprüsü Dahil) Kesimi" Ömerli Köyü Kalker Ocağında Yapılan Açık Ocak Patlatmalarının Çevresel Hasar Riski Açısından Analizi
"North Marmara Motorway Project Odayeri-Paşaköy (3rd Bosphorus Bridge Included) Section" Environmental Damage Risk Analysis of the Performed Open-Pit Blasting in the Omerli Village Limestone Quarry
A. Kahriman, A. Çeltikçi, S. Bağdatlı, İ. Ocak, A. Özdemir, İ. Sefer, R. Sağlam..... 277

Bir Bakır Madeninin Delme ve Patlatma Performanslarının Veri Entegrasyonuyla İncelenmesi
Investigation of Drill and Blast Performances of a Copper Mine by Data Integration
M. M. Kahraman ……..……..... 285

Mekanik ve Patlatmalı Kazı Maliyetinin Karşılaştırılması Örnek Uygulama: İstanbul Uluslararası Finans Merkezi İnşaatı
Comparison of Mechanical and Blasting Excavation Cost Case Study: Istanbul International Financial Center Construction
S. Bağdatlı, A. Çeltikçi, A. Kahriman, Z. Yıldız 295

Derin Yeraltı Patlatma Uygulamalarında Özgül Şarjı Etkileyen Değiştirgelerin Kümeleme Analizi ile İncelenmesi
Investigation of the Parameters Effecting Powder Factor in Deep Underground Blasting Operations by Cluster Analysis
E. Köken, A. Özarslan..... 303

Eti Bakır A.Ş. Küre Yeraltı İşletmesi'nde Gerçekleştirilen Patlatma Uygulamalarının İncelenmesi
Investigation of Underground Blasting Applications in Eti Bakır A.Ş. Kure Underground Mine
G. Demir, M. Yılmaz, M. Şen 319

Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık Açık Ocağındaki Dekapaj Patlatmalarından Kaynaklı Çevresel Etkilerin İncelenmesi
The Research of Environmental Effects Arising From Blasting Activities of Pickling Process in Hisarcık Open Pit Mines of Emet Boron Works
M. E. Özen, R. Bütüner, Z. Keti 335

Bahçe Nurdağ Varyantı Altyapı İnşaatı Projesi Kapsamında Nurdağ Portalinde Yapılan Kontrollü Patlatma Uygulamaları
Controlled Blasting Operation at the Nurdag Portal in Bahce-Nurdag Varyantı Altyapı İnşaatı Project
Ü. Kılıç, M. Derya, V. Alabaş ……... 347

Shuakhevi Hidro Elektrik Santral Projesi Enerji Tünellerindeki Patlatmalarda Uygulanan Paralel Kesme Yöntemi ve Orta Çekme (V-Kesme) Yöntemlerinin Karşılaştırılması
Comparison of Parallel Cut and V-Cut Methods Which are Applied during Excavation in Energy Tunnel in Shuakhevi HEPP
Ü. Kılıç, V. Alabaş, M. Derya, M. H. Erçelik..... 359

Patlatmalı Şaft Kazılarının V-Kesme Metodu ile Uygulanabilirliği
Applicability of the V-Cut Method of Blasting Shaft Excavation
S. Bağdatlı, A. Çeltikçi, A. Kahriman, S. Işıdı, Y. Kahraman..... 375

Ceyhan Yılankale Bölgesi Kalker İşletmesinin Patlatma Parametrelerinin İncelenmesi ve Patlatma Sonrası Parça Boyut Dağılımının Belirlenmesi
Investigation of Blasting Parameters of Ceyhan Yılankale Area Limestone Quarry and Determination of Post-Blast Particle Size Distribution
E. Kahraman, A. M. Kılıç..... 383

Allokton Kökenli Bir Kireçtaşı Ocağında Yapılan Patlatmanın Performans Açısından Değerlendirilmesi
Evaluation of Blasting Performance in Allochthonous Limestone Quarry
İ. Çobanoğlu, A. Kaya 391

Şehir İçi Açık Saha Patlatma Maliyet Analizi
Blasting Cost Analysis at Urban Open Field
A. Kahriman, A. Çeltikçi, S. Bağdatlı, İ. Ocak, A. Özdemir, İ. Sefer, R. Sağlam..... 399

Kapıkule Sağlık Ocağı'nın Patlayıcı İle Kontrollü Yıkılması
Demolition of Kapıkule Community Clinic by Using Explosives
Y. Yılmaz..... 405

Kayaçların Mekanik Özellikleri ile Matkap Ömrü Arasındaki İlişkinin İncelenmesi
Investigation of Relationships Between Mechanical Properties of Rocks and Drill Bit Lifetimes
M. Çapik, A.O. Yılmaz..... 415

Güneşevler Sitesi Binalarının Patlayıcı Kullanılarak Yıkımı
Demolition of the Güneşevler Site Buildings by Using Explosives
A. Karadoğan, Ü. Özer, M.C. Özyurt, Ü. Kalaycı, U. Tutar, B. Demir, F. Toprak..... 425

Dönüş Hızının ve Baskı Miktarının Laboratuvar Ölçekli Delinebilirlik Üzerine Etkileri
Effects of Rotational Speed and Bit Load on Laboratory Scale Drillability
S. Yaşar, A. O. Yılmaz, M. Çapik..... 437

Askeri Patlayıcılar ile Baca Yıkımı Uygulaması
Chimney Demolition Applications with Military Explosives
S. Bağdatlı, A. Çeltikçi, H.C. Türe, S. Işıdı..... 445

Plastik Sulu Sıkılama Kartuşlarının Yeraltı Patlatmalarında Toz Bastırma Etkisinin Araştırılması
The Investigation of Plastic Water Stemming Cartridges Effect on Dust Suppression in Underground Mine Blasting
M. G. Özdoğan, T. Depci, A. Yücel..... 453

Yeraltı Metal Madenciliğinde Yapılan Patlatma Faaliyetlerinde Oluşan Risklerin Hata Türü Etki Analizi (HTEA) ile Sınıflandırılması
Classification of Blasting Operations Risks in the Underground Metal Mining by Failure Mode Effect Analysis (FMEA)
A.K. Eyüboğlu, M.K. Özfırat ……..... 461

Betonarme Köprülerin Patlayıcı Kullanılarak Yıkımı
Demolition of Reinforced Concrete Bridges by Using Explosives
M.C. Özyurt, Ü. Özer, A. Karadoğan, Ü. Kalaycı, U. Tutar, C. Erdoğan..... 471

Patlatmalı Kazı Çalışmaları Sonucu Oluşan Çevresel Titreşimlerin Ölçümü ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi
Evaluation of Vibration Measurement and Results of Blasting Induced Environmental Vibration
D. Karakuş, G. Konak, A.H. Onur, T. Öngen, G. Turan..... 481

Precision Presplit Design

C. J. Konya
Precision Blasting Services, Montville, USA

A. J. Konya
Konya Inc., Montville, USA

Abstract Mine sites and construction projects have faced problems with blasting a smooth back wall. This lead to safety concerns with slope stability and rock falls from the walls. Decades ago Dr. Calvin Konya began a special type of blasting called "Precision Presplitting". This form of presplitting used relatively light loads based on the rock type being blasted. The explosive loads were estimated for each rock type and adjusted as blasting progressed. This current research project also determined a new equation for prediction of the ground vibration from Precision Presplitting and compared it to vibration from production blasting. We developed a method for determining the explosive loads on one type of Precision Presplit based on the rock properties. With these new equations and the previously published Air Overpressure equation one can now optimize a Precision Presplit blast for explosive load and the environmental factors caused by it. This will ensure a safer blasting operation, increased wall control, and better slope stability for a reasonable cost.

1.1 Background

Presplitting has been used since 1957 on excavation projects to help form a smooth, stable back wall on the perimeter of an excavation. It has also been used in mining and quarrying operations to form final stable walls. The original methods worked well in strong, homogeneous rock with tight joints. These methods were not effective in weak or heavily jointed rock types. The older methods utilized a single explosive load that would break even the strongest rocks encountered. This would create problems with weaker rocks, as the presplit would cause damage to the back wall and cause much greater breakage then intended. In 1982 Dr. Calvin Konya introduced a form of presplitting called Precision Presplitting. This form of presplitting would use only enough explosive load for the specific rock strength, without causing additional breakage. Precision Presplitting uses extremely light explosive loads as small as 20 grams per meter and because of this the explosive load is generally referred to in grains of detonating cord per foot in US units and kilograms or grams per meter in Metric units. The method was tested repeatedly to find the spacing and explosive loads for different rock types. This paper discusses methods for determining explosive loads as well as the airblast and ground vibration resulting from these light explosive charges.

The first Precision Presplit was fired by Dr. Konya in sandstone. The blasthole spacing was 24 inches or 61cm. The results of this test blast are shown in Figure 1. When explosive column loads are small such as 21 grams per meter it is necessary and convenient to use multiple strands of detonating cord for the explosive load. Many large projects are now completed using

Precision Presplitting methods for both mining and construction. The USACE Grundy Remediation Project in Grundy, VA, utilized over 458,000 meters of detonating cord for the Precision Presplit blasts (Figure 2.).

Figure 1. Precision Presplit test

Figure 2. Over 458,000 meters of detonating cord used in Grundy, VA

1.2 Geologic Conditions

With these general tables, we can calculate values for the explosive column loads for test blasts. These will be for the average charges for the rock type. Table 1. lists the beginning values for test blasts in different rock types when blast hole spacing is 24 inches or 61cm. If rock is weak or if many large joints are present then the blastholes may have to be drilled on 30 to 45 cm spacing with much smaller explosive load.

Table 1. Rock types and explosive loads

Rock Type	Explosive Load (grains/foot)	Explosive Load (g/m)
Siltstone	100	21
Sandstone	250	53
Shale	300	64
Limestone	550	117
Granite	700	149

Grams/meter can be converted to grains of detonating cord per foot by using Equation 1.

$$\text{Grains/foot} = \frac{\text{grams/meter}}{0.213} \quad (1)$$

1.3 Explosive Loads

Explosive Loads are the amount of explosive used as a column charge distributed in each hole to achieve the desired results. As one would expect the explosive loads are dependent on both the strength of the rock and the spacing of the boreholes. After using the Precision Presplitting for decades we were able to estimate explosive loads that would work well for our test blast.

1.4 Konya Equations for Determining Explosive Load for 61 mm Spacing

The results of Precision Presplit blast conducted on construction projects were used to develop the Precision Presplit column load predictions shown in Table 1.

Field data was used to derive the equation shown in Figure 3. The equation can be used to estimate the column explosive load for different rock types with a spacing of 61 cm between loaded blastholes. Unloaded guide holes are not used with Precision Presplitting. All holes in the row are loaded for best results.

The Explosive load per meter can be estimated based on a number of different rock properties. The Modulus of Elasticity (E) has been suggested as a parameter which can help determine the explosive load in different rock types.

More recently we found that the uniaxial compressive strength (UCS) is a more easily obtainable parameter which is given on most construction projects in the geological report. The average UCS (MPa) also gives good agreement for determining the explosive column for Precision Presplitting. Figure 3. is a plot of the UCS vs the explosive column load for Precision Presplitting with 61 cm spacing between blastholes.

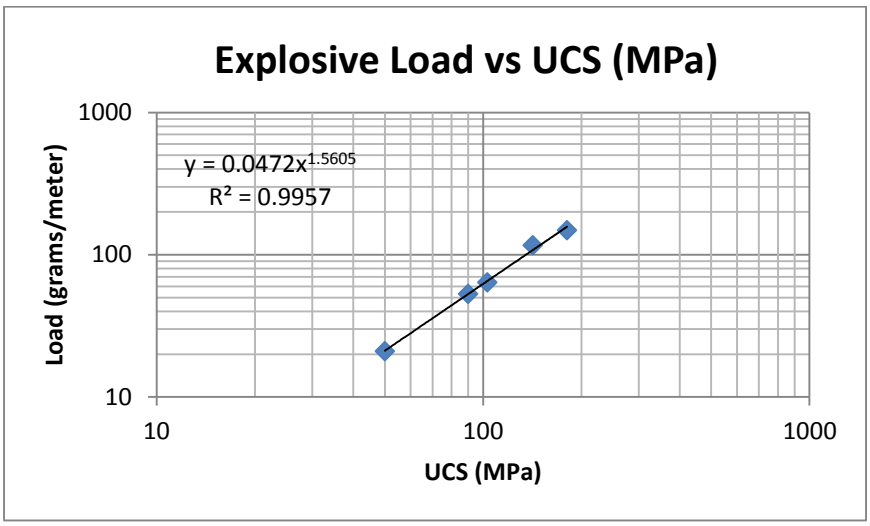


Figure 3. Explosive load vs UCS

The equation to estimate the explosive column load (g/m) per meter of blast hole length given in Equation 2.:

$$dec = 0.0472 * UCS^{1.5605} \quad (2)$$

Where :

dec = Loading density per meter of borehole in g/m

UCS = Unconfined compressive strength in MPa

Figure 4. shows a simple method for loading detonating cord as the column load in the blasthole.

Figure 4. Loading Precision Presplit with detonating cord charge

1.5 Delay Timing along the Row

The delay timing works best if the blastholes are bottom initiated with electronic delays. Delay times between 9 and 17 milliseconds have worked well with Precision Presplitting. The holes are timed moving sequentially along the row of Precision Presplit holes from one end of the row to the other.

1.6 Stemming in Precision Presplit Blastholes.

Stemming in normal Presplit blast holes or Precision Presplit holes should be made of material that will not lock into the borehole walls. If the Stemming material locks in the walls and forms a plug of compacted stemming then the collar of the blastholes will crater and destroy a portion of the bench at the perimeter of the excavation. For this reason we want to minimize the stemming so that the crack between holes will extend to the surface or through the collar of the holes.

One will commonly cover the expected split area between blastholes with soil, sand or blasting mats to keep any rock from flying (Figure 5.).

Figure 5. Soil cover on Precision Presplit

1.7 Bottom Loads

The Precision Presplit blasthole has an explosive charge placed in the bottom of the blasthole. Normally blastholes are not subdrilled, instead they are drilled to grade. The charge placed in the bottom has two purposes. The first purpose is to supply more energy than the column loads to try to break near the grade line and the second purpose is to supply sufficient mass to take the initiator and the detonating cord charge to the bottom of the hole. The minimum charge would be at least two times the amount of a 30 cm long column charge.

2.0 GROUND VIBRATION SCALED DISTANCE

Precision Presplitting methods produce different vibration levels than normal production blasting with the same size blastholes. With standard presplitting methods it has been found that the vibration can be as much as five times greater than a production blast using the same diameter blasthole and the same scaled distance. This is because all holes are confined at the time they fire, producing greater particle velocity than a normal blast would at the same scaled distance. The formula for ground vibration scaled distance is shown in Equation 3.

$$\text{Scaled Distance} = \frac{\text{Distance from Blast (m)}}{\sqrt{\text{Kilograms per delay}}} \tag{3}$$

Precision Presplitting is normally done in the USA using very light explosive loads of detonating cord, We can change the scaled distance equation for an easy calculation to the version below for detonating cord with values in grams per meter using Equation 4.

$$\text{Scaled Distance} = \frac{\text{Distance from Blast (m)}}{\sqrt{\text{Grams per delay}/1000}} \tag{4}$$

Using this scaled distance we can evaluate the ground vibration produced by a Precision Presplit.

2.1 Ground Vibration Analysis

For this research we recorded the results of 249 production blasts and 74 different Precision Presplit blasts in granite and limestone to get a large sampling of data at many different scaled distances. These were then plotted on a log-log paper and a linear regression analysis was used to get a mean value equation and to model production blasting and Precision Presplitting ground vibration levels for the same size blastholes, in the same rock types and at the same scaled distances. In order to develop an appropriate envelope we calculated two standard deviations above the mean to arrive at a 95% confidence level equation. These equation are shown modeled below (Figure 6-7.) along with the mean value equation. These equation can then be used to predict the maximum ground vibration levels for a Precision Presplit blast with similar conditions.

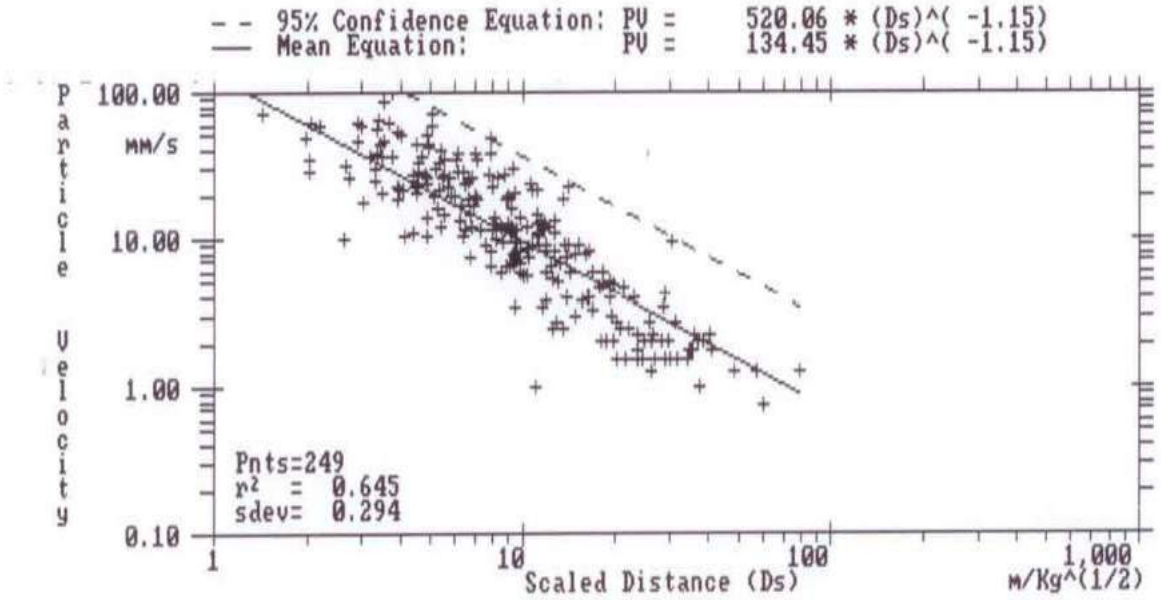


Figure 6. Vibration from production blast with 89 to 104 mm diameter holes

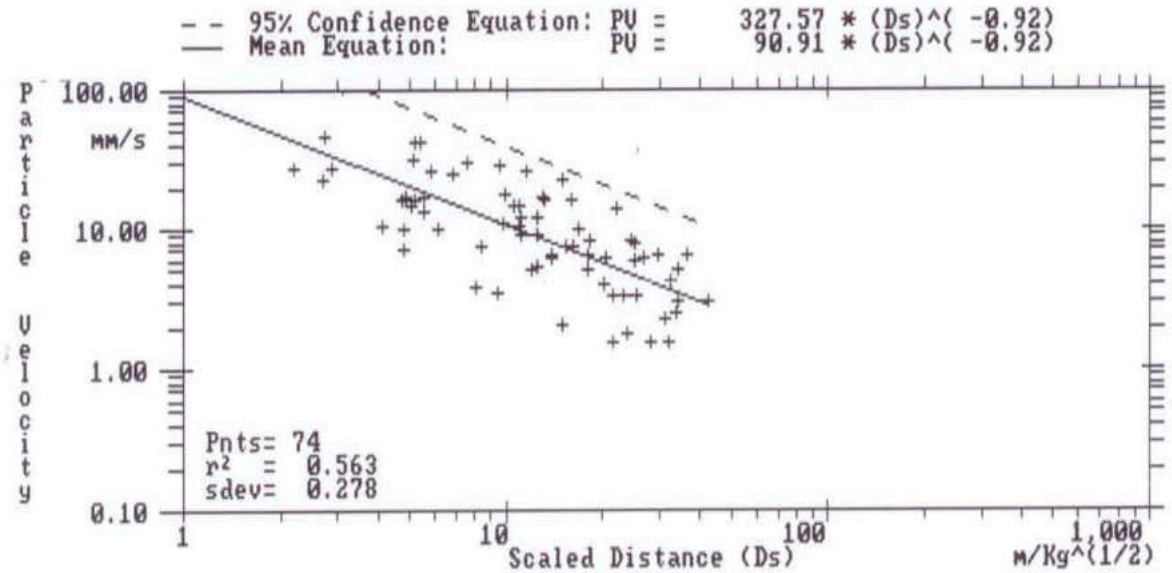


Figure 7. Vibration - Precision Presplit blasts, 89mm-104mm holes

The 95% confidence equations for production blasting was compared with the 95% confidence equation for Precision Presplitting. In normal presplitting the Vibration generated are as much as 500% greater at the same scaled distance as a production blast. The vibration produced by Precision Presplitting is significantly less than normal presplitting. Table 2. shows the expected maximum value of both production and Precision Presplitting for the same scaled distance.

2.2 Precision Presplitting Vibration Prediction (Konya), Equation 5.

$$\text{PPV}\left(\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right) = 327.57 * (\text{Scaled Distance})^{-0.92} \quad (5)$$

Table 2. Comparison of ground vibration with scaled distance

Ds m/kg^0.5	PPV Production (mm/sec)	PPV Prec. Presplit (mm/sec)
5	81.7	74.5
10	36.8	39.4
20	16.6	20.8
30	10.4	14.3
40	7.5	11.0
50	5.8	9.0
60	4.7	7.6
70	3.9	6.6
80	3.4	5.8
90	2.9	5.2
100	2.6	4.7
200	1.2	2.5

2.3 Production Blasts Ground Vibration Prediction (Konya) Equation 6.

$$\text{PPV}\left(\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right) = 520.06 * (\text{Scaled Distance})^{-1.15} \quad (6)$$

Figure 8. shows how Precision Presplitting compares to production Blasting in terms of ground vibration (in/sec). As we can see, for lower scaled distances Precision Presplitting actually produces lower vibration levels than a production blast. At the larger scale distances, Precision Presplitting produces more vibration, but significantly less than a regular presplit blast would.

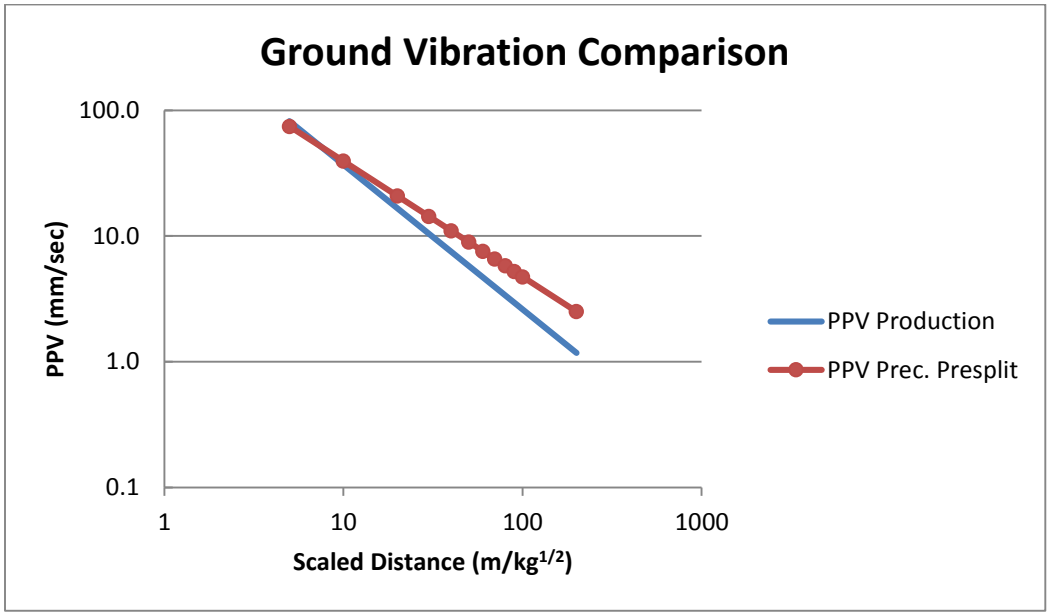


Figure 8. Comparison of ground vibration vs scaled distance

2.4 Air Overpressure

Last year research published by Anthony Konya and Dr. Calvin Konya produced a model we could use for predicting Air Overpressure from Precision Presplitting. Combining this with the Ground Vibration prediction equations we can predict all the maximum ground vibration levels from Precision Presplitting.

2.5 Overpressure and Decibels

Air overpressure is most commonly measured in decibel (dB). It is also measured in pounds per square inch (psi) in the USA and kPa in Europe. The decibel is defined in terms of the overpressure by Equation 7.

$$dB = 20 * Log(\frac{P}{Po}) \quad (7)$$

dB = Sound levels in decibels (dB)
P = Overpressure in psi (lb/in^2)
P0 = Overpressure of the lowest sound that can be heard
P0 = 2.9 x 10-9 = 3 x 10-9 psi (lb/in^2)

2.6 Scaled Distance for Air Overpressure

Air Overpressure is scaled according to the cube root of the charge weight similar to what is done with underwater blasting and not the square root of the charge weight used for ground vibration (Equation 8.).

$$\text{Air Overpressure Scaled Distance} = \frac{\text{Distance (m)}}{\sqrt[3]{\text{kg per Delay}}} \quad (8)$$

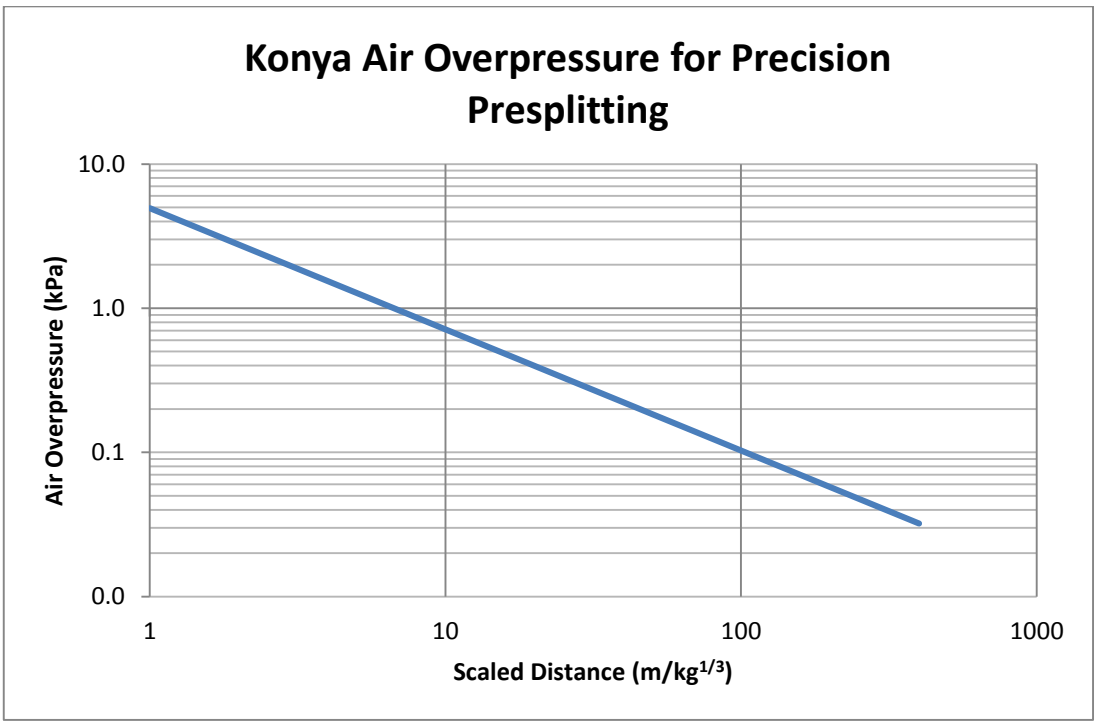


Figure 9. Konya 95% air overpressure equation for Precision Presplitting

Precision Presplitting is normally done with detonating cord, therefore we can manipulate this equation to the Equation 9. for easy calculation:

$$\text{Air Overpressure Scaled Distance} = \frac{\text{Distance (m)}}{\sqrt[3]{\text{Grams per meter}/1000}} \quad (9)$$

2.7 Air Overpressure Analysis

The research included 74 different Precision Presplit blasts, in different rock materials, in which air overpressure was measured. A linear regression was done on the data to determine the mean value and two standard deviations above the mean to arrive at the 95% confidence level Air overpressure equation. This equation is shown graphed below (Figure 9.). Equation 10. is used to calculate the air overpressure for Precision Presplitting.

Figure 10. shows the results of using these equations for Precision Presplitting in weak, heavily jointed and bedded rock formations on a highway blast on Route 28 in Pennsylvania.

2.8 Air Overpressure equations for Precision Presplitting (Konya)

$$\mathbf{Air\ Overpressure\ (kPa) = 4.93 * (Scaled\ Distance)^{-0.84}} \quad (10)$$

Figure 10. Precision Presplit results in weak rock types

3 CONCLUSIONS

1. Precision Presplitting is generally done using detonating cord in the USA, and explosive loads are measured in grains of detonating cord per foot of hole. One kg of explosive equals 15,400 grains. The Konya equations to determine explosive load for Precision Presplitting at 24 inch blasthole spacing are below:

$$dec = 0.0472 * UCS\text{^}1.5605$$

2. Precision Presplitting generally produces similar Peak Particle Velocity compared to a production blast at the same scaled distance. The Konya equations for predicting ground vibration from Precision Presplitting are shown below:

$$\text{PPV}\left(\frac{\text{mm}}{\text{s}}\right) = 327.57 * (\text{Scaled Distance})^{-0.92}$$

3. Air Overpressure from Precision Presplitting is generally higher than a production blast at the same Air Overpressure Scaled Distance. The equation derived by Anthony Konya and Dr. Calvin Konya from previous published research is shown below:

$$\text{Air Overpressure (kPa)} = 4.93 * (\text{Scaled Distance})^{-0.84}$$

References

"International Society of Explosives Engineers Blasters Handbook – 18th Edition (2011) (pp 587), International Society of Explosives Engineers, Cleveland: ISEE

Konya C. J., (2015). Rock Blasting and Overbreak Control- 5th Edition, Montville: IDC Inc.

Konya, A. J., Konya, C. J., "Air overpressure Prediction Equation for Construction Blasting", Proceedings of ISEE Conference on Explosives & Blasting Technique, February 2015, International Society of Explosives Engineers, Cleveland: ISEE

How Far Can You Stretch The Size Distribution of Rock Fragments?

J.A. Sanchidrián
Universidad Politécnica de Madrid – ETSI Minas y Energía, Madrid, Spain

ABSTRACT The general ranges of validity of some distribution functions are assessed with 136 sets of fragmentation data from bench blasting determined by sieving. Reasonable ranges of use of bimodal Rosin-Rammler and extended Swebrec (5-parameter, bi-component distributions) are, in terms of percentage passing *p*, 99>*p*>0.5 % (up to 100 % for the extended Swebrec), in which the expected error of the calculated size is below 15 % in the extremes of the range, and less than 2 – 4 % in most it; maximum errors (i.e. errors that will only rarely be exceeded) are typically less than 30 % in most of that range, and up to about 150 % in the extremes (lower end for the Swebrec and upper end for the bimodal Rosin-Rammler). Ranges of use for the Swebrec and the size-scaled Rosin-Rammler (3-parameter distributions) are 100>*p*>3 %, with expected errors 3-10 % in most of the range, and up to about 15 % in the extremes; maximum error is about 10-60 % in the central range, and up to 130 % in the lower end. The range may be extended, with somewhat higher but still limited errors, down to about *p*=2 % for the Swebrec and to *p*=1 % for the scaled Rosin-Rammler. The classical 2-parameter Rosin-Rammler can be used in the range 96>*p*>13 % with expected and maximum errors less than about 20 % and 100 % respectively; it may cover a broader range, e.g. 98>*p*>10 %, with expected error less than about 25 % and maximum error about 160 %.

1 INTRODUCTION

Recent research (Sanchidrián et al, 2009, 2012, 2014) has assessed the performance of a variety of distribution functions using a large number of data sets from rock blasting and a variety of crushing, grinding and breakage processes, all of them obtained by sieving. The errors of the prediction of sizes when the functions were fitted to the data were calculated and analyzed as function of the percentage passing. By and large, that work has shown that the mass distributions of rock fragments are not of Rosin-Rammler type, unless a limited interval of the distribution is looked at, and that the distributions with a better performance for large scale blasted rock are the extended Swebrec and the bimodal Rosin-Rammler, to which the bimodal Grady may be added, all of these five-parameter functions. If the choice is limited to no more than three-parameter functions, the Swebrec and the maximum-size-scaled-Rosin-Rammler distributions are the best ones in general terms; if the focus is on field blasted rock, the size-scaled Grady distribution also does a good job.

It has also been found that the size-scaled, three-parameter functions are particularly suited for coarse sizes and that below about 10-15 % passing they tend to detach from the true size distribution, making them unusable in the fines range; this range generally requires bi-modal

distributions to be well represented. However, the range of validity of the size-scaled functions for representing fragmented rock (i.e. the range of sizes and percentages passing that these functions can match real distributions with moderate accuracy) has not been fully assessed for the particular case of blasted rock. Besides, the above-mentioned limits have been generally drawn from ordinary least squares (OLS) fitting procedures. Where the range of sizes and passing values involved is wide, OLS curve fitting tends to match the coarse range since it is there where the larger function values are, hence also the larger residuals; weighed fits are a sound alternative in this case, helping a better match towards the fines (Ouchterlony, 2009, Sanchidrián et al, 2009). By varying the weights, the range of interest can be moved across the size/passing interval, allowing a global analysis of the validity of a given function.

2 DISTRIBUTIONS FUNCTIONS AND DATA

The three five-parameter distributions mentioned (extended Swebrec, bimodal Rosin-Rammler and bimodal Grady), together with their three-parameter, size-scaled counterparts have been selected for the purpose of determining their ranges of validity. The ordinary, two-parameter Rosin-Rammler distribution has also been included as a matter of comparison, due to its generalized use in the description of rock fragmentation.

The expressions of the functions are as follows:

Two-parameter

-Rosin-Rammler or Weibull (RRW) (x_c, n):

$$F_{WRR} = 1 - e^{-\left(\frac{x}{x_c}\right)^n} \quad , \; 0 \le x < \infty$$

Three-parameter, size-scaled

-Size-scaled Rosin-Rammler (S-RRW) (x_c, n, x_{max}):

$$F_{S-WRR} = 1 - e^{-\left(\frac{x}{x_c}\frac{x_{\max}-x_c}{x_{\max}-x}\right)^n} \quad , \; 0 \le x \le x_{\max}$$

-Size-scaled Grady (S-GRA) (x_g, α, x_{max}):

$$F_{S-GRA} = 1 - \left[1 + \left(\frac{x}{x_g}\frac{x_{\max}-x_g}{x_{\max}-x}\right)^{\alpha}\right] e^{-\left(\frac{x}{x_g}\frac{x_{\max}-x_g}{x_{\max}-x}\right)^{\alpha}} \quad , \; 0 \le x \le x_{\max}$$

-Swebrec (SWE) (x_{50}, b, x_{max}):

$$F_{SWE} = \frac{1}{1 + \left[\frac{\ln(x_{\max}/x)}{\ln(x_{\max}/x_{50})}\right]^b} \quad , \; 0 \le x \le x_{\max}$$

Five-parameter, bi-components

-Bimodal Rosin-Rammler (Bi-RRW) (x_{c1}, n_1, x_{c2}, n_2, f):

$$F_{BiWRR} = (1-f)\left[1 - e^{-\left(\frac{x}{x_{c1}}\right)^{n_1}}\right] + f\left[1 - e^{-\left(\frac{x}{x_{c2}}\right)^{n_2}}\right] \quad , \; 0 \le x < \infty$$

-Bimodal Grady (Bi-GRA) (x_{g1}, α_1, x_{g2}, α_2, f):

$$F_{BiGRA} = (1-f)\left\{1-\left[1+\left(\frac{x}{x_{g_1}}\right)^{\alpha_1}\right]e^{-\left(\frac{x}{x_{g1}}\right)^{\alpha_1}}\right\} + f\left\{1-\left[1+\left(\frac{x}{x_{g_2}}\right)^{\alpha_2}\right]e^{-\left(\frac{x}{x_{g2}}\right)^{\alpha_2}}\right\} \quad , \; 0 \le x < \infty$$

-Extended Swebrec (Ex-SWE) (x_{50}, b, x_{max}, a, c):

$$F_{ExSWE} = \frac{1}{1 + a\left[\frac{\ln(x_{\max}/x)}{\ln(x_{\max}/x_{50})}\right]^b + (1-a)\left[\frac{(x_{\max}/x)-1}{(x_{\max}/x_{50})-1}\right]^c} \quad , \quad 0 < x \le x_{\max}$$

Fragmentation data from bench blasting have been gathered in the literature for a total of 136 data sets; all data were obtained by fragments sieving and weighting. Table 1 gives a general description of the data.

Table 1. Fragmentation data.

Site	Rock	No. sets	Reference	n_p	x_{min} (mm)	x_{max} (mm)	p_{min} (%)
El Alto quarry, Spain	Limestone	1	Sanchidrián et al. (2006)	16	0.063	800	0.36
Mt. Coot-tha quarry, Australia	Hornfel	1	McKenzie (2003)	24	0.355	2000	2.75
Bårarp quarry, Sweden	Granite	7	Olsson & Bergqvist (2002)	19-20	0.075	500-1000	0.1-0.6
Kållered quarry, Sweden	Gneiss	6	Gynnemo (1997)	17	0.075	2000	0.34-0.49
Billingsryd quarry, Sweden	Dolerite	6	Gynnemo (1997)	18	0.074	2000	0.76-1.03
South Africa	Granite	17	Cunningham (2003)	8-26	0.053-0.075	300-304	0.16-3.1
Rolla quarry, MO, USA	Dolomite	29	Otterness et al. (1991)	6-8	9.525	228.6-457.2	7.9-20.6
Stewartville, MN, USA	Dolomitic limestone	20	Ash (1973), Dick et al. (1973)	7-8	4.7625	228.6-558.8	1.03-3.86
Guan Shan copper mine, China	Rhyoporphyry	8	Ma Bailing et al. (1983)	11	100	1500	4.7-11.4
Rolla quarry, MO, USA	Dolomite	19	Stagg & Nutting (1987)	7-8	4.7625	304.8-609.6	2.8-7.4
Waterloo quarry, IA, USA	Limestone	7	Stagg et al. (1989)	4-5	31.8-57.15	508	18.4
St Paul Park quarry, MN, USA	Dolomite	6	Stagg & Rholl (1987)	6	31.8	1000	22.1
Granite Falls quarry, MN, USA	Granitic gneiss	3	Stagg & Otterness (1995)	3	31.8	508	22.8
Manitowoc quarry, WI, USA	Dolomite	6	Stagg & Otterness (1995)	6	22.2	508	17.9

n_p: no. of (size, passing) points; x_{max}, x_{min}: maximum and minimum size; p_{min}: minimum percentage passing.

Let $F(x,\pi_k)$ denote the functions; the parameters π_k (k=1,2 for the Rosin-Rammler, k=1,2,3 for the size-scaled distributions, and k=1,2,...,5 for the bi-modals) are the solutions of:

$$\min\left\{\sum_i w_i\left[F(x_i,\pi_k)-p_i\right]^2\right\}$$

where i covers the data points (x_i, p_i). Both ordinary least squares (OLS) and weighed fits have been used; weights (w_i) tested are 1 (OLS fits), $1/p_i^{1/2}$, $1/p_i$ and $1/p_i^2$ (the latter is equivalent to a fit with minimum relative error criterion).The fits have been programmed in Matlab (2013), using both the simplex search method of Lagarias et al (1998), and a trust-region interior-reflective Newton method (Coleman and Yi, 1994, 1996).

3 RESULTS AND DISCUSSION

The quality of the fits has been assessed through the error in the prediction of the size across the whole passing range. Let (x_p, p) be a data point (size, passing) and x_p^* the calculated size at p; the relative error is:

$$e_R=\frac{x_p^*-x_p}{x_p}=\frac{x_p^*}{x_p}-1$$

And the logarithmic error:

$$e_L=\ln(x_p^*/x_p)=\log(e_R+1)$$

Logarithmic error is preferred since it is symmetrical with respect to zero (i.e. ln 2 and –ln 2 mean that calculated values are double and half of the data respectively whereas the corresponding relative errors are 1 and –0.5 respectively); logarithmic error is unbound: relative errors have a minimum value -1 while positive errors are unbound; such different consideration of errors makes it impossible any sound statistics with relative errors when root mean squared, or absolute values, are used.

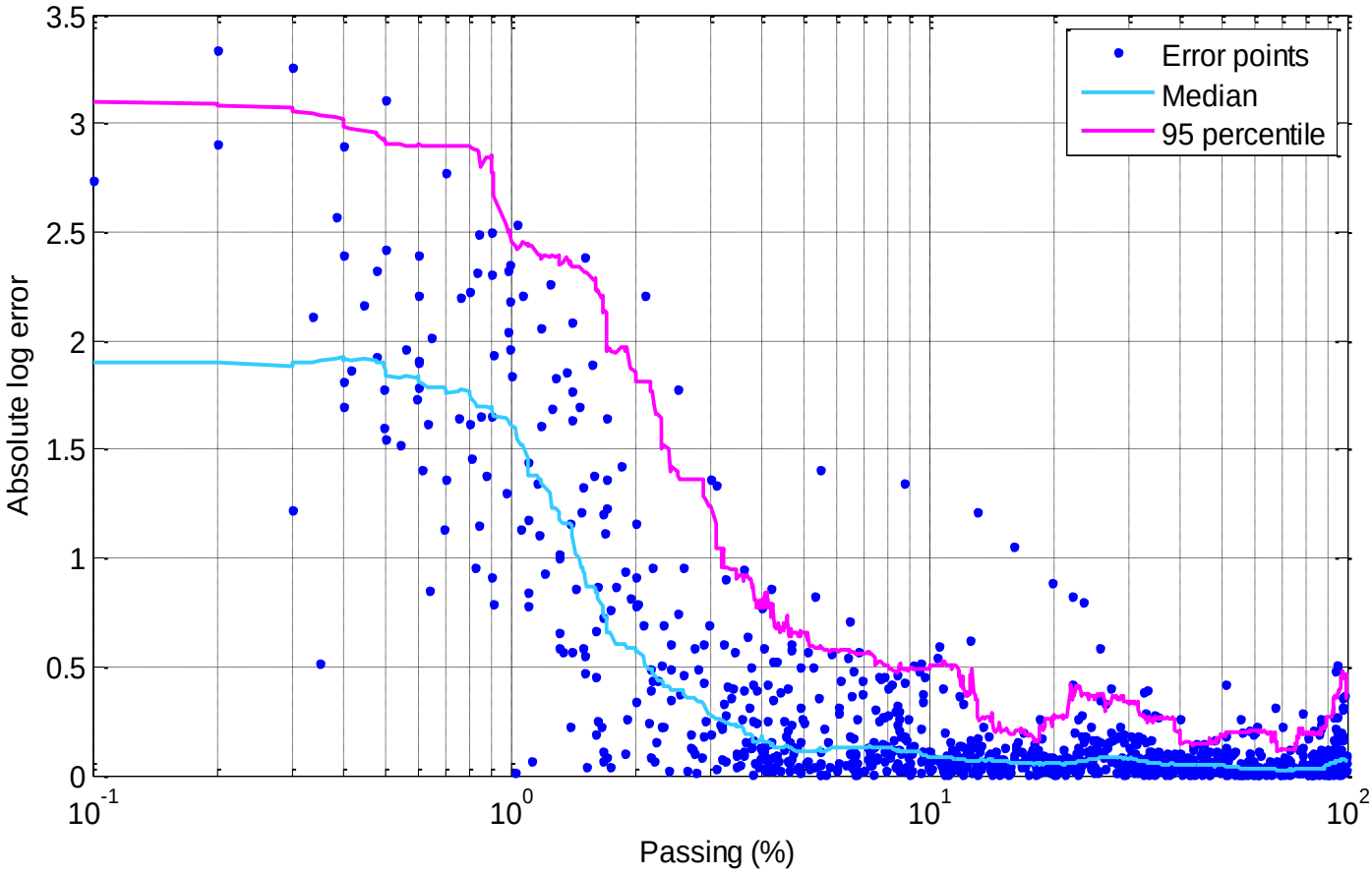


Figure 1. Example of errors calculated. Points are absolute values of logarithmic errors.

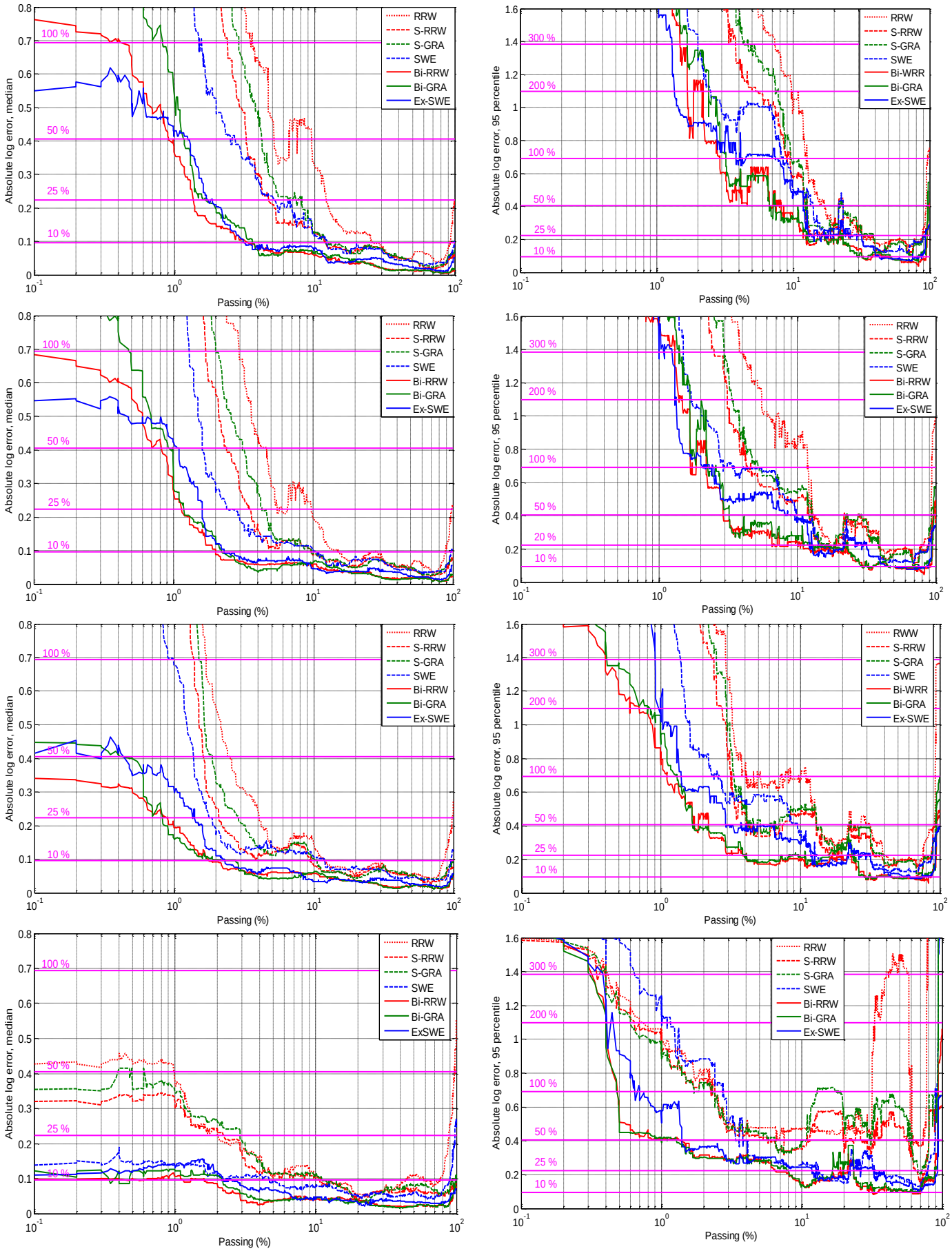


Figure 2. Absolute logarithmic errors as a function of the percent passing. Left: expected (medians). Right: maximum (95 percentiles). From top down: weights 1 (OLS fits), $1/p^{1/2}$, $1/p$ and $1/p^2$.

Errors are calculated for each data point. By way of example, Figure 1 gives a plot of the errors vs. the percentage passing for the $1/p^{1/2}$-weighed fits of the scaled Rosin-Rammler. Mobile median and 95 percentile are bootstrap calculated for a centered sliding window of 101 points (in the extremes the window size is reduced up to the end point and it is non-centered). The number of resamples in the bootstrap is 200.

The median can be considered the error to be expected for the size calculated at a certain passing when a given distribution function is fitted, and the 95 percentile is an estimation of the maximum error to be expected, i.e. the error that only rarely will be obtained or exceeded. Errors are generally limited at high percentage passing (except at the very end) and they do increase towards the fines, where errors, depending on the distribution function and the weights employed, can be very high, making the function unusable in that range. Figure 2 shows the expected and the maximum errors for the seven distributions selected, for the four weighing criteria tested.

Errors are smaller towards the fines as the exponent of $1/p$ increases, since low passing values there correspond to higher weights. As the fines are increasingly well represented, the coarse part is penalized. Figure 3 shows the errors expected and maximum (expressed as relative positive for a quicker interpretation) for the different weighting criteria, as a function of the percentage passing. Figures 4 and 5 are excerpts of it for some selected percentage passing.

Figures 2 through 5 give a picture of how the different functions can represent the fragmentation size data across the passing range; that range depends on the error that can be accepted in the representation of the data by the distribution functions. Such error should probably be consistent with the error of the data so as not to ask more accuracy to the functional representation that to the data themselves. The experimental error of the size data from muckpile sieving has been estimated as 10 – 20 % in the 5 – 100 % passing interval (Sanchidrián 2015). This error range, albeit being only a rough estimation, can help to get an idea of how much error should we tolerate when we describe the fragmentation by means of a function which, inevitably, does not match perfectly the data measured. If acceptable errors for the functional representation are expected 25 % and maximum 100 % the ranges for each function are as given in Table 2 ('25/100' row; Grady is not shown in the Table for simplicity – it generally follows the trends of the equivalent Rosin-Rammler with slightly higher error, see Figures 2 to 5). If these limits are slightly relaxed (generally the maximum error), the limits expand to the values shown in the 'Relaxed' row.

The same information is represented graphically in Figure 6. Green are the zones where errors are limited to 25/100 % expected/maximum. Yellow zones show ranges with errors moderately exceeding these limits, especially the maximum one. Red are zones where errors are higher; it should be noted that errors grow fast towards the fines, as can be observed in Figures 2 through 5, so that entering the red zone, even by a small amount, risks encountering large errors. Black boxes give the percentage passing for which errors are the ones given in the blue boxes (expected first line, maximum second line).

Five-parameter, bi-components Rosin-Rammler and Swebrec can be used from 99 % passing (100 % for extended Swebrec) down to about 1 % passing with expected errors less than 15 % (2-5 % in most of the range) and maximum errors less than 100 % (10-40 % in most of the range). They can be used down to 0.5 % with minor penalty in the expected error but some penalty in the maximum, which can be up to 150 % with the extended Swebrec in the lower end and 180 % with the bimodal Rosin-Rammler, in the upper end in this case (99 % passing). The extended Swebrec does better in the upper end since it reaches 100 % passing for a finite size (maximum); the bimodal Rosin-Rammler does not have such maximum size, and it should not be used to estimate sizes above 99 % passing.

EXPECTED

p (%)	$1/P^2$							$1/P$							$1/P^{0.5}$							OLS						
	R	SR	SG	SW	BR	BG	ESW	R	SR	SG	SW	BR	BG	ESW	R	SR	SG	SW	BR	BG	ESW	R	SR	SG	SW	BR	BG	ESW
99	61	8	10	30	9	12	7	26	8	10	14	5	5	6	26	8	8	11	2	3	6	25	6	7	10	1	2	5
98	60	7	8	28	9	10	7	25	7	9	13	5	5	6	25	7	8	11	2	3	6	22	6	6	9	1	2	5
97	52	7	8	23	8	8	6	22	8	9	12	5	5	5	24	8	8	10	2	3	4	20	5	6	8	1	2	4
96	48	7	8	21	7	7	6	20	7	9	10	4	5	6	21	7	8	9	2	3	4	17	5	6	8	1	2	4
95	42	7	8	19	6	6	6	20	7	8	9	4	4	4	20	7	7	8	2	2	4	15	5	6	7	1	2	4
94	41	8	10	20	4	5	6	19	7	9	8	2	3	3	15	7	7	7	2	2	3	13	5	6	6	1	1	3
93	33	8	10	14	4	5	6	17	7	8	7	2	2	3	13	5	6	6	2	1	3	11	5	6	6	1	1	3
92	32	7	9	13	4	4	6	17	7	8	6	2	2	3	13	5	6	6	1	1	2	9	5	6	6	1	1	2
91	30	8	9	13	4	5	6	15	7	8	5	2	2	3	13	6	6	6	1	1	2	9	5	6	6	1	1	2
90	29	7	8	12	3	3	5	14	7	8	5	2	2	2	12	5	6	6	1	1	2	8	5	6	5	1	1	2
89	28	6	7	10	3	3	4	14	6	6	4	2	2	2	11	4	5	4	1	1	2	8	4	5	4	1	1	1
88	24	6	7	9	2	2	4	12	5	5	4	2	2	2	9	3	5	4	1	1	2	6	3	4	4	1	1	1
87	22	6	6	9	2	2	4	11	5	6	4	2	2	2	9	4	5	4	1	1	2	6	3	4	4	1	1	1
86	18	6	7	8	2	2	3	11	4	5	4	2	2	2	8	3	4	4	1	1	2	5	3	3	4	1	1	1
85	18	6	6	8	2	2	3	10	4	5	4	1	1	2	7	3	4	4	1	1	1	5	3	3	4	1	1	1
84	17	6	6	8	2	2	3	10	4	5	4	1	1	2	7	3	4	4	1	1	1	5	3	3	4	1	1	1
83	17	5	6	8	2	2	3	9	4	5	4	1	1	2	6	3	4	4	1	1	1	5	3	3	4	0	1	1
82	14	5	6	7	2	2	3	8	4	4	4	1	1	2	5	3	3	4	1	1	1	5	2	3	4	0	1	1
81	12	5	6	7	2	2	3	8	4	4	4	1	1	2	5	3	4	4	1	1	1	5	3	3	4	0	1	1
80	11	6	6	7	2	2	3	7	4	4	4	1	1	2	5	3	3	4	1	1	2	5	2	3	4	1	1	1
79	11	6	6	7	2	2	3	6	4	4	4	1	1	2	5	3	3	4	1	1	2	4	2	3	4	1	1	1
78	11	5	6	6	3	3	3	5	4	4	4	2	2	2	4	3	3	4	1	1	1	4	2	3	4	1	1	1
77	11	6	6	5	2	3	3	5	4	4	4	2	2	2	4	3	3	4	1	1	2	4	2	3	4	1	1	1
76	10	6	6	5	2	3	3	5	3	4	4	2	2	2	4	3	3	4	1	1	2	4	2	3	4	1	1	1
75	9	6	6	5	2	3	3	5	3	4	4	2	2	2	4	3	3	4	1	2	2	4	2	3	4	1	1	1
74	9	6	6	5	2	2	3	5	3	4	4	2	2	2	4	3	3	4	1	1	2	4	2	3	3	1	1	1
73	10	6	7	5	2	2	3	5	4	4	4	1	1	2	4	3	3	4	1	1	2	4	2	3	3	1	1	1
72	9	6	7	5	2	2	3	5	4	4	4	1	1	2	3	3	3	4	1	1	2	4	2	3	3	1	1	2
71	9	6	7	5	2	2	3	5	3	4	4	1	2	2	4	3	3	4	1	1	2	4	2	2	4	1	1	2
70	9	6	7	4	2	2	3	4	3	4	4	1	2	2	4	2	3	4	1	1	2	5	2	2	3	1	1	2
69	8	6	7	4	2	2	3	4	3	4	4	2	2	2	4	3	3	4	2	1	2	5	2	2	3	1	1	2
68	8	6	7	4	2	2	3	4	3	4	4	2	2	2	4	3	3	4	2	1	2	6	2	3	3	2	1	2
67	9	6	7	5	2	2	3	5	3	4	4	2	2	2	5	3	3	4	2	2	2	6	2	3	3	2	1	2
66	9	6	8	5	2	2	3	5	3	4	4	2	2	2	5	3	3	4	2	2	2	6	2	3	3	2	1	2
65	9	6	8	5	2	2	3	5	3	4	4	2	2	2	5	3	3	4	2	2	2	6	2	3	3	2	1	2
64	10	6	8	5	2	3	3	5	3	4	4	2	2	3	5	3	3	4	2	2	2	6	2	3	3	2	1	2
63	10	6	8	5	2	3	3	5	3	4	4	2	2	3	5	3	3	4	2	2	2	7	2	3	3	2	1	2
62	10	6	8	5	2	2	3	5	3	4	4	2	2	3	5	3	3	3	2	2	2	7	2	3	3	2	1	2
61	10	6	9	5	2	2	3	5	3	4	4	2	2	2	5	3	3	3	2	2	2	7	2	3	3	2	1	2
60	10	6	9	5	2	2	3	5	4	4	4	2	2	2	6	3	3	4	2	2	2	7	2	3	3	1	1	2
59	10	6	8	5	2	2	3	5	4	4	4	2	2	2	7	3	3	4	2	2	2	7	3	3	3	1	1	2
58	11	6	8	5	2	2	3	5	4	4	4	2	2	2	7	3	4	4	2	2	2	7	3	3	3	1	1	2
57	11	6	9	5	2	2	3	6	4	4	4	2	2	2	7	3	4	4	2	2	2	7	3	3	4	1	1	2
56	11	6	9	5	2	2	3	5	4	4	4	2	2	2	7	3	4	4	2	2	2	7	3	3	4	1	1	2
55	11	7	8	5	3	3	3	6	5	4	5	2	2	2	7	4	4	4	2	2	2	7	4	4	4	1	2	2
54	11	7	8	5	3	3	3	6	5	5	5	2	2	2	7	4	4	4	2	2	2	7	4	4	4	1	1	2
53	12	7	9	6	2	3	3	6	5	5	5	2	2	3	7	4	5	4	2	2	2	7	4	4	4	1	1	2
52	12	7	9	6	2	2	3	6	5	5	5	2	2	3	7	4	5	4	2	2	2	7	4	4	4	1	1	2
51	11	7	8	6	2	2	3	6	5	5	5	2	2	3	6	5	5	4	2	2	3	6	4	4	4	1	1	2
50	12	7	8	6	2	2	3	6	5	5	5	2	2	3	5	5	5	5	2	2	3	6	4	5	4	1	1	3
49	11	7	8	6	2	2	3	5	5	5	5	2	2	2	5	5	5	4	2	2	2	5	4	4	4	1	1	2
48	11	7	8	5	2	2	3	5	5	5	4	2	2	3	5	4	5	4	2	2	2	5	4	4	4	1	1	2
47	11	6	8	6	2	2	3	6	5	6	5	2	2	3	6	5	5	4	2	2	3	5	5	5	4	1	1	3
46	11	7	8	6	2	2	3	6	5	6	5	2	2	3	5	5	5	5	2	2	3	5	5	5	5	1	2	3
45	11	7	8	5	2	2	3	6	6	6	5	2	2	3	6	5	5	4	2	2	3	5	5	5	4	1	2	3
44	11	8	8	5	2	2	3	6	6	6	5	2	2	3	6	5	5	4	2	2	3	5	5	5	5	1	2	3
43	10	7	7	5	2	2	4	6	6	6	4	2	2	3	6	5	6	4	2	2	3	5	5	5	4	2	2	3
42	10	7	8	5	2	2	4	6	6	6	5	2	2	4	6	5	6	4	2	1	4	5	5	5	4	2	1	3
41	10	7	7	5	2	2	4	6	6	6	4	2	1	4	5	5	5	4	2	1	3	5	5	5	4	2	1	3
40	9	7	7	5	2	2	4	6	6	6	5	2	1	4	5	5	5	4	2	1	4	5	5	5	5	2	1	3
39	8	6	7	5	2	2	4	6	6	6	5	2	1	4	5	5	5	5	2	1	4	5	5	6	5	2	1	3
38	9	6	8	5	2	2	4	6	6	7	5	2	1	4	6	6	6	5	2	1	4	6	6	6	5	2	1	3
37	8	6	7	5	2	2	4	6	6	7	5	2	1	4	6	5	6	5	2	1	4	5	5	6	5	2	1	3
36	7	6	7	5	2	2	4	6	6	7	5	2	2	4	6	5	6	6	2	1	4	6	6	6	5	2	1	4
35	7	6	7	5	2	2	4	6	7	7	6	2	2	4	6	6	6	6	2	1	4	6	6	6	5	2	1	4
34	7	6	7	5	2	2	4	6	7	7	6	2	2	4	6	6	7	6	2	1	4	6	6	6	6	2	2	4
33	6	6	7	5	2	2	4	6	7	7	6	2	2	4	6	7	7	6	2	2	4	6	7	7	6	2	2	4
32	8	7	8	5	2	2	4	8	8	8	7	2	2	4	7	7	7	7	2	2	4	8	7	7	7	2	2	4
31	7	7	7	6	2	2	4	8	8	8	7	2	2	4	8	8	8	7	2	2	4	8	8	8	7	2	2	4
30	7	7	6	6	2	2	4	9	8	7	7	2	2	4	9	8	7	7	2	2	4	9	8	8	8	2	2	5
29	7	7	6	6	2	2	4	9	8	7	7	2	3	4	10	8	7	8	2	2	4	10	8	9	8	2	2	5
28	6	7	6	6	2	2	4	9	8	7	7	2	3	4	10	8	8	8	3	2	5	10	9	9	8	2	3	5
27	6	6	6	6	3	2	4	9	8	7	7	3	3	4	10	8	8	8	3	3	5	10	9	9	8	3	3	5
26	6	6	5	6	3	2	3	9	7	6	8	3	3	4	10	8	7	8	3	3	5	10	9	9	8	3	3	5
25	6	6	5	6	3	2	3	8	7	6	7	3	3	4	10	8	6	8	4	3	5	12	9	9	8	3	3	5
24	6	5	4	5	3	3	3	7	6	5	7	3	3	3	9	7	6	8	4	3	4	13	9	9	8	4	4	5
23	6	5	4	6	3	3	3	8	6	6	7	3	3	4	8	7	6	8	4	3	4	13	9	9	8	4	4	5
22	6	5	4	5	4	3	2	7	6	5	7	3	4	3	8	6	5	7	4	3	4	13	8	8	8	4	4	5
21	5	5	4	5	4	3	3	6	5	5	7	4	3	3	7	5	5	8	4	3	4	13	8	7	9	3	4	5
20	6	4	4	5	4	4	3	6	5	5	8	4	4	3	8	6	5	9	4	3	4	14	8	7	10	4	4	5
19	6	4	4	5	4	4	4	6	5	5	7	4	4	4	7	6	5	8	3	3	4	14	7	7	8	4	4	4
18	8	5	6	6	4	3	4	7	5	5	7	4	4	4	7	5	5	6	4	4	4	13	7	7	8	3	4	4
17	9	7	6	6	4	3	4	7	6	6	7	4	4	4	8	6	6	6	4	4	4	13	8	8	7	4	5	4
16	9	7	8	6	4	4	4	8	6	6	7	4	4	4	9	6	7	6	4	4	4	15	8	9	7	4	5	4
15	9	8	8	7	5	4	4	8	7	6	7	4	4	4	10	7	8	6	4	5	4	16	9	10	8	5	6	4
14	9	9	10	8	4	4	5	8	7	6	8	4	5	4	11	7	8	6	4	5	4	18	9	9	8	5	6	4
13	10	10	10	8	4	4	4	8	7	6	7	4	5	4	12	7	8	6	4	5	3	21	8	9	8	4	5	4
12	8	9	10	8	4	4	4	10	7	6	9	5	5	3	14	8	8	8	4	6	4	28	10	11	12	6	6	5
11	9	10	11	8	4	4	5	12	7	8	11	5	6	3	19	9	9	9	5	7	4	36	12	12	12	6	6	7
10	12	11	12	8	4	5	4	16	9	11	11	6	6	3	22	9	9	11	6	7	5	40	14	14	13	6	7	8
9	13	11	11	8	4	4	4	18	12	14	13	6	6	4	28	12	12	12	6	6	6	55	15	18	15	6	7	9
8	15	11	12	7	4	4	4	18	15	16	13	6	5	6	34	14	14	12	6	6	7	59	17	23	18	7	7	9
7	14	11	11	8	5	4	5	18	16	16	13	6	4	6	28	14	14	13	6	6	7	54	16	26	21	7	7	9
6	12	12	12	8	4	4	6	12	14	14	14	6	4	8	26	14	14	13	6	5	7	42	17	26	23	7	7	8
5	11	12	12	10	4	4	7	15	12	12	15	6	4	8	34	11	18	15	6	5	7	59	23	34	26	8	7	8
4	16	13	16	12	3	4	7	28	12	15	15	6	5	6	56	18	31	16	6	4	7	89	35	60	33	8	7	8
3	20	17	23	11	4	6	8	37	14	23	12	7	7	8	95	32	54	20	7	6	9	125	65	92	43	11	15	12
2	25	28	30	11	9	11	12	72	29	38	19	10	10	12	178	76	99	31	9	15	13	272	150	193	62	16	20	22
1	44	35	41	15	11	13	14	342	195	285	97	21	16	35	725	399	572	165	31	36	53	###	690	###	195	44	70	56
0.5	55	38	43	15	10	11	13	580	238	376	199	35	49	42	###	529	863	262	79	89	61	###	###	###	351	82	154	60

MAXIMUM

p (%)	$1/P^2$							$1/P$							$1/P^{0.5}$							OLS						
	R	SR	SG	SW	BR	BG	ESW	R	SR	SG	SW	BR	BG	ESW	R	SR	SG	SW	BR	BG	ESW	R	SR	SG	SW	BR	BG	ESW
99	###	83	95	614	178	458	95	293	58	74	47	61	96	48	165	58	57	40	63	78	40	112	33	32	33	49	72	33
98	###	83	95	571	167	457	95	293	57	74	46	61	90	48	161	61	57	40	61	77	40	110	32	31	32	49	73	31
97	###	81	95	519	146	444	94	291	56	72	44	59	84	47	152	58	57	39	57	67	39	104	32	29	31	41	62	30
96	###	81	94	455	140	421	92	290	55	71	44	56	82	44	149	48	57	39	49	40	37	96	30	28	30	20	32	29
95	###	81	94	408	134	418	91	289	55	66	43	53	81	43	148	44	56	39	39	29	36	87	31	28	30	15	22	29
94	###	83	96	381	137	412	92	285	55	68	42	28	37	42	113	43	56	39	17	20	36	54	30	28	29	9	15	29
93	###	82	96	143	60	93	34	105	54	46	40	17	22	30	64	43	55	35	11	14	28	43	28	25	28	8	13	24
92	###	79	95	109	38	28	22	54	48	38	38	16	16	17	39	31	39	29	10	14	15	33	28	24	25	7	13	14
91	###	79	95	101	38	28	21	50	48	37	38	18	16	15	35	31	38	29	12	14	15	31	28	24	25	8	14	13
90	###	78	96	97	38	27	22	48	47	35	38	18	16	14	31	31	39	30	12	14	14	31	28	23	24	9	14	13
89	###	79	96	57	24	28	17	46	31	28	28	13	14	13	30	26	25	25	10	13	11	27	25	21	23	8	13	11
88	###	77	95	39	20	21	15	46	28	26	23	11	13	11	30	24	23	21	9	11	9	24	23	21	20	8	11	9
87	###	77	96	38	20	21	15	45	28	27	23	13	13	12	30	24	22	21	10	13	10	24	23	21	20	8	13	10
86	###	78	96	38	17	19	15	45	23	24	21	10	13	11	30	21	20	20	9	11	10	20	20	19	20	7	10	10
85	###	78	96	38	18	19	15	45	23	24	21	10	13	11	30	21	20	20	9	12	10	20	19	19	20	7	11	10
84	###	79	96	38	20	21	15	45	23	24	21	10	13	11	30	21	19	20	9	12	10	21	19	19	20	7	11	10
83	###	77	96	37	20	20	15	40	23	24	21	9	12	11	27	21	20	20	7	10	10	20	19	19	20	5	8	10
82	###	79	94	32	19	22	15	39	23	24	20	8	12	11	25	22	19	20	6	9	10	20	20	19	20	5	8	10
81	###	77	95	32	20	20	15	39	23	24	20	8	12	11	25	21	20	20	6	9	9	20	19	19	20	5	7	9
80	940	47	47	30	18	20	15	37	23	23	20	8	12	11	26	21	19	20	7	9	10	20	19	19	20	6	8	10
79	244	32	35	24	20	22	15	37	23	23	20	8	12	11	25	21	20	20	7	9	10	19	19	19	20	6	7	10
78	778	32	34	23	20	20	15	36	23	23	20	9	11	11	24	21	19	20	7	9	10	20	19	19	20	6	8	9
77	79	33	34	23	18	18	15	33	25	23	21	8	11	11	24	23	22	21	7	9	10	22	20	20	22	7	8	9
76	70	24	29	19	18	20	15	26	17	19	18	8	10	11	20	16	16	19	9	9	10	18	15	14	19	7	8	9
75	54	23	28	19	18	19	14	23	13	13	18	10	12	10	16	13	12	19	10	11	10	18	14	12	19	7	8	9
74	54	22	27	19	14	17	14	23	13	13	18	8	10	9	16	13	11	19	7	9	8	17	14	11	18	6	8	7
73	50	23	27	19	14	17	12	21	13	13	18	8	10	9	16	13	11	19	7	9	8	17	13	11	19	6	7	7
72	46	20	26	18	12	15	12	19	12	12	18	8	10	9	16	13	11	19	8	9	8	17	13	11	19	6	7	7
71	45	14	24	17	11	14	13	15	12	12	17	8	10	9	15	12	11	17	8	9	9	17	13	11	16	6	7	8
70	45	16	23	15	9	11	12	18	12	12	14	8	9	9	16	12	11	13	8	9	8	17	14	12	14	6	7	8
69	45	18	23	14	9	10	12	18	10	12	13	8	10	9	16	12	10	12	8	9	8	17	13	12	13	6	8	7
68	45	20	23	14	9	10	12	21	15	12	13	8	10	9	19	16	13	12	8	9	8	18	17	15	13	6	8	7
67	47	22	26	14	9	10	11	22	21	18	14	9	10	9	21	21	18	13	8	9	8	21	20	18	14	6	8	8
66	48	25	32	15	9	10	12	22	21	18	13	8	9	9	21	22	18	13	8	9	8	21	20	17	14	6	8	8
65	48	25	32	15	9	10	12	22	21	18	14	9	10	9	21	22	18	13	8	9	8	21	20	18	14	6	8	8
64	48	27	32	15	9	10	12	22	22	21	14	9	10	9	22	22	20	14	8	10	8	21	21	20	15	6	8	8
63	47	28	32	15	9	10	12	22	22	21	14	9	9	9	22	22	19	14	8	10	8	22	22	20	15	6	8	8
62	51	34	39	16	9	10	13	22	22	21	14	9	10	9	22	23	20	14	8	10	8	22	22	20	15	7	8	8
61	130	42	48	16	11	12	16	22	22	21	14	9	10	11	22	22	20	14	8	9	9	22	22	20	15	8	8	8
60	45	38	48	16	11	12	16	22	22	21	15	9	10	11	22	22	20	14	8	9	9	22	22	21	15	8	8	9
59	128	45	63	16	11	10	16	22	22	21	15	9	10	11	22	22	21	14	8	10	9	22	23	20	15	8	8	9
58	118	37	51	16	10	10	15	21	21	21	14	9	9	11	22	22	19	13	8	9	9	22	22	19	14	8	8	8
57	302	49	69	18	10	10	14	22	21	20	14	9	9	11	22	22	19	13	8	9	9	22	22	19	14	8	8	8
56	314	53	72	19	10	12	14	22	21	20	13	9	9	11	22	22	19	13	8	9	9	22	22	19	14	8	8	8
55	320	53	70	19	11	11	15	22	21	20	14	9	9	11	22	22	19	13	9	9	9	22	22	19	14	8	8	9
54	316	52	69	18	11	11	15	22	21	21	13	9	9	11	22	22	19	13	9	9	9	22	22	19	14	8	8	8
53	314	56	78	20	11	11	16	22	21	20	14	9	9	11	22	22	19	14	9	9	9	21	22	19	14	9	9	9
52	332	62	80	20	11	11	16	22	21	21	14	9	9	11	22	22	18	14	9	9	9	22	22	19	14	9	9	9
51	349	62	80	21	12	12	16	21	21	20	15	9	10	12	21	20	18	14	9	10	10	21	20	17	14	10	11	8
50	349	62	81	21	12	12	17	22	21	20	15	9	9	12	21	21	18	14	10	10	10	21	19	17	14	10	11	9
49	339	62	83	21	11	12	17	22	20	20	16	9	9	12	22	19	18	14	10	10	10	20	16	16	14	10	11	9
48	314	62	82	21	11	11	17	21	18	19	15	9	9	12	21	17	15	13	10	10	10	19	15	14	13	10	11	9
47	326	62	83	22	12	12	18	23	20	21	16	9	9	13	22	19	18	14	10	10	11	20	17	16	14	10	11	9
46	327	63	85	22	11	12	17	21	18	19	14	10	9	12	20	15	14	13	10	10	10	19	14	13	13	10	11	9
45	335	77	95	22	12	12	17	22	18	19	14	10	10	12	20	15	15	13	11	11	10	19	14	13	13	10	11	9
44	314	77	96	21	11	11	15	22	18	18	13	11	10	11	19	15	15	13	11	11	10	18	14	13	14	11	12	9
43	311	76	94	20	12	10	16	22	17	17	14	11	10	11	18	15	15	14	12	12	10	17	13	12	14	11	13	9
42	308	76	95	21	12	12	17	25	18	20	14	11	10	13	22	16	17	15	12	13	12	19	15	15	15	11	13	11
41	303	68	87	19	12	13	17	25	18	20	15	11	10	13	22	15	17	15	12	13	12	19	15	15	15	11	13	11
40	295	68	88	19	12	13	17	24	17	20	15	11	10	13	22	15	17	15	12	13	12	19	14	15	15	11	13	11
39	290	68	89	21	13	16	20	26	22	25	17	11	10	15	26	23	23	17	12	13	15	22	18	22	17	11	13	15
38	249	65	89	23	12	13	23	35	25	27	18	11	11	16	37	26	31	17	12	11	17	25	24	26	17	9	12	17
37	246	62	86	25	12	13	23	35	25	27	18	10	10	15	34	31	30	17	11	11	17	25	24	26	17	8	11	17
36	214	52	80	24	12	13	23	35	25	27	18	11	10	16	31	31	31	17	11	11	17	25	24	26	17	8	11	17
35	208	52	80	23	10	13	21	36	25	27	18	9	9	16	37	30	30	17	9	9	17	25	21	26	17	8	8	17
34	238	64	91	23	10	13	20	36	25	27	18	8	9	15	36	29	30	17	8	9	17	25	22	26	17	8	9	17
33	185	54	80	23	10	13	21	37	27	29	18	8	9	17	36	31	31	17	8	9	17	25	23	26	17	9	9	17
32	155	44	67	26	9	12	26	43	29	34	19	8	9	21	44	32	39	21	10	10	22	25	25	26	21	9	9	21
31	46	33	44	34	13	15	28	51	38	42	26	10	10	26	46	39	45	27	12	12	27	30	33	32	25	15	12	26
30	58	44	55	36	10	13	27	51	39	47	26	8	8	24	46	40	45	25	9	9	26	27	29	32	24	15	9	24
29	66	48	67	40	14	16	27	58	42	48	27	11	10	26	48	43	50	26	12	10	27	31	37	40	25	16	12	26
28	58	47	67	41	13	16	27	58	42	48	27	14	11	25	48	43	49	26	13	13	27	32	37	39	25	17	13	25
27	59	49	66	31	12	13	27	46	39	48	27	14	11	24	41	40	45	26	13	14	27	26	35	35	24	17	14	25
26	78	58	80	33	14	16	27	44	41	48	27	17	21	29	41	42	46	31	14	18	29	30	39	43	30	18	17	27
25	79	58	80	28	16	17	27	44	41	48	27	20	24	29	41	44	46	31	16	17	29	26	39	43	30	18	18	27
24	72	53	77	29	20	19	26	46	41	48	28	20	26	27	41	45	46	31	19	19	29	26	39	43	30	18	19	27
23	63	50	73	35	33	45	30	50	48	53	33	26	37	30	48	50	49	37	23	27	33	36	56	54	30	29	26	33
22	63	50	73	22	33	45	23	44	37	41	27	24	36	25	33	45	44	37	20	23	26	32	56	51	54	25	28	30
21	57	49	72	16	23	30	19	38	31	34	23	22	31	19	26	31	34	25	19	21	22	31	35	33	30	22	20	26
20	46	46	63	17	23	31	21	38	31	34	23	24	31	20	25	31	34	25	20	23	22	35	34	33	30	22	22	26
19	58	75	96	17	24	30	20	37	31	33	22	24	30	19	23	30	32	25	20	23	21	34	28	31	30	22	22	26
18	55	74	100	18	20	27	19	33	22	28	21	22	28	18	21	18	21	23	20	23	19	38	23	25	29	19	19	25
17	55	78	103	18	20	29	19	35	26	33	22	23	28	18	28	21	23	24	21	24	19	47	24	27	29	22	22	25
16	56	78	104	18	18	20	18	34	27	33	20	19	23	17	31	20	22	22	21	24	17	51	25	31	30	22	22	22
15	58	77	104	18	18	20	18	39	31	36	21	18	23	19	36	23	26	24	21	24	21	61	28	32	37	22	22	29
14	57	78	104	22	18	20	20	43	41	40	22	19	23	18	44	29	35	29	21	24	18	75	26	33	47	18	20	24
13	62	77	102	28	18	19	20	52	55	58	25	18	20	18	49	41	42	39	20	25	21	75	32	33	60	19	22	26
12	57	65	86	28	16	17	24	77	59	63	28	19	22	25	96	53	61	44	22	27	34	129	58	69	57	23	31	46
11	61	49	58	29	14	14	28	96	60	65	37	17	20	31	127	67	76	45	22	26	45	165	78	95	64	33	35	63
10	60	42	49	29	16	15	28	93	60	65	41	22	24	34	123	64	73	48	27	32	43	167	78	94	65	38	39	59
9	60	42	43	28	18	19	28	97	59	63	51	23	25	37	131	62	73	65	27	32	50	230	108	130	94	44	39	73
8	59	40	40	28	23	26	29	103	53	60	71	21	22	38	164	67	75	69	24	30	54	279	146	182	114	55	43	97
7	55	42	43	31	24	28	32	88	46	53	76	19	21	38	167	75	86	89	24	30	56	321	175	232	168	48	39	102
6	61	49	53	32	31	34	36	91	41	43	74	19	21	48	179	79	90	96	36	40	71	376	195	258	172	89	79	104
5	61	53	56	34	32	33	35	102	49	49	79	19	20	49	234	92	108	98	34	43	70	457	207	282	178	87	73	104
4	61	54	58	46	37	35	31	107	60	65	69	25	26	44	303	116	145	98	35	35	65	635	256	349	165	64	76	97
3	65	57	62	77	33	34	31	261	133	175	72	27	31	48	549	215	288	101	45	55	68	###	413	553	161	83	107	107
2	124	113	110	142	36	35	45	650	342	447	124	61	47	88	###	511	727	173	135	150	103	###	769	###	276	200	284	143
1	168	136	143	220	51	51	79	###	670	###	###	119	153	202	###	###	###	###	358	419	364	###	###	###	###	422	688	598
0.5	252	224	173	383	68	57	150	###	961	###	###	226	282	490	###	###	###	###	405	573	687	###	###	###	###	576	810	###

Figure 3. Expected (left) and maximum (right) errors, given as relative positive, %. R: Rosin-Rammler; SR: scaled Rosin-Rammler; SG: scaled Grady; SW: Swebrec; BR: bimodal Rosin-Rammler; BG: bimodal Grady; ESW: extended Swebrec. Shaded cells with red numbers highlight expected errors greater than 25 % and maximum errors greater than 100 %. ### are errors greater than 1000 %.

			Size-scaled			Bi-components		
Passing (%)	**Weights exponent**	**RRW**	**S-RRW**	**S-GRA**	**SWE**	**Bi-RRW**	**Bi-GRA**	**Ex-SWE**
99	0	23	7	7	10	1	2	5
	0.5	26	8	8	11	2	3	6
	1	26	8	10	14	5	5	6
	2	61	8	11	31	9	11	7
95	0	15	5	6	7	1	2	4
	0.5	19	7	7	8	2	2	4
	1	19	7	8	9	4	4	4
	2	42	8	8	18	5	6	6
90	0	8	5	6	5	1	1	2
	0.5	12	5	6	6	1	1	2
	1	14	7	8	5	2	2	2
	2	29	7	8	12	3	4	5
80	0	5	2	3	4	1	1	1
	0.5	5	3	3	4	1	1	1
	1	7	4	4	4	1	1	2
	2	11	6	6	7	2	2	3
50	0	6	4	5	4	1	1	3
	0.5	5	5	5	5	2	2	3
	1	6	5	5	5	2	2	3
	2	12	7	8	6	2	2	3
20	0	14	8	7	10	4	4	5
	0.5	8	6	5	9	4	3	4
	1	6	5	5	8	4	4	3
	2	6	4	4	5	4	4	3
10	0	39	13	14	13	6	7	8
	0.5	22	9	9	11	6	7	5
	1	16	9	11	11	6	6	3
	2	11	11	12	8	4	5	4
5	0	59	23	34	27	8	7	8
	0.5	35	11	18	15	6	5	7
	1	15	13	12	15	6	4	8
	2	11	12	12	10	3	4	7
2	0	272	149	193	62	16	20	22
	0.5	180	76	99	32	9	15	13
	1	73	29	39	19	10	10	12
	2	25	28	30	11	9	11	12
1	0	1224	690	1123	195	44	70	54
	0.5	725	399	572	165	31	33	53
	1	342	195	285	97	21	17	35
	2	44	35	41	15	11	13	14
0.5	0	2808	1061	1898	346	82	154	60
	0.5	1299	529	863	262	74	89	61
	1	580	239	376	199	35	49	42
	2	53	38	43	15	10	13	13

< 5 %
5 – 10 %
10 – 25 %
> 25 %

Figure 4. Expected errors (relative positive, %).

			Size-scaled			Bi-components		
Passing (%)	**Weights exponent**	**RRW**	**S-RRW**	**S-GRA**	**SWE**	**Bi-RRW**	**Bi-GRA**	**Ex-SWE**
99	0	109	33	33	33	50	65	33
	0.5	164	58	57	40	63	77	40
	1	293	58	74	47	62	96	48
	2	1798	83	95	626	178	460	95
95	0	86	31	28	30	15	19	29
	0.5	148	44	56	39	42	29	36
	1	288	55	69	43	51	81	43
	2	1505	81	94	407	138	404	91
90	0	31	28	24	25	9	14	13
	0.5	31	31	34	29	12	14	14
	1	48	47	35	38	18	16	14
	2	1322	78	96	101	38	28	22
80	0	20	20	19	20	6	7	10
	0.5	25	21	20	20	7	9	10
	1	37	23	23	20	8	12	11
	2	940	47	42	30	19	20	15
50	0	21	20	18	14	10	11	9
	0.5	22	21	18	14	10	10	10
	1	22	21	20	15	9	9	12
	2	349	62	81	21	12	12	17
20	0	34	34	35	30	22	22	26
	0.5	26	31	34	25	20	23	22
	1	38	31	34	22	24	33	20
	2	46	46	66	17	24	32	20
10	0	162	78	94	66	38	39	58
	0.5	121	62	73	47	27	32	42
	1	95	60	64	41	22	24	34
	2	60	42	50	29	17	15	28
5	0	458	207	290	178	87	79	104
	0.5	235	90	108	98	32	42	69
	1	101	49	55	79	19	20	48
	2	61	53	56	34	32	33	35
2	0	2555	769	1207	282	200	284	143
	0.5	1561	512	702	173	118	148	103
	1	650	343	471	128	61	47	87
	2	128	116	110	142	37	35	44
1	0	8701	2098	3504	1535	422	661	637
	0.5	4075	1049	1574	2193	359	419	368
	1	1360	670	1048	1128	122	155	218
	2	160	155	145	220	51	52	79
0.5	0	10725	3689	5105	4421	573	810	2165
	0.5	5223	1732	2329	3332	405	573	691
	1	2046	961	1245	1815	226	282	488
	2	249	224	217	383	67	57	150

< 25 %
25 – 50 %
50 – 100 %
> 100 %

Figure 5. Maximum errors (relative positive, %).

Table 2. Summary of ranges of validity and errors.

Function	No. of param.	Error limits Expected/Max (%)	Range, passing (%)	Expected error (%)	Maximum error (%)
Rosin-Rammler	2	25/100	96 – 13	4 – 17	17 – 96
		Relaxed	98 – 10	4 – 25	15 – 161
Size-scaled Rosin-Rammler	3	25/100	100 – 3	4 – 17	14 – 83
		Relaxed	100 – 1	4 – 35	14 – 136
Swebrec	3	25/100	100 – 3	4 – 14	13 – 72
		Relaxed	100 – 2	4 – 19	13 – 124
Bi-component Rosin-Rammler	5	25/100	99 – 2	1 – 10	8 – 61
		Relaxed	99 – 0.5	2 – 11	9 – 178
Extended Swebrec	5	25/100	100 – 1	3 – 14	11 – 95
		Relaxed	100 – 0.5	3 – 14	11 – 150

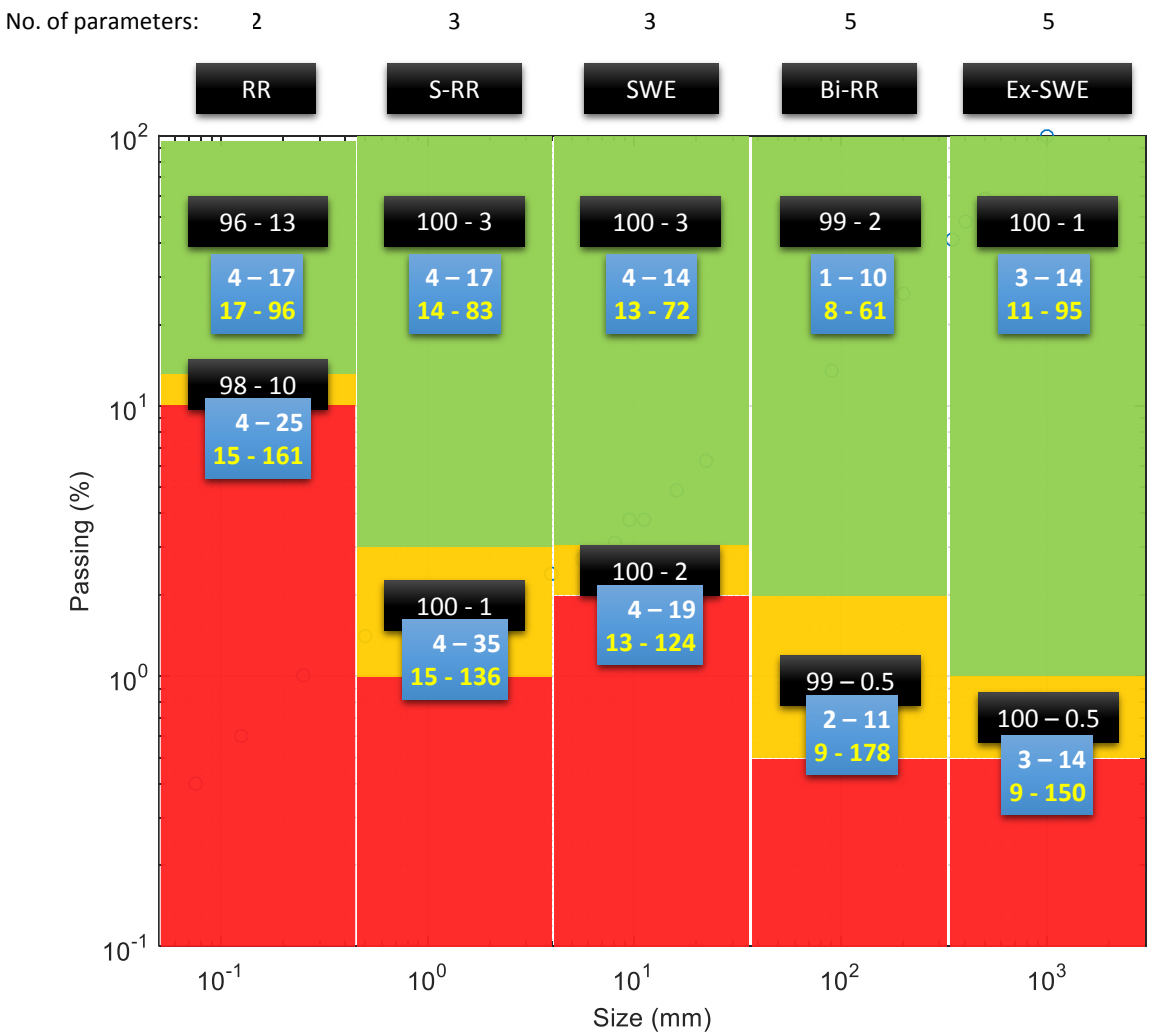


Figure 6. Errors of distribution functions in different ranges of percentage passing.

Scaled Rosin-Rammler and Swebrec may be used in the range 100 – 3 % passing with expected errors less than about 15 % (3-10 % in most of the range) and maximum error less than about 100 % (10-60 % in most of the range). The scaled Rosin-Rammler may be

stretched down to about 1 % passing with expected errors up to 35 % and maximum errors less than 140 %, both in the lower end; Swebrec does well down to 2 % passing, with expected error less than 20 % and maximum error less than 125 %; if used down to 1 % passing, expected error may be as low as 15 % (similar to the bi-components) in the fine end and about 30 % in the upper end, but the maximum error is unacceptably large (more than 600 %) in the coarse end (see Figure 2, lower plots, dashed blue line, and Figures 4 and 5). Considering that scaled Rosin-Rammler and Swebrec are three-parameter functions, they are probably the best and simplest choice for representing fragmentation data from 100 % down to 1-2 % passing.

The plain Rosin-Rammler can be used in the range 96-13 % passing with expected errors less than 20 % (4-10 % in the central zone), and maximum error less than 100 % (20-50 % in the central zone). This range can be extended to 98-10 % with expected error less than 25 % and maximum error about 160 %, the higher values of the errors in the upper end. If the Rosin-Rammler function is used e.g in the range 99-5 % passing, the expected/maximum errors are about 25/300 % at 99 % passing, and 15/100 % at 5 %. It may be used for finer material if part of the upper end is abandoned and if a fairly large maximum error is accepted; for example, in the range 94-3 %, expected errors are up to 19 % and 37 % in the upper and lower extremes, respectively, and maximum errors are close to 300 % in both extremes.

4 CONCLUSIONS

The performance of the Rosin-Rammler distribution, its maximum-size-scaled transform and its bimodal derivative have been assessed and compared with other distributions, namely the Grady and Swebrec ones, for describing fragmented rock from bench blasting.

Reasonable ranges of use of bimodal Rosin-Rammler and extended Swebrec are $99>p>0.5$ % (up to 100 % for the extended Swebrec), with expected errors of about 15 % in the extremes of the range, and less than about 5 % in the range $95>p>10$ %; maximum errors are less than about 70-200 % in the extremes, the extended Swebrec behaving better in the upper end and the bimodal Rosin-Rammler in the fine end; maximum error is less than 50 % in the range $95<p<5$ %.

Three-parameter, size-scaled distributions can be used to represent fragmentation by blasting quite faithfully from the upper end to about $p=3$ %, with expected errors in size less than 15 % and maximum errors less than about 100 %, these being less than about 50 % in the range $90>p>10$ %. There is not much difference in most of the central range between the scaled Rosin-Rammler and the Swebrec. Swebrec can be used down to $p=2$ % with expected error less than 20 % and maximum error less than 125 % but can hardly reach further down because, even if the expected error at $p=1$ % stays as low as 15 % (similar to the bi-components) and about 30 % in the upper end, the maximum error is unacceptably large (more than 600 %) in the coarse end. The scaled Rosin-Rammler may be stretched down to about 1 % passing with expected errors up to 35 % and maximum errors less than 150 %, both in the lower end.

The classical 2-parameter Rosin-Rammler can represent the range $96>p>13$ % with expected errors in size less than about 20 % and maximum errors less than about 100 % in the extremes of that range, with maximum errors less than 50 % in the $90>p>20$ % range. This range can be extended to 98-10 % with expected error less than 25 % and maximum error about 160 %, the higher values of the errors in the upper end.

REFERENCES

Ash, RL. 1973. The influence of geological discontinuities on rock blasting, PhD thesis, University of Minnesota, Minneapolis; 289 p.

Coleman, TF and Li, Y. 1994. On the convergence of reflective Newton methods for large-scale nonlinear minimization subject to bounds, *Math Program* 67(2):189–224.

Coleman, TF and Li, Y. 1996. An interior, trust region approach for nonlinear minimization subject to bounds, *SIAM J Optim*6(2):418–45.

Cunningham, CVB. 2003. Personal communication.

Dick, RA, Fletcher, LR and D'Andrea, DV. 1973. A study of fragmentation from bench blasting in limestone at a reduced scale, USBM report of investigation RI 7704, US Bureau of Mines.

Gynnemo, M. 1997. Investigation of governing factors in bench blasting. Full-scale tests at Kållered and Billingsryd, Publ. A84. Chalmers University, Department of Geology, Gothenburg, Sweden. In Swedish.

Lagarias, JC, Reeds, JA, Wright, MH and Wright, PE. 1998. Convergence properties of the Nelder–Mead Simplex method in low dimensions, *SIAM J Optim*, 9(1):112–147.

Ma Bailing, Zeng Shiqi, Zou Dingxiang and GuoChuji. 1983. A study of bench blasting in rhyoporphyry at a reduced scale and the statistical analysis of the regularity for fragmentation distribution, *Proceedings First International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting* (ed: R Holmberg and A Rustan), pp 857–872 (Luleå University of Technology: Luleå, Sweden).

Matlab8.1. 2013. Natick, MA: The Math Works, Inc.

McKenzie, C. 2003. Personal communication.

Olsson, M and Bergqvist, I. 2002. Fragmentation in quarries, *Proceedings Discussion Meeting BK 2002*, pp 33-38 (Swedish Rock Construction Committee: Stockholm, Sweden). In Swedish.

Otterness, RE, Stagg, MS, Rholl, SA and Smith, NS. 1991. Correlation of shot design parameters to fragmentation, *Proceedings 7th Symposium on Explosives and Blasting Research*, Las Vegas, Nevada, USA, pp 179-190 (Society of Explosives Engineers: Solon, Ohio).

Ouchterlony, F. 2009. Fragmentation characterization, the Swebrec function and its use in blast engineering, *Proceedings 9th international symposium on rock fragmentation by blasting (Fragblast 9)* (ed: J A Sanchidrián), Granada, Spain, pp 3–22 (CRC Press/Balkema: Leiden, The Netherlands).

Sanchidrián, JA. 2015. Ranges of validity of some distribution functions for blast-fragmented rock, *Proceedings 11th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting (Fragblast 11)* (ed: AT Spathis et al.), Sydney, Australia, pp 741-748 (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Carlton VIC, Australia).

Sanchidrián, JA, Segarra, P and López, LM. 2006. A practical procedure for the measurement of fragmentation by blasting by image analysis, *Rock Mech Rock Eng*, 39(4):359-382.

Sanchidrián, JA, Ouchterlony, F, Segarra, P, Moser, P and López, LM. 2009. Evaluation of some distribution functions for describing rock fragmentation data, *Proceedings 9th international symposium on rock fragmentation by blasting (Fragblast 9)* (ed: JA Sanchidrián), Granada, Spain, pp 239–248 (CRC Press/Balkema: Leiden, The Netherlands).

Sanchidrián, JA, Ouchterlony, F, Moser, P, Segarra, P and López, LM. 2012. Performance of some distributions to describe rock fragmentation data, *Int J Rock Mech Min Sci*, 53:18–31.

Sanchidrián, JA, Ouchterlony, F, Segarra, P and Moser, P. 2014. Size distribution functions for rock fragments, *Int J Rock Mech Min Sci*, 71:381–394.

Stagg, MS and Nutting, MJ. 1987. Influence of blast delay time on rock fragmentation: one- tenth-scale tests, US. Bureau of Mines IC 9135, Minneapolis, MN, USA, pp 79-95.

Stagg, MS and Otterness, RE. 1995. Screen analysis of full-scale production blasts, *Proceedings 11th Symposium on Explosives and Blasting Research*, Nashville, TN, USA, pp 298-313 (International Society of Explosives Engineers: Cleveland, Ohio).

Stagg, MS and Rholl, SA. 1987. Effects of Accurate Delays on Fragmentation for Single-row Blasting in a 6.7m (22-ft) Bench, *Proceedings Second International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting* (ed: WL Fourney and RD Dick), Keystone, CO, USA, pp 210-223 (Society of Experimental Mechanics: Bethel, CT).

Stagg, MS, Rholl, SA and Otterness, RE. 1989. The effect of explosive type and delay between rows on fragmentation, *Proceedings 15th Conference on Explosives and Blasting Technique*, New Orleans, LA, USA, pp 353-366 (Society of Explosives Engineers: Solon, Ohio)

Are Vibration Measurements From Blasting Reliable Enough?

P. Segarra
Universidad Politécnica de Madrid−ETSI Minas y Energía, Madrid, Spain

ABSTRACT Suggested methods for blast vibration monitoring generally assume that the vibration mount follows the ground motion whenever the expected vibrations are lower than a certain limit. However the error committed with these methods is currently unknown. To investigate this, results from 53 trials made on a vibration exciter are considered. The rock-to-mount, or coupling, transmissibility (i.e. ratio of the velocity of the sensor mount to the velocity of the base motion) was measured from 2 to 200 Hz, at two vibration levels (5 and 20 mm/s) using five methods, namely: freely laid, sandbagged, anchored, glued and plastered mounts. Free and sandbagged mounts lead to a weak coupling with errors depending on the measuring conditions, i.e. frequency, velocity and characteristics of the vibration mounts. Measurements were only accurate at low frequencies (below 15 Hz) in the tested conditions (velocities up to 20 mm/s). Above this frequency, where the accelerations of the ground motion are in line with values suggested by field guidelines, errors are significant. Anchored, glued, and plastered mounts allow stiff rock-to-ground coupling, ensuring consistent measurements for the frequencies commonly found in blasting, independently of the vibration level and the mount characteristics.

1. INTRODUCTION

Ground vibrations from blasting are often the main source of complaints and litigations to mines and quarries in populated areas. Measurement of ground motion is required to assess compliance with national standards (AENOR 1993, BSI 1993, DIN 1999, Siskind et al. 1980) and to prevent damage to buildings and structures. Vibrations are typically measured with digital seismographs formed by three orthogonally oriented geophones housed in a metallic mount and connected to a recording-sampling unit. The geophone mounts are placed on the site of interest and coupled to the ground in a way that depends upon the anticipated vibration level and the ground characteristics; Table 1 shows some of the suggested methods for measurements on a hard surface.

The error in vibration measurement can be estimated as function of frequency f from the motion transmissibility $T(f)$ (de Silva 2007):

$$T(f) = \frac{V(f)}{V_{gr}(f)} \tag{1}$$

Where $V(f)$ is the seismograph output velocity and $V_{gr}(f)$ is the velocity of the ground motion.

Transmissibility values around one show accurate measurements of the ground motion. Motion transmissibility can be expressed as the product of the rock-to-mount, or coupling, transmissibility $T_c(f)$, and mount-to-geophone transmissibility $T_{geo}(f)$:

$$T(f) = T_c(f) \cdot T_{geo}(f) \quad (2)$$

The mount-to-geophone transmissibility comprises the mechanical and electrical error components and it is usually provided by the seismograph manufacturer based on testing the seismograph in a vibration exciter, with the sensor mount firmly attached to the plate of the exciter (Birch et al. 2014, Farnfield 1996, Stagg & Engler 1980). The monitoring devices should be in compliance with design standards for blasting seismographs (DIN 2010, ISEE 2011) that define tolerance bounds of the transmissibility of the apparatus as function of frequency.

Table 1. Suggested coupling methods for measurements on a hard surface

Coupling	Expected vibration level		Source
	Qualitative	Quantitative	
Free placed	Low	$a < 0.2g$	ISRM (1992),ISEE (2009)
Sandbagged	Very low	Not defined	Instantel (2008)
	Low−medium	$a < 1.0g$	Konya & Walter (1991), ISEE (2009)
Doubled side tape	Low− medium	$a < 1.0g$	ISRM(1992)
Epoxy	Low−medium	$a < 1.0g$	ISRM(1992)
Anchored	Low−high	Any	ISRM(1992), Instantel(2008), ISEE (2009)
Cemented	Low−high*	Any	ISRM(1992)
Glued	Low−high*	Any	ISEE (2009) from Stagg & Engler (1980)

*The acceleration level is not supplied, but cement and glue are considered as alternatives to anchoring.

Different researches have shown that ground-to-mount coupling is not as simple as considered by field guidelines (Blair 1987, 1995a, Drijkoningen et al. 2006, Hoover & O'Brien 1980, Krohn 1984, Washburn & Wiley 1941). In fact, laboratory and field measurements (Adhikari et al. 2005, Armstrong & Sen 1999, Blair 1987, 1995b, Hutchison et al. 2005, Williams & Treleaven 2003, Wheeler 2004, Yang et al. 2014) show differences between vibrations measurements made according to field guidelines and caution about the reliability of some suggested methods.

In an attempt to give an insight to the quality of vibration measurements, results from 53 trials made in two campaigns on a vibration exciter (Segarra et al. 2015a, b) are considered. The errors attributable to the seismographs and to five suggested coupling methods for blast vibration monitoring on a hard surface are analyzed and discussed.

2. EXPERIMENTS AND INSTRUMENTATION

Table 2 summarizes the main characteristics of the four seismographs tested; two of them, identified as Sm and Sm+, have the same mount characteristics and different electronics, and the other two, designated as Sv, are the same seismograph model. The seismographs were set to a sampling rate of 2048 Hz.

The experimental work is carried out in a vibration exciter controlled by a single-point laser Doppler vibrometer- LDV. Figure 1 shows the six layouts investigated; the LDV pointer is apparent in some of the photographs. In one layout (top left photograph, Fig. 1), the vibration sensors were anchored to the metallic plate of the exciter. The other layouts (top central-right, and bottom photographs, Fig. 1) simulate measuring conditions on a hard surface. For this purpose, a granite slab was fixed to the plate of the exciter with four hex lag bolts. The mounts were coupled to granite as follows: freely planted, sandbagged, anchored, glued and plastered; details on these methods are given in Figure 1. Free and sandbagged are

relatively simple methods of coupling the sensor mounts to the ground, whereas the others, specially anchoring, involve more effort. Glue and plaster are alternative techniques to anchoring when the surface in contact with the vibration sensor should not be damaged.

Table 2. Characteristics of seismographs

Characteristics	Sm		Sm+	Sv
Campaign	1st		2nd	1st, 2nd
Mount density, kg/m^3	2130		2130	2690
Mount mass, kg	0.905		0.905	0.508
Mount shape	Cylindrical		Cylindrical	Prismatic
Mount base size/height, cm	5 (radii) / 5		5 (radii) / 5	7.1 × 6.1 /4.4
Memory capacity, Mb	0.96		64	200
Analog to digital converter, bits	12		16	16
Range, mm/s	±254*	±31.7*	±254	±200
Resolution, mm/s	0.127	0.0159	0.00788	0.006

*Seismograph Sm allows two measuring ranges, each with a different resolution.

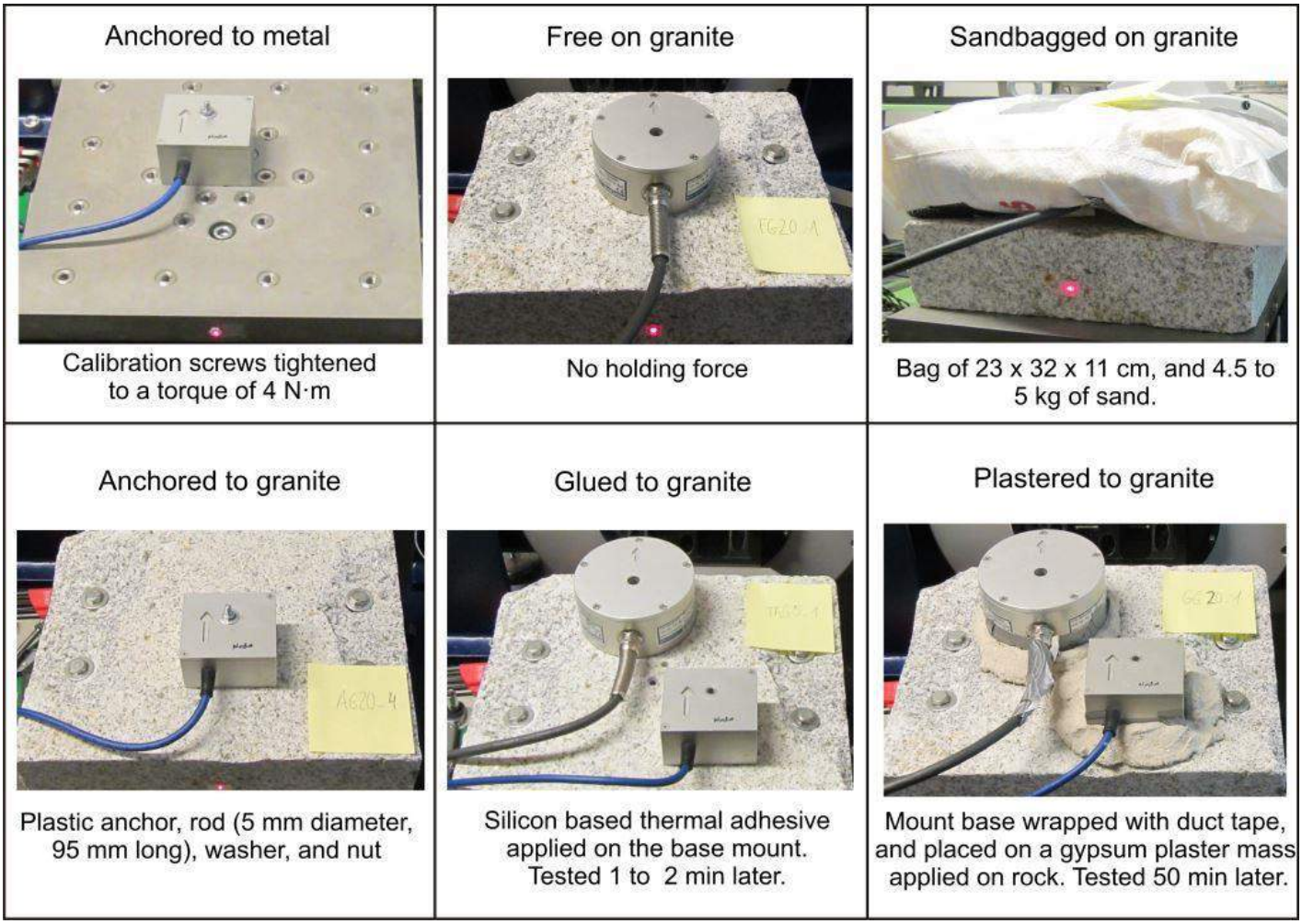


Figure 1. Test series layouts

All layouts were tested under a unidirectional, horizontal, sine type motion of constant peak velocity and frequency sweep of 0.02 octs/s; the orientation of the longitudinal geophone, shown in Figure 1 by arrows in the sensor cases, indicates the direction of the vibratory motion. Table 3 shows the characteristics of the tests series; they are identified as

follows: the first letter is the coupling (A: anchored, F: free, G: glued, P: plastered and S: sandbagged), the second is the base (G: granite, M: metal plate), and the number is the peak velocity of the vibratory motion of the base (5, 10 or 20 mm/s). Each test series on rock, with the exception of free placed mounts at 20 mm/s, were investigated in a range of frequencies 2 to 200 Hz. In order to cover such frequency range and due to the limited memory capacity of one of the seismographs, some series (FG5, SG5, SG20, AG20) were conducted first at 16-200 Hz and then at 1.6-40 Hz in the second campaign.

Table 3. Summary of test series; first campaign is reported by Segarra et al. (2015a) and the second by Segarra et al. (2015b).

Test series*	Layout		Motion		Campaign	Data per mount
	Coupling	Base	Peak veloc. mm/s	Frequency, Hz		
AM10	Anchored	Metal	10	16 – 202	1	1**
AM5	Anchored	Metal	5	1.6 – 200	2	1
AM20	Anchored	Metal	20	1.6 – 200	2	1
FG5	Free	Granite	5	1.6 – 202	1, 2	4, 1
FG20	Free	Granite	20	1.6 – 40	2	1
SG5	Sandbag	Granite	5	1.6 – 202	1, 2	4, 1
SG20	Sandbag	Granite	20	1.6 – 202	1, 2	4, 1
AG5	Anchored	Granite	5	16 – 202	1	1
AG20	Anchored	Granite	20	1.6 – 202	1, 2	4, 1
GG5	Glued	Granite	5	1.6 – 200	2	1
GG20	Glued	Granite	20	1.6 – 200	2	1
PG5	Plastered	Granite	5	1.6 – 200	2	1
PG20	Plastered	Granite	20	1.6 – 200	2	1

*In SG5 series made in the first campaign the bag profile was high providing a relatively small support area on the slab, whereas in the other tests a lower profile was achieved and thus a wider contact surface of the bag with granite. Glued mounts were removed and glued again after series AG5, whereas the same attachment was used in PG5 and PG20 series.

**As seismograph Sm allows two measuring ranges, each with a different resolution, it was tested twice setting a different measuring range.

3. RESULTS

The waveform recorded by the seismograph in the longitudinal component was processed through a discrete Fourier transform to obtain the output velocity $V(f)$. The noise in the resulting amplitude response is reduced in the range of the frequencies of interest to less than 1 % of the initial content (Segarra et al 2015a, b). The amplitude response $V_{gr}(f)$ of the velocity of the base is calculated as follows (Gloth & Sinapius 2004):

$$V_{gr}(f) = k v_{gr} f^{-1/2} = \frac{1}{t_w}\sqrt{\frac{1}{S\log 2}}\, v_{gr} f^{-1/2} \tag{3}$$

where v_{gr} is the intended peak velocity of the base, and k is a function of the waveform duration t_w and the sweep rate S. The experimental set-up allows a maximum deviation of the imposed motion below 2 % and negligible in frequency.

As an example, Figure 2 shows both the raw and smoothed responses of seismograph Sm+ for all trials made on granite at 20 mm/s (blue and red lines, respectively); measurements for each test are shifted vertically. Figure 2 also shows the frequency spectra of the granite motion at that velocity (green line). In all trials there was a peak between 6 and 9 Hz that was

produced by the mechanical resonance of the testing system and is removed in the smoothed response. Raw amplitudes in the extremes of the frequency range are affected by Gibbs oscillations (Blair, 2003), but the use of further noise reduction is discarded since it produces a higher distortion in the rest of the spectrum; amplitudes affected by this phenomenon are not considered for the analysis.

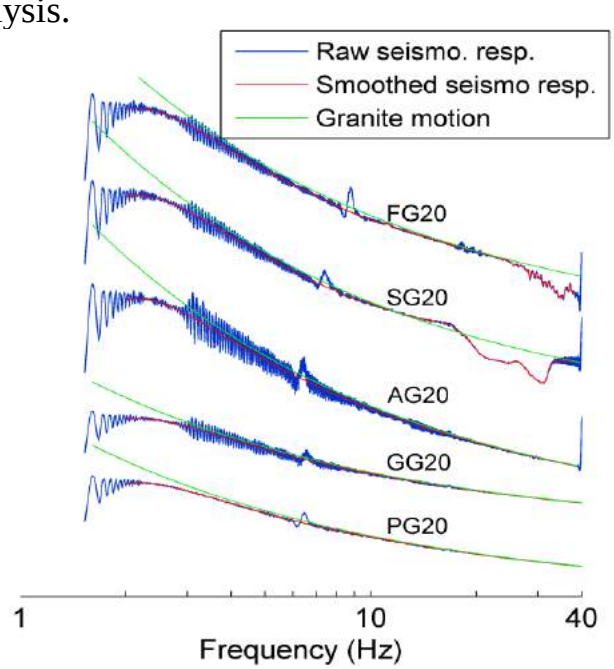


Figure 2. Amplitude velocity spectra (mm/s) in test series made with seimograph Sm+ at 20 mm/s in the second campaign. Data from GG20 and PG20 tests continue at higher frequencies.

3.1. Mount-to-geophone transmissibility

In tests series with the sensor mount anchored to the plate of the exciter (see Tab. 1), the contribution of coupling can be considered negligible. In these conditions, $T_c \approx 1$ and the motion transmissibility obtained through Equation (1) is the mount-to-geophone transmissibility $T_{geo}(f)$, see Equation (2). Figure 3 shows the lower and upper bounds of the mount-to-geophone transmissibility for the four seismographs used in tests AM10, AM5 and AM20.

Dispersion in the geophone transmissibility is apparent at any frequency. It is mainly caused by differences in the performance of the seismographs used, whereas the effect of the velocity of the imposed motion is not apparent, i.e. differences between trials at 5 and 20 mm/s are within the experimental error of the tests, ±2% (Segarra et al. 2015b). This suggests a first source of errors in field measurements with side by side seismographs.

The seismographs meet International Society of Explosives Engineers- ISEE (2011) specifications for blasting seismographs (see grey thick lines in Fig. 3) with transmissibility around one in the range from 6 to 110 Hz, whereas it decays down to 0.83 at very low frequencies, 2-4 Hz. This effect is likely the cause that the base motion is damped in the seismographs at low frequencies in all tests shown in Figure 2.

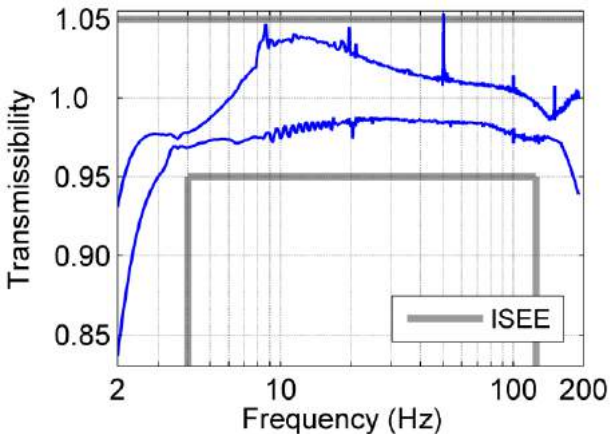


Figure 3. Lower and upper bounds of mount-to geophone transmissibility.

3.2. Rock-to-mount transmissibility

Rock-to-mount, or coupling, transmissibility is obtained according to Equation (2), dividing the motion transmissibility by the appropriate geophone transmissibility. The lower and upper bounds of coupling transmissibility are shown for each test series in Figure 4; data from both mounts are considered. ISEE (2011) bounds for blasting seismographs are also plotted in Figure 4 as reference.

Coupling transmissibility varies in a wide range from 0.16 to 1.25 depending on the measuring conditions. Freely placed mounts (FG5 and FG20 tests; top left graph in Fig. 4) have transmissibility around one for frequencies below 17 Hz at 5 mm/s and 25 Hz at 20 mm/s. Transmissibility at 5 mm/s may be up to 1.25 from 17 and 50 Hz, and falls steeply at higher frequencies. In tests at 20 mm/s, there is no significant amplification of ground motion, and damping occurs at lower frequencies.

Sandbagging (SG5 and SG20 tests; top right graph in Fig. 4) leads to accurate measurements for frequencies below 10 Hz at both 5 and 20 mm/s. At higher frequencies, transmissibility is complex and varies between 0.6 and 1.18 depending on the measuring conditions. It damps ground motion at around 30 Hz, and amplifies it at 70-80 Hz. In tests at the high velocity level, transmissibility is also below one at intermediate frequencies, 18-40 Hz. At frequencies above 100 Hz, transmissibility is variable and ground motion may be damped or amplified at any frequency.

Transmissibility of vibrations for anchored (AG5 and AG20; central right graph in Fig. 4) mounts is within the experimental error in the peak velocity of the base motion for frequencies below 100 Hz. For higher frequencies, it increases monotonically up to 1.09. Transmissibility curves for glued and plastered mounts (left and right bottom graphs, respectively in Fig. 4) show a similar pattern, with little variability between tests at 5 and 20 mm/s. If transmissibility would be a function of the input acceleration on the mount (roughly estimated as $2\pi v_{gr} f$) as it is implicitly assumed by guidelines (see Tab. 1), an opposite result would be obtained. Other evidence against using acceleration to define the conditions of use of coupling methods is that transmissibility of free and sandbagged mounts is not a straight function of frequency and velocity. In fact if the frequencies at which accelerations are equal to the maximum recommended values for these methods (0.2*g* and 1.0*g*, see Tab. 1) are marked at the top left and right graphs of Figure 4, it is apparent that these methods distort the base motion at accelerations lower than the recommended ones.

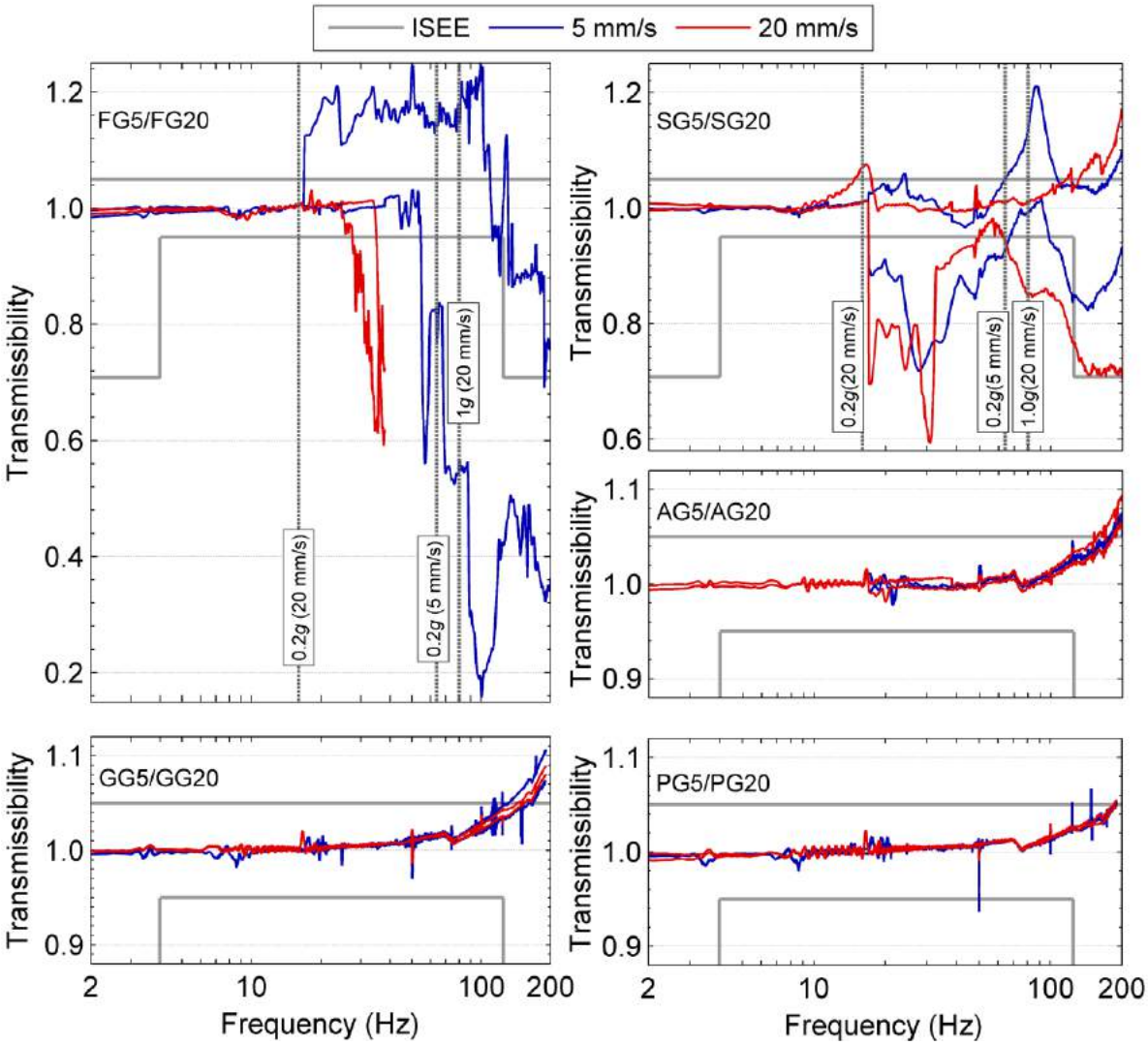


Figure 4. Lower and upper bounds of rock-to-mount transmissibility.

4 DISCUSSION

Figures 3 and 4 describe the magnitude and effect (amplification or damping) of the distortion produced by the seismograph and the coupling means, respectively. In order to further assess the errors in the measurement, logarithmic (gain) values of transmissibility are considered:

$$G_{geo} = 20\log_{10}(T_{geo}) \quad \text{or} \quad G_c = 20\log_{10}(T_c) \tag{4}$$

The logarithmic scale converts damping and amplification to symmetric values with respect to zero, so that negative (damping) and positive (amplification) error gains can be analyzed together to assess the error *e* in the measurements using their absolute values:

$$e_{geo} = \left|G_{geo}\right| \quad \text{or} \quad e_c = \left|G_c\right| \tag{5}$$

The mean values of the geophone and coupling errors at each frequency are shown in Figure 5. Expected errors due to coupling are obtained for: free mounts at 5 and 20 mm/s (FG5 and FG20), sandbagged at 5 and 20 mm/s (SG5 and SG20), and anchored, glued and plastered mounts at both vibration levels (AG, GG, and PG, respectively). For the latter,

errors at both velocity levels have been pooled because they have a similar variation with frequency and have similar values.

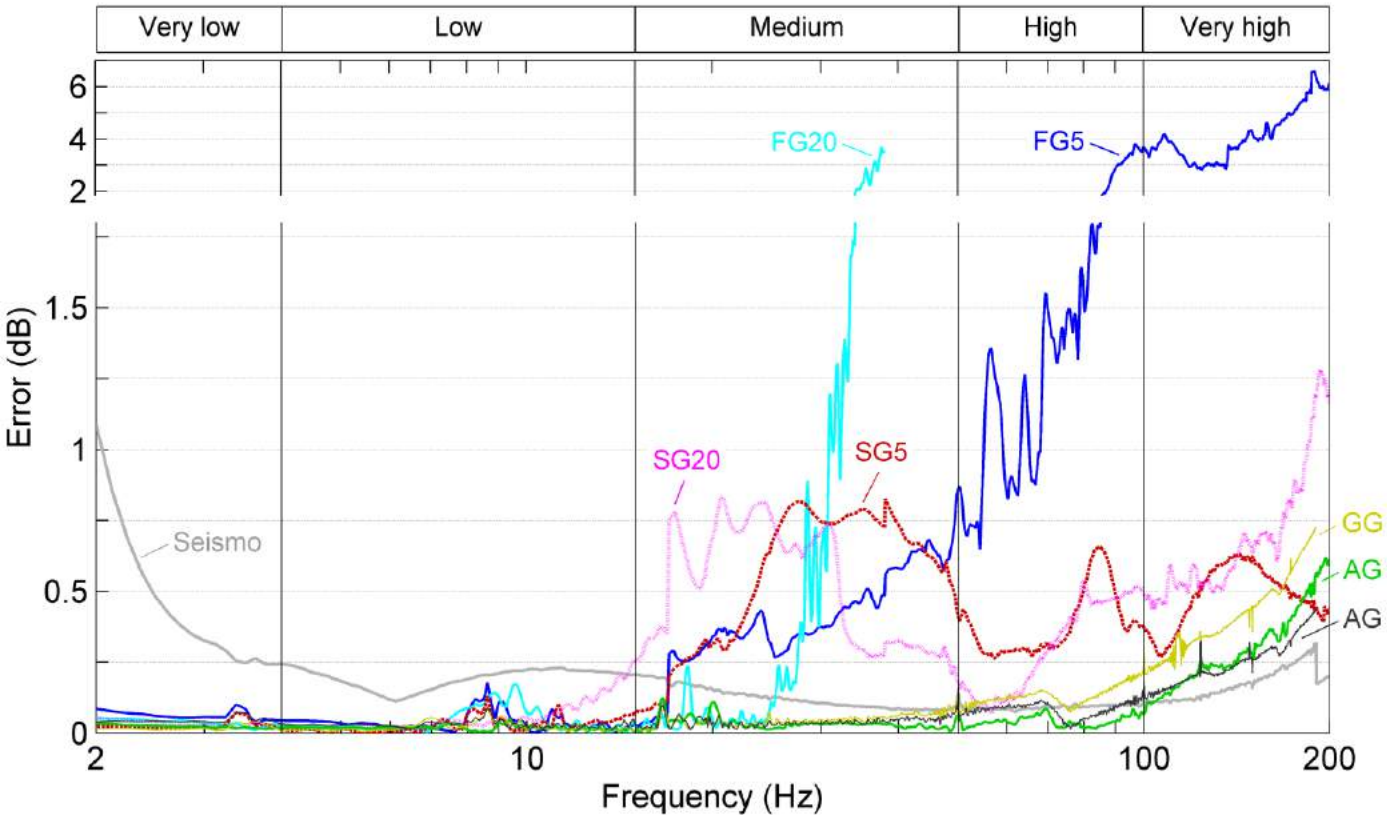


Figure 5. Expected (mean) errors of seismographs and coupling methods. The ordinate axis has been broken down to show all curves in the same graph.

Coupling errrors increase gradually as the frequency does except for sandbagged mounts. Errors for this method have a first peak at medium frequencies (15-50 Hz). Errors in the seismograph increase at the extremes of the frequency range studied and are almost constant in the rest of the frequency range. Errors in the measurement are analyzed in six frequency intervals in Table 4. It shows the maximum of the expected (mean) error and the maximum of the observed errors (highest error) in each interval for each measuring condition.

Anchoring qualifies as the most reliable method below 15 Hz and at high frequencies. Plastered attachment is the best method for the rest of the bandwidth (medium and very high frequencies). Differences in the errors for anchored, glued and plastered mounts are, however, in line with the error in peak velocity of the granite slab at frequencies below 100 Hz. At very high frequencies, glued mounts show the worst performance with errors up to 0.9 dB, but always better than free or sandbagged methods. The quality of the measurements with these methods depends upon the response of the seismographs, whose errors at very low frequencies can be large, up to 1.5 dB, even for periodically calibrated mounts such as those used here.

The maximum expected errors for free and sandbagged mounts at very low frequencies are in line with those for the other methods. Free mounts lead also to limited errors at low frequencies and both vibration levels, whereas for higher frequencies it is ranked as the worst method. This occurs for velocities of 20 mm/s at medium frequencies and for 5 mm/s, at high-very high frequencies; Figure 5 shows that the frequency of the first peak for free mounts decreases as the peak velocity of the base increases. Other works (Blair 1987; Krohn 1984),

show a similar effect of the velocity on the quality of the measurements, which is consistent with the results shown here.

Sandbagging shifts the first peak of the error curves towards lower frequencies in comparison with free laid mounts at the same velocity (see Fig. 5) and it is ranked as the worst method worst method at low frequencies and 20 mm/s. In these conditions the errors are, however, still low. The use of sandbag to hold the vibration mounts limits the expected error to about 1.3 dB in the rest of the frequency intervals, with maximum errors exceptionally high, up to 4.5 dB.

Table 5. Maximum expected and maximum observed errors (in dB) at different frequency intervals; the best and worst methods based on the expected error within each frequency interval are marked in bold italic blue and bold red, respectively.

Source/ Method	Peak veloc. mm/s	Frequency intervals, Hz					
		Very low	Low	Medium	High		Very high
		$2c \leq f < 4a$	$4 \leq f < 15^{*,***}$	$15 \leq f < 50^{**}$	$50 \leq f < 75^{***}$	$75 \leq f < 100^{**}$	$f \geq 100^{**}$
Seismo.		**1.09–1.52**	0.24–0.32	0.21–0.30	0.14–0.30	0.11–0.17	0.32–0.54
Free	5	0.10–0.15	0.18–0.18	0.83–1.85	**1.55–5.48**	**3.8–15.82**	**6.61–16.03**
	20	0.05–0.09	0.17–0.18	**3.68–4.58**	-	-	-
Sandbag.	5	0.07–0.08	0.13–0.15	0.83–2.87	0.44–1.11	0.66–1.67	0.63–1.69
	20	0.05–0.07	**0.24–0.42**	0.83–4.53	0.38–1.16	0.54–1.46	1.28–3.01
Anchored	5, 20	***0.03–0.05***	***0.05–0.20***	0.13–0.20	***0.09–0.17***	***0.09–0.13***	0.62–0.78
Glued	5, 20	0.04–0.08	0.09–0.18	0.12–0.18	0.18–0.26	0.22–0.28	0.72–0.88
Plastered	5, 20	0.07–0.13	0.09–0.19	***0.10–0.19***	0.19–0.57	0.15–0.18	***0.44–0.57***

Limit of the continuous function defined by *USBM (Siskind et al 1980) and British Standard Institution−BSI; **Deutsches Institut für Normung−DIN; and ***Asociación Española de Normalización y Certificación−AENOR.

Although the coupling transmissibility for any of these methods has not been investigated in components of the vibratory motion other than the longitudinal, it follows from the results of this study that poor measurements are likely to be obtained with free and sandbagged vibration sensors in any components of the vibratory motion. For the 'good' couplings – such as anchor – their rigidity in the vertical component may differ from that in the horizontal plane, as the motion transmission is done by shear in the horizontal movement and by tensile/compressive stress in the vertical. Nevertheless, given their excellent performance on shear it is likely that their behavior be just as consistent in tension. However, the actual frequency response may show differences; a subject for future work.

5 CONCLUSIONS

The performance of four seismographs and five methods to couple the vibration sensors to a hard surface has been experimentally studied. Errors in the measurement attributable to coupling have been assessed by the rock-to-mount (coupling) transmissibility from 2 to 200 Hz, at two velocity levels (5 and 20 mm/s).

The effect of the seismograph on the measurement quality should not be neglected, especially when the vibration sensor is properly coupled, and low frequencies dominate the measurements. Expected errors of 1dB seem to be unavoidable for frequencies below 4 Hz.

Free placed and sandbagged mounts lead generally to a weak coupling with errors depending on the characteristics of ground motion (frequency and velocity) and also on the vibration mounts. Both techniques lead to limited errors (up to 0.42 dB) below 15 Hz even at the high velocity level. At higher frequencies, free mounts lead to the largest distortions with wild expected errors, near 4 dB at the low vibration level of 5 mm/s and frequencies below

100 Hz, usual in blasting. Sandbagging limits the expected errors below 1.0 dB in these conditions, but does not prevent large errors that can be up to 4.5 dB.

Mount attachments with anchor, glue or plaster provide stiff rock-to-mount coupling ensuring accurate measurements with errors below 0.3 dB at frequencies below 100 Hz independently of the input velocity and mount characteristics. At high frequencies, these methods perform acceptably well, with transmissibility up to 0.6 (plaster) and 0.9 dB (glued) at 200 Hz. Any of these attachment methods of the sensor mount to rock is advisable over other simple methods, such as free placed mounts, that are only appropriate at low frequencies, especially when there is not a priori knowledge of the vibrations to be measured. Further work is ongoing to improve the quantitative significance of the results presented here, such as those for glued mounts, and to extend the study to other methods such as double side tape.

ACKNOWLEDGEMENTS

The experimental work has been partially funded by MAXAM Civil Explosives program "Cátedra Maxam" (Project UPM/FGP 007033). The support of Vibraquipo is also acknowledged. The author would like to thank their colleagues Jose A. Sanchidrián, Ricardo Castedo and Lina M. López at Universidad Politécnica de Madrid. Their contribution in the measuring campaigns and in the preparation of previous works is equally acknowledged.

REFERENCES

Adhikari, G.R., Theresraj, A.I., Gupta, R.N., 2005. Influence of transducer−ground coupling on vibration measurements. *Fragblast* 9(2), 79–92.

AENOR−Asociación Española de Normalización y Certificación, 1993. *Control de vibraciones producidas por voladuras*. Norma UNE 22−381−93, Madrid.

Armstrong, L.W., Sen, G.C., 1999. The measurement of blast induced vibrations in soil. *Proc. EXPLO'99*, Kalgoorlie, Australia, pp. 99–104.

Blair, D.P., 2003. A fast and efficient solution for wave radiation from a pressurized blasthole. *Fragblast* 7(4), 205–230.

Blair, D.P., 1995a. Soil−embedded detector mounts for seismic monitoring. *Geophysics* 60(1), 120–133.

Blair, D.P., 1995b. Blast vibrations in soil and on large resonant structures. *Proc. Explo 95*, Brisbane, pp. 317–322.

Blair, D. P., 1987. The measurement, modelling and control of ground vibrations due to blasting. *Proc. of the 2nd Int. Symp. on Rock Fragmentation by Blasting – Fragblast*, Keystone, USA, 2, pp. 88–101.

BSI−British Standard Institution, 1993. *Evaluation and measurement for vibration in buildings: Guide to damage levels from groundborne vibration*. BS 7385: part 2, London.

de Silva, C.W, 2007. *Vibration: Fundamentals and Practice*. CRC Press, Boca Raton, pp. 137.

DIN− Deutsches Institut für Normung, 2010. *Measurement of vibration immission–Part 1: Vibration meters −Requirements and tests*. DIN 45669−1, Berlin.

DIN−Deutsches Institut für Normung, 1999. *Structural Vibration– Part 3: Effects of vibration on structures*. DIN 4150−3:1999−02, Berlin.

Drijkoningen, G.G, Rademakers, F., Slob., E.C., Fokkema, J.T. 2006. A new elastic model for ground coupling of geophones with spikes. *Geophysics* 71(2), Q9−Q17.

Gloth, G., Sinapius, M., 2004. Analysis of swept−sine runs during modal identification. *Mechanical systems and signal processing* 18(6), 1421–1441.

Hoover, G. M., O'Brien, J. T., 1980. The influence of the planted geophone on seismic land data. *Geophysics* 45(8), 1239–1253.

Hutchison, W., Grigoryan, E., Lorsbach, G., 2005. Significant sources of errors in the seismographs error budget. *ISEE Proc. 31st Annual Conf. on Explosives and Blasting Technique*, Orlando, USA, 1.

Instantel, 2008. *Minimate Pro^{TM} operator manual*. Instantel, Ottawa, Canada, pp.10–3/4.

ISEE−International Society of Explosives Engineering, 2011. *Performance specifications for blasting seismographs*. Cleveland, USA.

ISEE−International Society of Explosives Engineering, 2009. *ISEE field practice guidelines for blasting seismographs 2009 edn*. Cleveland, USA.

ISRM−International Society for Rock Mechanics, 1992. Suggested method for blast vibration monitoring. Dowding, C.H. (working group co−ordinator). *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geo. Abstr*. 29(2), 143–156.

Konya, C.J., Walter, E.J, 1991. Rock blasting and overbreak control. Federal Highway Administration, US. Departament of Transportation, Virginia, pp. 240, 241.

Krohn, C.E., 1984, Geophone ground coupling. *Geophysics* 49(6), 722–731.

Segarra, P., Sanchidrián, J. A., Castedo, R., López, L. M., del Castillo, I, 2015a. Performance of some coupling methods for blast vibration monitoring. *J Appl Geophys* (112): 129–135.

Segarra, P, Sanchidrián, J A, del Castillo I, Castedo, R, López, L M, 2015b. Rock−to−sensor transmissibility of vibrations–Part 2. *ISEE Proc. 41st Annual Conf. on Explosives and Blasting Technique*, New Orleans, USA.

Siskind, D.E., Stagg, J., Kopp, J.W., Dowding C.H., 1980. *Structure Response and Damage Produced by Ground Vibrations from Surface Mine Blasting*. USBM Report of Investigation 8507, U.S. Bureau of Mines, Twin Cities.

Stagg, M.S., Engler, A.J., 1980. *Measurement of blast−induced ground vibration and seismograph calibration*. USBM Report of Investigation 8506, U.S. Bureau of Mines, Twin Cities.

Washburn, H., Wiley, H., 1941. The effect of the placement of a seismometer on its response characteristics. *Geophysics* 6(2), 116–131.

Wheeler, R., 2004. The importance of proper seismometer coupling. *ISEE Proc. 30th Ann. Conf. on Explosives and Blasting Technique*, New Orleans, USA, 2, pp. 147–160.

Williams, A., Treleaven, T., 2003. Trench blasting in close proximity to existing utilities in ultra metamorphic rock. J. *Explosives Engineering* 20(4), 6–8.

Yang, R., Kay, D., Kim, G., 2014. Case examples of sensor coupling effect on blast vibration measurement and charge weight scaling plot. *ISEE Proc. 40th Ann. Conf. on Explosives and Blasting Technique*, Denver, USA.

Türkiye Patlayıcı Sektöründe Teknik Otorite İhtiyacı
The Need for Technical Authority in Turkish Explosives Industry

M. Erdil
Enerjik Çözümler Patlayıcı Madde, Kimya ve Müh.A.Ş.

ÖZET Türkiye ticari patlayıcı madde sektörü, tekel dışı bırakıldığı 1987 yılından bu yana büyük gelişim göstermesine rağmen, sektörün dayanağı kanun, tüzük ve yönetmelikler, bu gelişime ayak uyduramamıştır. Her ülkede olduğu gibi, sektörü yöneten bu yasaların yürütülmesi, iş ve kolluk güvenliği açısından devlet otoritesi altındadır. Türkiye'de de kolluk güvenliği, patlayıcı maddelerin üretimi, kullanımı ve her türlü teknik işlemleri kapsayan ilgili yasanın yürütülmesi İçişleri Bakanlığı tarafından ve kısmen de Çalışma Bakanlığınca yerine getirilmektedir.

Yasal mevzuatın yürütümü, kolluk güvenliği hariç, tamamen teknik, akademik bilgi ve deneyim gerektirmektedir. Dünyada sadece gelişmiş ülkeler de değil, neredeyse ülkemiz dışındaki tüm ülkelerde yasanın teknik denetimi, devlet tarafından kurulmuş, bünyesinde, konusunda uzman bilim adamları bulunduran, bağımsız enstitüler yoluyla yapılmaktadır. Bugün itibarıyla, maalesef ülkemizde benzer bir kuruluş olmadığından, sektör, İçişleri, Sanayi, Çalışma ve Ulaştırma Bakanlıklarının arasında bocalamaktadır. Bu kurumların bünyesinde, patlayıcı maddeler konusunda ne uzman, ne de test ve araştırma merkezleri bulunmaktadır. Bu bildirinin amacı, konunun önemini ortaya koymak, devlet ve sektör kuruluşlarını harekete geçirmeyi amaçlamaktadır.

ABSTRACT Turkish commercial explosives industry has improved since 1987 after the monopoly on the sector has been ended, however, laws & regulations managing the industry have not kept pace with this development. As in every country, implementation of the laws is under the state control in terms of safety and security. The regulations covering security and technical issues from the production of explosives to its usage are under the control of the Ministry of Interior mostly and Ministry of Labour partly in Turkey.

Execution of legislation, except security, requires purely technical academic knowledge and experience. Not only developed countries in the world, in almost all countries outside of our country, technical supervision of law is done by independent institutes established by the state, who has employed expert scientists. Unfortunately, as of today there is no a similar institution in our country. The industry is trying to find a way among the Ministries of Interior, Industry, Labour and Transport, who don't have neither experts in explosives nor research centers. The purpose of this paper is to bring on the agenda the importance of the issue and push state or private organizations in sector.

1 TÜRKİYE PATLAYICI SEKTÖRÜNDEKİ GELİŞİM

Türkiye ticari patlayıcı sektörü, 1955 yılında yayınlanan 6551 sayılı kanunla tekel dışı bırakılmasına rağmen, ticari patlayıcı maddelerin üretim ve satışı, 1987 yılında yayınlanan 87/12028 sayılı tüzüğe kadar devlet tekelinde yapılmıştır. 1990 lı yılların başından itibaren, özel sektöre ait patlayıcı madde üreticilerinin devreye girmesi, sektörü canlandırmıştır. Bu dönemde başlatılan otoyol, baraj gibi büyük yatırımlar, patlayıcı madde tüketimini de arttırmıştır.

Çizelge 1. Son yirmi yıl içinde değişen patlayıcı madde tüketimi ve üretici sayısı (Tüketim değerleri yaklaşık tahminidir)

Tüketilen Patlayıcı Madde Miktarları	Birim	1995	2005	2015
Kapsüle Duyarlı Patlayıcı Maddeler	Ton	5.000	6.500	21.000
Yemlemeye Duyarlı Patlayıcı Maddeler	Ton	45.000	60.000	230.000
Kapsüller (Adi+Elektrikli+Elektriksiz)	Adet x1000	7.800	11.900	20.000
Fitiller (E.Fitil)	Km	8.266	3.500	1.500
Fitiller (İnfilaklı Fitil)	Km	1.000	5.000	20.000
Patlayıcı Madde Üreticileri	Adet	2	3	8
ANFO Üreticileri	Adet	-	3	13

Artan patlayıcı talebine karşılık, üretici sayısında ciddi artış olmuştur (Tablo 1.). Dünyada faaliyet gösteren belli başlı uluslararası şirketler Türkiye pazarına girmiştir. Bunlara ilaveten yerli yatırımcıların kurduğu üretim tesisleri ile talebin üzerinde bir üretim kapasitesine ulaşılmış, bu sayede patlayıcı ihracatında dahi artış gerçekleşmiştir.

Patlayıcı madde tüketimi ve üretimdeki artışın yanı sıra, patlayıcı madde ve ateşleme sistemlerinin çeşitliliği artmış, günümüzün en modern ürünlerinin çoğunluğu Türkiye'de üretilerek, kullanıma sunulmuştur. Ürün çeşitliliği ve kullanımdaki değişimin çarpıcı farklılığı aşağıdaki Çizelge 2 de görülmektedir. Bu Çizelge incelendiğinde, kapsüle duyarlı ürünlerde, nitrogliserin bazlı patlayıcılardan emülsiyon bazlı patlayıcılara neredeyse tam bir dönüşüm gerçekleşmiştir. Günümüzde en ilkel ateşleme sistemi olan adi kapsül + emniyetli fitil kullanımı, çağdaş elektriksiz (nonelectric) kapsül sistemine dönüşmüştür. Kısacası patlayıcı madde tüketimi tamamen kabuk değiştirmiştir.

Çizelge 2. Son Yirmi Yılda Değişen Patlayıcı Ürün Çeşitliliği ve Kullanım Oranları

Patlayıcı Cinsi	1995	2015
A. Kapsüle Duyarlı Patlayıcılar		
Nitrogliserin Bazlı	% 100	% 7
Emülsiyon Bazlı	-	% 93
B. Yemlemeye Duyarlı Ürünler		
ANFO (tüketim yerinde hazırlanan dahil)	%95	% 88
Emülsiyon bazlı	% 5	% 12
C. Kapsüller		
Adi Kapsül	% 65	% 5
Elektrikli Kapsül	% 34	%15
Elektriksiz Kapsül	% 1	% 80
Elektronik Kapsül	-	-
D. Fitiller (1995 Yılı Tüketimi Baz Alınarak)		
Emniyetli Fitil	% 100	% 18
İnfilaklı Fitil	% 100	% 2000

2 YASAL MEVZUAT

Patlayıcı pazarındaki gelişmeye karşın, Türkiye'de halen ticari patlayıcı maddelerin üretimi, ithali, taşınması, depolanması, kullanımı, yok edilmesi, denetlenmesine ilişkin usul ve esaslar, 87/12028 sayılı Tekel Dışı bırakılan Patlayıcı Maddeler Tüzük ile uygulanmaktadır. Tüzüğün dayandığı 6551 sayılı kanun, 1955 yılında yürürlüğe girmiştir. Yaklaşık 60 yıllık olan bu kanun, ticari patlayıcı maddelerin tekel dışına çıkartılması haricinde, başka hiçbir konuya hüküm getirmemektedir.

Aynı şekilde, her ne kadar 1999 yılında birkaç değişikliliğe uğrasa da, 87/12028 sayılı tüzük, neredeyse 30 yıllıktır. Kanun ve tüzük, ticari patlayıcı madde sanayinin gelişmesinin çok gerisinde kalmıştır. Tüzüğün bir alt yönetmeliklerinin olmayışı, yasal düzenlemenin çok kısır maddelerle, kişilere ek görev ve sorumluluklar yüklerken, akla yatkın bilimsel verilere uygun çözüm yollarını göstermemektedir. Bunların yanı sıra, hali hazırdaki tüzük hükümleri, yürürlüğe girdiği tarihte üretimi yapılan patlayıcı madde cinsleri ve kullanımı temel olarak hazırlandığından, üretimden, taşınmaya, depolamadan, tüketime, günümüz patlayıcı maddelerini kapsamamaktadır.

Bunların yanı sıra tüzük hükümlerinin yetersiz teknik tanımlamaları ve günümüzün gerisinde kalması, sektör temsilcileri ile yetkili makamlar arasında Tüzük hükümlerinin yorumlanmasında çelişkiye yaratmaktadır. Çünkü aşağıdaki Çizelge 3 incelendiğinde ilgili yasanın yaklaşık yüzde sekseni teknik konuları içermektedir. Yaşanan çelişkiler, kolluk güvenliğinde değil, tamamen teknik konularda oluşmaktadır. Böyle bir durumda danışılacak bir üst makam Tüzüğün yürütülmesinden sorumlu, İçişleri Bakanlığı Emniyet Genel Müdürlüğü olup, kısmen de Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığıdır. Maalesef bu bakanlıkların bünyesinde, patlayıcı maddeler konusunda ne uzmanlaşmış personel, ne de analiz veya testlerin yapılabileceği laboratuvarlar bulunmaktadır. Kaldı ki, üniversitelerimiz de dahi bu imkanlar yoktur. Kısacası Türkiye'de patlayıcı maddelerle ilgili teknik konularda bir otorite boşluğu vardır.

Çizelge 3. 87/12028 Sayılı Tüzük İçeriği Konular

KISIM	BÖLÜMLER	İÇERİK
Birinci Kısım	Patlayıcı Maddelerin Tanımı ve Sınıflandırması	Teknik
İkinci Kısım	Üretim Tesislerinin Kuruluşu	İdari
Üçüncü Kısım	Üretim Tesislerinin İşletilmesi	Teknik
	- Güvenlik Uzaklıkları	
	- Binalar ve Tesisat	
	- Makine ve Tezgahlar	
	- Elektrik-Isıtma-Havalandırma Tesisatları	
	Üretimde İş Güvenliği	
	Onarımda İş Güvenliği	
	İşletme İş Güvenliği	
	- Yönergeler, İlk Yardım, Yangın	
Dördüncü Kısım	Ambalajlama ve İş Güvenliği	Teknik
Beşinci Kısım	İthal ve Güvenlik Önlemleri	İdari-Teknik
Altıncı Kısım	Taşıma ve Güvenlik Önlemleri	İdari-Teknik- Kolluk Güvenliği
Yedinci Kısım	Depolama ve Güvenlik Önlemleri	İdari-Teknik- Kolluk Güvenliği
	- İzinler	
	- Depoların Teknik Özellikleri	
	- Depolarda İşgüvenliği	
Sekizinci Kısım	Satış ve Satın Alma İşlemleri	İdari-Kolluk Güvenliği
Dokuzuncu Kısım	Kullanma ve İş Güvenliği	Teknik
Onuncu Kısım	Çeşitli Hükümler	İdari-Kolluk

3 TEKNİK OTORİTE

3.1. DÜNYA GENELİ

Dünyadaki uygulamalara göz atıldığında, neredeyse tüm ülkelerde kolluk güvenliğinin yanı sıra, patlayıcı maddeler konusunda teknik bir otoritenin olduğu görülmektedir. Kolluk güvenliğine bakan birimlerle, teknik iş güvenliğine bakan birimler birbirinden bağımsız farklı kuruluşlardır.

Teknik iş güvenliği ile ilgili otorite kuruluş, genel olarak her sektörü kapsayan bir iş güvenliği enstitüsü olarak kurulmuştur. Enstitü bünyesinde her sektörün bir alt örgütlenmesi bulunur. Patlayıcılar da bunun içinde bir alt bölüm olarak örgütlenmiştir. Bünyelerinde konusunda uzman, deneyimli bilim adamları , her türlü analiz ve testlerin yapılabildiği laboratuvarlar bulunmaktadır. Teknik otoritenin görevi, konusunda bilimsel çalışmalar yapmak, yeni gelişmeleri takip ederek, gereken iş güvenliği tedbirlerini oluşturmak, teknik yasal denetimlerde bulunmak, gerekli prosedürleri hazırlamak, yayınlar yapmak ve ülkede kullanılan veya kullanılacak patlayıcı maddelerin standartlarını oluşturarak belgelendirmektir. Ayrıca sektörel eğitim ihtiyacı da bu enstitüler tarafından karşılanır. Bu kuruluşlar aynı zamanda, CE, ADR gibi sertifikalandırmada uluslar arası onaylı kurum olarak hizmet vermektedir.

Belli başlı ülkelere bakıldığında bu tip kurumlara örnek olarak Çizelge 4'de verilenleri görebiliriz.

Çizelge 4. Belli Başlı Ülkelerdeki Enstitüler

Ulke Adı	Ilgili Enstitü
Almanya	BAM- Federal Institute for Materials Research and Testing
İngiltere	HSE- Health and Safety Executive
Fransa	INERIS-Institut National de de l'environnement industriel et des risques
ABD	IME – Institue of Makers of Explosives
Polonya	GIG- GLÓWNY INSTYTUT GÓRNICTWA Central Mining Institue
Bulgaristan	MINPROEKT" JSC - Division "Scientific and Research Activity"
Romanya	Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Securitate Miniera si Protectie Antiexploziva
Çek Cumhuriyeti	VVUU, a.s.
İspanya	Laboratorio Oficial Jose Maria De Madariaga

Bu enstitüler, patlayıcı maddeler haricinde diğer sektörleri de kapsayan büyük organizasyonlar olduğu gibi, Polonya, Çek Cumhuriyeti gibi sadece madencilik sektörünü kapsayan daha küçük yapılarda da olmaktadır. ABD de ise patlayıcı maddeler tek başına bir enstitü olarak çalışmaktadır.

3.1.1. ALMANYA-BAM

Yukarda listelenen belli başlı enstitülerden Almanya'da bulunan BAM (Federal Instute for Materials Research and Testing) Federal malzeme araştırma ve test enstitüsünü incelediğimizde, Federal Ekonomi ve Enerji Bakanlığına bağlı üst düzey bilimsel ve teknik bir enstitü olduğu görülmektedir.Enstitünün temel görevi; teknoloji ve kimya endüstrisinde iş güvenliğini sürdürülebilir kılmak, araştırma ve geliştirme yapmak,test, analiz, onay ve belgelendirme ile danışmanlık hizmetleri sunmak,Alman endüstriyel kalkınmasını teşvik etmektir.

Ana çalışma alanları;

- Analitik kimya,
- Tehlikeli maddeler,
- Güvenli ve çevresel malzeme kullanımı,
- Teknik proses ve sistemlerde operasyonel iş güvenliği,
- Tahribat mekanizması ve analizi

Her ne kadar devlet kuruşu olsa da, bir özel şirket gibi çalışan kuruluş, bir yönetim kuruluna bağlı 11 departman, bunların altında 53 bölüm ve 11 kısım olarak organize olmuştur. 1658 çalışanı bulunmaktadır. Yaklaşık 160 milyon Euro tutarında bir bütçeye sahiptir. Yılda binlerle ifade edilebilecek bilimsel yayın, kurs, sunum ve test analizleri yapmaktadır.

İş yaptığı müşteri yapısı;

Endüstri Kuruluşları	: % 27
Devlet Kurumları	: % 20
Standardizasyon Kurumları	: % 18
Teknik ve Ekonomik Kurumlar	: % 12
Araştırma Enstitüleri	: % 9
Servis veren Kuruluşlar	: % 8
Profesyonel Dernekler	: % 4
Tüketici Kuruluşları	: % 2

3.2. TÜRKİYE'DE DURUM

Ülkemizde patlayıcı madde sektörü önemli bir büyüklüktedir. Rusya haricindeki Avrupa ülkeleri göz önüne alındığında, üretimden tüketime ilk üçte, belki de birinci sırada sayılabilir. Ancak hal böyle iken, yetersiz yasal düzenlemelerin yanı sıra, teknik konularda başvurulacak bir enstitü benzeri otorite kuruma sahip değildir. Sadece TÜBİTAK bünyesinde bulunan SAGE Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü, her ne kadar sivil patlayıcılarla ilgili olmasa da, savunma sanayine yönelik sahip olduğu test ve analiz imkanları ile teknik kurum olarak dikkate alınabilir.

Yasal düzenlemelerle ilgili her şey İçişleri Bakanlığı Emniyet Genel Müdürlüğü bünyesinde sıkışmış kalmıştır. Müdürlük bünyesinde sadece Emniyet mensubu polisler görev yapmakta, kolluk güvenliği haricindeki teknik konularda Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile zaman zaman üniversitelerin maden mühendisliği bölümlerinden destek almaya çalışmaktadır. Ancak bildirinin ikinci bölümünde de belirtildiği gibi, bu Bakanlıklarda veya üniversitelerimizde patlayıcı maddeler konusunda yeterli alt yapı bulunmamaktadır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye ticari patlayıcılar konusunda, tüketim büyüklüğü, üretici sayısı ve niteliği, yetişmiş eleman gücü ile yukarda açıklanan teknik otorite eksikliği durumunu hak etmemektedir.Olması gereken, iş kazalarındaki kötü sicilimizde göz önüne alınarak, Almanya'daki BAM enstitüsü benzeri bir kurumun oluşturulmasıdır. Böyle bir kurumun kuruluşunun istense dahi çok zaman alacağı düşünülürse, daha dar kapsamlı bir organizasyona gidilebilir. Madencilikte yaşanan facialarının önüne geçmek için patlayıcı ile madencilik sektörü birlikte düşünülerek, Polonya örneğinde olduğu gibi bir araştırma-iş güvenliği enstitüsü altında birleştirilebilir.

Yukarıdaki önerilerin hiçbirisi uygulanabilir olmadığı takdirde, sadece patlayıcı sektörüne yönelik;

a) Sektör temsilcilerinin de katkı koyacağı, Avrupa Birliği fonlarından da yararlanılabilecek, devletin önayak olduğu ABD dekine benzer bir sivil patlayıcı enstitüsü kurulmalıdır. Bu enstitüye, konusunda uzman bilim adamları istihdam edilerek ve gerekli arazi sağlanarak, patlayıcı test ve analizlerin yapılabildiği alt yapı oluşturulabilir. Burada yapılacak her türlü test, analiz, raporlama, eğitim faaliyetlerine ücret uygulanarak ekonomik destek sağlanır. Ayrıca onaylı kuruluş olarak, halen yurtdışındaki kuruluşlara ödenen CE, ADR gibi sertifika ücretleri bu kuruluşun geliri olabilir.Yasal düzenlemeyle, tüketilen patlayıcılara konulacak ek vergilerle de desteklenebilir.
b) Ayrı bir enstitü kurulamaması halinde ise, en azından TÜBİTAK'a bağlı SAGE Savunma Sanayi Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü bünyesinde, sivil amaçlı patlayıcılar konusunda bir alt bölüm oluşturulmalı ve sektöre teknik destek vermesi sağlanmalıdır.

Konu son derece ciddiye alınması gereken ülkemizde eksikliği hissedilen bir sorundur. Bu bildirinin amacı konuyu gündeme getirerek, hem sektör temsilcilerini, devlet kuruluşlarını hem de üniversitelerimizi harekete geçirmektir.

KAYNAKLAR

8.Beş Yıllık Kalkınma Planı,Kimya Sanayii İhtisas Komisyonu Raporu- Patlayıcı,2001
Erdil, M, 1996. *2.Delme ve Patlatma sempozyumu*, Maden Mühendisleri Odası, Ankara,265 s.
BAM- Federal Institute for Materials Research and Testing web sitesi, www.bam.de

Drilling and Blasting Technology of Modern Mines
Modern Madenlerde Delme ve Patlatma Teknolojisi

M. Erkayaoğlu
PhD, University of Arizona, Mining and Geological Engineering Dept.

Ö. Düzgün
Drill Blast Specialist, Centerra Gold Corp.

ABSTRACT Recent developments of technology used in mining generate vast amount of data related to all stages of operation. Increasing metal prices and demand guides mining industry to extend number of equipment and capacity. This leads to the requirement of managing equipment in detail and support decision-making with data. Technology developed for drilling and blasting operation provides information to measure drill rig and loading equipment performance and assess fragmentation of blasted material. Management of both equipment and operators becomes a new challenge and creates a new profession at mines. This paper covers the technological infrastructure for drilling and blasting activities of a modern mine. Examples from drilling and blasting operations of surface metal and coal mines are given to illustrate the level of technology utilization in US.

ÖZET Madencilikte kullanılan teknolojideki güncel gelişmeler, tüm operasyon aşamaları ile ilgili çok miktarda veri oluşturmaktadır. Artan metal fiyatları ve talep madencilik sektörünü ekipman sayısı ve kapasitesini genişletmeye yöneltmektedir. Bu durum ekipmanların detaylı şekilde yönetilmesi ve karar verme aşamasının veri ile desteklenmesi ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Delme patlatma operasyonu için geliştirilmiş olan teknolojiler, delici makine ve yükleyici ekipmanların performanslarının ölçülmesi ve patlatılmış malzemelerin parça boyutunun değerlendirilmesini sağlamaktadır. Ekipman ve operatörlerin yönetilmesi yeni bir sorun oluşturmakta ve madenlerde yeni bir iş pozisyonu yaratmaktadır. Bu bildiri modern bir madende delme ve patlatma aktiviteleri için gerekli teknoloji altyapısını ele almaktadır. Amerika'daki yer üstü metal ve kömür madenlerindeki delme ve patlatma operasyonlarında kullanılan teknolojinin düzeyi ile ilgili örnekler verilmiştir.

1 INTRODUCTION

Drilling and blasting operations are the initial stages of conventional surface mining. These stages of rock breakage have major impact on downstream processes such as crushing, grinding, and other mineral processing operations. Development of equipment technology in mining industry resulted in improvement of daily operations. One of the main contributions of technology is the introduction of Global Positioning System (GPS) and computer-aided systems on drilling and blasting equipment. Drill plans prepared in mine planning software can now be uploaded to drill rigs via Wi-Fi to aid the operator during collaring and locating blastholes. This leads to an increased accuracy and control in both drilling and blasting. Similarly, haulage and loading units are tracked and monitored by fleet management systems (FMS) to increase productivity on a continuous basis. This ongoing effort in improving processes throughout production became an essential part of daily operations in modern mines. Amount and variety of data has increased, as machinery is equipped with various

software and hardware. Importance of analyzing data and utilizing it in decision-making is key to success for continuous improvement.

2 DRILLING AND BLASTING RELATED TECHNOLOGIES

Technology is a core component of daily operations in modern mines. The management perspective at modern mines is built on the awareness of the potential benefit of utilizing data. Therefore, a data infrastructure to collect and integrate data is essential for data-driven mine management. Integration of different data sources and personnel that can manipulate data for analysis are of major importance. Equipment used in drilling, explosive loading, haulage, and loading is commonly tracked by systems that collect data to represent detailed movement and operating parameters. This valuable information is used for production, maintenance, and safety purposes. This paper introduces some of the technologies that are utilized by modern surface mines.

2.1 Drill Navigation and Monitoring System

Quality control in drilling operation is based on the accuracy of drilling blastholes on a mine bench. Moving the drill between blasthole locations can easily be performed by computer-aided screens that visualize hole locations marked with GPS (Gokhale, 2011). The difference between the locations of blastholes as they are designed in the mine planning software and as they are actually drilled defines a Key Performance Indicator (KPI) that a drilling and blasting manager should be evaluated on. Such KPIs are beneficial when presented in balanced scorecards for performance assessment.

Drill navigation system mainly consists of components that are installed on the drill and throughout the mine site. Transducers and sensors are installed on the drill to record measures such as position of drill head, rotary speed, torque, compressed air pressure, and drill level. A display monitor as seen in Figure 1 provides the operator with information while drilling.

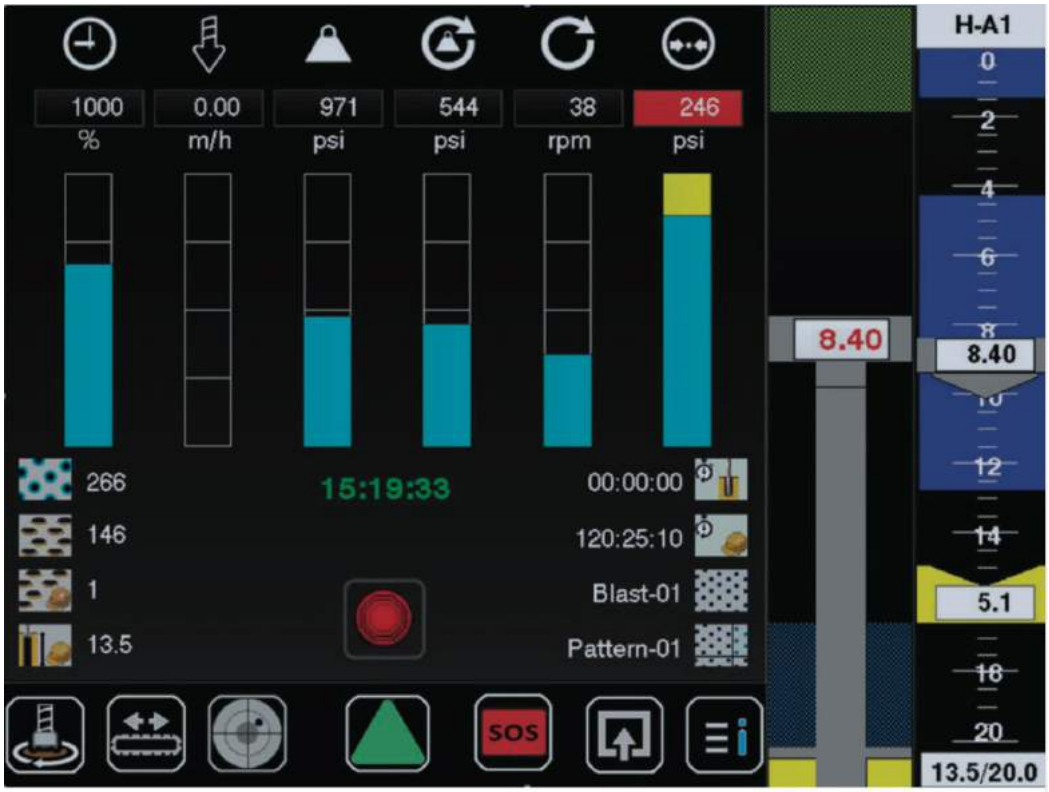


Figure 1. Operator display of a drill monitoring system (www.mining.cat.com)

Graphical user interfaces represent crucial drilling data such as rate of penetration (ROP) on a live basis together with other operational parameters such as target hole depth, air pressure, and etc. This way, the operator has a better control on the drilling operation and valuable data summarizing daily drilling operations is collected. GPS and Wi-Fi are essential pieces of the drill monitoring and navigation systems for communication. Ground stations for GPS and wireless network connections are essential pieces of a modern mine infrastructure. The on-board system, similar to a ruggedized PC system, ensures that data loss is prevented and provides an integration point with the fleet management system. Drill navigation systems are also fundamental pieces of autonomous drilling projects where blasthole locations are of major importance. Figure 2 represents the 3D visualization of the drill pattern.

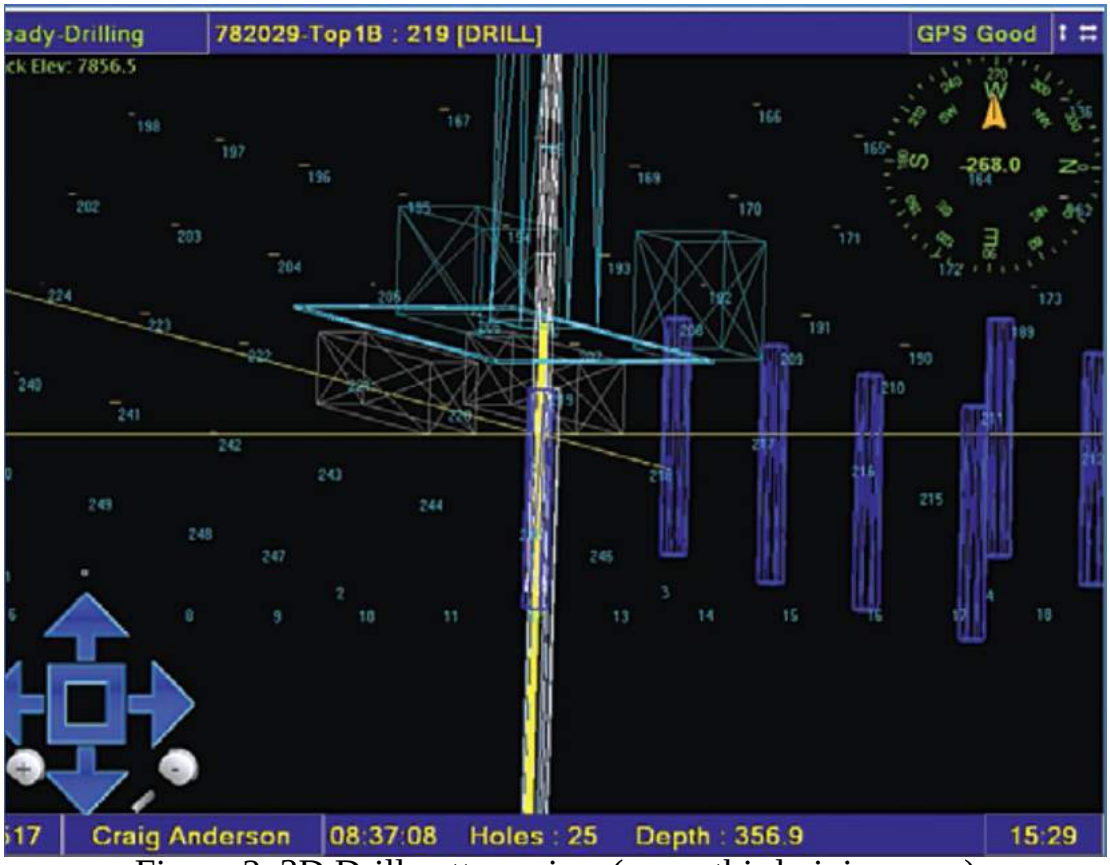


Figure 2. 3D Drill pattern view (www.tbirdmining.com)

Visualizing the drillhole pattern aids operators resulting in increased drillhole accuracy and could also be utilized as a training tool for new operators. Daily schedules prepared for drilling operations are difficult to follow without proper guidance. Data collected by drill navigation systems provide valuable information in real-time to supervisors, operators, and engineers. An environment where the same cleaned version of data is available creates new analytical opportunities

The concept of measurement while drilling has applications in underground where jumbos equipped with the system communicate via Wi-Fi with a workstation in the office and also in surface operations. Leung and Scheding (2015) utilized drill monitoring systems to identify coal boundaries at a surface mine without relating it to geophysical tests. Rotary drills were stated to be promising for estimating coal and non-coal rock boundaries efficiently. Hutchings and Humphreys (2011) investigated the importance of data in drilling and blasting operations by evaluating the technical and financial impact of drilling accuracy and water depth in blastholes. Geological conditions that are commonly investigated by characterizing drill chips might not be a feasible solution when large diameter blastholes (> 200 mm) are drilled. Hatherly, Leung and Scheding (2015) demonstrated how drill monitoring systems

could be beneficial when used together with geophysical measurement at an Australian coal mine. It was concluded that drill monitoring systems provide valuable data that could be related to rock conditions and used in fragmentation models.

2.2 Fragmentation Analysis

Performance of drilling and blasting operations is a major KPI and a valuable data source for daily operations and optimization concepts such as mine-to-mill. Size distribution of material after blasting or at various stages of size reduction has been the focus of research in this field. Technology is being utilized to take high-resolution images and process them by image processing algorithms. This enables evaluation of drilling, blasting, and comminution performance on real-time basis. Fragmentation analysis is based on image processing as seen in Figure 3.

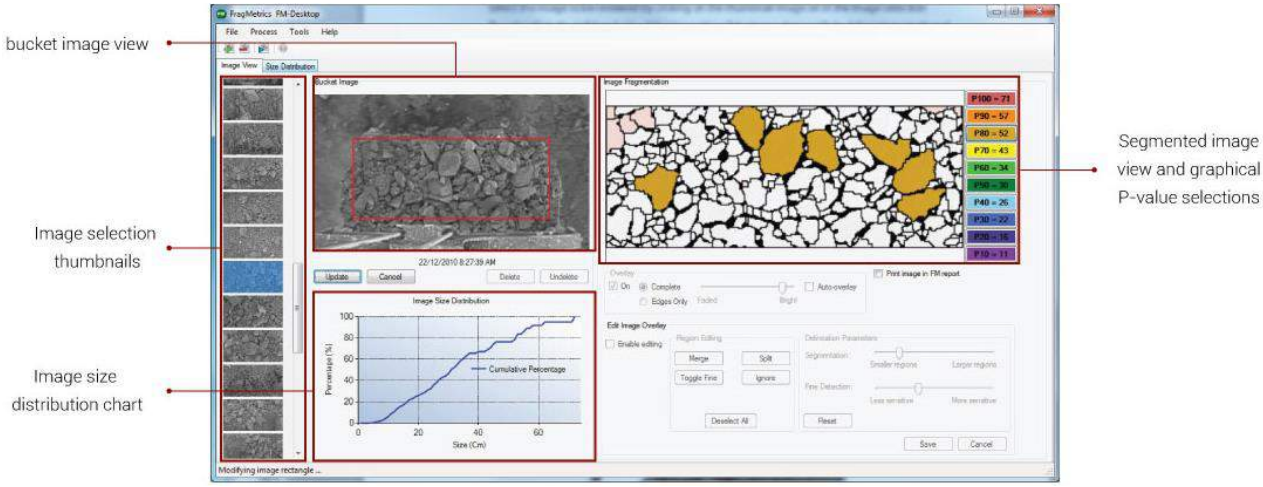


Figure 3. Fragmentation analysis software interface (www.motionmetrics.com)

Every bucket load of material is captured by cameras mounted on loading equipment, such as the shovel and sent to a server via Wi-Fi. High-resolution pictures are processed in software where particles are delineated and classified into different size ranges. Average percent passing results and other measures are then visualized and made available for further analysis. Proper illumination is of major importance for fragmentation analysis and is a fundamental part of analysis conducted on flowing material as seen in Figure 4.

Figure 4. Fragmentation analysis on belt conveyor (www.wipware.com)

Online systems can take pictures from belt conveyors on a continuous basis, analyze them automatically, and provide data for blast performance evaluation. Harsh environmental conditions at open pit mines are challenging for imaging devices and might cause inaccuracies. Manipulation of the images or correction of the analysis should be monitored closely by engineers that are familiar with the operation. Supervisors and engineers on site have to monitor the performance of this system at different pit locations as seen in Figure 5.

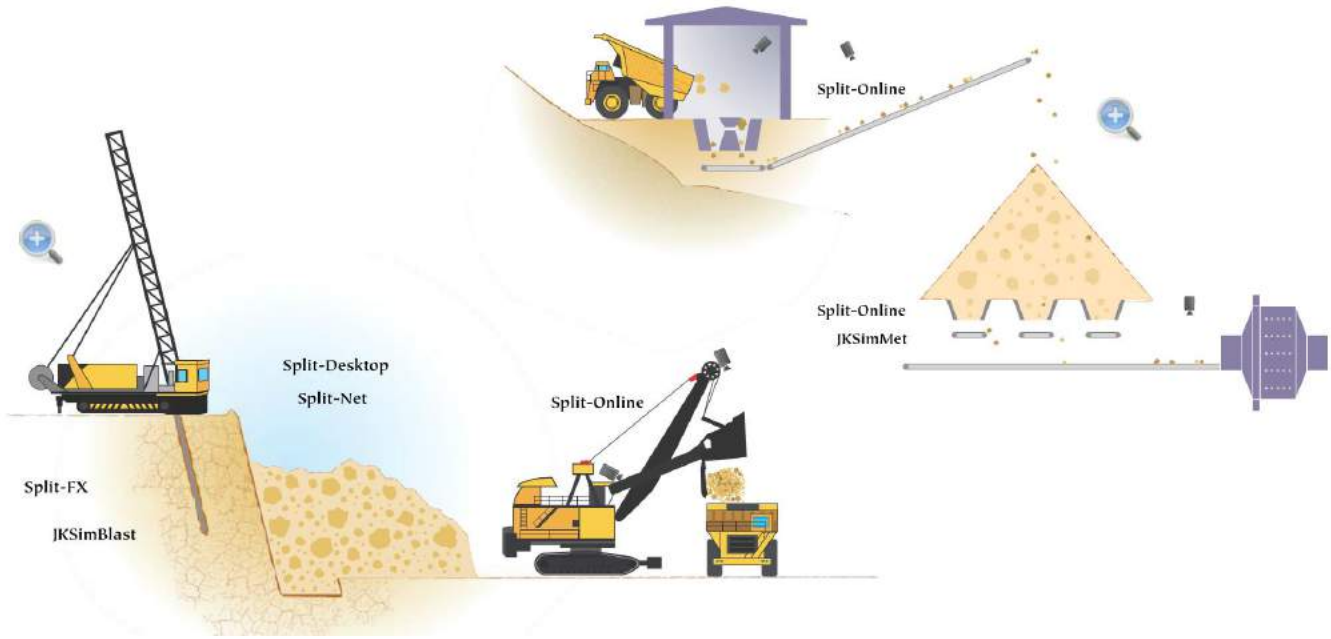


Figure 5. Drill and blast assessment system for open pit metal mines (www.spliteng.com)

Fragmentation analysis conducted both manually and by software provides passing size curves of blasted material. This data is a fundamental piece of data integration where drill navigation systems and the drill and blast assessment system are utilized. As introduced by Kemeny *et al.* (1993), image processing algorithms that were initially challenged by non-uniform lighting and shadows to delineate images in an efficient way for a three dimensional volume have undergone major improvement in time. Recent studies as Sameti *et al.* (2014) investigated the performance of a portable and compact device that can capture 3D images for fragmentation analysis. Improvement in technology will provide smarter equipment to be more cost efficient. Loading and haulage equipment adapted to dispatching with fleet management systems earlier than any other mining equipment.

2.3 Fleet Management System

The overall goal of optimizing production while reducing operational costs has to be supported by a technology infrastructure that is capable of collecting, integrating, and reporting on data. Fleet management systems are commonly used on mobile equipment such as haul trucks in surface mining. Detailed information about every movement of the equipment from a time and location perspective provides valuable knowledge about availability, utilization, and other performance measures. The system consists of base stations and on-board devices that communicate with satellites for location information and servers that collect data in relational databases. Relation data is kept in a format similar to spreadsheets breaking down the cycle of the equipment into smaller components with timestamps. Operators are provided with a touch-based screen where they can login and track their productivity real-time as seen in Figure 6.

Figure 6. Fleet management system components of a dozer (www.mining.leica-geosystems.com)

Dispatchers that commonly operate in a control room primarily control fleet management systems. A live map of the mine is utilized together with the real-time GPS locations of equipment. This way, the dispatcher can guide operators to correct pit locations and optimize production workflow. Fleet management systems could also be equipped with algorithms such as shortest path to make decisions without any human input. Figure 7 represents the dispatcher screen used to coordinate equipment.

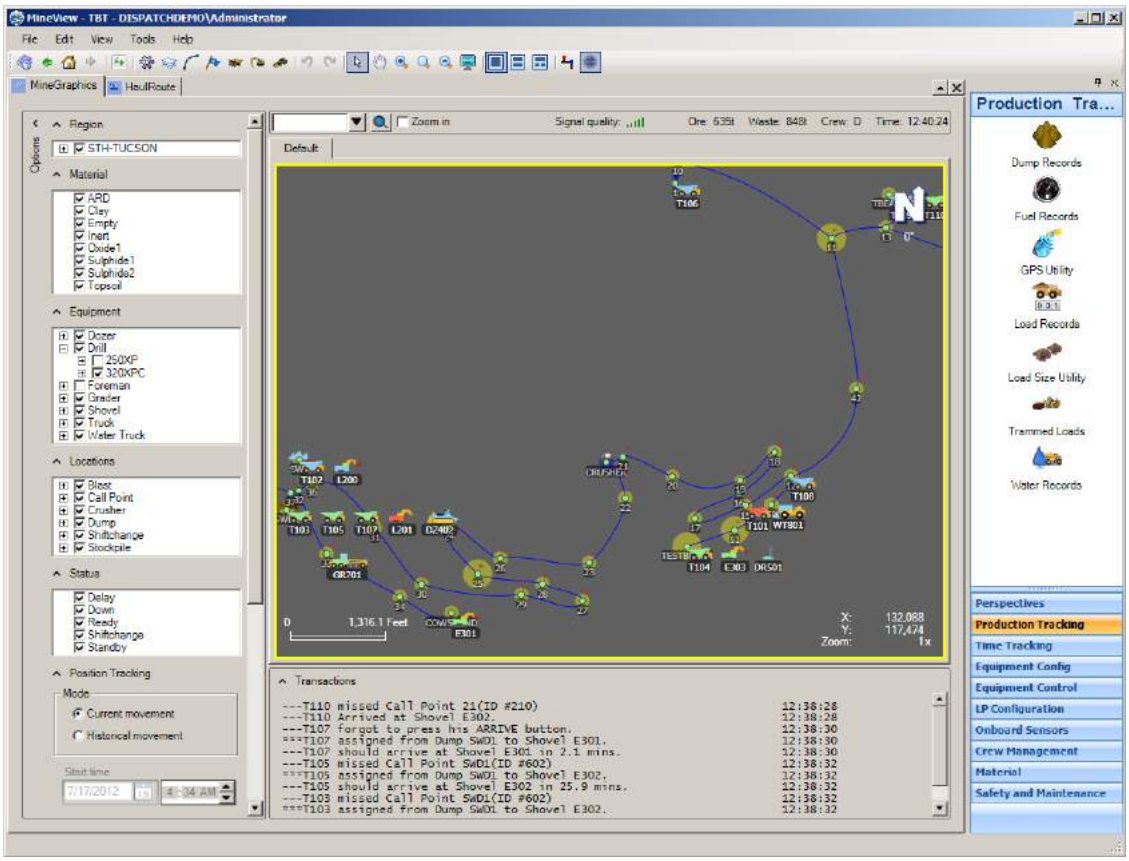


Figure 7. Dispatcher screen of fleet management system (www.modularmining.com)

Fleet management systems are an essential piece of modern mines for better, safer, and cost effective production. Scale of the operation commonly determines which technology is adapted on site. Quarries or surface operations that operate on a limited amount of equipment could select alternative solutions that use mobile devices such as smartphones or tablets. In-built GPS provides location information on a lower accuracy level, however, might be sufficient for certain operations. The popularity of smartphones and tablets created new application areas and will be utilized more commonly in the near future. Figure 8 represents a light fleet management system operating on tablets and smartphones.

Figure 8. Fleet management system operating on tablet and smartphone (www.misom.com)

Once data is collected by various systems, it has to cleaned and integrated for analysis and reporting purposes. Performance measurement and production management based on data are concepts that have been adapted by modern mines and is sustained as part of continuous improvement.

3 PERFORMANCE MEASUREMENT

Different levels of management coordinate all operational stages of mining. For drilling and blasting operation managers, supervisors, and operators build up the hierarchical structure. Each of these managerial levels are assessed by performance measures that are based on real data at modern mines. Reports are static environments that summarize certain events that occurred within a certain time range. Daily results for drilling and blasting might summarize number of holes drilled, total depth drilled, average vertical and horizontal accuracy, average F80, and other measures. Figure 9 represents a report for drilling and blasting operation.

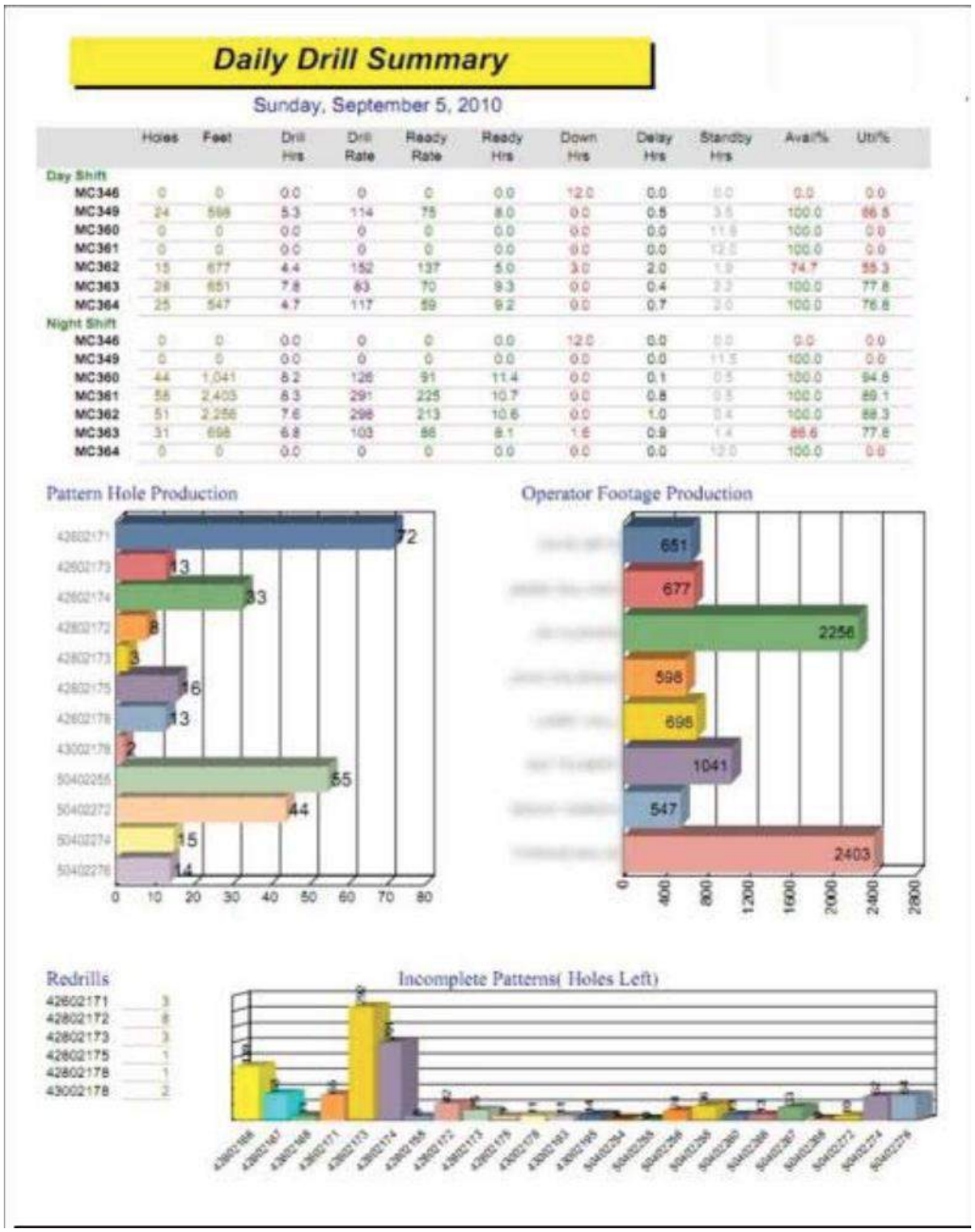


Figure 9. Daily drilling report (Vyenne, 2011)

Reports are essential for evaluating daily operations and short-term planning. Total number of holes drilled and number of holes redrilled are important measures that provide insight to drilling operator performance. However, integrating this data with fragmentation analysis and the fleet management system exposes the more extensive potential of drilling related data. Balanced scorecards are easy-to-adapt hybrid representations of both financial and operational performance measures. Figure 10 represents a balanced scorecard for drilling and blasting.

The balanced scorecard includes KPIs from other departments so that information shared between different operational stages creates communication points. Shared goals drive corrective action by exposing a single source of data to all operational personnel. Modern mines equipped with the network connectivity, database servers, and different systems on equipment have the capability to act on real-time data. Dashboards that visualize critical information give insight about the operation in a snapshot to mining engineers. Figure 11 represents an analytical tool that could be used to create dashboards.

Key Performance Indicators for:	2014-05-09	Last 30 Days	
Drilling		Average	Trend
Drilled Footage	1,762	3,511	▼
Number Holes Drilled	33.0	62.7	▼
Avg Penetration Rate (instantenous)	193.7	239.0	▼
Avg Hole Depth Drilled	53.4	55.6	▼
Avg Duration to Drill a Hole	30.5	39.2	▼
Number of Holes with no Design Pattern Percent	15%	18%	▲
Number of Holes with no Design File (RCS)	6.0	14.2	▼
Avg Drill Offset X (ft)	-0.1	0.2	▼
Avg Drill Offset Y (ft)	-0.7	2.4	▼
HorizontalAccuracy (X-Y)	0.7	1.1	▼
Blasting	**Actual**	**Average**	**Trend**
Number of Holes shot per Day	118.0	132.9	▼
Number of Plugged Holes	9.0	11.2	▼
Avg Hole Depth (ft)	50.5	52.1	▲
Avg Stem Height (ft)	20.3	19.7	▲
Avg Explosive Load Height (ft)	30.2	32.4	▲
Percent of Hole Explosive Loaded	60%	62%	▼
Avg Water Level (ft) per Hole	15.0	6.1	▲
Total Explosive Consumption (lbs)	172,920	198,933	▼
Total Emulsion (260-1 and 260-4) (lbs) consumptic	101,420	87,152	▼
Avg Explosive (lbs) charged per hole	1,465	1,494	▼
Total Emulsion (260-1 and 260-4) (lbs) consumption per Water (ft)	57.1	100.5	▲
Avg Explosive (lbs) consumption per foot loaded	48.6	46.6	▼
Split FragCam on Ore Shovels	**Actual**	**Average**	**Trend**
ES 18			
Avg F80	8.2	7.2	▼
Avg S3 (%)	60.4	65.8	▲
Max Topsize	51.0	48.5	▼
Number of Pictures per Truck Load	1.5	2.5	▼
Avg DigRate	4,277	3,636	▲

Figure 10. Balanced scorecard for drilling and blasting (www.misom.com)

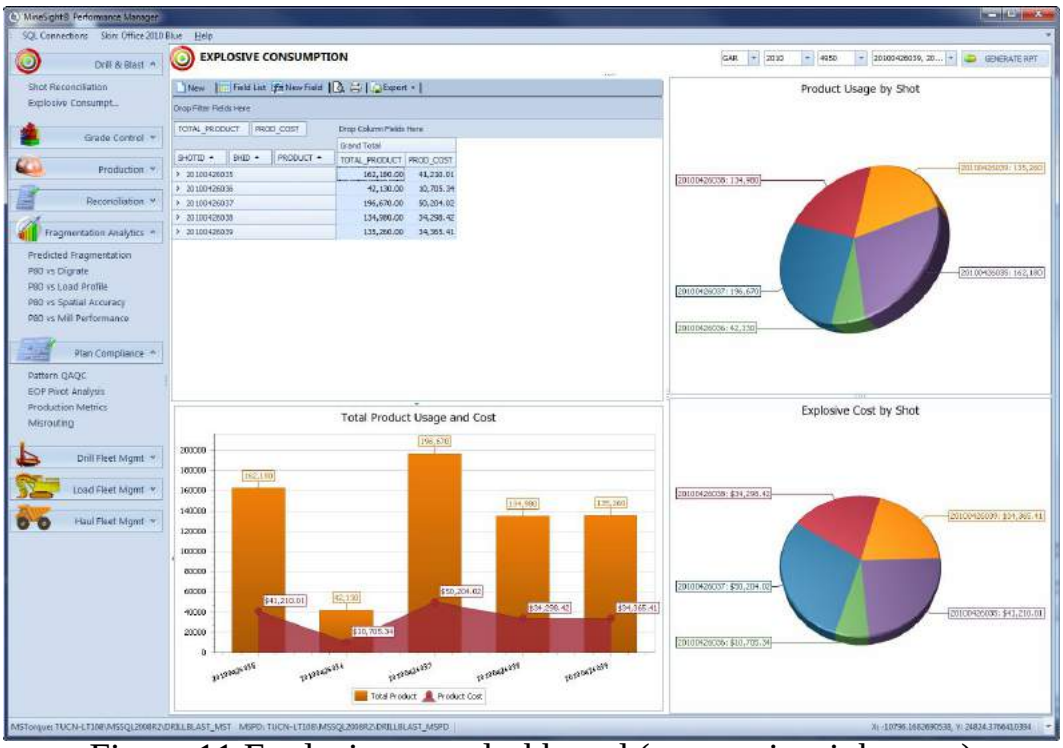


Figure 11 Explosive cost dashboard (www.minesight.com)

Performance measurement is a core component of mine management at modern mines. Utilizing data for decision making requires a technology infrastructure. However, changing the management mindset to recognize the necessity of such an infrastructure has also major importance for continuous improvement.

4 CONCLUSION

Mining industry utilizes a wide variety of equipment on site and requires technology to optimize daily operations. This study investigated recent technology related to drilling and blasting for surface mines. The role of people that are capable of analyzing data is as important as the technology itself. Mining engineering education has to consider innovative ways to adapt to recent technology in their curriculum. The scope of the technology infrastructure is related to the scale and financial potential of the mine. Alternative tools developed on mobile devices for drill navigation and fleet management could be a starting point. Mines have to be managed in a way that decision making and performance measurement is solely based on reliable data. Increasing drilling and blasting costs are controllable expenses. The essential management mindset is to measure production with available technology. Only events that are measured can be managed. An increase in drilling and blasting cost has to be interpreted in the correct way as it might not mean that the operations cost is high. On the contrary, total mine cost commonly decreases with additional investment in drilling and blasting. Some modern mines work on achieving a powder factor of 2 kg/tonne, which majorly benefited from ultra-high blasting technology. This points out that drilling and blasting, even with relatively high cost, still has the potential to compensate itself and reduce operational cost at surface mines.

REFERENCES

Gokhale, B. V. 2011. Rotary drilling and blasting in large surface mines. Boca Raton [FL]: CRC Press.

Hutchings, J. and Humphreys, M. 2011. The Importance of Data Collection to the Blasting Process, Explo 2011.

Hatherly, P., Leung, R., Scheding, S., Robinson, D. 2015. Drill monitoring results reveal geological conditions in blasthole drilling, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 78, s. 144-154.

Kemeny, J., et al. 1993, Analysis of rock fragmentation using digital image processing. Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 119, No. 7, s. 1144.1 160.

Leung, R. and Scheding, S. 2015. Automated coal seam detection using a modulated specific energy measure in a monitor-while-drilling context, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 75, s. 196-209.

Sameti, B., Ziraknejad, N., Azmin, A., Bell, I., Chow, E., Tafazoli, S., 2015. A portable device for mine face rock fragmentation analysis. Mining Engineering, Vol. 67(1), 16 s.

Vyenne, J., 2011. Drill monitoring systems and the integration with drill & blast software. 27th Annual Conference on Explosives and Blasting Technique Proceedings.

See the dollars in the details, September 2015, Retrieved from www.minesight.com

Terrain, Next generation drilling guidance technology, July 2015, www.mining.cat.com

J2Dozer, High precision dozer guidance, www.mining.leica-geosystems.com

Mine to Mill, Advanced solutions, July 2015, www.misom.com

DISPATCH, Fleet management system, August 2015, www.modularmining.com

FragMetrics, Fragmentation analysis software, July 2015, www.motionmetrics.com

Split Online System, Rock fragmentation analysis, September 2015, www.spliteng.com

DEI Plus, Drill monitoring system, www.tbirdmining.com

Momentum, Premium conveyor application, August 2015, www.wipware.com

Küresel ve Balistik Tip Buton Uçların Delme Hızı ve Aşınma Oranlarının Kumtaşı Kayacında Analizi

Analysis of the Penetration Rate and Wear of the Spherical and Ballistic Type Button Bits on Sandstone Rock

O. Su

Bülent Ecevit Üniversitesi, ZMYO, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Zonguldak

ÖZET Yeraltı ve yerüstü tünel veya galeri ilerlemelerinde yaygın olarak delme patlatma yöntemi uygulanmaktadır. Bu yöntemde deliklerin delinmesinde uygun uç kullanımı hem maliyetleri düşürür ve hem de delicinin ömrünü uzatır. Bu amaçla kullanılan uçlardan iki tanesi küresel ve balistik şekilli uçlardır.

Bu çalışmada, TTK Karadon müessesesinde kullanılan bir elektro hidrolik jumbo deliciye monte edilen küresel ve balistik tipteki uçların ince taneli kumtaşı kayacındaki performansı delme hızı ve aşınma oranları açısından değerlendirilmiştir. Bu amaçla -460 kodundaki bir lağımda patlatma delikleri delinmiştir. Daha sonra delik boyları ölçülmüş ve delme süreleri kayıt edilmiştir. Buna göre iki farklı ucun delme hızları hesaplanmıştır. Ayrıca, uçların 1 m ilerlemede oluşan ağırlık kaybı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde küresel ucun TTK Karadon müessesesindeki kumtaşı formasyonunda daha uzun ömürlü ve daha hızlı delik deldiği belirlenmiştir.

ABSTRACT Drilling and blasting method has been widely applied in underground tunnel and gallery advancements. Appropriate bit employed during drilling decrease the drilling costs and also extends the life of the drill. Two types of bits commonly used for this purpose are in spherical and ballistic shapes.

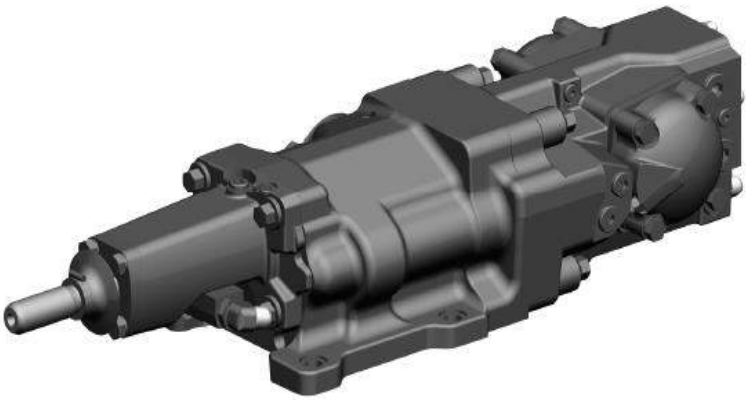
In this study, the performance of spherical and ballistic bits, which mounted on the E-H jumbo drill in TTK Karadon colliery, were evaluated in terms of penetration rate and bit wear on fine grained sandstone. In this context, a number of blastholes were drilled in a drift at the -460 level. Then, the length of the holes was measured and also drilling times were recorded. Accordingly, drilling rates of two separate bit types were calculated. In addition, the weight loss of bits at the advancement in per meter was investigated. As a result, it was found that the spherical button bits have longer bit life and faster drilling rates in sandstone formation at Karadon colliery of TTK.

1 GİRİŞ

Jumbo deliciler madencilik ve tünelcilik alanında delik delmede kullanılan vazgeçilmez makinalardır. Genellikle delme patlatma yönteminin uygulandığı tünellerde veya galerilerde kullanılmakla birlikte açılacak kesit genişliğine göre 2 veya 3 bomlu olarak da çalışmaktadırlar.

Formasyonun dayanımına bağlı olarak jumbo üzerine monte edilen döner veya döner-darbeli esasına göre çalışan tabancalar ile delikler delinir. Yumuşak formasyonlarda genellikle döner,

orta sert veya sert formasyonlarda ise döner-darbeli pnömatik veya hidrolik delme tabancaları kullanılır (Şekil 1).

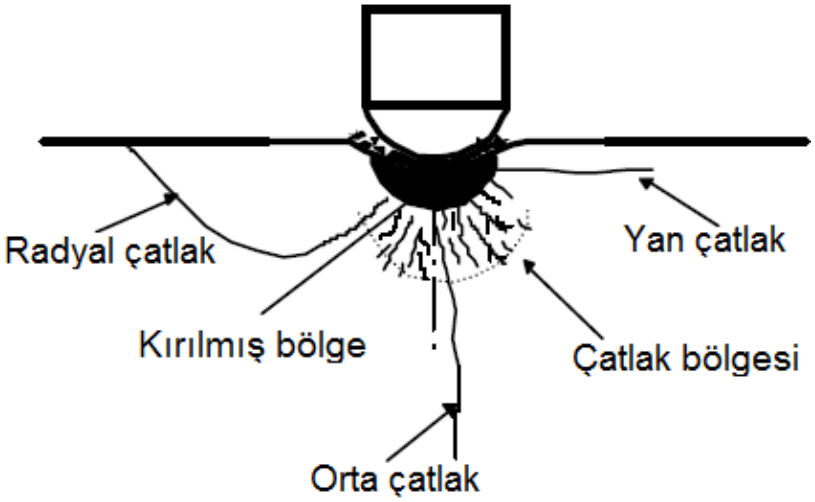


Şekil 1. Sandvik RD520 hidrolik delici tabanca (Sandvik 2011).

Döner-darbeli delici tabancalarla çoğu zaman üretim amaçlı patlatma delikleri delinirken, bazen de gevşek formasyonlarda tavanı sağlamlaştırma amaçlı ankraj ve enjeksiyon delikleri açılmaktadır. Bu bağlamda delme amacına bağlı olarak farklı çaplarda buton uçlar (bitler) kullanılır. Delme işleminin yapılacağı formasyonun fiziksel ve mekanik özellikleri, kayacın çatlaklı veya çatlaksız olması bu noktada oldukça önemlidir. Tüm bu özellikler göz önüne alınarak uygun bir uç seçimi yapılır. Yaşar vd. (2011) kayacın fiziko-mekanik özellikleri ile delicinin bazı çeşitli işletme parametreleri arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Kayacın bu özelliklerine göre yanlış yapılacak bir uç seçimi hem delme maliyetlerini arttırır ve hem de ilerleme hızlarını düşürür. Bunun yanı sıra delicinin ömrü de kısalacak ve sık sık bakım-onarım ihtiyacı gerekecektir.

Darbe ile çalışan delici tabancalarda en önemli eleman pistondur. Piston tarafından üretilen darbe enerjisi şank ile tije iletilir. Tije monte edilen buton uç baskı ve dönmenin de etkisiyle kayaç içerisine batar ve böylece ilerleme sağlanır. Bu sırada kayaç bünyesinde ilerleyen mikro ve makro çatlaklar uç etrafında çeşitli yenilme bölgelerini oluşturur (Şekil 2).

Kim vd. (2013) homojen kayaçta Split Hopkinson basınç bar deney aletini kullanarak döner darbeli delicilerin üretilen darbe enerjisi ölçmüşler ve kayacın dinamik dayanımının değerlendirmişlerdir. Bu bağlamda delik delme verilerinden yararlanarak farklı kayaçların spesifik enerji değerlerini hesaplamışlardır.

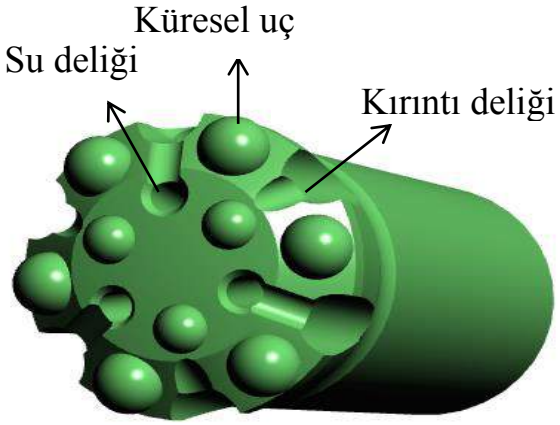


Şekil 2. Buton uç etrafında meydana gelen yenilme zonları (Kou vd. 2004).

2 BUTON UÇ TÜRLERİ

Döner-darbeli tabancalı delicilerde üstten ve delik dibi darbeli olmak üzere iki şekilde delik delinir. Üstten darbelilerde klasik buton uçlar kullanılırken, delik dibi darbelilerde konkav ve konveks yüzey şekilli tasarlanmış buton uçlar kullanılır.

Kayacın karakteristik özellikleri ucun tasarımında oldukça önemlidir. Uç çapı arttıkça, uç üzerindeki buton sayısı da artar. Bu bağlamda uç çapına bağlı olarak uç üzerinde 6-13 arasında değişen buton sayısı bulunur. Bu sayı üretici firmalara göre değişkenlik gösterebilir. Özellikle delik dibi darbeli delicilerde kullanılan uçlardaki buton sayısı daha fazladır. Bunun yanı sıra ucun ön ve yan yüzeyinde su kanalları bulunur. Bu kanalların sayısı kazı yapılacak kayacın dayanım ve aşındırıcılık özellikleri göz önüne alınarak tasarlanır. Kayacın aşındırıcı mineral içeriğinin fazla olması halinde tek su kanallı, az aşındırıcı veya aşındırıcı olmayan kayaçlarda ise 2 veya 3 su kanallı buton uçlar tercih edilebilir.



Şekil 3. Küresel şekilli bir ucun tasarım parametreleri.

Bhatnagar vd. (2011). mermerin elmasla delinmesi sırasında bu su kanallarından verilen suyun etkisini laboratuvar ortamında araştırmışlardır. Bu bağlamda bazı makina parametrelerini ve suyun konsantrasyon oranlarını değiştirmişler ve suyun içindeki kimyasal maddelerin delme performansına etkisini incelemişlerdir. Tuomas (2004) su ile desteklenmiş darbeli delicilerdeki 100 mm çapındaki pistonun davranışını analiz etmiş ve daha sonra aynı işi sayısal olarak modellemiştir. Kayacın elasto plastik olduğu varsayılmış ve böylece her darbede absorbe edilen enerji kayacın parçalanmasına harcanmıştır. Buna göre 60 Hz'lik darbe frekansında laboratuvar ve modelleme sonuçlarının uyumlu olduğu belirlemiştir.

Buton uçlar kayacın dayanımına ve aşındırıcılığına bağlı olarak çeşitli şekillerde üretilirler. Bu bağlamda en yaygın olarak tasarlanan uçlar Şekil 4'te görülen küresel, yarı balistik ve tam balistik (konik) tiptekilerdir.

Şekil 4. Buton uç şekilleri (Thuro 1997).

Kayacın dayanımı yüksek olduğu hallerde küresel, yumuşak olması halinde ise balistik uçlar tercih edilmektedir. Ayrıca, küresel uçlarda aşınma geç oluşmakla birlikte, aynı koşullarda balistik uçlarda aşınma daha erken meydana gelmektedir.

3 ARAZİ ÇALIŞMALARI

Zonguldak Taşkömürü Havzası'nda birçok galeri ve lağım ilerlemelerinde klasik delme-patlatma yöntemi uygulanarak hazırlıklar sürdürülmektedir. Ocaklarda gaz gelirinin fazla olması, ayaklardaki toz miktarı yoğunluğu, jeolojik arıza ve fayların fazla olması, damar kalınlıklarının sürekli değişkenlik görülmesi vb. nedenlerden dolayı mekanize kazı araçları kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu bağlamda delikler çoğunlukla martoperferatörlerle delinmekte ve patlatılmaktadır.

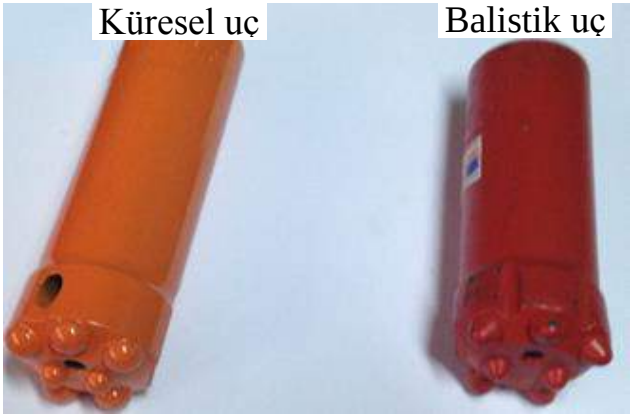
Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) Karadon müessesesi -460 kodundaki B14 kollektör lağımında çalışan bir elektro hidrolik jumbo delici bulunmaktadır (Şekil 5).

Şekil 5. E-H jumbo delici ile arında delik delme işlemi.

Döner-darbeli tipteki bu delici TTK'nın beş müessesesi içerisinde aktif olarak çalışan tek delici makinadır. Son dönemlerde alınan bazı güvenlik önlemleri kapsamında bu delicinin de çalıştırılması geçici olarak durdurulmuştur.

3.1 Delme Hızının Belirlenmesi

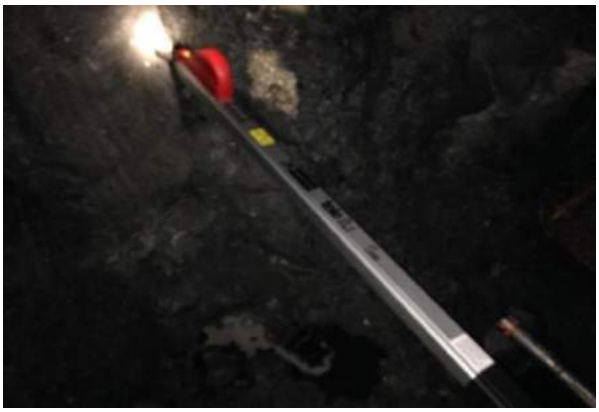
Küresel ve balistik şekilli 28 mm çapındaki buton uçlar TTK Karadon müessesesinde bulunan E-H jumbo deliciye takılmıştır(Şekil 6). Bu amaçla kumtaşı formasyonunda lağım sürmek üzere açılan patlatma deliklerinde uçların delme hızları belirlenmiştir.



Şekil 6. Arazi çalışmalarında kullanılan buton uçlar.

Delik delme işleri sırasında kronometre ile delme süreleri, baskı, darbe miktarları kayıt edilmiş ve daha sonra teleskobikmetre ile delik boyları ölçülmüştür (Şekil 7). Tüm ölçümler

tamamlandıktan sonra delik boyunun delme süresine oranından her iki ucun delme (ilerleme) hızları hesaplanmıştır.

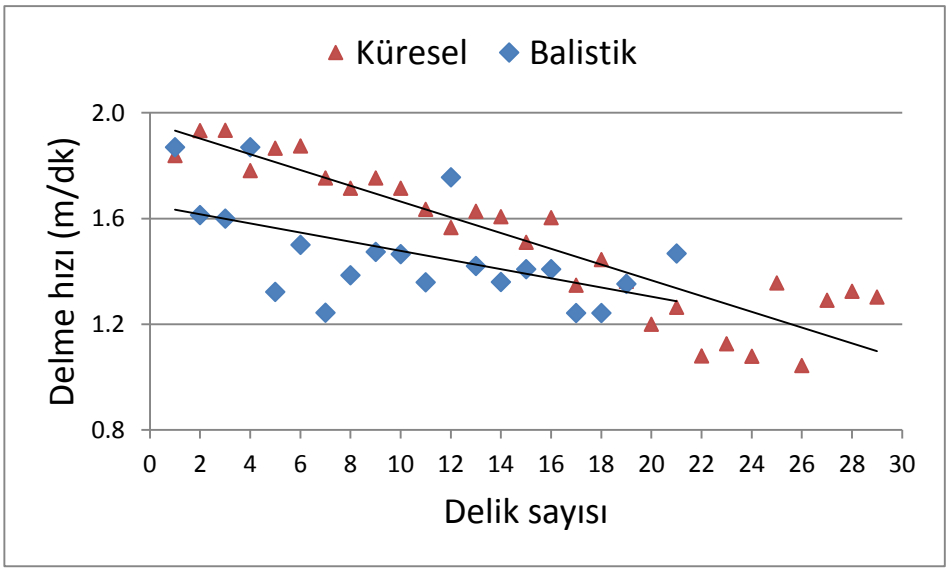


Şekil 7. Teleskobikmetre ile delik boyunun ölçümü.

İlk ölçümler küresel uçla yürütülmüştür. Buna göre 29 delikte toplam 50,09 m uzunluğunda delik delinmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde ilk 10 delikte ortalama 1,82 m/dk ilerleme hızı sağlanmış, sonraki 10 delikte ilerleme hızı 1,49 m/dk'ya düşmüş ve en son delinen 9 delikte de 1,22 m/dk'ya kadar azaldığı görülmüştür.
Bu sonuçlara göre delme işlemi devam ettikçe delme hızı düşmüş ve çok kararlı delme hızları elde edilememiştir (Şekil 8). Bunun nedeni makina ve formasyondan kaynaklanmaktadır. E-H delici oldukça eskidir ve sürekli bakım-onarım gerektirmektedir. Ayrıca, arının çatlaklı olması delme işlerini zorlaştırmıştır. Bu yüzden delme çalışmalarında tam olarak bir kararlılık tespit edilmemiştir. Tüm sonuçların aritmetik ortalaması alındığında küresel ucun 1,51 m/dk delme hızına sahip olduğu belirlenmiştir.

Aynı galeride daha sonra tam balistik (konik) şekilli buton uçlarla delikler delinmiştir. Bu uçla yapılan delme işlerinde ise ilk 10 delikte 14,67 m uzunluğunda delik delinmiş ve ortalama delme hızının 1,53 m/dk olduğu belirlenmiştir. Daha sonra 9 delik daha delinmiş ve toplam 27,06 m uzunluğunda delik delinmiştir. Bu sırada delme hızı 1,39 m/dk'ya düşmüştür. Balistik uçla yapılan ölçüm sonuçlarına göre ortalama ilerleme hızının 1,46 m/dk olduğu hesaplanmıştır.

Delme hızına bağlı olarak yapılan ölçümlerin sonuçları Şekil 8'de sunulmuştur.

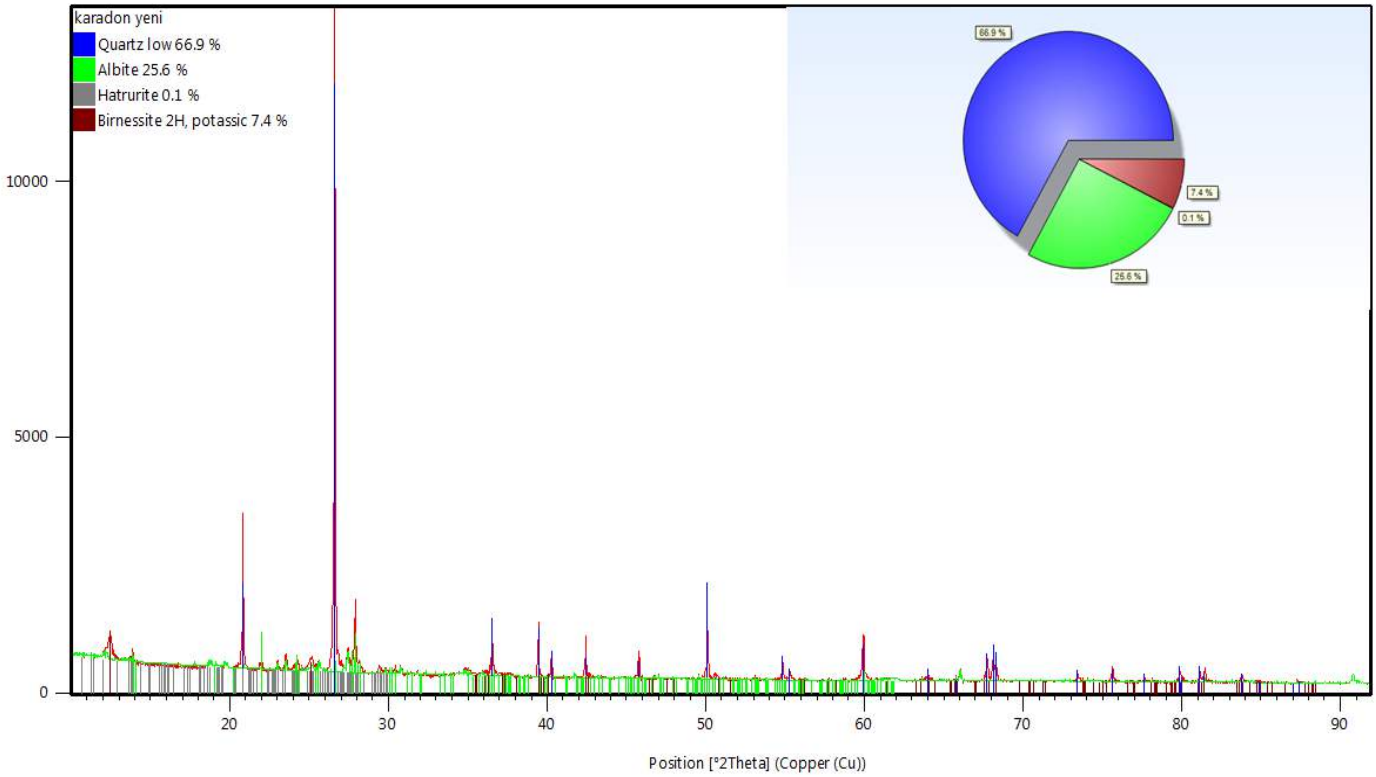


Şekil 8. Uç türüne bağlı olarak delme hızında belirlenen değişim.

Elde edilen sonuçlara göre küresel ucun ortalama delik delme hızı 1,51 m/dk ve balistik ucun 1,47 m/dk olduğu hesaplanmıştır. Şekil 8'den de net olarak gözlemlendiği üzere delme hızları üzerindeki eğilim çizgisinin küresel uçta daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre TTK Karadon müessesesinde yürütülecek delme işlerinde küresel şekilli uçların kullanılması günlük ilerleme hızlarını arttıracaktır.

3.2 Aşınma Miktarının Belirlenmesi

Delme hızlarının yanı sıra uçtaki aşınma miktarı, delme performansını etkileyen bir diğer önemli faktördür. Bu sebeple kumtaşının aşındırıcılığına bağlı olarak delme işleri öncesi ve sonrasında ucun ağırlık kaybı incelenmiştir. Bu amaçla ilk olarak kumtaşı kayacının XRD analizi yapılmış ve içerisindeki aşındırıcı mineral oranı belirlenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Kumtaşı kayacının XRD analizi sonuçları.

Şekil 9'da görüldüğü üzere kayaç içerisindeki kuvars içeriğinin oldukça yüksek (%67) orandadır. Bunun yanı sıra %26 oranında da albit minerali içermektedir. Dolayısıyla deliklerin delindiği kumtaşı kayacı aşındırıcı minerallerden oluşmaktadır. Bu nedenle kullanılan buton uçlar erken aşınmakta ve sık sık uç değişimi yapılmaktadır.

Aşınmanın delme sırasındaki etkisini gözlemlemek için delme işlerine başlamadan önce her iki buton ucun ağırlıkları tartılmıştır. Küresel şekilli buton uçta delme çalışmaları tamamlandıktan sonra (yani 50,01 m ilerlemede) 7,91 gr ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Buna göre ortalama aşınma oranı 0,16 gr/m olarak hesaplanmıştır.

Diğer taraftan, balistik uçla 27,06 m uzunluğunda delik delinmiş ve uçta 3,1 gr'lık ağırlık kaybı belirlenmiştir. Bu bağlamda ortalama aşınma oranı 0,11 gr/m olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar ışığında balistik uçla yine 50 m uzunluğuna kadar delik delindiği farz edilirse aşınmanın 0,16 gr/m'nin üzerinde olacağı açıktır. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar aşınma açısından değerlendirildiğinde küresel ucun daha uzun ömürlü ve performansının da daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

4 SONUÇLAR

Küresel ve balistik türde iki ucun delme performansları ilerleme hızı ve uç aşınması açısından değerlendirilmiştir. Buna göre jumbo delicinin küresel uçların ilerleme hızının formasyonun kırıklı veya masif olmasından etkilenmeksizin balistik uca göre nispeten daha hızlı olduğu, bunun yanı sıra eşit mesafede delik delindiğinde küresel ucun aşınma oranının daha düşük olacağı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, Karadon müessesesinde delme işlerinde küresel uç kullanımı hem delme hızı ve hem de uç ömrü açısından daha verimlidir. Ancak, sonuçların güvenilirliğini arttırmak için daha fazla delik delinmesi ve uçlar tamamen aşınana kadar delme işlerine devam edilmesi daha verimli olacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmanın yürütülmesine destek sağlayan BEÜ'nin 2014-29011448-01 no'lu Bilimsel Araştırma Projesine ve değerli yardımlarından dolayı TTK Karadon Müessesesinde çalışan Maden Müh. Nurettin Yıldız'a teşekkürü bir borç bilir.

KAYNAKLAR

Bhatnagar, A, Khandelwal, M, Rao, KUM, 2011. Laboratory investigations for the role of flushing media in diamond drilling of marble, *Rock Mech Rock Eng*, 44, 349–356.

Kim, KY, Kim, KS, Kim, CY, (2013) Assessment of specific energy in rotary percussive drilling on the homogeneous rock mass. http://www.ctta.org.

Kou, SO, Liu, HY, Lindqvist, PA, Tang, CA, 2004. Rock fragmentation mechanisms induced by a drill bit, *SINOROCK*, 6 p (in CD).

Sandvik 2011. Sandvik teknik özellikler kataloğu, 3s

Thuro, K, 1997. Drillability prediction: geological influences in hard rock drill and blast tunneling, *Geol Rundsch*, 86, 426-438.

Tuomas, G, 2004. *Water powered percussive rock drilling process analysis, modelling and numerical simulation*, Ph.D. Thesis, Lulea University of Technology, 43 p.

Yaşar, E, Ranjith, PG, Viete, DR, 2011. An experimental investigation into the drilling and physico-mechanical properties of a rock-like brittle material, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 76, 185–193.

Rotari Sondaj Matkaplarının Optimum Seçimi ve İşletilmesi İçin Yeni Bir Yöntem

A New Method to Optimize the Rotary Drill Bit Selection and Operation

H. Ergin, Ö. Acaroğlu, M. Toker
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

B. Ergener, D. Akkriş
Atlas Copco, İstanbul

ÖZET Bu çalışmada rotari sondaj matkaplarının seçimi ve kullanımını optimize eden yeni bir yöntem tanıtılmaktadır. Çalışmanın amacı, delinebilirliğe etki eden kayaç parametreleri ile gerçek boyutlu laboratuvar delik delme çalışmaları ve yerinde arazi uygulamalarından elde edilen datalar arasında regresyon analizi ile delme hızı tahmin modellerinin geliştirilmesidir. Bu çalışmada; öncelikle kayaç örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenecektir. Kayaç koşullarına uygun olan farklı üreticilerin tavsiye ettikleri gerçek boyutlu matkaplar, bu matkapların kontrollü koşullarda test edilmesine imkân tanıyan yatay sondaj makinesinde sistematik olarak test edilip; delme hızı, matkap tasarımı ve işletme parametreleri en uygun matkabı bulmak amacıyla araştırılacaktır. Yatay sondaj makinasında baskı kuvveti ve rotasyon parametrelerinin etkisi sistematik olarak test edilebilmektedir. Elde edilen verilerin detaylı analizleri ışığında matkapların spesifik delme hızı, spesifik aşınma ve spesifik enerji tüketimi belirlenmektedir.

ABSTRACT This paper reviews current state to the art to rotary drill bit selection and operation and also introduce a new method for optimizing this process. The research done so far are examined those are the rock properties affecting the drillability, the full scale laboratory studies, the observation of field practice and the regression analysis of this data to develop penetration rate estimation models. In the new method introduced at this paper; the physical and mechanical parameters of rock samples are firstly determined. Then, systematic drilling tests are carried out in Horizontal Drill Rig using real bits recommended by different manufacturers according to rock conditions. The relation between the penetration rate and the bit design and operational parameters are investigated to find the most suitable bit. In the light of data produced the detailed analysis are carried out to define the specific penetration rate, specific wear rate and specific energy consumption for different bits.

1 GİRİŞ

Delik delme işlemi; yerkabuğunda bulunan değerli maddelerin (maden, petrol, doğalgaz, sıcak su vb.) aranması, değerlendirilmesi ve işletilmesinde; enjeksiyon ve zemin sağlamlaştırma, drenaj, baraj, tünel gibi inşaat projeleri yanında açık ocak maden işletmelerinde delme-patlatma işlerinin yapılmasında çok önemli bir yere sahiptir. Çok pahalı bir operasyon olan sondaj işlemi ileri düzeyde teknik bilgi ve teknoloji gerektirmektedir. Sondaj maliyetlerinde kuyunun hızlı bir şekilde tamamlanmasında en büyük etken olan matkapların (delici uç) tasarımı ve proje şartlarına göre en uygun matkabın seçilerek optimum koşullarda işletilmesi son 20 yıllık dönem içerisinde çok yoğun ve geniş çalışmaların yapıldığı araştırma konularından biridir. Konu ile

ilgili yönelimler, delik delme ekonomisinin büyük oranda bağlı olduğu "matkap ilerleme hızının" ve "matkap ömrünün artırılmasına" yöneliktir. Döner sondaj yönteminde değişik formasyon koşulları için önerilen çok sayıda değişik firma tarafından üretilmiş Üç konili matkaplar (çelik ve tungsten karbür dişli), PDC matkaplar, elmas matkaplar (yüzey taşlı elmas ve emprenye elmas matkaplar) kullanılmaktadır. Ayrıca henüz endüstriyel uygulaması yaygın olmayan mini diskli ve kesici parçaları sökülebilen dual matkap üretimi için de çalışmalar mevcuttur. Delik delme işleminde birçok parametre delme verimliliğini etkilemektedir. Delinen kayaçların özellikleri delinebilirliği ve ilerlemeyi en fazla etkileyen parametreler olup, özellikle dikkate alınmaları gerekmektedir. Bu iki terim delme sisteminin ilerleme hızına kayaçların fiziksel, mekanik ve dokusal parametrelerinin eşzamanlı etkisini tarif etmek için kullanılmaktadır (Singh vd. 2009). Her bir kayaç parametresinin niteliksel ve niceliksel etkisini bilmek çok önemlidir.

İlk araştırmacılar kayaç parametrelerini doğrudan delinebilirlik ölçüsü olarak kullanmışlardır. Kayaçların sertlik ve dayanıklılığına bağlı delme hızını ifade eden bir teori öneren Paona ve Bruce delme hızını doğrudan kayaç dayanımı ile ilişkilendiren araştırmalar yapmışlardır (Paona vd., 1963). Hartman darbeli delme sonucu oluşan çukurun hacmi ile temel değişkenler arasındaki ilişkiyi araştırmıştır (Hartman 1962). Rotari delmede bir konik matkap için kayaç çatlak modeli geliştirilmiş, her bir dişin bağımsız hareket ettiği kabul edilmiştir. Daha sonra oluşan çatlakların rotari gücü, yatay ve dikey kuvvetlerle ilgili olduğu belirlenmiştir (Eronini vd., 1982).

Tek bir kayaç parametresinin kayaç örneği üzerinde etkisini test etmek matkap seçiminde ve kullanımında hatalara neden olabileceğini göz önüne alınarak son yıllarda çeşitli araştırmacılar ağırlıklar ve oranlar ile her bir parametrenin diğer parametre ile olan ilişkisini hesaba katan kayaç sınıflandırma sistemlerine yoğunlaşmaktadır. Bütün parametrelerin dikkate alınması delme verimliliğinin iyileştirilmesini sağlayacak, işletme maliyetini ve aşınmayı düşürecektir (Thuro, 1996; Hoseinie vd., 2009). Bu bağlamda yapılan önemli fizikomekanik kayaç özelliklerinin ilerleme hızına etkileri belirlenmiştir (Singh vd., 2009).

Kayaçların mekanik özellikleri ve jeolojik koşulları içeren formasyon özelliklerinin yanında matkap tipi, tasarımı, malzeme kalitesi gibi matkabın özellikleri ile işletme parametreleri de delme işlemini ve matkapların aşınmasını etkiler (Praillet, 1990; Praillet 1998; Koronka vd., 2009; Opafunso vd., 2008). Bu çalışmanın amacı en iyi performans veren matkabı seçmek ve belirli kayaç koşulları için delme parametrelerini optimize etmek için kullanılacak yeni bir yöntemi tanıtmaktır.

2 KULLANILAN YÖNTEMLER

Bu bölümde günümüzde kullanılan matkap seçme yöntemleri kısaca anlatılmaktadır.

2.1 Matkapların Sınıflandırma Sistemi IADC'nin Kullanılması

Yıllar önce, Uluslararası Sondaj Müteahhitleri Birliği (IADC) çelik ve tungsten karbür dişli rotari matkaplar için 6 temel formasyonu içerecek şekilde geliştirilen bir sınıflandırma sistemi tanımladı. Her iki matkap tipi için ayrı ayrı tanımlanan seriler sekiz adettir. Her bir seriyi ifade eden kodun ilk rakamı formasyon sertliğini göstermekte ve sertlikle birlikte artmaktadır. İkinci rakam ise 4 alt zonu göstermekte olup, rakamın artmasıyla birlikte yine sertliğin arttığı ifade edilmektedir (World Oil, 2008). Rotari matkapların IADC kodlarına karşılık gelen formasyonlar aşağıdaki gibidir:

- Yapışkan tabakalı ve düşük basınç dayanımlı formasyonlar, örneğin kil, marn IADC serisindeki karşılığı 1 ve 4.
- Düşük basınç dayanımlı ve yüksek delinebilirlik özelliğine sahip formasyonalar, örneğin marn, tuz, anhidrit ve şeyl (IADC serisi 1ve 4).

- Düşük basınç dayanımı arada sert tabakalanmaların olduğu yumuşak orta sert formasyonlar, örneğin kum, şeyl ve kireç (IADC serisi 5).
- Yüksek ve çok yüksek basınç dayanımına sahip ancak aşındırıcı olmayan veya çok az aşındırıcı olan tabakalar içeren orta-sert formasyonlar, örneğin şeyler, çamurtaşı, kumtaşı, kireçtaşı, dolomit ve anhidrit (IADC serisi 2 veya 6).
- Yüksek basınç dayanımına ve ara ara yüksek aşındırıcı tabakalara sahip sert formasyonlar, örneğin siltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı (IADC 3 veya 7).
- Çok sert ve aşındırıcı formasyonlar, örneğin Kuvarsit, volkanikler (IADC serisi 8).

2.2 Matkap Üretici Firmaların Katalogları ve Tavsiyeleri

Üretici firmaların dokümanları matkap ismi, model numarası, IADC kodu, boyut aralığı, tavsiye edilen baskı kuvveti ve dönme hızı ve diğer spesifik yapısal ve operasyonel özellikleri içerir (Varel, 1991;Walker, 1998; Hughes, 1989; Rockmore, 1996). Matkap üreticilerinin sağladığı bilgiler kullanılarak uygun matkap ve işletme parametreleri seçilebilir.

2.3 Tam Boyutlu Laboratuvar Sondaj Deneyleri

Gerçek sondaj dizisi içeren laboratuvarlar ve kayaç matkap ilişkisini sağladığı için sondaj dizisi dinamiklerinin matkap ömrü ve performansına etkisini anlamamızı imkân vermektedir. Bu makineler, yeni matkapların tasarımı ve malzemeleri, delik dibi ekipmanlarının kalitelerinin artırılması ve böylece titreşimlerin engellenebilmesini sağlamaktadır. Ayrıca sondaj performansına etki eden işletme parametrelerinin araştırılmasına da imkân sağlamaktadır. Geliştirilmiş ileri derecede laboratuar simülasyonu imkânı kuyu dibinin gerçekteki özelliklerine oldukça yakın tekrar üretilmesini sağlayacaktır. Bu simülasyon temsili kaya bloğunda gerçekteki kayaç matkap ilişkisinin araştırılması için kullanılabilmektedir. Bu sistemlerin arazi sondaj verilerine uygulamaları da mevcuttur (Raymond, vd., 2008; Motahhari vd., 2009).

16 tam boyutlu derin kuyu simülasyonları 6 inç boyutunda matkaplar kullanılarak üç farklı kayaç ve 5 farklı sondaj sıvısı tipi için yapılmıştır. Bu tam boyutlu laboratuar testleri 100.000 psi'in üzerinde baskı kuvveti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. (Judzis vd., 2007).

Farklı dönme hızlarında ve baskı kuvvetlerinde çeşitli kayaç tiplerinde PDC ve emprenye elmas matkaplarla testler yapılmıştır (Ersoy, 2003).

Schlumberger Cambridge Sondaj Araştırma Laboratuvarında da 12 ¼ inç çapa kadar matkaplarla 5.000 m derinlikteki kuyu şartları sağlanarak deneyler yapılabilmektedir (Cooper vd., 1986).

2.4 Geliştirilmiş Veritabanı Programları ve Geçmiş Matkap Performanslarının Analizi

PDC matkapların seçimine yardımcı olacak bir uzman sistem geliştirilmiştir. Bu sistem, matkap seçim kurallarından oluşan bir veri tabanını belirli jeolojik koşullar ve delme şartları için en uygun matkabı seçecek şekilde kullanır. Bu kurallar önceden kullanılan matkapların deldiği jeoloji, kayaç özellikleri ve metrajları ile çalıştırılmaktadır (Fear vd., 1994).

Diğer bir yöntem ise optimum matkap tipini üç katlı yapay sinir ağları yöntemiyle seçmektedir. Bu sistem arazi dataları ile tasarımlandırılmış ve test edilmiştir. Bu araştırmanın sonucunda optimum matkap seçimi için iki saklı katmanlı geri beslemeli yapının en efektif sinir ağı tasarımı olduğu ortaya çıkmıştır. Geliştirilen model değişik arazilerde matkap seçimi için kullanılmıştır (Bilgesu vd., 2000).

Veriler veritabanında toplanıp modifiye edilebilirler. Böylece gerekli hesaplamalar yapılabilir, bu hesaplamalara ve dataya bilgisayar programlarınca da erişilebilir. Bu çalışmada arazi datalarını tutabilecek bir veritabanı tasarlanmış ve gerekli parametreleri hesaplayacak bir bilgisayar programı ve çıkışları bulunduracak bir excel dosyası ile ilişkilendirilmiştir. Genellikle metre başına düşen en düşük maliyet seçim kriteri olsa da optimum matkap seçimini

sağlayan tek bir yöntem yoktur. Bu nedenle yeni sistemler seçim için faydalı olacaklardır (Dumans vd., 1990; Kok vd., 2008).

3 OPTİMUM MATKAP SEÇİMİ VE KULLANIMI İÇİN TASARLANMIŞ YENİ BİR METHOD

3.1 Yeni Metod

Rotari sondaja etki eden en önemli faktörler matkap seçimi ve işletme parametreleridir. Sonuncusu baskı kuvveti ve dönme hızı ve kuyu dibinin temizlenmesidir.

Matkap seçimi ve işletme parametrelerinin bağlı olduğu faktörler;

- Formasyon ve ilgili özellikleri
- Dönme hızları
- Baskı kuvveti
- Kuyu dibi temizliği
- Kuyu çapı
- Kuyu derinliği ve delinme sıklığı

Bütün bu delme işlemine etki eden önemli parametreler, bu makalenin konusu olan yatay sondaj makinesi ile belirlenebilir. Gerçek matkaplar kullanılarak belirli şartlar için bu parametrelerle ilgili araştırmalar yapılabilir.

Yeni metodun akış diyagramı Şekil 1'de verilmiş olup, beş aşamadan oluşmaktadır.

Adım 1: Araziden temsili numuneler almak ve kayaçların delme performansına etki edecek jeoteknik parametrelerini laboratuar testleri ile belirlemek.

Adım 2: Üretici firmanın listesinde tanımlanan en uygun matkapları belirlemek.

Adım 3: Yatay Sondaj makinesini kullanarak tam boyutlu sondaj testini gerçekleştirmek. İşletme parametreleri baskı kuvveti ve dönme hızını (rpm) sistematik olarak değiştirilerek işletme parametreleri optimize edilecektir. Farklı işletme koşullarında, ilerleme miktarı, tork ve güç ölçülerek en ekonomik performans değerleri belirlenecektir. Tavsiye edilen baskı kuvveti iki faktöre bağlıdır: Bunlar matkap boyutu ve formasyon sertliği. Daha büyük matkap boyutu daha fazla baskı kuvveti gerektirir. Aynı şekilde formasyon sertliği de baskı kuvveti ihtiyacını artırır. Daha önceki çalışmalardan iyi bilinen bir gerçek ise çok az veya çok fazla baskı kuvvetleri matkap aşınmasını artırmaktadır. Bu nedenle optimum baskı kuvvetlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Konik matkaplarda bir dakikada dönme hızı 30 ile 140 arasında değişmektedir. Dönme hızları yumuşak ve ıslak formasyonlarda daha yüksek, sert formasyonlarda daha düşük olup formasyona göre belirlenmesi gerekmektedir.

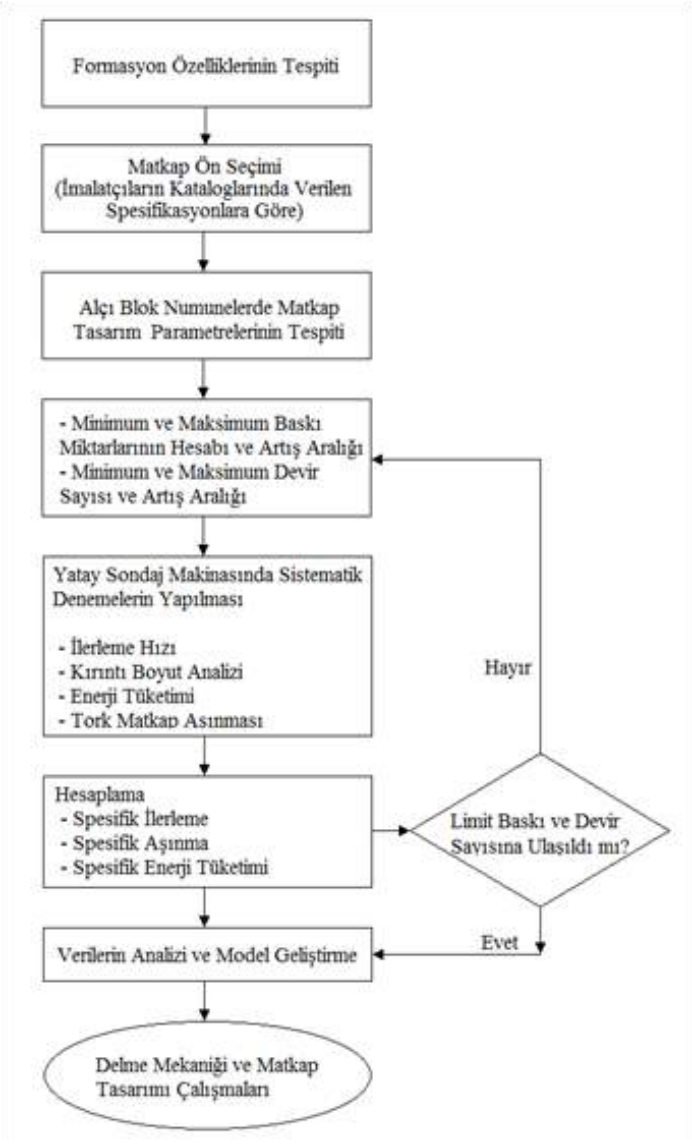
Matkapların performanslarının karşılaştırılması optimum işletme şartlarının belirlenmesi ile gerçekleştirilecek olup, matkap aşınma oranlarının belirlenmesi ve kırıntı boyut dağılım analizi de laboratuvar testlerine dahildir.

Şekil 2 yatay sondaj makinesinin resmini göstermektedir. Bir sondaj dizisinin bütün işletme parametreleri (baskı kuvveti, ilerleme hızı, dönme hızı ve tork değerleri) eş zamanlı olarak kayıt edilmekte ve bir bilgisayar yardımıyla görselleştirilmektedir (Şekil 3). Bu amaçla ESAM 2000 serisi bir I/O kart (16 tek uçlu, 8 farklı kanallı, 12 bit çözünürlüklü ve 100kS/s kapasiteli) bilgisayara takılmıştır.

Giriş verileri analog tipte olup, bir transdüserle ±10 V aralığında iletilmektedirler. Datalar anında bilgisayarda gözlenebilmektedir. Bütün çıkış sinyallerinin aralığı 10 V olup, doğrudan I/O kartına ve PC'ye dataları gönderen veri edinme sistemindeki transdüserler şunlardır:

- İtme kuvveti ölçümleri (yatay ve yanal) basınç transdüserleri,
- Dönme hızı ve tork transdüserleri,

İlerleme hızının ölçümü için yatay ve yer değiştirme ölçüm transdüserleri.



Şekil 1. Rotari sondaj matkabı seçimi ve kullanımı için yeni yöntemin akış diyagramı.

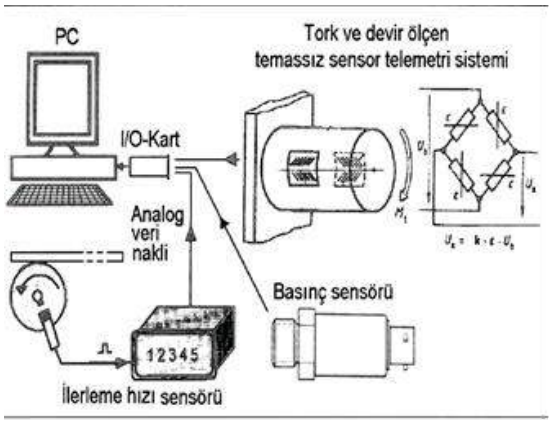
Şekil 2. Yatay sondaj makinesi.

Manner Sensör Telemetri sistemi tork ve dönme hızını ölçmek için kullanılmaktadır. Bu sistemde Şekil 3'te görüldüğü gibi deformasyon ölçer Whetstone köprüsü oluşturularak 45° açı ile ana şafta yapıştırılır.

Giriş ve çıkış sinyalleri temassız sistemin ana ünitesi olan antenle transfer edilirler. Çıkış sinyalleri iletim sistemlerine göre şaftın üzerinde kuvvetlendirilirler.

Adım 4: Matkapların performansını karşılaştırmak için spesifik ilerleme hızı, spesifik enerji tüketimi ve spesifik aşınma miktarı hesaplanır. Spesifik aşınma oranı belirli koşullarda spesifik bir matkap ile bütün bir kuyu için matkap ömürlerinin hesaplanmasına imkan verecektir.

Adım 5: Maliyet değerlendirmesi, optimum matkap ve işletme parametrelerinin seçiminin saptanması için belirlenen matkapların maliyet açısından da değerlendirilmesi gerekmektedir (Borquez, 1981; Wijk, 1991).



Şekil 3. Yatay sondaj makinasının veri edinme sistemi.

3.2 Örnek Bir Çalışma

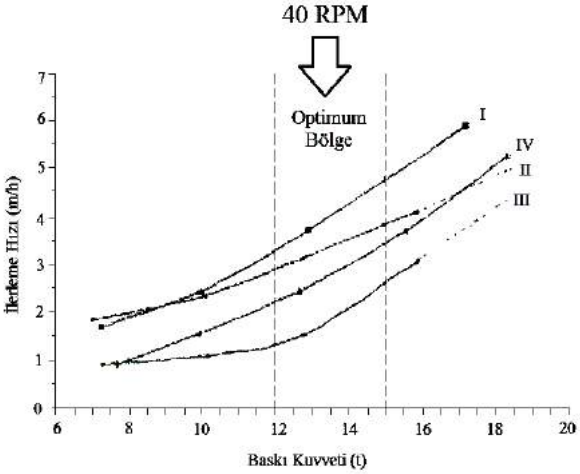
Aşağıda yapılmış ve yayınlanmış bir çalışma özetlenmiştir.

Bu çalışmada, Karadeniz Bakır İşletmelerinden 1.5x1.0x1.0 m'lik bir blok numune alınmıştır. Bu örnek fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi için teste tabi tutulmuştur. Ortalama basınç ve çekme dayanımı sırasıyla 783±170 kg/cm^2 ve 61±61.7 kg/cm^2'dir. Farklı üreticilere ait formasyon için uygun 4 farklı konik matkap araştırma için seçilmiştir. Bütün matkaplar 6 inç çapındadır. Seçilen matkapların genel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Seçilen konik matkaplar 40 ile 60 devir/dak arasında çalıştırılabilmekte, uygulanabilen baskı kuvveti ise 6 ile 18 ton arasında değişmektedir.

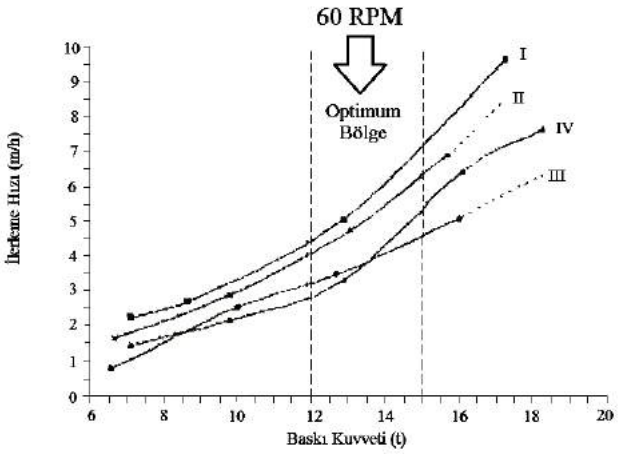
Bu çalışmanın en önemli sonucu test edilen bütün matkaplarda ilerleme hızına en çok etki eden faktör baskı kuvveti olarak belirlenmiştir. Şekil 4'de görüldüğü gibi dönme hızı da ilerleme hızına etki eden önemli faktörlerden biridir.

Çizelge 1: Seçilen matkapların özellikleri.

Ürün Özellikleri	Matkap Tipi			
	I	II	III	IV
Matkap boyutu (inch)	6	6	6	6
IADC	731-742	723	812-832	Bilinmiyor
Formasyon tipi	Sert-Çok aşındırıcı	Sert-Çok aşındırıcı	Çok sert-Aşındırıcı	Orta-Orta sert
Basınç dayanımı (kg/cm^2)	704-1400	563-1400	845-1760	563-1400
Dönme hızı (rpm)	50-90	40-70	40-80	35-70
Önerilen baskı kuvveti (ton)	9-18	9-14	15-24	9-18
Matkap ağırlığı (kg)	14.5	22	20.4	20.9



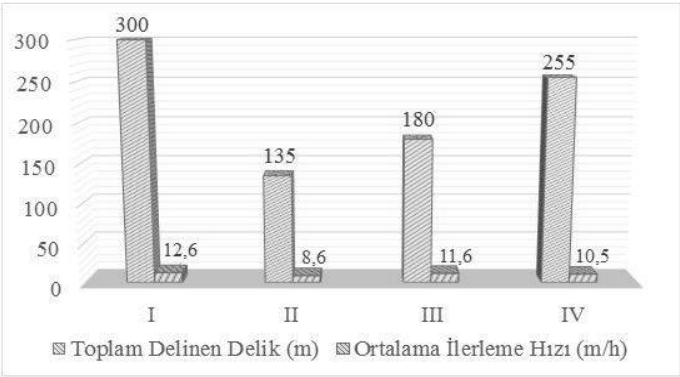
Şekil 4. Yatay sondaj makinasında 40 rpm'de elde edilen ilerleme hızı.



Şekil 5. Yatay sondaj makinasında 60 rpm'de elde edilen ilerleme hızı.

Şekil 5 KBİ Bakır Madeni formasyonunda test edilen 4 matkaba ait performans eğrilerini göstermektedir.

Matkap ömrü maliyet verimliliği açısından ilerleme hızı kadar önemli rol oynar. Basitçe ifade edilirse, eğer alım maliyetleri bütün matkaplar için aynı kabul edilirse, ilk matkap 12.6 m/saat ilerleme hızı ve toplam 300 m delik delme kapasitesiyle en verimli matkap olduğu için seçilmelidir (Ergin vd., 2000).



Şekil 6. Test edilen dört matkabın karşılaştırılması.

4 SONUÇLAR

İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü'nde geliştirilmekte olan yeni metodoloji rotari matkapların optimum seçimi ve işletilmesi için çeşitli avantajlar sunmaktadır. İlk aşamada, formasyon özelliklerinin belirlenmesi ve matkabın plaster örneklerinin üzerinde kontak yüzey alanlarının belirlenmesi görece olarak yatay sondaj makinasındaki optimum baskı kuvveti değerini bulmak için daha iyi bir baskı kuvveti ile başlanmasını sağlayacaktır.

İlerleme hızının, kırıntı boyut dağılımının ve matkap aşınmasının ölçülmesi değişik kayaç şartlarında matkap kayaç ilişkisinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır. Böylece, aynı kayaç şartlarında matkapları karşılaştırmak, delme işleminde yeni terimler olan spesifik ilerleme hızı, spesifik aşınma oranı ve spesifik enerji tüketimi tanımlanabilecektir. Sonunda, matkap ömrünün hesaplanabilmesi ve maliyet analizinin yapılması belirli kayaç şartlarında en iyi performans ve işletme koşulları belirlenmiş matkabın seçilebilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Hughes, B., 1989. *Baker Hughes mining tools product catalogue,* Baker Hughes, Houston, Texas, s.1-17.

Bilgesu, H.I., Al-Rashidi, A.F., Aminian, K., Ameri, S., 2000. A new approach for drill-bit Selection, *Journal of Petroleum Technology*, 52, s.27-28.

Borquez, G.V., 1981. Estimating drilling and blasting costs and analysis prediction model, *Engineering and Mining Journal*, January, s.83-89.

Cooper, G.A., Peltier, B., 1986. Advanced techniques for laboratory full-scale drilling tests, *IADC/SPE Drilling Conference*, s. 479-488, Dallas-USA.

Dumans, C.F.F., Maidla, E.E., 1990. PDC bit selection method through the analysis of past bit performance, *SPE Latin American Petroleum Engineering Conference*, s.1-6, Rio De Jenerio.

Ergin, H., Kuzu, C., Balci, C., Tuncdemir, H., Bilgin, N., 2000. Optimum bit selection and operation for the rotary blasthole drilling using a horrizontal drilling rig (HDR) – A case study at KBI Murgul copper Mine, *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 14, 4, s.295-304.

Eronini, I.E., Somerton, W.H., Auslander, D.M., 1982. A dynamic model for rotary rock drilling, *Journal of Energy Resources Technology*, 104, 2, s.108-120.

Ersoy, A., 2003. Automatic drilling control based on mininmum drilling spesific energy using PDC and WC bits, *Trans. Int. Min. Metall A*, 112, s.86-96.

Fear, M.J., Meany, N.C., Evans, J.M., 1994. An expert system for drill bit selection, *IADC/SPE Drilling Conference*, s.359-383.

Hartman, H.L., 1962. Crater geometry relations in percussive drilling, *Mine and Quarry Engineering*, s.530-536.

Hoseinie, S.H., Ataei, M., Osanloo, M., 2009. A new classification system for evaluating Rock penetrability, *International Journal Rock Mechanization Mining Sciences*, 46, s.1329-1340.

Judzis, A., Bland, R.G., Curry, D.A., Black, A.D., Robertson, H.A., Meiners, M.J., Grant, T.C., 2007. Optimization of deep-drilling performance-benchmark testing drives ROP Improvements for bits and drilling fluids, *SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition*, Amsterdam-Netherlands, s.25-39.

Kok, M.V., Guzeloglu, L., Akin, S., 2008. Data base development for drilling bit selection, *Energy Resources*, 30, s.377-383.

Koronka, F., Tacaks, F., Andras, I., 2009. The influence of Rock properties on the wear of mining tools for rotating drilling, *Revisto Minerol*, 9, s.20-24.

Motahhari, H.R., Hareland, G., Nygaard, R., Bond, B., 2009. Method of optimizing motor and bit performance for maximum ROP, *Journal of Canadian Petroleum Technology*, 48, s.44-49.

Opafunso, Z.O., Adebayo, B., 2008. Blast-hole cuttings: an indicator of drill bit wear in quarries, *European Journal of Scientific Research*, 20, s.721-736.

Paona, J., Bruce W.E., 1963. Drillability studies-diamond drilling, RI-USBM 6324.

Praillet, D., 1990. Drilling a manufacturer's viewpoint, *Mining Technology Int.*, s.73-82.

Praillet, R., 1998. Blasthole drilling, Rotary drilling and the four kingdoms, *World Mining Equipments*, s.20-23.

Raymond, D.W., Elsayed, M.A., Polsky, Y., Kuszmaul, S.S., 2008. Laboratory simulation of drill bit dynamics using a model-based servohydraulic controller, *Journal of Energy Resources Technology*, 130, 4, s.1-12.

Rockmore Int. Co., 1996. *Product Catalogue,* Rockmore Int., s.1-18.

Singh, T.N., Jain, A., Sarkar, K., 2009. Petrophysical parameters afecting the microbit drillability of rocks, *Int. Journal Rock Mechanization Mining Seciences*, 1, s.261-277.

Thuro, K., Spaun, G., 1996. Introducing the 'Destruction Work' as a new rock property of toughness referring to drillability in conventional drill and blast tunnelling, *Eurock'96-Prediction and Performance in Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2, s.707-713, Torino-Italy.

Varel Co., 1991. *Varel product catalogue-mining industrial Rock bits,* Varel Manufacturing Co., s.1-17, Dallas-Texas.

Walker-McDonald Mfg. Co., 1998. Rotary bits, Walker-McDonald.

World Oil's, 2008. *Drill Bit Classifier*, Gulf Publishing Co., s.133-153, Houston, USA.

Yeni Nesil Rotari Sondaj Matkapları: Klaw Matkap Performans Analizi ve Konili Matkapla Kıyaslanması

New Generation Rotary Drill Bits: Klaw Bit Performance Analysis and Compared with Tricone Bit

B. Ergener, D. Akkriş, C. Larson
Atlas Copco, İstanbul

Ö. Acaroğlu, H. Ergin, U. Çalışkan, M. Toker
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği, İstanbul

ÖZET Açık Ocak Madenciliğinde patlatma deliklerinin açılması uzun süreli ve maliyeti yüksek bir işlemdir. Formasyona uygun matkap seçimi sondajın hızlı ve ekonomik yürütülmesi açısından en önemli parametreyi oluşturmaktadır. Bu amaçla teorik ve deneysel çalışmalar yaygın olmakla birlikte; genel eğilim seçime etki eden parametrelerin çokluğu nedeniyle yerinde deneyerek matkap seçiminin gerçekleştirilmesi yönündedir. Bu çalışmanın amacı, yeni geliştirilmiş olan ve klaw matkap olarak adlandırılan matkaplar ile klasik konik matkapların performanslarını belirlemek ve karşılaştırmaktır. Bu amaçla Demir Export firmasına ait bir açık ocak kömür işletmesinde farklı jeolojik özelliklere sahip basamaklarda her iki matkabın delme hızları ölçülmüştür. Klaw matkapların delme hızı üç kafalı konik matkaplarla kıyaslandığında; sert formasyonlarda 2,8 katı, killi ve yumuşak formasyonlarda ise 1,5 ile 2,5 katı arasında değiştiği gözlenmiştir. Ayrıca yeni nesil klaw matkaplar uç kısımdaki kesici dişlerin değiştirilebilmesi, matkabın kendisini değiştirmeden çok uzun süre delik delmeye devam etmesi avantajına sahiptir. Daha uzun süre kullanılabilmeleri ve delme hızının yüksekliği nedeniyle ekonomik değerlendirmeler klaw matkapların önemli bir alternatif olduğunu göstermektedir.

ABSTRACT In open pit mining, drilling of blasting holes is a long and costly process. Selection of optimum bit for a formation is the most important parameter in rapid and economic drilling process. Although theoretical and experimental studies are common, the best way of choosing the most appropriate rock bit for a region is the usage of the bits directly on the machines. The aim of this study is to determine and compare performance of classical tricone bit and klaw bit which is new product in rotary drilling. For this reason, drilling speeds of both bits were measured in four benches having different geological properties in an open pit lignite mine that belongs to Demir Export. As comparing drilling speed of bits, klaw bit is 2,8 times rapid than tricone bits in hard formation and between 1,5 and 2,5 times rapid in soft formation. Furthermore, replaceable teeth of Klaw bit has an advantage of continuing long time drilling without changing main body of it. Having longer life and higher drilling speed prove that klaw bits are an important alternative bit for rotary drilling on economic aspect.

1 GİRİŞ

Sondaj makinalarıyla delik delme işleminde en fazla sarfiyat kayaçla sürekli kontak halinde olan matkaplardan kaynaklanmakta olup, kayacın fiziksel, mekanik ve kütlesel özelliklerine bağlı olarak matkap bir süre verimli kazıya devam etmekte ancak aşınmanın ardından ya verimsiz kazı yapmakta ya da kazıyı sürdüremeyip yeni matkap ile değiştirilmektedir. Çok sık değiştirilmesi hem maliyeti artırmakta hem de efektif kazı süresi matkap değişiminden dolayı azalmaktadır (Fear, 1996). Sondaj matkaplarının Türkiye'de üretimi kısıtlı olup, genellikle yurt dışından temin edilmekte ve dönem dönem maliyetler çok yükselebilmektedir. Ayrıca enerji tüketimi en fazla delme işlemi için harcanmaktadır.

Açık işletme yöntemi ile üretim yapılan maden ocaklarında uygulanan patlatmaların etkili olabilmesi için, kullanılan patlayıcı madde, kayaç içerisine homojen dağıtılabilmesi ve orada patlatılabilmesi için kayaçta delici makinalar yardımı ile delikler delinmektedir. Açık ocak madencilik faaliyetlerinde üç farklı delme sistemi kullanılmakta olup, delik çapları geniş, orta ve küçük çaplı olarak sınıflandırılırsa: geniş ve orta çaplı delik delmek için rotari, orta çaplı delik için delik dibi (Down The Hole-DTH) veya COPROD, küçük çaplı delikler için üstten darbeli (Tophammer) sistemler kullanılmaktadır (Yıldız ve Köse, 2003).

Delik delme işleminde yaygın olarak kullanılan makinalardan biri olan Rotari sondaj makinaların ilk kullanımı 1845 tarihine denk gelmekte olup, o tarihten itibaren hızlı gelişmeler söz konusu olmuştur. Bu makinalarda en yaygın kullanılan matkaplar konik matkaplardır ve her ne kadar ikili konik kafadan imal edilenleri olsa da, daha çok eksenleri merkezde birleşecek şekilde konumlandırılmış, kendi eksenleri etrafında dönebilen üç konik kafanın (tricone bits) bir araya gelmesinden oluşanlar kullanılmaktadır. Çelik dişli olanları yumuşak ve çok zayıf kayaçlar için uygun olup, tungsten karbürden imal edilmiş olanlar hemen her türlü formasyonda kullanılmaktadır. Hangi kayaçta kullanılacaklarına genellikle bu dişlerin çapları, yükseklikleri birbirine göre konumları, konik kafaların yerleştirilme açıları gibi birçok tasarım parametresi etki etmektedir. Bu tasarım parametreleri ayrıca sınıflandırma parametreleri olup, en yaygın kullanılan sınıflandırma uluslararası bir sınıflandırma olan IADC (International Association of Drilling Contractors)'dir (Jimeno and Carcedo,1995).

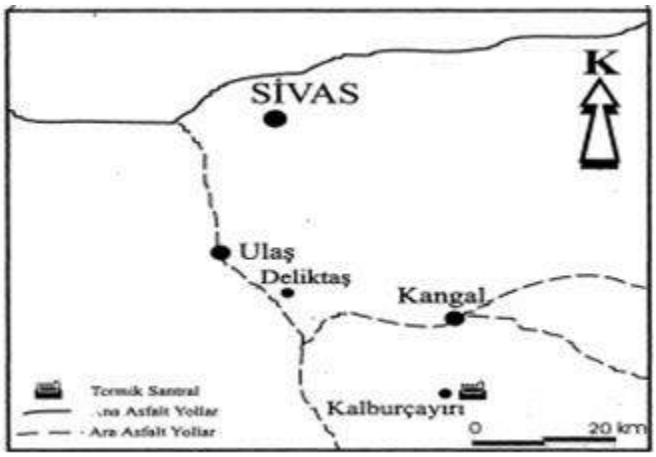
Son yıllarda konik matkaplara alternatif matkaplar geliştirilip, gerek delme hızının gerekse aşınmaya karşı dayanıklılığın artırılmasına yönelik çalışmalarda artış vardır. Bunlardan biride üretici firmanın klaw bits olarak adlandırıldığı bu çalışmada da klaw matkap olarak adlandırılan matkaplardır. Bu matkaplar döküm olarak imal edilmiş tek bir kafa ve bu kafayı çevreleyen tungsten karbür kesici dişlerin bulunduğu kısım olmak üzere iki parçadan meydana gelmektedir. Kesici kısımdaki uçlar kayacın sertliğine göre farklı boyut ve açılarda yerleştirilebilmektedir. Dişlerin bulunduğu bu kısım aşındığında yenisiyle kolaylıkla değiştirilebilmekte, dolayısıyla matkabın tamamı değiştirilmeden matkap daha uzun süre kullanılabilmektedir. Ayrıca uçlar farklı sayıda gruplar halinde yerleştirilebilmektedir (Altas Copco, 2015).

Bu çalışmada, Sivas'ın Kangal ilçesinde Demir Export firmasına ait açık ocak kömür madeninde farklı basamaklarda klasik üç kafalı konik matkaplar ile klaw matkapların performans karşılaştırması yapılmıştır. Bir bölge için optimum yani en hızlı ve dayanıklı matkap tipini seçmenin yöntemlerinden biri, o formasyona uygun olduğu belirlenen matkap tiplerini arazide doğrudan test ederek elde etmektir. Bu amaçla bu çalışmada, sahada matkapların delme hızı ölçülerek, en uygun matkap seçilmesi ve matkap tüketim maliyetlerinin doğrudan azaltılması ve kazı performansının yükseltilmesi amaçlanmıştır.

2 MATERYAL VE METOT

2.1 Bölgenin Özellikleri

1989-2012 yılları arasında Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ) tarafından işletilen Kangal Termik Santrali'ne kömür temin etme işini devam ettirmiş olan Demir Export, termik santralin yeni işletmecisi olan Kangal Termik Santrali Elektrik Üretim A.Ş ile imzaladığı anlaşma ile Kangal Kömür Havzası, Kalburçayırı Sektörü'nden Aralık 2014 – Mayıs 2017 arasında 16.500.000 ton kömür teslim işini üstlenmiştir. Termik santral, düşük kalorili linyit kömürlerinin değerlendirilmesi için yapılmış olup, 2x150 MW kapasiteli iki ünitesi 1990 yılında faaliyete geçmiştir. 2000 yılında ise 1x157 MW kapasiteli üçüncü ünite faaliyete geçmiştir. Üç ünite saatte 457 MW elektrik üretimi yapmaktadır. Demir Export Kangal Kömür İşletmesi, Kangal ilçesine 25 km, Sivas merkeze ise 85 km uzaklıktadır. Kömür ocakları ve santral Sivas Kangal, Hamal, Kalburçayırı, Şekerpınar ve Turnalı civarında bulunan 170.000.000 ton kömürün değerlendirilmesi amacıyla kurulmuştur (Şekil 1).



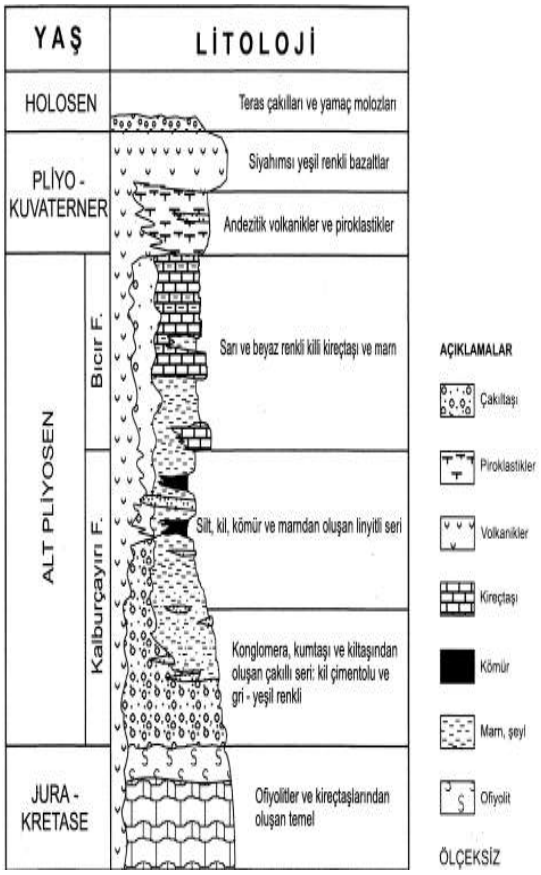
Şekil 1. Yer bulduru haritası.

Açık işletmelerde dekapaj çalışmaları genellikle kamyon-ekskavatör yöntemi ve dragline yöntemi ile beraber yürütülmektedir. Dragline çalışma prensibi gereği ocağın en alt kademelerinde cevherin (kömür gibi yataklanmış cevherlerde) hemen üstündeki dekapajın kaldırılmasında kullanılır. Kamyon - ekskavatör yöntemi, teknik olarak her çalışma koşuluna uygulanabilen bir yöntemdir. 32-40 m^3 ve 105 m^3 kapasiteli kamyonlar kömür ve dekapajın taşınmasını sağlamaktadır. Alt damar kömür üretimi dragline, üst damar kömür üretimi paletli ekskavatör veya elektrikli ekskavatörler ile yapılmaktadır. Alt damarda kömürün kalınlığı 12-13 metreye kadar çıkmaktadır. Dragline her vardiyada ortalama 9000–10000 olmak üzere günde yaklaşık 30000 m^3 yığın kaldırmaktadır. Üretilen kömür stok sahasına veya termik santral bunkerine taşınmaktadır.

Ocağın şev açısı yaklaşık 24°, basamakların şev açısı 70-80°'dir. Dört farklı kademede üretim ve dekapaj işi yapılmaktadır. Basamaklar delme – patlatma işlemi ile gevşetildikten sonra 7,65 – 19 m^3 kapasiteli ekskavatörlerle yüklenmektedir. Basamak genişliği en üst kademede 20-40 metre arasında değişmektedir. En üst kademenin kotu arazi kotuyla aynıdır.

Kalburçayırı kömür havzası Kangal-Uzunyayla Molas havzasının güneyinde Pliyosen yaşlı limnik depolanma ortamında gelişmiştir (Narin ve Kavuşan, 1993). Havzada her biri yaklaşık 10 metre kalınlıkta olan iki linyit damarı bulunmaktadır. İki damarın arasında kalınlığı 3 ile 5 metre arasında değişen ve bol kil içeren tüfitler bulunmaktadır. Kalburçayırı formasyonu, inceleme alanı olarak en iyi Kalburçayırı köyü civarında izlenmektedir. Bu formasyon çakıllı

ve linyitli olmak üzere iki seriye ayrılarak incelenmiştir. Buna göre çakıllı seri alt katmanında konglomera, orta katmanında kumtaşı ve üst katmanında kiltaşı bulunmaktadır. Düzenli bir derecelenmenin gözlendiği seride konglomeralar 4-5 cm büyüklükten başlamaktadır ve üst kısımlara doğru dane çapı 0.5-1 cm'ye kadar küçülmektedir. Mesozoyik ve Eosen yaşlı kayaçlardan türemişlerdir. Genel olarak bu seri kil çimentolu ve gri-yeşil renklidir. Linyitli seri, çakıllı serinin üzerinde yer almakta ve kalınlığı 25-60 metre arasında değişmektedir. Seri altta silt ve killerle başlayıp üste doğru kömür, kil ve marn litolojisiyle devam etmektedir. İncelemenin temelini oluşturan kömür damarları bu serinin içinde yer almaktadır. Alt damar ve üst damar olarak ayrılan kömür damarları arasında bol kil içeren tüfitler bulunmaktadır. Linyit damarlarının bulunduğu, Kalburçayırı formasyonunun yaşı Alt Pliyosen'dir (Şekil 2). Bicir formasyonu ise yatay ve yataya yakın tabakalanma gösteren marn ve kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şen vd., 2000).



Şekil 2. Stratigrafik Kesit.

2.2 Rotari Sondaj Makinaları ve Matkaplar

2.2.1 Sondaj makinaları

İşletmede 4 adet delici makine bulunmakta olup, bunların ikisi Hendricson Reedrill SK50T, diğer ikisi Ingersoll Rand DM50'dir. Çalışmada Ingersoll Rand DM50 model sondaj makinaları kullanıldığı için bu makinaların teknik özellikleri esas alınmıştır (Ingersoll-Rand, 1977). Bu delici makinalar rotari veya delik dibi tabanca şeklinde kullanılabilen, paletli, tepeden hidrolik tahrikli makineleridir. 14,9-22,9 cm aralığında istenilen çapta ve tek tijle 7 m derinliğe kadar delikler açabilirler. Derinlik, çalışılan alana göre değişiklik göstersede, kömür üzerinde çalışma

yapıldığında delik boyları maksimum 14 m olarak düzenlenir. Kullanılan sondaj makinesinin teknik özellikleri Çizelge 1'de genel görünümü ise Şekil 3'de verilmiştir.

Delme işleminden sonra patlatma işlemine geçilir. Patlatmanın verimli olması açısından genelde şeş beş düzeni tercih edilir. 14 m'lik her deliğe 250 kg ANFO doldurulduktan sonra sıkılaması yapılır ve patlatılır.

Çizelge 1. DM50 Teknik Özellikleri.

Delme metodu	Döner veya çok geçişli DTH
Delik çapı	149-229 mm
Hidrolik baskı	222 kN
Dönme torku	9,7 kNm
Dönme hızı	0-130 rpm
Kompresör basınç aralığı	65-150 psi
Tek seferde delik derinliği	7 m
Maksimum delik derinliği	50 m
Yaklaşık ağırlık	31,75 t

Şekil 3. DM50 sondaj makinasının genel görünümü

2.2.2 Matkaplar

Döner sondaj dizisinin en altında yer alan ve ekseni etrafında dönerek kazı işlemini gerçekleştiren sondaj elemanlarına "deliciler" ismi verilir. Deliciler "matkap" olarak isimlendirilen ve doğrudan delik delmeye yarayan gereçlerle, önceden açılmış deliği genişletmeye yarayan "genişleticiler" olmak üzere ikiye ayrılır. Özel çelik alaşımlardan dökülmüş, kendi ekseni etrafında dönerken üzerindeki sondaj dizisi veya baskı ağırlığından da yararlanılarak; formasyonu basınç altında koparıp, parçalayıp öğüten matkaplar, doğrudan delme işlemini gerçekleştiren sondaj elemanlarıdırlar. Yapılış biçimlerine ve yapıldıkları malzeme cinsine göre gruplandırılır ve isimlendirilirler (Ersoy 2008, Yalçın ve Yalçın, 2011).

İşletmede iki tip matkap kullanılmaktadır. Bunlar genel özellikleri yukarıda anlatılan üç kafalı konik matkaplar ve yeni teknoloji ürünü rotari sondaj matkapları olan klaw matkaplardır. Diğer bütün parametreler sabit tutularak, bu iki tip matkap DM50 sondaj makinalarıyla dört farklı jeolojik ortamda kullanılmış ve bu sırada performans parametreleri ölçülmüştür. Her iki tip matkabın teknik özellikleri Çizelge 2 ve 3'de genel görünümleri ise Şekil 4 ve Şekil 5'de verilmiştir (Atlas Copco, 2015).

Çizelge 2. Konik Matkabın Özellikleri.

IADC Kodu	632 (16,875 mm)
Rulman tipi	Bilyeli yatak
Sirkülasyon tipi	Jet hava
Kesme yapısı	Tungten karbür uçlar
-İç kısımdaki dizi	Sivri uçlu
-Keski dizisi	Oval
-Konik koruma bölgesi	Yuvarlak
Pin bağlantısı	3 ½" API
Metrik bit çapı	171 mm
Ürün ağırlığı	21 kg
Önerilen Çalışma Koşulları	
Bitlerdeki ağırlık	9185,24-18370,49 kg
Dönüş hızı	60-100 rpm
Geri hava basıncı	0,2-0,4 mPa

Çizelge 3. Klaw matkapların özellikleri

Gövde tipi	Tek parça 4410 alaşımlı çelik
Yapı uzunluğu	9,4 inç / 238,8 mm
Toplam uzunluk	13,6 inç / 345,4 mm
Kesme yapısı	Her 10x19 kesici gövde
Delik / Ağız	Her 4x1 1x2 inç
Mil bağlantıları	4 1x2 inç API normal
Ağırlık	48,0 lb/ 21,8 kg
Baskı basıncı	900-1500 psi
Rotasyon basıncı	1500-3300 psi
Dönme hızı	80-120 rpm
Hava basıncı	60-100 psi

Sahada çalışma yapılan klaw matkap, 10 kesici uçlu olup, matkabın kullanışlı özelliklerinden birinin de aşınan kesici uçların çok kısa sürede yenisiyle değiştirilip çalışmaya devam etmesi olduğu görülmüştür.

Şekil 4. Konik Matkap.

Şekil 5. Klaw Matkap.

3 BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

3.1 Sahada Yapılan Çalışmalar

Arazi çalışması sırasında her iki matkap aynı makine ve aynı jeolojik ortamlarda kullanılarak, delik uzunlukları, delme süreleri ölçülmüş ve bu iki değer kullanılarak delme hızı hesaplanmıştır. Yaklaşık klaw matkap ile 553 metre konik matkap ile 308 metre delik delinmiştir. Bu çalışmada delinen delik sayısından ziyade delik açma hızı esas alınmıştır. Grafiklere yansıyan tüm değerler makina başında tutulan değerler olup makinaların teknik donanımının gerektirdiği zaman kayıpları, operatörden kaynaklı zaman kayıpları ve diğer zaman kayıpları hariç tutulmuştur. Ölçümler görece jeolojik özellikleri farklı olan dört farklı bölgede yapılmıştır. Bunlardan üçü, işletmede örtü tabakasından itibaren 1., 2. ve 3. basamağa denk gelmekte iken, diğer bir çalışmada ara basamakta yapılmıştır. İşletmede bu basamaklar kullanılan ekskavatörlerin isimlerine göre adlandırılmıştır. Bu adlandırmalar basamak isimlerinin yanında parantez içinde belirtilmiştir.

1. Basamak (302 PH üzeri) işletme sahasındaki en üst kademedir. Bu basmakta kömür üretimi yoktur. Yalnızca dekapaj örtüsünü kaldırmak için delme patlatma yapılmaktadır. Ölçümler sırasında kil gözlenmemiş olup, sondaj yapılan bölge toprak ve çakıltaşı ağırlıklıdır. Bu basamakta yapılan ölçüm sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir. Şekil 6'da gösterilen sonuçlara göre klaw matkabın hızı konik matkaba kıyasla 2,8 kat yüksek çıkmıştır.

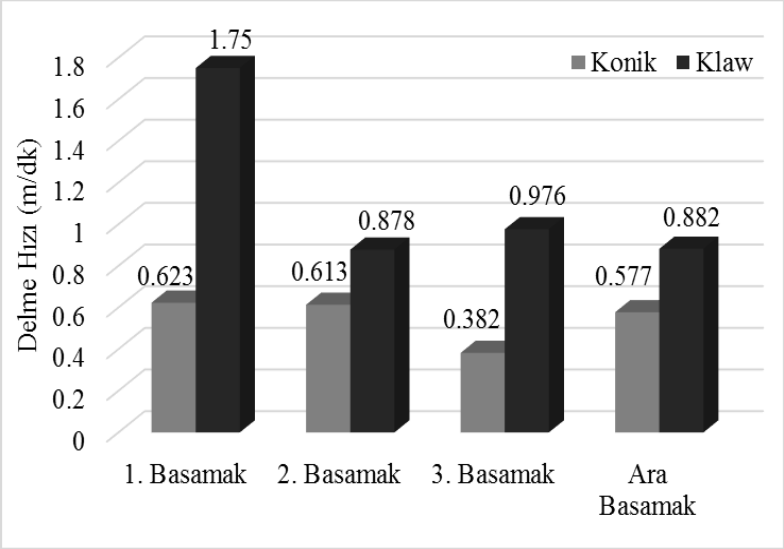
2. Basamak (308 Marion üzeri), birinci basamağa 50 metre uzakta olup, bir alt kademedir. Bu basamakta da kömür üretimi yapılmamakta olup, yer yer rastlanan kil tabakasının kalınlığı 1-1,5 metreye çıkmaktadır. Ocakta sondaj verimini en çok düşüren faktör bu kildir. Çizelge 4 ve Şekil 6'da görüldüğü gibi klaw matkabın hızında ilk basamağa göre düşüş olsada, konik matkaba göre hızı 1,43 kat yüksek çıkmıştır.

3. basamak (310 Marion üzeri), 2. basamağın yaklaşık 300 m güneybatısında olup, kil içeriği fazla olan bir bölgedir. 13-14 metre derinlikten sonra kömüre rastlanmaktadır. Delme hızı sonuçları Çizelge 4'te görüldüğü gibidir. Şekil 6'dan da görüldüğü gibi klaw matkap 2,55 kat hızlıdır.

Ara basamak (306 Marion yanı) 3. Basamak bölgesinin yaklaşık 100 m doğusunda bulunmakta olup, ara bir kademedir. 10-11 metre delindikten sonra kömüre rastlanmaktadır. Kil içeriği yüksektir. Klaw matkabın hızı konik matkaba göre 1,53 kat daha yüksek çıkmıştır.

Çizelge 4. Matkaplara Ait Ölçüm Sonuçları.

	Delik Boyu (m)		**Delme Süresi (dak)**		**Delme Hızı (m/dak)**	
	Konik	**Klaw**	**Konik**	**Klaw**	**Konik**	**Klaw**
1. Basamak (302 PH üstü)	91	35	146	20	0,623	1,750
2. Basamak (308 Marion üstü)	73,5	297,5	120	339	0,63	0,878
3. Basamak (310 Marion üstü)	76	161	199	165	0,382	0,976
Ara Basamak (306 Marion yanı)	67,5	60	117	68	0,577	0,882



Şekil 6. Matkap Hızlarının Karşılaştırılması.

4 SONUÇLAR

Demir Export Kangal Açık Ocak Kömür işletmelerinde DM50 sondaj makinalarıyla dört farklı basamakta klasik üç kafalı konik matkap ile yeni teknoloji ürünü rotari makinalarda kullanılan Klaw matkabın delme hızları ölçülmüştür. İlk basamakta kil içeriği yok denecek kadar az olup, bu bölgede yapılan ölçümlere göre Klaw matkabın konik matkaptan 2,8 kat daha hızlı sürede delik açtığı tespit edilmiştir. Kil tabakasının her iki matkabında çalışma verimini düşürdüğü görülmüş ve Klaw matkabın, kilden daha olumsuz etkilenmesine rağmen, konik matkaptan hızlı delik açtığı tespit edilmiştir. Bu çalışma Klaw matkapların rotari sondaj makinalarında kullanılabilecek önemli bir alternatif matkap olduğunu göstermekte olup, değişik formasyonlarda denemelerin devam etmesi gerekmektedir. Kil tabakasının olumsuz etkisini azaltmak için delme işlemlerinde su kullanılmıştır. Bir diğer çözüm yönteminin ise matkaplara daha fazla hava verilmesi olduğu tespit edilmiştir. Sondaj makinasına daha güçlü bir kompresör bağlamanın matkap verimini pozitif yönde etkileyeceği ve delme işlemi sırasındaki tıkanmaları azaltacağı anlaşılmıştır. Ayrıca sondaj makinasını düşük rotasyonda çalıştırmanın da matkaplardaki aşınmaları azaltacağı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

Atlas Copco, Klaw Bit 9” K31L Ürün Kataloğu,2015

Ersoy, A.,2008, Sondaj teknikleri ve uygulamaları, Nobel Kitabevi, Adana.

Fear,M.J., 1996, How To Improve Rate of Penetration in Field Operations, IADC Drilling Conference, 12-15 March, Orleans Louisiana.

Ingersoll-Rand DM 45 E –DM 50 Kataloğu, 1977.

Jimeno, C. L. and Carcedo, F., J. A., 1995., Drilling and blasting of rocks / Imprint Roterdam, A.A.Balkemae, 391 p.

Şen, Ö ve Saraç, C. 2000, Kalburçayırı Linyit Yatağının Jeolojisi ve Blok Krigging Yöntemi ile Değerlendirilmesi. Türkiye Jeoloji Bülteni, Ankara.

Yalçın, A. ve Yalçın, B., 2011. Sondaj Yöntemleri ve Uygulamaları. TMMOB, İstanbul, 5th edition., 496 pp.

Yıldız, R. ve Köse, H., 2003. Açık İsletmelerde Delik Delme Metotları ve Delici Makineler, Kümes AS, Kütahya.

Delme-Patlatma Parametrelerinin DelPat v8 Yazılımı ile Tasarlanması ve Uygulamadaki Sonuçlarının Karşılaştırılması

Designing Drilling-Blasting Parameters with the DelPat v8 Software and Comparing the Results with Actual Data

C. Çeliksırt, V. Erkan
Doğuş İnşaat ve Ticaret A.Ş., İstanbul, Türkiye

ÖZET Kaya ocaklarında ya da sert zemin kazısı gerektiren projelerde kullanılan delme-patlatma değerleri, istenen en iyi sonuçların ve en düşük maliyetlerin elde edilmesinde çok önemli bir yer tutar. Maliyet değerlerinin tespitinde, işyerine, işletmeye ya da projeye ait birçok parametre etkindir ve bunların birlikte kullanılması ile istenen maliyet değerlerine ulaşılması ve sabit tutulması her zaman kolay olmamaktadır.

Bu bildiride, DelPat v8 adlı, açık işletmelerde ya da sert zemin delme-patlatma çalışmalarının organizasyon ve analizini yapan bilgisayar yazılımının Boyabat Barajı ve HES inşaatındaki kaya ocağında, yukarıda bahsedilen konular çerçevesinde getirmiş olduğu çözümler anlatılmaktadır.

ABSTRACT Parameters used in drilling and blasting operations, to obtain the best results and the lowest cost in rock quarries or in projects where hard ground formation excavation is required is very important. Many parameters are effective in determining the cost of the project. Achieve the desired cost with the use of this many parameters and keep it always constant is not always easy.

In this paper, describes the "Delpat v8 Software for Organization & Analysis of Rock Drilling and Blasting Systems" solutions within the framework of the above-mentioned issues in Boyabat Dam and HEPP constructions quarry.

1 GİRİŞ

Boyabat Barajı ve HES, Sinop İli Durağan ilçesinin 10 km yakınında, Kızılırmak Nehri üzerinde inşaa edilmiştir. İnşaat aşamasında, T3 kaya ocağı tasarlanmış ve kullanılmıştır.

1.1 Barajın Teknik Özellikleri

Yıllık üretim	:	1.500 x 10^6 kWh
Baraj Tipi	:	Beton ağırlık
Temelden Yükseklik	:	195 m
Talvegden Yükseklik	:	150 m
Santral Tipi	:	Gövdeye bitişik
Beton Hacmi	:	2.750.000 m^3
Rez. Uzunluğu	:	30 km
Top. Depolama	:	3,5 x10^6 m^3

1.2 İnşaat İşleri Özellikleri

Ana baraj gövdesi beton sınıfları; alt kotlardan üst kotlara doğru, C18-C16-C14 (Dmax=150 mm) ve yapı betonları (santral inşaatında); C25-C30 (Dmax=40 mm) şeklindedir. Bahsedilen beton sınıfları için tüm agregalar ve projede ihtiyaç duyulan farklı kategorilerdeki tahkimat kaya malzemeleri T3 kaya ocağından elde edilmiştir.

1.3 Kaya Ocağı

Kaya ocağı baraj gövdesinin 4 km mansab tarafındadır. Ocağın işletme çalışmaları aşağıda belirtildiği gibi yapılmıştır:

- Kırma tesisi birincil kırıcı besleme kotu olarak belirlenmiş olan +240 m kotundaki platforma yerleştirilmiştir.
- Bu kottan başlayarak ocak işletmesi en üst kotu olan +400 m kotuna bağlanacak olan ana ulaşım yolu ile ihtiyaç duyulan diğer servis yolları yapılmıştır.
- Ana ulaşım yolunun tamamlanmasından sonra, ocak üst kotlarındaki sıyırma çalışmaları tamamlanıp, tüm işletme alanında, kesilmesi gereken ağaç yada çalılıklar toplatılmış ve ara yollar üzerine daha sonra almak üzere stoklanmıştır.
- Üst kotlardan kademeler oluşturularak, üretime devam edilmiştir.

İşletme taban kotu +230 m olarak seçilmiş olup, buna göre toplam kazı hacmi yaklaşık 4.600.000 m^3 elde edilmektedir.

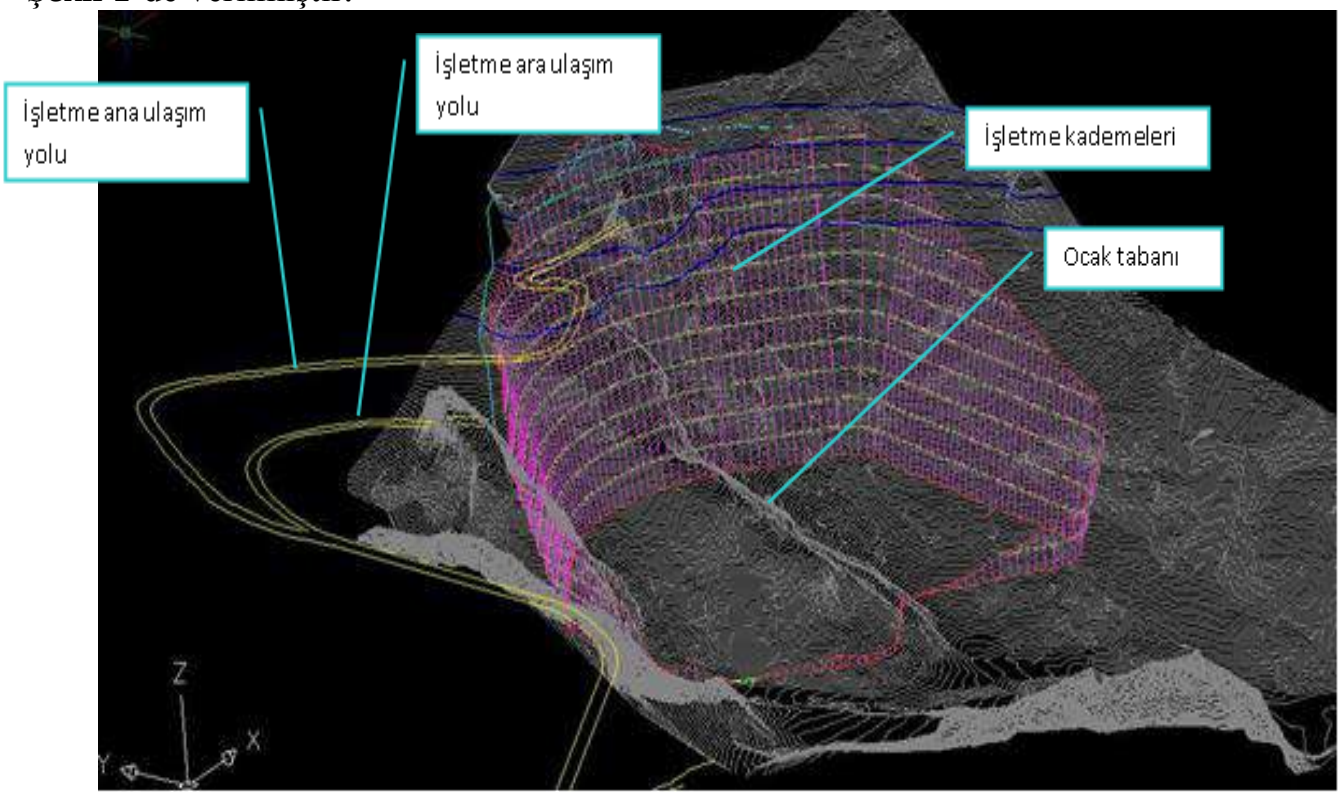
Ocakta üretim üst kotlardan alt kotlara doğru 12.00 m yüksekliğinde kademeler halinde yapılacaktır, bu yüksekliğe göre olan delik derinliği, delici makinede kullanılan rod uzunlukları ile birlikte 4 adet rodun tam kullanımı (tabanca payı hariç deliğe tümünün gönderilmesi) dikkate alınarak ulaşılmıştır.

Hazırlanmış olan işletme projesine göre, kademeler arası alınabilecek yerinde kaya hacimlerinin gösterimi çizelge 1'deki gibidir.

Çizelge 1. Kademelerin kaya hacim dağılımı

Kademe şevbaşı	Kademe şevdibi	Kademe dik yüksekliği	Hacim	Kümülatif hacim
m	m	M	m^3	m^3
400	387	13	4.824	4.824
387	374	13	26.507	31.331
374	361	13	83.373	114.704
361	348	13	156.520	271.224
348	335	13	226.227	497.451
335	322	13	291.895	789.346
322	309	13	360.735	1.150.081
309	296	13	439.706	1.589.787
296	282	14	512.135	2.101.922
282	269	13	578.994	2.680.916
269	256	13	633.529	3.314.445
256	243	13	677.360	3.991.805
243	230	13	673.929	4.665.734
		Toplam	4.665.734	

Planlamada etkin rol oynayan delme-patlatma parametreleri, maliyetler dahil olmak üzere DelPat v8.1 adlı bir yazılım tarafından hesaplanmıştır. Planlanmış olan ocak işletme görünümü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Ocak işletme görüntüsü

2 BİLGİSAYAR YAZILIMI

Delme-patlatma çalışmaları için ticari niteliği olan bir çok yazılım geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları delme-patlatma tasarımı yapmak, bazıları patlatma sonucunu analiz etmek, bazılarıda patlatmadan kaynaklanan çevresel sorunları analiz etmek içindir. Bu yazılımlar dört grup altında şöyle sıralanabilir;

a) Basamak patlatması için delme-patlatma tasarımı yapan programlar:
   - WipFrag
   - DelPat
   - Blaspa
   - Structural Blast Designer

b) Tünel patlatmaları için bazı yazılımlar:
   - AEL Tunnel 2000
   - AEL Ring 2000

c) Patlatmadan kaynaklanan çevresel sorunların analizi için kullanılan yazılımlar:
   - Rockmate
   - Master Blaster & Inventory Management Software System
   - Vibration Consultant
   - Vibration Assistant

d) Parça boyut dağılım analizi için kullanılan bazı yazılımlar:
   - WipFrag
   - WipJoint

- Split Online veya Split Desktop
- DelPat
- Blast Maker
- Blaspa

Açık işletme faaliyetleri süreçlerinde birçok ardışık işlemin sayısal modeller ile tasarlanması, mühendislerin uzun olabilecek tasarım çalışmaları yapmalarını gerektirmektedir. Bunların, kısaltarak, seçenekli sonuçlar üretebilmelerine, karşılaştırabilmelerine ve tasarımda etkili olan parametreler üzerinde öncelikli olarak durulmasına olanak sağlanabilir.

DelPat v8.1 yazılımı, aynı yaklaşım çerçevesinde; bir kaya ocağının ya da sert zemin kazısı yapılması gereken farklı projelerin ve açık maden işletmelerinin delme-patlatma işlerinin organizasyonu veya analizlerinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

2.1 Yazılımın (DelPat) Yapabildikleri

- İstenilen tane boyu dağılımına göre, delme düzeninin ortaya konması ile patlayıcı maddelerin delik başına dolum miktarlarının hesaplanması.
- Delme ve patlatmadaki gecikme sistemlerinin kullanıcının isteğine göre planlanması.
- Delme ve patlatma maliyet değerlerinin kullanıcının girdi bilgilerine göre hesaplanması.
- Patlatma kaynağından farklı mesafelerdeki sarsıntı, hava şoku ve taş fırlatma tahminlerinde bulunma.
- Projenin delme-patlatma organizasyon bilgilerinin sunumu.
- Günlük veri kayıtlarının düzenlenmesi ve saklanması.
- Planlanmış olan patlatma yerinin, arazi topografik alımları yapılmış olan bölgeye yerleştirilmesi ve yüzeye bağlı olarak delme-patlatma verilerinin yeniden değerlendirilmesi (Ball, 1991; Atlas Powder, 1987; Erkoç, 1990; Olofsson, 1990)
-

2.2 DelPat'ın T3 Kaya Ocağı için Çalıştırılması

İlk planlama değerleri olarak, kademe dik yüksekliği 12 m'dir. Seçilmiş olan delici makinenin çalışabileceği delik çapları; 76, 89, 102, 115 mm'dir. DelPat, kademe yüksekliğe bağlı olarak uygun delik çaplarını kendisi seçer ve tüm diğer sonuç bilgilerine ulaşır. Bu bilgilerin toplu sunumu, Şekil 2'dedir. Bu şekildeki hesaplanmış olan B (sıralar arası mesafe) ve S (delikler arası mesafe) değerleri, yazılım tarafından matematiksel bazı eşitlikler kullanarak elde edildiği için, küsuratları her zaman uygulamaya uygun değildir. Dolayısı ile; 3,32 m lik bir mesafeyi, 3,30 m ya da 2,60 m'yi 2,50 m kabul etmek çok yanlış olmaz. Çünkü, yazılım yeni verilmiş olan bu değeri, geriye yönelik olarak yeniden hesaplayıp, eğer varsa tane boyu dağılımı ya da diğer sonuç değerleri üzerindeki etkisini gösterir. T3 kaya ocağına ait DelPat giriş bilgileri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Delpat Giriş Bilgileri

Toplam Kaya Kazısı (M^3/Ft^3)	4.600.000
Proje Süresi	24 ay
Kayaç Kütlesi Tanımı	Tam Masif
Çatlak Mesafesi	Orta
Kayaç Yoğunluğu (T/M^3)	2,7
Kayaç Sertlik (Moh's)	7
Çatlak Durumu	Tabana doğru
Tane Boyu (Cm)	40
Ağırlıkça Yüzde	% 85
Kademe Dik Yüksekliği (M)	12
Kademe Genişliği (M)	10
Delici Makine	Atlas Copco D7-T3
Delici Uç Hizmet Ömrü (M)	2000
Delici Uç Birim Maliyet	666,8 TL/adet
Rod Ömrü (M)	2.600
Rod Birim Maliyet	1000 TL/adet
Manşon Ömrü (M)	2.200
Manşon Birim Maliyet	333,2 TL/adet
Şank Ömrü (M)	3.000
Şank Birim Maliyet	340 TL/adet
Delme Düzeni	Peşpeşe
Delik Düzeninde Sıra	2
Delik Eğimi	¼ 75.96
Detonatör	T3_3
Başlatıcı	T3_3
Taban Şarj	T3_3
Kolon Şarj	T3_3

Kaya ocağında, üretim delikleri için 76 mm delik çapı tercih edilmiş ve DelPat tarafından hesaplanmış olan değerler kullanılmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. DelPat Organizasyon Tablosu

B X S	m^2	2,71 x 3,03 = 8,21
Toplam Kaya Kazısı	m^3	3.750.000
Başlangıç Tarihi	Tarih	01.07.2010
Bitiş Tarihi	Tarih	01.03.2012
Vardiyadaki Çalışma Saati	H	10
Gündeki Vardiya	Vardiya	2
Proje Süresi	gün	609
Hesaplanmış Proje Süresi	gün	652
Fark	gün	43
Net Çalışma Günü	gün	609
Toplam Çalışılmayan Gün	gün	43
Gün Gecikme		40 gün gecikme
Makine Kullanımdaki Verim	%	48,75
Delici Makine Tipi		Atlas Copco D7-T3
Delme Oranı	%	55
Delici Kapasitesi	m/h	28,62
Delici Makine	Adet	3
Delik Miktarı (Vardiya/Gün/Toplam)	M	419/837/509.903
Delik Miktarı (Vardiya/Gün/Toplam)	Adet	39/78/47.502
Hesaplanmış Atım	Adet/gün	12,5
Gereken Şarj Makinesi Miktarı	Adet	0
Şark Makinesi Tipi		-
Karıştırma Ve Doldurma Kapasitesi	Kg/min	0
Detonatör Miktarı (Vardiya/Gün/Toplam)	Adet	40/80/45.744
Başlatıcı (Vardiya/Gün/Toplam)	kg	51/101/59.388
Taban Şarj (Vardiya/Gün/Toplam)	kg	0/0/0
Kolon Şarj (Vardiya/Gün/Toplam)	kg	1.153/2.306/1.352.466
Kayaç Hacim (Vardiya/Gün/Ay)	m^3	3.079/6.158/184.729
Kayaç Hacim (Vardiya/Gün/Ay)	ton	8.314/16.627/498.815
Patlatılmış Kaya (Vardiya/Gün/Ay)	m^3	4.310/8.621/258.621
Patlatılmış Kaya (Vardiya/Gün/Ay)	ton	11.640/23.278/698.341
Delme Maliyeti	TL/ m^3	1,47
Patlatma Maliyeti	TL/ m^3	0,88
Toplam Maliyet	TL/ m^3	2,35

2.3 T3 Kaya Ocağı için Uygulamadaki Veri Kayıtları

Baraj inşaatında, çalışma yapılan her aktivite ile beraber, T3 kaya ocağına ait üretim ve maliyet verileri kayıt altına alınmaktadır. Kayıtlar, günlük puantaj formları ile araziden ve ambar kayıtlarından alınmakta ve şirket için tasarlanmış bir yazılımda değerlendirilmektedir.

DelPat'ın hesaplamış olduğu ve bu kaya ocağının planlamasına esas olan değerler ile ocağın tüm çalışma süresindeki uygulama kayıtları ortalamasının karşılaştırıldığı veriler çizelge 4 dedir.

Çizelge 4. DelPat-Uygulama Karşılaştırması

		DelPat	Kayıt
Toplam Kazı Miktarı	m^3	3.750.000	3.750.000
Net çalışma	Gün	609	595
Çalışılmayan gün	Gün	43	45
Delici makine	Adet	3	3
Delme kapasitesi	m/saat	28,62	26,5
Delme miktarı	m/gün	837	822
Toplam delme miktarı	M	509.903	489.09
Delik miktarı	Adet/gün	78	67
Özgül delme	m/m^3	0,109	0,108
Hesaplanmış atım	Gün/adet	1,6	2
Toplam kapsül miktarı	Adet	45.744	47,23
Toplam başlatıcı miktarı	Kg	59.388	62,7
Toplam kolon şarjı miktarı	Kg	1.352.466	1.275.000
Özgül şarj	Kg/m^3	0,3	0,27
Patlatılmış kaya hacmi	m^3/gün	6.158	6,05
Delme birim maliyeti	TL/ m^3	1,47	1,38
Patlatma birim maliyeti	TL/ m^3	0,88	0,99
Toplam birim maliyeti	TL/ m^3	2,35	2,37

3 DEĞERLENDİRİLMESİ

a. **Toplam kazı miktarı (m^3):** DelPat'ın giriş bilgisi olarak, kaya ocağı işletme planındaki miktar kullanılmıştır.

b. **Çalışma/Çalışılmayan süreler (gün):** Kayıt da görünen çalışma ve çalışılmayan gün değerleri DelPat hesap değerlerine çok yakındır.

c. **Delici makine ve delme kapasiteleri (m/saat):** DelPat hesabındaki kadar delici makine kullanılmıştır, delme kapasiteleri, öngörülemeyen arızalar nedeni ile kayıt da çok az düşük görünmektedir.

d. **Özgül delme (m/m^3):** Çok yakın değerler ile üretim tamamlanmıştır.

e. **Özgül şarj (kg/m^3):** Çok yakın değerler ile üretim tamamlanmıştır. Kayıtdaki azlık, kayacın öngörülemeyen aşırı kırılgan olup, patlatmaya tepkisinin fazla kırılma şeklinde olmasından kaynaklanmıştır.

f. **Patlayıcı madde miktarları:** Değerler yakın olmakla birlikte, özellikle başlatıcı (kg) ve detonatör (adet) miktarlarında, kayıtda fazlalık vardır, nedeni; palye önlerinde ön-kesme tekniğinin kullanılmasıdır.

g. **Birim maliyetler (TL/m3):** Çok yakın değerler ile üretim tamamlanmıştır.

İlk değerlendirmelere göre, DelPat da planlanan değerler ile uygulama kayıt değerlerinin yakınlık göstermektedir. Kayıt sistemi içerisinden, kaya ocağındaki aktivitelerin maliyetleri olarak dağılım grafiği Şekil 3'deki gibidir.

4 SONUÇLAR

Büyük hacimli bir kaya ocağının, her açıdan planlanması, küçük birimlerde olabilecek bir hatanın parasal karşılığının yüksek olacağı açısından çok önemlidir. Delme-patlatma parametrelerinin sağlıklı tespit edilebilmesi de yine bu açıdan önem taşımaktadır. Çalışılan kaya ocağı projesinde, sadece 0,1 $/m3 gibi küçük bir farkın toplam kaya üretimindeki etkisi: 0,1 $ x 4.000.000 m^3 = 400.000 $ olacaktır.

Maliyetlerin daha hassas hesaplanması, yani sadece kullanılan malzeme ve işçiliğin birim fiyatı değil, tüm işyeri koşullarının değerlendirmeye alınabilmesi, ancak bir bilgisayar yazılımı ile çok kısa bir sürede ortaya konulabilir. DelPat, kaya delme-patlatma çalışmaları için bunu yaparak, işletme maliyetlerinin, önceden alternatifli olarak hesaplanabilmesi imkanını vermektedir. Bu sayede, deneme yanılma gibi bilimsel bir tabana oturmayan, maliyetli ve zaman kaybı olan bir konuda ortadan kalkmaktadır.

KAYNAKLAR

Atlas Powder, 1987, Explosives and Rock Blasting, Dallas, Texas USA, p 385

Ball H., Blasting Report for Excavation of Karakütük, 1991, ICI Explosives, England, p 50

Erkoç Ö.Y., 1990, Kaya Patlatma Teknigi, Istanbul, p 164

Olofsson S., 1990, Applied Explosives Technologie for Construction and Mining, Proceeding of the Fifth International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting - Fragblast-5, 1996, ISEE , Montreal / Quebec / CANADA, p.458

Summary, 1990, Soferti, Effective Detonation Rate and Explosive Performans of ANFO.

Lippincot, S., 1997, The Journal of Explosives Engineering, Cleveland, Ohio, USA, p.28-30

Tamrock, 1988, Surface Drilling and Blasting, Finland, p 474

Eti Maden Kırka Ocağı İçin Bilgisayar Destekli Patlatma Tasarımı

Computer−Aided Blast Design for Eti Maden Kırka Boron Mine

E. Ferah
İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul

T. Hüdaverdi
İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul

ÖZET Bu çalışmanın amacı Eti Maden Kırka Bor Ocağı için bilgisayar destekli çok sıralı patlatma tasarımının gerçekleştirilmesidir. Bu amaçla öncelikle, ocakta uygulanmakta olan patlatma parametreleri, yığının boyut dağılımı ve titreşim ile ilgili ölçümler gerçekleştirilmiş ve bu veriler bilgisayar destekli tasarım aşamasında değerlendirilmiştir.

Bütün veriler toplandıktan sonra, bilgisayar destekli çok sıralı patlatma tasarımı gerçekleştirmek için JKSİMBLAST yazılımı kullanılmıştır. Ocak için en uygun patlatma tasarım parametreleri belirlenmiş ve farklı ateşleme düzenleri oluşturulmuştur. Ayrıca model atım için patlayıcı enerji dağılımı ortaya konmuştur. Bu yolla patlatma tasarımındaki değişimin veya kullanılan patlayıcı türündeki değişimin atımın enerji dağılımı üzerindeki etkisi gözlenmiştir. Son olarak oluşturulan çok sıralı patlatma tasarımı için tahmini yığının boyut dağılımı irdelenmiştir. Ortaya çıkması muhtemel yer sarsıntısı seviyeleri arazi ölçümlerine dayanılarak kestirilmiştir.

ABSTRACT The purpose of this study is to create a computer aided multiple row blast design for Eti Maden Kırka Boron Mine. First of all, the blast parameters applied in the mine, size distribution of the muckpile and the blast induced ground vibration were measured. The measured data was utilized in the computer aided blast design process.

JKSIMBLAST software was used to create multiple row blast design after all data obtained. Most suitable blast design parameters were determined and various initiation patterns were constructed. Additionally, energy distribution of detonation was investigated for each blast design. Thus, the effect of variation in blast design and explosive type on the multiple row blast design was examined. Finally, rock fragmentation was estimated for the created multiple row blast design. Probable blast vibration levels were predicted based on site specific measurements.

1 GİRİŞ

Patlatma, madencilikte sıklıkla kullanılan kayaç kazı ve üretim yöntemidir. Patlatma kaynaklı parçalanmanın tespiti maden ocaklarının çalışma verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır. Uygun parçalanmanın elde edilmesi yükleme, taşıma ve kırma faaliyetlerinde verimlilik artışı sağlayacaktır. Diğer yandan patlama kaynaklı titreşimlerin minimum seviyede olması çevresel açıdan büyük önem arz etmektedir. Çevresel sorunların önüne geçebilmek için uygun bir patlatma tasarımı yapmak gerekmektedir.

Teknolojinin gelişmesi ve daha çok bilgisayar ortamında çalışılmaya başlanması ile patlatma tasarımları için yazılımlar geliştirilmiştir. Patlatma tasarımının yazılımlar yoluyla gerçekleştirilmesi atım sonuçlarının önceden kestirilmesi açısından avantaj sağlayacaktır. Denemeler yoluyla gerçekleştirilen tasarım değişiklerinin sonuçlarını görmek için arazide tam boyutlu atım yapılması gerekmektedir. Oysaki patlatma tasarım yazılımlarıyla simülasyon gerçekleştirmek ve bütün olası sonuçları bilgisayar ortamında önceden görmek mümkündür. Böylece deneme atımlarıyla oluşacak maliyet engellenebilir. Tasarım programları bütün verilerin kaydedilmesi açısından da fayda sağlayacaktır. Patlatma verileri için ayrıca bir dokümantasyon yazılımına ihtiyaç olmayacaktır.

Bu bildiride Kırka Sarıkaya ocağı için JKSimblast yazılımı ile patlatma tasarımı gerçekleştirilmiştir. Avustralya kökenli olan bu yazılım yıllar içinde patlatma tasarımı konusunda yetkinliğini ortaya koymuştur (Jha, 2013). Genellikle tek sıralı ve iki sıralı atımlar uygulanan ocak için üç sıralı patlatma paternleri oluşturulmuştur. Farklı ateşleme düzenleri denenmiş ve sonuçlar incelenmiştir. Atım sırasında ortaya çıkacak olan patlayıcı enerji dağılımı irdelenmiştir. Son olarak ocak için ölçümlere dayanılarak yığının beklenen ortalama parça boyut dağılımı ortaya konmuştur. Yer sarsıntısı ölçüm verileri kullanılarak bilgisayar desteğiyle tasarlanan atım için patlatma kaynaklı yer sarsıntısı tahmininde bulunulmuştur.

2 AÇIK OCAKTA UYGULANAN ÇALIŞMA YÖNTEMİ

2.1 Konum, Jeoloji Ve Genel Açık İşletme Tekniği

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Kırka Bor İşletme Müdürlüğü; Eskişehir ili, Seyitgazi ilçesi, Kırka beldesinin 4,5 km batısında Sarıkaya bölgesinde bulunmaktadır.

Bölgede kara iklimi hüküm sürmekte olup, kışları soğuk, yazları sıcak ve kurak geçmektedir. Sahanın kuzeybatı ve güney bölümleri ormanlık olup, doğusu bitki örtüsüne sahip değildir.

Çalışma sahası, batı tarafında Kertil Tepe (1263 m), Kuşkayası Tepe (1286 m) ve Koca Tepe (1307 m)'den meydana gelmekte olup, bunların eteklerinden Lepçekdere'ye kadar arazi fazla engebeli değildir. Örtü tabakasının cinsi ve kalınlığı bölgesel olarak değişmektedir. Açık İşletme sahası ve yakın çevresinin haritası incelendiğinde topoğrafyanın basamaklı bir yapı oluşturduğu ve basamakların üst kısmında sileksli tavan kireçtaşı bloklarının yer aldığı görülür. Ayrıca, İşletme civarında yapılan sondajlarda, logların incelenmesi sonucunda, sileksli kalker içeren seviyelerin birkaç kere kesilmiş olduğu ortaya çıkmaktadır.

1970 yılından itibaren başlayan dekapaj faaliyetleri ile tuvönan cevher üretiminde "açık işletme metodu" uygulanmaktadır. Adını sınırları içinde bulunduğu Sarıkaya jeolojik formasyonundan alan Sarıkaya Açık Ocağında, kazı metodu olarak yukarıdan aşağıya doğru ters konik spiral basamak yöntemi uygulanmakta olup; kamyonların en alt kottaki cevhere ulaşımının sağlanabilmesi için cevher taşıma yolları spiral sistem ve/veya geri dönümlü sistemde oluşturulmaktadır. Dizayn edilen cevher basamaklarının yüksekliği 10 ±3 metre, basamak genişliği ise 25 ±5 metre olarak değişmektedir. Ocak 2012 tarihi itibariyle üzeri açık (üretime hazır) cevher sınırı içinde bulunan yaklaşık 600.000 m^2'lik bir alandaki +1050 ile +1180 kotları arasında bulunan cevher basamaklarından, tuvönan cevher üretimi gerçekleştirilmektedir. Dekapaj faaliyetlerinin sürdürüldüğü bölgelerde dahil olmak üzere toplam yüzey alanı 2.000.000 m^2 seviyelerine ulaşmış olan Sarıkaya Açık Ocağı, dünyanın sayılı büyüklükteki açık işletmelerinden biridir.

Şekil 1. Kırka Sarıkaya Açık Ocağı

Delme - patlatma işlemi ile gevşetilen cevher kayacının kazısı hidrolik paletli ekskavatörlerle yapılmakta ve yükleme-taşıma için "hidrolik paletli ekskavatör + kamyon sistemi" uygulanmaktadır. Tuvönan cevher üretimi; uygun büyüklükte kapalı bir tuvönan cevher stok alanının bulunmaması, Tinkal cevher formasyonunda breşik ve kompleks yapıda kil ve marn minerallerinin bulunması ve Tinkal cevherinin suda çözünürlüğünün çok yüksek olması nedeniyle, yağmur ve kar gibi dış etkenlere maruz kalan cevherin kalitesini kaybetmesi gibi ciddi sorunlarla karşılaşılmakta ve kilin nemi tutması nedeniyle tesislere beslemede çok ciddi sıkıntılar yaşanmaktadır. Bu nedenlerle açık ocakta üretim haftada 7 gün, 3 vardiya düzeninde yılın tüm günlerinde yapılmakta olup, tesislerin günlük ihtiyacını karşılayacak şekilde, günlük olarak delme- patlatma işlemi yapılmaktadır. Yağışlı havalarda üst kotlardaki üretim basamaklarından düşük eğimli nakliye yolları kullanılarak üretimin devamlılığı sağlanmaktadır (Ayten, 2012).

2.2 Ocakta Uygulanan Delme-Patlatma Tasarımı

İşletmede günlük ihtiyaç duyulan üretime göre delme sistemi oluşturulduktan sonra, delikler tek sıra ya da şeş-beş delik düzeninde delinmektedir. İşletmede dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe üretim ihtiyacına göre değişmektedir. Delik boyunun 1/3'ü kadar sıkılama yapılır. Delik boyu basamak yüksekliğine bağlı olarak değişmekte olup, 11 m yüksekliğindeki bir basamak için 11,5 m delik delinir. Bunun nedeni, patlatma sonucunda en az miktarda takoz bırakmaktır. Delik çapı, patlatma sonucu elde edilen malzemenin tane boyutu ve basamak yüzeyinin düzgünlüğünü etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. İşletmede 160 mm delik delebilen 2 adet Ingersoll-Rand marka DM-25 delici ile 102 mm delik delebilen Furukawa HCR-12 marka bir delici ile delme işlemleri yapılmaktadır.

Çizelge 1. 160 mm delik çapı için üretimde yapılacak atımlarda atım parametreleri ve bir delikte kullanılacak patlayıcı madde miktarları

Dilim kalınlığı	5±0,5 m
Delikler arası mesafe	5,5±0,5 m
Delik Boyu	10± 3 m + (0,5-1 m tırnak payı)
ANFO	100 kg
Kapsüle duyarlı patlayıcı madde (Dinamit)	2±0,5 kg
Gecikmeli elektrikli veya nonelectric (elektriksiz) kapsül	2 adet

3 BİLGİSAYAR DESTEKLİ PATLATMA TASARIMI

Bu çalışmada patlama tasarımı için JKSimBlast yazılımı kullanılmıştır. JKSimBlast, madencilik patlatmaları ve ilişkili operasyonlar için JKTech tarafından geliştiren bir simülasyon yazılımıdır.

Yazılım Avustralya Queensland Üniversitesi'ne bağlı olan JKMRC (Julius Kruttschnitt Madencilik Araştırma Merkezi) kurumun 20 yıldan fazladır yapmış olduğu araştırmalara dayanmaktadır ve dünya çapında 400'den fazla kullanıcıya sahiptir.

Ana modülleri 2DBench, 2DRing ve 2DFace'tir. Bu modüller sırasıyla açık ocak basamak patlatması tasarımı, yeraltı ve tünel patlatma tasarımı için kullanılır. 3 modlün ortak amacı optimum bir patlatma tasarımı sağlamak, delik içi patlayıcı ve malzeme dolumu, delik içi ve yüzey gecikmesi hesabı yapmak, patlatma simülasyonu ve gerçekleştirmektir (SoftBlast,2006). Bu çalışmada açık ocak patlatma tasarımı amacıyla kullanılan 2DBench modülünden faydalanılmıştır. Patlatma tasarımı yapıldıktan sonra simülasyon oluşturulabilir ve patlatmanın enerji dağılımı, oluşan yığının parça boyut dağılımı yazılım ile hesaplanabilir.

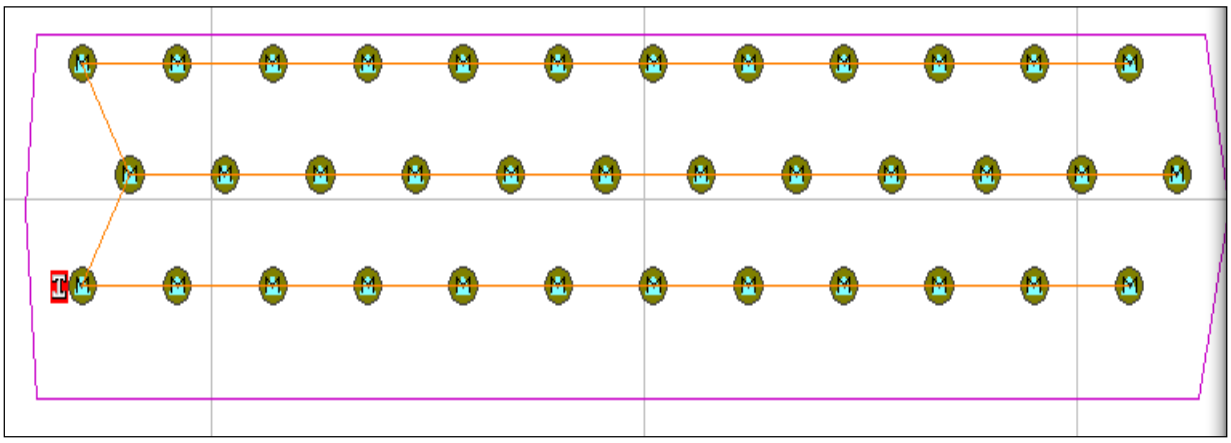
Eti Maden Kırka Ocağı için JKSimBlast yazılımı kullanılarak, iki farklı ateşleme düzenine sahip patlatma tasarımı yapılmıştır. Yapılan bu tasarımların gecikme süreleri farklı tutulmuş ve arazide görüldüğü üzere bazı deliklerin su barındırdığı göz önüne alınarak sulu deliklere emülsiyon−Anfo karışımı ve kuru deliklere Anfo koyulması öngörülmüştür.

3.1 2DBench Basamak Patlatması Tasarım Yazılımı

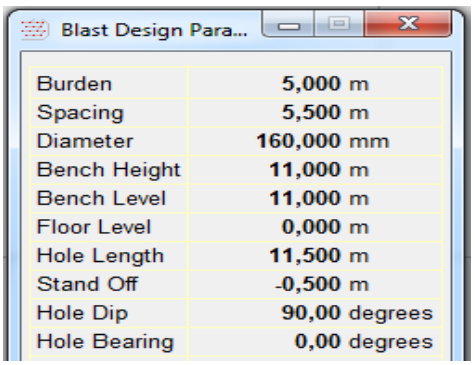
Her iki atım içinde delikler arası mesafe 5,5 m ve dilim kalınlığı 5 m olarak arazi değerleri ile eş olarak alınmıştır. Yine arazide uygulanan değerlere benzer olarak basamak yüksekliği 11 m, delik çapı 160 mm, ve alt delme 0,5 m olarak belirlenmiştir.

Yazılımda tasarım yapılırken öncelikle patlatma parametreleri belirlenerek basamak görüntüsü oluşturulduktan sonra enerji dağılımı ve özgül şarj değerleri için bir poligon oluşturularak bu poligon baz alınıp işlemlere devam edilir. Delik içi patlayıcılar ve gecikme zaman girdileride verildikten sonra patlatma simülasyonu gerçekleştirilir ve değerler incelenir. Yazılım içerisinde bu değerleri oluşturmak için modlar mevcuttur.

Delme modu kullanılarak delik özellikleri ve patern parametreleri verilerek düzenlenir. Delik düzeni (Şekil 2), delikler arası mesafe ve delik boyu gibi değerler bu modda verilir (Şekil 3).



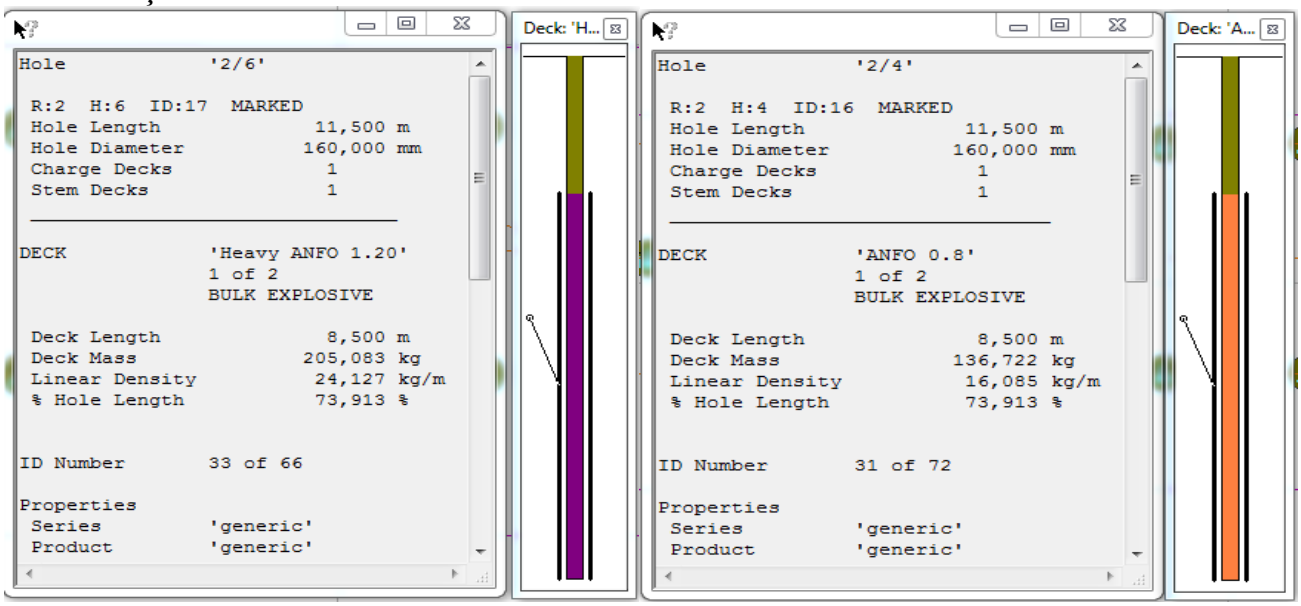
Şekil 2. JKSimblast yazılımı ile oluşturulan delik düzeni



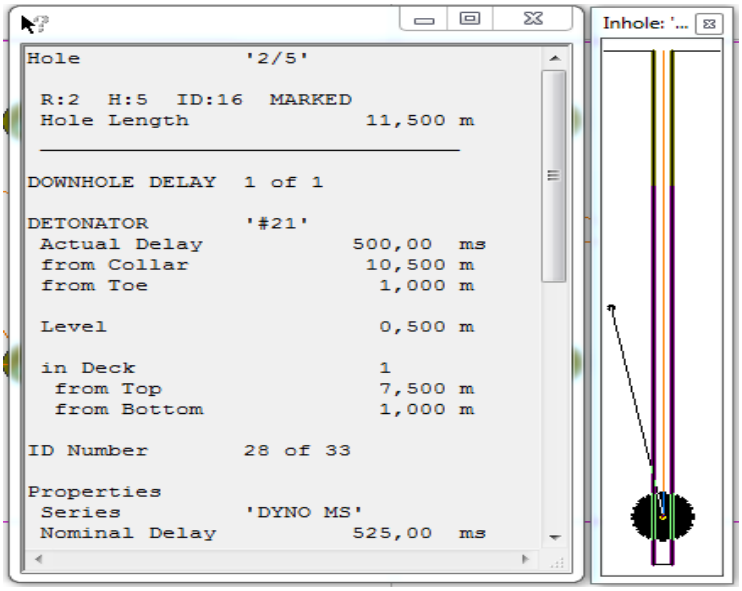
Şekil 3. Patlatma tasarım parametreleri

Load (Şarj) modu kullanılarak delik içinde kullanılacak patlayıcı madde Anfo veya Ağır ANFO (Emülsiyon ANFO karışımı) (Şekil 4) olarak belirlenebilir ve patlayıcı şarjı delik dibi veya yüzeyden mesafe verilerek gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada patlayıcı şarj yüksekliği 8,5 m ve sıkılama 3 m olarak alınarak arazi değerlerine bağlı kalınmıştır.



Şekil 4. Delik içinde kullanılan patlayıcının yazılımdaki görüntüsü

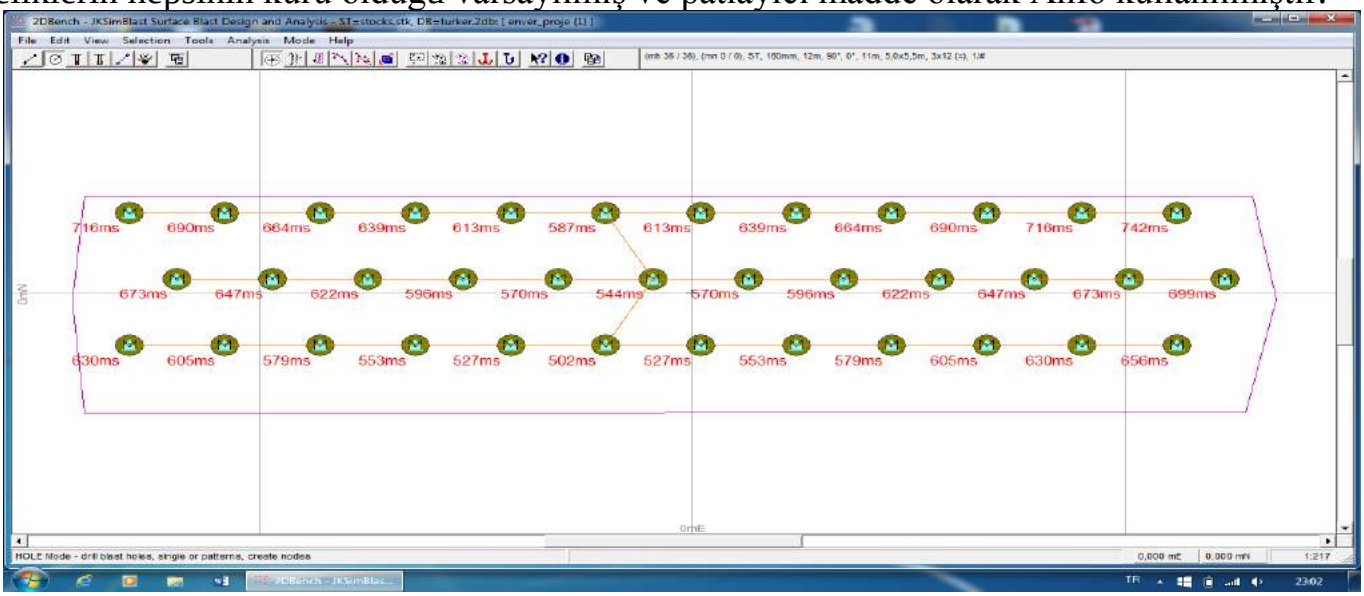


Şekil 5. Delik dibi gecikmeli kapsülün görünümü

3.2 Çok Sıralı Atım Tasarımı

3.2.1. Atım 1

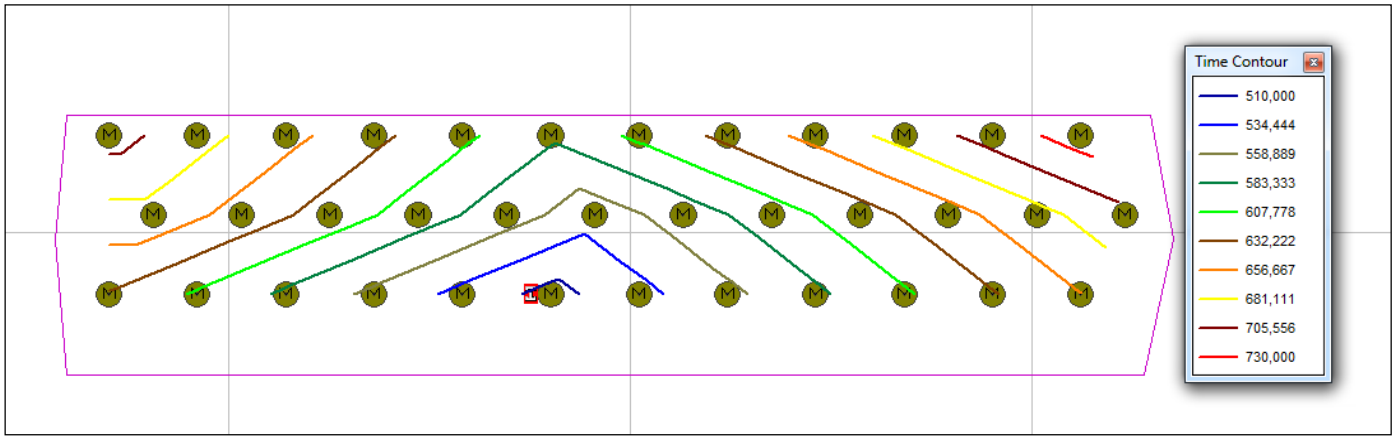
Ocak için tasarlanan birinci atımda (Şekil 6) toplam 36 delikli 3 sıra düşünülmüş ve bunun üzerinden yorumlama yapılmıştır. Yüzey gecikmesi delikler arası 25 ms, sıralar arası 42 ms ve delik dibi gecikmesi her delik için 500 ms olarak belirlenmiştir. Delik patlatmasına ilk sıranın soldan 6. Deliğinden başlanması kararlaştırılmıştır. Bu atımda hiç bir delikte su olmadığı yani deliklerin hepsinin kuru olduğu varsayılmış ve patlayıcı madde olarak Anfo kullanılmıştır.



Şekil 6. Atim 1 için orta kısımdan açılan bir patlatma tasarımı

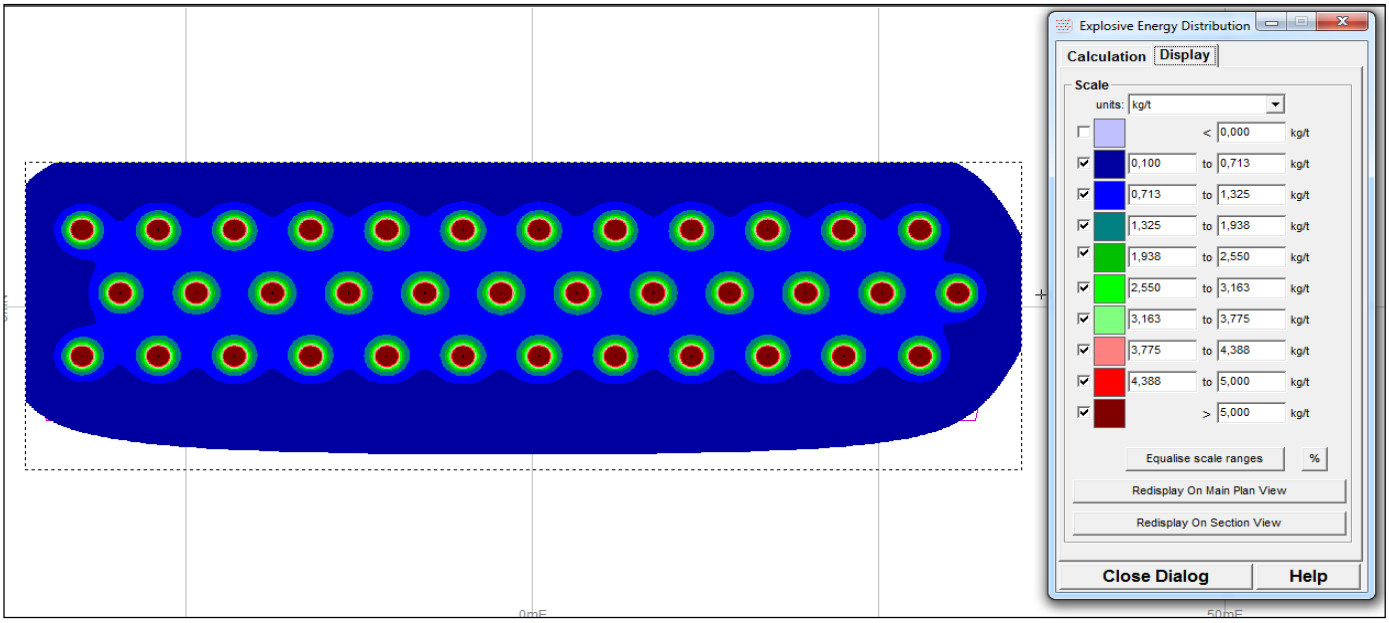
Şekil 6'da görüldüğü üzere soldan 6. Delik ilk delik olarak belirlenmiş ve patlama o noktadan başlayarak devam etmiştir. Son patlayan delik, ateşlemenin başlamasından 742 ms sonra patlayan 3. Sıra sağdan 1. Deliktir.

Burada patlatılan basamağın içe ortaya yıkılarak yığın oluşturması söz konusudur. Deliklerin patlama sırasına göre ilerlemesini gösteren zaman konturları Şekil 7'de gösterilmiştir.

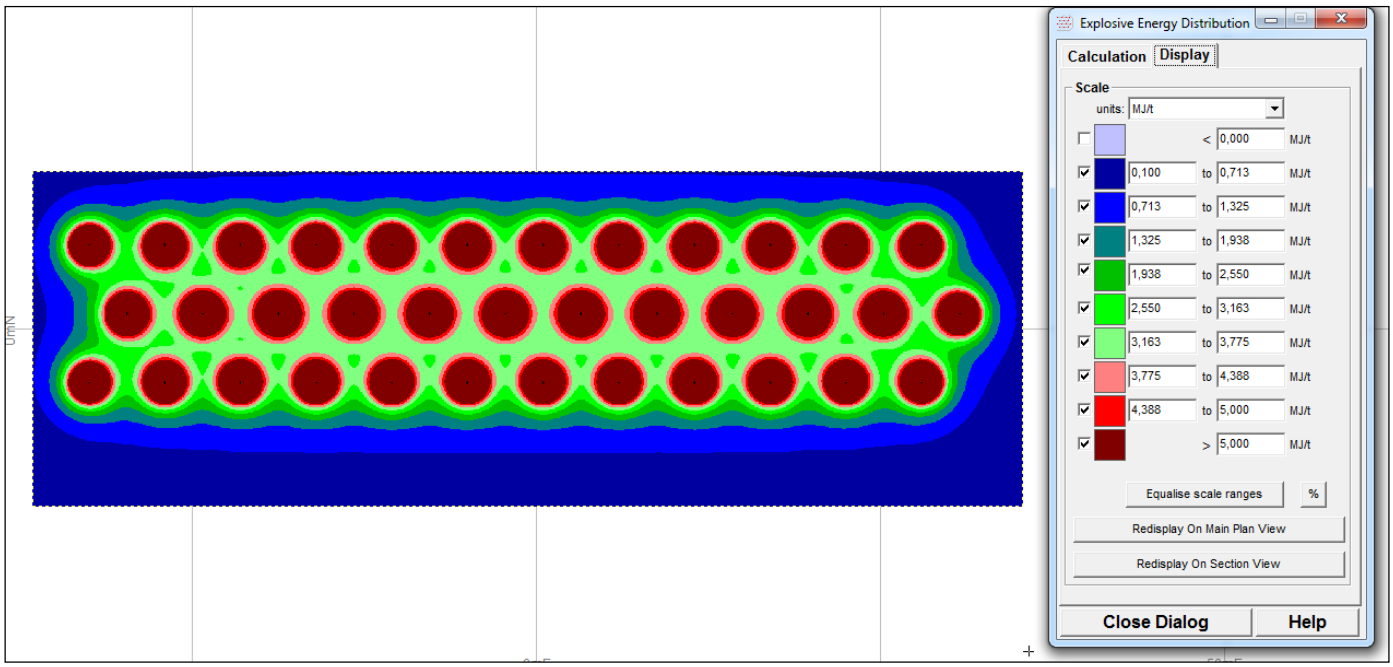


Şekil 7. Atım 1 için zaman konturları

Patlatma simülasyonu gerçekleştirildikten sonra atım 1 için enerji dağılım grafiği oluşturulmuştur. (Şekil 8). Enerji dağılımı incelendiğinde enerjinin en yüksek olduğu yerler delik bölgeleri olarak gözükmektedir. Delik merkezinden uzaklaşıldıkça enerji azalma göstermiştir. Patlatma sonrası her bir delikte ortaya çıkan enerji diğer deliklere ulaşmadan azalma göstermiştir. Delik içerisinde açığa çıkan enerji 5 kg/t'dan yüksek olarak belirlenmiş ve koyu mavi ile gösterilen bölgede 0,1 ve 0,713 kg/t seviyesine düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 8. Atım 1 için patlayıcı enerji dağılımının gösterimi (kg/t)

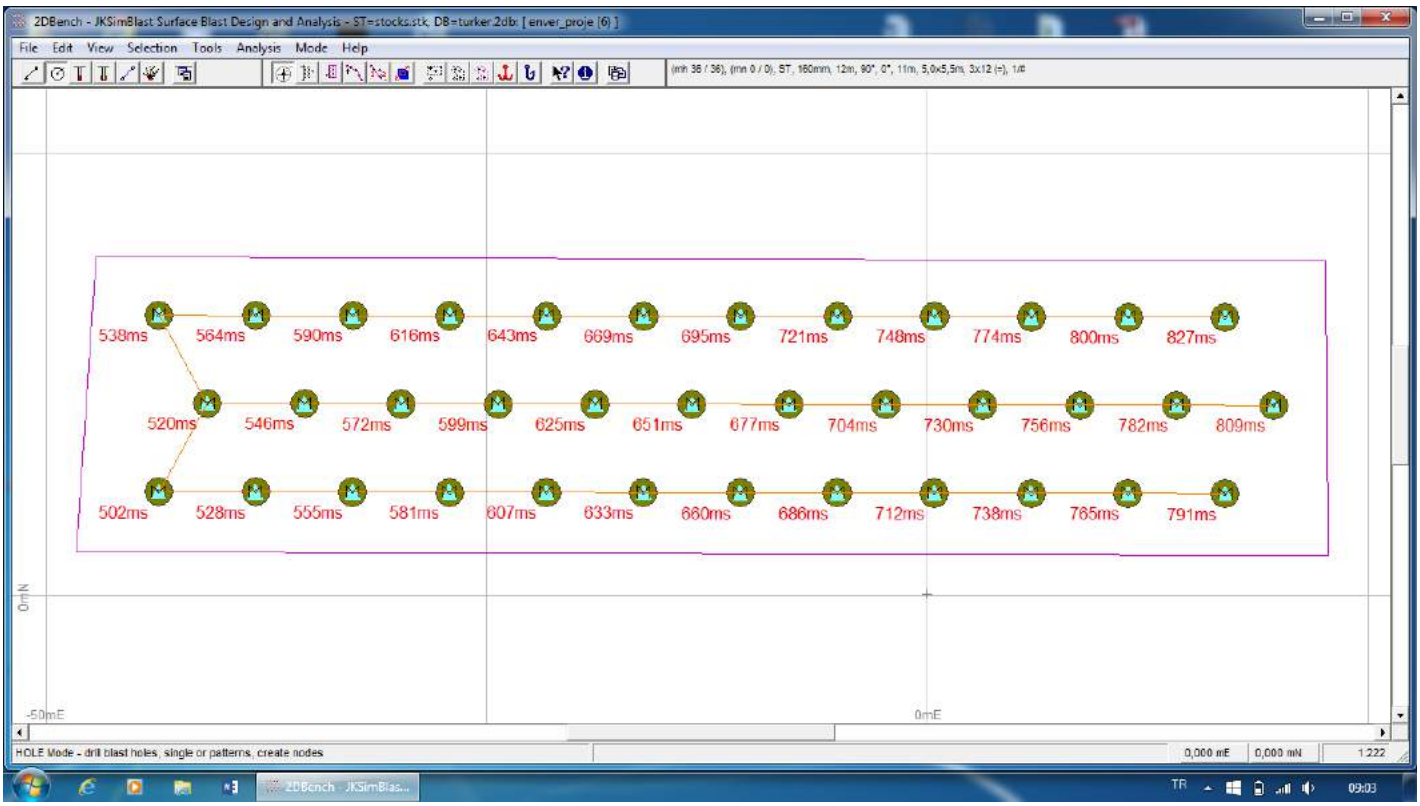


Şekil 9. Atım 1 için patlayıcı enerji dağılımı (Mj/t)

Şekil 9'da enerji dağılımı Mj/t olarak gösterilmiştir. Sıralar arası bölgedeki enerji yoğunluğunu bu şekilde daha net görmek mümkündür. Şeklin yanındaki ölçekten farklı renklerin temsil ettiği enerji değerleri görülebilir.

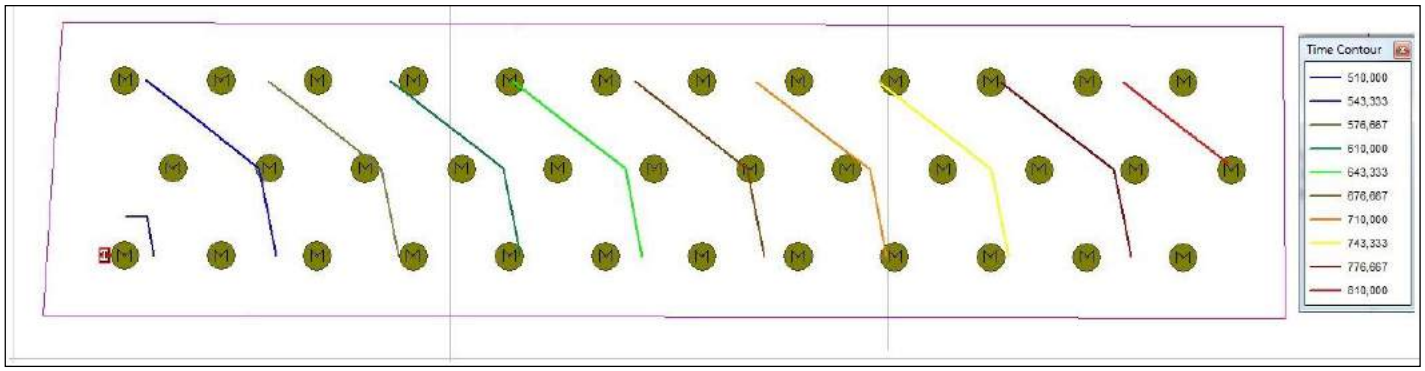
3.2.2. Atım 2

Atım 2 için 3 sıralı 36 delikli bir atım tasarlanmıştır (Şekil 10). Atım 1'den farklı olarak ilk sıranın soldan birinci deliğinden, yani yandan ateşleme başlamaktadır. Delik parametreleri arazi ölçümleri ile birebir aynıdır. Yüzey gecikmeleri delikler arası 25 ms, sıralar arası 17 ms ve delik dibi gecikmesi 500 ms olarak alınmıştır. Atım 2 için 5 delik içerisinde su bulunduğu varsayılmış ve bu deliklerde emülsiyon patlayıcı şarjı düşünülmüştür.



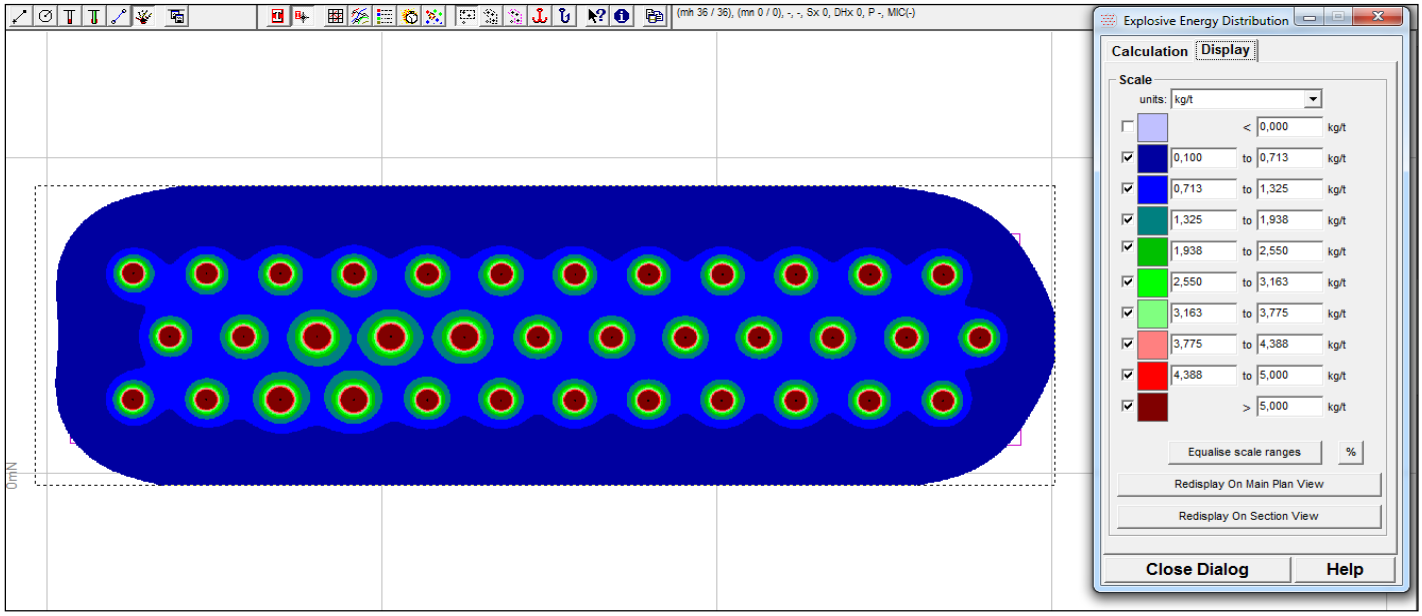
Şekil 10. Atım 2 için çok sıralı patlatma tasarımı

Soldan ateşleme yapılan bu atımda detonasyon sağ tarafa doğru devam edecek; son delik ateşlemeden 827 ms sonra patlayacaktır. Bu tasarımda ateşleme soldan sağa doğru ilerleyecektir. Patlama sırasını gösteren konturlar Şekil 11'de gösterilmiştir.

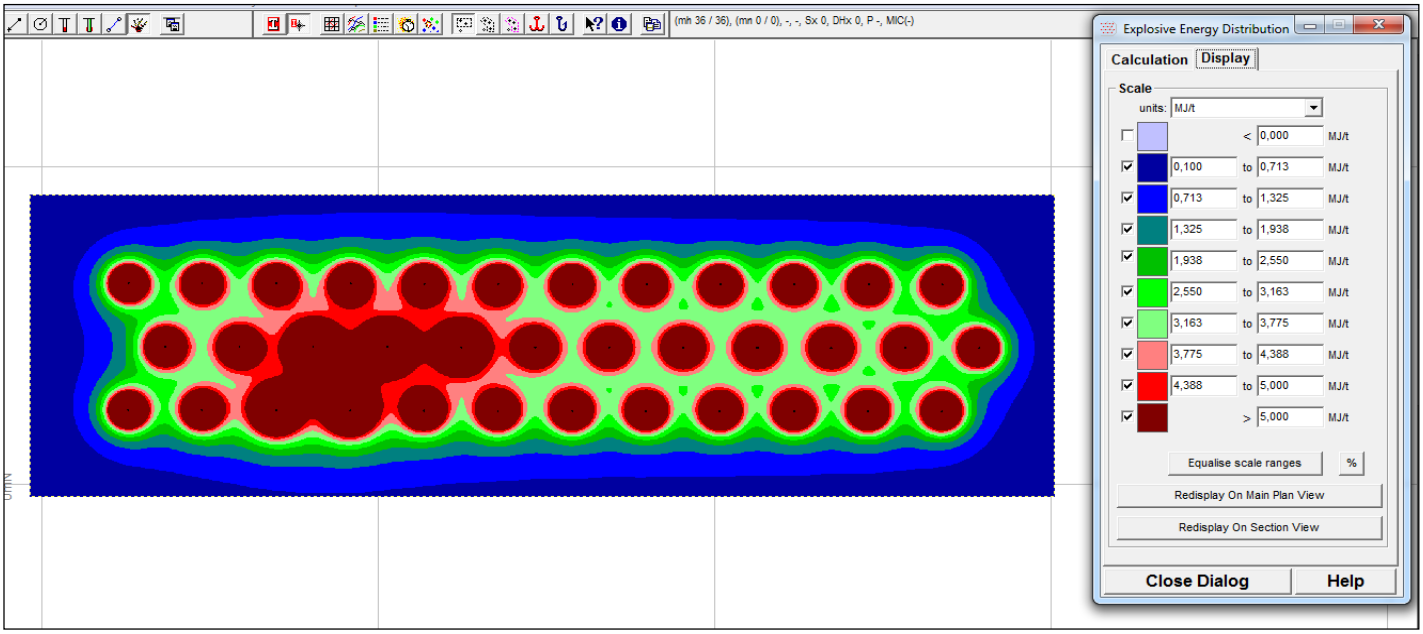


Şekil 11. Atım 2 için zaman konturları

Atım 2 için enerji dağılımı grafiğine bakıldığında emülsiyon Anfo karışımı patlayıcı kullanılan deliklerde enerjinin Anfo olanlara göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 12). Mj/t olarak enerji dağılımı incelendiğinde emülsiyon şarjlı deliklerin çevresinde yüksek bir enerji yoğunluğu görülmektedir. (Şekil 13). Bu kısımda nispeten yüksek seviyeli parçalanma beklenebilir.



Şekil 12. Atım 2 için patlayıcı enerji dağılımı (kg/t)



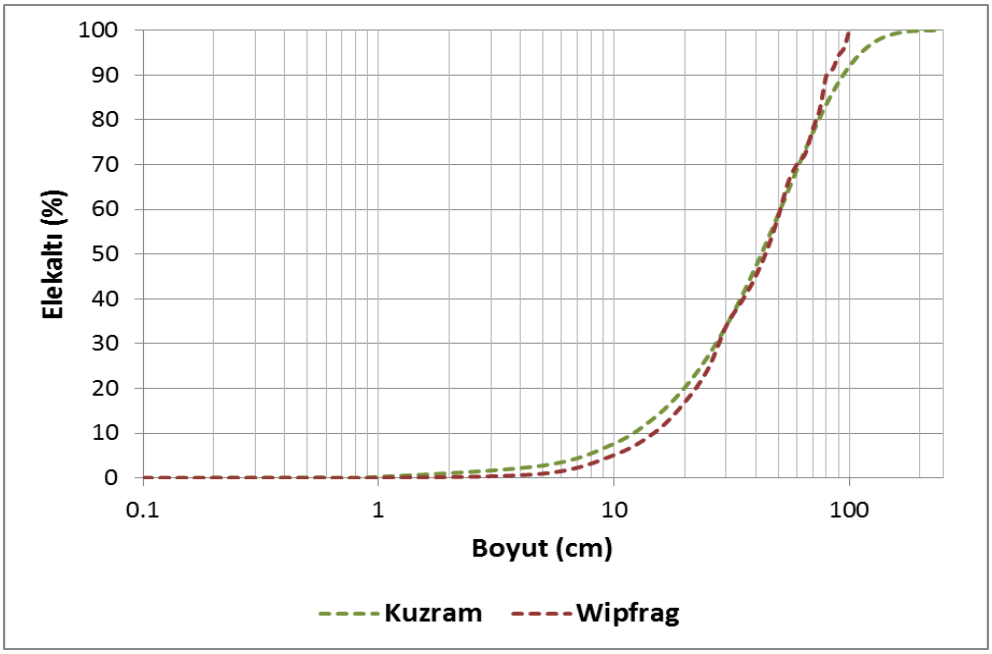
Şekil 13. Atım 2 için patlayıcı enerji dağılımı (Mj/t)

4 TASARLANAN ATIM İÇİN PARÇALANMA VE YER SARSINTISI TAHMİNİ

4.1. Tasarlanan Atım İçin Yığının Boyut Dağılımının Kestirimi

Ocakta gözlenen atımlar için yığının parça boyut dağılımları Wipfrag görüntü işleme yazılımı ile tespit edilmiştir. Şekil 14'de yukarıda incelenen 5x5,5 geometriye sahip 11 metre yükseldiğindeki basamak atımı için görüntü işleme yoluyla elde edilen yığının parça boyut dağılımı ve KuzRam Parçalanma modeliyle tahmin edilen boyut dağılımı verilmiştir. KuzRam modeli Kuznetsov'un parça boyut dağılım denklemi, Rossin Rammler eğrisi, kayaç özelliklerini veren Cunnigham'ın katkısıyla hazırlanan bir eşitliğe dayanmaktadır (Cunningham, C. V. B. 1983, 1987). Bu model yoluyla yığının parça boyut dağılımı teorik olarak çizilebilir. Bilgisayar destekli patlatma tasarımı gerçekleştirildikten sonra ek olarak KuzRam modeliyle atımın parça boyut dağılımını da rahatlıkla tahmin etmek mümkündür. Ortalama parça boyutu görüntü işleme yazılımıyla 43,98 cm olarak ölçülmüş, KuzRam Modeli ile 42,32 cm olarak tahmin

edilmiştir (Şekil 14). KuzRam modelinin düşük hata ile Kırka işletmesinde parçalanma tahmininde kullanılabileceği öngörülmüştür.



Şekil 14. Kuzram Modeli ve Wipfrag yazılımı parça boyut dağılım grafiği

4.2 Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntısı Kestirimi

Çalışma kapsamında parçalanma ve patlatma verimliliğinin incelenmesinin yanı sıra patlatma kaynaklı titreşim ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen ölçümler kullanılarak USBM (Amerikan Açık Ocak Madencilik Bürosu) ölçekli mesafe kavramı kullanılarak patlatma kaynaklı titreşim tahmin denklemi oluşturulmuştur. Bu denklem aşağıda verilmiştir. Denklem yoluyla yer sarsıntısı seviyeleri parçacık hızı değeri kullanılarak tahmin edilmektedir (Duvall, W.I. and Petkof, 1959, Rosenthall M. F. & Morlock G. L. 1987).

$$PPV = 539{,}67(SD)^{-1{,}797} \qquad R^2 = 0{,}7733 \qquad (1)$$

Burada ppv en yüksek parçacık hızı (mm/s), SD ölçekli mesafe'dir .
$SD = D/W^{0,5}$
D: Patlatma yapılan lokasyon ile ölçüm istasyonu arasındaki mesafe (m),
W: Gecikme başına kullanılan maksimum patlayıcı miktarı (kg).

Arazi verilerine dayanarak geliştirilen bu denklem vasıtasıyla, bilgisayar destekli tasarlanan atımın beklenen yer sarsıntısı seviyelerini tahmin etmek mümkündür. Örneğin Şekil 3'de patlatma tasarımı sunulan örnek atımın için bir delikteki patlayıcı miktarı 136,7 kg'dır. 8 ms aralıkla aynı anda patlayan 2 delik söz konusu ise, maksimum patlayan patlayıcı miktarı (W) 273,4 kg bulunur. Ölçüm mesafesi (D) 200 m için formülde değerler yerine yerleştirilirse beklenen parçacık hızı 6,11 mm/sn bulunur. 300, 400 500 m mesafe için tahmini parçacık hızı değerleri sırasıyla 2,95, 1,76 ve 1,18 mm/sn'dir. Burada zaman içinde arazi şartları değiştiği için denklemin yeni ölçümlerle revize edilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

5 SONUÇLAR

Bilgisayar destekli tasarımın mühendisliğin her alanında olduğu gibi kaya patlatma tasarımında da başarıyla kullanılabileceği öngörülmektedir. Burada görüldüğü gibi bilgisayar destekli tasarım ile her şeyden önce patlatma tasarım parametrelerinin yüksek hassasiyetle belirlenmesi mümkündür. Farklı ateşleme düzenleri oluşturulabilir ve ateşleme simülasyonu gerçekleştirilebilir. Ateşleme konturları yoluyla atım anında kayaç hareketinin ne şekilde gerçekleşeceği öngörülebilir. Ateşleme düzeni parçalanma verimliliği üzerinde ve patlatma kaynaklı yer sarsıntısı hususunda büyük önem arz etmektedir. Aynı anda patlayan delik sayısı uygulanan ateşleme paterninin bir sonucudur.

Patlatma tasarım programlarıyla patlatılacak kısım birebir ölçekli olarak çizildiği için, kırılacak kayaç miktarını en yüksek hassasiyetle belirlemek mümkündür. Atım öncesi kullanılacak olan patlayıcı miktarı, ateşleme elemanı miktarı detaylı olarak hesaplanabilir.

Tasarım programının bir diğer faydası bu yazılımlarla atım sırasında enerji dağılımının görülebilmesidir. Basamak yapısı nedeniyle kimi zaman deliklerin boyu farklı olabilmektedir veya su durumu nedeniyle kullanılan patlayıcı tipi değişebilmektedir. Bu durumun patlatma verimliliği üzerindeki etkisi enerji dağılımı yoluyla rahatlıkla incelenebilir. Bu bildiride emülsiyon patlayıcı kullanılması durumunda enerji dağılımındaki değişim incelenmiştir. Enerji yoğunluğunun yüksek olduğu kısımda parça boyut dağılımın daha ince olması beklenebilir.

Kırka ocağında yapılan bu inceleme sonucu patlatma tasarım programlarının bu ocak için en verimli şekilde kullanılabileceği ortaya konmuştur. İlave olarak, arazi verilerine dayanarak ayrıca parçalanmanın kestirimi ve patlatma kaynaklı yer sarsıntısı kestirimi de mümkün olabilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi sırasında desteklerini esirgemeyen Eti Maden A.Ş. Kurumuna ve Kırka Bor İşletme Müdürlüğü personeline teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Ayten, E, 2012, Sarıkaya Açık Ocağı Bilgilendirme Raporu**,** Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Kırka Bor İşletme Müdürlüğü

Cunningham, C, V, B, 1983, The KuzRam model for prediction of fragmentation from blasting, Proceedings of 1st International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, s. 440-453, Lulea, Sweden.

Cunningham, C, V, B, 1987, Fragmentation estimations and KuzRam model – four years on, Proceedings of 2nd Int. Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, s. 475-487, Keystone, Colorado.

Duvall, W.I. and Petkof, B., Spherical propagation of explosion generated strain pulses in rock, US Bureau of Mines, RI 5483, 1959, Washington D. C.

Jha, A. K., 2013, Evaluation of Mine Productivity and Economics by Effective Blast Instrumentation—A Techno Economic Proposition Journal of Geological Resource and Engineering, Vol. 1, pp.31-38

SoftBlast, JKSimBlast Blast Simulation Evaluation and Management, User Manual, 2006

Rosenthall M. F. & Morlock G. L., Blasting guidance manual office of surface mining reclamation and enforcement, 1987, Washington DC., 201 sayfa

The Analysis of Ground Vibrations Induced by Foundation Excavation Test Blasts nearby a Buried High Pressure Gas Pipeline

Yüksek Basınçlı Gömülü Gaz Boru Hattı Yakınında Yapılan Test Patlatmalarının Yol Açtığı Yer Titreşimlerinin Analizi

Y. Dagasan, O. Erten
Curtin University, Western Australian School of Mines, Kalgoorlie, WA, Australia

H.A. Bilgin
Middle East Technical University, Mining Engineering Department, Ankara, Turkey

ABSTRACT Due to the increase in earthwork rate in engineering applications, rock breakage nearby sensitive structures has become an important operation. Blasting, as one of the rock breakage methods, is a powerful tool and frequently used in mining and civil engineering works. Intensity of the ground vibrations induced by blasting is vital and should be controlled so as not to damage any property within the zone affected by blasting. In this case study, a controlled test blasting practice implemented nearby a buried high pressure gas pipeline is presented. Within the scope of this study, a number of test blasts were designed and carried out to identify the attenuation characteristics of the ground vibrations propagating through the pipeline direction. The empirical relations between the peak particle velocity and the scaled distance were established through a linear regression with a reasonable correlation coefficient. The vibration values measured during the test blasts were assessed according to the existing vibration regulations set for the blasting activities conducted nearby pipelines and the production blasts were then designed based on the site constants determined.

ÖZET Mühendislik uygulamalarında hafriyat hacmi ve hızındaki artış, hassas yapılar yakınında yapılan kaya parçalama islerini önemli bir işlem haline getirmiştir. Kaya parçalama yöntemlerinden biri olan patlatma madencilik ve inşaat işlerinde güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır. Patlatma kaynaklı titreşimler hayati önem taşımakta olup patlatmanın etkilediği alan içerisinde herhangi bir yapıya hasar vermemek için kontrol altında tutulmalıdır. Bu vaka çalışmasında yüksek basınçlı gaz boru hattı yakınında gerçekleştirilmiş olan kontrollü test patlatma uygulaması sunulmaktadır. Bu çalışmalar kapsamında boru hattı yönündeki sönümlenme karakterini tespit etmek amacıyla test patlatmaları tasarlanmış ve uygulanmıştır. Tepe parçacık hızı ve ölçekli mesafe arasındaki ilişki makul bir korelasyon ile tespit edilmiştir. Test patlatmaları sırasında ölçülen titreşim değerleri boru hattı yakınında yapılacak patlatmalara yönelik hazırlanmış standart ve yönetmeliklere göre değerlendirilmiş ve belirlenen saha katsayıları kullanılarak üretim patlatmaları tasarlanmıştır.

1 INTRODUCTION

The increase in the urbanization rate has created the need for constructing new structures rather close to one another, which calls for working sensibly to mitigate potential environmental impacts, particularly on nearby sensitive structures. Some of the construction works pre-require an excavation prior to the commencement of the construction, and depending on several factors such as geology, the size of the project and the need for completion of construction in due time, the use of explosives may be more favourable. Blasting is extensively used in construction to prepare the site as well as used in mining works to break rocks into smaller or larger pieces depending on the purpose of the blast. However, when an explosive is detonated in a blasthole, only a small portion of the energy does constructive work in terms of rock breakage. The rest of the released energy, however, is wasted and causes some environmental effects such as formation of airblasts, ground vibrations, flyrock, dust and gases (Dick et al., 1983; Morhard, 1987). The abovementioned environmental impacts of blasting may further cause some problems such as nuisance to neighbouring structures or damage to properties. Thus, the blasting activities nearby sensitive structures must be carefully planned and implemented. There are controllable and uncontrollable parameters that affect the intensity of the ground vibrations (Morhard, 1987). The uncontrollable parameters are mostly related to geology and cannot be changed. However, the controllable parameters are mostly related to the design of the blast and can be varied. Hence, it is possible to control and mitigate the ground vibration intensity by modifying the controllable parameters.

The aim of this case study is to investigate the applicability of blasting for a foundation excavation of a water tank construction nearby a buried high pressure gas transmission pipeline. The distance of the buried pipeline from the construction site varied from 112.5 m to 200 m. Small-scale controlled test blasts were designed and carried out at the furthest end of the excavation area to explore the attenuation characteristics of the ground vibrations towards the buried pipeline. The amount of explosives blasted and the distance to the seismographs were recorded to derive the scaled distance (SD) values corresponding to each shot. SD values, along with the recorded peak particle velocity (PPV) values, were then used to determine the site specific constants (K, β) by performing a linear regression analysis. The analysis of the ground vibration results then shed light on the maximum amount of explosives that can be blasted per delay in full scale production blasts in order not to exceed a permissible level of ground vibration. Assessment of the ground vibration intensity of the test blasts and the determination of the charge amount per delay were based heavily on the German DIN4150, Austrian and American standards (Dowding, 1985; Ganster, 2011). Having found out the amount of the safe charge per delay, the parameters of the production blasts were then determined and suggested.

2 TEST SITE

2.1 Location and General Information

The water tank construction was planned to be done at 3 km north-northwest of Yozgat city centre, which is located 170 km east of Ankara in Central Anatolia Region of Turkey (Dagasan, 2014). The location of the construction site is shown in Figure 1.

The construction of the water tank was a part of drinking water transmission line and water treatment plant construction work that was planned to be done by General Directorate of State Hydraulic Works (DSI in Turkish Acronym) to provide additional drinking water needed for the settlement areas in the region.

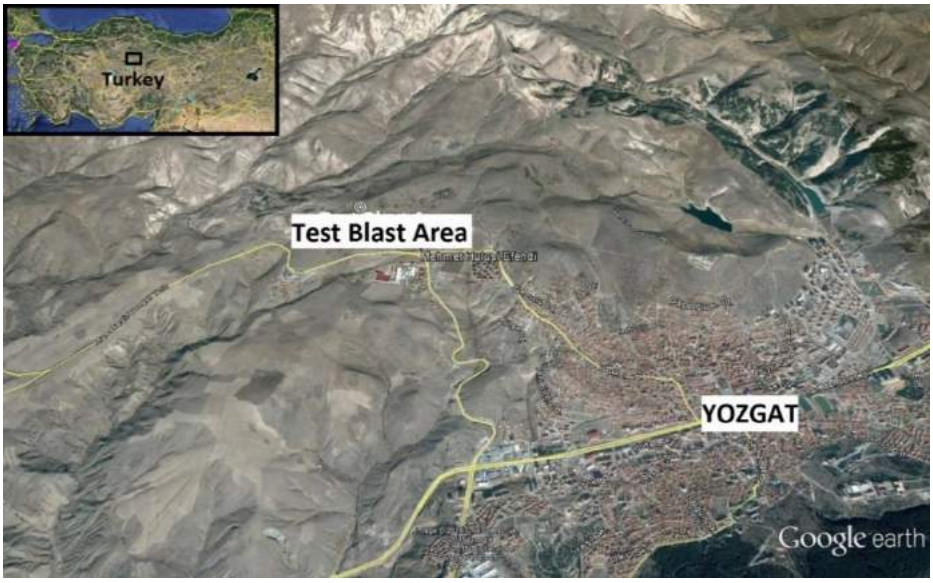


Figure 1. The location of test blast area

2.2 Pipeline Information

The pipeline belongs to the Petroleum Pipeline Corporation (BOTAŞ in Turkish acronym) and was constructed in 2005. It is a buried high pressure gas pipeline having a length of 67 km and carries natural gas between Yozgat City center and Sorgun district. The specifications of the pipe is given in Table 1.

Table 1. Specifications of the pipe

Standard	API SPEC 5L
Material Grade	X65
Outer Diameter	323.9 mm
Thickness	7.1 mm
Minimum Yield Strength	448 MPa
Minimum Tensile Strength	531 MPa
Operation Pressure	11 MPa

2.3 Geology

The project area is located in Yozgat Plateau. The volcanic rocks formed during the Cenozoic geologic era are exposed within the water tank construction area. These volcanic rocks, which are known as "Başıbüyüklü Volcanics" are said to have formed as part of Eocene volcanic Facies. Calc-alkaline volcanic rocks are believed to be the product of Abyssal volcanism (Ketin, 1983; Ternek, 1987). To determine the types and the properties of the rock types, a macroscopic analysis was carried out on site and some rock samples were taken to the laboratory for testing and microscopic analysis. The results of the laboratory tests are presented in Table 2.

Table 2. Rock type properties (Dagasan, 2014)

Rock Type	**Andesite**	**Basaltic Andesite**
Density (g/cm^3)	2.68	2.17
V_p (m/s)	5411	2872
V_s (m/s)	2554	1795

A discontinuity survey was also conducted on the field to identify the existing joint sets. The measured dips and dip directions were analysed in Rockscience Dips 5 software (Rocscience, 2002) and the identified planes are contained in Table 3. The bearing of the blast face is 180 degrees.

Table 3. Dip and dip directions of discontinuities

Discontinuity	Dip Direction (degrees)	Dip (degrees)
Joint Set 1	035	79
Joint Set 2	317	83
Minor Fault	303	77

3 BLAST DAMAGE CRITERIA FOR THE PIPELINES

3.1 DIN 4150-3 norm

Since the response of different types of pipes to seismic events induced by blasts or earthquakes is different irrespective of the type of the transmitted fluid, DIN 4150-3 specifies different levels of ground vibrations for different types of pipes. The allowable ground vibration values for different types of pipes in DIN 4150-3 norm are given in Table 5.

Table 4. Vibration values not to be exceeded in DIN 4150-3 for pipes

Pipe Properties	PPV on the pipe (mm/s)
Steel welded	100
Concrete, reinforced concrete, metal flanged	80
Plastics	50

3.2 Austrian Standard

According to the Austrian National Grid, no blasting is allowed within 250 m of a pipeline without an assessment of the ground vibration levels at the pipeline (Ganster, 2011). If the distance between the pipeline and the blast location is greater than 250 m then no blasting prohibition is implemented. The distances for which the National Grid advice shall be sought depending on the type of the operation close to a pipeline in Austria are presented in Table 5.

Table 5. Prescribed distances within which the advice of Austrian National Grid shall be sought

Activity	Distance (metre)
Piling	15
Surface Mineral Extraction	100
Landfilling	100
Demolition	150
Blasting	250
Deep Mining	1000

The Austrian National Grid states that the ground vibrations caused by blasting are limited to a maximum level of 75 mm/s. If the vibration values on the pipeline are predicted to exceed 50 mm/s, the ground vibrations should be monitored by the individual company undertaking

the work, and the results should be made available to the responsible person at their request (Ganster, 2011).

3.3 Previous Research on Damage Criteria for Blasting Nearby Pipelines

In the worst case experiments carried out by Dowding (1985), blasts were conducted as close as 4 m to the existing steel-welded pipes with diameter of 600 mm and 8 mm thickness. In one of the experimental blasts, 6.8 kg of ANFO was fired at a distance of 4 m to the pipeline and the measured PPV value was reported as 1.14 m/s (1140 mm/s), hoop deformations as 537 micron (0.537 mm) and longitudinal deformations as 786 micron (0.786 mm). Considering these values, it was reported that no leakage was detected in the pipe.

Siskind (2005) mentions about the blasts which were carried out as close as 50 m to the pipelines. It is stated that the pipes were subjected to PPV levels ranging from 12.7 mm/s to 635 mm/s. He concluded that there was no damage to the pipelines, of which four were made of steel and the last one was PVC, by continuously monitoring the pressures in the pipe and not detecting any pressure drop. Based on his experiences, he proposed a conservative safe vibration level of 127 mm/s for natural gas pipelines.

Oriard (1994) points out three situations that weren't documented with pipeline damage:
(1) Excavation close to 4.27 m to the existing buried pipeline that created a vibration value of 1600 mm/s. (2) Firing a 2,133.6 m long trench blast instantaneously without using any delay resulted in vibration values ranging from 2,540 mm/s to 3,810 mm/s.(3) Blasting as close as 0.61 m and 0.91 m to the existing buried pipelines resulted in vibration values ranging from 1,270 mm/s to 3,810 mm/s.

Three options for blasting close to buried pipelines, placed in a trench and overlying a sand layer, are recommended by Oriard (1994):
1-) Not to exceed the maximum vibration limit of 304.8 mm/s
2-) In case of blasting within 6 m to the existing pipeline, blasting more than one hole at a time should be avoided.
3-) Not to exceed the blasthole diameter of 63.50 mm (2 ½ in) in blasting operations that are in very close proximity to the pipeline.

The summary of the referenced regulations for blasting nearby buried high pressure gas pipelines is presented in Table 6.

Table 6. Summary of allowable vibration values to avoid any damage to pipelines

Name of the Country	**Name of the Expert or Type of the Pipe**	**Maximum Allowable Vibration Value on the pipeline (mm/s)**
United States of America	Oriard	305
	Siskind	127
German Federal Republic	Steel Welded	100
	Concrete or Reinforced Concrete Pipe	80
	Plastic	50
Austria	Not given a Specific Type	75

In Turkey, although there is a regulation for blasting nearby residential type of structures, a similar regulation in force regarding the transmission pipelines does not exist. Hence, other countries' blast regulations were referenced in this study.

4 METHODOLOGY

4.1 Vibration Prediction and Scaled Distance

Seismic waves decay with distance in a consistent manner as they propagate through the ground, which makes them predictable to some extent (Nateghi, 2012). There are a number of blast ground vibration predictors available to forecast the vibration intensity and the most widely used among all is the one which was proposed by Duvall and Fogelson (1962). The equation of the predictor is given below:

$$v = K\left(\frac{R}{\sqrt{Q_{max}}}\right)^{-\beta} \tag{1}$$

Where v is the ppv (mm/s), Q_{max} is the maximum charge per delay (kg), R is the distance between the blast location and the monitoring point (m), K and β are the site constants.

The site constants are simply determined by a linear regression analysis. To reduce the regression for a single variable, the distance R and the charge amount Q_{max} were combined to give a single variable called scaled distance (SD). The most common way of calculating SD is dividing the true (or physical) distance by the square root of the maximum charge weight per delay (Dowding, 1985). The formula for SD is given in equation (2).

$$SD = \frac{R}{\sqrt{Q_{max}}} \tag{2}$$

A number of vibration controlled test blasts were designed and conducted to obtain the site constants in order to predict the ground vibrations using the predictor given in equation (1). Each blast was monitored by seismographs and the measured PPV and the corresponding SD values were then used to calculate K and β constants through a linear regression analysis.

4.2 Test Procedure

Test blasts were carried out at a zone within the planned excavation area, where the distance to the pipeline was maximum. The distance from the selected test blast area to the pipeline ranged from 185 m to 200 m. Explosive amounts to be detonated per delay in the test blasts were determined by using the attenuation formulas previously obtained at sites having similar rock type (Dowding, 1985). The PPV value not to be exceeded in the test blast measurements taken on top of the pipeline was set to be 5 mm/s. The amounts per delay starting from 4.5 kg up to 18.5 kg were shot in the test blasts to avoid exceeding the pre-determined level of ground vibration intensity. The explosive charges were either ANFO or water resistant explosives (65% ANFO/ 35% AN emulsion), emulsion type of primers were used and the blasthole diameters were all 89 mm. Prior to the drilling of the blastholes, a minor excavation was carried out by hydraulic hammers to develop a free face for the test blasts and the depth of the blastholes, depending on the sloping topographical conditions, ranged from 1.5 m to 8 m. Several short holes were placed at the bottom of the test blast area which, after getting fired, created a free

face for the following row, right behind the holes where all the short holes were located. To identify the attenuation characteristics and analyse the ground vibrations, three available 4-channel seismographs were located between the test blast area and the pipeline. One of the seismographs was located at the ground surface on top of the pipeline, the second one was located 73.5 m away from the first seismograph, and the last one was located 97.9 m ahead towards the blast area. The locations of the seismographs and the pipeline, are shown in Figure 2.

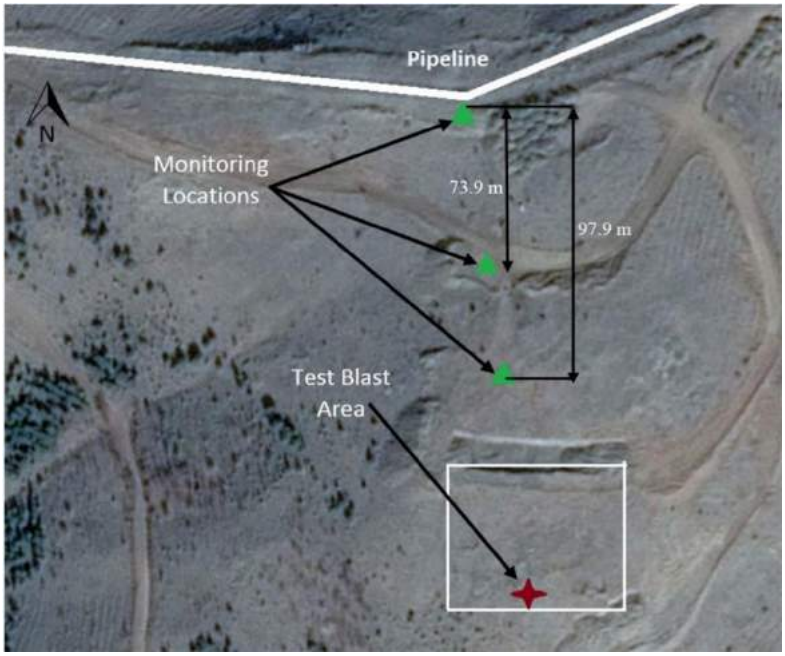


Figure 3. Test blast area and the locations of the seismographs

5 RESULTS AND ANALYSIS

5.1 Measurement Results

The maximum PPV measured on top of the pipeline was 4.32 mm/s. This vibration value was measured when 18.50 kg of explosive was detonated at a distance of 179.54 m to the monitoring location on top of the pipeline. This vibration value appeared to be below the pre-determined vibration level not to be exceeded in test blasts, which was 5 mm/s. When taking into consideration such result, one of the goals of the test blasts was achieved. In only two of the test blast cases, the dominant frequencies were determined as 1 Hz in transverse direction. The frequency distribution is shown in Figure 3 and the measurements are contained in Table 7.

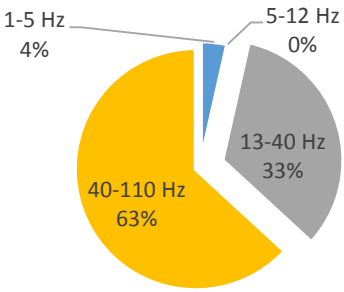


Figure 3. Frequency distribution of the measured vibrations

Table 7. Ground vibration measurements

Event no	PPV (mm/s)	Dominant frequency (Hz)	Charge per delay (kg)	Distance (m)	Scaled distance $\left(m/\sqrt{kg}\right)$
1	5.588	91.31	6.50	96.25	37.752
2	1.016	1.00	6.50	194.18	76.164
3	8.890	91.25	13.00	101.96	28.279
4	1.905	48.38	13.00	200.26	55.542
5	13.843	85.63	8.50	98.13	33.658
6	5.060	26.40	8.50	122.49	42.014
7	2.286	34.75	8.50	195.87	67.183
8	4.064	43.19	4.50	94.37	44.486
9	3.910	28.10	4.50	119.11	56.149
10	1.270	103.75	4.50	192.82	90.896
11	5.207	73.19	8.50	95.34	32.701
12	4.100	24.10	8.50	119.82	41.098
13	1.143	1.00	8.50	193.34	66.315
14	6.985	42.50	14.50	93.34	24.512
15	5.570	38.50	14.50	117.83	30.944
16	2.413	37.13	14.50	191.37	50.256
17	3.556	109.25	16.50	184.48	45.416
18	4.318	85.50	18.50	179.54	41.742
19	4.064	26.00	18.50	185.06	43.026

Turkish Regulation for blasting nearby residential structures states that the allowable maximum ground vibration level for 1 Hz is 5 mm/s. Measured PPV corresponding to this frequency, in transverse direction, resulted into 1.14 mm/s, which is one-fourth of the allowable level for residential structures. Therefore, even if there was a sensitive residential housing on top of the pipeline, there would not be any damage to it. Contrary to a building which freely moves when excited, the pipeline is a buried structure with a sand fill material around it. Hence, the pipe was assessed to be less likely to freely vibrate and be damaged.

The maximum PPV value measured on top of the pipeline was compared to the maximum allowable vibration levels in other countries' standards and the comparison is presented in Table 8.

Table 8. Percentages of the measured ground vibrations to the allowable limits given in different standards

Standard	**Allowable Value (mm/s)**	**Measured Max. Value (mm/s)**	**Percentage of the measured to the allowable**
Austrian National Grid	75	4.32	5.76%
German DIN 4150-3	100	4.32	4.32%
American USBM	127	4.32	3.40%

5.2 Analysis of the Measurement Results

To establish a relationship between SD and measured PPV values, a regression analysis was performed using 19 ground vibration events recorded during the test blasts. The number of data used in the analysis is fair considering the fact that the minimum number of 5 shots serve as a starting point with more data to be added (Konya & Walter, 1990). SD and the corresponding PPV values were plotted on a log-log graph to find the *K* and β site constants.

K and β values are obtained from the intercept and the slope of the best fit line in the regression analysis, respectively (Bilgin & Dagasan, 2015; Eltschlager, 2001; Erten et al., 2009). The regression analysis of the data pairs of the test blasts is presented in Figure 4.

K and β values are derived from the upper line representing 95% upper confidence interval. The site constants are calculated to be 5,326.5 and 1.773, respectively. R^2 represents the goodness of fit and the data set is considered valid whenever the R^2 value is greater than 0.7 (Eltschlager, 2001; Ozer et al., 2013). The R^2 value obtained in this study is 0.79 which indicates the consistency of the data pairs collected during the test blasts. The predictor equation then becomes the following:

$$PPV = 4{,}326.6 * SD^{-1{,}773} \quad (3)$$

It should be noted that the attenuation relation given in equation (3) was acquired by using the vibration measurements done on this site and it is site specific.

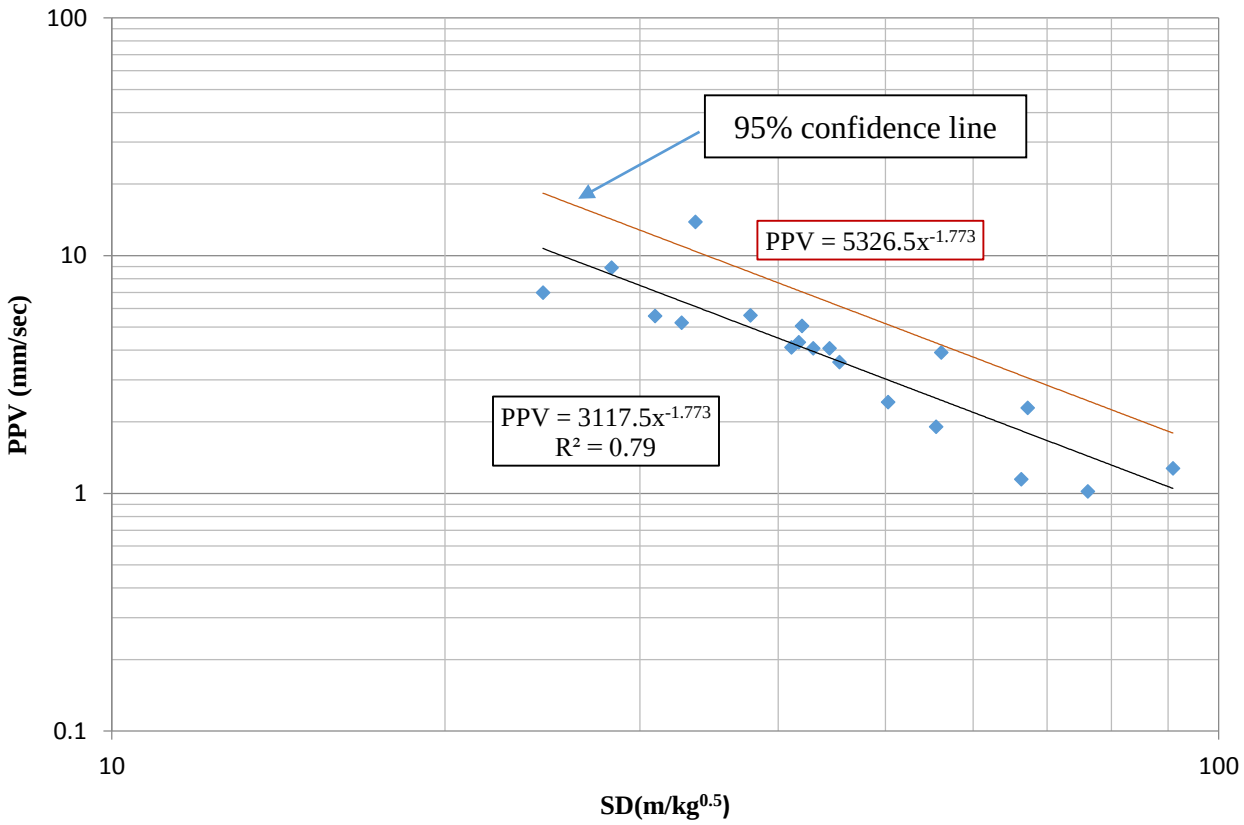


Figure 4. Regression analysis in the pipeline direction

6 VIBRATION CONTROLLED BLAST DESIGN

The equation (3) was used to calculate maximum charge per delay to be used in the full scale production blasts. To predict the maximum weight of charge per delay, the equation can then be re-typed in the following form:

$$Q_{max} = \left(D \Big/ \sqrt[\beta]{K/PPV} \right)^2 \tag{3}$$

To calculate the charge weight per delay, a maximum PPV value should be specified. In this study this PPV value was chosen as 20 mm/s. This value basically equals to 1/5 of the allowable value stated in DIN 4150 norm for steel welded pipes. There were two reasons for choosing a relatively low PPV value: (1) to account for the uncertainties about the condition of the pipe, which were related to the quality of the welding and the thickness of the sand bed around the pipe; (2) to reassure the pipeline company about blasting practices to be conducted nearby their pipeline and seek permission to conduct the blasts.

The closest distance at which the full scale production blasts were to be carried out was 120 m. When this distance was substituted into the equation (4) along with the specified 20 mm/s PPV value, the maximum charge weight of 26.47 kg/delay was obtained. This value can also be derived in the charge weight per delay estimation chart presented in Figure 5, which can be used to predict the level of vibration at different distances from the pipeline.

Considering the weight of an ANFO bag, which is 25 kg and the weight of a selected primer which is 0.5 kg, 25.5 kg/delay was found to be practical in this study and the production blasts were designed based on this charge amount. The parameters of the production blast are given in Table 9.

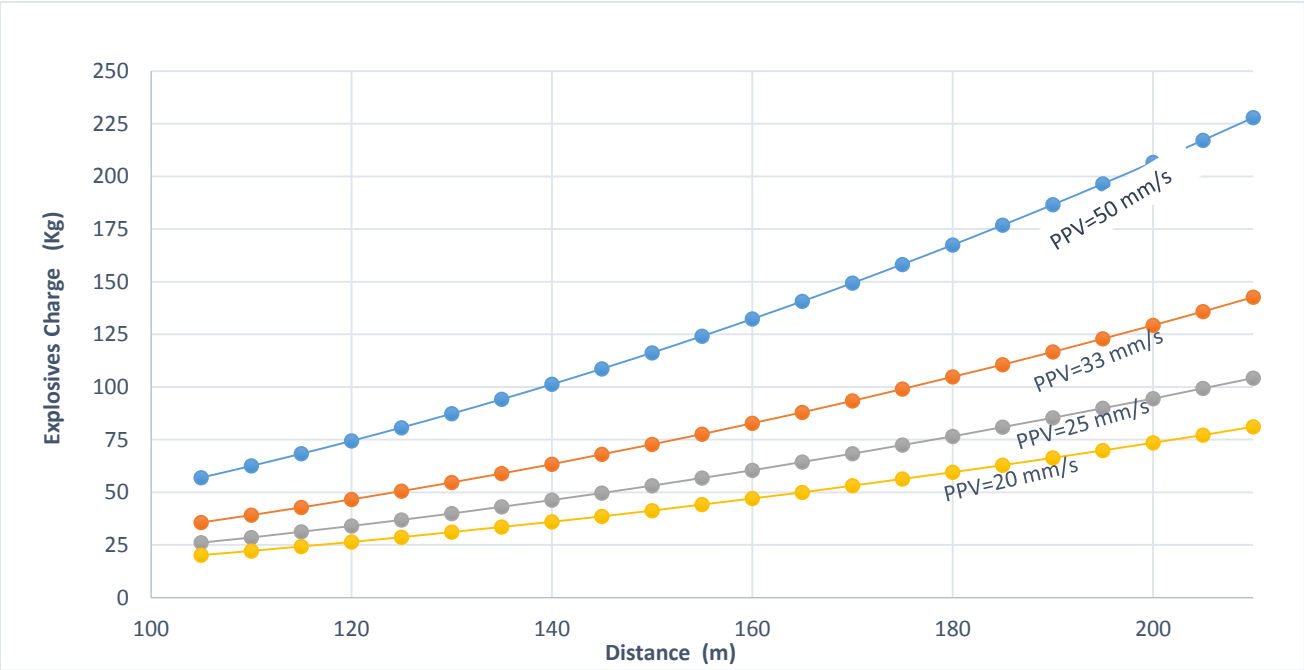


Figure 5. Charge per delay estimation based on distance and PPV

Table 9. Production blast parameters

Parameters	**Value**
Diameter, *d* (mm)	89
Slope, α (°)	90
Hole length, *H* (m)	8.4
Bench height, *K* (m)	7.5
Sub drill, *U* (m)	0.9
Burden, *B* (m)	2.9
Spacing, *S* (m)	3.5
Stemming, h_0 (m)	3.2
Number of rows	3
Max charge per delay, W_d (kg)	25.5
Explosive type	ANFO
Initiation system	Non-electric
Surface delays (holes-rows) (ms)	17-25
In-hole delays (ms)	500
Priming type	Cap Sensitive Emulsion

7 CONCLUSION

Blasting nearby sensitive structures needs careful investigation, design and practice. Within the scope of this study, test blasts were carried out at a particular location of the planned construction area by using explosive amounts ranging from 4.5 kg to 18.5 kg. The test blasts proved that the full scale controlled production blasts were feasible and practical. The resulted vibration values from test blasts were low and within the predicted limit set for the test blasts. The empirical relations between the PPV and SD in the pipeline direction were established with a reasonable correlation coefficient. The maximum allowable PPV value in this study was selected as 20 mm/s and maximum charge per delay value of 26.47 kg of ANFO was calculated using the attenuation relation obtained. By using the site attenuation relation, it was found that there was no risk of damage to the pipeline from the blasting activities even at the closest end of the excavation zone provided that the safe amount of explosives was not exceeded. Production blasts were designed based on the maximum charge per delay (26.47 kg), and the practical charge per delay to be used in the production blasts was determined to be 25.5 kg. It was thought that this value is adequately safe to carry out production blasts nearby the pipeline. It should, however, be noted that although the attenuation relation obtained can predict the intensity of ground vibration with a reasonable correlation, it would be a useful practice to monitor each production blast and add the measured data to the existing regression analysis to support and update the reliability of the predictor equation.

8 ACKNOWLEDGEMENT

We would like to thank the personnel of İNCEKAYA İnşaat Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. for helping with the field work and vibration measurements. We also express our thanks to Mehmet Altintas and Selahattin Sarac for helping with the laboratory work.

REFERENCES

Bilgin, H. A., & Çakmak, B.B. (2008a). *Ordu Topçam Barajı ve HES İnşaatı Varyant Karayolu Patlatmalarının Aşıklı Köyü Kırantam Mahallesi Üzerine Çevresel Etki Etüdü*, Proje Kod No: 07-03-05-01-00-10, ODTÜ, Ankara, 140 sayfa (In Turkish).

Bilgin, H. A., & Çakmak, B.B. (2008b). *Aydıner A. Ş. Tarafından İşletilmesi Planlanan Doğaltaş (Bazalt) Madeni Yolunda ve Ocağında Yapılacak Patlatmaların Derbent Barajı ve HES Üzerine Titreşim ve Gürültü Etüdü*, Proje Kod No: 08-03-05-01-00-04, ODTÜ, Ankara, 126 sayfa (In Turkish).

Bilgin, H. A., & Dagasan, Y. (2015). *Vibration Controlled Blast Design and Monitoring Close to a Dam.* Paper presented at the EFEE 8th World Conference on Explosives & Blasting, Lyon, France.

Dagasan, Y. (2014). *Cautious blast design and monitoring nearby a buried high pressure gas pipeline.* METU, Ankara.

Dick, R. A., Fletcher, L. R., & D'Andrea, D. V. (1983). *Explosives and blasting procedures manual* (Vol. 8925): US Department of the Interior, Bureau of Mines.

Dowding, C. H. (1985). *Blast vibration monitoring and control* (Vol. 297): Prentice-Hall Englewood Cliffs.

Duvall, W. I., & Fogelson, D. E. (1962). Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibrations: Bureau of Mines, College Park, MD (USA).

Eltschlager, K. (2001). *Regulatory review of blasting related citizen complaints.* Paper presented at the PROCEEDINGS OF THE ANNUAL CONFERENCE ON EXPLOSIVES AND BLASTING TECHNIQUE.

Erten, O., Konak, G., Kizil, M. S., Onur, A. H., & Karakus, D. (2009). Analysis of quarry-blast-induced ground vibrations to mitigate their adverse effects on nearby structures. *International Journal of Mining and Mineral Engineering, 1*(4), 313-326.

Ganster, M. (2011). Controlled Hard Rock Trench Blasting Close to a Buried Gas Pipeline under Pressure. *Journal of Explosives Engineering, 28*(1), 8-20.

Ketin, İ. (1983). *Türkiye jeolojisine genel bir bakış*: İstanbul Teknik Üniversitesi.

Konya, C. J., & Walter, E. J. (1990). *Surface blast design*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.

Morhard, R. C. (1987). *Explosives and Rock blasting*: Atlas Powder Company.

Nateghi, R. (2012). Evaluation of blast induced ground vibration for minimizing negative effects on surrounding structures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 43*, 133-138.

Oriard, L. L. (1994). Vibration and ground rupture criteria for buried pipelines: International Society of Explosives Engineers, Cleveland, OH (United States).

Ozer, U., Karadogan, A., Kahriman, A., & Aksoy, M. (2013). Bench blasting design based on site-specific attenuation formula in a quarry. *Arabian Journal of Geosciences, 6*(3), 711-721.

Rocscience. (2002). Dips v5.1 Graphical and Statistical Analysis of Orientation Data, Rocscience Inc., Toronto, Ontario, Canada.

Siskind, D. E. (2005). *Vibrations from blasting*: Intern. Society of Explosives Engineers.

Ternek, Z. (Cartographer). (1987). 1/500.000 Ölçekli Türkiye Jeolojisi Haritası.

Kırka Bor Açık İşletmesinde Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Değerlendirilmesi

An Evaluation of Blast-Induced Vibrations in Open-Pit Boron Mine, Kırka

K. Görgülü, Y.S. Durutürk
Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Sivas

A. Koçaslan
Cumhuriyet Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Sivas

M.K. Dilmaç
Atatürk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Erzurum

Ö. Uysal
Dumlupınar Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya

E. Arpaz
Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli Meslek Yüksekokulu, Kocaeli

ÖZET Günümüzde patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının modellenmesi, patlatmanın etkilerini azaltmak amacıyla ilgi odağı olmuştur. Patlatma kaynaklı yer sarsıntısının şiddeti; kaya kütlesinin fiziksel ve mekanik özellikleri, patlayıcı karakteristikleri ve patlatma tasarımı gibi parametreler tarafından etkilenmektedir. Herhangi bir kaya kütlesinde patlatma enerjisini verimli kullanmak ve patlatma kaynaklı istenmeyen etkileri minimize etmek için bu parametrelerin patlatma üzerindeki etkisini kestirmek önemlidir.

Bu araştırma kapsamında Eti Maden Kırka Bor Maden İşletmesinde patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının tespitine yönelik arazi ölçümleri gerçekleştirilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Bu çalışma, yönlere bağlı olarak oldukça değişik saha sabitleri (K=267.96-5922.74 ve β=1.43-2.32) ve sönümlenme davranışlarını ortaya koymuştur. İlave olarak; RMR (%) değeri azaldıkça saha sabitleri (K ve β) değerlerinin de azaldığı, sahada bulunan toplama havuzundaki suyun yer sarsıntısını çevre kayalardan daha fazla sönümlediği belirlenmiştir.

ABSTRACT Modeling of blast-induced vibrations has been a focus of interest in order to reduce the effects of basting. The magnitude of blast-induced vibrations is affected by parameters such as physical and mechanical properties of the rock mass, explosive characteristics and blasting design. It is important to predict the effect of these parameters on blasting to efficiently use the blasting energy of a rock mass and to minimize undesired blast-induced effects.

In this study, field measurements were performed to identify blast-induced vibrations at the Eti Boron Mine in Kırka, Turkey. Highly different field constants (K=267.96-5922.74 and β=1.43-2.32) and damping behaviors were identified, depending on directions. In addition, it was found that as the rock mass rating (RMR) value decreased, field constant values also decreased; and that the on-site water collection pool dampened vibrations more than the surrounding rocks.

1 GİRİŞ

Maden mühendisliğinin temel amaçlarından biri; insanoğlunun gereksinim duyduğu maden hammaddesini içinde bulunduğu ana kütleden faydalanılabilir bir büyüklükte, minimum bir zaman diliminde, emniyetli ve ekonomik bir biçimde ayırabilmektir. Bu amaca ulaşmak için; insan gücü, mekanik makineler, gazlaştırma kimyası, çözelti kimyası, hidrolik teknolojisi ve delme-patlatma teknolojisinden yararlanılmaktadır. Delme-patlatma teknolojisi, özellikle diğerlerinin uygulanamaması veya uygulandığında ekonomik sonuç vermemesi durumlarında yaygın bir kullanım bulmaktadır. Patlatma teknolojisi kullanan çeşitli sektörlerin karşılaştığı en önemli sorun patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntıları, kaya fırlaması ve hava şoklarıdır.

Patlatma sonucu yayılan sismik dalgalar farklı hızlarda hareket ettikleri için karmaşık hareketler meydana getirebilmekte ve birbirlerini etkileyebilmektedir. Patlatma nedeni ile oluşan yer sarsıntısının hız, ivme ve yer değiştirme bileşenlerinin en büyük değerleri ve zamanla değişimleri patlatma merkezinden uzaklık ile patlatma enerjisine bağlı olarak faklılık göstermektedir (Dowding, 1985).

Yer sarsıntısının şiddeti; kaya kütlesinin fiziksel ve mekanik özellikleri, patlayıcı karakteristikleri ve patlatma tasarımı gibi parametreler tarafından etkilenmektedir (Wiss ve Linehan, 1978). Gecikme başına maksimum şarj, gecikme zamanı, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, şarj uzunluğu, ateşleme sırası, yemleme tipi ve yeri gibi tasarım parametreleri sismik enerjinin dağılımını önemli ölçüde etkilemektedir (Pal, 2005). Bazı araştırmacılar dilim kalınlığının, diğer tüm tasarım parametreleri üzerinde etkili olduğunu, delikler arası mesafe, sıkılama boyu, delik taban payı, gecikme aralığı, dip şarjı boyu, kolon şarjı boyu gibi diğer tasarım büyüklüklerinin, dilim kalınlığının fonksiyonu olarak ifade edilebileceği ve bu şekilde anlamlı tasarımlar yapılabileceğini vurgulamışlardır (Gustafsson, 1973; Tamrock, 1984; Bilgin, 1986; Olofsson, 1988; Arıoğlu, 1990; Ash, 1990; Konya ve Walter, 1990; Rustan, 1990; Singh, 1993; Kahriman, 1995; Jimeno ve ark., 1995). Siskind ve ark. (1989) patlatma kaynaklı yer sarsıntısı frekans karakteristiklerinin, gecikme aralığı ve patlatılan kaya yapısına bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Olofsson (1988) yer sarsıntısı karakteristiklerini etkileyen zemin özelliklerini; dalgaların ilerleme hızını belirleyen zeminin elastik sabitleri (elastisite ve makaslama modülü), zeminin tipi, yeraltı suyu seviyesi, nem, topoğrafya ve zeminin karakteristiği olarak açıklamıştır.

Diğer yandan, kaya karakteristikleri sahadan sahaya ya da saha içerisinde farklı bölgelerde geniş ölçüde değiştiği gibi süreksizliklere ve jeolojik yapıya bağlı olarak yönsel olarak da farklılıklar gösterebilmektedir. Sismik dalgalar, homojen ve masif kaya kütlelerinde tek yönde ilerlemekte, daha karmaşık yapılara sahip kaya kütlelerinde ise farklı yönlere dağılarak ilerleme sağlamaktadırlar. Çünkü kaya birimindeki süreksizlikler, dolgular ve tektonik arızalar dalgaların ilerleme yönünü ve şiddetini değiştirmektedir (Blair ve Spathis, 1982; Cook, 1992; Fourney ve ark., 1997; Hao ve ark., 2001). Bu nedenle bir maden işletmesinde yapılan patlatma sonucu oluşan yer sarsıntılarının şiddeti yönsel olarak değişik değerler verebilmektedir (Blair ve Spathis, 1982; ISRM, 1992; Jimeno ve ark., 1995; Arpaz, 2000; Aldaş, 2002; Ak, 2006).

Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının değerlendirilmesiyle ilgili çalışmaların büyük çoğunluğu, patlatma şok büyüklüğü (gecikme başına düşen patlayıcı miktarı) ve sönümlenme büyüklüğü (mesafe) gibi iki önemli parametre üzerinde yoğunlaşmakta ve patlatma kaynaklı yer sarsıntıları bu iki parametreye dayanan eşitliklerle modellenmektedir (Ambraseys ve Hendron 1968; Nicholls ve ark. 1971; Langefors ve Kihlström 1978; Davies ve ark. 1964; Attewell ve ark. 1965; Shoop ve Daemen 1983; Birch ve Chaffer 1983; Ghosh ve Daemen 1983; Gupta ve ark. 1987; Gupta ve ark. 1988; Roy 1991; Pal 1993; Arpaz 2000; Bilgin 2005; Ak 2006; Khandelwal ve Singh 2009; Arpaz ve ark. 2012). Geliştirilen ölçüme dayalı denklemlerde patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının oluşum ve gelişiminde etkili olan/olabilecek diğer unsurlar,

saha sabitleri olarak tanımlanmaktadır. Bu durum yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı bazı hallerde belirsizliği arttırabilmektedir. Farklı formüller, aynı kazı yeri için, gecikme başına şarja karşı emniyetli tepe parçacık hızı değerlerini farklı vermektedir. Diğer bir ifadeyle farklı araştırmacılar tarafından üretilen formüllerin uygulanması ile elde edilen sonuçlar, birbirinden farklıdır.

Bu araştırma kapsamında Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Kırka Bor İşletme Müdürlüğü Maden İşletmesinde patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının değerlendirilmesine yönelik arazi ölçümleri gerçekleştirilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir.

2 ÇALIŞMA SAHASI

Eti Maden Kırka Bor Açık İşletmesi Eskişehir ilinin 70 km güneyindeki Kırka bucağı civarında yer almaktadır.

Kırka baseni ve yakın çevresinde, Miyosen öncesi temel kayaç (metamorfik, ofiyolit ve karbonatlar) ile Neojen yaşlı volkanik ve sedimanter birimler yer almaktadır. Bunlardan Neojen istifi Yalçın (1989) tarafından beş litostratigrafi birimine aynlmıştır. Bu birimler, İdrisyayla volkanitleri (andezit, riyolit ve volkanik breş), Karaören formasyonu (zeolitli tüfler), Sarıkaya formasyonu, Türkmendağı bazaltı ve Fethiye formasyonudur (resedimante tüf).

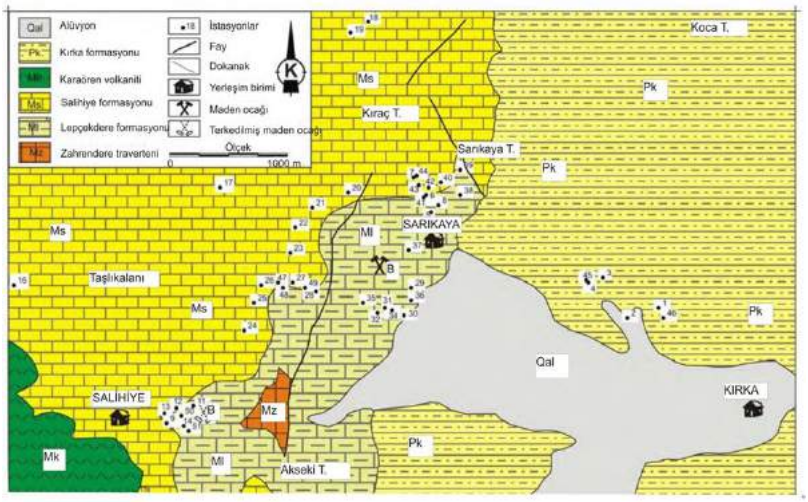
Çalışma alanında yer alan Sarıkaya formasyonu 150-300 m arasında değişen kalınlığa sahiptir. Birim, 20-50 m kalınlığında, yer yer santimetrik kiltaşı ve tüf bantları içeren, masif-kalın tabakalı ve travertene benzer lifsi yapıdaki kireçtaşları ile başlamaktadır. Bu seviyenin üzerinde ortalama 25 m kalınlığa sahip ince tabakalı dolomitik kireçtaşları yer almaktadır. Üzerine gelen laminasyonlu kiltaşı/marn-dolomit ardalanmasının kalınlığı ortalama 20 m olup 5-40 m arasında değişmektedir. Bozunmuş lifsi yapıda pomza parçaları içeren santimetrik tüf arakatkılı, killikarbonatlı borat zonunun kalın 160 m arasındadır. Bu zonun üstündeki laminasyonlu kiltaşı/marn-dolomit ardalanmasının kalınlığı 5-40 m arasında değişim göstermektedir. Özellikle bu seviyede atımları milimetre-metre arasında değişen yüzlerce sinsedimanter normal faylar, tabakalar arası kıvrım veya kayma yapılar ile büyük çökme yapıları bulunmaktadır. Formasyonun üst kesimini dolomitik kireçtaşları ve bol çört yumrulu/bantlı, yer yer lifsi yapıdaki kireçtaşları oluşturmaktadır (Şekil 1).

Sahada bor üretimi kamyon-ekskavatör uygulamalarına dayalı açık işletme yöntemiyle yapılmakta ve açık ocak içerisinde oldukça büyük bir su toplama havuzu bulunmaktadır. Yıllık üretim 1-1.5 milyon ton arasında değişmekte, buna karşılık 4.5 milyon m^3 dekapaj kaldırılmaktadır. Sahadaki atımlar bor üretimi amacıyla yapılmaktadır. Delme işlemlerinde 10-16 cm çaplı matkaplar kullanılmakta, basamak yüksekliğine bağlı olarak delik boyları 3-12 m, dilim kalınlıkları 2.5-6.5 m ve delikler arası mesafe 5-7.45 m aralığında değişmektedir. Patlayıcı madde olarak ANFO kullanılmaktadır.

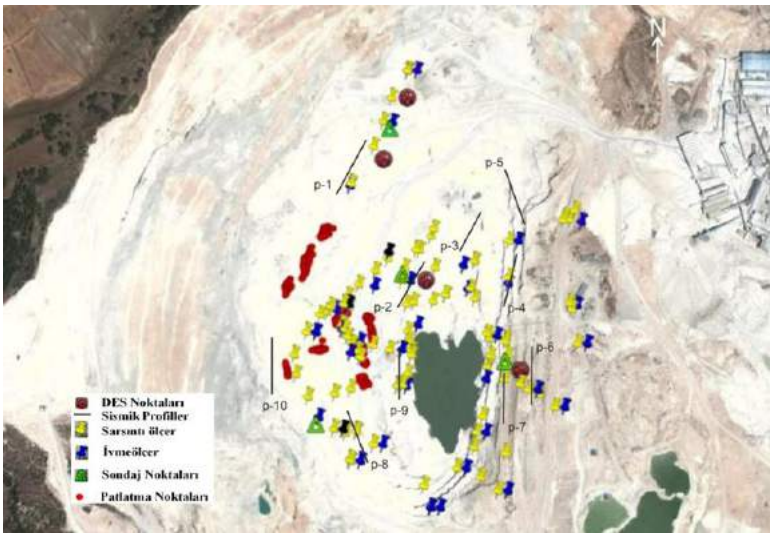
3 MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının değerlendirilmesi amacıyla Kırka Bor Açık İşletmesi'nde toplam 32 patlatma atımı izlenmiş ve parçacık hızı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde 7 parçacık hızı ölçer cihaz (5 adet Instantel Minimate Blaster [B1-B5], 1 adet Instantel Minimate Plus [B6], 1 adet Çift kanallı Instantel Blastmate III [B7-1, B7-2]) ve 1 adet Instantel DS677 [B8]) kullanılmıştır (Şekil 2).

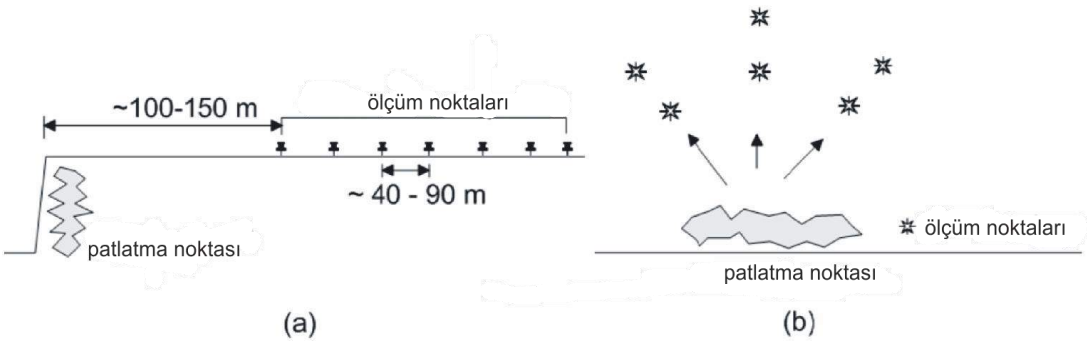
Cihaz dizilimleri tek sıra (Şekil 3a) ve farklı yönlerde (Şekil 3b) olmak üzere 2 farklı şekilde uygulanmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanının jeoloji haritası (Helvacı ve Alaca, 1991).



Şekil 2. Kırka bor açık işletmesi.



Şekil 3. Cihaz dizilimleri: a. Tek sıra dizilim (kesit) b. Yönlü dizilim (plan).

Elde edilen patlatma verileri Nicholls ve ark. (1971) tarafından önerilen modele (Eşitlik 1) uygun olarak değerlendirilmiş ve ilgili saha sabitleri bulunmuştur.

$$PPV = K * (R/\sqrt{W})^{-\beta} \quad (1)$$

Burada PPV tepe parçacık hızı (mm/sn), R ölçüm noktası ile patlatma noktası arasındaki mesafe (m), W gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg), K ve β saha sabitleri, $R/\sqrt{W}$ ölçekli mesafedir.

Sahada elektrik tomografi, düşey elektrik sondajı (DES) ve sismik (kırılma ve MASW) ölçümler yapılmış, sonuçlar daha önceden işletmenin yapmış olduğu sondaj kesitleri ile ilişkilendirilerek yorumlanmış, her bir tabaka için formasyon birimleri, özdirenç ve sismik hız değerleri belirlenmiştir.

4 DEĞERLENDİRME

16 Haziran-27 Temmuz 2012 tarihleri arasında bor üretim faaliyetleri sırasında yapılan 32 adet atım 7 adet patlatma sarsıntı ölçer sismograf ile izlenmiş ve 230 adet patlatma sarsıntı verisi kaydedilmiştir.

Çalışma alanına ait jeofiziksel ölçümler (MASW, Kırılma ve DES) aracılığıyla elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda her bir formasyon için birim tanımlaması, özdirenç ve sismik hız değerleri belirlenmiş ve ölçüm alanı jeolojik yapı itibariyle 4 bölgeye ayrılmıştır (Şekil 4). 1 numaralı bölge alüvyon, marn ve bor, 2 numaralı bölge alüvyon ve bor, 3 numaralı bölge alüvyon, kiltaşı ve bor, 4 numaralı bölge alüvyon, kiltaşı ve tüf birimlerinden oluşmaktadır. Daha sonra her bir bölgenin ortalama RMR1989 (Bieniawski 1989) değeri belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Elde edilen veriler, iki aşamalı olarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda birinci aşamada tüm veriler, ikinci aşamada tek sıra ölçüm verileri ile aynı hatta düşen ölçüm verileri birlikte Eşitlik 1'e uygun olarak değerlendirilmiş ve ilgili saha sabitleri bulunmuştur.

Ölçüm sonuçlarından elde edilen tüm veriler, Eşitlik 1'de verilen model bazında değerlendirilmeye tabi tutulmuş ve regresyon analizi yardımıyla saha sabitleri (K ve β) belirlenmiştir (Şekil 5, Tablo 2). Şekil 5'de verilen tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe bağıntısı $PPV=552.86*SD^{-1.65}$ (SD: ölçekli mesafe), $R^2=0.71$ korelasyon katsayısı ile iyi dereceli bir ilişkiye işaret etmektedir.

Bu sahada ölçümlerin çoğunluğu 4 ana yönde alınmış (Şekil 4), bu dört yönle çakışan diğer ölçüm verileri ile veri sayıları artırılarak yönsel değerlendirmeler yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda yönlere bağlı olarak oldukça geniş bir aralıkta korelasyon katsayılı ($R^2=0.46–0.95$) ilişkiler elde edilmiştir. Parçacık hız bileşenleri bazında ilişkiler incelendiğinde sonuçların istikrarlı olduğu söylenebilmektedir. Bununla beraber dört farklı yöndeki saha sabitleri, başka bir ifade ile ilerleme ve sönümleme davranışları, birbirlerinden belirgin bir şekilde farklılık arz etmiştir (Çizelge 3, Şekil 6).

Yönler bölgeler bazında incelendiğinde, yön 1'i oluşturan cihazların tamamı 1. bölgede yer almakta olup bu bölgedeki kaya kütlesinin ortalama RMR (%) değeri 54.90 olarak belirlenmiştir (Çizelge 1). Yön 1'e ait tepe parçacık hız denklemi Eşitlik 2'de verilmiştir.

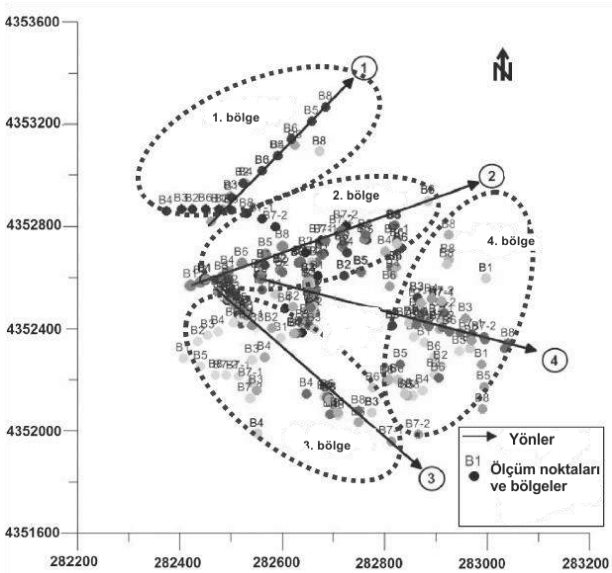
$$PPV = 5955{,}74\, SD^{-2{,}32} \quad (R^2=0.95) \qquad (2)$$

Yön 2'yi oluşturan cihazların tamamı 2. bölgede yer almaktadır. Bu bölgedeki kaya kütlesinin ortalama RMR (%) değeri 49.50 olarak bulunmuştur (Çizelge 1). Bu yöne ait tepe parçacık hız denklemi Eşitlik 3'de sunulmuştur.

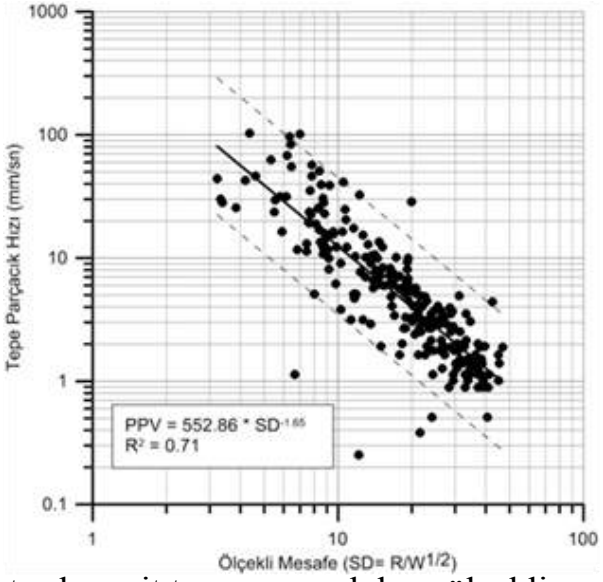
$$PPV = 2210{,}50\, SD^{-2{,}11} \quad (R^2=0.84) \qquad (3)$$

Yön 3'ü oluşturan cihazların çoğunluğu 3. bölgede (4.bölgeye doğru) yer almakta olup bu bölgedeki kaya kütlesinin ortalama RMR (%) değeri 35.25 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 1). Yön 3'e ait tepe parçacık hız denklemi Eşitlik 4'de verilmiştir.

$$PPV = 267{,}96\, SD^{-1{,}43} \quad (R^2=0.46) \qquad (4)$$



Şekil 4. Bölgeler, ölçüm noktaları ve yönler



Şekil 5. Tüm atımlara ait tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi.

Çizelge 1. RMR'a göre sınıflama sonuçları.

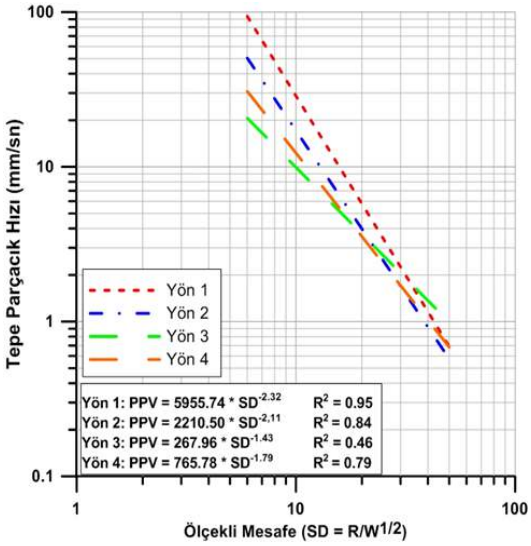
Bölge	Formasyon	RMR (%)
1	Marn Bor	54.90
2	Bor	49.50
3	Kiltaşı Bor	35.25
4	Kiltaşı-Tüf	28.00

Çizelge 2. Tüm atımlara ait parçacık hız bileşenleri-ölçekli mesafe ilişkisi ve saha sabitleri.

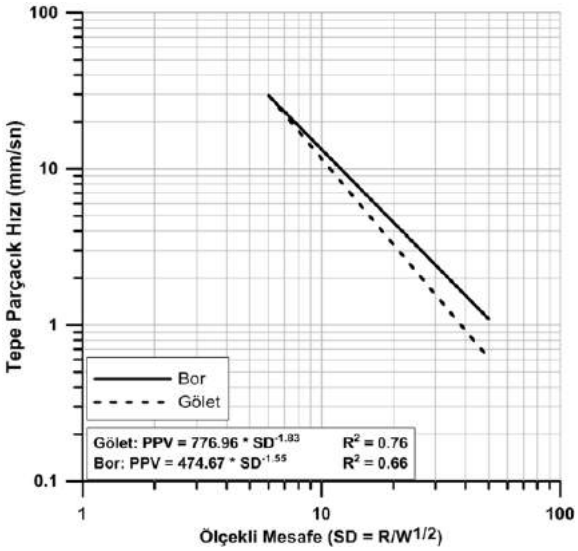
Sabitler	$PPV=K*(R/\sqrt{W})^{-\beta}$				
	PPVT (mm/sn)	PPVV (mm/sn)	PPVL (mm/sn)	PVS (mm/sn)	PPV (mm/sn)
K	414.43	393.72	504.62	597.25	552.86
β	-1.71	-1.61	-1.65	-1.64	-1.65
R^2	0.69	0.71	0.67	0.71	0.71

Çizelge 3. 4 farklı yöne ait parçacik hiz bileşenleri-ölçekli mesafe ilişkisi ve saha sabitleri.

Yönler	Sabitler	$PPV=K*(R/\sqrt{W})^{-\beta}$				
		PPVT (mm/sn)	PPVV (mm/sn)	PPVL (mm/sn)	PVS (mm/sn)	PPV (mm/sn)
1	K	7849.82	3326.03	5639.77	7698.60	5955.74
	β	-2.56	-2.25	-2.32	-2.38	-2.32
	r^2	0.91	0.92	0.93	0.95	0.95
2	K	2313.02	1155.64	2632.15	2514.74	2210.50
	β	-2.33	-1.93	-2.23	-2.13	-2.11
	r^2	0.82	0.84	0.85	0.84	0.84
3	K	155.03	259.47	222.17	289.96	267.96
	β	-1.35	-1.51	-1.39	-1.41	-1.43
	r^2	0.41	0.49	0.45	0.47	0.46
4	K	480.15	416.52	928.09	733.06	765.78
	β	-1.84	-1.65	-1.89	-1.74	-1.79
	r^2	0.76	0.79	0.77	0.79	0.79



Şekil 6. 4 farklı yöne ait tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi



Şekil 7. Bor sahası ve gölet tarafına ait verilerden elde edilen tepe parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisi

Çizelge 4. Su toplama havuzu ve diğer yönlerdeki ölçüm sonuçlarına göre parçacık hız bileşenleri-ölçekli mesafe ilişkisi ve saha sabitleri.

Yönler	Sabitler	$PPV=K*(R/\sqrt{W})^{-\beta}$				
		PPVT (mm/sn)	PPVV (mm/sn)	PPVL (mm/sn)	PVS (mm/sn)	PPV (mm/sn)
Gölet	K	457.28	408.74	748.22	770.08	776.96
	β	-1.83	-1.70	-1.86	-1.78	-1.83
	r^2	0.73	0.74	0.70	0.75	0.76
Bor	K	390.82	325.18	428.75	535.93	474.67
	β	-1.65	-1.50	-1.55	-1.56	-1.55
	r2	0.65	0.67	0.62	0.67	0.66

Yön 4'ü oluşturan cihazların çoğunluğu 4. bölgede (2 ve 3. bölgelerden 4. bölgeye doğru) yer almaktadır. Bu bölgedeki kaya kütlesinin ortalama RMR (%) değeri 28 olarak bulunmuştur (Çizelge 1). Bu yöne ait tepe parçacık hız denklemi Eşitlik 5'de sunulmuştur.

$$PPV = 765{,}78\,SD^{-1{,}79} \quad (R^2=0.79) \qquad (5)$$

İlk üç yönde RMR (%) değerinin azalmasına paralel olarak saha sabit değerleri de azalmıştır. 4. Yöndeki sonuçlar bu duruma uygun davranış ortaya koymamıştır. Bunun yön 4'ü oluşturan dizilimdeki ölçüm cihazları ile patlatma kaynağı arasındaki su toplama havuzundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu durumun daha iyi değerlendirilmesi için su toplama havuzunun önüne ve arkasına yerleştirilen cihazlarla alınan ölçümler ile sahanın diğer taraflarında alınan veriler ayrı ayrı değerlendirmeye alınmış ve sonuçları Çizelge 4 ve Şekil 7'de sunulmuştur.

Çizelge 4 ve Şekil 7 incelendiğinde düşük ölçekli mesafe değerlerinde bu iki yöne ait eşitlikler yakın tepe parçacık hız değerleri verirken daha yüksek ölçekli mesafelerde birbirlerinden belirgin bir şekilde ayrıştıkları görülmektedir. Gölet tarafında parçacık hız değerindeki düşüş daha fazla olmaktadır. Bu durum suyun sarsıntıyı diğer birimlere (bor) göre daha fazla sönümlemesi ile açıklanabilir.

5 SONUÇLAR

Günümüzde patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının etkilerini azaltmak amacıyla patlatmanın oluşturduğu yer sarsıntılarının modellenmesi ilgi odağı olmuştur. Bu bağlamda çeşitli yöntemlerle farklı model denklemlerin oluşturulması çalışmaları yoğun olarak devam etmektedir. Fakat homojen bir yapıya sahip olmayan kaya yapısı içerisinde kaya madde ve kütle özelliklerinin girmediği modeller bir takım belirsizlikleri de beraberinde getirmektedir.

Bu çalışma Eti Maden Kırka Bor Maden İşletmesi'nde sürdürülmüştür. Çalışmada atımlar, 7 cihazın aynı anda kullanılması ile ölçülmüş ve farklı şekillerde değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Bu amaçla, patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının sönümlenme davranışlarının kaya yapısı ile ilişkileri, yönsel değişimi ve büyüklüğü değerlendirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca çalışma sahasında bulunan su toplama havuzunun yer sarsıntılarının gelişimini nasıl etkilediği de irdelenmiştir.

Öncelikle tüm veriler değerlendirmeye tabii tutulmuş ve saha sabitleri (K= 552.86, β= -1.65, R^2=0.71) belirlenmiştir. İkinci aşamada 4 ana yöndeki ölçüm verileri ile diğer ölçümlerde çakışan verileri birlikte değerlendirilmiş ve sonuçta yönlere bağlı olarak oldukça geniş aralıkta korelasyon katsayılı (R^2=0.46–0.95) ilişkiler elde edilmiştir. Ayrıca dört farklı yöndeki saha

sabitleri (K=267.96-5955.74 ve β=1.43-2.32), başka bir ifade ile ilerleme ve sönümleme davranışları, birbirlerinden belirgin bir şekilde farklılık arz etmiştir. Bu değişimin RMR (%) değeri ile ilişkisi araştırılmış ve üç yönde RMR (%) değerinin azalmasına paralel olarak saha sabit değerlerinin de azaldığı belirlenmiştir. 4. yöndeki sonuçlar bu duruma uygun davranış ortaya koymamıştır. Yön 4'de gözlenen ilerleme ve sönümlenme davranış farklılığının ölçüm cihazları ile patlatma kaynağı arasındaki su toplama havuzunun varlığının neden olduğu düşünülmüştür. Bu konuda yapılan değerlendirmeler söz konusu sahada suyun sarsıntıyı diğer birimlere göre daha fazla sönümlediği sonucunu ortaya koymuştur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 110M294 numaralı proje ile TÜBİTAK tarafından desteklenmştir. Yazarlar Eti Maden çalışanlarına teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

Ak, H, 2006. *Patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının yönsel değişiminin araştırılması*, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 281 s.

Aldaş, GGU, 2002. *Effect of some rock mass properties on blasting induced ground vibration wave characteristics at Orhaneli surface coal mine*, Dissertation, METU, Ankara.

Ambraseys, NR, Hendron AJ, 1968. *Dynamic behaviour of rock masses, rock mechanics in engineering practices*, Wiley, London.

Arıoğlu, E, 1990. *Çözümlü madencilik problemleri*, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 248 s.

Arpaz, E, 2000. *Türkiye'deki bazı açık işletmelerde patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin izlenmesi ve değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 230 s.

Arpaz, E, Uysal, Ö, Tola, Y, Görgülü, K, Çavuş, M, 2012. Comparison of blast-induced ground vibration predictors in Seyitomer coal mine, 12th Rock Mechanic Symposium, Beijing, 1161-1163.

Ash, RL, 1990. *Design of blasting rounds*, Surface Mining, SMME, Colarado-USA.

Attewell, PB, Farmer, IW, Haslam, D, 1965. Prediction of ground vibration parameters from major quarry blasts, *Mining and Minerals*, s.621-626.

Bieniawski, ZT, 1989. Engineering *rock mass classifications*, Wiley, New York, 251 s.

Bilgin, HA, 1986. Açık işletmelerde patlatma sorunları ve tasarımı, *TKİ Genel Müdürlüğü Yayını,* ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Seminerleri, Seminer no: 2, Ankara.

Bilgin, A, 2005. Blasting in quarries and open pits, In: Karpuz, C, Eskikaya, Ş, Hindistan, M.A, Tamzok, N (ed.) *Open pit handbook for mining*, Chamber of Mining Engineers of Turkey, s.231-314.

Birch, WJ, Chaffer, R, 1983. Prediction of ground vibration from blasting on opencast sites, *Trans Inst Min Metall*.

Blair, DP, Spathis, AT, 1982. Attenuation of explosion-generated pulse in rock masses, *Journal of Geophysical Research*, s.3885-3892.

Cook, NGW, 1992. Influence of clays and clay fluid interactions on seismic wave attenuation in reservoir rocks: milestone report seismic wave propagation across thin clay layers, Gas Research Institute.

Davies, B, Farmer, IW, Attewell, P.B, 1964. Ground vibrations from shallow sub-surface blasts, *The Engineer*, 553-9.

Dowding, CH, 1985. Blast vibration monitoring and control, Prentice-Hall.

Ghosh, A, Daemen, JK, 1983. A simple new blast vibration predictor, In: Proceedings of the 24th US symposium on rock mechanics, College Station, Texas, 151–61.

Gupta, RN, Roy, PP, Bagachi, A, Singh, B, 1987. Dynamic effects in various rock mass and their predictions, *J. Mines, Met. Fuels*, s.455-462,

Gupta, RN, Roy, PP, Singh, B, 1988. On a blast induced blast vibration predictor for efficient blasting, Proceedings of the 22nd International Conference of Safety in Mines, Beijing-China, s.1015-1021.

Gustafsson, R, 1973. *Swedish blasting technique*, Gothenburg-Sweden.

Helvacı, C, Alaca, O, 1991. Geology and mineralogy of the Bigadiç borate deposits and vicinity, *Mineral Res. Expl. Bull.*, 113, s.31-63.

ISRM, 1992. Suggested method for blast vibration monitoring, *Int J of Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 29, s.143-156.

Jimeno, CL, Jimeno, EL, Carcedo, FJA, 1995. *Drilling and blasting of rocks*, A.A. Balkema Publishers, Brookfield, ISBN: 90 5410 1997, Rotterdam, 390 s.

Kahriman, A, 1995. *Sivas Ulaş yöresi sölestit cevheri ve yan kayaçlari için optimum patlatma koşullarının araştırılması ve kayaç özellikleri ile ilişkilendirilmesi*, C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, (Doktora Tezi), Sivas.

Khandelwal, M, Singh, TN, 2009. Prediction of blast-induced ground vibration using artificial neural network, *Int J of Rock Mech&Min Sci*, s.1214-1222.

Konya, JA, Walter, EJ, 1990. *Surface blast design*, New Jersey, 292 s.

Langefors, U, Kihlström, B, 1978. *The modern technique of rock blasting*, 3rd edn., Stockholm, Sweden.

Nicholls, HR, Johnson, CF, Duvall, WI, 1971. Blasting vibrations and their effects on structures, *USBM Bulletin*, 656 s.

Olofsson, SO, 1988. *Applied explosives technology for construction and mining*, Sweden.

Pal, RP, 1993. Putting ground vibration predictors into practice, *Colliery Guardian*, 241, 63-7.

Pal, RP, 2005. *Rock blasting*, Oxford, IBH Publishing, New Delhi.

Roy, PP, 1991. Vibration control in an opencast mine based on improved blast vibration predictors, *Mining Science and Technology*, 12, s.157-165.

Rustan, PA, 1990. Burden spacing and borhole diameter at rock blasting, 3rd International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting.

Shoop, SA, Daemen, JJK, 1983. Sire-specific predictions of ground vibrations induced by blasting, AIME Spring Meeting, Atlanta.

Singh, S, 1993. Prediction and determination of explosive induced damage, 4th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Vienna-Austria.

Siskind, DE, Crum, SV, Otterness, RE, Kopp, JW, 1989. *Comparative study of blasting vibrations from Indiana surface coal mines*, USBM RI 9226.

Tamrock, 1984. *Handbook of surface drilling and blasting*, Finland.

Wiss, JF, Linehan, PW, 1978. Control of vibration and air noise from surface coal mines, III. *US Bureau of Mines Report*, OFR103(3)–79:623.

Yalçın, H, 1989. Neojen yaşlı Kırka (Eskişehir) volkanosedimanter gölsel basenin stratigrafisi ve tektonik özellikleri, *Yerbilimleri*, s.1-18.

Patlatma Kaynaklı Titreşim Analizlerinde En Yüksek Parçacık Hızı-Ölçekli Mesafe İlişkisini Esas Alan Yaklaşımın Olumsuzlukları

Negativity of the Approach Based on Peak Particle Velocity-Scaled Distance Relationship in Blasting Induced Vibration Analysis

G.G. Uyar
Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü

C.O. Aksoy
Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü

ÖZET Patlatma kaynaklı titreşim analizlerinde yıllardan beri yaygın olarak kullanılan yaklaşım, patlatmalardan üreyen dalgaların, en yüksek parçacık hızı değerlerinin ölçekli mesafeye göre ilişkilerinden görgül bağıntılar çıkarmak ve bu bağıntıları kullanarak, patlayıcı miktarlarına kısıtlamalar getiren tasarımlar geliştirmektir. Patlatmalı kazı çalışmalarının, yerleşim yerlerinden ve alt yapı çalışmalarından uzakta yapıldığı dönemlerde, görgül bağıntılara dayanan bu yöntem titreşimlerin azaltılmasında etkili olabilmekteydi. Ancak, günümüzde, hızla gelişen madencilik ve inşaat sektörlerindeki patlatmaların, özellikle şehirlere, yerleşim yerlerine, boru hattı, jeotermal sahalar, vb. yerlere çok yakın mesafelerde (200-300m) olabilmesi, patlatma titreşimlerinin artık sadece patlayıcı madde kısıtlaması ile değil, bilim ve teknolojinin kazandırdığı yeni yöntemlerle en aza indirilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Patlatma kaynaklı titreşimleri en aza indirmede klasik yöntem olarak adlandırdığımız yöntem i) sismografla patlatma kaynaklı en yüksek parçacık hızlarını ölçmek, ii) patlatma bölgesi ve hedef istasyon arasındaki arazi katsayılarını belirlemek, iii) titreşim dalgalarının yayılma kuralını içeren görgül bağıntıyı bulmak, iv) bu bağıntıyı kullanarak, yapılacak patlatmalar için bir seferde güvenle ateşlenebilecek en yüksek patlayıcı miktarını belirlemek aşamalarını içermektedir. Bu bildiride, klasik yöntemin bu aşamalarında uygulamada yaşanan zorluklardan, özellikle veri değerlendirme ve analiz kısımlarındaki eksiklikler ve yanılgılardan bahsedilmiş; örneklerle yöntemin olumsuzlukları anlatılmış, yöntemin uygulanmasında ısrarcı olunması durumunda dikkat edilmesi gerekenler vurgulanmış ve bu olumsuzlukları bünyesinde doğal olarak barındıran yöntemin karşısında günümüz şartlarına ve ihtiyaçlarına daha uygun olabilecek yöntemlerden bahsedilmiştir.

ABSTRACT In blast-induced vibration analysis, commonly used approach since the years is to find emprical relationship between peak particle velocity and scaled distance and by using this relationship, to develop blasting pattern based on limitation of charge per delay. In the early period, when studies with blasting excavation carried out far from the settlements, this empirical approach has been a solution to minimize the blast induced vibration. However, today, with the growing trend of mining and construction sectors, more effective solutions

consists of modern technology and science are needed in case blasting activities are very close (200-300m) to settlements, pipe lines, geothermal fields etc..

The classical approach in minimizing blast-induced ground vibration includes following stages, i) measuring the peak particle velocities by seismograph ii) determining the filed-constants between blast-location and target iii) finding the empirical formula which establish the propagation rule of the vibration and iv) determining the maximum amount of explosive per delay by using this empirical formula. In this paper, difficulties in the application stages and the shortcomings especially in data evaluation and analysis stages of the classical methods are discussed. In case of being persistent in implementing the classical method in vibration analysis, the points that should be taken into considerations are mentioned and instead of this method, consisting of all negativeness naturally, new methods suitable for today's needs and conditions are presented.

1. GİRİŞ

Patlatma kaynaklı titreşimlerin önceden tahmini, analizi ve en aza indirilmesi ile ilgili çalışmalarda genel yaklaşım en yüksek parçacık hızının ölçekli mesafeye bağlı olarak tahmin edilmesidir. En yüksek parçacık hızının tahminine yönelik literatürde kabul görmüş pek çok görgül formül bulunmaktadır (Davies vd. 1964; Ambraseys ve Hendron, 1968;Nicholls, Johsson ve Duvall, 1971; Langefors ve Kihlström, 1967; Indian Standart Ins., 1973; Ghosh ve Daemon, 1983; Gupta vd, 1987; Roy, 1991). Bu formüllerin üretildiği, klasik yaklaşım olarak adlandırılan yöntemde sırasıyla izlenen aşamalar şunlardır:

a) Patlatma kaynaklı sismik dalgaların sismografla kaydedilmesi ve en yüksek parçacık hızlarının tespit edilmesi,

b) Patlatma yapılan yer ile "hedef" olarak adlandırılan ve patlatma titreşimlerinin en aza indirilmesi istenen yer arasındaki yer iletim katsayısının belirlenmesi,

c) Titreşim dalgalarının yayılma kuralını içeren görgül bağıntının bulunması,

d) Bu bağıntıyı kullanarak, yapılacak patlatmalar için bir seferde güvenle ateşlenebilecek en yüksek patlayıcı miktarının belirlenmesi,

e) Parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisine bağlı, bölge ve yön bağımlı geliştirilen görgül formülü kullanarak, titreşim ölçümü yapılmayan durumlarda, yapılacak patlatmalardan kaynaklanacak parçacık hızlarının tahmin edilmesi.

1960'lı yılların başında kullanılmaya başlanan ve kısaca PPV-SD (peak particle velocity-scaled distance; en yüksek parçacık hızı-ölçekli mesafe) ilişkisi olarak adlandırdığımız ilişkiye bağlı yürütülen patlatma titreşimlerinin azaltılması çalışmaları, gerek yurt dışında (Duval ve Fogelson, 1962; Ambraseys ve Hendron, 1968; Siskind vd.., 1980; Anderson vd.,1982; Dowding, 1985; Siskind vd., 1989; Anderson, 1993; Persson vd.,1994; Muller, 1997; Muller ve Hohlfeld,1997; Hoshino vd., 2000; Siskind, 2000; Chen ve Huang, 2001; Tripathy ve Gupta, 2002; Adhikari vd., 2004; Singh and Roy, 2010) gerek de ülkemizde (Bilgin vd., 2000; Bilgin ve İnal, 2007; Bilgin ve Çakmak, 2010; Kahriman, 2004; Kahriman vd. 2006; Özer vd., 2013) yaygın bir şekilde kullanılmış ve kullanılmaktadır. Amaca uygun yapılan çalışmalarda oldukça başarı da sağlanan bu yöntem, yukarıda sayılan her aşamasının içerdiği bazı olumsuzluklar, eksiklikler nedeni ile günümüz şartlarında daha yakın mesafelerde titreşim kontrolü yapılması gerektiğinde ya da yapısal jeolojinin izin vermediği durumlarda, başka bir deyişle doğrusal olmayan tabiat şartlarının zorladığı durumlarda istenen sonuçları veremeyebilmektedir.

Nitekim patlatmaların doğrusal olmayan davranışları gereği, klasik yaklaşımlardan uzaklaşarak yeni uygulamalar geliştirmenin önemini ilk vurgulayan Blair (2004), PPV-SD yaklaşımının pek çok olumsuzluk barındırdığını ilk söyleyen araştırmacılardan biri olmuştur. 2008 yılında Aldas ve Ecevitoglu (2008) ise, PPV-SD yaklaşımındaki olumsuzlukları ve arzu edilen titreşim kontrolünü sağlamadaki eksiklikleri Blair (2004)'in çalışmalarından da etkilenerek fark etmiş ve titreşimlerin en aza indirilmesi çalışmalarını sismik sinyallerin gecikmeli ateşleme sistemi ile kontrolü üzerinden yapan bir metodoloji geliştirmiştir. Uluslararası patenti (Aldas ve Ecevitoglu, 2011) de olan bu metodoloji, patlatma titreşimlerini kontrol etme çalışmalarında karşılaşılan pek çok jeolojik-jeofizik probleme göre, doğrusal olmayan davranışın sergilendiği pek çok doğa olayına göre revize edilmiş ve edilmektedir. Bu arada, Blair (2010), çalışmaları sırasında, özellikle patlatmaya yakın mesafede (başka bir deyişle, doğrusal olmayan davranışların, plastik davranışların sergilendiği yerde) sismik dalga iletiminde P ve S dalgalarının etkin olduğunu ve bu dalgaların da patlayıcının infilak hızı ile ilişkili olduğunu vurgulamış ve sismik dalgalarla patlayıcı infilak enerjisi arasında ilişki kurmaya çalışarak, sadece parçacık hızı değil, tüm dalga biçiminin kontrol edilmesi gerektiğini savunmuştur. 2014' de ise, (Blair, 2014), PPV-SD yaklaşımında en önemli rolü oynayan patlayıcı miktarının azaltılması yaklaşımının, titreşim kontrolünde çok yanlış yerlere götürebildiğini, patlayıcı miktarını azaltmanın, işletmenin faaliyetlerini yavaşlattığı gibi, titreşim dalgalarının doğrusal olmayan durumlar karşısında etkilerini azaltmada işe yaramadığını söylemiş, hatta yeraltı patlatmalarında, patlayıcı miktarının titreşim genlikleri üzerinde hiç bir etkisi olmadığını savunmuştur.

Bu çalışmalar, 1980 yılında yayınlanan USBM RI 8507 (Siskind vd., 1983) kriterlerinde yazılan "1)Parçacık hızı hala en iyi yer titreşimini tanımlama ve kontrol aracıdır 2)Parçacık hızı, titreşime karşı tepki özellikleri iyi tanımlanmış bir yapı grubu için tahribat potansiyelini açıklayabilecek en pratik kontrol aracıdır", tezlerinin artık bir kenara bırakılması ve patlatma titreşim analizlerinin günümüz değişen koşulları, gelişen bilimsel anlayış ve teknoloji ile yapılması gerekliliğini göstermektedir.

Bu bildiride, klasik yöntem olarak adlandırdığımız PPV-SD yönteminin uygulanması aşamalarındaki olumsuzluklar, her adım için ayrı ayrı anlatılmış; veri değerlendirme ve analiz kısımlarındaki eksiklikler ve yanılgılardan bahsedilmiş; yöntemin uygulanmasında ısrarcı olunması durumunda dikkat edilmesi gerekenler vurgulanmış ve bu olumsuzlukları bünyesinde doğal olarak barındıran yöntemin karşısında günümüz şartlarına ve ihtiyaçlarına daha uygun olabilecek yöntemlerden bahsedilmiştir.

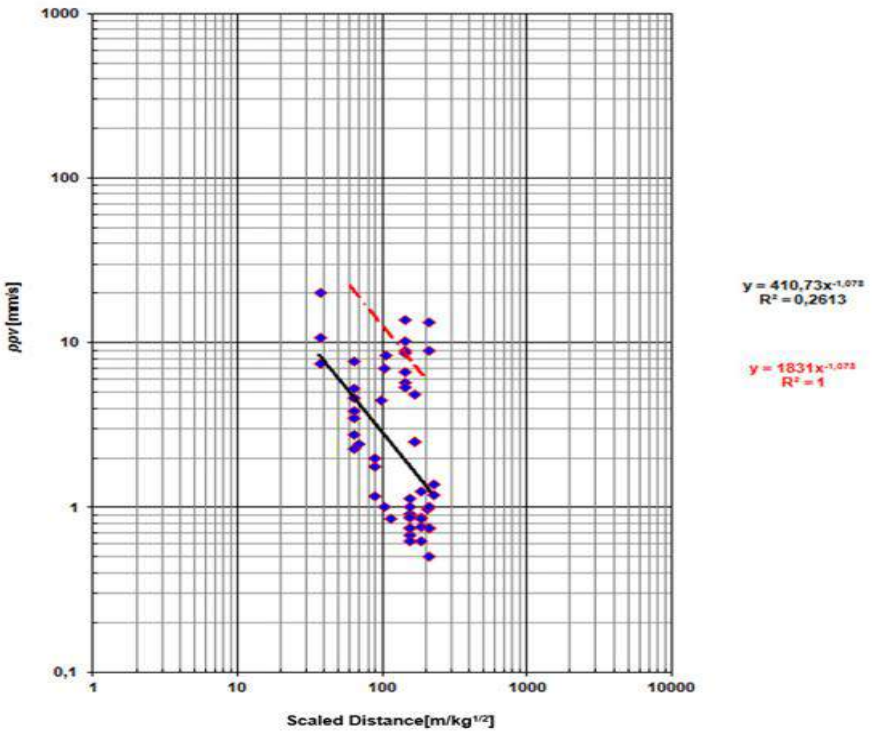
2 KLASİK YÖNTEMİN UYGULAMA AŞAMALARINDAKİ OLUMSUZLUKLAR

Bu bölümde, yöntemin her aşaması ve bu aşamalardaki olumsuzluklar anlatılmıştır.

Aşama_1: "patlatma kaynaklı sismik dalgaların sismografla kaydedilmesi ve en yüksek parçacık hızlarının tespit edilmesi".

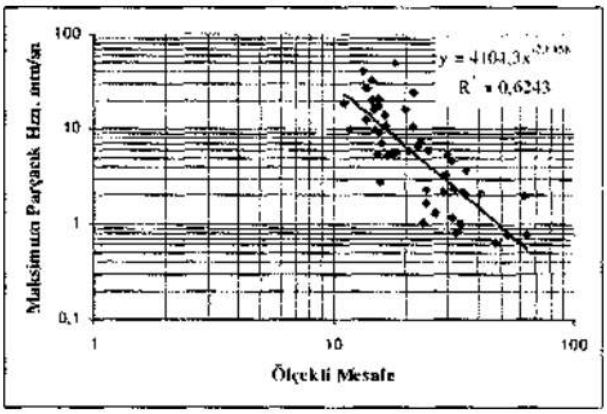
Yöntem, en yüksek parçacık hızının ölçekli mesafeyle ilişkilendirilmesi için en uygun görgül formülün bulunmasına bağlı olduğu için, literatüre göre en az 30 adet titreşim verisinin kaydedilmesi gerekmektedir (Konya, 1991). Bu ise, en kötü şartların olduğu düşünüldüğü durumda, işletmede günde bir adet patlatmanın yapıldığı ve elde bir adet titreşim ölçer bulunduğu varsayılırsa 30 günlük bir veri toplama süreci gerektirir ki bu, analiz çalışması için çok uzun bir zamandır. Uygulamalara bakıldığında, çok daha az veri ile PPV-SD grafiklerinin oluşturulduğu, regrasyon katsayılarının yüksek olduğu durumda da bu görgül formülün geçerli

sayıldığı görülebilmektedir. Oysaki 15-20 veri ile elde edilen görgül formüllerin, veri azlığından da kaynaklı regrasyon katsayılarının yüksek olabilmesi, güvenilir olduğu anlamına gelmemektedir. Kaldı ki, bazı durumlarda 30 dan fazla veri kullanıldığı halde, her patlatmada, hedef nokta değişmese bile, patlatma aynasında değişiklikler olduğu için, patlatma yeri ve hedef arasındaki yön bir miktar değiştiği, sismik dalgaların yayıldığı jeolojik ortam farklılığı, yapısal değişiklikler gibi sebeplerle, PPV-SD arasında anlamlı ilişkiler kurulamamaktadır. Şekil 1'de, Holcim Quarry/İtalya'daki bir taş ocağında yapılan patlatmaların (Cardu vd., 2015), titreşimlerden şikayetçi olan bir bölgede alınan sismik sinyallerine ait PPV-SD grafiği görülmektedir. 50' ye yakın parçacık hızı değeri alınmasına rağmen, hedef olarak belirlenen o yön için anlamlı ilişkinin kurulamadığı regrasyon katsayısının düşük olmasından anlaşılmaktadır. Böyle bir durumla karşılaşıldığında, %95 güvenirlik eğrisini kullanmak da (kırmızı ile çizilen), anlamsız ve işletmenin patlayıcı miktarını gereksiz yere düşürmekten başka bir işe yaramayan bir uygulama olacaktır.



Şekil 1. Holcim Quarry/İtalya taş ocağında yapılan patlatmaların, titreşimlerden şikâyetçi olan bölgede alınan en yüksek parçacık hızları ile ölçekli mesafe ilişkisi.

Benzer bir durumu Cihangir vd.(2005) bir kalker ocağı patlatma titreşimlerinin en aza indirilmesi çalışmaları sırasında yaşamış, 49 adet veriye rağmen PPV-SD arasında güvenilir bir ilişki kurulamadığı için (Şekil 2), bilimsel etik gereği "toplam 49 atım için geliştirilen bu fonksiyon eşitliği kullanılarak, benzer atımlardaki muhtemel titreşim değerleri, ölçme ekipmanına gerek olmadan belirli güvenirlilikte belirli bir zaman için tahmin etmek şu an için güvenli değildir" sonucuna varmışlardır.



Şekil 2. Bir kalker ocağında yapılan patlatmaların, titreşimlerden şikayetçi olan bölgede alınan en yüksek parçacık hızları ile ölçekli mesafe ilişkisi.

Maalesef, aynı bilimsel etiği gösteremeyen ya da bilgi eksikliği olan bazı meslektaşlarımız, bu tarz korelasyon katsayısının düşük olduğu durumlarda dahi, bu güvenilir olmayan formülleri kullanarak işletmeye doğru olmayan "reçeteler" sunabilmektedir.

Aşama_2: "patlatma yapılan yer ile "hedef" olarak adlandırılan ve patlatma titreşimlerinin en aza indirilmesi istenen yer arasındaki yer iletim katsayısının belirlenmesi".

Giriş kısmında da belirtildiği gibi, PPV-SD ilişkisini belirlemeye yönelik pek çok görgül formül bulunmaktadır USBM RI 8507 (Siskind vd. 1983) formülünden hareketle gidersek,

$$PPV=Kx(SD)^{-\beta} \quad (1)$$

PPV: en yüksek parçacık hızı
K: yer iletim katsayısı
SD: ölçekli mesafe $[(R/(Q)^{1/2}]$
$^{\beta}$: PPV-SD grafiğinin eğimi
R:patlatma-hedef arası mesafe
Q:gecikme başına düşen patlayıcı miktarı

Bu formüldeki yer iletim katsayısı, görgül formülün kalbini oluşturmaktadır. Çünkü Olofsson (2002)'nin de dediği gibi, bu katsayı kayanın homojenliğine ve yapısal jeolojiye göre değişmektedir. Bir bölgede yapılan patlatma kaynaklı titreşimlerden şikayetçi olan bir yerleşim yeri düşünelim. Klasik yaklaşımla hareket ederek, en az 30 veriden oluşan ve güvenilirliği de yüksek olan bir görgül formül elde ettiğimizi düşünelim. Bu formül esas alınarak, yapılara hasar verebilecek parçacık hızlarının altında kalmak için kullanılabilecek en yüksek gecikme başına patlayıcı miktarlarını hesap edip, işletmeye verdiğimizi varsayalım. Bu reçete, işletmenin patlatma yaptığı yerin değişmediği durumlarda geçerli olacaktır. Ancak, madencilik faaliyetleri devam ettikçe, patlatma lokasyonu değiştikçe, dalgaların hedef olarak seçilen şikayetçi bölgeye giderken izlediği yol, daha önce yapılan çalışmadaki yoldan farklı olacaktır. Kaya yapısının ve yapısal jeolojinin değiştiği durumda, ki bu durum çok yüksek olasılıkla varolacaktır, işletmeye verilen reçete geçersiz olacak, şikayetler tekrarlanmaya başlayacaktır. Yapılması gereken, yine, en az 30 veriden elde edecek şekilde patlatmalardan titreşim ölçümü alıp, yeni güzergaha göre görgül formülün yenilenmesi ve yeni gecikme başına "izin verilebilen maksimum patlayıcı miktarlarının belirlenmesi olmalıdır. İşletmeye ikinci bir

maliyet getirmekte olan bu durum genellikle göz ardı edilmekte, bir güzergah için verilen reçete, uzunca bir süre uygulanmaya devam edilmektedir.

Aşama_3: "titreşim dalgalarının yayılma kuralını içeren görgül bağıntının bulunması".

Bu aşamada elde edilen görgül bağıntının, PPV-SD grafiğini oluştururken kullanılacak çok sayıda veri gerektirdiği, çok sayıda veri kullanılmasına rağmen doğanın doğrusal olmayan davranışlarından dolayı anlamlı bir ilişki bulunamayabileceği daha önceki bölümde anlatılmıştır. Dolayısı ile görgül yaklaşımla patlatma titreşimlerinin önceden tahmin edilmesi, doğanın homojen olduğu, patlatma bölgesinin ve dolayısı ile patlatma bölgesi ile hedef istasyon arasındaki güzerhın değişmediği varsayımı doğrultusunda mümkün olabilmektedir. Bu sayılan önemli olumsuzluğun yanında, görgül yaklaşımda bulunmayan ama titreşim analizlerinde çok önemli yeri olan iki faktör bulunmaktadır. Bunlardan biri frekans, diğeri patlatmanın etki süresidir. Formül (1) 'e bakıldığında, bu iki önemli parametrenin yer almadığı, formülün sadece en yüksek parçacık hızının, mesafe, yer iletim katsayısı ve gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarı ile ilişkili olduğu görülmektedir.

Aldas (2010), patlatma titreşimlerinin analizinde madencilikte en çok kullanılan bu formülü, jeofizikte sönümlenme faktörü olarak bilinen "attenuation" faktör ile eşitleyerek, frekans ve patlayıcı madde ilişkisini de bünyesinde bulunduran yeni bir formül geliştirmiştir. Formül (1) in yeniden düzenlenmesi ile parçacık hızını aşağıdaki gibi (formül 2) tahmin eden formülle, jeofizikte çok kullanılan sönümlenme formülünü eşitleyerek, formül 3 ü elde etmiştir.

$$PPV = k\frac{M^{\beta/2}}{R^{\beta}} \tag{2}$$

$$k\frac{M^{\beta/2}}{R^{\beta}} = \frac{e^{-\frac{\pi}{QV}fR}}{R^{1/2}} \tag{3}$$

M : Kütle (kg) (patlayıcı miktarı)
Q : Sismik kalite faktörü
V : Sismik Hız (m/s)
a : Sönümlenme faktörü (s/m)
f : PPV-frekansı (Hz)

Formül 3'ten frekansın çekilmesi ile, literatürde var olan hakim frekans (dominant frequency) ve sıfırı kesen frekans (zero-cross frequency) kavramlarından başka, en yüksek parçacık hızı ile ilişkili "PPV-frekansı" olarak adlandırılan yeni bir tanımlama yapmıştır (Aldas, 2010).

$$f = \frac{QV}{\pi R}\ln\left(\frac{R^{\beta-1/2}}{kM^{\beta/2}}\right) \tag{4}$$

Formülde "a" olarak adlandırılan sönümlenme faktörü de yerine konduğunda formül (4) elde edilmiştir.

$$\frac{1}{a} = \frac{QV}{\pi} \qquad f = \frac{1}{aR}\ln\left(\frac{R^{\beta-1/2}}{kM^{\beta/2}}\right) \tag{5}$$

Bu yeni frekans tanımı ile klasik formülde yer almayan frekans parametresi, PPV, arazi katsayıları, sönümlenme faktörü ve patlayıcı miktarı ile bulunabilmektedir.

Klasik formülde yer almadığı için göz ardı edilen önemli başka bir parametre de patlatma titreşimlerinin etki süresidir. Klasik yaklaşımda sadece en yüksek parçacık hızına dikkat edildiği için, patlatma sırasında kullanılan tasarım parametreleri yüzünden, oluşan en yüksek parçacık hızları değerleri düşük olmasına rağmen, titreşimler uzun sürdüğü için çevreye hasar verebilecek patlatmalar yapılabilmektedir.

Bunun bir örneği, Bursa Orhaneli Açık Kömür İşletmesinde yapılan patlatmalar sırasında görülmüştür (Uyar vd., 2015).

Orhaneli açık kömür işletmesi Gümüşpınar sektöründeki patlatma titreşimlerinin şev duraylılığına ve Gümüşpınar köyündeki evlere olan etkilerini en aza indirebilme amaçlı yapılan çalışmalarda, hem şev duraylılığını etkilemeyecek hem de şikayetçi olan evlere etkiyen titreşimlerin 1-2mm/s PPV değerlerini geçmeyecek patlatma tasarımı yapılarak işletme yetkililerine verilmiştir.

İşletmeye önerilen patlatma tasarımı uygulandığı takdirde, evlere hasar verme değerlerinin çok altında titreşim genlikleri oluşacağı ve en önemlisi, evlerin titreşime maruz kalma süresinin 1 saniyenin altında olacağı, yapılan çalışma ile ortaya konmuştur. Ancak önerilen patlatma tasarımına uyulmadığı takdirde, titreşim genliğinin hasar verme sınırlarının çok altında olduğu durumlarda dahi, titreşime maruz kalma süresinin uzamasının , yapılarda hasar potansiyelini arttırdığı da açıkça görülmüş, sürenin önemi ve klasik yaklaşımda göz ardı edilmemesi gerekliliği açıkça vurgulanmıştır (Uyar vd., 2015)

Frekansın da çok önemli olduğu bu bölümde vurgulanmışken dikkat edilmesi gereken bir nokta da, jeofonların doğal frekanslarıdır. Yani jeofonların hangi frekans aralığındaki sismik dalagaları algıladığı çok önemlidir. Piyasada, ucuz olması nedeni ile çokça karşılaşılan jeofon frekansları 4Hz'dir. Bu da, 4 Hz ve üstündeki sismik dalgaların algılandığı, altındakilerin algılanmadığı anlamına gelir. Titreşim analizlerinin iyi yapılabilmesi için, 1 Hz'lik jeofonların kullanılması, bu frekanstan itibaren sinyallerin algılanması açısından çok öenmlidir. Aksi takdirde, yapılarda en çok tahribatı veren yüzey dalgalarının sahip olduğu frekans aralığında yer alan 1-4 Hz arasındaki bilgiyi kaçırmış oluruz.

Aşama_4: "görgül bağıntıyı kullanarak, yapılacak patlatmalar için bir seferde güvenle ateşlenebilecek en yüksek patlayıcı miktarının belirlenmesi".

Patlatma kaynaklı titreşimlerin en aza indirilmesinde patlayıcı maddeyi azaltma yöntemi, PPV-SD yaklaşımının kullanılmaya başlandığı 1960'lı yıllardan beri yaygın olarak kullanılmıştır. Ancak, bu yöntemin, karmaşık jeolojik yapıda ya da beklenmeyen fiziksel olayların geliştiği (bir sonraki bölümde değinilecektir) kaya yapıları içerisinde ilerleyen titreşim dalgaları söz konusu olduğunda başarılı olmadığı, işletmenin madencilik faaliyetlerini yavaşlatmaktan başka bir işe yaramadığı başta Blair (2014) olmak üzere pek çok araştırmacı tarafından fark edilmiştir. Uyar vd. (2015) çalışmasında, Orhaneli Kömür işletmesinde yapılan patlatma çalışmalarında da benzer durum yaşanmıştır.

Aşama_5: "parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisine bağlı, bölge ve yön bağımlı geliştirilen görgül formülü kullanarak, titreşim ölçümü yapılmayan durumlarda, yapılacak patlatmalardan kaynaklanacak parçacık hızlarının tahmin edilmesi".

Görgül formülün eksiklikleri ve olumsuz tarafları, güvenilir bir şekilde kullanılabilmesi için, değişen her jeolojik ortam için PPV-SD ilişkisinin kurulduğu deneylerin tekrarlanması gibi külfetler içermesi, bu yapılsa bile, frekans, süre gibi çok önemli parametreleri bünyesinde

barındırmaması ve patlayıcı miktarını azaltarak her zaman titreşimleri en aza indirmenin mümkün olmadığı ilk dört aşamada anlatılmıştır. Bir sonraki bölümde de, beklenmedik jeolojik ve fiziksel olaylarla karşılaşılan durumlarda PPV-SD ilişkisine dayanan formüllerle parçacık hızı tahmin etmenin yanıltıcı olduğu anlatılacaktır.

3 PATLATMA KAYNAKLI DALGALARIN YAYILMA MEKANİZMALARINI ETKİLEYEN VE KLASİK YAKLAŞIMDA ÖNGÖRÜLEMEYEN FİZİKSEL VE JEOLOJİK OLAYLAR

Patlatma kaynaklı titreşim dalgaları, patlatma bölgesinden çevreye yayılırken uğradıkları bazı beklenmedik fiziksel, jeolojik olaylar neticesinde beklenildiğinin aksine mesafeyle azalan bir yönelim göstermeyebileceği gibi, hatta mesafeyle artabilecektir. Bu da, klasik yöntemde öngörülemeyen bir durum olduğu için, PPV-SD yaklaşımı ile patlatma titreşimleri her ne kadar kontrol edilmeye çalışılsa da, patlatmaya çok uzak mesafelerde dahi şikayetlerin devam edebilmesini açıklayabilmektedir. Bu durumlardan en önemlisi "kanal dalgalarının oluşması", bir diğeri "patlatma kaynaklı titreşim analizlerinde zemin büyütmesinin temel kaya ile etkileşimi" ve son yıllarda fark edilmeye başlanan "patlatma titreşimlerinin doğrusal olmayan davranışları" dır.

3.1. Kanal Dalgalarının Oluşması

Dekapaj malzemesinde ve kömür damarı içinde yapılan patlatmalar, özellikle kömür damarı çevre yerleşim birimlerinin altına uzanıyorsa, özel ayrıcalık gösterilmesi gereken patlatmalardır. Böyle durumlarda, klasik anlamda incelenen direkt ve yüzey dalgalarının yaratacağı etkilerin yanı sıra, kömür damarında oluşan kanal dalgalarının etkilerinin de araştırılması gerekmektedir. Çünkü çevresindeki kayalar ile kıyaslandığında düşük sismik hız ve yoğunluğa sahip olan kömür tabakaları bir kanal gibidir (Essen vd. 2007). Kömür içinde veya üzerindeki dekapaj malzemesinde yapılan patlatmaların yarattığı sismik dalgalar, kömür damarı içerisinde, kritik açı (kırılma açısının 90^0 olması durumunda geliş açısı kritik açı olarak adlandırılır) ötesinde tam yansımaya uğrayarak kanalize olurlar (Ravindra ve Cerveny, 1971). Kanal dalgaları uygun şartlarda damar kalınlığının 1000 katı kadar bir mesafeye ilerleyebilirler (Lavergne 1989). Özellikle damar içi patlatmalarda, üzerinde çalışılan kömür damarının, çevredeki yerleşim birimlerinin altına doğru uzanması, kanal dalgalarının varlığı nedeni ile patlatma kaynaklı titreşimlerin etkilerini birkaç kat arttırmaktadır. Bu durum kömürde yapılan patlatmalardaki uzaklık-titreşim genliği ilişkisinin basit bir tekdüze azalım ilişkisi olmadığını göstermektedir. Kanal dalgalarının etkili olduğu ocaklarda, patlatma kaynaklı titreşim etkilerinin azaltılması için özellikle kömür damarı içi kanal dalgalarının doğasının ve bu dalgaların çevredeki yerleşim birimlerine etkisinin incelenmesi gerekir.

Kanal dalgalarının kömür madenlerinde de oluştuğu ilk defa Babayigit (2012) tarafından incelenmiş, modellenmiştir. Uyar ve Babayigit (2013) model sonuçlarını gerçek patlatma verileri ile karşılaştırmak için TKİ YLİ Hüsamlar ocağında çalışmalar yapmıştır. Çalışmalar kanal dalgalarının varlığını, model sonuçlarıyla örtüşecek şekilde göstermiştir.

Çalışma kapsamında, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Yeniköy Linyitleri İşletmesi Müdürlüğünün Hüsamlar Ocağında, Hüsamlar köyünün altına doğru devam eden kömür damarı üzerinde 2 grup patlatma yapılmış ve oluşan titreşimler ocak ve köy içerisine yerleştirilen 4 adet üç bileşenli sismik kayıt cihazı ile kaydedilmiştir.

Çalışmada kullanılan modeller, kanal dalgası teorisi üzerine kurulmuştur. Arazi ölçümlerine dayanan görgül yaklaşımlara bağlı değildir. Kurulan modeller, 2 adet arazi verisi ile test edilmiştir. Teorisi yıllar önce kanıtlanmış olan kanal dalgalarının, patlatma titreşimleri üzerine etkisi gösterilmeye çalışılarak, halihazırda kullanılan yöntemler iyileştirilmeye çalışılmıştır.

Kurulan modelin arazi verileri ile örtüşmesi, modelin, patlatma titreşimlerini azaltma çalışmalarında en azından, ön bilgi (titreşim genliklerinin nerelerde tekrar artmaya veya azalmamaya başladığı bilgisi) olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Bu sonuçlar, kömür damarı içerisindeki sismik dalga yayınımının tekdüze bir uzaklıkla azalım ilişkisi olmadığını göstermektedir. Uzaklıkla üstel olarak azalması gereken genliklerin, kömür damarı içerisinde gelişen yapıcı girişimler nedeni ile bazı noktalarda yükselmeler gösterdiği ve bundan dolayı patlatmalardan kaynaklanan titreşim etkisini arttırdığı belirlenmiştir.

3.2 Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Analizinde Zemin Büyütmesinin Temel Kaya İle Etkileşimi

Yüzey jeolojisinin, zemin tabakalarının jeoteknik özelliklerinin ve yüzey topografyasının patlatma kaynaklı titreşimler üzerinde önemli etkisi vardır. Titreşim genliklerinde meydana gelen büyütmeler, kaynak, sismik ışının izlediği yol, topoğrafya, soğrulma ve dispersiyon etkileriyle kontrol edilir. Genelde; zemin, zeminin geometrik özellikleri, yüzey topografyası, soğrulma ve dispersiyon yüzünden titreşim dalgalarının karakteristik özellikleri (genlik, frekans, süre) değişebilir.

Birçok patlatma kaynaklı titreşimlerden şikayet edilen bölgelerin araştırılması sonucunda patlatmaların en çok etkilediği yerlerin bazen çok küçük zonlar oluşturduğu gözlenmiştir. Ana kayada yapılan patlatma ile patlatmaların yüzeydeki etkisi arasındaki farklar incelenmiş fakat bu farklılıkların bölgenin yerel jeolojik konfigürasyonundan ya da sismik dalgaların yayılımdan meydana gelip gelmediğini kanıtlamak oldukça zor olmuştur.

Yüzey jeoloji ve zemin tabakalarının jeoteknik karakterinin patlatma titreşimleri üzerinde büyük önemi vardır. Zemin ve yüzey topografyası nedeniyle dalga alanının karakteristik özellikleri (genlik, frekans içeriği, süresi) değişebilir. Dalga alanının karakteristik özelliklerinde meydana gelen değişimler titreşim genliklerinde büyütme veya küçültmeleri oluşturabilir.

Mühendislik ve madencilik amaçlı yapılan patlatmalar ile oluşan yüzey dalgalarının, patlatma noktasından uzaklaştıkça alçak frekans içerinin etkinlik kazanmasıyla uzun dalga boylu bileşenleri artar. Buna bağlı olarak patlatmalarla oluşan yüzey dalgası etkilerinin, kaynaktan daha uzak noktalarda dahi görülmesine neden olur.

Ayrıca dispersiyon ve soğrulma, kaynaktan uzaklaştıkça ilerleyen dalgada soğrulmanın etkisiyle düşük frekansların kalması dalganın ilerlediği ortamın rezonansa girmesine neden olur. Bu durumda yerleşim yerlerinde büyük hasarlar meydana gelebilir. Bu yüzden yüzey dalgalarının yayılım özelliklerinin iyi kavranması önemlidir.

Can (2007), yüksek lisans tezinde, temel topografyasının, soğrulma ve dispersiyonun patlatma titreşimleri üzerindeki etkilerini modellemiş ve gerçek patlatma verileri ile de modelin doğruluğunu kanıtlamıştır. Model, uygulama ve verilen örnekler göstermiştir ki, zemin büyütmesini yüzey dalgalarıyla belirlerken, soğrulmanın ve dispersiyonun dalga yapısı üzerindeki etkileri ve temel topografyasının gelen dalgalarla etkileşimi (saçılmalar, yansımalar, tekrarlı yansımalar, vb) mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Çalışmadaki

deneysel ve teorik sonuçlar özetlenecek olursa; Yüzey topografyası; dışbükey (sırt, dağ, tepe) ve içbükey (vadi, havza, kanyon) yüzeylere bağlıdır ki bu yapılar patlatma titreşim dalgaları yayılırken farklı davranışlar sergilerler. Yapılan uygulama ve verilen örnekler göstermiştir ki, basit şekilli bir topografya bile bazen çok karışık bir büyütme paterni gösterebilmektedir. Titreşim dalgalarının yansımasından dolayı bu dalgalar yüzeyde bir noktada odaklanmaktadır. Zemin büyütmesi incelenirken mutlaka dispersiyon-soğrulma, temel topografyasının şekli ve gelen dalganın topografya ile etkileşimi göz gönüne alınmalıdır.

3.2. Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Doğrusal Olmayan Davranışları

Patlatma kaynaklı titreşim dalgaları, kaynaktan uzaklaştıkça giderek doğrusal davranışlar sergilemeye başlar (Aldas ve Ecevitoglu, 2007). Patlatma titreşimlerinden etkilenen ve şikayetçi olan yerler de genellikle, patlatma sahasından 400-500 m uzakta yerler olduğu için, klasik yöntemde dahi, eğer ortamda karmaşık bir jeolojik yapı yoksa (kanal dalgası, zemin büyütmesi yaratacak ortamlar), titreşim genlikleri mesafeyle doğrusal azalacak bir ilişki göstermektedir. Bu sebeple, belirtilen homojen şartlar dahilinde, klasik yöntem uzak mesafelerdeki hedeflere gidecek titreşim genliklerini tahmin edebilmekte başarılı olabilmektedir.

Ancak, günümüzde, metro, tünel, demiryolu vb. çalışmalar için yapılan patlatmalar, yerleşim yerlerine birkaç 10m mesafelerde dahi yapılabilmektedir. Bu kadar kısa mesafe içinde, patlatma titreşimleri doğrusal olmayan davranış sergiler, parçalanmanın etkidiği plastik davranışın izlerini üzerinde barındırır. Bu sebeple, klasik yaklaşımdaki PPV-SD ilişkisi ile oluşturulacak görgül formüllerle, patlatmaya 30-50m mesafede korunması gereken yerlerde titreşimin en aza indirilmesi mümkün değildir. Çünkü dalgalar, bu formüllerin oluşturulduğu arazi katsayılarını belirleyecek kadar yol katedememektedir. Bu tarz patlatma titreşim analiz çalışmalarında, oluşan frekans içeriği, titreşim dalgalarının etkime süresi dikkate alınarak, hedef noktada genliklerin sönümlendirildiği en uygun gecikme aralıklarının seçilmesi gerekmektedir. Patlatmaya çok yakın kritik hedeflerin korunması istendiğinde ise, ülkemizde de yavaş yavaş kullanılmaya başlanan elektronik kapsül uygulaması ile, hedef noktada dalgaları sönümlendirecek tam istenilen gecikmelerin seçilmesi de mümkündür.

4. KLASİK YÖNTEME ALTERNATİF GELİŞTİRİLEN YÖNTEMLER

Aldas ve Ecevitoğlu (2008; 2011), patlatma kaynaklı titreşimleri en aza indirebilmek için mevcut yöntem olan “hasar sınırlarının altında kalabilmek için gecikme başına kullanılabilecek en büyük patlayıcı miktarını belirleme” yönteminden farklı olarak, yeni bir yöntem geliştirmiştir.

Bu yöntemde, alışılagelmişin aksine, patlayıcı miktarı önemini yitirmektedir. Bu yöntem, patlatma ile ilgili parametrelere (delik sayısı, delik tasarımı, kullanılan patlayıcı miktarı, türü, deliklerin konumları vb.) herhangi bir kısıt getirmemektedir. Yeni yaklaşımın esası, pilot atış kullanılarak elde edilen sismik dalganın imzasını kullanarak, çoklu patlatma ile oluşan sismik dalgaların modellenmesi ve uygun gecikmeler verilerek birbirlerini söndürmelerine dayanmaktadır. Veri analizinden elde edilen gecikme parametreleri, gerçek grup patlatmasında uygulanır.

Yöntemin temeli pilot patlatmasına dayanmaktadır. Patlatma noktasından başlayarak hedefe ilerleyen sismik dalgalar yol boyunca çeşitli etkilerle karşılaşırlar. Patlayıcı miktarı, türü, patlayıcı-kayaç etkileşimi, ayna etkisi, karmaşık jeoloji (tabakalanma, teknonik ve

litolojik özellikler) bu etkilerin başlıcalarıdır. Pilot patlatma ile oluşan sismik dalgalar, tüm bu etkilerin kaydını, farklı dalga biçimi oluşumları ve genlik ölçeklenmeleri şeklinde üzerlerinde taşırlar. Grup patlatması içerisindeki her bir deliğin, pilot patlatmadakine eşdeğer bir dalga üreteceği varsayımından yola çıkılmıştır. Kullanılan veri işlem tekniğinin esası lineer sistemlerin önemli bir özelliği olan süperpozisyon prensibine (Oppenheim ve Schafer, 1975) dayanır.

Yeni yöntemin en can alıcı noktası, pilot patlatmaya ait sinyalin tüm etkileri (patlatmayla ilgili özellikler, jeolojideki karmaşa vb.) üzerinde barındırmasıdır. Bu yüzden, herhangi bir varsayıma ve jeolojik modellemeye gereksinim duyulmaz.

Mevcut yöntemlere göre üstünlüğü, (i) Değerlendirmelerin, yalnızca en büyük parçacık hızına (PPV) dayandırılmaması; dalga biçimi, frekans içeriği ve titreşim sürecinin de dikkate alınması, (ii) Patlayıcı miktarına bir kısıt getirilmemesi ve işletmenin uyguladığı patlatma düzenine karışılmaması, (iii) Tek bir kayıt istasyonundan elde edilen titreşim kaydı ile dahi (sismik faz hızı hesaplanmayacaksa) analiz yapılabilmesidir.

Pilot patlatmadan elde edilen sismik veriler, ticari bir yazılım ile sismik kayıtçılardan bilgisayara aktarıldıktan sonra, geliştirilen yazılım paketi ile değerlendirilmektedir. Değerlendirme sonucu, aynı patlatmaya ait deliklerin nasıl gruplanacağı ve her gruba ne kadar gecikme verileceği belirlenir. Grup patlatmaları bu parametrelere göre gerçekleştirilir. Grup patlatması sonucu elde edilen ikinci veri setinden ise titreşimlerin ne kadar önlenebildiği incelenir.

Bildirinin ikinci bölümünde Şekil 6'da bu yöntemle yapılan modelleme ekranı görülmektedir. Sol üst köşede, koordinatları girilen 26 adet grup patlatma deliği, aynanın konumu (düz çizgi) ve ölçüm yönü (ok işareti) görülmektedir. Pilot sinyalden modellenen grup patlatma sinyalleri şeklin alt bölgesinde yer almaktadır. Sismik dalgaların yıkıcı girişime uğrayarak birbirlerini sönümlendirmeleri için gruplara verilmesi gereken en uygun gecikmeler seçilmiş ve deliklere uygulanmıştır. Şekil 6'da sağ üst köşede boyuna bileşen için 0.18.saniyede, gecikmesiz patlatmanın titreşim genliği (LonZ 63.76 birim iken, gecikmelinin (LonD) 1.01 birimdir). Modeli test etmek için, modelin öngördüğü gecikme aralıkları, yine modeldeki gibi düzenlenen patlatma gruplarına uygulanmış ve alınan uzak istasyon titreşim verisi model sonucuyla karşılaştırılmış ve gerçek patlatma titreşimlerinin de modelde öngörüldüğü seviyelere düştüğü belirlenmiştir (Uyar vd. 2015).

Yöntemin klasik yönteme göre en önemli üstünlüğü şudur: Klasik yöntemde en az 30 veri ile bulunan görgül yaklaşımlarla, patlatma ve hedef yön arasındaki arazi katsayıları belirlenerek görgül formül elde edilmekte ve bu yön için parçacık hızı tahmini yapılmakta, parçacık hızlarının hasar limitlerinin altında kalması için izin verilecek en yüksek gecikme başına patlayıcı miktarı belirlenmektedir. Ama, patlatma lokasyonu değiştiğinde, tüm bu yapılanlar anlamsız olmakta, yeni yön için yeniden en az 30 veri toplanarak yeni formül oluşturulması gerekmektedir. Oysa ki, yeni yöntemde, titreşim dalgalarının yol aldığı güzergah değiştiği zaman yeniden bir pilot patlatma yaparak yeni güzergahın imzası çıkarılır ve grup patlatmalar modellenir. Yani, 30 veri yerine sadece 1 adet pilot patlatmadan elde edilecek veri yeterlidir.

Blair (2010), PPV-SD yaklaşımının olumsuzluklarını ilk farkeden bilim insanlarından biri olarak, 2004 yılından beri, patlayıcı miktarını kısıtlamak yerine, patlatma tasarımlarını değiştirmek, patlayıcıların infilak hızlarına göre değişen P ve S dalgalarını modellemek gibi

araştırmalar yapmakta, sadece en yüksek parçacık hızı ile değil, tüm dalga biçimini dikkate alarak titreşimleri en aza indirme çalışmalarını devam ettirmektedir.

Son 10 yıl içerisinde de, Yapay Sinir Ağı (ANN, artificial neural network) metodu, PPV tahmininde yaygın kullanılmaya başlamıştır (Khandelwal ve Singh, 2007; Kamali ve Ataei, 2011; Mohammadnejad vd., 2012; Ataei ve Kamali, 2013; Ghasemi vd.., 2013; Khandelwal, 2012; Xue ve Yang, 2013).

5. SONUÇLAR

Patlayıcı miktarını kısıtlama temelli, en yüksek parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkilerinin belirlendiği klasik yaklaşım, 1960 yıllardan günümüze dek yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. 1960'lı yılların bilgi ve teknolojisi ile titreşimlerin en aza indirilmesinde başarılı sonuçlar elde edilen bu yaklaşım, günümüzde yerleşim yerlerine çok yakın yapılan patlatmalarda, karmaşık jeolojik yapıların elvermediği durumlarda tatminkar sonuçlar vermemektedir. Bu da, yapılan çalışmalara rağmen patlatma titreşimlerinden şikayetlerin devam etmesinden anlaşılmaktadır. Bu yaklaşım, günümüz bilgi ve teknolojisi ile çözümlenebilecek olan bazı olumsuzluklar içermektedir. Bildiride, yaklaşımın beş aşamasının içerdiği olumsuzluklar ayrı ayrı anlatılmıştır. Özetleyecek olursak;

i)Klasik yöntemde değerlendirmeler, yalnızca en büyük parçacık hızına (PPV) dayandırılmakta; dalga biçimi, frekans içeriği ve titreşim süreci dikkate alınmamaktadır.

(ii) Patlayıcı miktarına kısıt getirilmekte, işletmenin madencilik faaliyetleri yavaşlamaktadır.

(iii) Görgül formülün geçerli olduğu güzergah değiştiğinde, yeniden arazi katsayılarını belirlemek üzere en az 30 verinin elde edileceği patlatmaların yenilenmesi gerekmektedir.

iv)Patlatma kaynaklı dalgaların yayılma mekanizmalarını etkileyen bazı fiziksel ve jeolojik olaylar karşısında klasik yöntem yetersiz kalmaktadır. Bunlardan biri, kömür damarı gibi, kendisinden daha yüksek sismik hıza sahip katmanlar arasında yer alan yapılar içerisinde ilerleyen patlatma titreşimlerinin, kömür damarı içerisinde kanal dalgaları haline dönüşmeleri ve çok uzak mesafelere iletilebilmeleridir. Bir diğeri, patlatma titreşim analizlerinde zemin büyütmesinin temel kaya etkileşimi ile ilişkisidir. Başka bir olay, patlatmaya çok yakın (ilk 100m) mesafelerde patlatma titreşimlerinin doğrusal olmayan davranış sergilemesinden kaynaklı, bu mesafelerdeki hedeflerin korunmasında klasik yöntemin yine zayıf kalmasıdır.

v) Veri toplama aşamasında karşılaşılan bir uygulama da, kullanılan jeofonların doğal frekanslarına dikkat edilmemesidir. Piyasada sıkça görülen 4 Hz'lik jeofonlar, 4Hz ve üstündeki sinyallari algılarken, altındaki sinyalleri algulamadıkları için, 1-4 Hz aralığındaki önemli bir bilgi kaybedilmektedir. Yapılar için en büyük hasarı veren yüzey dalgalarının sahip olduğu bu düşük frekanslı dalgaları da kaydedecek 1Hz'lik jeofon kullanmak daha doğrudur.

Bu olumsuzlukları içeren klasik yöntemin alternatifi olarak, patlatma kaynaklı oluşan titreşimlerin en uygun gecikmelerle hedef noktada söndürülmesi prensibine dayanan; sadece PPV'nin değil, frekans, süre parametrelerinin de göz önüne alındığı yöntemlerden bahsedilmiştir. Bunun yanında ANN yöntemi de, son 10 yıldır, PPV tahmininde kullanılan bir yöntemdir.

KAYNAKLAR

Ambraseys NR, Hendron AJ, 1968. Dynamic behaviour of rock masses. Rock Mechanics in Engineering Practices. London: Wiley, 203–7.

Anderson DA, Winzer SR and Ritter AP, 1982. Blast design for optimizing fragmentation while controlling frequency of ground vibration. Proceedings of the 8th Conference on Explosives and Blasting Technique, New Orleans, 69–89.

Anderson DA. 1993. Blast Monitoring: Regulations, Methods and Control Techniques. Comprehensive Rock Engineering (4) Hudson JA, editor, Pergamon Press, 95–110.

Adhikari GR, Theresraj AI, Venkatesh S, Balachander R, Gupta RN., 2004. Ground vibration due to blasting in limestone quarries. FRAGBLAST – International Journal of Blasting and Fragmentation, 8(2):85–94.

Aldas GGU, Ecevitoglu B., 2008. Waveform analysis in mitigation of blast-induced vibrations. Journal of Applied Geophysics, 66:25-30.

Aldas GGU, 2010. Explosive charge mass and peak particle velocity (PPV-frequency relation in mining blast. J. Geophysics Eng. 7. 223-231.

Aldas GGU, Ecevitoglu G.B., 2011. “Patlatma kaynaklı titreşimlerin en aza indirilmesini sağlayan yöntem”, Patent no:03459.

Ataei M, Kamali M, 2013. Prediction of blast-induced vibration by adaptive neuro-fuzzy inference system in Karoun 3 power plant and dam. Journal of Vibration and Control, 19(12):1906-1914.

Babayiğit A. Kömür damarı içi patlatma kaynaklı kanal dalgalarının ve çevresel etkilerinin incelenmesi, 2012. Ankara Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü,Yüksek Lisans Tezi.

Babayigit E., Aldas GGU, 2013. Kömür damarı içi patlatma kaynaklı kanal dalgalarının titreşim genlikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi. IMCET, 161-170.

Bilgin, H.A., Esen, S., Kılıç, M. and Aldaş, G.G.U., 2000. Yeniköy Linyit İşletmesinde Patlatma Kaynaklı Yersarsıntılarının İncelenmesi. "4. Delme ve Patlatma Sempozyumu", 1, s.147-158.

Bilgin, H.A., Çakmak, B.B., 2010. Çok Yakın Çevresinde Binalar Bulunan Bir Doğaltaş Maden Ocağı için Çevresel Etki Değerlendirmesi ve Titreşim Analizine Dayalı Güvenli Patlatma Tasarımı. "VI. Delme Patlatma Sempozyumu", 1, s.159-168.

Blair DP, 2004. Charge weight scaling laws and the superposition of blast vibration waves. Fragblast, 8(4):221-239.

Blair DP., 2010. Seismic radiation from an explosive column. Geophysics, 75(1):E55-E65.

Blair DP., 2014. Blast vibration dependence on charge length, velocity of detonation and layered media. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 65:29-39.

Can A.Z. Yüzey dalgaları/Temel kaya etkileşimi ve 3B sismik ışın izleme yöntemiyle Zemin büyütmesi haritalarının oluşturulması, 2007. Ankara Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü,Yüksek Lisans Tezi.

Cardu M, Mucci A. Uyar G.G., 2015. Investigating the effects of bench geometry and delay times on the blast induced vibrations in an open-pit quarry. Indagine sugli effetti della geometria di scavo e della temporizzazione sulle vibrazioni indotte in una cava a cielo aperto, GEAM, 25-38 pages.

Chen G, Huang S., 2001. Analysis of ground vibrations caused by open pit production blasts: A case study. FRAGBLAST, 5(1):91-107.

Cihangir F., Kesimal A., Erçıkdı B., Durmuş O. Karadeniz Bir Kalker Ocağında Patlatmak Kazılardan Kaynaklanan Çevresel Etkilerin Analizi 2005. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon Madencilik ve çevre sempozyumu, 76-86.

Duvall WI, Fogleson DE, 1962. Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibration. USBM-I, 5968.

Davies, B,, Farmer, 1.W. & Attewell, P.B. 1964. Ground vibration from shallow sub-surface blasts, *The Enginers*. 217, pp. 553-559, London.

Dowding, C.H.1980. Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting, USBM, RI 8507.

Dowding CH, 1985. Blast Vibration Monitoring and Control. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Essen, K., Bohlen, T., Friederich, W. & Meier, T., 2007. Modelling of Rayleigh-type seam waves in disturbed coal seams and around a coal mine roadway. Geophys. J. Int. 170; 511-526.

Ghasemi E, Ataei M, Hashemolhosseini H., 2013. Development of a fuzzy model for predicting ground vibration caused by rock blasting in surface mining. Journal of Vibration and Control, 19(5):755-770.

Ghosh, A. & Daemen, J.J.K. 1983. A simple new blast vibration predictor (Based on Wave Propagation Laws), 24" U.S. Symp. on Rock Mechanics, June, pp. 151-161.

Gupta, R.N., Roy, P.P., Bagachi, A. & Singh, B. 1987. Dynamic effects in various rock mass and their predictions,./. Mines, Met. Fuels, pp. 455-462.

Hoshino T, Mogi G, Shaoquan K., 2000. Optimum delay interval design in delay blasting. FRAGBLAST, 4:139–148.

Indian Standard Institute, 1973. Criteria for safety and design of structures subjected to underground blast. ISI Bull; IS-6922.

Kahriman A. Analysis of parameters of ground vibration produced from bench blasting at a limestone quarry, 2004. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24(11) 887-892.

Kahriman A., Özer Ü., Aksoy M., Karadığan A., Tuncer G., 2006. Environmental Impacts of Bench Blasting At Hisarcık Boron Open Pit Mine in Turkey. Environmental Geology Vol. 50, pp1015-1023.

Kamali M, Ataei M., 2011. Prediction of blast induced vibrations in the structures of Karoun III power plant and dam. Journal of Vibration and Control, 17(4):541-548.

Khandelwal M, Singh TN., 2007. Evaluation of blast-induced ground vibration predictors. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 27:116–125.

Khandelwal M., 2012. Application of an expert system for the assessment of blast vibration. Geotech Geol Eng, 30:205–217.

Konya C., 1991. Surface Blast Design. Prentice Hall, 534 pages.

Langefors U, Kihlström B, 1967. The modern technique of rock blasting. Stockholm: Almqvist & Wiksell.

Lavergne, M. 1989. Seismic Methods. TECHNIP, 172 pages, Paris.

Mohammadnejad M, Gholam R, Ramezanzadeh A, Jalali ME, 2012. Prediction of blast-induced vibrations in limestone quarries using Support Vector Machine. Journal of Vibration and Control, 18(9):1322-1329.

Muller B., 1997. Adapting blasting technologies to the characteristics of rock masses in order to improve blasting results and reduce blasting vibrations. FRAGBLAST, 1:361-378.

Muller B, Hohlfeld TH, 1997. New possibility of reducing blasting vibrations with an improved prognosis. FRAGBLAST, 1:379-392.

Nreholls, H.R., Johnson, CF. & Duvall, W.l. 1971. Blasting

Oppenheim AV, Schafer RW, 1975. Digital signal processing. Prentice-Hall Print.

Özer Ü., Karadoğan A., Kahriman A., Aksoy M, 2013. Bench Blasting Design Based On Site-Specific Attenuation Formula in a Quarry. Arabian Journal of Geosciences Journal, Vol. 6, 99711-721, 2013.

Persson PA, Holmberg R, Lee J, 1994. Rock Blasting and Explosives Engineering. CRC Press.

Ravindra R. ve Cerveny V., 1971: Theory of seismic head waves. Univ. of Toronto Press, pp. 312.

Roy, P.P. 1991. Vibration control in an opencast mine based on improved blast vibration predictors, Mining Science and Technology, 12(1991): pp. 157-165.

Singh PK, Roy MP, 2010. Damage to surface structures due to blast vibration. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 47(6):949–961.

Siskind DE, Stagg MS, Kopp JW, Dowding CH, 1980. Structure response and damage produced by ground vibrations from surface mine blasting. USBM RI 8507.

Siskind DE, Crum SV, Otterness RE, Kopp JW, 1989. Comparative study of blasting vibrations from Indiana surface coal mine. USBM RI 9226.

Siskind DE. Vibrations from blasting, International Society of Explosives Engineers; 2000.

Tripathy G, Gupta ID, 2002. Prediction of ground vibrations due to construction blasts in different types of rock. Rock Mech Rock Eng, 35(3):195–204.

Xue X, Yang X, 2013. Predicting blast-induced ground vibration using general regression neural network. Journal of Vibration and Control, 1077546312474680.

Uyar GG., Aksoy CO, Kaypak B., 2015. Şev duraylılığı açısından kontrollü patlatma teknikleri, IMCET 2015,509-520.

Patlatmalarda Yaşanan Taş Savrulması Olayının İncelenmesi
The Investigation of Fly Rock Event Occurred in Blasting

A. Yücel
Tokgün İnşaat San. Ltd. Şti., Malatya

M. G. Özdoğan, T. Depci
İnönü Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Malatya

ÖZET Madencilik ve inşaat sektöründe geniş kullanım alanı olan patlatma, çeşitli çevresel ve iş güvenliği sorunlarına sebep olmaktadır. Bu sorunlar titreşim, gürültü, toz ve taş savrulması olarak karşımıza çıkmaktadır. Titreşim, gürültü ve toz sorunları hakkında literatürde ayrıntılı çalışmalara rastlanmakta iken taş savrulması ile ilgili kapsamlı çalışmalar olmadığı görülmüştür. Bu çalışmada çevresel ve iş güvenliği açısından önemli problemlerden biri olan patlatma kaynaklı taş savrulması hakkında bilgi sunulmuştur.

ABSTRACT Blasting which has a wide usage area in mining and construction sector cause environmental and work safety problems. These problems are shown up as vibration, noise, dust and flying rock. By this time, there are number of case studies about vibration, noise and dust problem while it is seen that there are inadequate case studies about flying rock. In this study flying rock originating from blasting, noteworthy problem in blasting with regard to environmental and work safety, is informed.

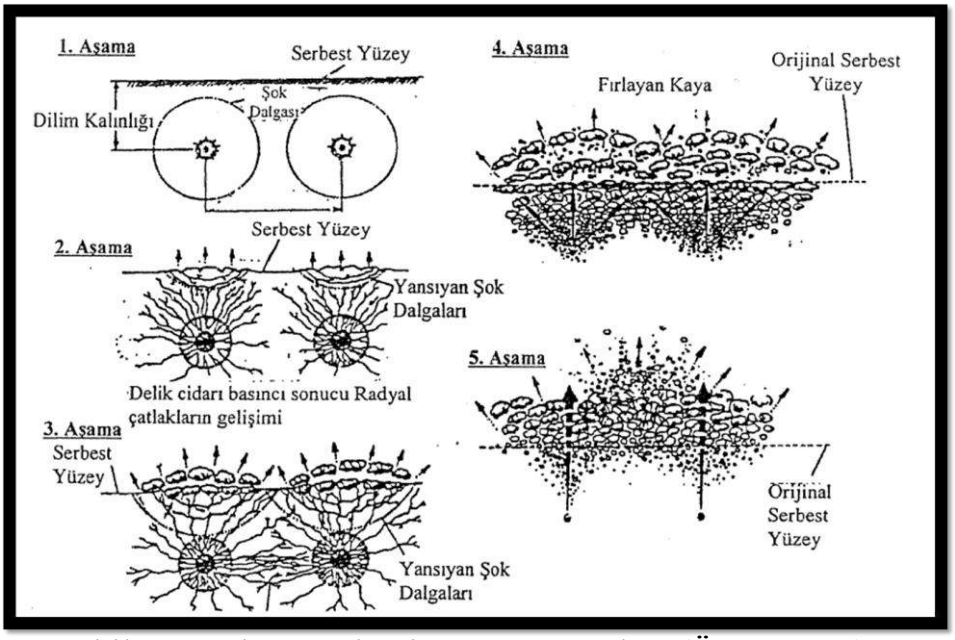
1 GİRİŞ

Patlatma kaynaklı çevresel etkiler titreşim, gürültü, toz ve taş savrulması olarak karşımıza çıkmaktadır. Patlatma tasarımı ve uygulama sırasındaki hatalar sebebi ile meydana gelen taş savrulmaları maddi ve hayati tehlikelere sebep olmaktadır. Taş savrulması sonucu güvensiz alan içinde kalan araçlarda maddi hasar, çalışanlarda ise ciddi yaralanmalar hatta ölümler meydana gelebilmektedir. Bu çalışma başta maden ocaklarında olmak üzere yol, tünel, baraj inşaatı ve alt yapı çalışmaları gibi çeşitli sektörlerde uygulanan patlatma işleminde meydana gelen çevresel etkilerden taş savrulması olayının incelenmesi üzerinedir.

2. PATLATMA İŞLEMİ İLE KAYA KIRILMASI

Patlatma işlemi ile kaya parçalanma mekanizması oldukça karmaşık bir olaydır. Patlayıcı madde kullanarak kaya yapılarının kırılmasında (i) patlayıcı maddenin kırma enerjisi, (ii) patlatma reaksiyonu sonucu oluşan gaz ürünleri, (iii) patlatma ile kaya yapısına verilen sismik enerji ve (iv) yığma enerjisi devreye girer (Erkoç,2013). Bir patlayıcı şarjı ateşlendiğinde, çok yüksek gaz basıncı açığa çıkarır. Bu gaz basıncı delik cidarlarına çarpar ve yoğun basınç, kayaç içerisinde dışa doğru yayılır. Patlatma ürünü olan gerilme çok hızlı bir şekilde kaya gerilme dayanımını geçerek delik etrafındaki kayayı parçalar ve kırar. Plastik, toz haline gelmiş bir zon oluşturur (Özer, 2001). Bu zon içerisinde kayacın plastik davranan kaya parçaları elastik davranış sergileyerek kırılma başlatır. Teğetsel gerilmelerin meydana getirdiği çatlaklarda

teğetsel çekme gerilmesi kayacın çekme gerilmesini aştıkça çatlak oluşumu devam eder. Açığa çıkan bu radyal basınç dalgaları serbest bir yüzeye çarptığında geri yansır. Bu esnada kaya kütlesi serbest yüzeye doğru şişer. Basınç dalgaları ve bu dalgaların serbest yüzeyden yansıması sonucu oluşan çekme gerilmesi dalgası sonucu önce delik etrafındaki kaya kırılır, daha sonra çatlaklar oluşur. Bu basınçlı gaz çatlaklar içerisinde girerek çatlakları serbest yüzeye kadar iletir ve kayanın parçalanması gerçekleşmiş olur. Son olarak da parçalanmış kayayı öteler (Özer, 2001). Şekil 1.'de patlatma olayının aşamaları şematik olarak verilmiştir.



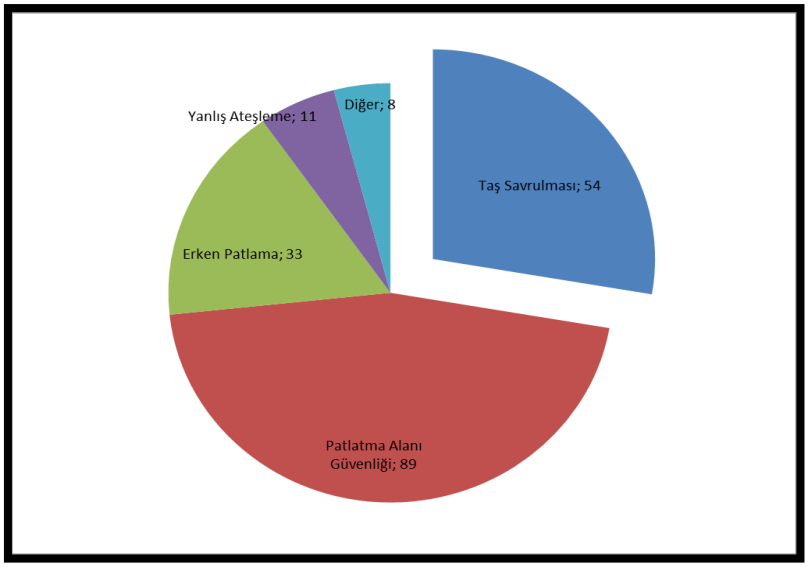
Şekil 1. Kırılma Mekanizması Aşamaları (Özer, 2001)

3. TAŞ SAVRULMASI

Taş savrulması olayı çok sık yaşanmamasına rağmen özel ilgi isteyen bir olaydır. Patlatma işlemi sırasında patlayıcı madde kaya kütlesi içinde yeterince hapsedilmezse reaksiyon sonucu oluşan yüksek basınçlı gazlar atmosfere erken deşarj olur. Bu yüksek hızlı gaz boşalımının etkisiyle bazı kayaçlar kaya kütlesinden ayrılır ve çok uzak mesafelere savrulabilir. Savrulan taş parçaları insan yaralanmalarına ve yapılarda ciddi hasarlara neden olabilir (Hüdaverdi ve Kuzu, 2005). Şekil 2.'de oransal olarak gösterildiği gibi 1978 – 2001 yılları arasında Amerika'da açık ocak kömür işletmelerinde meydana gelen 195 iş kazasının 54'ünde (%27,69) taş savrulmasından kaynaklı kazalar olduğu tespit edilmiştir. Meydana gelen diğer kazaların 89'u (%45,64) patlatma alanındaki güvenlikten, 33'ü (%16,92) erken patlama ve 11'i (%5,64) ise yanlış ateşlemeden kaynaklanmaktadır (Kecojevic ve Radomsky, 2005). Verakis H. (2011) çalışmasında Amerika'da meydana gelen 2006 yılından 2010 yılının ortalarına kadar olan 47 maden kazası incelemiş. Bu kazalardan 18 tanesini taş savrulmasından kaynaklı olduğunu belirtmiştir. Bu kazalardan yaralanmalı iş kazası sayısı 15, ölümle sonuçlanan kaza sayı 1, hem ölen hem de yaralı çalışanların olduğu kaza sayısı 1'dir. Sadece bir maden kazasında yaralanan ve ya ölen olmamıştır.

Bajpayee T.S. ve arkadaşlarının (2004) açık ocak madenciliğinde patlatmadan kaynaklı kazalarda taş savrulması ve patlatma alanı güvenliğinin etkisini araştırmıştır. Çalışmalarında özellikle patlatmadan sorumlu kişilerin açık ocak madeninde patlatma alanı güvenliğinin olmaması ve taş savrulmasından kaynaklanacak yaralanmaları azaltmak için alınacak önlemler ve bunu meydana getiren faktörler konusunda yararlı bilgiler sunmuştur. Çalışma sonucunda

ölümcül kazaların sayısının azaltılması ile düşük risk ve kaza maliyetleri açısından önemli kazançlar elde edilebileceğinden bahsedilmektedir.



Şekil 2. 1978-2001 Yılları arasında ABD'de meydana gelen patlatma kaynaklı maden kazaları istatistiği (Verakis, 2011)

Aynı çalışmada verilen 1990 yılında Walker County, Alabama'da bir kömür madeninde meydana gelen bir kazada taş savrulmasından dolayı ölümcül bir kaza meydana gelmiştir. Açık ocak işletmeciliği yapılan madende çapı 22,9 cm, boyu 12,2 m, delikler arası mesafe 3 m olan 6 sırada 54 delik açılmıştır. Her bir deliğe yaklaşık 392 kg patlayıcı madde yerleştirilmiştir. Ocak alanı boşaltılarak ateşleme yapılmıştır. Patlatma esnasında taş savrulması yaklaşık 275 m olarak tasarlanmıştır. Ama taş savrulmasından kaynaklı ölümcül kaza meydana gelmiştir. Bazı büyük kayaların kaza alanına yakın yerlere savrulduğu fark edilmiştir. Bu kaza, patlatma tasarımının, yüksek şev denetiminin, patlatma alanı sınırlarının belirlenmesinin ve patlatma alanı güvenliğinin önemini vurgulamıştır. Ancak bizim ülkemizde iş kazaları istatistikleri incelendiğinde böyle veriler ne yazık ki bulunmamakta ve sadece sektör bazlı kaza verileri bulunmaktadır.

Ayrıca Verakis'in (2011) yaptığı çalışmada, büyük maddi hasar meydana getiren patlatmadan kaynaklı taş savrulmasına ait iki örnek Şekil 3.'de verilmiştir.

Şekil 3. Taş savrulmasından kaynaklı zararlara örnekler (Verakis, 2011)

Erkoç'a (2013) ait bir çalışmada Mardin ili Ceylanpınar İlçesinde gerçekleştirilen ana sulama kanalı inşasında yüksek enerji hatlarına taş savrulmaması ve 15 m yakında bulunan çelik pilon direklere sarsıntı ile hasar verilmemesi için sakınmalı patlatma yapılmıştır. Uygulanan patlatma planlamasında delik çapı, delik boyu, sıkılama boyu, delikler arası mesafe, delik başına düşen patlayıcı miktarı ile delik adedi belirlenmiş. Söz konusu uygulamada hem video kamera kaydı ile hem de göz ile yapılan gözlemle uygulamanın başarılı olduğu görülmüştür.

Patlatma işlemi sırasında erken deşarjın sebebi patlayıcı maddenin kaya kütlesi içinde yeterince hapsedilememesidir. Böylece patlayıcı maddenin reaksiyonu sonucu oluşan yüksek basınçlı gazlar atmosfere erken deşarj olur. Bu gazların erken deşarjını önlemek için patlatma parametreleri (delik çapı, boyu, sıkılama boyu, malzeme türü, patlayıcı madde miktarı, ateşleme vs) ve patlatma alanı genel jeolojisi dikkate alınarak patlatma paterni oluşturulur. Ancak hazırlanan bu paterne yeryüzünün vereceği tepki tam olarak bilinemediği için bu yüksek hızlı gaz boşalımının etkisiyle bazı kayaçlar kaya kütlesinden ayrılarak çok uzak mesafelere savrulabilir. Savrulan parçanın hızı sıfırdan başlar, en yüksek değere ulaşır ve giderek sönümlenir. Patlatma sırasında taş savrulması mesafesinin tahmini için literatürde çeşitli ampirik modeller mevcuttur (Hüdaverdi ve Kuzu, 2005). Burada SVEDEFO (İsveç Detonik Araştırma Kurumu) tarafından geliştirilen (1) ve (2) numaralı eşitlikler verilmiştir. Eşitlik (1)'de patlatma sonucu oluşan parçanın maksimum fırlama uzaklığı, eşitlik (2)'de ise patlatma nedeniyle fırlayan parçanın çapı verilmiştir (Arıoğlu ve Yılmaz, 2001).

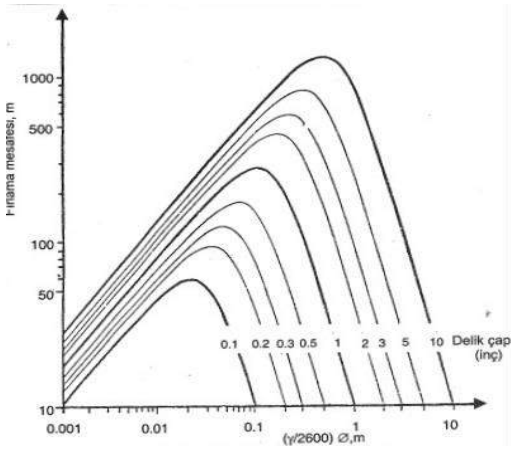
$$L_{mak} = 260\ d^{0.666} \quad (1)$$

$$\varphi = 0.1\ d^{0.666} \quad (2)$$

L_{mak} : Maksimum fırlama uzaklığı, m
d : Delik çapı, inç
φ : Patlatma nedeniyle fırlayan parçanın çapı, m

Örnek bir patlatma tasarımı ele alındığında 89 mm ($3^{1/2}$ inç)'lik delik çapı için patlatma kaynaklı fırlayan taş parçalarının boyutları 19 mm (0,019 m), maksimum taş savrulma mesafesi ise 51,82 m olarak hesaplanacaktır.

Lundborg'un (1973) önerdiği bu ampirik bağıntıların taş savrulma uzaklığı – delik çapı – blok çapı arasındaki değişimler (Arıoğlu ve Yılmaz, 2001) Şekil 4.'de görülmektedir. Bir başka deyişle madencilik çalışmalarında delik çaplarının 75 ile 250 mm arasında değiştiği göz önüne alınırsa maksimum kaya fırlama mesafesinin 500-1000 m arasında olacağı görülmektedir (Hüdaverdi ve Kuzu, 2005).



Şekil 4. Maksimum fırlama uzaklığı-delik çapı-blok çapı arasındaki ilişkiler. γ:kayacın yoğunluğu (kg/m^3) (Arıoğlu ve Yılmaz, 2011)

Taş savrulması kazalarının nedenleri jeoloji ve uygunsuz patlatma tasarımından kaynaklanan ve uygulamada meydana gelebilecek sapmalar olarak sıralanabilir.

3.1. Jeolojik Şartlar

Patlayıcı malzeme ve sıkılama malzemelerinin yerleştirildiği deliğin önündeki zonda ya da kayacın parçalanmaya karşı direncinin azaldığı her yerde patlatma sonucu oluşan yüksek basınçlı gaz çıkış noktası bulduğu her yerden kaçabilir. Bu nedenle patlatma yapılan alanda genel jeoloji bilgisine sahip olunsa da yeryüzünün patlatma sonucunda nasıl tepki vereceği muammadır. Patlatma sırasında kaya parçaları yüksek hızda fırlayabilir ve geniş alanda savrulabilir. Bunu etkileyen en önemli jeolojik faktörler çatlaklar, gevşek malzeme yapısı, kil tabakaları vs olarak karşımıza çıkmaktadır.

3.2. Patlatma Tasarım Hataları

Taş savrulması olayında patlatma tasarımında yapılan hatalar da büyük rol oynamaktadır. Hedeflenen kaya kütlesini en iyi şartlarda kırabilmek için patlatma paternleri hazırlanır. Bu paternler hazırlanırken delik çapı, delik boyu, delik eğimi, ürün tane boyu, yük mesafesi, delikler arası mesafe, kullanılan patlayıcı madde, ateşleme sistemi, istenilen miktar ve kayaç özellikleri büyük önem taşımaktadır. Örneğin eğimli delik kullanımı geri çatlaklar, taş savrulması ve titreşim gibi olumsuzları azaltmanın yanında patlatma verimini de büyük ölçüde etkiler. Kayaç özellikleri göz önüne alındığında çok sağlam kayaçlarda daha dik delikler daha olumlu sonuçlar verebilir. Ayrıca taş savrulmasında bir başka unsurda sıkılama boyu ve sıkılama malzemesinin cinsidir. Patlatma deliği içerisindeki patlayıcıya bir kapak ve tıkaç görevi yapan sıkılama malzemesinin varlığı ile patlayıcının ateşleme anına kadar ve ateşleme anında mümkün olduğunca muhafaza edilmesi sağlanarak patlatma düzeninden en yüksek düzeyde verim alınabilir (Özözen ve Ünver, 1998). Sıkılama yüksekliği iyi belirlenmezse, hava şoku, kaya fırlaması ve gaz kaçağı meydana gelebilir. Sıkılama yüksekliğinin kısa olması gazların kaçmasına, kaya fırlamasına ve hava şokuna neden olarak patlatma veriminin düşmesine yol açar. Sıkılama yüksekliğinin çok fazla olması ise kolon şarjı üzerindeki kayacın zayıf parçalanmasına neden olur. Bir başka deyişle sıkılama; enerjinin havaya kaçmasını önleyerek onu kayaya yöneltir ve iyi parçalanma, iyi yığın şekli ve gevşekliğine olumlu katkıda bulunur (Dağçimen,A., 2006). Dolaylı olarak da taş savrulmasını en aza indirerek çevresel zararların önüne geçilebilir.

Bir sıkılama malzemesinin sahip olması gerekli olan özellikleri; (i) yükleme açısından kolay ve emniyetli olmalı, kolaylıkla sıkıştırılabilmeli, deliğin her kesitini doldurmalı ve her hangi bir hata durumunda kolaylıkla geri çıkarılabilmelidir, (ii) patlayıcı üzerinde olumsuz bir etki yaratmamalı, yerleştirilirken ateşleme kablolarına zarar vermemeli ve patlayıcı ateşlenirken kıvılcım oluşumuna neden olmamalıdır (Özözen ve Ünver, 1998).

4. SONUÇLAR

Taş savrulmasını tam olarak önlemek mümkün olmayabilir. Ama gerekli kontrol ve önlemler alındığında bu olaydan kaynaklanacak çevresel ve iş güvenliği sorunları en aza indirilebilecektir. Bu konuyla ilgili sonuçlardan ilki mühendislik açısından incelemedir. Her patlatma olayı kendine özgü olduğundan, patlatma tasarımının parametreleri olan delik boyu, delik çapı, patlayıcı madde türü ve miktarı, sıkılama malzemesi cinsi ve miktarı gibi unsurların patlatma yapılacak alanın jeolojik şartlarına göre hesaplanması ve tasarımdan sapmadan uygulamaya geçirilmesidir. Buna ek olarak oluşabilecek her türlü hata kayıt altına alınarak yetkili kişilere iletilmelidir. Bu hataların raporlanması hem patlatma yapanlara bir istatistik sağlayacaktır hem de bu konu ile ilgili bilimsel çalışmalarda bir referans oluşturacaktır. Bu konuya yeterli önem verildiğinde patlatma stratejileri geliştirilecektir.

Dikkate alınması gereken bir diğer konu ise patlatmalardan kaynaklı çevreye verilen maddi hasarlar ile yaralanma veya ölümle sonuçlanabilecek iş kazalarıdır. Bu tür kazalar mühendislik hesaplamaları ile önlemeye çalışmalıdır. Tüm sahada çalışanlar, araç, ekipman vb patlatma esnasında güvenli mesafede olmalıdırlar.

Bunlara ilaveten sahada çalışan ekibin, patlatma ve iş güvenliği ile ilgili eğitimleri düzenli bir şekilde alması ve kendini geliştirmesi için yetkili kişiler ile çalışması sağlamalıdır. Ekipte bulunan herkes çalışma alanındaki sorumluluklarını iyi bilmeli, çalışma alanında karşılaşılabilecek her hangi bir sorunda nasıl hareket edecekleri konusunda eğitimleri aldırılarak kaza anı stratejileri olmalıdır.

Diğer taraftan bu olayın daha iyi anlaşılması için deliklerin ateşleme şekillerinden zeminin su ile olan davranışına hatta sıkılama malzemesi ile olan davranışların ayrı ayrı incelenmesi, kamera sistemi konularak olayın izlenmesi gibi çalışmalar, patlatma kaynaklı taş savrulması hakkında incelenmesi ile ilgili yeni gelişmelere yol açabilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi tarafından (BAPB Proje 2014/49: Patlatma Çalışmalarına Bağlı Çevresel Gürültü ve Titreşim Seviyesinin Ölçüm ve Değerlendirilmesi) desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Arıoğlu, E., Yılmaz, A.O., 2001, Pratik Madencilik Problemleri, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, s. 246-247.

Bajpayee, T.S., Rehak, T.R., Mowrey, GL., Ingram, D.K., 2004, Blasting Injuries In Surface Mining With Emphasis On Flyrock And Blast Area Security, Journal of Safety Research 35, s. 47 – 57, USA.

Dağçimen, A., 2006, Patlatma Tasarımı İçin Geliştirilen Bir Bilgisayar Programı, Yüksek Lisans Tezi, s. 59, Adana.

Erkoç, Ö. Y., 2013, Delme Patlatma Sempozyumu, Taş Savrulması ve Yer Sarsıntısını Değerlendirerek Gerçekleştirilen Bir Sakınmalı Patlatma Uygulaması, s. 52-55, Eskişehir.

Hüdaverdi, T., Kuzu, C., 2005, Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Madencilik Faaliyetlerinde Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkilerin Ölçülmesi ve Analizi, s. 135-140, Ankara.

Kecojevic, V., Radomsky, M., 2005, Safety Science 43, Flyrock Phenomena and Area Security in Blasting-Related Accident, s. 739-750, USA

Özer, Ü., 2001, Patlatma Kinematiğinin Araştırılması ve Patlatma Simülasyonu, Doktora Tezi, s. 91-92, Adana.

Özözen, A. A., Ünver, B., 1998, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Madencilik Dergisi, Cilt 37, No 1, Plastik Sulu Sıkılama Kartuşlarının (PSSK) Patlatma Verimi ve Parça Boyut Dağılımına Etkisi, s. 5-16, Ankara

Verakis, H., 2011, Explosives Engineering, Vol 28, No 4, Flyrock: A Continuning Blast Safety Threat, s. 32-37, U.S.A.

Piroteknik Kaya Kırıcı Kartuşların Kullanım Alanları ve İlgili Kaya Biriminde Maksimum Parçacık Hızı Tahmini

The Usage Areas of the Pyrotechnic Rock Breaker Cartridges and the Peak Particle Velocity Estimation in the Related Rock Formation

E. Özsarıkamış
Egenitro Patlayıcı Madde İnşaat Madencilik Turz. Gıda Nakliye San. ve Tic. Ltd. Şti. - İZMİR

ÖZET Şehirleşmenin hızla ve artarak devam ettiği günümüzde, birçok projede, çeşitli yapıların inşası için planlanan kazı kotlarına erişmek adına kazı işleri yapılmaktadır. Kazı işleri esnasında mukavemeti yüksek kaya birimlerine denk gelindiğinde veya bu birimlerle karşılaşılacağı öngörüldüğünde, delme ve patlatmanın kazı programına dahil edilmemesi düşünülemez.

Konvansiyonel patlatmanın çevresel faktörler açısından civar yapılara etkilerinin yüksek olacağının öngörüldüğü alanlarda, alternatif bir kaya kırma sistemi olarak, ardında düşük değerlerde zararlı enerji (titreşim, hava şoku, toz vb.) bırakan piroteknik kaya kırıcı kartuşların kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Piroteknik kaya kırıcı kartuşlar ile yapılan çalışmalarda parçacık hızı değerlerinin, uluslararası olarak kabul görmüş çeşitli normlarda "frekansa bağlı olarak değişen parçacık hızı sınır değerlerinin" oldukça altında olduğu gözlemlenmiştir.

Bu bildirinin amacı İstanbul ili, Sarıyer İlçesi, Garipçe Mevkiinde yapımı devam eden "3.Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu" projesinde, piroteknik kaya kırıcı kartuşların kullanımı ile birlikte çevresel etkileri değerlendirmek ve ilgili formasyona ait maksimum parçacık hızını tespit etmektir.

ABSTRACT Nowadays when the urbanization continues rapidly and increasingly, in the many projects of all sides, excavation works are done in order to reach excavation altitudes which are planned for the various constructions. When the rock formations having high endurance are come up to during the excavation works or it is predicted to be come up to during the excavation, drill and blasting is a must in the excavation plan.

In the areas where it is predicted that the effects of the conventional blasting are to be high to the near constructions in the terms of the environmental factors, the pyrotechnic rock breaker cartridges which form destructive energy at the low values (such as vibration, air blast, dust etc.) become gradually widespread as an alternative rock breaker system.

In the works which is done with the pyrotechnic rock breaker cartridges, the particle velocity values were observed to be quite under the "particle velocity limit values altering based on the frequency" in the various norms which is internationally accepted.

The aim of this presentation is to assess the environmental effects with the usage of pyrotechnic rock breaker cartridges and to determine the peak particle velocity belonging to the related rock formation in the project of "3rd Bosphorus Bridge and Northern Marmara Motorway" whose construction continues in the area of Garipçe, Sarıyer, Istanbul.

1 GİRİŞ

1.1 Proje Tanıtımı

Gelişen toplumların ihtiyaçlarını karşılamak adına yapılan büyük inşaat işlerinde, bununla birlikte maden kaynaklarının çıkarılması ve insanlığın hizmetine sunulması açısından günümüzde olduğu gibi gelecekte de patlatmalı kazı çalışmalarının yapılması kaçınılmazdır. Bu çalışmaların çevresel etkilerinin araştırılması da büyük önem taşımaktadır.

Gelişmiş ülkelere bakıldığında bu tür çevresel problemlere yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiş, belli başlı standartlar getirilmiş ve uygulanmaktadır. Ülkemizde ise bu ve bunun gibi belli başlı standartlar oluşmakta ve kullanılmaya devam edilmektedir. Bu şekildeki çalışmaları yaygınlaştırarak, ülkemiz şartlarına uygun standart ve kriterleri belirleyebilmek için üniversiteler ile patlatmalı kazı faaliyetlerinde bulunan devlet kuruluşları ve özel kuruluşlar arasında ilişkiler ilerletilmelidir.

İstanbul ili, Sarıyer İlçesi, Garipçe Mevkiinde yapımı devam eden "3.Boğaz Köprüsü ve Kuzey Marmara Otoyolu" projesinin Avrupa yakası ayağında, köprünün ana halatlarının zeminle bağlantısının yapılacağı "anchor" tabir edilen ankraj bloğu yapısının yakınındaki kaya kazı işleri, çeşitli sebeplerden dolayı konvansiyonel patlatma yöntemiyle yapılamamıştır. Bu sebeplerden en önemlisi patlatmalı kazı esnasında oluşan titreşimlerin yapıya zarar verebilme olasılığıdır. Hidrolik kırıcılar ile yapılacak kazının ise formasyonun mekanik özellikleri gereği yüksek maliyet ve zaman kaybına neden olacağı hesaplanmıştır. Bu etkenler göz önüne alındığında, kazı için "Piroteknik Kaya Kırıcı Kartuşlar" uygun görülmüş ve çalışmaya dahil edilmiştir.

Bu çerçevede yapılan çalışmada titreşim ölçer cihazlar ile titreşim kontrolü ve kaydı yapılmış ve çalışmanın yapıldığı sahadaki kaya birimi için çeşitli bağıntılar ve katsayılar elde edilmiştir.

1.2 Boğaz Köprüsü Projesi

Kuzey Marmara Otoyolu Projesi kapsamında yer alan İstanbul Boğazı üzerinde yapılacak 3. köprünün inşaatı, taşımacılığın ve ticaretin geleceği olarak görülmektedir.

Çoğunluğu Türk mühendislerden oluşan bir ekip tarafından inşa edilecek, yüksek mühendislik ve teknoloji ürünü olacak 3. Boğaz Köprüsü üzerinden 8 şeritli karayolu ve 2 şeritli tren yolu aynı seviyede geçecektir. Boğaz Köprüsü gerek estetik gerekse teknik özellikleriyle dünyanın sayılı köprüleri arasında yer alacaktır.

2013 yılında yapımına başlanan ve 2015 yılında tamamlanması hedeflenen 3. Boğaz Köprüsü, Kuzey Marmara Otoyolu Projesi'nin Odayeri – Paşaköy kesiminde yer alacaktır. Köprü üzerindeki raylı sistem, Edirne'den İzmit'e kadar yolcu taşımacılığı yapılacaktır. Marmaray ve İstanbul Metrosu ile entegre edilecek raylı sistemle Atatürk Havalimanı, Sabiha Gökçen Havalimanı ve yeni yapılacak 3. Havalimanı da birbirine bağlanacaktır.

Kuzey Marmara Otoyolu ve 3. Boğaz Köprüsü, "Yap, işlet, devret' modeliyle gerçekleştirilecektir. 4.5 milyar TL yatırım bedeline sahip projenin yapım dahil işletmesi, 10 yıl 2 ay 20 günlük süre ile özel bir firma tarafından yapılacak ve bu süre sonunda Ulaştırma Bakanlığı'na devir edilecektir (Web-1).

1.3 Delme ve Patlatma

Patlatma mühendisliğinin temel amaçlarından biri, konforlu bir yaşam için gerekli alt yapı kazılarıyla birlikte; insanoğlunun gereksinim duyduğu endüstri hammaddesini, içinde bulunduğu ana kütleden faydalanılabilir bir büyüklükte, ekonomik olarak, minimum bir zaman diliminde ve emniyetli bir biçimde ayırmaktır (Kahriman, 2011).

Bu amaca ulaşmak için tarih boyunca çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Teknoloji ve bilimin gelişmesiyle birlikte yüksek maliyetli ve zahmetli klasik yöntemler yerini hızla delme ve patlatma yöntemine bırakmıştır. Aynı hızda gelişen mekanik ve hidrolik sistemler, makinelerin de gelişerek kazı işlerinde yoğun kullanımının imkânını sağlamıştır. Fakat araştırmalar ve çalışmalar göstermektedir ki makineler ile yapılan kazı ve madencilik işlerinde, delme ve patlatma teknolojisinin de kullanılması üretim maliyetlerini ve sürelerini oldukça düşürmüştür. Hatta ve hatta bazı çalışma sahalarında kayaç yapısı sadece makineli kazı ile ilerlenmesine olanak vermemekle beraber, delme ve patlatmayı olmazsa olmaz kılmaktadır.

1.3.1 Konvansiyonel Patlatma Yöntemi

19. Yüzyılın sonlarına doğru Alfred Nobel'in Nitrogliserin'i geliştirerek, Dünya'ca kabul edilmiş olan "Dinamit" isimli patlayıcıyı bulması endüstriyel patlayıcıların gelişmesinin önünü açmıştır.

Endüstriyel patlayıcılar, kullanımı kolay, güvenilir ve ekonomik olmasıyla birçok alanda tercih sebebi olmuştur.

Konvansiyonel patlatma, şehirden uzak yer üstü ve yer altı maden sahalarında, yol yapımı işlerinde ve Patlatma Mühendisliği'nin de gelişmesiyle şehirleşmenin olduğu yerlerde metro kazılarında, yapı temel kazılarında ve son yıllarda ülkemizde de uygulanmış olan yapı yıkımlarında kullanılmaktadır.

1.3.2 Alternatif Kaya Kırım Sistemi (Kaya Kırıcı Kartuşlar)

Şehirleşmenin yoğun olduğu yerlerde, çevresel koşulların ve saha koşullarının makineli kazı veya konvansiyonel patlatmaya imkân vermediği durumlarda, projelerin sekteye uğramaması, ayrıca zaman ve maliyetlerden kayıpla şirket ve ülke ekonomisine zarar gelmemesi adına çeşitli çözümler üretilmek için çalışmalar yapılmış ve yöntemler geliştirilmiştir.

Makine ataşmanlarının modifikasyonu, genleştirici kimyasal karışımlar, farklı bileşenlere sahip patlayıcılar gibi örnekler bu çözüm arayışlarından bir kaçı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Piroteknik kimyasal bileşen esaslı düşük detonasyonlu kaya kırıcı kartuşlar çözüm arayışları içerisinde, uygulaması pratik, ekonomik ve çevre dostu olarak, alternatif bir kaya kırım sistemi olarak yer almaktadır.

2 PİROTEKNİK KAYA KIRICI KARTUŞLAR

2.1 Piroteknik Kaya Kırıcı Kartuşlar

2.1.1 Piroteknik

Kimyasal bir reaksiyona girdiğinde ısı, ışık, gaz, sis veya ses verme özelliği olan maddeleri ifade etmektedir. Piroteknikler, havai fişek üretiminin yanında kibrit, oksijen kandili, patlayıcı sürgü ve bağları ve otomobil hava yastıklarının üretimlerini de kapsamaktadır.

Piroteknik maddelerin kökeni tam olarak bilinmese de birçok kaynakta ilk olarak Çin'de ortaya çıktığı söylenmektedir.

Piroteknikler insanoğlunun bildiği en eski patlayıcı maddeler arasında yer almaktadır ve önemli günlerde kutlamalar için havai fişek olarak çok erken çağlardan beri kullanılmaktadır (Web-2).

2.1.2 Piroteknik Kaya Kırıcılar

Kaya kırıcı kartuşlar kimyasal bir karışımı içinde bulunduran infilaksız bir kartuştur. Kartuşun içinde bulunan bu madde ateşlendiğinde ani reaksiyona girerek nitrojen, karbondioksit ve buhar

içeren yüksek hacimli bir gaz açığa çıkartır. Yüksek hacimli gaz, kaya kütlesi içindeki mikro gözeneklere, (doğal yollarla oluşmuş ya da delik delme esnasında oluşmuş), çatlaklara girer. Bu çatlaklar ve gözenekler içinde bir genişletme uygulayarak kaya kütlesindeki çatlakları serbest aynaya doğru arttırır. Yayılan çatlakların sayısı delik içindeki genleşmeye bağlı olarak maksimum basınç derecesine göre değişkenlik gösterir. Oluşan çatlaklar kaya kütlesini ayırmayı yani "kırmayı" sağlar.

Kartuşlar Birleşmiş Milletler kriterlerine göre 1.4.S. patlayıcı madde sınıfında bulunmaktadır. Bu sınıfa düşük kalibredeki mühimmatlar, havai fişek ve eğlence sektöründe kullanılan patlayıcılar da girmektedir. Bu sınıflandırma, kartuşların nakliye ve depolanmasında kolaylık sağlamaktadır. Kartuşların nakliyesinde karayolu, demiryolu, denizyolunun yanı sıra havayolu da kullanılabilmektedir.

2.1.3 Piroteknik kaya kırıcı kartuşları klasik patlayıcılardan ayıran özellikler

- Patlayıcılar paketleri içinde patlayabilir durumdayken, kaya kırıcı kartuşlar paketleri içinde patlamazlar.
- Patlayıcılar infilak için tasarlanmışken, kaya kırıcı kartuşlar infilak etmezler.
- Patlayıcılar yüksek sarsıntı seviyeleri ve yan kayaçlara hasar veren yüksek şok dalgası oluştururken, kaya kırıcı kartuşları kontrol edilebilir düşük sarsıntı seviyelerinde basınç dalgası oluşturur.
- Patlayıcılar ile yapılan kaya kırma aktivitelerinde kontrol oldukça zordur, yüksek miktarlarda taş fırlaması görülebilirken, zehirli gazlar ve duman oluştururlar. Ancak kaya kırıcı kartuşlar ile yapılan kırma aktiviteleri, düşük taş fırlaması ile göz ardı edilebilir tozlanma ve zararlı gaz salınımı oluşturur.
- Kaya kırıcı kartuşları ile yapılan kaya kırmalarda araziye tekrar dönüş süresi dakikalar ile tanımlanabilir. Ancak konvansiyonel patlatmalarda arazi tahliyesinden sonraki dönüş süresi şantiyelere göre bir kaç saate kadar çıkabilir.
- Kaya kırıcı kartuş, 50 metrelik çap içinde maksimum 80 ile 85 desibel arasında ses çıkartır.
- Patlayıcı maddeler taşıma ve kullanma ruhsatı gerektirir. Kaya kırıcı kartuşlar için ruhsat gerekmemektedir.

2.2 Piroteknik Kaya Kırıcı Kartuşların Kullanım Alanları

2.2.1 Yapı Temeli Kazıları

Hali hazırda kentsel dönüşümle birlikte hızla devam eden yapılaşma-yeniden yapılaşma projelerinde en büyük sorun olarak karşımıza temel kazıları çıkmaktadır. Çünkü iç içe olan yapıların arasında, kazı işlemleri sırasında karşılaşılan sağlam kaya zeminleri konvansiyonel patlatma yöntemiyle, profesyonel bir çalışma yapılmadığı takdirde, aşılması güçtür. Buna alternatif olarak kaya kırıcı kartuşlar kullanılabilmektedir.

Kırımının yapılması istenen kayaca, kullanılacak kartuş çapına uygun, en fazla 3 metre boyunda ve nizamı delik düzeninde delikler delinir. Delinen deliklerin tabanına inecek şekilde kartuşlar yerleştirilir ve sıkılama işlemi yapılır. Sıkılama işlemi yapılırken kartuşun ateşleme kablosuna zarar vermemeye özen göstermek gerekir. Tüm deliklerin dolumu bittikten sonra klasik ateşleme manyetosuyla uygun mesafeden ateşleme yapılır. Ateşlemenin ardından kayaç yerinde kırılacak ve ana kütleden ayrılacaktır.

Eğer kırılmanın verimli olması isteniyorsa deliklerin delindiği kayacın serbest yüzeyinin bulunmasına, kayaç üzerindeki çatlak mekanizmasına, tabakalanma yönüne azami dikkat edilerek, kırmayı sağlayacak olan gazın kaçışına engel olunmalıdır.

Bu işlemler yapılırken sahadaki rutin çalışmaların tamamının durdurulması gerekmediğinden, sahada iş gücü kaybı yaratmayarak ikinci bir avantaj sağlamaktadır.

2.2.2 Sekonder Kırma İşlemleri-Blok Kırma

Çeşitli maden sahalarında gerek kayaç yapısı dolayısıyla gerekse hatalı üretim modelleri sonrası patar diye tabir edilen iri bloklar oluşmaktadır. Bu blokların uygun boyutlara getirmesi gerek duyulduğunda ilk başvurulan yöntem hidrolik kırıcılar olmaktadır. Hidrolik kırıcılar ile yapılan çalışmada makine parçaların sarfı maksimum boyutlara ulaşabilmektedir. Ayrıca yine aynı makinelerin doğal üretim programlarında görevleri olduğundan ekstra iş kaybına yol açmaktadır.

İkinci olarak ise klasik patlayıcılar ile ufaltma işlemi tercih edilir. Bu yöntemde ise taş fırlamasının kontrolü neredeyse imkansız olup çeşitli zararlara sebep olabilir. Bu noktada kaya kırıcı kartuşlar ile blok kırımı cezbedici olmaktadır.

Bloklar üzerine kullanılacak kartuş çapına göre uygun adette delik delinmesi ve kartuşlar ile dolumu yapılarak ateşlenmesi uygun parça boyutunda bloğun, taş fırlaması olmadan parçalanmasını sağlayacaktır.

2.2.3 Basamaklarda Üretim Şekli Olarak Kullanımı

Değişik sebeplerden ötürü klasik patlayıcılar ile üretimin yapılamadığı maden sahalarında üretimin durmaması adına kaya kırıcı kartuşlar tercih edilebilir.

Delik düzenini kaya kırıcı kartuşların sağlıklı çalışabileceği düzene revize ederek üretimin durmaması, işçi ve makine iş gücü kaybının yaşanmaması sağlanabilir.

2.2.4 Kullanım Alanları

- Yerüstü maden ve taş ocaklarında oluşan blokların kırımında,
- Galeri ve tünel projeleri
- Şehir içlerinde her türlü inşaat temel kazısı işlerinde,
- Her türlü kanal kazısı işleri
- Heyelanlı bölgelerde iri kaya kütlelerinin yerinde kırımında,
- Konkasör ve kırıcılarda sıkışan iri blokların makinelere zarar vermeden kırımında,
- Köprü inşaatlarında deprem takozlarının, kazıklı beton işlerinde yüzeyde kalan kısımların demirden ayırılmasında,
- Enkaz kaldırma çalışmalarında beton vb. kırımında,
- Su altındaki blokların kırımında,
- Klasik patlayıcının kullanımın müsaade edilmeyen tüm çalışmalarda,

Kaya kırıcı kartuşlar ile uygulama yapılabilmektedir (Duran ve diğ., 2013).

3 İNCELEME ALANI JEOLOJİSİ

3.1 Sarıyer Grubu (Ks)

İstanbul'un her iki yakasında, Karadeniz kıyı bölgesi ve yakın dolayında yüzeylenen Üst Kretase yaşlı kırıntılı ve volkanik kayaç topluluğu önceki araştırmalarda Sarıyer Formasyonu (Pehlivan, 1990), Kilyos Volkanitli Flişleri, Sarıyer Gurubu (Yurtsever, 1996, Özgül ve diğ., 2007), Yemişliçay Gurubu (Gedik ve diğ., 2005), Kavaklar Gurubu (Keskin ve diğ., 2003) gibi değişik adlar altında incelenmiştir. Söz konusu kırıntılı ve volkanitlerden oluşan alan üzerinde kurulu bulunan Sarıyer ilçesi adının, grup adı olarak korunması, bu incelemede de benimsenmiştir. Sarıyer Grubu, kırıntılıların egemen olduğu alt düzeyi Bozhane Formasyonu, volkanitlerin egemen olduğu üst düzeyi ise Garipçe Formasyonu olmak üzere iki formasyondan oluşur.

3.1.1 Bozhane formasyonu (Ksb)

Sarıyer Grubu'nun başlıca kum, mil, kil boyu kırıntılı kayaların değişen oranda ardalanmasından oluşan alt düzeyi (Keskin ve diğ. 2003) tarafından "Bozhane Formasyonu" adıyla incelenmiştir. Formasyon adını, yüzeylemelerinin yaygın olduğu Bozhane köyünden alır; önceki araştırmalarda "Normal fliş" ve "Kaba fliş" (Baykal, 1943), "İstanbul Volkanitli Filişi" (Pehlivan, 1990), "Kilyos Volkanitli Flişleri" (Yurtsever, 1996), "İshaklı Formasyonu" (Gedik ve diğ., 2005) gibi değişik adlarla incelenen birimlerin bütününü ya da büyük bölümlerini karşılar.

3.1.2 Garipçe formasyonu (Ksg)

Sarıyer Grubu'nun, büyük bölümüyle volkanitlerden oluşan kesimi çeşitli araştırıcılar tarafından "Üst Kretase Püskürmeleri" (Baykal, 1943), "Tüf aglomera, lav" (Akartuna, 1963), "Şile Volkanitleri" (Yurtsever, 1996), "İstanbul Volkaniti" (Pehlivan, 1990), "Riva Formasyonu" (Gedik ve diğ., 2005) vb. gibi, değişik adlar altında incelenmiştir. Boğaz'ın Karadeniz'e çıkış bölgesinin her iki yakasında yaygın olan volkano-sedimanter istifin Sarıyer-Riva bölgesindeki yüzeylemelerini ayrıntılı olarak inceleyen (Keskin ve diğ. (2003) söz konusu volkanitler için, temiz yüzeylemelerini kapsayan Garipçe köyünden esinlenerek "Garipçe Formasyonu" adını kullanmıştır (Özgül, 2011).

4 SARIYER GRUBU GARİPÇE FORMASYONUNA AİT TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİ

4.1 Hasar Değerlendirme Kriterleri

Patlatmalı kazılar sonucu ortaya çıkan çevresel sorunlar çeşitli araştırmacıların ilgisini çekerek patlatma hasar kriterleri geliştirilmesine sebebiyet vermiştir. Geliştirilen bu hasar kriterlerinden biri olan ve yaygın olarak kullanılan Birleşik Devletler Madencilik Bürosu'nun USBM Normu'dur. Barındırdıkları parametreler açısından benzer olan ve ülkemizde de kriter olarak kabul gören Türk Normu son yıllarda yönetmeliklerimizde yer almaktadır.

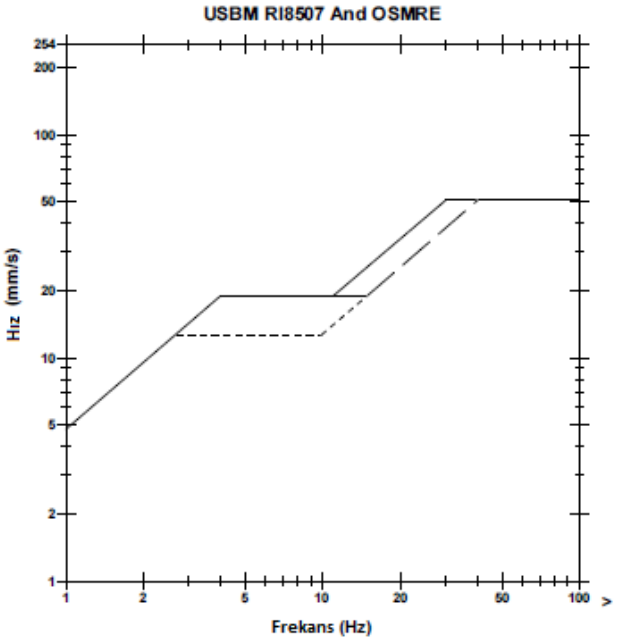
4.1.1 USBM standardı

Birleşik Devletler Madencilik Bürosu, açık ocak patlatmalarından kaynaklanan yer sarsıntısının yapılara olan etkisi ve zararlarıyla ilgili 1980'de Siskind ve arkadaşlarına 219 üretim atımının 79 evdeki etkisini belirlemeye yönelik bir çalışma yaptırarak sonuçlarını yayınlamıştır (USBM RI 8507 Bülteni). Bu çalışmada sadece parçacık hızlarının değil, frekansların da hasar oluşumunda etkili olduğu vurgulanmaktadır. USBM RI 8507 raporunda belirtilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- Parçacık hızı hala en iyi yer titreşimini tanımlama ve kontrol aracıdır.
- Parçacık hızı, titreşime karşı tepki özellikleri iyi tanımlanmış bir yapı grubu için tahribat potansiyelini açıklayabilecek en pratik kontrol aracıdır.
- Patlatmacı bütün atımları titreşim cihazı ile izleme yükümlülüğünü almamak için, muhafazakar bir yaklaşımla, ölçekli uzaklığın kare kökü uygulamasını seçer ($R/\sqrt{W}$). Bu tip ölçekli uzaklıkta titreşim seviyeleri 0.08-0.15 inç/s (2-3.8 mm/sn) civarında olmaktadır.
- Düşük frekanslı (≤40 Hz) patlatmalarda zarar verme potansiyeli yüksek frekanslı (≥40 Hz) patlatmalarda söz konusu olan potansiyelden daha fazladır.
- Bina inşaat tipleri, minimum beklenen zarar seviyesine etki eden bir faktördür. Alçı panellerden oluşan (kuru duvar) iç duvarlar, eski tahta kalas üzeri sıva kaplamalı duvarlara göre titreşim zararına karşı daha dayanıklıdır.

- Pratik olarak düşük frekanslı yer titreşimleri yaratan patlatmalar için emniyet sınırı; modern alçı pano duvarlı evler için 0.75 inç/sn (19 mm/s), tahta kalas üzeri sıva duvarlı evler için 0.50 inç/sn (12.7 mm/s)'dir. 40 Hz üzeri frekanslarda tüm evler için emniyetli parçacık hızı, maksimum 2.0 inç/s (51 mm/s) olarak tavsiye edilir.
- Bütün evlerde; zamanla çeşitli çevresel basınçlardan, havadaki sıcaklık ve nem değişmelerinden, taban yerleşimlerinden doğan oturmalardan, yerdeki nem değişimlerinden, rüzgârdan ve hatta ağaç köklerinin su emmesinden dolayı çatlaklar oluşur. Bunların sonucu olarak çatlak meydana geldiği (herhangi bir nedenden dolayı, örneğin kapıyı hızlı çarpmak) durumlarda; mutlak bir minimum titreşim limit değeri olmayabilir.
- 0.50 inç/sn (12.7 mm/s) altında maksimum parçacık hızı oluşturan patlatmalarda zarar verme şansı; sadece çok az değil (en kötü durumda %5) aynı zamanda titreşim seviyelerinin bütün aralıkları için dikey eksende ortalama tahmin değerlerinden daha hızlı bir şekilde düşer (Siskind ve diğ., 1980).

Ayrıca USBM tarafından hem yapılarda ölçülmüş titreşim katlamalarını, hem de tahribat özelliklerini kullanan, alternatif olarak tavsiye edilen patlatma seviyesi kriterleri geliştirilmiştir. "Alternatif Kriter Analizi" olarak adlandırılan bu metot, daha düzgün bir kriter setidir. Fakat hem hareketi hem de hızı içine alan daha sıkı bir ölçüme ihtiyaç gösterir. Bu sistem; 40 Hz altında en iyi tahribat kriterinin, frekansın bir fonksiyonu olarak maksimum parçacık hızı olduğunu göstermektedir. Instantel Minimate Plus Model titreşim kayıt cihazı çıktısında da bu norm mevcuttur. Cihaz; atım sırasında ölçülen parçacık hızı değerini mukayese için adı geçen norma işlemektedir.



Şekil 1. USBM RI 8507 standardı grafik gösterimi

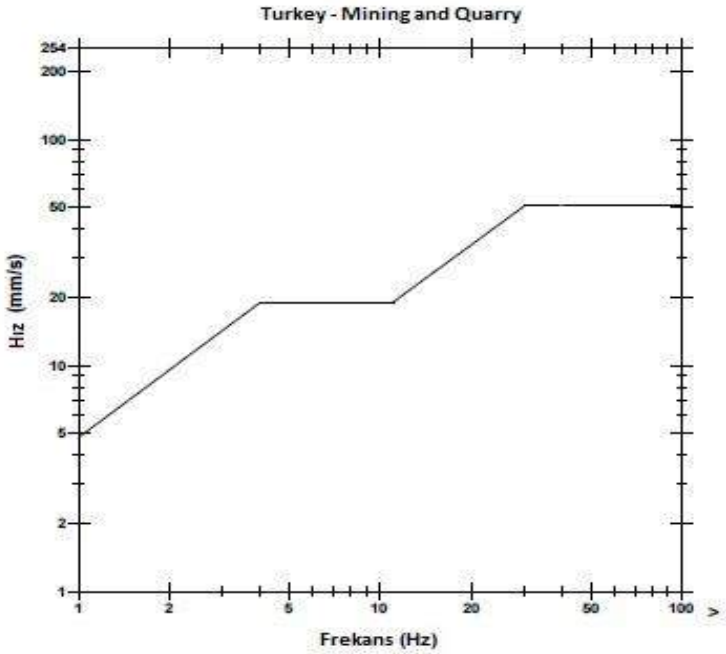
4.1.2 Türk standardı

Çevre ve Şehircilik Bakanlığının "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği" 04/06/2010 tarihli 27601 sayılı Resmi Gazete 'de yayınlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmenliğin beşinci bölümü olan "Çevresel Titreşim Esas ve Kriterleri, Yerleşim Alanlarında Çevresel Kaynaklar İçin Titreşim Kriterleri" başlığı altında 25-a maddesinde, çeşitli titreşim kaynaklarının neden olacağı çevresel titreşimin kontrol altına alınmasına ilişkin esaslar verilmiştir. Bu maddeye göre, Maden ve taş ocakları ile benzeri

faaliyette bulunulan alanlardaki patlamaların çevredeki yapılara zarar vermemesi için, en yakındaki yapının dışında, zeminde ölçülecek titreşim düzeyi Çizelge 1'de verilen değerleri geçemez.

Çizelge 1. İlgili yönetmelikte belirtilen maksimum titreşim sınır değerleri

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



Şekil 2. Türk standardı grafik gösterimi

4.1.3 Ölçekli mesafe kavramı

Öne sürülen çeşitli ampirik ilişkilerden ölçekli mesafe ve parçacık hızını (titreşim) baz alanlara daha çok güvenilmektedir. Ölçek, uzaklığa bağlı olarak kullanılan birimsiz bir faktördür. Ölçekli mesafe, uzaklık ve sismik dalgaların temelini etkileyen veya hava şoklarındaki enerjiyi yaratan patlayıcı madde miktarı kullanılarak ortaya konulmuş bir kavramdır. Patlatma sonucu meydana gelen dalga hareketlerini yaratan toplam enerji bir seferde ateşlenen patlayıcı madde miktarına bağlı olarak değişmektedir.

Parçacık hızını, ölçekli mesafeye bağlı olarak tahmin etmeyi esas alan yaklaşımlar, titreşim ölçüm aletlerinin gelişmesi ve kullanılmaya başlanmasıyla ortaya atılmıştır. Literatürde ölçekli mesafenin belirlenmesinde en sık kullanılan formül aşağıda verilmektedir (Dick ve diğ., 1993).

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

Burada;

SD: Ölçekli mesafe,
R: Patlatma noktasından uzaklık (m)
W: Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg)

4.1.4 Max. parçacık hızı tahmini

Patlatmalar sonucu oluşacak titreşimi önceden tahmin etmek ve çevresel etkilerin önlenmesi adına büyük önem taşımaktadır. Çoğu araştırmaların neticesinde ölçekli mesafeye bağlı parçacık hızı tahmininin en iyisi olduğu anlaşılmıştır. Maksimum parçacık hızı tahminine yönelik geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan ampirik formül aşağıda verilmiştir (Dick ve diğ., 1993).

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

Burada;

PPV: Maksimum Parçacık hızı (mm/sn)
SD: Ölçekli Mesafe
K: Zemin İletim Katsayısı
β: Jeolojik Sabit

Çalışma sahasının sabitleri, ölçülen maksimum parçacık hızı ve ölçekli mesafe değerlerinin (en az 30 nokta yada atımla) ilişkilendirilmesi sonucunda belirlenmektedir. Bulunan bu değerler, kontrollü patlatma uygulamalarında ve titreşim ölçümünün yapılamadığı durumlarda titreşimi kontrol altında tutma adına uygulayıcılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

4.2 Uygulama Yöntemi

"Piroteknik Kaya Kırıcı Kartuş"lar ile yapılan çalışma sahadaki kaya biriminin istenilen kazı kotuna getirilmesi ve köprünün hassas yapılarından uzaklaşılarak konvansiyonel patlatmaya dönülebilecek mesafeye gelinmesini amaçlanmıştır.

Bu mesafe sahadaki mühendislerin hesaplamalarıyla yaklaşık 130 m olarak hesaplanmıştır. Bu mesafe hesabının ardından yaklaşık 20000 m^3'e yakın kazı planı çıkarılmıştır. Çalışma en üst kademeden başlamış ve kademe kotlarının düşürülmesiyle kazının tamamlanması düşünülmüştür.

Delik düzeni olarak,

- 70 mm delik çapı
- 2,5 m delik boyu
- 1,5 m dilim kalınlığı
- 1,5 m delikler arası mesafe belirlemiştir.

Delikler ayna düzlemine yaklaşık 85^0 açı ile tek sıra halinde delinip, aynanın durumuna göre 2 ile 12 delik sayısı arası değişen gruplarla ateşlenmiştir.

Toplamda 3510 adet 500 gram'lık 60 mm çapındaki kaya kırıcı kartuş ile 58 gün içerisinde (makine arızaları, olumsuz hava koşulları dahil) bahsedilen kazı kotu ve mesafelere ulaşılmış, yaklaşık 21710 m^3 kaya kırımı gerçekleşmiştir. Çeşitli sebeplerden dolayı bahsedilen 58 günün 44 günü sahaya inilebilmiştir.

4.2.1 İlgili Formasyonda Alınan Titreşim Ölçümleri

Her bir atımla ilgili şarj parametreleri ve titreşim ölçüm sonuçları titizlikle kaydedilmiştir. Atım noktası ile titreşim ve hava şoku kayıt istasyonu arasındaki mesafe ise GPS kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen veriler, bu amaçla geliştirilen çizelgelere aktarılmıştır.

İnceleme alanı olarak Garipçe Formasyonuna bakıldığında proje kapsamında alınan kayıtlar hasar risk değerlendirmesine tabi tutulmuştur. Garipçe formasyonunda alınan kayıtlar 114 adet olmakla beraber atımlarda kullanılan toplam şarj, gecikme başına toplam şarj miktarları, maksimum parçacık hızı gibi parametreler Çizelge 2'de verilmiştir. Proje boyunca atımlar gerçekleştirilirken kayıtçıların yerleri sabit tutulmuştur.

Çizelge 2. Garipçe formasyonunda alınan kayıtlar

Tarih	Max. Parçacık Hızı (PPV) (mm/s)	Frekans (Hz)	Hava Şoku (Db)	Toplsm Şarj (kg)	Gecikme Başına Top. Şarj (W) (kg)	Mesafe (R) (m)	Ölçekli Mesafe (SD)
24.12.14	0,508	57	114	2,5	2,5	120,74	76,36
25.12.14	0,635	39	102,8	3	3	122,2	70,55
25.12.14	0,508	30	108,4	2,5	2,5	123,02	77,80
25.12.14	0,508	30	109,4	2,5	2,5	125,17	79,16
26.12.14	0,635	43	122	3,5	3,5	124,28	66,43
30.12.14	0,508	43	112,6	2,5	2,5	122,43	77,43
30.12.14	0,508	43	109,5	2,5	2,5	122,43	77,43
30.12.14	1,52	23	100	1,5	1,5	127,89	104,42
30.12.14	1,4	30	101,9	1,5	1,5	127,89	104,42
3.1.15	0,635	39	111,2	3,5	3,5	124,05	66,31
3.1.15	0,635	34	123,4	4,5	4,5	123,44	58,19
3.1.15	0,635	39	117,2	3,5	3,5	126,13	67,42
3.1.15	0,635	34	117,8	1,5	1,5	128,84	105,20
3.1.15	0,762	30	120.1	6,5	6,5	131,58	51,61
3.1.15	0,635	43	118,3	3,5	3,5	125,64	67,16
3.1.15	0,635	39	117,9	5	5	127,23	56,90
3.1.15	0,762	32	125,4	3,5	3,5	128,8	68,85
3.1.15	0,635	47	113,3	3	3	128,02	73,91
3.1.15	0,508	43	117,5	2,5	2,5	128,52	81,28
5.1.15	0,762	37	117,6	3	3	129,01	74,48
5.1.15	1,02	73	120,3	4,5	4,5	125,75	59,28
5.1.15	0,635	39	109,2	3,5	3,5	122,9	65,69
5.1.15	0,635	51	115,4	1,5	1,5	124,79	101,89
5.1.15	1,27	43	126,8	4	4	123,89	61,95
5.1.15	0,508	51	119,6	3,5	3,5	123,47	66,00
5.1.15	0,762	51	115,4	2,5	2,5	123,59	78,17
5.1.15	0,508	47	116,3	2,5	2,5	124,3	78,61
5.1.15	0,889	37	115	3,5	3,5	122,8	65,64
5.1.15	0,889	43	117,4	1,5	1,5	121,73	99,39
5.1.15	0,635	37	125	2	2	121,62	86,00
5.1.15	0,762	>100	119,1	3	3	121,53	70,17
9.1.15	0,635	>100	94	2,5	2,5	120,86	76,44
9.1.15	0,508	34	124,2	3	3	120,3	69,46
9.1.15	1,02	34	112	3,5	3,5	120,45	64,38
9.1.15	1,02	32	119,6	2,5	2,5	120,23	76,04
9.1.15	0,635	34	110,6	2	2	120,35	85,10
9.1.15	1,9	28	110,6	3,5	3,5	121,18	64,77
9.1.15	1,02	32	122,7	2	2	120,8	85,42
9.1.15	1,27	32	114,8	3,5	3,5	120,7	64,52
9.1.15	1,14	39	114,6	4	4	120,59	60,30
10.1.15	1,4	28	114,2	3,5	3,5	120,53	64,43
10.1.15	0,762	39	110,2	2	2	119,33	84,38
10.1.15	0,762	37	120,3	3	3	120,22	69,41
10.1.15	0,762	37	120,6	2,5	2,5	120,17	76,00
10.1.15	1,14	37	112,6	2,5	2,5	118,95	75,23
10.1.15	1,65	28	113,8	2,5	2,5	118,93	75,22
10.1.15	0,889	37	122,1	2,5	2,5	119,81	75,77
10.1.15	1,14	30	111,8	2,5	2,5	118,38	74,87
11.1.15	1,14	32	127,6	4,5	4,5	119,9	56,52
11.1.15	2,29	34	121,7	4,5	4,5	119,4	56,29
11.1.15	0,889	30	118,2	4	4	118,78	59,39
13.1.15	0,762	39	119,8	3	3	122,29	70,60
13.1.15	0,889	51	112	3,5	3,5	121,88	65,15
13.1.15	0,889	28	114,4	3,5	3,5	121,48	64,93
13.1.15	1,02	34	115,9	3,5	3,5	120,97	64,66
14.1.15	0,889	28	122,1	4,5	4,5	120,37	56,74
16.1.15	0,889	37	109,9	3,5	3,5	119,23	63,73
17.1.15	0,762	34	113,5	3	3	116,37	67,19
17.1.15	0,889	39	110,2	3,5	3,5	116,35	62,19
18.1.15	0,889	34	116,3	3	3	116,11	67,04
18.1.15	1,4	34	116,9	4	4	115,77	57,89
18.1.15	0,889	34	126,4	2,5	2,5	115,66	73,15
19.1.15	0,889	32	117,8	2	2	119,11	84,22
19.1.15	1,02	39	123,5	5	5	119,63	53,50
19.1.15	1,14	34	119,8	2,5	2,5	118,24	74,78
19.1.15	0,889	43	119,1	2	2	118,39	83,71
19.1.15	2,03	47	119,7	4	4	117,91	58,96
19.1.15	1,14	30	123,1	4	4	117,93	58,97
19.1.15	0,762	34	109,5	3,5	3,5	117,39	62,75
19.1.15	0,762	34	119,1	3,5	3,5	117,92	63,03
19.1.15	1,02	32	118,3	4	4	116,84	58,42
19.1.15	2,41	47	118,2	3,5	3,5	116,33	62,18
20.1.15	1,27	32	115	3,5	3,5	121,35	64,86
20.1.15	1,4	43	123,7	3,5	3,5	121,99	65,21
20.1.15	1,14	47	116,6	2,5	2,5	123,23	77,94
20.1.15	0,762	57	116,4	3	3	122,94	70,98
20.1.15	1,14	57	114,8	2,5	2,5	123,44	78,07
20.1.15	1,14	39	116,7	3,5	3,5	122,24	65,34
21.1.15	0,889	39	124,9	2,5	2,5	121,88	77,08
21.1.15	0,889	28	128,6	2,5	2,5	121,52	76,86
21.1.15	2,54	47	119,7	3,5	3,5	121,38	64,88
21.1.15	1,78	57	118,2	3,5	3,5	121,24	64,81
23.1.15	1,65	57	117,2	3,5	3,5	120,22	64,26
23.1.15	1,9	37	118,1	3	3	119,59	69,05
23.1.15	1,9	32	125	4	4	119,2	59,60
23.1.15	1,02	47	121,1	4	4	120,02	60,01
23.1.15	2,16	43	114	5	5	118,16	52,84
23.1.15	2,03	47	120,8	5,5	5,5	118,6	50,57
23.1.15	1,4	34	121,8	2,5	2,5	118,99	75,26
23.1.15	2,03	30	127	2,5	2,5	119,1	75,33
23.1.15	1,65	43	123,6	4	4	119,56	59,78
23.1.15	1,52	32	122	6,5	6,5	119,81	46,99
26.1.15	1,02	39	123	5	5	111,41	49,82
4.2.15	2,03	30	114,4	4	4	86,64	43,32
4.2.15	1,27	30	117,4	5,5	5,5	84,63	36,09
4.2.15	1,52	30	120,8	5,5	5,5	84,6	36,07
5.2.15	2,29	43	121,6	4	4	82,07	41,04
5.2.15	3,05	28	119,4	4	4	80,27	40,14
5.2.15	2,29	43	117,9	3,5	3,5	78,42	41,92
5.2.15	6,22	51	115,9	2,5	2,5	78,08	49,38
5.2.15	2,54	43	122,1	5	5	75,87	33,93
5.2.15	2,92	51	112,8	2,5	2,5	74,54	47,14
5.2.15	6,86	51	121,4	6	6	71,86	29,34
5.2.15	3,3	57	115,4	5	5	65,91	29,48
6.2.15	3,17	57	120,4	4,5	4,5	63,58	29,97
6.2.15	1,52	47	115,7	2,5	2,5	60,91	38,52
6.2.15	1,52	57	119,1	3,5	3,5	59,86	32,00
6.2.15	1,52	57	113,3	1	1	56,18	56,18
6.2.15	2,03	57	120	3,5	3,5	55,47	29,65
6.2.15	2,54	51	118,5	3	3	53,91	31,12
6.2.15	2,54	57	121,6	4	4	51,74	25,87
6.2.15	2,54	47	117,4	3,5	3,5	50,45	26,97
6.2.15	4,57	57	115,7	4	4	47,86	23,93
6.2.15	3,05	51	116,4	3	3	47,16	27,23

4.2.2 Ölçüm sonuçlarının istatistiksel analizi

Bu çalışma kapsamında Garipçe Formasyonunda elde edilen 114 adet PPV değeri ve ölçekli mesafe verileri kullanılarak yapılan istatistiksel analiz sonucunda o bölgeye ait zemin sönümleme ve iletim katsayıları elde edilmiştir. İstatistiksel anlamda bir formül oluşturabilmek için aralarında anlamlı ilişki bulunan en az 30 adet veriye ihtiyaç vardır.

Alınan kayıtların ölçekli mesafe ile parçacık hızı bileşenleri (PVR, PVV, PVT) uyumlulukları incelenmiş olup, bununla birlikte aykırı kabul edilen veriler elenmiştir.

Sonuç olarak, Garipçe formasyonu için patlatma faaliyetlerinde PPV tahmini için kullanılması öngörülen zemin sabitleri makul bir korelasyon katsayısı %72 ile bulunmuştur.

% 50 Tahmin Denklemi; $\mathbf{PPV = 238{,}23 \times SD^{-1{,}298}}$ (r = 0,72) (3)

Bu bölge için K = 283,23 β = -1,298 olarak elde edilmiştir.

Bu çalışmada; PPV ile ölçekli mesafe arasındaki ilişkiden faydalanarak ampirik olarak bu bölgenin değerleri uyumlu biçimde elde edilmiştir. Veriler SPSS istatistik programı ile analiz edilmiştir. Çizelge 3'de SPSS programı analiz özet çıktısı gösterilmektedir.

Çizelge 3. SPSS programı analiz çıktısı

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,720[a]	,519	,514	,17152

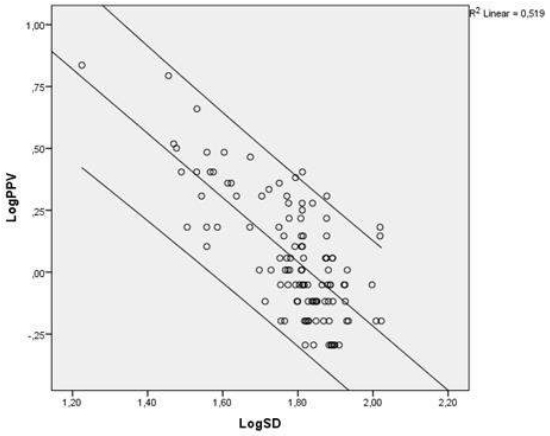
ANOVA[a]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3,549	1	3,549	120,643	,000[b]
	Residual	3,295	112	,029		
	Total	6,844	113			

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2,377	,211		11,241	,000
	LogSD	-1,298	,118	-,720	-10,984	,000

"R Square" değeri verilerin uyumluluk kalitesini göstermektedir. Bu çalışmada ki "R Square" değeri 0,519 olarak bulunmuş olup, lineer regresyondaki uyumluluk oranı %51,9 olarak değerlendirilebilir. PPV ile ölçekli mesafe verilerinin logaritmik dönüşümlerinden elde edilen değerlerin ortalamaları %50 güvenle ilişkilendirilerek ampirik sonuçlar elde edilmiştir. Parçacık hızı tahmininde ortalama ve üst sınır değerlerinin biliniyor olması gerekir. Standart hata ve veri dağılım eğrisi elde edilmiştir, % 95 tahmin sınır hatları Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Standart hata ve veri dağılım eğrisi

5 SONUÇ

Bu çalışma çerçevesinde öncelikli olarak patlatmaların çevresel etkileri göz önünde bulundurulmuş ve bu etkileri en aza indirgemek adına ölçümler ve analizler yapılmıştır. Elde analiz sonuçları, Garipçe Formasyonunda veya bu formasyona yakın jeolojik ve mekanik özellikler gösteren diğer kaya birimlerinde referans noktası olarak alınabilir. Çalışmalar buradan hareketle başlatılarak geliştirilebilir. Bu formasyonda yapılan ölçümler lokal bir bölgede olduğundan, aynı veya yakın özelliler gösteren formasyonlarda yapılacak diğer çalışmalardan elde edilebilen ölçümlerle birleştirilerek sonuçlar sürekli güncellenmeli ve geliştirilmelidir. Bir diğer ve önemli husus ise herhangi bir çalışma yapılmamış yeterli veri ve bilgiye sahip olunmayan formasyonlar adına "Piroteknik Kaya Kırıcı Kartuşlar" ile hızlı, ekonomik, düşük riskli, yüksek güvenilirlikle atımlar yaparak ölçümler alınıp, hatta ve hatta tek bir ölçüm cihazıyla aynı gün içerisinde yeterli veri elde edilip, analiz edilebilir. Bu pratiklik bize karakteristiği bilinmeyen formasyonlarda, riski daha aza indirecek olan doğruya olabildiğince yakın "Gecikme Başına Maksimum Patlayıcı Miktarı" tespitinin kısa sürede yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Ayrıca kırma enerjisi seviyesinden dolayı "Piroteknik Kaya Kırıcı Kartuşlar", kullanımları esnasında çevreye düşük seviyelerde zararlı enerji salımı yaptıkları görülmektedir. Bahsettiğimiz bu zararlı enerjilerin başlıcaları titreşim ve hava şoku olarak karşımıza çıkmaktadır.

Konvansiyonel patlayıcıların oluşturduğu titreşim ve hava şoku, profesyonel şekilde minimize edilse bile yapısı ve kimyasal içeriği gereği, "Piroteknik Kaya Kırıcı Kartuşlar"ın açığa çıkardığı titreşim ve hava şoku karşısında yüksek kalmaktadır. Bu durumsa bize riskli yapıların olabildiğince yakınında, kaya kırma işleminin, yapıya herhangi bir fiziksel zarar vermeden "Piroteknik Kaya Kırıcı Kartuşlar" ile yapılabileceğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

Dick, ve Diğ., 1983, *Explosives and Blasting Procedures Manual*, USBM, USA.

Duran ve Diğ., 2013 *7. Delme Patlatma Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 148. s.*

Kahriman, 2011 Kaya *Patlatma Tekniği Eğitim Semineri Notları, 2. s.*

Özgül, 2011. *İstanbul İl Alanı Jeolojisi Yönetici Özeti, 31. s.*

Siskind ve Diğ., 1980. *Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration From Surface Mine Blasting* USBM, RI8507.

Web-1, *http://www.3kopru.com/proje/PROJE-HAKKINDA/1 ,Ziyaret Tarihi:29.8.2015 Saati: 17:35*

Web-2, *https://tr.wikipedia.org/wiki/Piroteknik*, Ziyaret *Tarihi:29.8.2015 Saati: 21:06*

Açık Ocak Patlatma Sonuçlarının Değerlendirilmesinde Yersel Lazer Tarayıcıların (LIDAR) Kullanımı

The Use of Terrestrial Laser Scanning (LIDAR) for the evaluation of Open Pit Blasting Results

İ.C. Engin
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

N. Maerz
Missouri University of Science and Technology, Geological Engineering Department, USA

ÖZET Açık ocak maden üretiminde patlatma işlemindeki verimliliğin önemli bir kriteri patlatma sonrası sağlanan parçalanmanın derecesidir. Patlatma sonrası parçalanmanın tespit edilmesi amacıyla günümüze kadar farklı yöntemler kullanılmıştır. Sayısal görüntü analiz yöntemi bunlar içerisinde en son ve en çok kabul gören yöntem olmuştur. Fakat çeşitli eksik yönleri görüntü analiz yöntemine alternatif yeni bir uygulamanın geliştirilebileceği fikrini doğurmuştur. Bu çalışmada, yersel lazer tarama teknolojisi kullanılarak patlatma sonrası parça boyut dağılımı belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, öncelikle laboratuvar ölçekli yığın üzerinde LIDAR teknolojisi kullanılarak tane boyu analizi yapılmış daha sonra bir taş ocağında, kırılmış agrega yığını ve patlatma sonrası oluşan yığın üzerinde parça boyutu dağılımı analizi gerçekleştirilmiştir. Tane boyu analizi; yığından yersel lazer tarayıcı yardımıyla nokta bulutu verilerinin alınması, bu verilerin ilgili yazılımlar vasıtasıyla çeşitli filtrelerden geçirilerek yığının üç boyutlu modelinin bilgisayar ortamında oluşturulması, geliştirilen bir algoritma ile yığını oluşturan parçaların tanımlanması ve bu yığınların parça boyut dağılımlarının belirlenmesini içermektedir. Bu çalışmada, LIDAR teknolojisinin patlatma sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla yığın parça boyut dağılımının belirlenmesinde etkin bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

ABSTRACT An important efficiency criterion of the blasting in open pit mine production is the degree of fragmentation. Different methods have been used to determine the fragmentation up to the present. Among these methods, digital image analysis method has become the latest and the most widely accepted method. However, some difficulties and limitations of the method led to the idea of a new application to be developed as an alternative or complementary to the method of image analysis. In this study, post-blast particle size distribution will be determined using terrestrial laser scanning technology. In the study, firstly, size distribution analysis using LIDAR technology was applied to laboratory scaled broken rock pile. Then, the method was applied to aggregate pile and blasted rock pile in a quarry. Particle size analysis process contains; obtaining point cloud data of the piles using terrestrial laser scanner, creating three-dimensional computer models of the piles through the various filters and related software, defining the fragments and determining the particle size distribution. In this study, it is concluded that LIDAR technology can be used effectively in the determination of the size distribution of the piles for evaluating the blasting results.

1 GİRİŞ

Tarih öncesi çağlardan günümüze kadar insanoğlu madencilik, barınma ve ulaşım için sert kayaçları kazmak zorunda kalmıştır. Kara barut, nitrogliserin ve sonrasında dinamitin keşfiyle sert kayaç kazısı önemli ölçüde kolaylaşmıştır. Daha güvenli yeni nesil sivil amaçlı patlayıcıların ve ateşleme sistemlerinin geliştirilmesiyle patlayıcı madde kullanımı tarım, inşaat, madencilik ve diğer birçok alanda yaygınlaşmıştır.

Patlatma işlemi, açık ocak maden üretiminde önemli bir yere sahip olup işlem maliyeti toplam ocak üretim maliyetinin %40'ına ulaşabilmektedir. Bunun yanında, sonraki kazı-yükleme ve kırma-öğütme gibi süreçleri doğrudan etkilediğinden tüm maden üretim verimliliği ve maliyetini de etkilemektedir. Patlatma verimliliği, özellikle patlatma sonrası elde edilen parça boyut dağılımıyla değerlendirilmektedir.

Patlatma sonrası parçalanmanın tespit edilmesi amacıyla günümüze kadar farklı yöntemler kullanılmış, sayısal görüntü analiz yöntemi bunlar içerisinde en son ve en çok kabul gören yöntem olmuştur. Fakat tüm yığını temsil edecek fotoğrafların teminindeki güçlükler, hava koşullarına ve kullanılan kameraya bağlı olarak elde edilen görüntülerin kalitesindeki farklılıklar, iki boyutta ölçüm yapılabilmesi, fotoğraflarda oluşan perspektif nedeniyle doğru ölçüm alınamaması ve benzeri eksik yönleri görüntü analiz yöntemine alternatif yeni bir uygulamanın geliştirilebileceği fikrini doğurmuştur.

Bu çalışmada, yersel lazer tarama teknolojisi kullanılarak patlatma sonrası parça boyut dağılımı belirlenecektir. Çalışma kapsamında, açık ocak maden işletmesinde patlatma sonrası oluşan yığından yersel lazer tarayıcı yardımıyla nokta bulutu verileri alınacak, bu veriler daha sonra ilgili yazılımlar vasıtasıyla çeşitli filtrelerden geçirilerek yığının üç boyutlu modeli bilgisayar ortamında oluşturulacaktır. Bu model kullanılarak alternatif yöntem ve algoritmalar yardımıyla parçalar tanımlanacak daha sonra bu yığınların parça boyut dağılımları oluşturulacaktır. Bu dağılımların görüntü analiz yöntemiyle elde edilen değerlerle karşılaştırması da ayrıca yapılacaktır. Lazer tarama teknolojisi kullanılarak belirlenen tane boyu dağılım eğrileri ayrıca elek analizi ile tespit edilen tane boyu dağılım eğrileri ile karşılaştırılacaktır.

1.1 LIDAR Teknolojisi

Lazer teknolojisindeki araştırmalar 1960'lı yıllarda başlamış, günümüzde de sayısı ve kapsamı artarak devam etmektedir. Bu araştırmalar sonucu ortaya çıkan yersel lazer tarama teknolojisinin (LIDAR) bir ölçüm aracı olarak kullanılması son 15 yılda gerçekleşmiştir (Gümüş, 2008). Günümüzde birçok mühendislik projesinde objelerin mevcut durumunu elde etmek için detaylı üç boyut (3B) bilgisine ve bunun hızla teminine ihtiyaç vardır. Geleneksel jeodezik ölçüm yöntemleri ve dijital fotogrametri yöntemleri yersel lazer tarama teknolojisiyle kıyaslandığında yetersiz kalmaktadır.

Yersel lazer tarayıcı ile taranacak yüzey üzerindeki bir nokta arasındaki uzunluk, lazer sinyalinin yüzeye gönderilmesi ve yüzeyden geri dönen lazer sinyalinin tespiti arasında geçen zamanın yüksek doğrulukla belirlenmesiyle hesaplanır. Obje, optik-mekanik tarayıcılar ile ölçme uzunluğuna bağlı olarak, yatay ve düşey yönlendirmelerle taratılır. Tarama işlemi sonucunda elde edilen, objenin milyonlarca noktadan oluşan detaylı 3B görüntüsünün çıkarılmasını sağlayan, yoğun lazer sinyallerinin oluşturduğu nokta kümelerine nokta bulutu denir. Her nokta için, tarayıcıya bağlı koordinat sisteminde 3B koordinatları ve çok sayıda yansıtılmış lazer sinyali kayıt edilir. 3 boyutlu modeli elde edilmeye çalışılan objelerin geniş ve

karışık şekilli olmalarından dolayı, tek seferde tarama yapılarak obje geometrisi elde edilememektedir. Bu yüzden, farklı konumlardan taramalar yapılır. Objenin tamamlanmış gösterimini sağlamak için, bu taramalar birleştirilir ve jeodezik koordinat sistemine dönüştürülür (Ingensand, 2006; Gümüş, 2008).

Yersel lazer tarayıcıların en önemli avantajı, 3 boyutlu obje geometrisini, doğrudan, hızlı ve detaylı yakalama özelliğidir. Diğer avantajları ise Waggot vd. (2005), Reshetyuk (2006) ve Gümüş (2008) tarafından aşağıdaki şekilde sıralanmıştır:

• Aynı ölçme alanı için daha fazla veri toplama (Ölçme alanının belirli periyotlarla tamamen ölçülebilmesi),
• Çok amaçlı veri kullanımı (Lazer ölçülerinin var olan başka tür ölçülerle kolayca entegrasyonu),
• Hızlı ve obje ile temas kurmadan ölçme,
• Daha güvenli veri toplama imkanı (Geleneksel tekniklerin başarısız olduğu çok karışık, ulaşılamaz, tehlikeli obje ve alanlarda ölçüm yapabilme),
• Yüksek doğruluklu sayısal arazi modelleri üretebilme,
• Gerçek renkli görüntü üretebilme,
• Tarama işlemlerinin çevre aydınlatmasından bağımsız olması (gece tarama yapabilme özelliği),

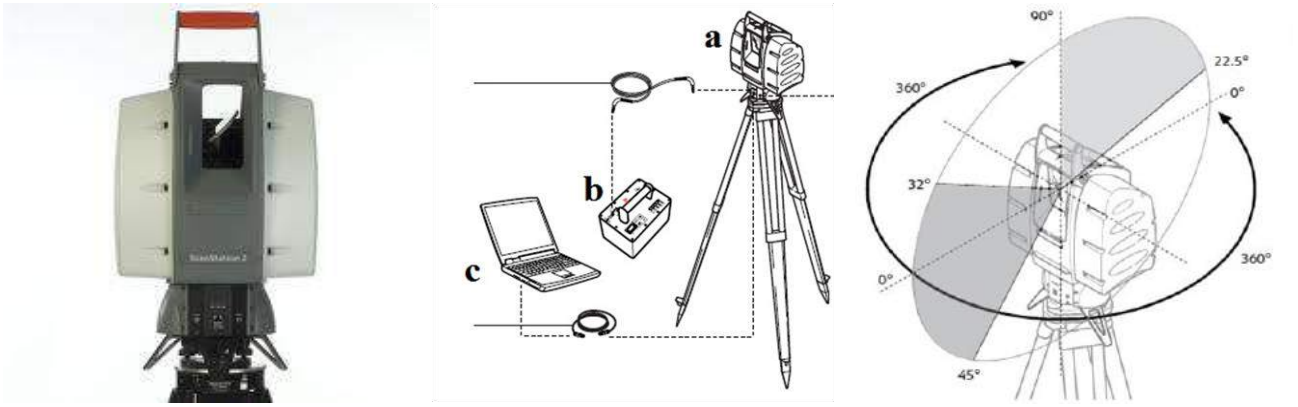
1.2 Yersel Lazerin Madencilikteki Kullanım Alanları

Yersel lazer tarama teknolojisi bahsedilen avantajlarından ötürü son yıllarda madencilik alanında da kullanılmaya başlanmış, bu konuda birçok araştırma gerçekleştirilmiştir. Araştırmalar daha çok açık ocaklarda şev ve basamak geometrisinin 3B olarak elde edilmesi (Feng ve Röshoff, 2004; Yanalak, 2005; Oparin vd., 2007), çeşitli hacim hesaplamaları (Yanalak ve Baykal, 2003; Yakar vd., 2008), açık ocaktaki ve yeraltı açıklıklarındaki süreksizliklerin tespiti (Slob vd. 2004; Slob vd., 2005; Kemeny vd., 2006; Decker, 2008; Lato vd., 2009; Sturzenegger ve Stead, 2009; Maerz vd., 2012; Lato vd., 2013; Fekete ve Diederichs, 2013, Deliormanlı vd., 2014), kaya düşmeleri ve heyelan kontrolünün yapılması amacıyla deformasyon ölçümleri (Bauer vd., 2005; Aksoy ve Ercanoglu, 2006; Teza vd., 2008; Abellán vd., 2008; Salvini vd., 2013) üzerinde yoğunlaşmaktadır.

2 MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, yersel lazer tarama teknolojisinin açık ocak patlatmalarında, patlatma sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla parça boyut dağılımının belirlenmesindeki kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla Leica ScanStation marka lazer tarayıcı kullanılarak patlatma sonrası oluşan yığın taranmış ve nokta bulutu verisi elde edilmiştir. Daha sonra yığını oluşturan kayaç parçalarının tanımlanması için bir yöntem geliştirilmiş ve bu yöntemle parça boyut dağılımı belirlenmiştir. Yöntemin geçerliliğinin test edilmesi amacıyla öncelikle laboratuvar ölçekli tane boyutu dağılımı bilinen bir agrega karışımında tarama ve analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra açık ocakta yine parça boyutu bilinen bir yığında benzer işlemler tekrarlanmıştır. Son olarak açık ocakta yapılan bir patlatma uygulamasından sonra elde edilen yığının parça boyut dağılımı bu yöntemle belirlenmiştir.

Lazer tarama işlemleri Missouri Bilim ve Teknoloji Üniversitesi (University of Science and Technology) Kaya Mekaniği ve Patlayıcı Araştırma Merkezi'nde Dr. Norbert MAERZ yönetiminde bulunan Leica ScanStation marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).



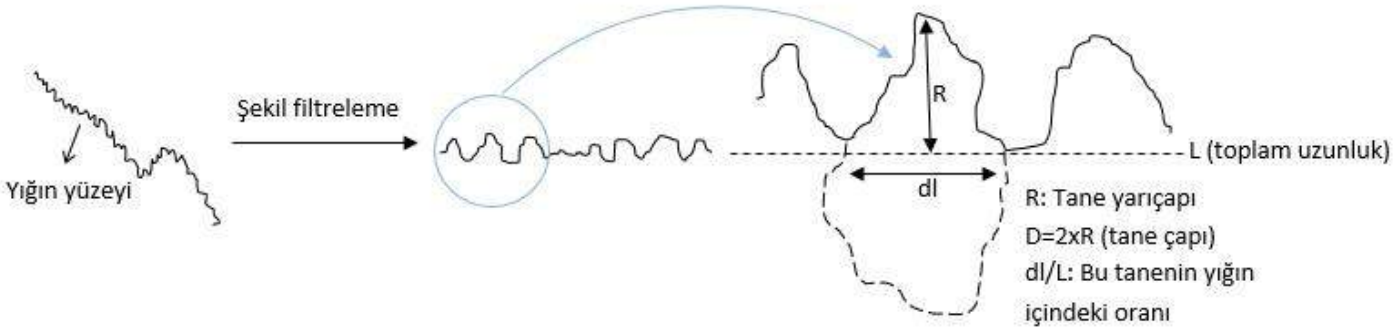
Şekil 1. Leica ScanStation marka lazer tarayıcı (a), batarya (b), bağlı olduğu bilgisayar (c) ve tarama eksenlerinin (sağda) görünümü

2.1 Parça Boyut Dağılımının Belirlenmesinde İzlenen Yöntem

Parça boyutunun belirlenmesinde öncelikle yığının yüzeyi bilgisayar ortamına aktarılmış, daha sonra yığının yüzey yapısından kaynaklanan dalgalı formların düzeltilmesi için şekil filtrelemesi uygulanmıştır. Daha sonra yerel minimum noktalarının belirlenmesiyle her bir tanenin (agrega veya kaya parçalarının) yığın yüzeyinden olan yüksekliği diğer bir ifadeyle tane yarıçapı belirlenmiştir. Bunun iki katı tane çapı olarak kabul edilmiştir. Tanelerin izdüşüm alanları da belirlenerek toplam yığın yüzeyindeki tane oranı hesaplanmıştır. Tüm tanelerin işleme alınmasıyla yığının parça boyut dağılımı belirlenmiştir (Şekil 2).

Lazer tarama sonucunda elde edilen nokta bulutu verisinden yığın yüzeyinin 3B görüntüsünün elde edilmesinde ve tane boyu dağılımının belirlenmesinde CloudCompare, SURFER, MATLAB R2013b yazılımlarından faydalanılmıştır.

Bu yazılımlardan CloudCompare tarama sonucu elde edilen nokta bulutu verileri içindeki gereksiz noktaların temizlenmesi ve nokta bulutu verilerinin kontrolünde, SURFER ve MATLAB R2013b yazılımları ise nokta bulutu verilerinden yüzey oluşturulmasında ve sonrasında tanelerin belirlenmesindeki çeşitli filtrelemelerde (low-pass, istatiksel vb.) kullanılmışlardır.



Şekil 2. Parça boyutunun belirlenmesinde izlenen prosedür

2.2 Laboratuvar Ölçekli Uygulama

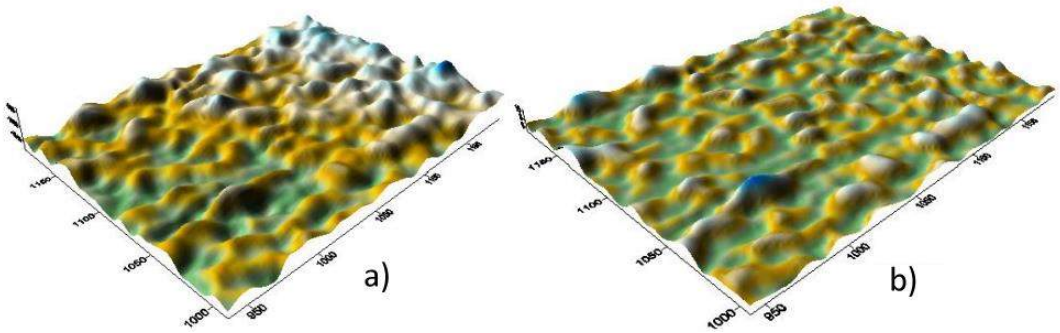
Yöntemin geçerliliğinin test edilmesi amacıyla öncelikle tane boyu dağılımı bilinen bir karışım hazırlanmış ve bu karışım lazerle taranarak analiz edilmiş ve tane boyu dağılımı bu yöntemle belirlenmiştir. Hazırlanan karışımın tane boyu analizi Çizelge 1'de verilmiştir.

Karışım serbest şekilde düz bir yüzeye dökülmüş ve yüzeyi lazer tarayıcı ile taranmış ve nokta bulutu verisi elde edilmiştir. Tarama işleminde noktalar arası 1mm olacak şekilde seçilmiştir. Daha sonra yüzeyin bilgisayar ortamında üç boyutlu görünümü elde edilmiştir. Yüzeyin dalgalı formu uygulanan filtre yardımıyla düz hale getirilmiş ve yüzeydeki tanelerin görünümleri geliştirilmiştir (Şekil 3).

Çizelge 1. Kireçtaşı agregasından hazırlanan karışımın tane boyu dağılımı

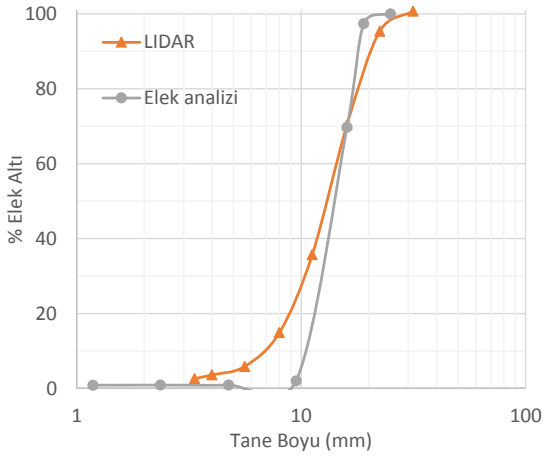
mm	g (elekaltı)	%	Kümülatif %
25	105	2.63	100.00
19	1102	27.64	97.37
16	2698	67.67	69.73
9.5	45	1.13	2.06
4.75	1	0.03	0.93
2.36	1	0.03	0.90
1.18	35	0.88	0.88
Toplam	3987	100	

MATLAB yazılımında geliştirilen kodlar yardımıyla yüzeyi oluşturan tanelerin aralarındaki noktalar belirlenerek (yerel minimumlar) her tanenin çapı ve oranı dolayısıyla da tane boyu dağılımı belirlenmiştir.



Şekil 3. Hazırlanan yığının orijinal 3B modeli (a) ve filtre işleminden sonraki görünümü (b)

Nokta bulutu verilerinin analizinden belirlenen tane boyu dağılımı ile elek analizi sonuçları ise Şekil 4'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 4. Elek analizi sonucunda elde edilen tane boyu dağılımı ile LIDAR yöntemi sonuçlarının karşılaştırılması

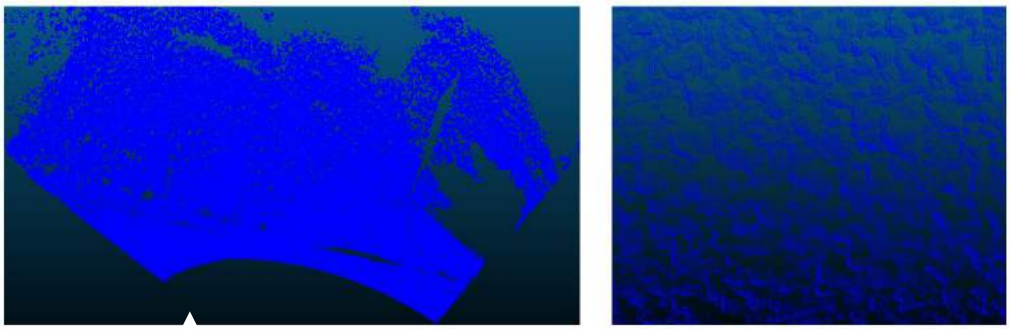
Şekil 4'den görülebileceği gibi lazer tarama ve sonrasında yapılan tane boyu analizi işlemiyle elde edilen tane boyu dağılım eğrisi elek analizinden elde edilen eğriyle oldukça yakındır. Özellikle ince tane bölgesinde (<10mm) bir miktar sapma olmuştur bu da cihazın tarama hassasiyetinin aşılmasıyla ilgili bir durumu işaret etmektedir.

2.3 Taş Ocağı Uygulamaları

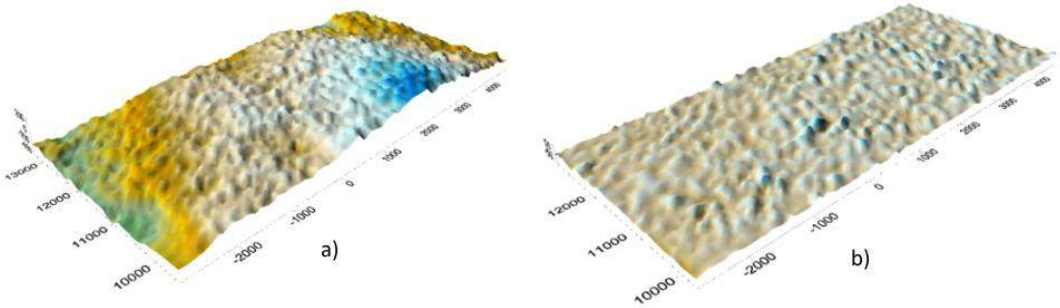
Ocak çalışmaları ABD Missouri eyaletine bağlı Rolla şehri yakınlarında bulunan bir kireçtaşı ocağında (Şekil 5) gerçekleştirilmiştir.

Şekil 5. Rolla şehri yakınlarındaki kireçtaşı ocağının yer bulduru haritası

Ocakta lazer tarama işlemi öncelikle kırma eleme tesisinden çıkan tane büyüklüğü 4 inç (10,16mm) olan kayaçların oluşturduğu yığın üzerinde denenmiştir (Şekil 6). Oluşturulan üç boyutlu görünüm ve filtrelenmiş görünüm ise Şekil 7'de verilmiştir.

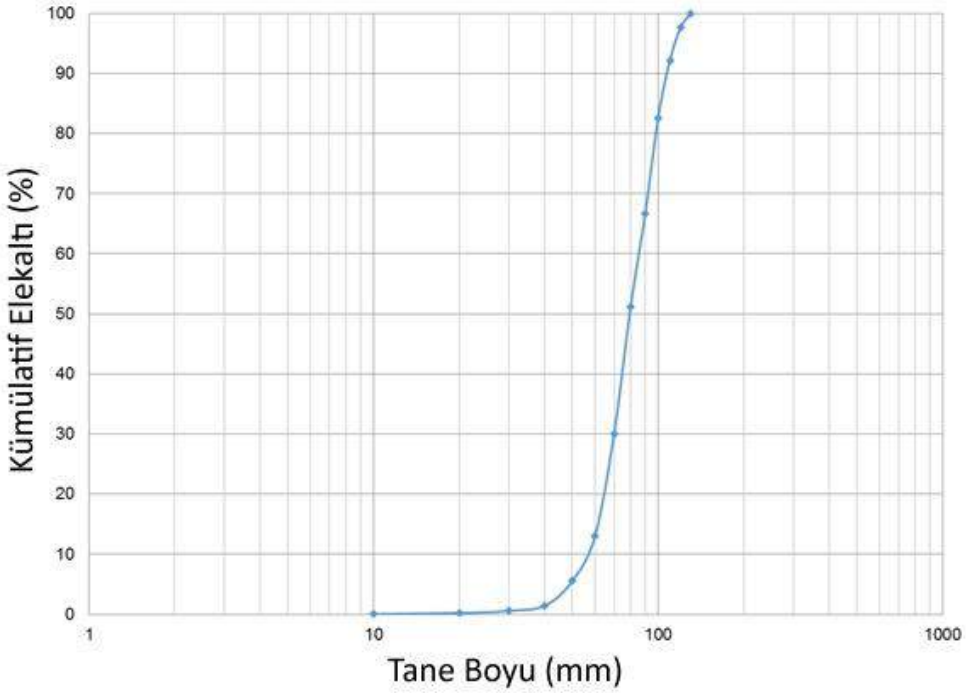


Şekil 6. Lazer tarama işlemi yapılan kırılmış agrega yığınının nokta bulutu verisi (tarama yönü okla gösterilmiştir) ve detay görünümü (sağda)



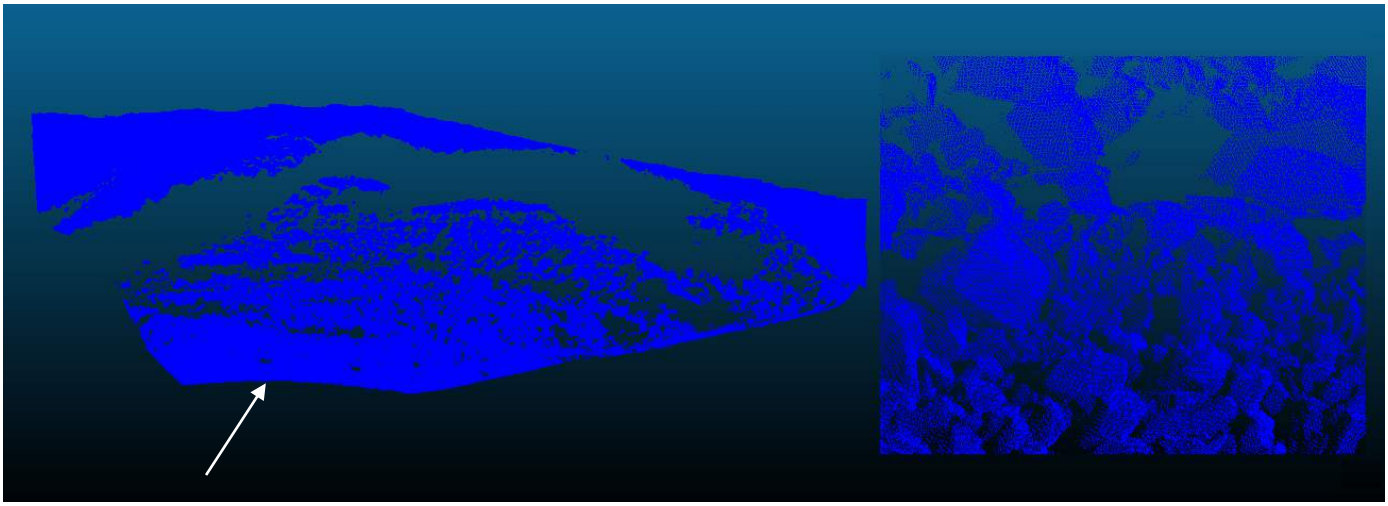
Şekil 7. Taş ocağındaki kırılmış agrega yığınının orijinal 3B modeli (a) ve filtre işleminden sonraki görünümü (b)

Bahsedilen yöntemle agrega yığınının tane boyu analizi yapılmış ve sonuçta elde edilen tane boyu dağılım eğrisi Şekil 8'de verilmiştir. Görüldüğü gibi gerçek değere çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

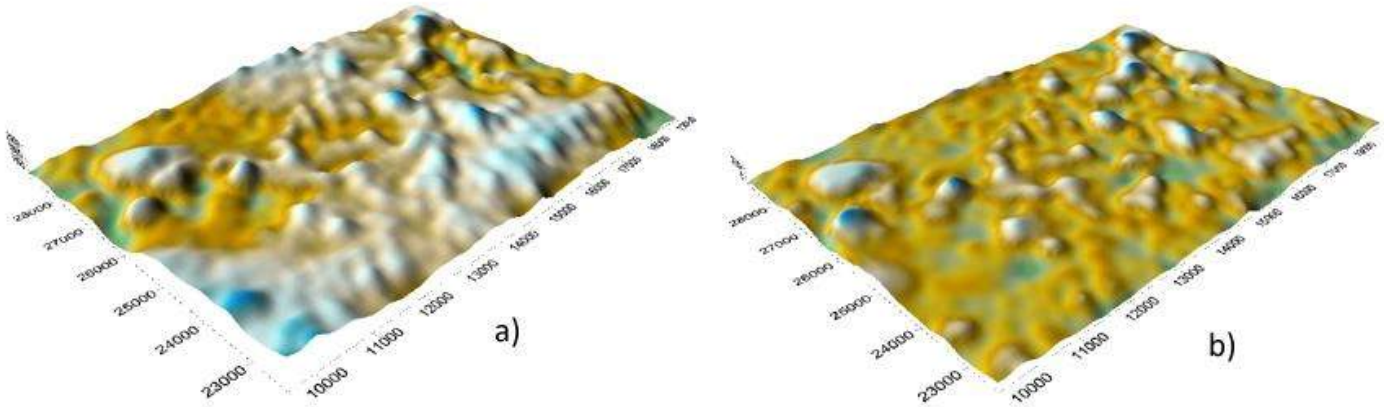


Şekil 8. LIDAR yöntemi ile agrega yığını üzerinde yapılan tane boyu analizi sonucu elde edilen tane boyu dağılım eğrisi

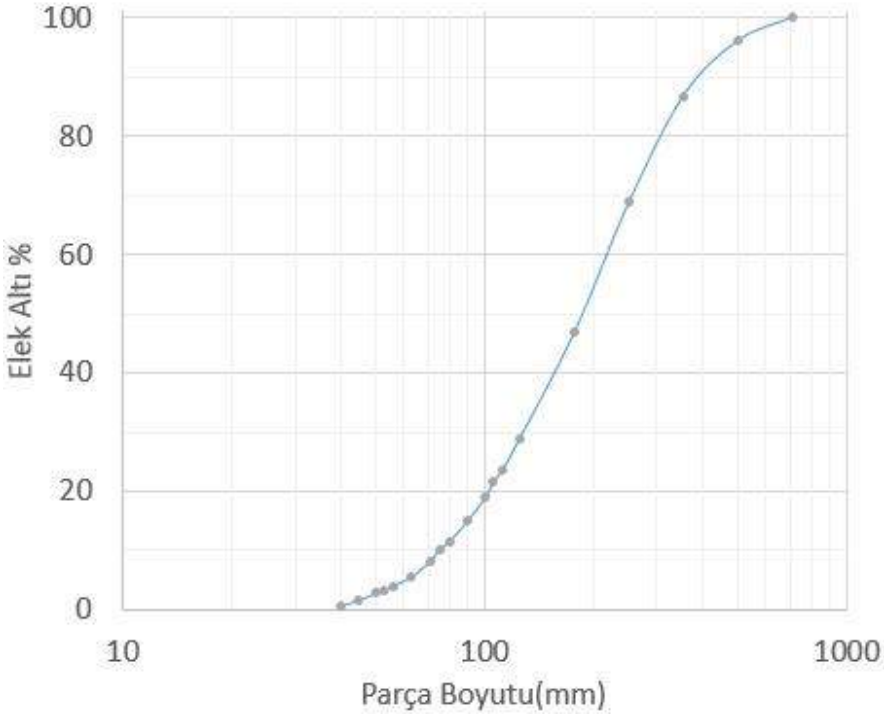
Benzer uygulama ocakta yapılan bir basamak patlatması sonucu elde edilen yığın üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 9). Oluşturulan üç boyutlu görünüm ve filtrelenmiş görünüm ise Şekil 10'da verilmiştir. Yapılan tane boyu analizi sonucu ise Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 9. Lazer tarama işlemi yapılan patlatma sonrası elde edilen yığınının nokta bulutu verisi (tarama yönü okla gösterilmiştir) ve detay görünümü (sağda) verilmiştir



Şekil 10. Taş ocağındaki patlatma sonrası elde edilen yığının orijinal 3B modeli (a) ve filtre işleminden sonraki görünümü (b)



Şekil 11. Kireçtaşı ocağındaki patlatma sonrası yığının parça boyut dağılımı

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yersel lazer tarama teknolojisinin patlatma uygulamalarının sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla, öncelikle nokta bulutu verilerinden parça boyutu dağılımının belirlenmesi amacıyla bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemle öncelikle laboratuvar ölçekli agrega karışımının parça boyut dağılımı belirlenmiş, daha sonra ise bir taşocağında boyut dağılımı bilinen yığının parça boyut dağılımı belirlenmiştir. Her iki uygulamada da yersel lazer tarama ile elde edilen nokta bulutu verilerinin analizi sonucunda bulunan boyut dağılımı verileri gerçek (elek analizi) verilerle çok iyi uyum içerisindedir. Son olarak patlatma sonrası oluşan yığının parça boyut dağılımı da aynı yöntem izlenerek belirlenmiştir. Patlatma sonrası parça boyut dağılımının yersel lazer tarayıcılarla belirlenmesinde yöntemin hassasiyeti kullanılan lazer tarayıcının hassasiyeti ve tanelerin tanımlanmasında kullanılan algoritmaların güvenilirliği ile yakından ilgilidir.

Yersel lazer tarayıcılar geleneksel jeodezik yöntemlere göre sahip olduğu avantajlar nedeniyle artan bir kullanım alanına sahiptir. Madenlerde üretimin planlanması ve izlenmesinde, hacim hesaplamalarında, süreksizliklerin belirlenmesi ve analizinde, heyelanların izlenmesinde vb. uygulamalarda kullanımının yanında patlatma sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla parça boyut dağılımının belirlenmesinde de kullanılması daha verimli üretim yapılmasına imkân sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Abellán A., Vilaplana J.M., Martínez J., 2008. Application of a long-range terrestrial laser scanner to a detailed rockfall study at Vall de Núria (Eastern pyrenees, Spain), Eng Geol 88, 136-148.

Aksoy, H., Ercanoglu, M., 2006. Determination of the rockfall source in an urban settle-ment area by using a rule-based fuzzy evaluation. Natural Hazards and Earth System 6, 941–954.

Bauer A., Paar G., Kaltenböck A., 2005. Mass movement monitoring using terrestrial laser scanner for rock fall management. In: Proc first international symposium on geo-information for disaster management, 393-406.

Decker J., 2008. Laser scanning techniques in Devil's Slide tunnels. In: Proceedings of the 42nd US rock mechanics symposium, San Francisco.

Deliormanlı A.H., Maerz N., Otoo J.N.A., 2014. Using terrestrial 3D laser scanning and optical methods to determine orientations of discontinuities at a granite quarry, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 66, 41–48.

Fekete S., Diederichs M., 2013. Integration of three-dimensional laser scanning with discontinuum modelling for stability analysis of tunnels in blocky rock masses. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 57, 11–23.

Feng, Q.H., Röshoff, K., 2004. In-situ mapping and documentation of rock faces using full-coverage 3D laser scanning techniques. International Journal of Rock Mechanics and Mining 41, 379.

Gümüş K., 2008. Yersel Lazer Tarayıcılar Ve Konum Doğruluklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 134 s.

Ingensand H., 2006. Methodological aspects in terrestrial laser-scanning technology. InProceedings of the 3rd IAG Symposium of Geodesy for Geotechnical and Structural Engineeringand 12th FIG Symposium on Deformation Measurements.

Kemeny, J., Turner, K., and Norton, B. 2006. LIDAR for Rock Mass Characterization: hardware, software, accuracy, and best practices. Laser and Photogrammetric Methods for Rock Face Characterization workshop, Golden Colorado, June 17-18, 2006, pp. 49-62.

Lato M., Kemeny J., Harrap R.M., Bevan G., 2013. Rock bench: Establishing a common repository and standards for assessing rockmass characteristics using LiDAR and photogrammetry. Computers & Geosciences 50, 106–114.

Maerz, N. H., Youssef, A. M., Otoo, J. N., Kassebaum, T. J., and Duan, Y. 2012. A simple method for measuring discontinuity orientations from terrestrial LIDAR images. Sub. to J. of Environmental and Engineering Geoscience. Feb. 2012.

Oparin V.N., Seredovich V.A., Yushkin V. F., Ivanov A.V., Prokop'eva, S.A., 2007. Application of laser scanning for developing a 3D digital model of an open-pit side surface. Journal of Mining Science 43(5), 545-554.

Reshetyuk Y., 2006. Investigation of the Influence of Surface Reflectance on the Measurements with the Terrestrial Laser Scanner Leica HDS 3000. ZfV (Zeitschrift fürGeodäsie, Geoinformation und Landmanagement), 131 (2), 96-103.

Salvini R., Francioni M., Riccucci S., Bonciani F., Callegari I., 2013. Photogrammetry and laser scanning for analyzing slope stability and rock fall runout along the Domodossola–Iselle railway, the Italian Alps. Geomorphology 185, 110–122.

Slob S, Hack R, Knapen B, Kemeny J., 2005. A method for automated discontinuity analysis of rock slopes with 3D laser scanning. In: Proceedings of the 84th annual meeting of Transportation Research Board, Washington, DC, 16 pp.

Slob S., Hack R., Van Knapen B., Kemeny J., 2004. Automated identification and characterisation of discontinuity sets in outcropping rock masses using 3D terrestrial laser scan survey techniques, In Proceedings of the ISRM Regional Symposium EUROCK 2004 & 53rd Geomechanics Colloquy, Salzburg, 439-443.

Sturzenegger M., Stead D., 2009. Close-range terrestrial digital photogrammetry and terrestrial laser scanning for discontinuity characterization on rock cuts, Engineering Geology 106, 163-182.

Teza G., Pesci A., Genevois R., Galgaro A., 2008. Characterization of landslide ground surface kinematics from terrestrial laser scanning and strain field computation, Geomorphology 97, 424-437.

Waggot S.M., Clegg P., Jones R.R., 2005. Combining Terrestrial Laser Scanning, RTK, GPS and 3D Visualisation: Application of Optical 3D Measurement in Geological Exploration, Proceedings of the 7th Conference on 3-D Optical Measurement Techniques, Vienna, Austria, 3-5 Oct. 2005.

Yakar M., Yılmaz H.M., Mutluoğlu Ö., 2008. Lazer Tarama Teknolojisi ve Fotogrametrik Yöntem ile Hacim Hesabı. TÜBİTAK, Proje No: 105M179, 90s.

Yanalak M, and Baykal O., 2003. Digital Elevation Model Based Volume Calculations Using Topographical Data, Journal of Surveying Engineering 129 (2), 56-64.

Yanalak M., 2005. Computing Pit Excavation Volume. Journal of Surveying Engineering 131(1), 15-19.

Bir Taşocağında Kullanılacak Saha Sarsıntı Yayılım Denkleminin Belirlenmesi

Determination of Site Specific Vibration Attenuation in a Quarry

Ü. Kalaycı, Ü. Özer, A. Karadoğan, M.C. Özyurt
İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul

ÖZET Çalışmanın amacı, İstanbul/Türkiye'de bulunan bir taşocağında, yapılacak bir patlatma uygulaması ile oluşacak titreşimlerin büyüklüğünü tahmin edecek saha sarsıntı yayılım denklemini belirleyebilmektir. Bu amaçla çalışma sahasında son 12 yılda yapılmış patlatmalardan elde edilen saha sarsıntı yayılım denklemleri, tahmin kabiliyetleri bakımından, sahadan alınmış 102 adet titreşim kaydı test verisi olarak kullanılmak suretiyle analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda bir saha için en uygun sarsıntı yayılım denklemi seçim yöntemi ve kriterleri açıklanmıştır.

ABSTRACT The aim of this study is to forecast the site specific vibration attenuation formula to evaluate the magnitude of vibrations formed by blasting in a quarry operating in Turkey/Istanbul. For this purpose, different site specific vibration attenuation equations obtained from the study area in the past 12 years, forecasting capabilities according to designated new conditions, using 102 vibration records as test data obtained from the study area was investigated. Finally, the process of selecting the most appropriate equation according to different target criteria was presented and explained.

1 GİRİŞ

Maden ve taşocaklarında, patlatma tekniklerinin ekonomik ve üretimsel faydalarının yanı sıra pek çok olumsuz yan etkisi de bulunmaktadır. Öncelikle, patlatmalardan kaynaklanan sismik dalgalar, çevresindeki yapılarda hasara neden olurlar (Kalayci 2011).

Patlatma kaynaklı titreşim yayılımı üzerine geçmişten günümüze pek çok değerli çalışma ortaya konmuştur. Bu çalışmaların temel amacı çevresel sorunları izole etmek, yan amaçlar ise patlatmanın performansını denetlemek ve yapıların tepkisini tahmin ve kontrol etmektir (Dowding 1985; Ambraeys et al. 1968; Ghosh 1983).

Dowding 1985; Ghosh 1983; Gupta vd, 1988; Nicholls vd, 1971, ölçekli mesafe, gecikme başına şarj miktarı ve maksimum parçacık hızını belirleyici parametreler olarak göz önünde bulundurmuş ve analiz tekniği olarak istatistiksel yöntemler kullanmışlardır.

Bilindiği üzere, patlatma kaynaklı titreşim dalgaları taşıdıkları enerji düzeyinde hasara neden olurlar. Titreşimlerin enerji seviyeleri parçacık hızı (mm/sn), parçacık yer değiştirmesi (mm), parçacık ivmesi ve dalga frekansıyla tayin edilir. Bu bileşenler birbirlerine dönüştürülebilir niteliktedirler (Dowding 1985; Ambraseys et al. 1968; Jimeno et al.1995; Karadoğan 2008; Faramarzi et al. 2014).

Parçacık hızı tahmininde konunun karmaşıklığı ve ortamın kaotik yapısı nedeniyle hala tam çözüm sunabilecek tahmin metodu geliştirilememiştir. Yine de yaygın bir şekilde kabul görmüş ampirik maksimum parçacık hızı yayılım denklemi 1 nolu eşitlikteki gibi üssel eşitlik formunda yazılabilir (Dowding 1985);

$$PPV = k * (\frac{R}{W^{0,5}})^{-\beta} \quad (1)$$

Burada *PPV* maksimum parçacık hızı, *W*, gecikme başına maksimum şarj, *R* atım noktası ile ölçüm istasyonu noktası arasındaki mesafedir.

Bu çalışmada İstanbul Türkiye'de bulunan bir taşocağında yapılan patlatmalardan kaynaklanan titreşimler 12 yıl boyunca izlenmiş ve titreşim analizleri literatürde kabul gören PPV tahmin denklemi kullanılarak incelenmiştir. Her bir çalışmada farklı tahmin yapan denklem elde edildiği görülmüştür. Çalışmada, bu denklemlerden hangisinin seçilmesi gerektiği irdelenmiştir.

Bahsedilen denklemlerin tahmin kabiliyetlerini değerlendirmek için 102 adet titreşim kaydı test verisi olarak, denklem tahmin kabiliyetlerini ölçmek üzere kullanılmıştır. Test atımları mesafe ve şarj bilgilerine göre farklı gruplara ayrılmıştır. Her bir grup için geçmiş yıllarda elde edilen denklemler ile tahmin yaptırılmış ve sonuçları irdelenmiştir.

2 ÇALIŞMA SAHASI

1994 yılından beri faaliyette bulunan Akyol Mıcır ve Mermer San. Tic. A.Ş'nin kireçtaşı ocağı, Marmara Bölgesinin Trakya kesiminde İstanbul ili sınırları içerisinde bulunan Çatalca ilçesinin Muratbey Beldesinin hemen güneyinde yer almaktadır. Çalışmanın yer bulduru haritası Şekil 1'de verilmiştir. Çalışma sahasının yerleşim birimlerine olan uzaklığı 300 metredir.

Şekil 1. Taşocağının yer bulduru haritası.

2.1. Jeoloji

İnceleme alanında temeli teşkil eden birim şistlerdir. Şistlerin üzerinde Kırklareli formasyonuna ait kireçtaşı ve marn düzeyleri bulunmaktadır. İnceleme alanında en üstte Gürpınar formasyonuna ait kömür bantları içeren kil, kumlu kil ve çok zayıf dayanımlı kumtaşı ve kiltaşı ardalanması bulunmaktadır. Ocağın güney batısında şistler faylanmadan dolayı değişik kotlarda yüzeylenmektedir. Ayrıca şist düzeyleri ocağın kuzey batı kenarında da bulunmaktadır. Ocakta ana litoloji yaklaşık 100 m kalınlıktaki kireçtaşlarıdır. Ocağın batı kenarında 3-4 m kalınlıkta Gürpınar formasyonuna ait mostralar varken, bu düzeyler ocaktan 25 m uzaklıkta bir alanda 54 metreden daha kalın bir istif sunmaktadır. Bu istif saha gözlemlerine göre tahmin edilemeyen bir özelliktir (Dalgıç ve Özer, 2009).

İncelenen taşocağından alınan kireçtaşı örnekleri üzerinde kaya mekaniği laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar petrografik özelliklerle birlikte Çizelge 1'de verilmiştir (Kalaycı 2011; Adiguzel, 2012).

Çizelge 1. Çalışma sahasının fiziko-mekanik özellikleri.

Yoğunluk (g/cm^3)	2.66
Ultrasonik Ses Hızı (m/sn)	5027,15
Tokluk Dayanımı (MPa.m$^{1/2}$)	1,31
TEBD (MPa)	62.4
Çekme Dayanımı (MPa)	3.3

2.2. Önceki Çalışmalar

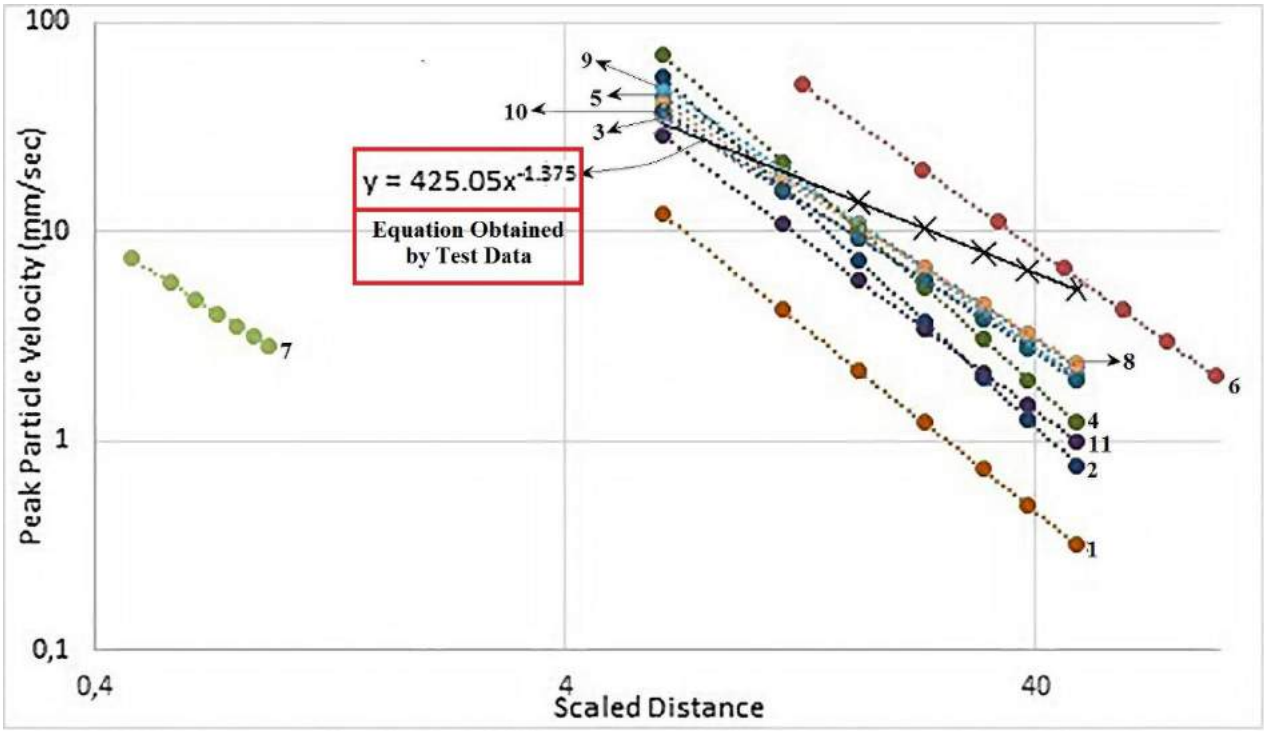
Çalışma kapsamında aynı sahada geçmiş 12 yıl içerisinde analiz edilmiş verilerden (güncel çalışma hariç) elde edilmiş 11 farklı saha sarsıntı yayılım denklemi irdelenmiştir. Geçmiş yıllara ait tahmin denklemleri, kaç olay ile değerlendirildiği, korelasyon katsayıları ve araştırmacılar Çizelge 2'de verilmiştir. Bu denklemlerde 2379 olay değerlendirilmiştir (5-6-7 no'lu denklemlerde aynı olaylar kullanılmıştır). 7 no'lu eşitlik hariç korelasyon katsayıları 0,8'in üzerindedir.

Çizelge 2. Geçmiş yıllarda yapılmış PPV tahmin denklemleri.

Denklem No	PPV Tahmin Denklemi	Olay Sayısı	Belirleme Katsayısı (r^2)	Referans
1	$PPV = 340\left(\frac{R}{W^{\frac{1}{2}}}\right)^{-1.79}$	120	0,837	Kahriman et al, 2003.
2	$PPV = 578.92\left(\frac{R}{W^{\frac{1}{2}}}\right)^{-1.4621}$	302	0,7332	Adıgüzel, 2006.
3	$PPV = 495\left(\frac{R}{W^{\frac{1}{2}}}\right)^{-1.407}$	476	0,65	Kahriman et al, 2007.

4	$PPV = 2874\left(\frac{R}{W^{\frac{1}{2}}}\right)^{-1.993}$	16	0,7921	Karadoğan et al, 2009.
5	$PPV = 691.83\left(\frac{R}{W^{\frac{1}{2}}}\right)^{-1.47}$	582	0,65	Özer et al, 2008.
6	$PPV = 2818.38\left(\frac{R}{W^{\frac{1}{3}}}\right)^{-1.58}$	582	0,72	Özer et al, 2008.
7	$PPV = 2.57\left(\sqrt{\frac{W}{R^{\frac{2}{3}}}}\right)^{1.44}$	582	0,17	Özer et al, 2008.
8	$PPV = 564\left(\frac{R}{W^{\frac{1}{2}}}\right)^{-1.41}$	754	0,6561	Karadoğan et al, 2009.
9	$PPV = 948.7\left(\frac{R}{W^{\frac{1}{2}}}\right)^{-1.58}$	30	0,8464	Özer et al, 2009.
10	$PPV = 2828\left(\frac{R}{W^{\frac{1}{2}}}\right)^{-2.11}$	15	0,7921	Özer et al, 2010.
11	$PPV = 623.14\left(\frac{R}{W^{\frac{1}{2}}}\right)^{-1.653}$	75	0,64	Kalayci, 2011.

Grafiği çizmek için aynı mesafe ve şarj verilerinden Çizelge 2'deki denklemler kullanılarak PPV değerleri hesaplanmıştır. 6. ve 7. eşitlikte farklı ölçekli mesafe (SD) yaklaşımı kullanılmıştır. Çizelge 2'de verilen 11 ayrı tahmin denkleminin grafik görüntüsü ve güncel çalışmada elde edilen saha sarsıntı yayılım denklemi Şekil 2'de toplu halde sunulmuştur.



Şekil 2. Maksimum parçacık hızı tahmin denklemleri.

Grafikten görüldüğü üzere aynı mesafe ve şarj miktarında aynı saha için bir denklem 7mm/sn PPV hesaplarken bir diğer denklem 70 mm/sn hesaplamaktadır. Bu grafik denklemlerin aynı mesafe ve şarj koşullarındaki tahmin hattını göstermek için oluşturulmuştur. Eğriler çizilirken sadece sunum amacıyla r=50 m W=60 kg olacak şekilde sabit değer alınmıştır.

2.3. Test Yöntemi

Denklemleri incelemek üzere test verisi olarak kullanılan 102 adet titreşim kaydı, farklı zamanlarda izlenen 14 atımdan elde edilmiştir. Söz konusu atım bilgileri, tasarım parametreleri, delik geometrisi ve ateşleme bilgileri, patlayıcı madde bilgileri, istasyon noktalarının koordinatları ve titreşim ölçümleri oluşturulan patlatma veri formlarına her atım için ayrı ayrı kaydedilmiştir. Atımlarda, patlayıcı olarak ANFO, yemleyici olarak POWERGEL ve ateşleyici olarak da gecikmeli elektriksiz kapsüller kullanılmıştır. Atımlar sahanın mühendislerinin uyguladığı haliyle, müdahale edilmeden gözlemlenerek kayıt altına alınmıştır. Sismik ölçümler 8 adet instantel minimate plus marka titreşim ölçüm cihazıyla yapılmıştır. Söz konusu cihazların titreşim olçum ve frekans aralıkları sırasıyla 0-245 mm/sn ve 2-100 Hz'dır.

2.3.1. Atım Tasarım Parametreleri

İzlenen atımlara ait basamak patlatma tasarım parametreleri Çizelge 3'te, titreşim bileşenlerine ait özet bilgiler Çizelge 4'te, atım noktalarının koordinatları Çizelge 5'te, ölçüm alınan istasyonların koordinatları ise Çizelge 6'da verilmektedir. Tüm atımlarda aynı gecikme aralığı ve aynı patlayıcı türü (ANFO) kullanılmıştır. Ölçümler 35 farklı istasyonda yapılmıştır. Ayrıca atım ve istasyon noktalarının görsel sunumu Şekil 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Atım tasarım parametreleri.

Atım No	Delik Sayısı	Delik Çapı (mm)	Basamak Yüksekliği (m)	Delik Boyu (m)	Dilim Kalınlığı (m)	Delikler Arası Mesafe (m)	Toplam Şarj (kg)	Gecikme Başına Top. Şarj (kg)
1	10	89	9	10	2,7	2,7	608	61
2	12	89	10	11,5	2,7	2,7	263	22
3	11	89	10,5	11,5	2,7	2,7	229	21
4	18	89	9	10	2,7	2,7	360	20
5	10	89	8	9	2,5	2,5	280	28
6	8	89	9	10	2,7	2,7	398	50
7	9	89	10,5	11,5	2,7	2,7	454,5	50,5
8	6	89	10,5	11,5	2,7	2,7	298	50
9	3	89	9	10	2,7	2,7	151,5	50,5
10	9	89	11	12	2,7	2,7	529	59
11	4	89	8,5	2-9	2,5	2,5	64	27
12	10	89	8,5	9	2,5	2,5	460	27
13	10	89	7,5	8,5	2,7	2,7	255	30
14	5	89	10,5	11,5	2,7	2,7	153	30

Çizelge 4. Titreşim kaydı parametreleri.

Atım No	Mak. Parçacık Hızı (PPV) (mm/sn)	Frekans f (Hz)	Ölçeki Mesafe (SD)	İstasyon No	Atım No	Max. Parçacık Hızı (PPV) (mm/sn)	Frekans f (Hz)	Ölçeki Mesafe (SD)	İstasyon No	Atım No	Max. Parçacık Hızı (PPV) (mm/sn)	Frekans f (Hz)	Ölçeki Mesafe (SD)	İstasyon No
	1.78	16	39.27	1		5.97	42.7	48.77	1		2.41	46.5	36.94	1
	6.98	34.1	17.74	2		9.52	46.5	26.7	2		1.52	39.4	37.74	2
	15.1	42.7	15.18	3		*	*	33.11	3		1.14	30.1	40.29	3
	3.05	24.4	27.19	4		21.3	73.1	19.45	4		1.4	34.1	31.39	4
1	4.7	17.7	34.17	5	2	7.11	39.4	50.85	5	3	6.48	42.7	26.94	5
	*	*	12.15	6		1.52	21.3	71.1	6		2.16	17.7	53.35	6
	3.56	28.4	28.71	7		1.78	34.1	71.3	7		7.37	30.1	24.12	7
	*	*	33.48	8		2.03	7.76	81.81	8		*	*	34.42	8
	35.1	17.7	13.86	9		2.54	17.1	57.46	9		9.02	34.1	17.83	9
	1.65	30	82.66	10		0.76	48.6	83.06	10		39	73.1	10.37	21
	8.51	73	37.24	11		*	*	18.44	11		5.21	85.3	15.69	22
	3.56	23	40.23	12		1.52	34	38.44	12		4.7	19	17.07	23
	1.78	20	82.13	13		3.43	13	63.13	13	6	6.6	73.1	15.69	24
4	1.4	27	65.31	14	5	3.3	30	47.54	14		18.3	26.9	13.23	25
	3.05	23	72.53	15		3.94	20	55.8	15		4.19	25.6	17.99	26
	*	*	27.2	17		10.2	17	22.24	17		*	*	70.76	27
	4.44	34	29.85	18		1.78	20	27.29	18					
	2.29	32	44.17	19		3.05	24	24.2	19					
	4.06	22	58.3	20		6.35	19	36.26	20					
	4.57	73.1	21.2	21		4.19	46.5	20.96	21		0.889	32	26.9	22
	0.889	26.9	26.91	22		1.27	34.1	29.67	22		1.14	13	24.11	23
	2.41	22	30.11	23		2.41	20	31.15	23		3.56	100	17.41	24
7	2.67	25.6	27.09	24	8	3.3	26.9	26.62	24	9	57.4	9.48	2.4	25
	9.4	32	14.97	25		16	28.4	12.71	25		0.889	39.4	23.48	26
	1.14	28.4	30.92	26		1.4	16	31.47	26		*	*	83.45	27
	0.762	24.4	71.13	27		0.762	23.3	74.11	27					
	0.508	39.4	41.8	21		22.4	28.4	10.31	28		53.3	64	8.49	28
	*	*	37.71	22		34.8	100	8.09	29		40.4	73.1	9.22	29
	0.889	18.3	46.45	23		24.3	34.1	10.01	30		41.3	39.4	10.02	30
10	0.508	25.6	47.28	24	11	40.5	51.2	10.15	31	12	45.6	46.5	11.7	31
	1.52	26.9	38.12	25		39.9	56.9	7.69	32		53.7	64	10.42	32
	0.254	100	48.47	26		22.5	56.9	10.34	33		24.6	42.7	13.12	33
	2.03	28.4	43.07	27		8.25	100	12.39	34		10.9	34.1	15.13	34
						6.48	36.6	16.77	35		12.8	39.4	17.83	35
	2.92	32	46.18	28		2.41	34.1	46.35	28					
	0.889	100	52.83	29		0.762	32	52.69	29					
	2.29	34.1	49.22	30		2.29	30.1	49.11	30					
	2.67	46.5	54.2	31		1.9	32	53.97	31					
13	0.762	64	62.9	32	14	0.762	39.4	63	32					
	*	*	64.58	33		0.508	32	64.61	33					
	0.508	39.4	62.86	34		0.635	39.4	62.68	34					
	*	*	69.69	35		*	*	70.18	35					

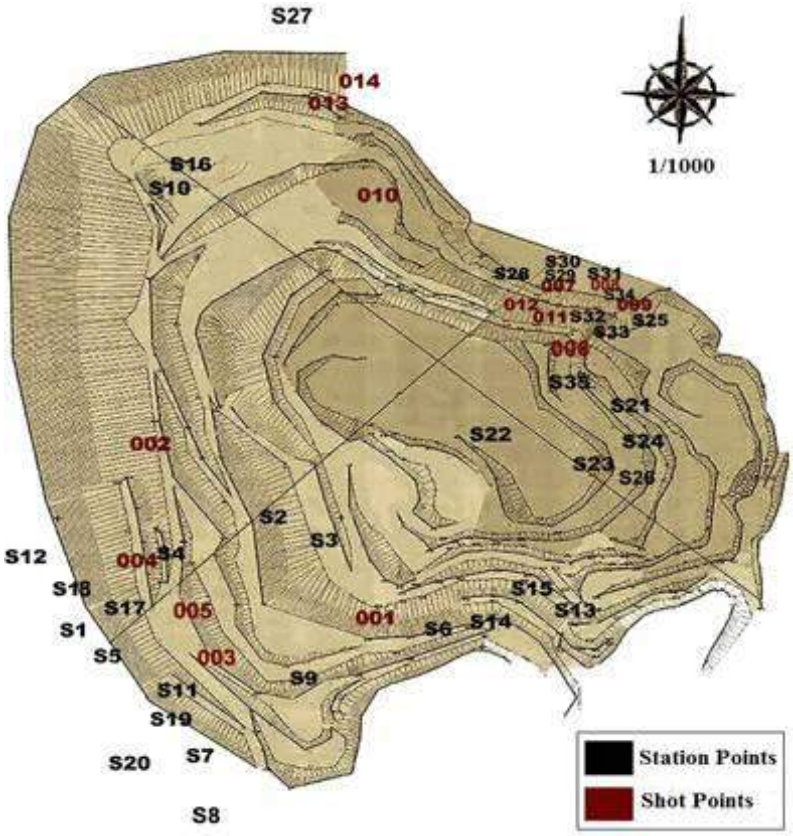
* Yeterli genlikte sismik dalga oluşmadığından kayıt alınamamıştır.

Çizelge 5. İstasyon noktalarının koordinatları.

İstasyon No.	İstasyon Noktası Koordinatları			İstasyon No.	İstasyon Noktası Koordinatları			İstasyon No.	İstasyon Noktası Koordinatları		
	Y	X	Z		Y	X	Z		Y	X	Z
1	4549644	625467	116	13	4549674	625940	52	25	4549967	626022	44
2	4549760	625679	17	14	4549652	625857	54	26	4549814	625997	54
3	4549757	625712	17	15	4549696	625900	52	27	4550314	625637	52
4	4549737	625569	44	16	4550134	625591	59	28	4550029	625902	25
5	4549612	625510	111	17	4549678	625504	110	29	4550026	625950	25
6	4549653	625857	59	18	4549696	625477	111	30	4550036	625934	35
7	4549501	625609	96	19	4549547	625578	79	31	4550028	625963	35
8	4549450	625608	93	20	4549485	625567	90	32	4549967	625969	15
9	4549591	625690	89	21	4549891	626004	44	33	4549966	625983	25
10	4550108	625593	69	22	4549839	625882	50	34	4549993	625996	35
11	4549576	625580	66	23	4549814	625971	59	35	4549902	625949	15
12	4549717	625419	116	24	4549858	626031	40				

Çizelge 6. Atım noktası koordinatları.

Atım No.	Atım Noktası Koordinatları			Atım No.	Atım Noktası Koordinatları		
	Y	X	Z		Y	X	Z
1	4549653	625764	40	8	4550032	625961	35
2	4549827	625574	30	9	4549980	626011	45
3	4549602	625618	52	10	4550102	625763	35
4	4549740	625579	37	11	4549988	625935	15
5	4549669	625606	52	12	4549990	625920	15
6	4549923	625945	15	13	4550212	625732	65
7	4550023	625932	35	14	4550222	625742	65



Şekil 3. Atım ve istasyon noktalarının genel görünüşü.

Bu çalışma kapsamında sahanın farklı bölgelerinden ve farklı tarihlerde yapılan 14 adet atıma ait toplam 102 adet titreşim verisi mesafe ve şarjlarına göre 8 gruba ayrılmıştır. Elde edilen verilerde yapılan incelemeye göre gecikme başına şarj değeri tüm atımlarda 20-30 kg ve 50-60 kg arasındadır, gruplama yapılırken bu değerler dikkate alınmıştır. Ayrıca mesafe için 0-100 m, 100-200 m, 200-300 m ve 300-500 m'deki atımlar gruplandırılmıştır. Gruplandırılan atım parametreleri kullanılarak Çizelge 3'de verilen denklemler ile *PPV* tahmini yapılmış, ölçülen değerler ile her denklem için yapılan tahminlerin arasındaki mutlak farkları hesaplanmış ve her denklem için elde edilen farkların ortalamaları alınmıştır (Çizelge 7). Bu bilgiler ışığında, farklı mesafe ve şarj bilgilerine göre 8 ayrı grup oluşturulmuştur. Tahmin farkı ortalaması aşağıdaki eşitlikte ifade edilen şekilde hesaplanmıştır.

$$\sum_1^n \frac{PPVm-PPVp}{n} \tag{2}$$

Burada *PPVm*, test atımlarında ölçülen PPV değeri, *PPVp*, her bir denklem ile hesaplanan PPV değeri, *n*, belirlenen mesafe ve şarj grubundaki veri sayısıdır.

Çizelge 7. Farklı mesafe gruplarına göre hesaplanan tahmin farkı ortalamaları.

Tanım	Gerçek değerler ile tahmin değerleri arasındaki farkın ortalaması										
	Eş.1	Eş.2	Eş.3	Eş.4	Eş.5	Eş.6	Eş.7	Eş.8	Eş.9	Eş.10	Eş.11
0-100 m / 20-30 kg şarj	10.1	9.2	23.6	12.7	9.4	11.1	10.7	9.6	16.4	12.3	22.8
0-100 m / 50-60 kg şarj	31.8	41.5	23.7	25.4	39.4	27.7	75.5	82.8	28.2	28.0	19.0
100-200 m / 20-30 kg şarj	2.7	2.7	3.2	2.7	2.7	2.7	3.3	3.0	3.3	2.7	4.3
100-200 m / 50-60 kg şarj	5.5	5.7	3.7	4.7	5.3	5.3	3.1	4.6	3.2	4.6	4.7
200-300 m / 20-30 kg şarj	1.8	1.7	1.9	1.9	1.9	1.8	2.7	2.4	2.5	1.9	3.1
200-300 m / 50-60 kg şarj	2.7	2.7	1.9	2.4	2.6	2.7	1.7	1.9	1.7	2.3	2.5
300-500 m / 20-30 kg şarj	1.5	1.4	1.4	1.5	1.5	1.4	1.8	1.6	1.7	1.5	2.0
300-500 m / 50-60 kg şarj	1.4	1.2	1.8	1.2	1.1	1.4	0.5	0.6	0.5	1.1	0.6

Çizelge 7 incelendiğinde, 300-500 m mesafede 50-60 kg şarj için en iyi tahmin yapan denklemler 7. ve 9. denklemler iken aynı mesafede 20-30 kg şarj için en iyi tahmin yapan denklemler 2., 3. ve 5. denklemlerdir. Yakın mesafede gerçek değerden sapma oranlarının yüksek çıkmasının nedeni ölçülen titreşim değerlerinin yüksek olmasıdır. Yapılan bu değerlendirme sonucunda, farklı mesafe ve şarj koşullarında farklı doğrulukta sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

3 TARTIŞMA VE SONUÇ

Denklemlerin tahmin hattı dışındaki bir koşulda çözüm aranırken en yakın sonucu verecek denklemin belirlenmesi için, elde edilen bu 8 tahmin farkı ortalama verilerinin yanı sıra karar verici olarak r^2, her yıl ocak çukurunun derinleşmesi göz önünde bulundurularak verilerin toplandığı yıl ve veri sayısı değerlendirilmeye tabi tutulmuştur.

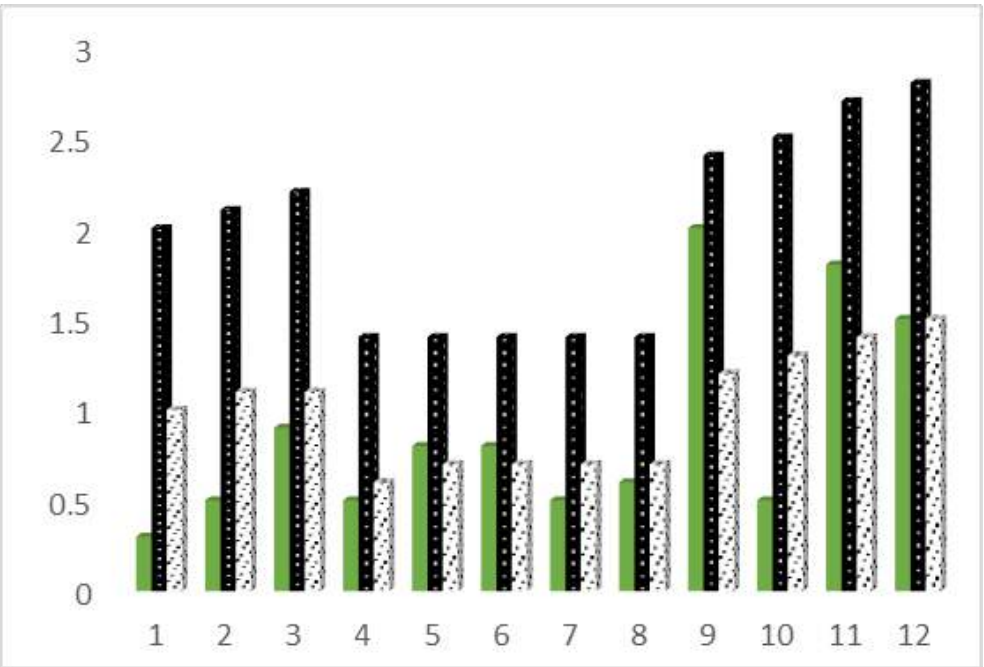
Bu kriterlerin çoğunluğunu sağlayan denklem olarak 11 no'lu denklem seçilmiştir. Belirlenen mesafe için seçilen denklemin test verileriyle elde edilen tahmin denkleminden daha iyi sonuç

verdiği görülmüştür (şarj miktarı arttığında ya da farklı bir mesafedeki hasar belirlenmek istendiğinde seçilmesi gereken denklemi belirleyecek yöntem tanıtılmıştır). 300 m mesafe ve 30-60 kg şarj aralığında test verilerinde ölçülen PPV değerleri, test verilerinden elde edilen tahmin denklemiyle hesaplanan PPV değerleri ve elde edilen tahmin denklemiyle hesaplanan PPV değerleri Çizelge 8'de sunulmaktadır.

Çizelge 8'deki verilerin histogram grafiği halinde sunumu Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4'de Yeşil renkli çubuklar test verilerini, Siyah renkli çubuklar test verilerinden elde edilen tahmin denklemiyle hesaplanan PPV değerlerini ve beyaz renkli çubuklar önerilen tahmin denklemiyle hesaplanan PPV değerlerini göstermektedir.

Çizelge 8. Test edilen ve tahmin edilen PPV değerleri.

Test Verilerindeki PPV Değerleri	Gecikme Başına Şarj Miktarı	Mesafe	Test Verileri ile Elde Edilen Denklemin Tahmin Değerleri	Önerilen Denklemin Tahmin Değerleri
0.3	58.8	371.6	2.0	1.0
0.5	58.8	362.5	2.1	1.1
0.9	58.8	356.1	2.2	1.1
0.5	30.0	353.9	1.4	0.6
0.8	30.0	345.0	1.4	0.7
0.8	30.0	344.5	1.4	0.7
0.5	30.0	344.3	1.4	0.7
0.6	30.0	343.3	1.4	0.7
2.0	58.8	330.2	2.4	1.2
0.5	58.8	320.4	2.5	1.3
1.8	61.0	306.7	2.7	1.4
1.5	58.8	292.2	2.8	1.5



Şekil 4. Test verileri, test verilerinden elde edilen ve önerilen denklemin tahmin sonuçları.

Uzak mesafede hasar görme riski olan bina göz önünde bulundurulduğundan uzak mesafede en doğru tahmin yapan (tahminde hata oranı en düşük olan) denklem grubuna en yüksek puan verilmiştir. Daha sonraki uygulayıcı bu akışı örnek alarak kendi önem derecesini kendi belirleyebilir.

Geçmiş yıllarda oluşturulmuş denklemler incelendiğinde, malzeme yorulması göz önüne alınacak şekilde yıllara göre inceleme yapılmış ancak ilerleyen yıllara göre belirgin bir eğilim yakalanamamıştır. Ancak ocak geometrisi değiştiği için denklem yılının önem derecesi olduğu kanısına varılmıştır.

Hasar tahmininde bulunacak araştırmacıların değerlendirebileceği bazı öneriler aşağıda sıralanmıştır:

- Yönlere göre analiz yapılmalı,
- Saha farklı jeolojik birimlere ayrılmalı, basamaklarla ve jeolojik birimlerle ve süreksizlik yapılarıyla ilişkilendirilmeli,
- Bir saha için oluşturulmuş saha sarsıntı yayılım denkleminin her atım için güvenilirliği olmadığı bilinmeli, uygun yöntemlerle analiz yapılmalı,
- Her atım için hasar riskinden endişe edilen bölgelerde sürekli kayıt alınmalı,
- Inelastik davranış gösterebilecek atım noktasına yakın bölgede bulunan zonlar ayrı değerlendirmelidir.

Geçmiş yıllarda oluşturulmuş denklemler incelendiğinde, Malzeme yorulması gözönüne alınacak şekilde yıllara göre inceleme yapılmış ancak ilerleyen yıllara göre belirgin bir trend yakalanamamıştır. Ancak ocak geometrisi değiştiği için denklem yılının önem derecesi olduğu kanısına varılmıştır.

KAYNAKLAR

Adıgüzel D (2009) "Çatalca Yöresi Akyol Taş Ocağında Patlatmadan Kaynaklanan Titreşim Etkilerinin Araştırılması", Master Thesis, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Adiguzel D (2012) Determination of Optimal Aggregate Blending with Linear Programming in Concrete Production (PhD thesis) İstanbul University, Institute of Sciences.

Ambraseys NR Hendron AJ (1968) Dynamic Behaviour of Rock Masses, in: Rock Mechanics in Engineering Practice, Editors: Stagg KG, Zienkiewicz OC, John Wiley and Sons, London, 203-207.

Dalgıç, S., Özer, Ü., "Akyol Mıcır ve Mermer San. Tic. A.Ş. ye Ait Muratbey Kalker Ocağında Meydana Gelen Heyelanın Jeolojik -Jeoteknik Özelliklerine Ait Rapor", İ.Ü. Mühendislik Fakültesi, (2009).

Dowding CH (1985) Blast Vibration Monitoring and Control, Prentice-Hall, USA.

Faramarzi F, Ebrahimi Farsangi MA, Mansouri H (2014) Simultaneous Investigation of Blast Induced Ground Vibration and Airblast Effects on Safety Level of Structures and Human in Surface blasting. International Journal of Mining Science and Technology.

Ghosh A, Daemen JJK (1983) A Simple New Blast Vibration Predictor (Based on Wave Propagation Laws), 24. U.S. Symp. on Rock Mechanics, June, 151-161.

Gupta RN, Roy PP, Singh B (1988) On a Blast Induced Blast Vibration Predictor for Efficient Blasting, Safety in Mines Research Proceedings of The 22nd International Conference of Safety in Mines Research Institutes, Editor:Dai Guoquan.

JİMENO, C.L., Jimeno, E.L., Carcedo, F.J.A., Translated by Ramiro, Y.V., "Drilling and Blasting of Rocks", A.A., Balkema Publishers, Brookfield, ISBN: 90 5410 1977, Rotterdam Pp 390, (1995)

Kalayci Ü (2011) The Investigation of Relationship Between Spending Useful Energy in Blasting with the Efficiency of Blasting, İstanbul University, Institute of Sciences, Master Thesis.

Kahriman A., Tuncer G., Görgün S., Karadoğan A., Özdemir K, (2003) "Evaluation of The Ground Vibration Attenuation Produced From Blasting for the Different Rock Masses", Twenty-Ninth Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, ABD, 02-05, vol.1, pp.193-201

Kahriman 2007, Maden ve Taşocaklarında Kaya Patlatma Tekniği Seminer Notu.

Karadoğan A, (2008) Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimler İçin Ulusal Yapı Hasar Kriterleri Oluşturulabilirliğinin Araştırılması (PhD thesis) İstanbul University, Institute of Sciences.

Karadoğan A., Kahriman A., Özer Ü (2009) "The Analysis of Blast-Induced Ground Vibrations for Different Rock Units", 9th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference & Expo: Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM 2009, Bulgaria, 14-19 pp.481-494

Nicholls HR, Johnson CF, Duvall, WL (1971) Blasting Vibrations and Their Effects on Structure, United States Department of Interior, USBM, Bulletin 656.

Özer Ü., Kahriman A., Karadoğan A., Kaya E., Açıkel G., Biçer S, (2008) "The Investigation of Ground Vibration Measurements at an Agregate Quarry in Istanbul-Turkey", 8th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference & Expo: Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM, Bulgaria, 15-21 vol.1, pp.253-265.

Özer Ü., Aksoy M., Adigüzel D., Karadoğan A., Kahriman A., Özden H., Kara Y, (2009), "A Study of Investigating the Relationship Between Blast Fragmentation and Ground Vibrations Induced by Blasting", ” 9th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference & Expo: Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, Bulgaria, vol.1, pp.333-340.

Özer Ü., Aksoy M., Karadoğan A., Kalayci Ü., Adıgüzel D. (2010), "The Relationship Between Ground Vibration, Particle Size and Seismic Energy Caused by Blasting", 9th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference & Expo: Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM 2010, BULGARISTAN, vol.1, pp.575-582.

5 Eylül 2012 Afyonkarahisar Mühimmat Deposu Patlamasının Sismik-Akustik Kayıtlar Kullanılarak İrdelenmesi

An Investigation of 5th September 2012 Afyonkarahisar Ammunition Depot Explosion by Using Seismic-Acoustic Records

F. Kuran
İnşaat Yüksek Mühendisi, Vakıflar Genel Müdürlüğü, Ankara

S. Polat
Kimya Mühendisi, Mühimmat ve Patlayıcı Uzmanı, Adli Bilirkişi, Ankara

ÖZET Afyonkarahisar'da çoğunluklu olarak el bombalarının bulunduğu askeri mühimmat deposunda, 5 Eylül 2012 tarihinde, resmi açıklamalara göre yerel saat ile 21.15 sıralarında patlama meydana gelmiştir. Patlamada 25 asker şehit olmuştur. Gelişen teknoloji ve sanayiye bağlı olarak dünyada sıklıkla kontrollü olarak yapılan maden ocağı patlatmalarının yanı sıra, petrol-doğalgaz borularında, kimyasal ve patlayıcı madde üreten fabrikalarda, askeri mühimmat depolarında kontrolsüz büyük patlamalar meydana gelmektedir. Yine, Amerika Birleşik Devletleri'nde New Mexico'da ilk nükleer denemenin yapıldığı 1945 yılından günümüze çok sayıda askeri amaçlı nükleer bomba denemeleri yapılmıştır. Kimyasal ve nükleer kaynaklı büyük patlamalar sonucunda yer kabuğunda titreşimler olmakta ve yapay depremler meydana gelmektedir. Dünyada çeşitli araştırmacılar tarafından insan kaynaklı meydana gelen büyük patlamalar, uçak kazaları ve büyük bombalı terör saldırıları sismik kayıtlar kullanılarak incelenmiştir. Afyonkarahisar'da ve ülkemizde meydana gelen bu tür patlamalarda bilimsel olarak konunun incelenmesi ve sismik kayıtlarla değerlendirilmesi yapılmamaktadır. Bu çalışmada, Afyonkarahisar'da meydana gelen mühimmat deposu patlamasına ait sismograf kayıtlarından elde edilen yer hareketi ve akustik titreşimler kullanılarak; patlamanın tam olarak zamanı, coğrafi konumu, kaç kez patlama olduğu, infilak eden mühimmatın TNT eşdeğeri miktarı hesaplanmaktadır. Sismik kayıtlardan elde edilen bu bilgiler, acil durum yönetiminde ve kriz planlamasında son derece yararlı olabilmektedir. Yine sismik kayıtlardan elde edilecek bu bilgilerin adli ve idari soruşturmalar açısından da çok faydalı olacağı düşünülmektedir.

ABSTRACT An explosion occurred at the military ammunition depot in Afyonkarahisar, containing mostly hand grenades on September 5th 2012 at local time21:15 according to the official reports. 25 soldiers died at the explosion. Besides the controlled explosions in mines carried out according to the latest technological and industrial developments, uncontrolled explosions take place in petroleum and natural gas pipelines, in factories producing chemicals and explosives, in military ammunition depots. Starting form1945 in United States, numerous nuclear explosion with military purposes had been carried out. Large explosions of chemical and nuclear sources create vibrations in the earth's crust and artificial earthquakes are created. Various researchers in the world studied the large explosions, aircraft accidents, and large scale explosions of terrorist purposes using seismic records. In this study by using the seismic records of the ammunition depot explosion of Afyonkarahisar ground motion records and acoustic vibrations, the origin time of the explosion, geographical location, the number of explosions, TNT equivalent of the exploded material is calculated. These information derived from the seismic records could be useful in case of emergency state management and crisis planning. Besides the data derived from seismic records could be used in administrative and criminal investigations.

1 GİRİŞ

İnsan kaynaklı oluşan patlamalar, depremlere benzer titreşimlerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu yer sarsıntıları yapay deprem olarak adlandırılmaktadır. Özellikle soğuk savaş döneminde nükleer denemeler sismograf kayıtları ile takip edilmiş, deney yerleri ve nükleer testin büyüklüğü diğer ülkeler tarafından belirlenmiştir. Sismik kayıtlar nükleer testlerin izlenmesi yanı sıra, bombalı terörist saldırıları, maden kazaları, uçak kazaları, yakıt boru hattı patlamaları, yakıt deposu patlamaları gibi, günümüze kadar birçok sıra dışı ve toplumsal etkisi büyük olan olaylarda kullanılmıştır. 1995 yılında ABD'nin Oklahoma Federal Hükümet Binası'na düzenlenen bombalı saldırı, 1998'de El Kaide terör örgütü tarafından A.B.D'nin Kenya-Nairobi Büyükelçiliği Binası'na düzenlenen bombalı saldırı, 2000 yılında Rus Nükleer Denizaltısı Kursk gemisinin Barents Denizi'nde patlaması ve batması, ABD'de New Mexsico-Carlsbad doğal gaz boru hattı patlaması, 2004 yılında İngiltere Buncefield kentindeki yakıt deposu patlaması, 1988 yılında Pan Am Havayollarının 103 Sefer Nolu Uçağına İskoçya Lockerbie üzerinde bombalı saldırı, 2010 yılında Güney Kore'ye ait korvetin patlaması ve batması, 2007 yılında Slovakya Novaky mühimmat fabrikası patlaması, 11 Eylül 2001'de El Kaide terör örgütünün New York Dünya Ticaret Merkezi'ne yolcu uçaklarıyla saldırısı sismograf kayıtlarının kullanıldığı önemli olaylardan bazılarıdır.

Bu olaylarda bazen saldırı veya kazanın zamanı çok önemli olurken bazı olaylarda ise coğrafik konumu daha önemli olabilmektedir. Örneğin Lockerbie olayında sismograf kayıtlarından uçağın düştüğü yer 300 metre hassasiyetle hesaplanabilmiştir (Reynolds 2011).

1.1 Adli Sismoloji (Forensic Seismology)

Adli Sismoloji (Forensic Seismology) kavramı nükleer bomba denemelerinin, kontrolsüz olarak meydana gelen patlamaların (kaza veya terörist saldırılar gibi) sismoloji bilim dalının kullanılarak araştırılması ve incelenmesidir. İnsan kaynaklı oluşan patlamalar, depremlere benzer titreşimlerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu titreşimler depremlerin izlenmesinde kullanılan sismograf cihazları ile kayıt edilebilmekte ve bu kayıtlara göre yukarıda bahsedilen olaylarda olduğu gibi, olayın meydana geliş zamanı, koordinat bazında tam olarak yeri, kaç kez patlama olduğu ve açığa çıkan enerjinin büyüklüğü tespit edilebilmektedir.

Adli sismolojinin ilgi alanına giren insan kaynaklı sismik hareketler nükleer silah testleri, uçak düşmesi, kimyasal patlamalar, meteor düşmesi vb. olarak sıralanabilir. Kimyasal patlamaların alt başlıklarını oluşturan terör saldırıları, endüstriyel kazalar ve maden kazalarıdır. Maden ocaklarında yapılan kontrollü patlatmaların çevreye verdiği zararlar konusu maden şirketlerinin önemli sorunlarındandır. Bu konuda yapılan kontrollü patlatmalar sonucu oluşan sismik ve hava hareketleri maden sahasında kurulan sismik sensörler tarafından kayıt altına alınmaktadır. Sensörlerden alınan veriler ile yapılan hesaplamalarla çevreye verilen zararı en aza indirgeyebilecek tedbirler alınabilmektedir. Madenlerde yapılan hesaplamalarda, genellikle anfo kullanıldığı için, bu patlayıcı üzerinden hesaplamalar yapılmaktadır. Kazalarda veya terör saldırılarında, patlayıcıların türlerine göre patlama sonucu açığa çıkardıkları enerji de farklı olduğu için tek patlayıcı türüne indirgenerek patlayıcı miktarları hesaplanmaktadır. Adli sismoloji hesaplamalarında TNT eşdeğeri patlayıcı miktarı baz alınmaktadır. 1 kg anfonun TNT eşdeğer ağırlığı yaklaşık 0.85 kg'dır.

2 5 EYLÜL 2012 AFYONKARAHİSAR MÜHİMMAT DEPOSU PATLAMASI VE PATLAMAYA AİT SİSMİK-AKUSTİK KAYITLAR

Afyonkarahisar'da 05.09.2012 tarihinde askeri mühimmat deposunda patlama meydana gelmiş ve 25 asker şehit olmuştur. Yine aynı gün içerisinde ülkemizde meydana gelen depremlerin

izlendiği Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem Dairesi web sitesinde, saat 21:07:55,53'de Afyonkarahisar merkezli lokal magnitüt büyüklüğü M_L:2.1 olan bir depremin olduğu yayınlanmıştır. Deprem çözümünde 4 sismograf istasyonu dikkate alınmıştır. Bu sismograf istasyonları; Afyon-Bolvadin (BLV), Afyon Kızılören (KZIL), Isparta-Eğirdir (BAGO), Uşak-Karahanlı (KHAL) istasyonlarıdır (Şekil 1).

Çizelge-1. Afyonkarahisar Merkez Deprem Bilgileri (www.deprem.gov.tr)

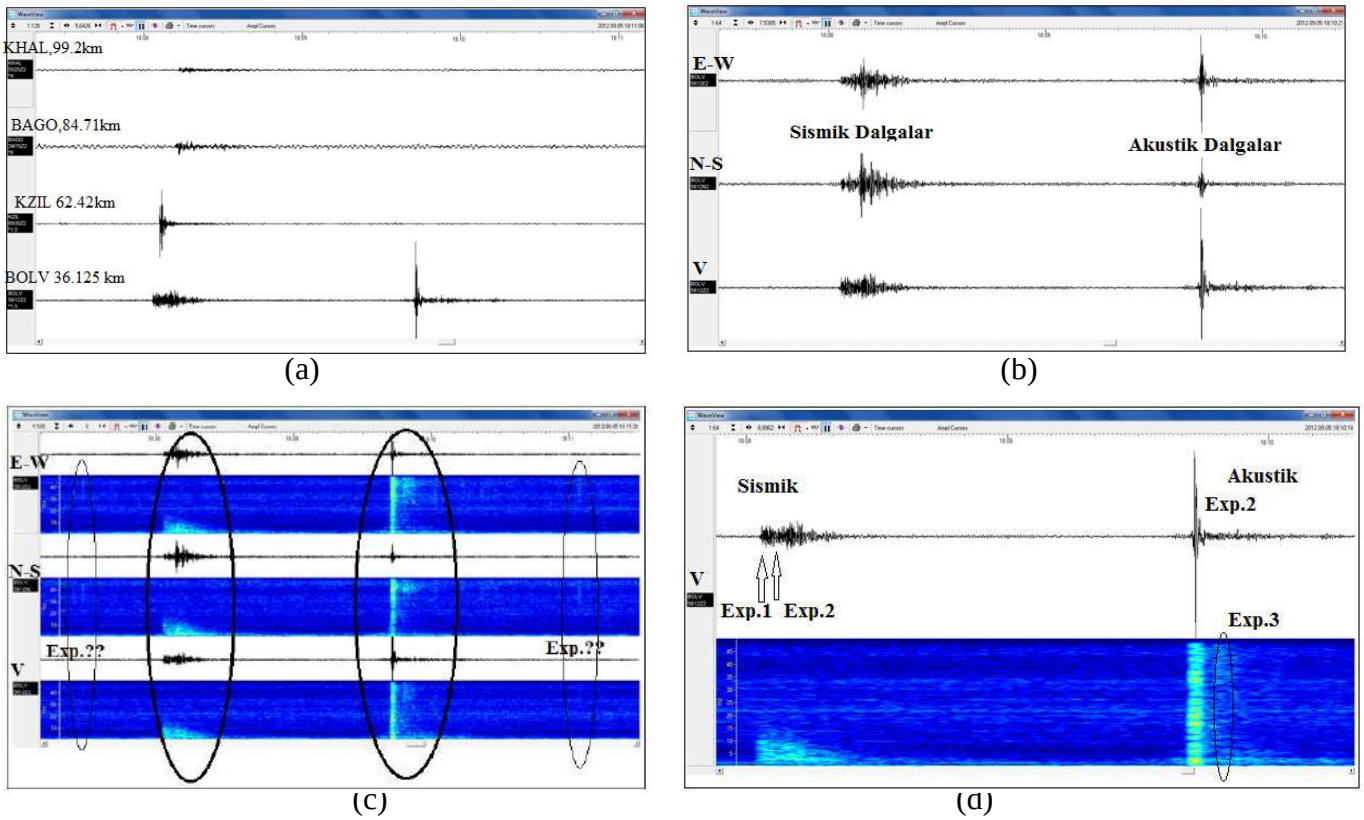
Zaman	Saat (TS)	Enlem	Boylam	Yer	Derinlik	Büyüklük (M_L)
05.09.2012	21:07:55.53	38.7585	30.4962	Merkez-Afyon	7.00 (km)	2.1

Şekil 1. Patlama Yeri ve Sismik İstasyonların Coğrafik Konumları

Deprem merkezi ile patlama yeri arasında 5.2 km. kadar bir fark bulunmaktadır. Lokal magnitüt büyüklüğü M_L:2.1 olan bir depremin patlama yerine ne kadar yakın olursa olsun, yapıda veya insanlarda bir etkisi olması mümkün değildir. Bu büyüklükteki depremi insanların hissetmesi dahi çok zordur. Dolayısı ile deprem sonucunda ortaya bir kıvılcım çıkması, insanların dengesini bozması, yapıda veya yapı tesisatında bir hasara neden olması da söz konusu değildir. Kayıtların incelenmesi sonucunda anılan saatte meydana gelen depremin, mühimmat deposundaki patlama sonucu oluşan yapay deprem olduğu görülmektedir. Yapay depremin magnitüt büyüklüğü sismik kayıtların yeniden değerlendirilmesi sonucu M_L=2.23 olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda Şekil 1'de verilen sismik istasyonlara ilave olarak Burdur-BRDR (121.7 km.) ve Kadınhanı-KDHN (139.6 km) istasyonları da dikkate alınmıştır. Yapay depremin oluş zamanı, patlama yeri ile sismograf istasyonları arasındaki gerçek mesafeler de dikkate alınarak, P ve S dalgalarının varış zamanına göre yapılan çözümde, yerel saat ile 21:07:55.95±1.0 olarak hesaplanmıştır. Resmi açıklamalarda ise patlamanın tam oluş zamanı bilinmemekte ve 21:15 sıralarında olduğu ifade edilmektedir.

Afyonkarahisar'daki patlamada olduğu gibi, yüzeyde meydana gelen büyük patlamalarda, sismograf cihazları sismik dalgaların yanısıra akustik (ses) dalgalarını da kaydebilmektedir (Koper vd. 1999, 2002, Gitterman ve Hofstetter 2012, Gitterman 2013, Kristekova vd. 2008, Evers vd. 2007). Kayıtlardan görüleceği üzere, yalnızca patlama merkezine 36.125 km uzaklıktaki BOLV istasyonunun her üç bileşeninde akustik dalgaların kaydedildiği görülmektedir (Şekil 2-a). Diğer istasyonların göreli olarak daha uzak olmasının yanı sıra, patlamanın olduğu bölgenin ve istasyonun bulunduğu yerin coğrafi koşulları ve sıcaklık-rüzgar durumuna göre aynı mesafede fakat farklı yönlerdeki istasyonlarda akustik dalgalar oluşmayabilmektedir (Gitterman ve Hofstetter 2012). Akustik dalgaların süresi patlamaya göre çok kısa olmasına karşılık, yüzey patlamalarında genliği sismik dalgalara göre daha büyük

olmaktadır. Afyonkarahisar'daki mühimmat deposunda da gözlenen bu durum, patlama ile oluşan enerjinin büyük bir çoğunluğunun atmosfere yayıldığını, sismik enerjinin daha düşük olduğunu göstermektedir (Şekil 2-b).



Şekil 2 a) Patlamanın Kaydedildiği Sismograf İstasyonlarının Düşey Bileşenleri b) Bolvadin-BOLV İstasyonu Kaydının Üç Bileşeni (c) BOLV İstasyonu Kaydının Spektogram Grafikleri-Kalın elips içindekiler kesin olarak belirlenen patlamalar, ince elips içindekiler muhtemel patlamalar (d) BOLV İstasyonu Düşey Bileşeni Spektogram Grafiği

BOLV istasyonuna ilk P dalgası 21:08:03.16'da gelmiştir. Akustik dalgalar ise bu istasyona ilk P dalgasının ulaşmasından 99.63 sn sonra 21:09:42.79'da gelmiştir. Akustik dalgaların havadaki hızı şok dalgası ile birlikte artmakta, daha sonra elastik davranış ile birlikte hava sıcaklığına bağlı olan hızına kadar azalmaktadır (Koper vd. 2002). Patlamanın olduğu saat diliminde Afyonkarahisar'daki sıcaklık 22.5^{0}C, rüzgar güney yönünde ve hızı 0.9 m/sn kadardır. Ses dalgalarının atmosferdeki hızı, ortamın sıcaklığına bağlı olarak değişmekte ve söz konusu sıcaklıkta hava şoku (airblast) etkisinin olmadığı durumda 344.8 m/sn olmaktadır. Rüzgar hızı çok düşük olduğundan akustik dalgaların hızında etkisi ihmal edilebilecek düzeydedir. Sismik istasyona olan mesafe ve hava şokunun olmadığı durumdaki akustik dalga hızı dikkate alındığında akustik dalganın BOLV sismografına 104.77 sn kadar sonra ulaşması gerekmektedir. Hava şoku etkisi ile bu süre daha da kısalacaktır. Bu durumda akustik dalganın ortaya çıkma zamanı diğer bir ifade ile patlama zamanı 21:07:58.02±1.0'e karşı gelmektedir. Sismik dalgaların analizinden ise patlama zamanı 2.07 saniye daha erken 21:07:55.95±1.0 olarak hesaplanmıştır. Zamandaki bu fark en az 2.07 saniye aralıklı iki ayrı patlama meydana geldiğini göstermektedir. Exp.1 olarak kodlanan ve 21:07:55.95±1.0'de meydana gelen ilk patlama, patlama yerine en yakın 4 sismik istasyonda yalnızca sismik dalgalar üretmiş iken, bu patlamadan en az 2.07 saniye sonra 21:07:58.02±1.0'de olan ikinci patlama (Exp.2) ise tüm istasyonlarda sismik dalgaların yanı sıra patlama yerine en yakın istasyon olan BOLV sismik istasyonunda akustik dalgalar da üretmiştir. Bu nedenle ilk patlamanın ikinciye oranla daha

küçük ve aşağı yönlü bir patlama olduğu düşünülmektedir. Exp.2 olarak kodlanan ikinci patlama ise ilk patlamaya göre daha büyüktür ve patlama yönü yukarıya doğrudur.

Diğer bir soru ise her iki ayrı patlamada mühimmatlar eşzamanlı olarak olarak mı infilak etmiştir yoksa milisaniye mertebesinde gecikmeli olarak mı infilak etmiştir? Milisaniye mertebesinde gecikmeli patlamalarda, birden çok patlama olup olmadığı sismik dalgaların zaman ortamında analizi ile bulunması çoğu durumda mümkün olmamaktadır. Bu nedenle patlama kaydının zaman ve frekans ortamında analizi yapılarak spektogram grafikleri çıkarılmıştır. Frekans-zaman ortamında analiz ile Slovakya'da Novaky Mühimmat Fabrikası'nda meydana gelen patlama sayısı Kristekova vd. (2008) tarafından belirlenebilmiştir. Sismik dalgaların spektogram grafiğinde deniz kabuğu şeklinde girinti-çıkıntılar (scalloping) görülmektedir. Benzer durum akustik kayıtların zaman-frekans analizinde daha belirgindir. Bu davranış biçimi milisaniye mertebesinde gecikmeli patlamalarda gözlenen bir durumdur (Leach ve Dowla 1995). Bu çalışmada gecikmeli patlama adedi belirlenememiş olmasına rağmen Exp.1 ve Exp.2 olarak adlandırılan her iki patlamanın milisaniye mertebesinde gecikmeli patlama olduğu düşünülmektedir (Şekil 2-d).

Çizelge 2. Sismik ve Akustik Dalgalardan Kesin Olarak Belirlenen Patlamalar

Patlama No:	**Kesin Olarak Belirlenenler**
Exp.1	21:07:55.95±1.0 (İkinci Büyük Patlama-aşağı yönlü)
Exp.2	21:07:58.02±1.0 (En Büyük Patlama-yukarı yönlü)
Exp.3	21:08:03.03±1.0 (En Büyük Patlama Sonrası Göreli Olarak Küçük-Yukarı Yönlü)

Frekans-zaman ortamındaki spektogram grafiklerinin sismik kayıt öncesi ve sonrasına bakıldığında 21:07:27.53-21:09:47.80 - 21:11:03.72 - 21:14:14.99 - 21:15:29.52 - 21:17:59.10 ve 21:20:27.90 zamanlarında yüksek frekanslı ve çok kısa süreli genlik artışları görülmektedir (Şekil 2-c,d). Sürenin kısa ve yüksek frekanslı olması bunların akustik titreşimlere bağlı olduğunu düşündürmektedir. Frekans-zaman ortamındaki bu genlik artışlarının, enerjinin büyük kısmının atmosfere yayıldığı, patlama yönü yukarı doğru olan ve Exp. 1 ve Exp.2 kodlu patlamaya göre çok küçük patlamalar kaynaklı olması muhtemeldir. Akustik dalgaların seyahat süresi baz alındığında patlama zamanları sırası ile 21:05:42.76 - 21:08:03.03 - 21:09:18.95 - 21:12:30.22 - 21:13:44.75 - 21:16:14.33 ve 21:18:43.13 olmaktadır. Bu durumda ilk küçük patlama yerel saat ile 21:05:42.76'da, diğer bir ifade ile Exp. 1 olarak kodlanan patlamadan 135,05 saniye önce meydana gelmiş olması muhtemeldir. Ancak kayıtlardaki sinyal/gürültü oranının çok düşük olması nedeniyle 21:08:03.03 haricindeki bu anomalilerin kesin olarak patlamaya ait olduğu söylenememektedir.

3 SİSMİK VE AKUSTİK KAYITLAR KULLANILARAK PATLAYICI MİKTARININ BELİRLENMESİ

Özellikle son yıllarda büyük endüstriyel kazaların ve büyük ölçekli terör saldırılarının artması nedeniyle yüzey patlamalarında patlamanın büyüklüğünü ve infilak eden patlayıcı miktarını belirlemeye yönelik çalışmalar önem kazanmıştır. Bu konu hakkında son 10 yıldır özellikle Amerika Birleşik Devletleri ve İsrail tarafından deneysel çalışmaları da içeren kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda patlayıcı miktarını belirlemeye

yönelik kullanılan bazı parametreler hakkında aşağıda kısa bilgiler verilmektedir. Bu parametrelere göre Afyonkarahisar Mühimmat Deposu'nda infilak eden mühimmatın büyüklüğü hesaplanmıştır.

3.1 Yapay Depremin Magnitüt Büyüklüğü Parametresi

Patlama sonrası ölçülen magnitüt değeri ile patlayıcı miktarı arasındaki ilişki, patlamanın su altında, karada, yada havada olmasına göre büyük değişkenlik göstermektedir. Denizlerde meydana gelen patlamalarda karadakilere göre daha az patlayıcı miktarı ile daha büyük sismik dalga genliği oluşmaktadır. Diğer bir ifade ile daha büyük yer sarsıntısı meydana getirmektedir (Rogers ve Koper, Gitterman vd. 2007). Karadaki patlamalarda, patlamanın yerin altında mı yoksa yüzeyde mi gerçekleştiği de son derece önemlidir. Patlamanın yüzeyde ve derinde olması, ortaya çıkan sismik enerji ile patlayan miktar arasındaki ilişkiyi değiştirmektedir (Gitterman ve Hofstetter 2012). Afyonkarahisar'daki patlama yüzeyde meydana gelmiştir. Yüzey patlamalarında enerjinin büyük bir kısmı, etrafındaki cisimlere ve şok dalgası (airblast) olarak atmosfere yayılmakta, zemine aktarılan sismik enerji azalmaktadır. Patlama, çevredeki yapılarda deformasyon, patladığı yerde ise krater oluşturmaktadır (Gitterman ve Hofstetter 2012). ABD'de Kaliforniya ve Nevada'da yüzeyde ve derinde yapılan 322 kontrollü patlatma sonucu, coda magnitüt (M_c) ile patlayıcı miktarı W (kg) arasında Denk.1'de verilen ilişki geliştirilmiştir. Kullanılan patlayıcı miktarı 25 kg ile 1 000 000 kg arasında değişmektedir. Ölçülen magnitüt büyüklükleri ise 0.5 ile 3.9 arasındadır (Brocher 2003).

$$M_C = 0.31 + 0.50\log(W) \tag{1}$$

Kuran (2014-a) tarafından yapay deprem magnitüt büyüklüğü parametresi kullanılarak Afyonkarahisar'daki patlama, Kırıkkale Hasandede Barut Fabrikası'nda 20.08.2013 tarihindeki patlama ve 04.05.2013 tarihinde İsrail tarafından Suriye'deki Şam Cemraya Askeri Araştırma Merkezi ve Mühimmat Deposu'na düzenlenen hava saldırısı sonucu oluşan patlamalar analiz edilmiş ve patlamaların zamanları ve büyüklükleri tespit edilmiştir. Yine Kuran (2014-b) tarafından Suriye'deki iç savaşında tünel kazılarak büyük miktarda bombalı saldırılar yapay deprem magnitüt parametresi kullanılarak analiz edilmiş, saldırıların zamanı ve saldırılarda kullanılan mühimmatın büyüklüğü belirlenmiştir.

3.2 İkincil Şok Dalgası Parametresi

Gitterman (2013), Gitterman ve Hofsttetter (2012) tarafından, İsrail'de Negev Çölü, Sayarim Vadisi'nde deneysel olarak yapılan büyük ölçekli yüzey patlamalarından elde edilen veriler ışığında, patlayıcı miktarını belirlemek için ikincil şok dalgası parametresi önerilmektedir. Bu kavram önceden beri bilinmesine karşılık, detaylı olarak inceleyen çok az çalışma bulunmaktadır. İlk kez bu çalışmalar ile kapsamlı olarak irdelenmiş ve patlayıcı miktarının hesaplanması amaçlı bir parametre olarak kullanılmıştır. İkincil şok dalgası, ana şokun ardından şok dalgalarının yeryüzü arasındaki etkileşimi ile oluşan ve bazen ikiden fazla olmak üzere gecikmeli olarak ve genliği azalarak atmosfere yayılan şok dalgaları olarak tanımlanmaktadır. İkincil şok dalgası gecikme zamanı, ikincil şok dalgası ile ana şok dalgasının kayıtçıya varış zaman farkı olarak tanımlanmaktadır ($\Delta t = t_{SS} - t_{MS}$). ANFO türü patlayıcı kullanılarak yapılan kontrollü patlatmalar sonucunda TNT eşdeğeri patlayıcı miktarı ile ikincil şok dalgası arasındaki ilişki;

$$Dt\left(sn/kg^{1/3}\right) = 0.0057565\log(R) + 0.0033 \quad 2 < R < 1000m\Big/kg^{\frac{1}{3}} \tag{2}$$

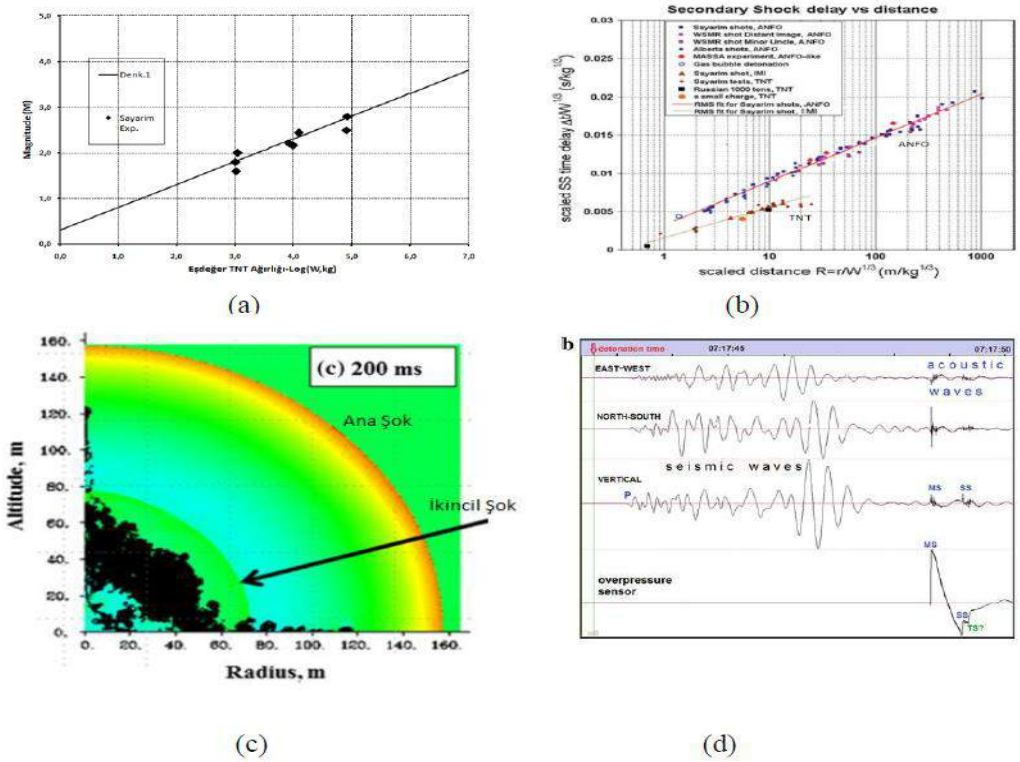
IMI (Israel Military Industries Ltd) türü yüksek patlama hızına sahip patlayıcı kullanılarak elde edilen ilişki ise

$$Dt\left(s/kg^{1/3}\right)=0.0039144\log(R)+0.0017\ 4<R<14m/kg^{\frac{1}{3}} \tag{3}$$

olarak verilmektedir. Aynı miktarda ancak yüksek patlama hızına sahip patlayıcılarda ana şok ile ikincil şok dalgası arasındaki zaman farkı azalmaktadır. Aynı tür patlayıcının kullanılması durumunda ise patlayıcı miktarının artmasına bağlı olarak ikincil şok dalgası gecikme zamanı artmaktadır. Bu denklemlerde Dt, ölçeklendirilmiş ikincil şok dalgası gecikme zamanı (s), R ölçeklendirilmiş mesafe (m) olup;

$$Dt=\Delta t/W^{\frac{1}{3}}\left(s/kg^{\frac{1}{3}}\right);R=r/W^{\frac{1}{3}}\left(m/kg^{\frac{1}{3}}\right) \tag{4}$$

olarak ifade edilmektedir. Denklem 4'de Δt ölçülen ikincil şok dalgası-ana şok dalgası varış zamanları farkı (saniye), r kayıtçı ile patlama yeri arasındaki mesafe (m), W ise patlayıcının kg biriminde TNT eşdeğeri miktarıdır. Patlama zamanının bilinmesine ihtiyaç olmaması, ikincil şok dalgalarının sismik ve akustik kayıtçılar ile kaydedilebilmesi, sıcaklık, rüzgar hızı ve yönünden etkilenmemesi ikincil şok dalgası parametresinin kullanım avantajlarıdır. Ayrıca nükleer patlamalarda ikincil şok dalgası oluşmadığından nükleer patlama ayrımı içinde bir parametre olarak kullanılabilmektedir.



Şekil-3 a)Sayarim Vadisi'nde Yapılan Yüzey Patlatmaları ve Denk.1(b) Ölçeklendirilmiş İkincil Şok Dalgası ve Ölçeklendirilmiş Mesafe İlişkisi (c) İkincil Şok Kavramı (d) Sayarim Vadisi'nde Yapılan 102 ton ANFO Patlatma Deneyine Ait Sismik ve Akustik Dalga Kaydı

3.3 Düşey Pik Genliği Parametresi

Gitterman vd. (2005, 2007) tarafından, ABD ve İsrail'in ortak olarak Negev Çölü Sayarim Vadisi'nde askeri mühimmat kullanılarak yapılan 19 adet yüzey patlatmaları sonucunda düşey pik genliği ile patlayıcı miktarı (TNT eşdeğeri) arasında ilişki geliştirilmiştir. Kullanılan mühimmatlar ANFO, TNT, Henamit ve Composition B'den oluşmaktadır. Deneylerde sismometre ve infrasound cihazları kullanılarak sismik ve düşük frekanslı ses dalgaları kaydedilmiştir. Deneylerden elde edilen Düşey Pik Hız Genliği (VPA) ilişkisi, P dalgası fazı kullanılarak, sismik kayıtçının 35 km mesafede olmasına ve VPA ile mesafe azalım ilişkisi $VPA=r^{-1.7}$ baz alınarak çıkarılmıştır (Denk 5). Bu denklemde VPA; Düşey Pik Genliği (µm/s), W (kg) TNT eşdeğeri patlayıcı ağırlığıdır.

$$VPA(\mu m/sn) = 0.0002258W^{0.918} \tag{5}$$

3.4 Akustik Şok Dalgaları Varış Zamanı Parametresi

ABD'nin Oklahoma Federal Hükümet Binasına yapılan bombalı saldırı ve El Kaide terör örgütünün Kenya Nairobi Büyükelçiliği'ne düzenledeği bombalı saldırı sonrası Koper vd. (2002) tarafından patlayıcı miktarını sismik ve akustik kayıtlar kullanılarak tespit edebilmek için New Mexico'daki White Sand Missile Range alanında büyük miktarda patlayıcılar kullanılarak deneysel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada eşdeğer TNT miktarını belirlemek için kullanılan parametrelerden birisi de akustik dalgaların kayıt istasyonuna varış zamanıdır (travel time-tt parametresi). Daha önce de belirtildiği üzere, büyük miktarda yüzey patlamalarında şok dalgası atmosfere dağılmakta ve bu şok dalgaları sismik kayıtçılar tarafından kaydedilebilmektedir. Şok dalgası hızı patlayıcı miktarına bağlı olarak artmakta, daha sonra enerji kaybederek elastik dalga hızına düşmektedir. Şok dalgasının kayıt istasyonu arasındaki ortalama hızı σ=r/tt denkleminden hesaplanmaktadır. σ ortalama şok dalgası hızı (m/s), r patlamanın istasyona olan mesafesi (m), tt şok dalgasının istasyona varış süresidir (s). Deneysel çalışma sonucu Denk.6 ile ifade edilen ilişki bulunmuştur. Bu denklemde Σ 15 ^{0}C ve 101.325 kPa atmosfer basıncına dönüştürülmüş (referans değerler) ortalama şok dalgası hızı (m/sn), R ölçeklendirilmiş mesafedir (m/kg$^{1/3}$).f_d ve f_t referans atmosferik koşullara dönüştürme parametreleri, p_{obs} rakıma bağlı olarak atmosfer basıncı, t_{obs} gözlenen sıcaklık (Kelvin), p_{ref} ve t_{ref} ise referans atmosfer basıncı ve sıcaklıktır (Kelvin).

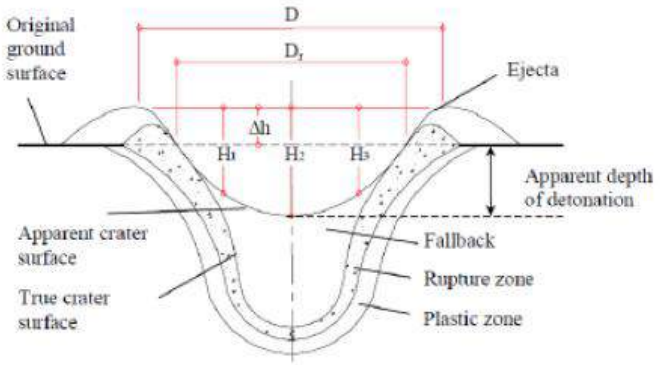
$$\Sigma = 1100R^{-1} + 340; 50 < R < 400$$
$$R = \left(\frac{f_d}{W^{1/3}}\right) r; \Sigma = \sigma_{obs}\frac{f_d}{f_t} \tag{6}$$
$$f_d = \left(\frac{p_{obs}}{p_{ref}}\right)^{1/3}\left(\frac{t_{obs}}{T_{ref}}\right)^{-1/3}; f_t = \left(\frac{p_{obs}}{p_{ref}}\right)^{1/3}\left(\frac{t_{obs}}{T_{ref}}\right)^{1/6}$$

Şok dalgası varış zamanı parametresi atmosferik şartlara (sıcaklık, rüzgar hızı ve yönü) ve bunlardaki belirsizliklere bağlı olduğundan göreli hata payı daha yüksek olmaktadır.

3.5 Krater Boyutları Parametresi

Patlayıcı miktarının belirlenmesinde diğer bir yöntem ise patlama sonucunda oluşan kraterin genişlik ve derinliğine göre belirlenmesidir. Krater boyutlarının belirlenmesi ancak kriz ortamının, patlamaların, buna bağlı olarak oluşan yangınların bitmesi ve uzmanların olay mahallinde inceleme yapabilecek sürenin geçmesinden sonra mümkün olabilmektedir. Krater boyutunu etkileyen en önemli faktörlerden birisi patlamanın yüzeyden derinliği, yüzeyde veya

yüzeye yakın belirli bir yükseklikte olup olmamasıdır. Diğer bir etken patlamanın olduğu yerin zemin yapısı ve zeminin kuru veya suya doygun oluşudur. Kumlu zeminlerde krater çapı kohezyonlu zeminlere göre daha fazla olmakta, krater derinliği ise daha az olmaktadır.



Şekil 4. Krater Geometrisi ve Tanımlaması (Ambrosini vd. 2004)

Kinney ve Graham tarafından yapılan çalışmada 200 adet yüzeyde ve yüzey üstündeki patlamalardan Denk. 7 ile verilen ilişki bulunmuştur (Gitterman ve Hofstetter 2012, Ambrosini vd. 2004).

$$D = 8W^{1/3} \tag{7}$$

Ambrosini vd. (2003) tarafından yapılan çalışmada patlayıcının zeminin hemen üstünde bulunması durumunda krater çapı ve patlayıcı arasındaki ilişki,

$$D = 4.2W^{1/3} \tag{8}$$

olarak verilmektedir. Deklem 7 ve Denklem 8'de; D: krater çapı (m) W: ton olarak patlayıcının eşdeğer TNT ağırlığıdır.

Patlamanın yüzeyden belirli bir yükseklikte olması durumunda ise Denk. 9 ile verilen ilişki bulunmuştur (Ambrosini vd. 2002). Bu denklem kullanılarak araçla yapılan terör saldırılarında patlayıcı miktarı belirlenebilmektedir. Denklemde, W kg olarak eşdeğer TNT ağırlığı, D krater çapı (m), d patlamanın yerden yüksekliğini (m) ifade etmektedir.

$$log\frac{D/2}{|d|} = 1.241xlog(\frac{W^{1/3}}{|d|}) - 0.818 \tag{9}$$

4 PATLAMADA İNFİLAK EDEN MÜHİMMAT MİKTARLARI

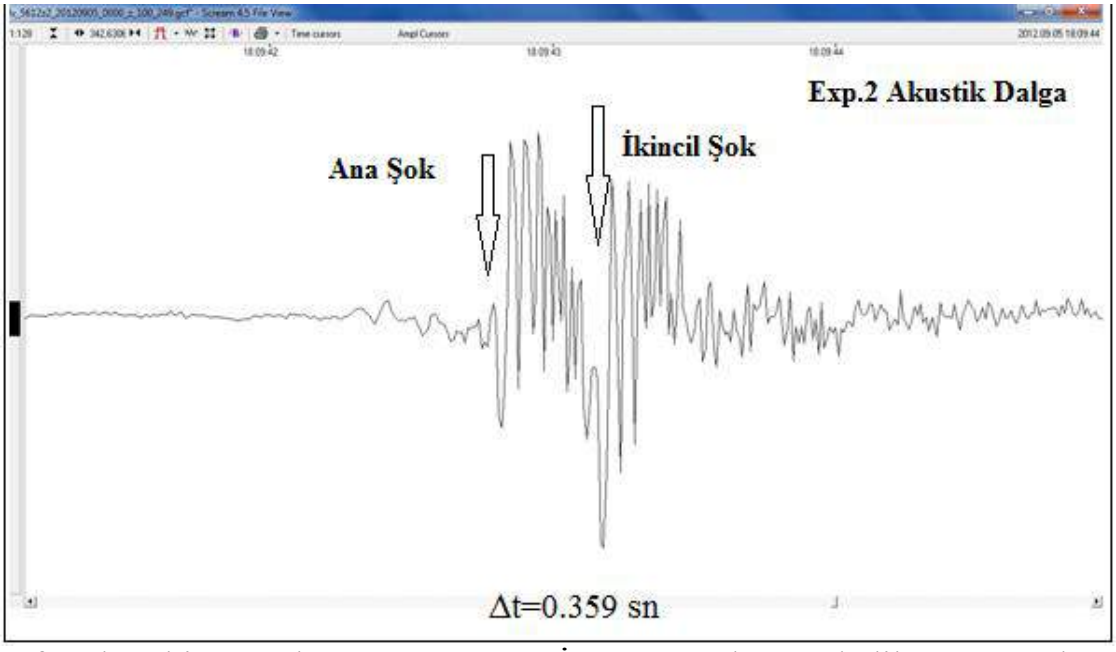
Afyonkarahisar Mühimmat Deposu Patlaması'na ait sismik kayıtlardan yapay deprem magnitüdü ve düşey pik genliği parametreleri, akustik kayıtlardan ise ikincil şok dalgası gecikme zamanı parametresi kullanılarak bu patlamada infilak eden mühimmat miktarı ayrı ayrı hesaplanmıştır. Son olarak patlama sonrası oluşan krater boyutuna bağlı olarak buna sebep olacak mühimmatın TNT eşdeğeri ağırlığı hesaplanmış ve bulunan değerler yorumlanmıştır.

Gitterman tarafından İsrail'deki Negev Çölü Sayarim Vadisi'nde yapılan kontrollü yüzey patlatmalarındaki patlayıcı miktarı ile magnitüt ilişkisi Denk.1 ile büyük uyumluluk göstermektedir. Bu deneylerdeki patlayıcı miktarları ve oluşan yapay deprem büyüklükleri Şekil 2(a)'da noktasal olarak verilmektedir. Yapay deprem magnitüt parametresi kullanılarak yapılan hesaplamada da bu denklem kullanılmıştır. Buna göre Afyonkarahisar Mühimmat

Deposu'nda meydana gelen en büyük patlamada (Exp.2) infilak eden mühimmatın TNT eşdeğeri ağırlığı 7000 kg olarak hesaplanmıştır.

BOLV sismik istasyonu ile patlama yeri arasındaki mesafe 36125 metredir. BOLV istasyonunda sismik kayıtlardan en büyük P dalgası hız genliği Exp.2 patlamasında 0.773 µm/s olarak ölçülmüştür. Exp. 1 kodlu ilk patlamadan en az 2.07 saniye sonra Exp.2 kodlu en büyük patlama meydana geldiğinden sismik dalgaların birbirine girmesi muhtemeldir. Sismik kaydın en büyük düşey hız genliği kullanılarak eşdeğer TNT miktarı 7500 kg. olarak hesaplanmıştır. İkinci patlama meydana gelmeden hemen önce, Exp.1 için sismik kayıtlardan en büyük düşey hız genliği 0.430 µm/s kullanılarak hesaplanan eşdeğer TNT miktarı ise 4000 kg olmaktadır. PVA parametresi ile hesaplanan iki patlamaya ait eşdeğer TNT miktarları, daha önce bahsediliği üzere, sismik ve akustik kayıtların değerlendirilmesinden bulunan ikinci patlamanın daha büyük bir patlama olduğunu doğrulamaktadır.

Exp.1 olarak tanımlanan ilk patlamaya ait akustik dalga istasyonlar tarafından kaydedilemediği için bu patlamaya ait ikincil şok dalgası gecikme zamanı parametresi kullanılarak hesap yapılamamıştır. En büyük patlama olan Exp.2'ye ait ikincil şok gecikme zamanı ise akustik dalgalardan Δt=0.359 sn (359 milisaniye) olarak ölçülmüştür (Şekil 5). ANFO türü patlayıcılar kullanılarak elde edilen ve Denk.2 ile verilen ilişkinin kullanılması durumunda Exp.2 kodlu patlamada TNT eşdeğeri mühimmat ağırlığı ise 4000 kg olmaktadır. IMI türü patlayıcı kullanılarak elde edilen ilişki olan Denk. 3'ün kullanılması durumunda, Exp.2 kodlu patlamada infilak eden mühimmatın TNT eşdeğeri ağırlığı 16500 kg olmaktadır. Mühimmat deposunda bulunan el bombalarının çoğunlukla TNT ve Composition B türü patlayıcı içermesinden dolayı, IMI türü patlama hızına sahip (TNT'den % 10 daha fazla) patlayıcı kullanılarak elde edilen denklemin kullanılması ile hesaplanan eşdeğer patlayıcı miktarının gerçeğe daha yakın olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5. Afyonkarahisar Patlamasının BOLV İstasyonunda Kaydedilen Ana Şok ve İkincil Şok Dalgası

Exp. 1 olarak kodlanan ilk patlamaya ait akustik dalga, istasyonlar tarafından kaydedilemediğinden akustik şok dalgası varış zamanına göre patlayıcı hesabı yapılamamıştır. Exp. 2 kodlu en büyük patlama zamanı ise, ilk patlamadan en az 2.07 sn aralıkla gerçekleşmiştir. Bu nedenle ikinci patlamaya ait şok dalgası varış zamanı tam olarak belirlenememiştir. Bu

parametre ve Denk 3 ile hesaplanan TNT miktarı kullanılarak, ikinci patlamanın oluş zamanı ilk patlamadan 2.20 saniye sonra 21:07:58:15±1.0 olarak hesaplanmıştır. Koper vd. (2002) tarafından da belirtildiği üzere bu parametrenin hassasiyeti daha düşüktür. Bu parametre patlama sayısının belirlenmesinde faydalı veriler sağlamaktadır.

Çizelge 3. Sismik ve Akustik Parametrelere Göre Hesaplanan Eşdeğer TNT Miktarları

Analiz Türü	**Kullanılan Parametre**	**Hesaplanan Eşdeğer TNT Miktarı (kg)**	
Sismik Dalga	Yapay Deprem Magnitütü (M_L=2.23)	Denk.1	7000 (Exp.2)
	Düşey Pik Genliği (VPA) Exp.1= 0.430 µm/s Exp.2=0.773 µm/s	Denk.5	4000 (Exp.1)
		Denk.5	7500 (Exp.2)
Akustik Dalga	İkincil Şok Dalgası Gecikme Zamanı ($\Delta t=t_{SS}-t_{MS}$=0.359 sn)	Denk.3	16 500 (Exp.2)

Patlayıcı miktarının belirlenmesi için kullanılan parametrelerden birisi de krater boyutudur. Patlamalar sonucu cephane binası tamamen yok olmuş, cephaneliğin sağ ön kısmında 3 metre çapında ve 2 metre derinliğinde krater oluşmuştur. Oluşan kraterin, cephane binası içi veya dışına tekabül ettiği hakkında bir bilgi bulunmamaktadır. Ancak ağırlık olarak en fazla mühimmatın bulunduğu cephanenin iç kesiminde kütlesel patlamaya rağmen herhangi bir krater oluşmamıştır. 3 metre çapında krater oluşumuna neden olabilecek TNT miktarı, zeminin kayalık olması ve cephanelik zemin kaplamasının 2 ton/m^2'ye dayanıklı olması nedeniyle, Denk.8 kullanılarak 364 kg olarak hesaplanmıştır. Cephane iç kısmında 16500 kg patlayıcının infilak etmesi halinde, aynı denklem kullanıldığında, 10.5 metre çapında krater oluşması beklenmektedir. Ancak infilak eden mühimmatın el bombası olması, dolayısıyla bu tür mühimmatların yukarı yönlü olarak infilak etmesi, patlama merkezinin zeminden yukarıda olması ve bulundukları zeminin kayalık olması nedenleri ile krater oluşmadığı düşünülmektedir. Cephane kısmının sağ ön kısmında 3 metre çapında krater oluşması, buradaki patlayıcının zeminin hemen üzerinde olduğunu ve patlama yönünün aşağı doğru olduğunu düşündürmektedir.

5 SONUÇ

Bu çalışmada çoğunlukla el bombası depolanan Afyonkarahisar Şehit Mete Saraç Kışlası 32 nolu depoda meydana gelen patlamanın sismik ve akustik kayıtlar kullanılarak tam olarak zamanı, kaç kez patlama olduğu ve infilak eden mühimmatın eşdeğer TNT ağırlığı hesaplanmıştır. Resmi makamlarca patlama zamanı tam olarak tespit edilememiş ve patlama zamanı olarak 21:15 sıraları tabiri kullanılmıştır. Sismik ve akustik kayıtlarda yapılan analizlerden Afyonkarahisar Mühimmat Deposu'nda 3 ayrı patlama kesin olarak belirlenmiştir. Sismik ve akustik kayıtlara göre Exp.1 olarak kodlanan ve göreli olarak Exp. 2 olarak isimlendirilen ikinci patlamadan daha küçük olan patlamanın 21:07:55.95±1.0'da meydana geldiği tespit edilmiştir. En büyük patlama olan Exp.2 ise bundan en az 2.07 saniye sonra 21:07:58.02±1.0'da meydana gelmiştir.

Denk. 3 kullanılarak elde edilen eşdeğer TNT miktarına göre, Denk. 6'da verilen akustik dalga varış zamanı parametresi hesaplandığında, ikinci patlama ilk patlamadan 2.20 saniye

sonra, diğer bir ifade ile yerel saat ile 21:07:58.15±1.0'da meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu büyük patlama sonrası ise frekans-zaman ortamında yapılan analizden 21:08:03.03±1.0'de Exp.1'den daha küçük olan bir patlama (Exp. 3) meydana geldiği belirlenmiştir. Exp.1 olarak isimlendirilen patlama, olay yerine en yakın 4 istasyonda yalnızca sismik dalgalar üretmiş iken, Exp. 2 isimli patlama tüm sismik istasyonlarda sismik dalgaların yanısıra, patlama yerine en yakın istasyon olan BOLV istasyonunda akustik dalgalar da üretmiştir. Bu nedenle Exp. 1 kodlu patlamanın aşağı yönlü ve Exp.2'den daha küçük bir patlama olduğu, en büyük patlama olan Exp. 2 ve bunu takip eden diğer küçük patlamanın (Exp.3) ise yukarı yönlü olduğu düşünülmektedir.

Sismik kayıtlardan elde edilen PVA parametresinden de Exp.1'in, Exp.2'ye göre daha küçük bir patlama olduğu görülmektedir. Ayrıca frekans-zaman ortamında yapılan analizlerden ve spektogram grafiklerinden Exp.1 olarak kodlanan ilk patlamadan 135,05 saniye önce diğer bir ifade ile 21:05:42.76'da bir iz daha tespit edilmiştir. Benzer izler 21:09:18.95 - 21:12:30.22 - 21:13:44.75 - 21:16:14.33 ve 21:18:43.13 olmak üzere 5 ayrı zamanda daha tespit edilmiştir. Ancak bu zamanlara ait kayıtlarda sinyal/gürültü oranının çok düşük olması nedeni ile kesin olarak patlama olup olmadığı ayrımı yapılamamıştır.

Sismik kayıtlardan elde edilen yapay deprem magnitüdü ve düşey pik genliği parametreleri kullanılarak infilak eden mühimmatın eşdeğer TNT miktarı Exp. 1 için 4000 kg ve Exp.2 için 7000-7500 kg olarak, toplamda 11500 kg TNT eşdeğeri mühimmatın infilak ettiği hesaplanmıştır.

Akustik kayıttan elde edilen ikincil şok dalgası gecikme zamanı parametresi kullanılarak Exp.2 kodlu patlamada infilak eden mühimmatın eşdeğer TNT ağırlığı 16500 kg olarak hesaplanmıştır. Exp. 1'e ait akustik kayıt bulunmadığından ikincil şok dalgası parametresi kullanılarak bu patlamaya ait hesaplama yapılamamıştır. Afyonkarahisar'daki mühimmat deposu patlamasındaki en büyük patlama olan Exp.2'nin yukarı yönlü olması, bu patlamanın sismik etkiyi azaltmak için maden ocaklarında yapılan kontrollü patlatmalarda olduğu gibi milisaniye mertebesinde gecikmeli patlamalar içermesi, enerjinin büyük kısmının sismik dalgalar yerine hava şoku (airblast) olarak atmosfere yayılması nedenleriyle, sismik parametreler kullanılarak hesaplanan eşdeğer patlayıcı miktarının daha düşük olması beklenen bir durumdur. Akustik dalgalara ait ikincil dalga gecikme zamanı parametresi kullanılarak hesaplanan eşdeğer TNT miktarının bu açıdan daha gerçekci sonuç verdiği düşünülmektedir. Bu nedenle en büyük patlama olan Exp. 2'de infilak eden mühimmatın eşdeğer TNT ağırlığı 16500 kg (16.5 ton) mertebesinde olduğu düşünülmektedir. İlk patlatmada (Exp.1) VPA parametresi ile hesaplanan miktar bu miktara eklendiğinde 20500 kg eşdeğer mühimmatın infilak ettiği söylenebilir.

Mühimmat içeriği bu çalışmada verilmemekle birlikte, depoda bulunan toplam mühimmat miktarından patlamamış mühimmat çıkarılarak, infilak eden her cins mühimmatın eşdeğer TNT içeriklerinin toplamı 16 000 kg olarak hesaplanmıştır. İnfilak eden mühimmatın eşdeğer TNT ağırlığının, akustik katıylardan elde edilen eşdeğer TNT miktarı ile uyumlu olduğu görülmektedir. El bombalarının büyük bir çoğunluğunun bulunduğu bölümde kraterin oluşmaması, bunun yerine cephane yapısının sağ giriş kısmında 3 metre çapında krater oluşması, buradaki patlamanın hemen zeminin üstünde ve aşağı yönlü olduğunu düşündürmektedir. Bu krater çapını oluşturacak eşdeğer TNT ağırlığı ise 364 kg olarak hesaplanmıştır. Mühimmatın büyük bir kısmının bulunduğu cephane iç kısmında krater oluşmamasının nedeninin, el bombalarının patlama mekanizmalarından, patlama yönünün yukarı doğru olmasından, patlama merkezinin yerden belirli bir mesafede yukarıda olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışma kapsamında açıklanan bu hesaplamalar, olayın gerçekleşmesinden çok kısa bir sürede ve herhangi bir ilave yatırım yapılmasına gerek olmaksızın yapılabilecek hesaplamalardır. Patlamanın hemen ardından kriz ortamı devam ederken olayın tam olarak coğrafi konumu, zamanı, kaç kez olduğu ve ne kadar büyüklükte bir patlamanın olduğu gibi bilgiler acil durum yönetimi için son derece yararlı olmaktadır. Bu bilgilerin elde edilmesi adli ve idari soruşturmalar açısından da çok faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

Ambrosini D., Luccioni B., Danesi R. (2004) "Influence of the Soil Properties on Craters Produced by Explosions on The Soil Surface," *Mecanica Compitacional*, Vol.XXIII, pp. 571-590

Ambrosini D., Luccioni B., Danesi R. (2003) "Craters Produced by Explosions on The Soil Surface" *Mechanica Computacional*, Vol.XXII, pp. 678-692

Ambrosini R.D., Luccioni B.M., Danesi R.F., Riera J.D., Rocha M.M. (2002), "Size of Craters Produced by Explosive Charges," *Shock Waves*, Vol.12, pp . 69-78

Bonner J., Waxler R., Gitterman Y., Hofstetter R. (2013), "Seismo-Acoustic Energy Partitioning at Near Source and Local Distances from the 2011 Sayarim Explosions in The Negev Desert Israel", *Bulletin of The Seismological Society of America*, Vol.103, No:2A, pp.741-758

Brocher T.M. (2003), "Detonation Charge Size Versus Coda Magnitude Relations in California and Nevada," *Bulletin of The Seismological Society of America*, Vol.3, No:5, pp. 2089-2015

Cerenna L., Le Pichon A., Green D.N., Mialle P. (2009), "The Buncefield Explosion: a Benchmark for Infrasound Analysis across Central Europe", *Geophys. J. Int*. No:177, pp. 491-508, 2009

Evers L.G., Cerenna L., Haak H.W., Le Pichon A., Whitaker R.W. (2007), "A Seismoacoustic Analysis of the Gas-Pipeline Explosion near Ghislenghien in Belgium" Bulletin of the Seismological Society of America, Vol:97, No:2, pp:417-425

Gitterman Y. (2013) "Secondary Shock Features for Large Surface Explosions: Results from the Sayarim Military Range, Israel and other Experiments" *Shock Waves*, DOI 10.1007/s00193-013-0487-y

Gitterman Y., Hofstetter R. (2012) "GT0 Explosion Sources for IMS Infrasound Calibrations: Charge Design and Yield Estimation from Near-Source Observation," *Pure and Applied Geophysics*, Published online, 06 September

Gitterman Y., Given J., Coyne J., Zerbo L., Hofstetter R. (2011), "Large-Scale Explosion Source at Sayarim-Israel for Infrasound Calibration of The International Monitoring System" S&T2011, Vienna, Austria, 8-10 June

Gitterman Y., Pinsky V., Hofstetter A. (2007), Seismic Energy Generation and Partitioning into Various front Different Seismic Sources in the Middle East Region", *Israel Air Force Researh Laboratory*, Final Report, September

Gitterman Y., Pinsky V., Hofstetter A. (2005), Using Ground Truth Explosion for Studying Seismic Energy Generation and Partitioning into Various Regional Phases," *27th Seismic Research Review: Ground-Based Nuclear Explosion Monitoring Technologies*, Ranco Mirage, California-USA, 20-22 September

Gitterman Y. (2002), "Implications of the Dead Sea Experiment Results for Analysis of Seismic Recordings of The Submarine Kursk Explosions", *Seismological Research Letters*, Vol.73, No:1, pp. 14-24

Kim W.Y., Syskes L.R., Armigate J.H., Xie J.K., Jacob K.H., Richards P., West M., Waldhauser F., Armbruster J., Seeber L., Du W.X., Lam A.L. (2001) "Seismic Waves Generated by Aircraft Impacts and Buildings Collapses at World Trade Center New York City," *American Geophysical Union*, Vol.82,No:47,pp. 565-571,November

Koper K.D., Wallace T.C., Aster R.C. (2003), "Seismic Recordings of the Carlsbad, New Mexico Pipeline Explosion of 19 August 2000" *Bullettin of the Seismological Society of America* Vol.93, No:4,pp.1427-1432

Koper K.D.,Wallace T.C., Reinke R.E., Leverette J.A. (2002) "Empirical Scaling Laws for Truck Bomb

Explosions Based on Seismic and Acoustic Data" *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol:92,No:2, pp:527-542

Koper K.D., Wallace T.C. (2001), "Forensic Seismology and the Sinking of the Kursk," *American Geophysical Union*, Vol.82, No:4, pp.45-46

Koper K.D., Wallace T.C., Hollnack D. (1999), "Seismic Analysis of the 7 August 1998 Truck Bomb Blast at the American Embassy in Nairobi-Kenya" *Sesimological Research Letters*, Vol.70, No:5,pp.512-521

Kristekova M., Moczo P., Labak P., Cipciar A., Fojtikova L., Madaras J., Kristek J. (2008), "Time-Frequency Analysis of Explosions in the Ammunition Factory in Novaky Slovakia", *Bulletin of The Seismological Society of America*, Vol.98, No:5, pp.2507-2516

Kuran F. (2014-a) "Three Massive Explosions and Seismology" *2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (2nd ECEES)*, 25-29 August, Istanbul

Kuran F. (2014-b) "Suriye İç Savaşının İstihkamcılık Açısından İrdelenmesi" MSI Savunma ve Havacılık Dergisi, Sayı:113, 58-69

Leach R.R., Dowla U.F. (1995) "Towards Data Fusion in Sesimic Monitoring: Source Characterization of Mining Blasts with Acoustic and Seismic Records" Lawrence Livemore National Laboratory, Universty of California

Mihelic B. (2013) "Unplanned Explosions at Munitions Sites (UEMS)," The 6th Workshop of the South East Europe Regional Approach to Stockpile Reduction (RASR) of Conventional Weapons and Munition Initiative", 3-5 March, Bled, Slovenia

Ottemöller L. and Evers L.G. (2008), "Seismo-Acoustic Analysis of the Buncefield Oil Depot Explosion in The UK, 2005 December 11," *Geophysics Journal*, 172, pp. 1123-1134

Reynolds J.M. (2011), "An Introduction to Applied and Environmental Geophsics", Second Edition, Wiley-Blackwell Press

Rogers J.D., Koper K.D., "Military Geology and Combat Engineering Lecture Notes" Department of Geological Sciences and Engineering, Missouri University of Science and Technology, USA

Weber P.W., Millage K.K., Crepeau J.E., Happ H.J., Gitterman Y., Needham C.E. (2014) "Numerical Simulation of a 100 ton ANFO Detonation", *Shock Waves*, DOI 10.1007/s00193-014-0547-y

Kartal Meeting Point Projesinde Uygulanan Patlatmalı Temel Kazısında Elektronik Kapsül Kullanımının Hava Şoku, Sarsıntı ve Verimlilik Açısından İncelenmesi

The Analysis of the Use of Electronic Detonators in Blast for Foundation Excavation in Kartal Meeting Point in Terms of Airblast, Vibration and Efficiency

M. Yurttaş, O. Özkul, O. Bayındır
Orica-Nitro Patlayıcı Mad. San. Ve Tic. A.Ş./Ankara

U. Atlıhan
Antalya Nitro Patlayıcı Mad. Dan. Paz. Tic. Ltd. Şti / İstanbul

ÖZET Bu bildiride ateşleme sistemlerinin kısa bir tarihçesi, bazı yeni teknolojiler ve elektronik kapsüllerin avantaj ve dezavantajları tartışılarak; yapılan bazı uygulamalar sunulmuştur. Ulus Taşımacılık tarafından kazı işleri yapılan Kartal Meeting Point projesi temel kazısı kapsamında exel handidet (elektriksiz ateşleme sistemi) ve elektronik kapsül kullanarak gerçekleştirilen atımlar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş hava şoku ve titreşim gibi çevresel faktörlerin her iki yöntemde nasıl değiştiği sunulmuştur.

ABSTRACT This paper explains shortly past of initiation systems, some new Technologies, summarises advantages and disadvantages of electronic detenators, gives results of some applications. The excavation Works which are made by Ulus Taşımacılık included blasts with Exel Handidet (non-electric) and Unitronic 600 electronic detonators comparised with considering environmental affects. The paper shows how the results are changing by shock tube and electronic initiation systems.

1. GİRİŞ

Türkiye'de nüfus artışı ve şehirleşmeye paralel olarak inşaat faaliyetleri artmakta ve patlayıcı kullanma ihtiyacı yerleşim yerleri ve hassas yapıların yakınlarında doğmaktadır. Bu ihtiyaç beraberinde çevresel etki denetimli patlatma gereksinimini de taşımaktadır. Kontrollü patlatma temel kazıları, metro inşaatları, boru hattı inşaatları, şehir içinde kalmış olan taşocakları şeklinde özetlenebilir. Bütün bu yapıların hızlı ev ekonomik inşası için patlayıcı kullanımı zorunluluk olmaktadır.

Bu çalışmada patlatmalı yapılan temel kazılarında kullanılan Elektriksiz Ateşleme Sistemleri ile Elektronik Kapsüllerin çevresel faktörler yönünden değerlendirmesi yapılarak farkları sunulmuştur.

2. KAPSÜLLERİN KISA TARİHÇESİ

1870'de elektrikli kapsülün bulunması ile patlatma çalışmaları hızla yayılmaya başlamıştır. Zamanla infilaklı fitil ve gecikmeli elektrikli kapsül üretime geçilmiştir. Elektriksiz ateşleme sistemi 1960'larda piyasadaki yerini almıştır. Gecikmeli kapsüllerin üretimiyle patlatmalı

kazılar daha kontrollü ve verimli hale gelmiş, üretici firmalar bu ihtiyaçlar üzerine çalışmalarına ağırlık vermişlerdir. 1980'de ilk Elektronik Kapsüller üretilmiştir. Günümüzde firmaların Elektronik kapsüller ve ateşleme sistemleri üzerine Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir. Önümüzdeki senelerde piyasaya sunulacak olan iki yeni sistem mevcuttur: Wireless Kapsül ve Lazer Ateşleme Sistemleri.

Çizelge 1. Ateşleme sistemlerinin zaman içerisindeki gelişimi

Timeline	Development
Prior 1831	Kaz tüyü
1830	Emniyetli Fitil
1861	Adi Kapsül
1870	Gecikmesiz elektrikli
1907	İnfilaklı fitil
1950s	Gecikmeli elektrikli
1970s	Şok tüp
1980s	Elektronik kapsül
1990s	NPED – Teknolojisi
2016	Kablosuz ateşleme
2016	Lazer ateşleme

2.1 ELEKTRİKSİZ ATEŞLEME SİSTEMLERİ

Günümüzde Türkiye'de taş ocakları, tüneller, maden ocakları, şehir içi temel kazıları gibi birçok alanda kullanılan en yaygın ateşleme sistemleridir.

Elektriksiz ateşleme sistemlerinin gecikme elemanı kapsül içerisindeki piroteknik malzemedir. Çok hassas cihazlarla üretilmelerine karşın özellikle yüksek milisaniye gecikmeli kapsüllerde %2-3'lere varan sapmalar olabilmektedir. Bu sapmalar doğrultusunda patlatma teoride gerçekleştirilenden farklı sonuçlar verebilir. Bu da patlatma sonucu oluşan parçacık hızına ve deplasmana direkt etki edecektir.

Şekil 1. Exel Kapsül

Şehir içi inşaat faaliyetleri;

- ✓ Yerleşim yerlerine ve diğer yapılara çok yakın temel kazıları,
- ✓ Yerleşim yerlerine ve diğer yapılara çok yakın metro tünel kazıları,
- ✓ Yerleşim yerlerine ve diğer yapılara çok yakın yol yarmaları ve boru hattı kazıları
- ✓ Patlatmalı bina yıkımları

- ✓ Yine yerleşim birimlerine ve diğer yapılara yakın taşocakları ve çimento fabrikaları şeklinde sıralanabilir.

Madencilik faaliyetlerinde ise farklı tenörde bulunan formasyonların farklı zamanlarda patlatılmak zorunda olunması, kömür ve dekapajın aynı anda patlatılamaması sektörde verimlilik kaybına neden olmaktadır. Ayrıca kalıcı duvarların istendiği yol yarmaları, nihai şevler ve baraj gövdeleri de pre-split atımlarındaki deliklerin aynı anda ateşlenmesi nedeniyle örselenebilmekte ve istenen basamak sahanlığı ya da düzgün duvar yüzeyi bozulabilmektedir.

Elektriksiz kapsüllerle yapılan atımlarda yaşanan zorluklar aşağıdaki gibidir;

- ✓ Kapsüllerin farklı numaralarla farklı sayılarda depolanması depo stok yönetimini zorlaştırmaktadır.
- ✓ Şehiriçi tünel patlatmaları "gecikme başına şarj" miktarı ile sınırlandığından ilerleme adımı düşürülmektedir. Örneğin İstanbul Metrosu için bazı noktalarda üniversitelerin belirlediği gecikme başına şarj 5 kg'dır. Ancak Lp serilerinin kısıtlı sayıda olmasından dolayı aynı numaralı kapsüllerle patlatmalar yapılmaktadır. İlerleme adımını düşürerek ve delik başına şarjı azaltarak firmalar sarsıntıyı azaltma yoluna gitmektedirler. Elektronik kapsüllerle yapılacak atımlarda gecikme konusu çözüleceği ve her delik farklı zamanlarda ateşlenebileceği için ilerleme adımı arttırılabilecektir. Bu da proje ömrünü kısaltacaktır ve müthiş bir karlılıkla proje sonlandırılabilecektir.
- ✓ Tüneller de belirli numaralardan sonra gecikme aralıkları artmaktadır. 0, 25, 50, 100, 150 ms den başlayıp 1000, 2000,3000, 6000, 9000 ms gibi gecikmelerle atımlar yapılmaktadır. Bu da aynada oluşabilecek bir çatlak nedeniyle gaz kaçağına neden olup atım verimini düşürmekte ve iri parçalanma nedeniyle yükleme-taşıma maliyetini arttırmaktadır. Atım çatlaklı formasyonlarda mümkün olduğu kadar kısa sürede sonlandırılmalıdır.
- ✓ Yol yarmaları, barajlarda nihai şev düzlemi ve tünellerde düzgün tavan çizgisi elektriksiz sistemlerdeki sapmalar nedeniyle istenen şekilde olmayabilmektedir.
- ✓ Bina yıkımlarında tercih edilen elektriksiz ateşleme sistemi ve infilaklı fitil birlikteliği hava şokuna neden olmaktadır.
- ✓ Elektriksiz kapsüllerin tek test yöntemi ateşlemektir.
- ✓ Atım kesmesi olması halinde iş güvenliği açısından riskler oluşmaktadır. Özellikle bina yıkımlarında atım kesmesinden sonra enkaza girmek son derece tehlikelidir.
- ✓ Açık kazılarda yerleşim yerlerine yakın mesafelerde yüzeyde patlayan infilaklı fitil ve yüzey gecikme kapsülü hava şoku problemi yaratmaktadır.
- ✓ Yerleşim yerlerine yakın açık kazılarda fazla sayıda delik patlatılması durumunda titreşim değerleri yüksek çıkabilmektedir. Elektriksiz kapsül sistemindeki gecikme aralıkları ve sapmalar nedeniyle titreşim dalgaları yükselebilmektedir.

2.2 ELEKTRONİK KAPSÜLLER

Elektronik kapsüller ilk olarak 1979 yılında İsveç'te bulunmuştur. Ancak üretim maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle pazarda yaygın olarak kullanılan bir sistem olamamıştır.

Unitronic 600TM yerüstü patlatmaları için üretilen ancak yeraltında da başarılya uygulanabilen elektronik kapsülleridir. Sistem +- %0,03 sapmayla 0 ms'den 10.000 ms'ye kadar 1 ms farkla gecikme verilebilen kapsül başlıkları ile bunları ateşleyecek Scanner ve Blastbox'tan oluşmaktadır.

Elektronik kapsüllerin gecikme aralığının sahada mühendis tarafından belirlenmesi, patlatma sonucu çıkan enerjinin kontrolünün planlayıcıda olmasını sağlamaktadır.

Şekil 2. Tarayıcı (Scanner 200)

Şekil 3. Ateşleme Kutusu (Blast box R310)

Şekil 4. Elektronik Kapsül (Unitronic 600)

Şekil 5. Scanner 200 ile tarama işlemi

Sistemin avantajları:

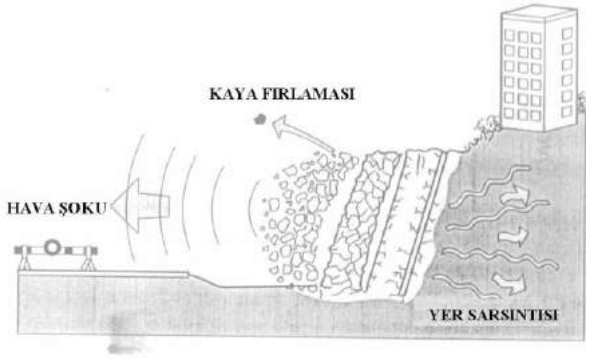
- ✓ Yüzeyde patlayan herhangi bir eleman (yüzey gecikme kapsülü ve/veya infilaklı fitil) olmadığı için hava şoku problemleri ve hava şoku kaynaklı şikayetler minimize edilmektedir.
- ✓ Uzaktan kumanda ile 2 km öteden patlatma yapılabilmektedir. Bu da ateşleyicinin sahayı hakim bir noktadan görerek ateşleme yapmasına imkan vermektedir.
- ✓ Kapsüllerin arızalı olup olmadığı önceden test edilerek anlaşılabilmektedir. Bu işlemi Scanner 200 ile yapmak mümkündür. Bu sayede temel kazılarında, bina yıkımlarında atım kesmesi ve/veya patlamayan kapsüller nedeniyle oluşacak riskler ortadan kaldırılacaktır.
- ✓ 0-10000 ms aralığında 1 ms aralıklar ile gecikmeler verilebilmektedir. Böylece birim zamanda açığa çıkacak enerjinin kontrolü planlayıcıda olacaktır ve sarsıntı problemleri ortadan kaldırılabilecektir.
- ✓ Fazla sayıda gecikme sayesinde temel kazılarında daha az sayıda büyük hacimli atımlar yapılarak proje kısa sürede bitirilebilecek, şikayetler minimize edilecektir.
- ✓ Elektronik kapsüller dış elektriksel tehlikelere karşı emniyetli şekilde dizayn edilmiştir. Yüksek akım gelmesi halinde kapsül ekstra dirençleri eriyerek devreyi kesmektedir. Akım patlayıcı olan kısmına geçememektedir.
- ✓ Elektronik kapsüllerin sapma payı sıfıra yakın olduğu için verilen gecikmede kapsüller patlamaktadır. Dolayısı ile aynı anda detonasyon olmayacak ve titreşimler doğal olarak düşecektir.

3. PATLATMADAN KAYNAKLANAN ÇEVRESEL ETKİLER

Patlayıcı maddelerin kazı ve yıkım amaçlı kullanımlarında çevreye verebilecekleri başlıca dört değişik olumsuzluk bulunmaktadır. Bunlar;

- ✓ Taş savrulması
- ✓ Toz emisyonu
- ✓ Yer sarsıntısı (titreşim)
- ✓ Hava şokudur.

Son yıllarda patlatmalı kazı faaliyetlerinin neden olduğu çevresel etkilerle ilgili şikayetler; nüfus artışı ve şehirleşmeye paralel olarak, daha büyük atımlara duyulan ihtiyaçla birlikte giderek artmaktadır. Şekil 6'da şematik olarak gösterilen yer sarsıntısı, gürültü ve fırlayan kaya gibi çevresel problemler, patlatmalı kazı çalışmalarının yürütüldüğü bölgelerin yakınlarındaki yöre halkı kadar, patlatma personeli ve kullanılan ekipman açısından da büyük güvenlik sorunları yaratabilmektedir.



Şekil 6. Patlatma kaynaklı çevresel etkiler

Gerek madencilik ve taş ocakçılığındaki her türlü kazı işleminde, gerekse tünel, metro, baraj teknolojilerindeki kazı faaliyetlerinin bir çoğunda patlatma çalışmaları kaçınılmazdır. Bu faaliyetlerdeki boyut ve kapasitelerin artışı doğal olarak kullanılan patlayıcı madde miktarlarını arttırmaktadır. Bu tür faaliyetlerin yerleşim birimlerine yakın (hatta çoğu zaman içinde) olması ister istemez ortaya çıkan yer sarsıntısı ve hava şoku dolayısıyla giderek artan ölçüde çevre sorunlarına neden olmaktadır. Bu durum çevre sakinlerinin doğrudan can ve mal güvenliklerini etkileyebildiği gibi, psikolojik bazı sorunların doğmasına da zemin hazırlamaktadır.

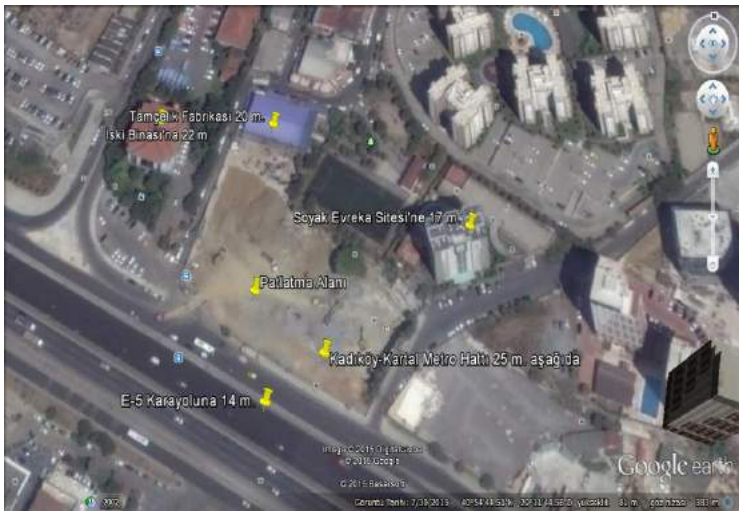
Bu nedenle, ekonomik ve emniyetli bir patlatmada, aynı zamanda bu tür sorunların da önlenmesi veya en azından tehlike sınırlarının altına indirilmesi dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, iyi bir patlatmadan beklenen en önemli unsurlardan biri de atımın çevresel etkiler açısından emniyetli olmasıdır. Bu tür çevresel duyarlılıklar dikkate alındığında, patlatma kaynağından belirli uzaklıkta bulunan bir yerleşim biriminin yada tesisin; patlatma sonucu oluşacak gürültü ve yer sarsıntısından etkilenmemesi bakımından; patlatma tasarımında yanıt aranacak bir diğer konu da; herhangi bir gecikme aralığında kullanılabilecek en fazla patlayıcı miktarını önceden belirleyebilmek ve kontrollü atımlar gerçekleştirebilmektir.

Bu çalışma ile Elektronik Kapsüller ile çevresel faktörleri nasıl minimize edebileceğimizi, gecikme aralıklarını kontrolümüz altında tutarak ortaya çıkan enerjiye nasıl hükmedebileceğimizi göstermeye çalıştık.

4. MEETİNG POİNT GAYRİMENKÜL A.Ş. KARTAL YERLEŞKESİ PROJESİ PATLATMALI TEMEL KAZILARI ELEKTRONİK VE ELEKTRİKSİZ KAPSÜLLÜ ATIMLARIN ÇEVRESEL FAKTÖRLER YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRMASI

Çalışmasını yaptığımız proje Ulus Taşımacılık İnşaat Oto San. ve Tic. Ltd. Şti.'nin yüklenicisi olarak bulunduğu "İstanbul İli, Kartal İlçesi, Soğanlık Mahallesi dahilindeki yeni D100 Kuzey Yanyol 42/2 G22A09C34 pafta, 10070 ada, 572 parselde kayıtlı olan Meeting Point Gayrimenkul Yatırım ve İnşaat Anonim Şirketi Yerleşmesi" işi'dir.

Projede toplam 80.000 m3 kazı çalışması yapılmıştır. Bunun yaklaşık 60.000 m3'ü patlatmalı olarak yapılmıştır. İlk etapta elektriksiz kapsüller ile patlatma çalışmaları başlamıştır. Sarsıntı olarak cihazlarda sınır değerlerin üzerinde bir değer ölçülmemesine karşın E-5 olan 10 m'lik mesafe, Soyak Evraka sitesine 20 m. mesafe ve alttan geçen metro hattına 25 m.'lik mesafe zaman ile ses ve hava şoku ile birleşen algıyı artırmış ve farklı boyutlarda şikayetler başlamıştır.



Şekil 7. Patlatma alanın hassas yapılara uzaklıkları

4.1 SAHANIN JEOLOJİSİ

İstanbul ve çevresinde görülen Paleyozoyik yaşlı kayaçlar oluşumundan sonra çeşitli dönemler tektonik deformasyonlara uğramıştır. Tektonik açıdan; 1nci zaman içinde, önce Kaledonien Orojenezi ile kıvrılmış, sonra Karbonifer'e kadar süren bir kara safhasını takiben yeni bir tortullaşma ve ardından Hersiniyen Orojenezine maruz kalmıştır. Daha sonra yine uzun süren bir kara (aşınma) safhası mevcut olup, Üst Kretase'de tektonik hareketler, bu devir denizleri içinde geniş bir denizaltı volkanizma faaliyetlerine sahne olmuştur. Yer yer görülen andezit filonları bu faaliyetlerin sonucudur. Daha sonra da Alp Orojenezi etkisini göstermiştir. Bu etki Üst Kretase yaşında bir şaryaj şeklinde görülür. Şaryaj hattı Ömerli köyü kuzeyinden itibaren doğu-batı doğrultusunda uzanan bir şerit halinde İstanbul Boğazını keserek Zekeriyaköyü batısına kadar uzanır. Şaryaj düzlemi genel olarak güneye eğimli olup, Boğaz suları altından Marmara'ya doğru "V" şeklinde dalmaktadır. Bu nedenle kayaç grupları bindirme ve faylanmalarla taşınmıştır. Formasyonların çoğunun sınırları tektoniktir.

Kartal formasyonu sarımsı kahve-gri renkli, iyi yapraklanmalı düzeyler halinde brakyopod, mercan ve bryozoa vs. fosilleri içeren ve seyrek silttaşı ile kumtaşı ara tabakalı şeyller yer alır. Hem Kocaeli ve hem de İstanbul yarımadalarında geniş yüzlek veren bu birim, Önalan (1982) tarafından Kartal Formasyonu olarak ayrılmıştır.

Kartal, Pendik, Tuzla, Yakacık, Beykoz-Çengelköy arası ve İstinye kuzeyinde geniş alanlarda mostra verir. Kırıntılı kireçtaşlarının alt yüzeyleri keskin ve aşınmalı, içleri dereceli, paralel ve akıntı ripil laminalı üstten de şeyllere geçişlidir.

4.2. SAHADA YÜRÜTÜLEN PATLATMA ÇALIŞMALARI VE KARŞILAŞTIRMALAR

Patlatma amaçlı delinen delikler 89 delik çapındadır. Delik paterni Exel ve Elektronik kapsüllü atımlar arasında delikler arası mesafelerde ve sıra sayılarında yer yer farklılık göstermektedir. Örnek olarak almış olduğunuz atımlarda çizelgelerde de görüleceği üzere Exeller ile sıralar arası 2,5m. delikler arası 2,50 m. şeş beş delik geometrisi, elektronik kapsüller ile sıralar arası 2,5 m. delikler arası 3,00 m. şeş beş delik geometrisi kullanılmıştır.

Sahada patlatmalar sırasında deliklerde su olduğu için ana şarj olarak Ağır Anfo P750 (65*450), kapsüle duyarlı olarak Powergel Magnum 365 (38*400) kullanılmıştır.

11.08.2015 tarihli atımda 180 kg H.Anfo P750 (65*450) , 20 kg powergel magnum 365 (38*400) ve 30 adet Unitronic 600 (Elektronik Kapsül) kullanışmıştır.

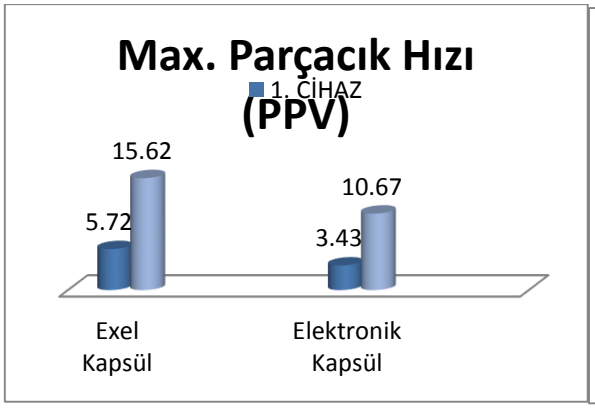
07.08.2015 tarihli atımda 150 kg H.Anfo tarihli atımda P750 (65*450) , 15 kg powergel magnum 365 (38*400) ve 28 adet Handidet 17/500, 2 adet 25 MS HTD (sıralar arası gecikme) ve 1 adet elektrikli kapsül kullanılmıştır.

Atımlarda exel kapsüller ile 17 ms gecikme sıralar arasında 42 ms yüzey gecikmesi kullanılmıştır. Elektronik kapsüllerde ise delikler birbirinden farklı olarak 9 ms aralıklar ile patlatılmıştır.

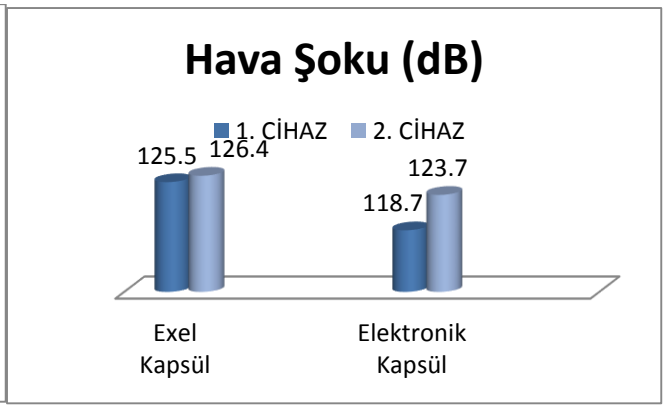
Bu karşılaştırmamızda Elektronik Kapsüller ile iki adet delik daha fazla atılmasına ve toplamda daha fazla ANFO (ana şarj) kullanılmasına karşın ölçüm yapılan iki cihazda da Max. Parçacık Hızları ve Hava şoklarında ciddi düşüşler gözlenmektedir. Ayrıca çizelgeda görüleceği üzere Elektronik Kapsüller ile delikler arası mesafe 2,5 m.'den 3,00 m.'ye çıkarılmış patlayacak alanın kübajı artırılmıştır. Bununda projelerde kazıların daha kısa zamanda bitirilmesi açısından çok önemli olduğunu vurgulamak gerekir.

Çizelge 2. Exel ve Elektronik Kapsül atımlarının verileri

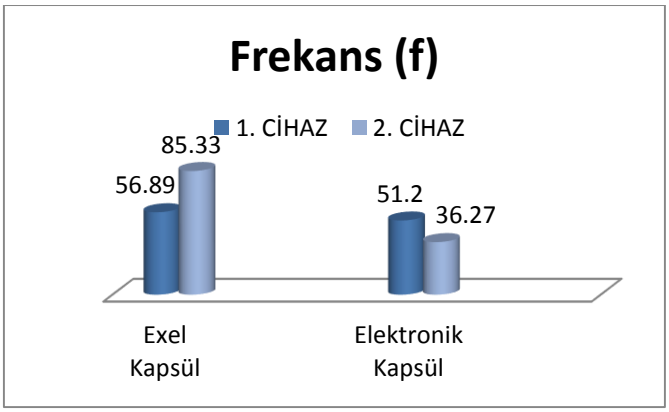
	07.08.2015	11.08.2015
1.Karşılaştırma	Exel Kapsül	Unitronic600 Kapsül
Delik Adedi	28	30
Delik Boyu	4,5	4,5
Delikler Arası Mesafe	2,5	2,5
Sıralar Arası Mesafe	2,5	3
Gecikme Başına Şarj(kg)	5,8	6,5
Toplam Şarj (kg)	165	200
Özgül Şarj (kg/m^3)	0,206	0,192
Özgül Delme	0,160	0,133
Max. Parçacık Hızı (PPV) (mm/s)	5,72 15,62	3,43 10,67
Frekans (f) (Hz)	56,89 85,33	51,2 36,27
Hava Şoku (dB)	125,5 126,4	118,7 123,7
Mesafe (R) (m)	116 50	116 37



Şekil 8. Titreşim değişim grafiği



Şekil 9. Hava şoku değişim grafiği



Şekil 10. Frekans(ppv) değişim grafiği

Çizelge 3. Exel ve Elektronik Kapsül atımlarının verileri

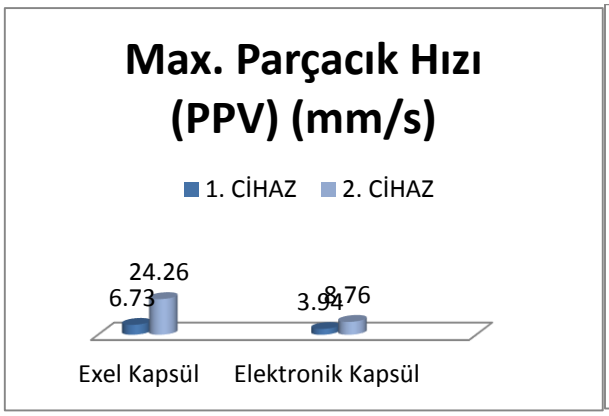
	24.08.2015	13.08.2015
2.Karşılaştırma	Exel Kapsül	Elektronik Kapsül
Delik Adedi	30	30
Delik Boyu	4,5	5,0
Delikler Arası Mesafe	2,5	2,5
Sıralar Arası Mesafe	2,5	3
Gecikme Başına Şarj(kg)	5,3	7,8
Toplam Şarj	160	235
Max. Parçacık Hızı (PPV)	6,73	3,94
(mm/s)	24,26	8,76
	85,33	73,14
Frekans (f) (Hz)	56,89	64
	127,3	125
Hava Şoku (dB)	130,6	128,3
	70	78
Mesafe (R) (m)	65	64

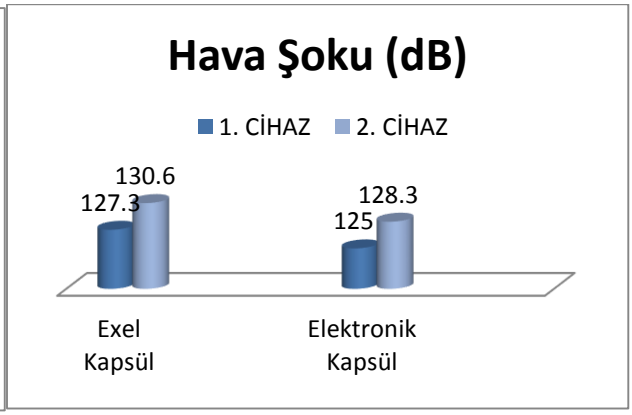
13.08.2015 tarihli atımda 220 kg Ağır ANFO P750 (65*450) , 15 kg Powergel Magnum (50*225) ve 30 adet Unitronic 600 (Elektronik Kapsül) kullanılmıştır.

24.08.2015 tarihli atımda 145 kg Ağır ANFO P750 (65*450) , 15 kg Powergel Magnum 365 (38*400) ve 29 adet Handidet 17/500, 2 adet 25 MS HTD (sıralar arası gecikme) ve bir adet elektrikli kapsül kullanılmıştır.

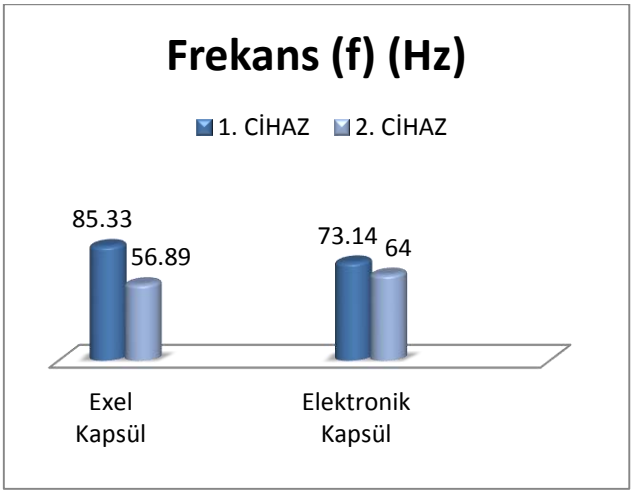
Bu iki örnekte ise elektronik kapsül ve elektriksiz kapsüllerle yapılan atımların delik sayıları eşittir. Elektronik Kapsüllerle yapılan atımın delik boyları uzatılmış ve delikler arası mesafe yine 2,5 m'den 3,00 m'ye çıkarılmıştır. Böylelikle gecikme başına şarj 5,3'ten 7,8'e çıkarılmıştır. Bu farka rağmen iki cihazda da ölçüm değerlerinde düşüşler görülmektedir.

Bir delikten 28,12 m3 üretim yapılacakken, Elektronik Kapsüller ile bir delikten 37,5 m3 kazıya ulaşılmış ve çevresel etkiler azaltılmıştır.





Şekil 11. Titreşim değişim grafiği Şekil 12. Hava şoku değişim grafiği



Şekil 13. Frekans(ppv) değişim grafiği

5. SONUÇ

Çalışma için birbirine delik sayıları ve ölçüm mesafeleri en yakın dört atım değerlendirmeye alınmıştır.

Her iki karşılaştırmada da görüleceği gibi delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı arttırılmış, gecikme başına şarj %10,7 ile %32 arasında arttırılmış ve delik boyları uzatılmıştır. İlk karşılaştırmada (Çizelge 2'de görüleceği üzere) birinci cihaz ile aynı noktadan ikinci cihaz ile on üç(13) metre daha yakın noktadan ölçüm alınmasına rağmen titreşim ve hava şoklarında fark edilir düzeyde düşüş gözlenmektedir.

Çevresel şikayetlerde hava şokunun önemi büyüktür. Hava şoku insanları psikolojik olarak rahatsız eden bir etkidir. Hava şoku ne kadar düşürülürse algı da o kadar düşürülebilir ve şikayetler ortadan kaldırılabilir.

Çalışma başlangıçta insanları huzursuz eden hava şokunu indirgemek amacıyla yapılmış olup daha sonra gecikmelerin tarafımızdan değiştirilmesi ile parça boyutunun da gözle görülür ölçüde iyileştiği anlaşılmıştır. İyi parçalanma ve kesin zamanlı detonasyon beraberinde (pozitif yan etkiler) sarsıntının da düşmesine yol açmış ve birim delgi başına üretimimizi arttırmıştır.

Çoğu atımdan sonra, önceden rahatsızlık bildiren çevre sakinleri telefonla aranarak algı düzeyleri araştırılmış ve atımların tamamına yakınında hiç bir şey hissedilmediği anlaşılmıştır. (Hatta kırıcı ile çalışma yapılan günlerde insanların daha çok rahatsız olduğu anlaşılmıştır.) Bu da durdurulma tehlikesi olan projenin hem bizim hem de yüklenici firmalar için daha hızlı, daha ekonomik ve çevreye rahatsızlık verilmeden bitirilmesini sağlamıştır.

KAYNAKLAR

İstanbul Üni. *(2015), Doç. Ü.Özer , Yr.Doç.A. Karadoğan Günlük Titreişm Ölçümleri*

Özer, Ü., *(2008), "Environmental impacts of ground vibration induced by blasting at different rock units on the Kadikoy-Kartal metro tunnel", Engineering Geology, 100 (2008) 82-90.*

Orica, *Engineer Training Program*

Zonguldak Ilıksu Mevkiinde Kontrollu Basamak Patlatması Uygulamaları

Cautious Bench Blasting Practices at Zonguldak Ilıksu Site

H.A. Bilgin, M. Kılıç, M.S. Kahveci
ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

Y. Dağaşan
Curtin University, Dept. of Mining Engineering, Australia

B. Ünlütürk
Lulea Univ. of Technology, Dept. of Mining Engineering, Sweden

ÖZET Zonguldak Ereğli 2B Yolu Toprak Tesviye, Sanat Yapıları ve Üst Yapı Yapım İşi kapsamında Km 12+450 - Km 12+720 arasında bölünmüş karayolu inşaatı için Ilıksu Mahallesi karşısında çok palyeli tek taraflı yarma kazısı yapılması gerekmiştir. Basamak kazıları kireçtaşı, killi kireçtaşı, kalkerli kiltaşı, kalkerli silttaşı gibi kaya ortamlarında yapıldığından, iş makinaları ile başlanılmış olan kazı; yavaş ilerleme, yüksek maliyet ve yol inşaatında gecikmeler oluşmasına sebep olmuş ve kazılara patlatma yöntemi ile devam edilmesi zorunlu hale gelmiştir. Patlatmalı kazı yapılan kısımlar binalara 30 m ile 60 m mesafede bulunmaktadır. Bu nedenle patlatmaların titreşim, gürültü ve taş savrulması sorunlarına karşı kontrollu patlatma teknikleri ile yapılması zorunluluğu bulunmaktadır. Bu amaçla işi üstlenen inşaat firması uzman desteği almak için üniversiteye başvuru yaparak, farklı kaya türleri için değişik patlatma tasarımları ve bu tasarımlara bağlı olarak patlayıcı madde gereksinimi hesabını içeren bir raporun hazırlanarak, patlatmaların uzman ekip denetiminde yapılmasını talep etmişlerdir. Bu bildiride, sözü edilen teknik ve bilimsel çalışmalar ile kontrollu patlatma uygulamaları anlatılarak açıklanmıştır. Kontrollu patlatma teknikleri ile yapılan atımlar can ve mal güvenliği sorunu oluşturmadan gerçekleştirilmiştir.

ABSTRACT A Road cut with multiple benches is needed to be done at one side of a hill opposite to Ilıksu Site between Km's 12+450 and Km 12+720 within the scope of Zonguldak Ereğli multilane roadway construction part-2B. Bench excavations, which have begun with construction machinery in rock units consisting of limestone, clayey limestone, calcareous claystone and calcareous siltstone resulted in slow progress, high cost, and delays in road construction. These problems have made bench blasting mandatory. Road sections, which are excavated by bench blasting operations, are 30 m to 60 m distant to residential buildings. Therefore, it is mandatory to make cautious blasting to control ground vibrations, air-blast and fly-rock problems. To reach these goals, the construction company which has undertaken the job, has admitted to university for the design and execution of cautious blasting for different rock units and preparation of a report including the calculation of necessary amount of explosives goods to get permission for blasting. In this paper, scientific and technical studies carried out and the cautious blasting practices conducted are explained. Cautious blasting operations were carried out without any form of life and property safety issue.

1 GİRİŞ

Zonguldak-Kdz.Ereğli 2B bölünmüş yolu inşaatının Km. 12+450 – Km. 12+720 arasında Zonguldak'a gidiş yönünde yeni yol platformu oluşturmak için Ilıksu Mahallesi karşısında bulunan tepenin bir yüzünde çok sayıda kademeden oluşan tek taraflı yarma kazısı yapmak gerekmiştir. Yarma kazısına iş makinaları ile başlanmış, ancak kazının yavaş ilerlemesi, yüksek maliyetli oluşu ve yol inşaatının gecikmesi nedenleri ile patlatma yapılması zorunlu hale gelmiştir. Tepenin karşısında 30m ile 60m arasında değişen uzaklıklarda konut ve işyeri binaları bulunduğundan patlatmaların titreşim, gürültü ve taş savrulması sorunlarına karşı kontrollu olarak yürütülmesi zorunluluğu doğmuştur. Çalışma alanını çevre binalarla ilişkilendiren, Ilıksu Mahallesi karşısındaki kazı alanını, mahallede bulunan konutların konumlarını, binalar ile şev başı ve şev dibi arasındaki uzaklıkları gösterir uydu görüntüsü (yer bulduru haritası) Şekil 1'de sunulmuştur. Patlatmalı kazı çalışmalarını kontrollu olarak yürütmek amacı güden ve işi üstlenmiş bulunan inşaat firması uzman desteği almak için üniversiteye başvuru yaparak, farklı kaya türleri için kontrollu patlatma tasarımları ve bu tasarımlara bağlı olarak patlayıcı madde gereksinim hesabını içeren bir raporun hazırlanarak, patlatmaların uzman ekip denetiminde yapılmasını talep etmişlerdir. Bu bildiride, yürütülen bilimsel ve teknik çalışmalar özetlenmiş, fotoğraf ve videolar ile kontrollu patlatma uygulamaları açıklanmıştır. Kontrollu patlatma teknikleri ile yapılan atımlar can ve mal güvenliği sorunu oluşturmadan gerçekleştirilmiştir.

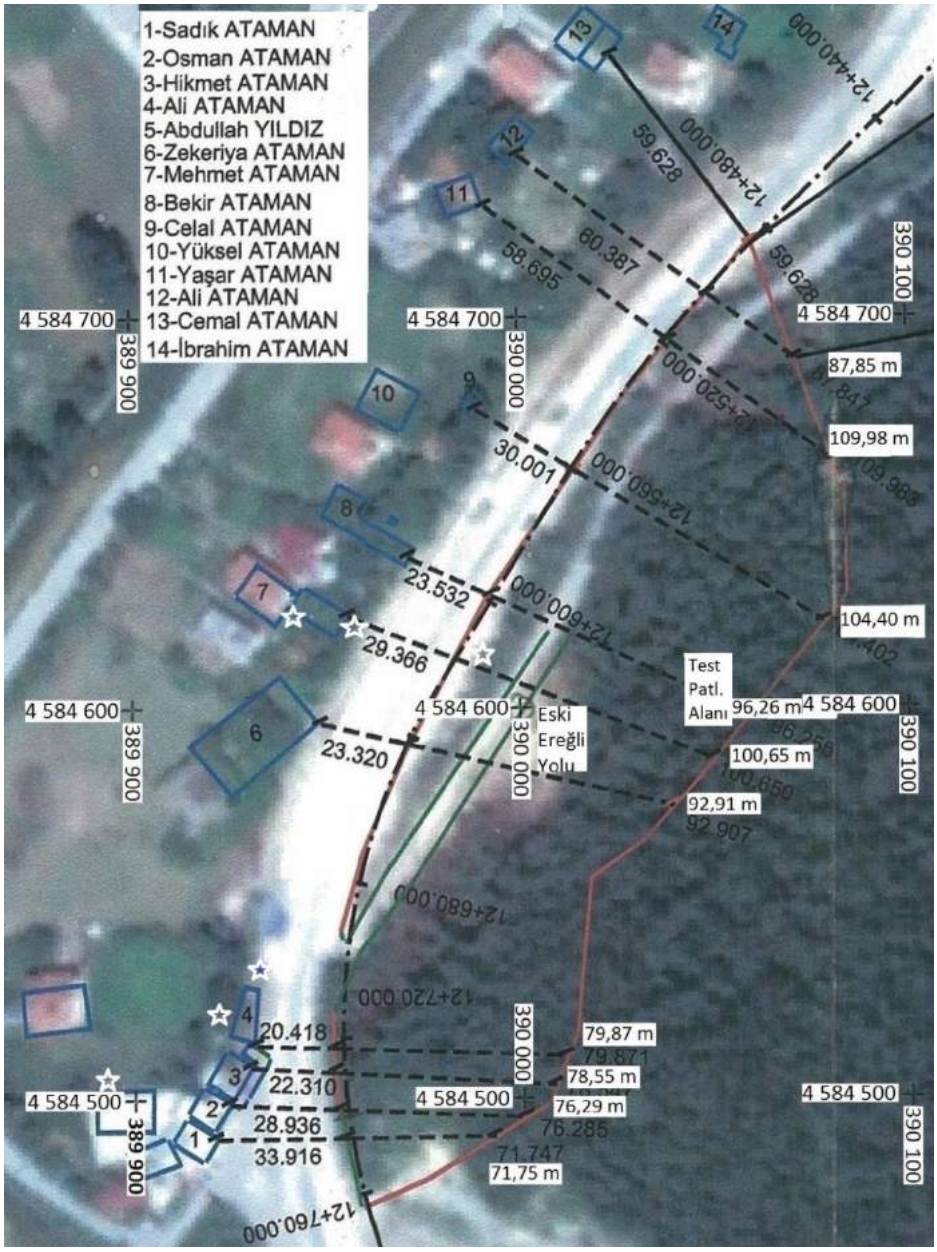
2 PROJE ÖNCESİ ÇALIŞMA ALANININ DURUMU VE JEOLOJİSİ

Proje başlangıcında iş makinaları ile kazıya başladığında sahanın görünümü Şekil 2'de verilmiştir. Sahadaki başlıca kaya birimleri kireçtaşı, killi kireçtaşı, kalkerli kiltaşı ve kalkerli silttaşıdır. Kireçtaşı masif veya iyi gelişmiş eklemler içeren iri bloklu yapıda olup, yer yer mağaralar ve eklemler içinde kalın toprak dolgular içermektedir (Şekil 3). Kalkerli silttaşı ve kalkerli kiltaşları ise belirgin tabakalı yapıdadır. Patlatma yapılacak kademelere 30m - 60m uzaklıkta binalar bulunduğundan çevresel etki kontrollu patlatmaları tasarlamak için öncelikle sahada jeolojik ve jeoteknik inceleme yapılmış, kaya kütle özellikleri belirlenmiş ve kütlenin patlatma esnasında gösterebileceği tepkiler tahmin edilmeye çalışılmıştır. Örneğin açık eklemlerden gaz kaçışı veya toprak dolguların gaz basıncı ile püskürmesi ve bunların sonucunda taş savrulması oluşma olasılıkları incelenmiştir.

Oluşturulacak basamaklara ilişkin proje örneği Şekil 4'te sunulmuştur (Bilgin ve Dağaşan 2014). Testlere başlamadan önce yakında bulunan tüm binalarda hasar araştırma ve tespit çalışması yürütülmüştür (Şekil 5). Bina hasar araştırmasında Audel'in (1996) sismik ve patlatma dışı nedenlerle oluşmuş bina hasar sınıflaması kullanılmıştır. Herhangi bir bina sahibinin patlatmalardan önce başka nedenlerle oluşmuş çatlaklara, patlatmaların sebep olduğunu iddia etmesi ve taşeron ile idare (KGM) aleyhine dava açma olasılığı ortadan kaldırılmıştır.

3 TEST PATLATMALARI TASARIMI VE UYGULAMASI

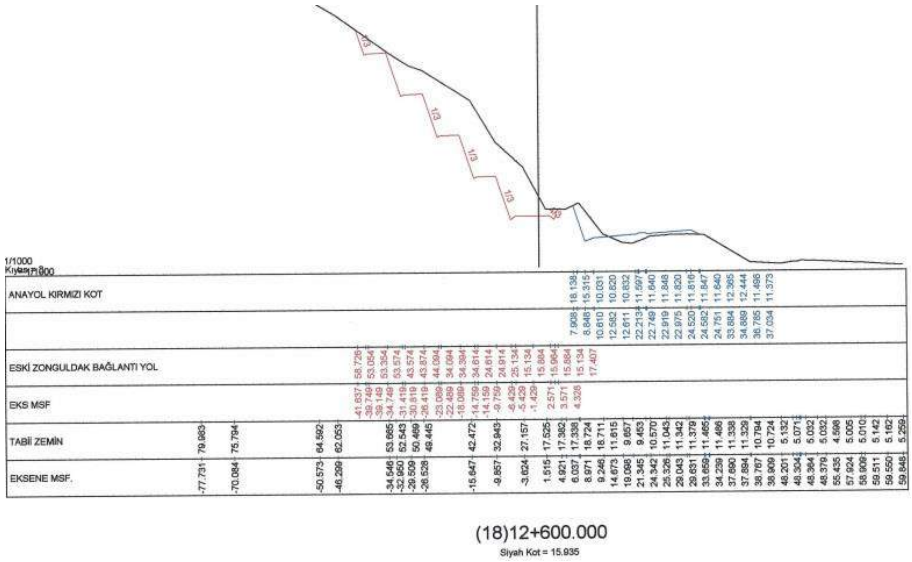
Kaya cinsi, kaya kütle yapısı, dayanımı ve binalara mesafeler dikkate alınarak kontrollu test patlatmaları tasarlanmıştır. Tasarım, test patlatmaları esnasında oluşacak titreşim seviyesinin, binalar için ülkemiz yönetmeliğinde, kişiler için ANSI S3.29-1983 standardında; gürültü seviyesinin ABD Federal Tüzüğünde belirtilen sınır değerleri aşmaması gözetilerek yapılmıştır. Test patlatmaları uygulamalarında gecikme başına ateşlenecek patlayıcı miktarını kısıtlamak için 76 mm çapında, derinlikleri 1,2 m ile 3.1 m aralığında değişen delikler delinmiştir.



Şekil 1 Cihaz yerlerini, binaları, mesafeleri gösterir yer bulduru haritası

Şekil 2 İş makinaları ile kazıya başlandığında sahanın görünümü

Şekil 3 Yer yer masif, yer yer iri bloklu, eklemleri toprak dolgulu kireçtaşı



Şekil 4 Projesinde Km 12+600 için verilen yol yarması basamak örneği

Şekil 5. Binalarda patlatmalar başlamadan tespit edilen hasarlara bir örnek

09 Temmuz 2013 günü yapılan testler öncesinde deliklere 0,63 Kg, 1,25 Kg, 1,83 Kg, 2,43 Kg ve 3,03 Kg patlayıcı madde yerleştirilmiş ve delikler elektrikli kapsüller ile tek tek ateşlenmiştir. Deliklerin yük mesafesi ve aralıkları saptanırken özgül şarj değerleri kireçtaşı için 0,350 Kg/m^3, kalkerli kiltaşı ve siltaşı için 0,300 Kg/m^3 uygulanmıştır. Aşırı gürültü ve taş savrulması oluşumunu önlemek için sıkılama işleminde 5-15 mm çap aralığında kırmataş kullanılmıştır. Test patlatmaları sırasında test alanına farklı uzaklıktaki yerlere ve binalar yakınına konumlandırılan cihazlar ile titreşim ve gürültü ölçümleri yapılmıştır. Test alanı ve beyaz yıldız ile işaretli cihaz yerleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

Test patlatmaları sırasında Şekil 1 'de 7 no ile gösterilen Mehmet Ataman'a ait konut binasının 3 m kadar önüne yerleştirilen ölçüm cihazları Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6. Titreşim-gürültü ve ivmeölçer cihazlar (Bilgin ve Dağaşan, 2014)

4 KAYITLARIN ANALİZİ İRDELEME VE DEĞERLENDİRME

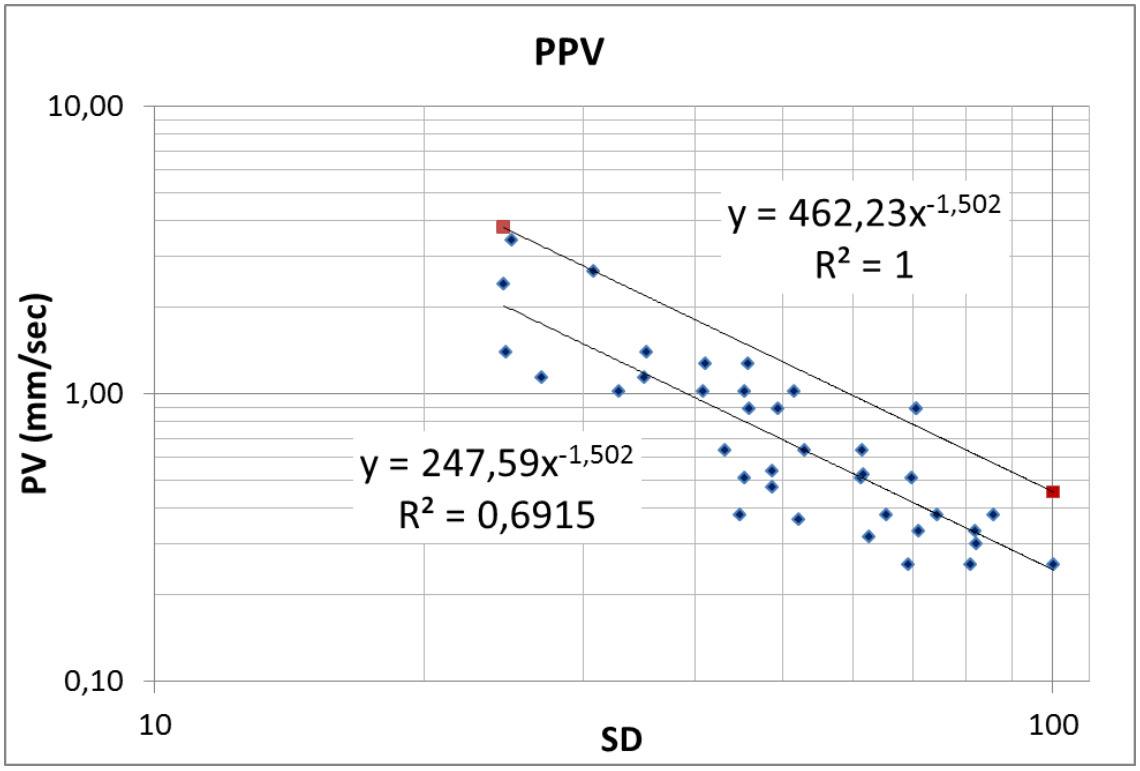
Toplam 14 adet test patlatması yapılmış olup, 4 adet cihaz kullanılarak Ereğli yönünde 12 adet, Ilıksu Mah. Yönünde 38 adet titreşim kaydı alınmıştır.

Test patlatmaları sırasında Ilıksu ve Ereğli yönlerinde herhangi bir bina zemininde ölçülen en yüksek 4'er adet titreşim hızları Çizelge 1'de verilmiş olup; Ilıksu Mahallesi yönünde Mehmet Ataman konutu yanında, Ereğli yönünde ise Ali Ataman'a ait lokanta binası yanında (Şekil 1) ölçülmüştür.

Çizelge 1. Ilıksu Mahallesi ve Ereğli yönünde ölçülen en yüksek titreşim hızları

Patlayıcı Miktarı	Ölçüm Yeri	Uzaklık	Titreşim Hızı, mm/s
3,03 Kg	M.Ataman	84,9 m	0,540
1,83 Kg	M.Ataman	83,1 m	0,524
3,03 Kg	M.Ataman	84,3 m	0,476
1,23 Kg	M.Ataman	82,3 m	0,381
1,25 Kg	A.Ataman	74,2 m	1,140
0,31 Kg	A.Ataman	54,6 m	0,889
1,83 Kg	A.Ataman	67,8 m	0,635
1,83 Kg	A.Ataman	67,5 m	0,635

Kaydedilen sismik dalga formları analiz edilmiş, frekans dağılımları ve hakim frekansları belirlenmiş, en yüksek titreşim bileşen değerleri dikkate alınarak sismik dalgaların zeminde yayılma ve sönümlenme eşitlikleri farklı yönler için saptanmıştır. Eşitliklere bir örnek Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 7. Ilıksu Mahallesi yönü için tespit edilen dalga yayılma ve sönümlenme eşitliği

Şekil 7'de verilen doğrulardan üstte yer alan %95 güvenilirlik doğrusu olup, doğru denklemi PPV = 462,23 x $SD^{-1,502}$ olarak saptanmıştır.

Hakim frekans değerleri; Ereğli yönünde alınan 12 adet kayıttan iki tanesinde yanal ve boyuna bileşenlerde 1,13 Hz olarak oluşmuş, geri kalan 10 kayıtta 11 Hz ile 42 Hz arasında gerçekleşmiştir. Ilıksu Mahallesi yönünde alınan 38 kayıttan sadece 5 adedinde yanal eksende 1 Hz olarak oluşmuş, diğer tüm frekans değerleri 13 Hz ile 38 Hz arasında değişmiştir. Ülkemiz yönetmeliği bina zemininde 1 Hz dalga frekansı için 5 mm/s titreşim hızının; frekans 4 Hz - 10 Hz aralığında olduğunda 19 mm/s titreşim hızının aşılmamasını öngörmektedir. Öte yandan ABD Ulusal Standartlar Enstitüsü bina içinde bulunan kişilerin rahatsız olmaması için günde bir kez patlatma yapılırsa 12,70 mm/s, 2-12 kez arasında yapılırsa 6,35 mm/s titreşim hızının bina zemininde aşılmamasını öngörmektedir. Bu nedenlerle, bina zemininde en yüksek hızın 19 mm/s'yi aşmaması amaçlanarak tam ölçek patlatmalar tasarlanmıştır.

Şekil 7'de verilen sismik dalga yayılma ve sönümlenme denklemi kullanılarak herhangi bir binaya belirli uzaklıkta yapılacak patlatmada gecikme başına emniyetle ateşlenebilecek patlayıcı madde miktarları hesaplanmıştır. Yukarıda özetlenen sismik dalga frekans değerleri dikkate alınarak 5 mm/s den 19 mm/s'ye kadar değişen farklı hızlar için hesap yapılmıştır. Ilıksu Mahallesi yönü için saptanan eşitlikten farklı uzaklıklar ve değişik eşik titreşim hızlarının aşılmaması için hesaplanan güvenli patlayıcı miktarları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Ilıksu Mahallesi yönü için güvenli patlayıcı miktarları

MESAFE (m)	Verilen ve aşılmaması gereken En Yüksek Titreşim Hızı (PPV, mm/s) için Güvenli Patlayıcı Madde Miktarı (Kg)			
	PPV 5,00 mm/s	PPV 6,35 mm/s	PPV 9,35 mm/s	PPV 19,00 mm/s
20	0,97	1,33	2,22	5,71
25	1,51	2,07	3,47	8,92
30	2,17	2,99	5,00	12,85
35	2,96	4,06	6,80	17,49
40	3,86	5,31	8,89	22,84
45	4,89	6,72	11,25	28,91
50	6,03	8,30	13,88	35,69
55	7,30	10,04	16,80	43,18
60	8,69	11,94	19,99	51,39
70	11,83	16,26	27,21	69,95
80	15,45	21,24	35,55	91,36
90	19,55	26,88	44,99	115,63
100	24,14	33,18	55,54	142,75
110	29,21	40,15	67,20	172,73
120	34,76	47,78	79,98	205,57

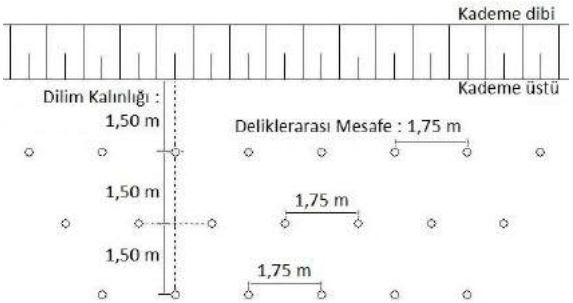
5 TİTREŞİM ANALİZİNE DAYALI GÜVENLİ PATLATMA TASARIMLARI

Her ne kadar şev üzerinde gerçekleştirilen test patlatmaları Ereğli yönündeki binalara 54 m ile 93 m; Ilıksu Mahallesi yönündeki binalara 39 m ile 92 m aralığında yapılmış olsa da; güvenli asıl patlatma tasarımları hazırlanırken, tam ölçek kontrollu patlatmaların şev dibinde yapıldığında binalara 25,0 m ile 60,0 m arasında değişen uzaklıklarda gerçekleştirileceği göz önüne alınmıştır.

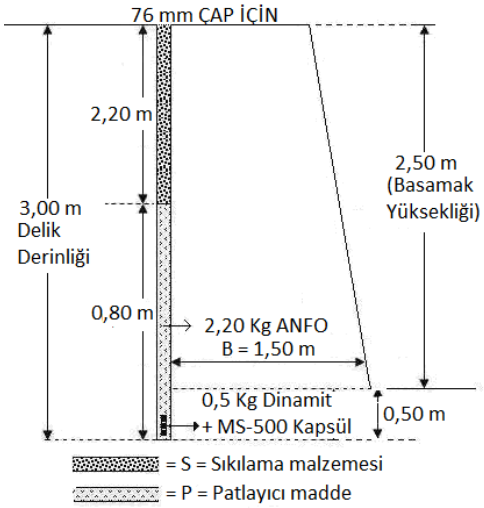
Ülkemiz yönetmeliğinde bina içinde bulunan kişilerin aşırı derecede rahatsız olmamaları için herhangi bir hüküm bulunmadığından, ABD Ulusal Standartlar Enstitüsünün günde bir patlatma için öngördüğü 12,70 mm/s veya 2-12 adet patlatma için öngördüğü 6,35 mm/s veya dalga frekansının 2 Hz olması durumu için yönetmeliğin öngördüğü 9,35 mm/s titreşim hızının bina zemininde aşılmaması da dikkate alınmıştır.

Öte yandan Dowding (1985) "Blast Vibration Monitoring and Control" isimli kitabında ABD'de yaptıkları titreşim ölçümleri ve binalarda hasar oluşup oluşmadığı veya oluştu ise hangi titreşim düzeyinde oluştuğunu araştırdıkları çalışma sonunda, eşik hasarın 76 mm/s; hafif hasarın 114 mm/s; ağır hasarın 203 mm/s titreşim hızı değerlerinde oluştuğunu anlatmaktadır. Bu değerler ve şev dibinde binalara en yakın uzaklığın 25 m, en uzak mesafenin ise 60 m olduğu dikkate alınarak gecikme başına 25 m mesafede 2,2 Kg, 30 m mesafede 3 Kg, 60 m uzaklıkta 10,40 Kg patlayıcı madde miktarı aşılmadan kontrollu patlatmalar tasarlanmış ve uygulanmıştır.

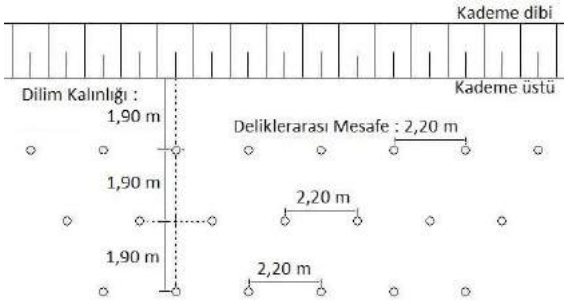
Örneğin binalara 30 m yatay uzaklıkta yapılacak patlatmalarda gecikme başına 2,5 Kg ile 3,0 Kg aralığında; binalara 55 m – 65 m yatay uzaklıkta yapılacak patlatmalarda gecikme başına 10,0 Kg ile 11,0 Kg aralığında patlayıcı madde miktarlarının aşılmamasına karar verilmiştir. Bu karar doğrultusunda hazırlanmış güvenli patern örnekleri Şekil 8, 9, 10 ve 11'de verilmiştir.



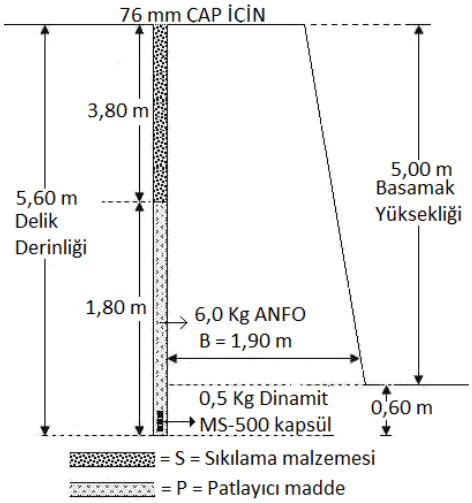
Şekil 8 Binalara 30 m mesafede gecikme başına 2,7 Kg ateşlenen delik düzeni



Şekil 9. Binalara 30 m mesafede gecikme başına 2,7 Kg ateşlenen delik şarj düzeni



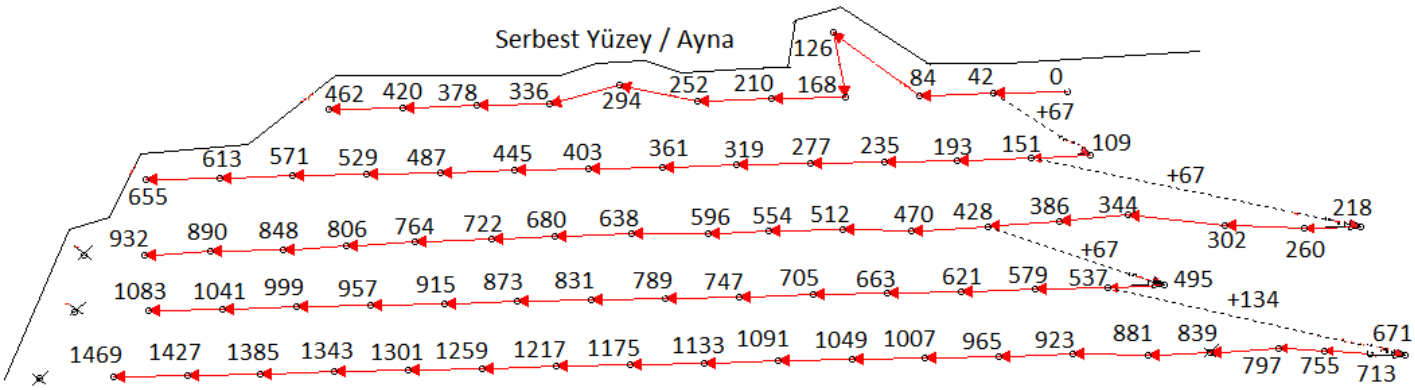
Şekil 10. Binalara 45-50 m mesafede gecikme başına 6,5 Kg ateşlenen delik düzeni



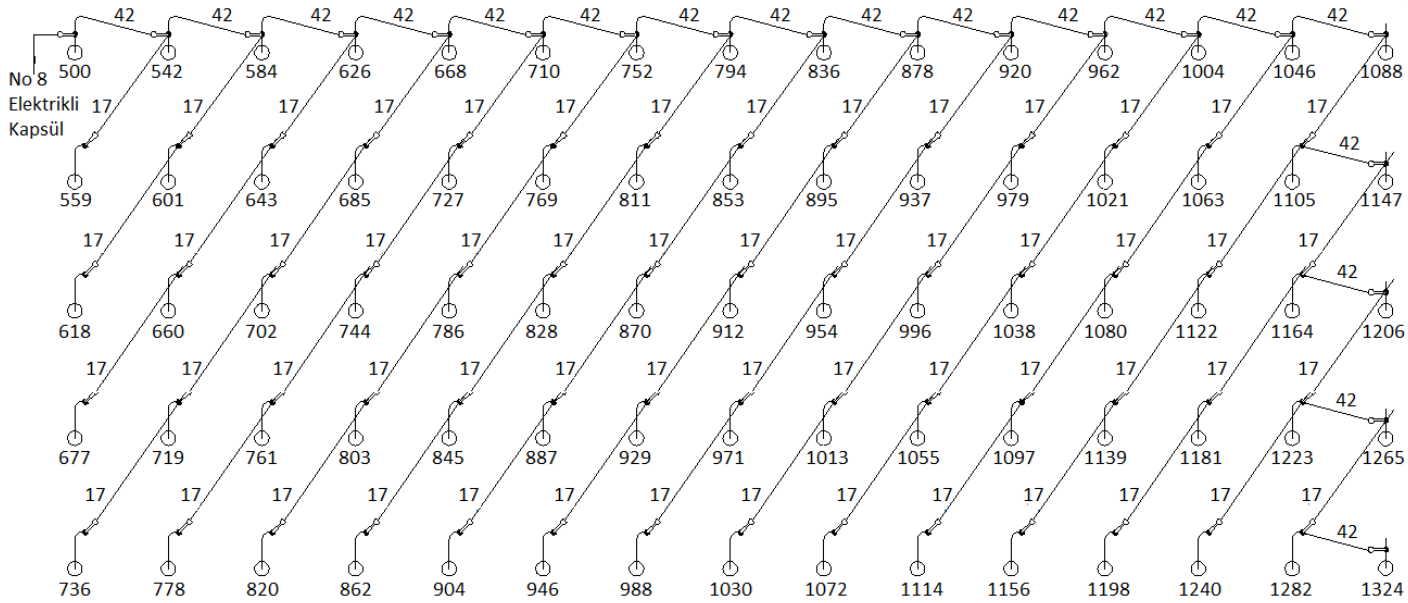
Şekil 11. Binalara 45-50 m mesafede gecikme başına 6,5 Kg ateşlenen delik şarj düzeni

Şev üst kesimlerinde binalara 75 m-85 m uzaklıkta yapılan tam ölçek ilk patlatmada ateşleme sıra gecikmeli düzen ile yapılmıştır. Test patlatmaları titreşim kayıtlarından saptanan hakim frekans değerleri dikkate alınarak; sıralar arasında 67 (ms) milisaniye, aynı sırada bulunan delikler arasında 42 ms gecikme süreleri kullanılmıştır. Bu durumda serbest yüzey karayoluna yaklaşık paralel durumda ve binaların tam karşısında olmaktadır. 19 Ağustos 2014 günü sıralı gecikme kullanılarak yapılan ilk tam ölçek patlatma sırasında taşların savrulmadığı, ancak yamaç aşağı karayoluna yuvarlandığı, bazı küçük taşların yoldan sıçrayarak bir binanın bahçesine girdiği görülmüştür.

Tam ölçek patlatmalar şev dip tarafında ve binalara yakın mesafe içinde yapıldığında taş savrulması/sıçraması halinde bu durum can ve mal güvenliği sorunu doğuracağından ateşleme düzeninin sıralı düzenden çapraz düzene değiştirilmesine karar verilmiştir. Çapraz düzen tabir edilen düzenin kullanılma nedeni, serbest yüzeyi, bir başka deyişle kaya hareket yönünü değiştirmek, eklemler, fay vb zayıflık düzlemleri sebebi ile veya delgi hataları sonucu dilim kalınlığının gerekenden az olması durumlarında taş savrulması oluşması halinde savrulan taşların binalar yönünde hareket etmesinin önlenmesidir. Sıralı gecikme düzeni Şekil 12'de, çapraz gecikme düzeni Şekil 13'te sunulmuştur.



Şekil 12. Şev üstünde binalara uzak mesafede ilk kullanılan sıralı ateşleme düzeni



Şekil 13. Şev alt tarafında binalara yakın mesafede kullanılan çapraz ateşleme düzeni

Kontrollü patlatmalar sonrası kademelerin ve şevin son durumu Şekil 14'te sunulmuştur.

Şekil 14. Kontrollu patlatmalar sonrası şevin son durumu ve Ilıksu Mahallesi yerleşimi

İki adedi 19 ve 22 Ağustos 2014 tarihlerinde, diğerleri 07 Mayıs 2015, 17 Ağustos 2015 tarihleri arasında yapılan tam ölçek kontrollu patlatmalar sırasında da titreşim ve gürültü ölçümleri yapılmış olup, can ve mal güvenliği sorunu yaşanmadan patlatmalar tamamlanmıştır.

Kontrollü patlatmalar sırasında en az 70, en çok 104 delikten oluşan patlatma grupları ateşlenmiş; ölçülen zemin titreşim hızı değerleri genellikle 4,220 mm/s ile 14,40 mm/s arasında değişmiş olup, bir kez 16,00 mm/s, bir kez de 18,43 mm/s olarak ölçülmüştür. En yüksek değer olan 18,43 mm/s değeri, binalarda eşik hasar yaratabileceği Dowding (1985) tarafından belirtilen 76 mm/s değerinin dörttebiri (%25) oranında oluşmuştur. Bu nedenle herhangi bir binada eşik hasar oluşmadığı gibi; patlatmalar öncesi eşik düzeyde hasarlı binalarda bulunan eski çatlaklar büyümemiş, genişlememiş ve uzamamış bulunmaktadır.

Öte yandan titreşim hızının 12,70 mm/s değerini aştığı üç patlatmada bina içindeki kişilerin hafif düzeyde rahatsız oldukları düşünülmektedir (ANSI, S3.29-1983).

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde yerleşim yerleri veya yakınında, metro ve karayolu tüneli, yol yarması veya yüksek binalar için kayalık zeminde temel kazıları patlatma yöntemi ile yapılmaktadır. Bu nedenle çevresel etki kontrollu patlatma tasarımı ve uygulaması büyük önem taşımaktadır. Bu bildiride Zonguldak Ilıksu Mahallesi karşısında yapılan kontrollu patlatmalar için yürütülen bilimsel ve teknik çalışmalar ile kontrollu patlatma uygulamaları anlatılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

- Kontrollu tam ölçek patlatma tasarımları hazırlamak için tek delik test patlatmaları yapılması; zemin hakim frekansının ve buna bağlı olarak uygun gecikme süresinin tespiti,

gecikme başına güvenle ateşlenmesi mümkün patlayıcı madde miktarının saptanması bakımlarından yararlı bulunmuştur.

- Bu çalışmada günde bir patlatma yapılacağı göz önüne alınarak, kişisel rahatsızlığa yol açmamak için ANSI tarafından belirtilen 12,70 mm/s titreşim hızının bina zemininde aşılmaması hedeflenerek kontrollu patlatma tasarım ve uygulaması yapılmıştır.
- Tasarlanan kontrollu patlatmaların tümünde delik yerleri uzmanlar tarafından işaretlendiği halde tam ölçek kontrollu patlatmalar sırasında üç ölçümde titreşim hızları 14,40 mm/s, 16,0 mm/s ve 18,43 mm/s olarak ölçülmüştür.
- Sözü edilen üç patlatmada amaçlanan titreşim seviyesinin aşılmasına delik delme işleminde yapılan hataların, bir başka deyişle yük mesafesinin tasarımda öngörülen değerden büyük gerçekleşmesinin neden olduğu değerlendirilmektedir. Çünkü yük mesafesinin bir veya birkaç delikte büyük olması halinde patlayıcı madde aşırı hapsedilmiş olduğu ve patlayıcı enerjisi kolay boşalamadığı için titreşim seviyesinde artışa neden olduğu değerlendirilmektedir.
- Yukarıda anlatılan nedenle, kontrollu patlatmalar için delik yerlerinin hassas olarak işaretlenmesi, delme işleminin yakından izlenmesi önerilmektedir.
- Kaya cinsi ve kütle yapısı her coğrafi yönde farklı olabileceğinden, analiz sonucunda sismik dalgaların zeminde yayılma ve sönümlenme formülleri her ayrı yön için tespit edilmelidir.
- Kontrollu patlatma uygulamalarının amaçlarına ulaşabilmesi için birim
- patlayıcı madde tüketiminin hassas biçimde saptanması ve deliklere kaya yükü ile dengeli miktarda patlayıcı madde doldurulması zorunludur.
- Tam ölçek patlatmalar sırasında da denetim amaçlı titreşim ve gürültü ölçümleri yapılması yararlı olmuştur.
- Gürültü ve taş savrulmasını önlemek için sıkılama uzunlukları mutlaka yük mesafesine (dilim kalınlığına) eşit veya ondan büyük uygulanmış ve bu sorunlara karşı başarılı olunmuştur.
- Sıkılama işinde delik çapına uygun boyutta, örneğin 76 mm çap için 5mm – 15 mm çap aralığında kırmataş kullanılmış ve taş savrulmasına karşı başarılı olunmuştur.

KAYNAKLAR

American National Standards Institute, 1983, *Guide to the Evaluation of Human Exposure to Vibrations in Buildings*, ANSI S3.29-1983, 10 pp.

Audell, H. S., 1996, Geotechnical Nomenclature and Classification System for Crack Patterns in Buildings, *Environmental and Engineering Geoscience*, Vol. II, No. 2, pp. 225 -248.

Bilgin,H.A., Dağaşan,Y., 2014, *Zonguldak Ereğli 2B Yolu İnşaatı Ilıksu Mahallesi Karşısında Yapılan Test Patlatmalarında Ölçülen Titreşimlerin Analizine Dayalı Asıl Yol Patlatmaları Tasarımı ve Asıl Yol Patlatmaları İçin Patlayıcı Madde İhtiyacı Teknik Raporu*, Proje Kod No: 2013-03-05-2-00-12, ODTÜ, Ankara, 187 sayfa.

Dowding, C.H., 1985, *Blast Vibration Monitoring and Control*, Prentice-Hall, 297 pages.

The Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement, 1983, Federal Register, 30 CFR Parts, 715, 780, 816 and 817, Vol. 48, No. 46, *Rules and Regulations* (governing the blasts associated with surface and underground mines), pp. 9788-9811.

Türkiye Cumhuriyeti Resmi Gazete, 04 Haziran 2010, No.27601, *Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği*, (madde.25, Ek-7).

Kaya Fırlamalarının Çoklu Regresyon ve Bulanık Mantık Yöntemleriyle Tahmin Edilebilirliği

Prediction of Flyrock Distance Using Multiple Regression and Fuzzy Logic

M. Sarı
Aksaray Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye

E. Ghasemi
Isfahan Teknoloji Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Isfahan, İran

M. Ataei
Shahrood Teknoloji Üniversitesi, Maden-Petrol-Jeofizik Müh. Bölümü, Shahrood, İran

ÖZET Açık ocak üretim patlatmaları esnasında meydana gelen kaya fırlamaları insanların ölümüne, bina ve ekipmanların hasar görmesine sebebiyet vermektedir. Bu tür istenmeyen olayların önlenmesinde, ocaklarda tatbik edilen delik düzeninden, kullanılan patlayıcı özelliklerinden veya jeolojik yapıdan kaynaklanabilecek kaya fırlamalarının önceden tahmini önem arz etmektedir. Bu çalışmada, İran'daki bir bakır açık ocak işletmesinde daha önceki üretim patlatmalarından derlenmiş olan 150 adet veriden faydalanılmıştır. Her bir patlatma düzeni için dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, delik çapı, delik boyu, sıkılama derinliği, özgül şarj, şarj miktarı ve kaya fırlamalarının mesafesi ölçülmüştür. Veriler üzerinde bilgisayar ortamında çeşitli paket programlar vasıtasıyla, boyutsal analiz, çoklu regresyon ve bulanık mantık yöntemleri uygulanmıştır. Farklı delik düzenlerinden ve/veya patlayıcı özelliklerinden kaynaklanabilecek kaya fırlama mesafesini en doğru tahminleyen modeller araştırılmıştır. Gerçek kaya fırlama mesafeleri ile oluşturulmuş olan modellerce tahmin edilen değerler farklı testler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Buna göre, kaya fırlama mesafelerini gerçek değerlere en yakın tahminleyen yöntemin yaklaşık % 87 doğruluk derecesi ile çoklu regresyon olduğu belirlenmiştir.

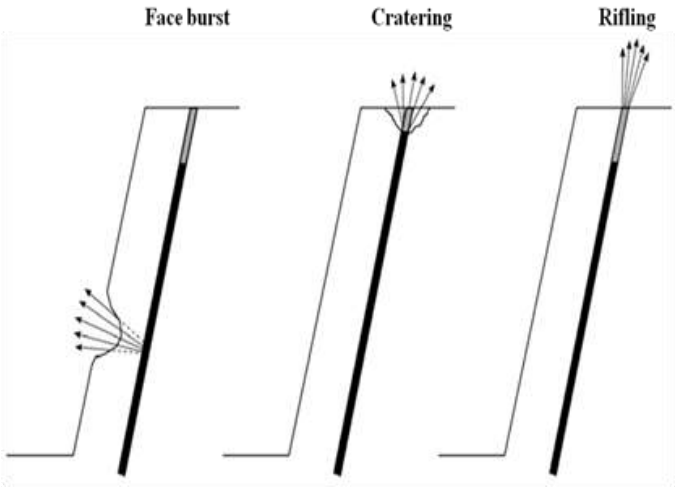
ABSTRACT One of the most important side effects of bench blasting is the flyrock, which can cause the loss of lives or damage to buildings and equipment. In order to prevent this kind of unwanted situation, it is highly important to predict flyrock occurrences that can be a result of improper blasthole pattern, blasting agent properties, and geologic conditions. In this study, 150 datasets were collected from the production blasting operations in a copper mine in Iran. For each blasting pattern, burden, spacing, blasthole length, blasthole diameter, stemming, specific charge, charge per blasthole, and flyrock distance were measured. Using different softwares, dimensional analysis, multiple regression and fuzzy logic techniques were performed on the available datasets. It is aimed to investigate the most accurate model that predicts the flyrock distance caused by different blasthole pattern or blasting agent properties. Actual and predicted values obtained from three models were compared using various goodness of fit statistics. It is found that the best fitting model is the multiple regression with an 87 % coefficient of determination.

1 GİRİŞ

Açık ocaklarda uygulanan kontrolsüz patlatmalardan dolayı insana ve çevreye ciddi zararlar verme potansiyeli bulunan, yer titreşimi, gürültü, hava şoku, kaya fırlaması ve toz oluşumu gibi birçok olumsuz durumla karşılaşılabilir. Patlatmalardan beklenen esas faydaysa, patlatma esnasında patlayıcılardan çıkan büyük miktardaki şok dalgası ve gaz enerjisinin tamamının kayaçların en uygun boyutta parçalanması ve aynadan yeterince ötelenmesinde kullanılmasıdır. Oysa birçok araştırma göstermiştir ki bu enerjinin ancak % 20-30'u istenen amaçlar doğrultusunda kullanılabilmektedir (Singh ve Singh 2005). Geriye kalan %70-80'lik gibi büyük bir kısmı ise istenmeyen, yan ürünler olarak ifade edilen olumsuz çevresel koşulların oluşmasına sebebiyet vermektedir. Bu tür olumsuz etkilerden en önemlisi olan kaya fırlamaları, patlatma esnasında oluşan kaya parçalarının güvenli sınırların dışarısına fırlaması şeklinde tarif edilmektedir (Persson et al. 1994, Rustan 1998). Büyük çaplı deliklerin kullanıldığı ocaklarda yapılan patlatmalarda bir kilometre veya daha uzak mesafelere ulaşan taş fırlamaları görmek olasıdır. Kaya fırlamaları, çevrede bulunan bina ve yapılara zarar verebilmekte, çalışanların ve çevre sakinlerinin yaralanma veya ölümleriyle sonuçlanabilmektedir.

Literatürde üç çeşit kaya fırlama oluşum mekanizmasından bahsedilmektedir. Bunlar, a) aynada fay gibi çeşitli süreksizlikler veya jeolojik zayıf zonlardan gazların ani çıkışından dolayı kaya fırlamasının görülmesi, b) uygun olmayan delik çapı-sıkılama derinliği oranından veya deliğin üst kısmında bulunan zayıf formasyondan dolayı delik ağzında krater oluşumu, c) yetersiz sıkılama derinliği veya uygun olmayan sıkılama malzemesi kullanımından dolayı gazların bu malzemeyi yukarıya fırlatması şeklinde olabilmektedir (Şek. 1).

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki kaya fırlamalarına neden olabilecek sebepleri iki ana başlık altında toplamak mümkündür. Birincisi, kontrol edilebilen patlatma tasarımı parametrelerdir ki bunlar delik düzeni ve boyutu, kullanılan patlayıcı özellikleri şeklinde ifade edilebilir. İkincisi
ise kontrol edilemeyen, jeolojik yapıdan veya kaya kütlesinin fiziksel-mekanik özelliklerinden kaynaklanabilecek daha çok doğal nedenlerdir. Yetersiz sıkılama derinliği, uygun olmayan geciktirme düzeneği, yetersiz dilim kalınlığı, hatalı delik delme, doğru hesaplanmamış özgül şarjdan kaynaklanacak kaya fırlamaları ilk kısma örnek olarak verilebilirken, özellikle patlatma deliğinin üst kısmında bulunan çok parçalanmış zayıf bir kaya zonundan dolayı meydana gelebilecek kaya fırlaması ikincisine örnek olarak verilebilir.



Şekil 1. Çeşitli kaya fırlama oluşumunun temsili gösterimi (Ghasemi ve ark. 2012).

Kaya fırlamalarını ve bunların sebep olabileceği maddi zararları veya ölümleri tamamen ortadan kaldırmak mümkün olmayabilir. Ancak, kaya fırlamalarından kaynaklanabilecek riskleri en aza indirecek güvenli mesafenin tahmin edilmesinde veya kaya fırlamalarına neden olabilecek en etkin değişkenlerin belirlenmesinde kullanılacak mühendislik ve bilimsel çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu amaçla, kaya fırlamalarının kat edebileceği en uzak mesafenin tahmin edilmesinde kullanılabilecek teorik ve deneysel eşitliklerin önerildiği birçok çalışma mevcuttur (Ladegaard-Pedersen ve Holmberg 1973, Lundborg ve ark. 1975, Roth 1979, Workman ve Calder 1994, Adhikari 1999, Bajpayee ve ark. 2004).

Bazzazi ve ark. (2009), bir fosfat madeninde yapılan 15 adet patlatma işlemine ait patlatma parametrelerini ve kaya fırlama mesafelerini verdiği çalışmasında, veriler üzerinde doğrusal, üstel, üs ve polinom eşitlikler denemiştir. Kaya fırlama mesafelerini gerçek değerlere en yakın şekilde tahmin edebilen modelin polinom, kaya fırlama mesafelerine etkiyen en önemli etkenin özgül şarj olduğu belirtilmiştir. Rezai ve ark. (2011), bulanık mantık yöntemi kullanarak demir cevheri çıkaran bir açık ocaktaki kaya fırlama mesafelerini modellemiştir. Çalışmada, bulanık mantık yöntemi kullanılarak geliştirilmiş olan modelin yaygın olarak kullanılan klasik istatistiksel tekniklerle oluşturulan modellere nispetle daha iyi bir tahmin performansı gösterdiği belirtilmiştir. Ghasemi ve ark. (2014), bulanık mantık ve yapay sinir ağları yöntemlerini kullanarak kaya fırlama mesafelerini tahminleyen modeller geliştirmişlerdir. Her iki yöntem kullanılarak geliştirilen modellerin oldukça yüksek doğruluk derecesinde tahminlerde bulunduğu çalışmada belirtilmiş, ancak bulanık mantık yöntemi ile oluşturulan modelin daha yüksek doğruluk değerleri ürettiği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada, bakır cevheri çıkarılan bir açık ocak işletmesine ait üretim patlatmalarından daha önceden derlenen veriler üzerinde, çoklu regresyon, boyutsal analiz ve bulanık mantık yöntemleri kullanılarak kaya fırlama mesafelerini tahmin eden modeller oluşturulacaktır. Bunlar içerisinde kaya fırlamalarını en doğru şekilde tahminleyen modelin belirlenmesine çalışılacaktır. Bu amaçla, her üç yöntem kullanılarak geliştirilen modellerin ne derecede gerçek değerlere yakın değerler ürettiği farklı test istatistikleri kullanılarak belirlenecektir.

2 ÇALIŞMA SAHASI VE VERİLERİN DERLENMESİ

Çalışmaya ait veriler İran'da faaliyet gösteren bir bakır ocağı işletmesinden elde edilmiştir. Söz konusu açık işletmede 410 milyon ton görünür rezerv mevcut olup, ortalama cevher tenörü % 0,67'dir. Ocak derinliği 725 m, basamak yüksekliği 12,5 m ve basamak eğimi 68 derece olacak şekilde cevher üretimi planlanmıştır. Nihai ocak şev açısı ise 37 derece olarak belirlenmiş, mevcut üretim rakamları ve 1,7'lik örtü-kazı oranı ile maden ömrünün 32 yıl sürmesi beklenmektedir. Patlatma düzeni olarak şeşbeş uygulanmakta olup, deliklerde ana patlayıcı malzeme olarak ANFO karışımı kullanılmaktadır.

Cevher zonu içerisinde oluşturulmuş basamaklarda yapılan 150 adet üretim patlatmalarına ait dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, delik çapı, delik boyu, sıkılama derinliği, özgül şarj, şarj miktarı ve kaya fırlamalarının mesafesi ölçülmüştür. Ocakta görülen kaya fırlamalarına daha çok aynadaki zayıf zonlardan veya aynayı kesen süreksizliklerden dolayı patlayıcı gazların çıkışının neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, patlatma sonucu maden sahasına yayılan taş parçalarının çapı 10 cm ve daha büyük olanları kaya fırlaması olarak kabul edilmiştir. Yavaş çekim kamera görüntülerinin incelenmesi neticesinde bu boyuttaki parçaların en uzağa düşmüş olanların yerleri tespit edilmiştir. El GPS'i kullanılarak, en son patlatmanın yapıldığı basamak aynasının konumu ile taşların düştüğü konum arasındaki mesafeler kuşbakışı ölçülmüştür. Sungun bakır madeninde ölçüm yapılan değişkenlere ait veriler Çizelge 1'de toplu halde verilmiştir.

Çizelge 1. Sungun bakır madeninde ölçüm yapılan değişkenlere ait veriler.

Değişken	Birim	Kısaltma	En düşük	Ortalama	En yüksek	St. Sapma
Dilim kalınlığı	m	DK	2,5	4,07	5	0,39
Delikler arası mesafe	m	DAM	3	4,93	6	0,52
Sıkılama derinliği	m	SD	2	3,99	4,5	0,36
Delik boyu	m	DB	8	11,76	16	1,86
Delik çapı	m	DÇ	0,089	0,134	0,152	0,01
Özgül şarj	kg/m^3	ÖŞ	0,145	0,4	1,118	0,12
Delik başına patlayıcı miktarı	kg	DPM	50	90,54	139,2	17,52
Kaya fırlama mesafesi	m	KFM	30	72,43	95	14,80

3 VERİLER ÜZERİNDE MODEL UYGULAMA ÇALIŞMALARI

3.1 Boyutsal Analiz

Bu çalışmada, Sungun maden ocağında elde edilen veriler üzerinde çeşitli istatistiksel yöntemler kullanmak suretiyle uygun matematiksel modeller oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, ilk defa Ghasemi ve ark. (2012) tarafından eskiden beri uygulanmakta olan boyutsal analiz yöntemi kullanılarak mevcut veriler üzerinde deneysel bir eşitlik önerilmiştir. Bu yöntemin temel prensibi, her bir girdi değişkenin ve çıktının aynı birim cinsinden ifade edilmesidir. Bunu yaparken, alternatif modeller arasında en uygun model ve bu modele dâhil olan her bir değişkene ait katsayılar belirlenebilmektedir. Boyutsal analiz yöntemi kullanılarak oluşturulan ve kaya fırlama mesafesinin tahmininde etkili olan parametrelerin girdi olarak kullanıldığı çok değişkenli lineer olmayan eşitlik aşağıda verilmiştir:

$$KFM = 6946{,}547[DK^{-0{,}796} x DAM^{0{,}783} x SD^{1{,}994} x DB^{1{,}649} x DÇ^{1{,}766} x (ÖŞ / DPM)^{1{,}465}] \quad (1)$$

3.2 Çoklu Regresyon

Çok değişkenli regresyon analizinde amaçlanan hedef, bir değişken üzerinde tanımlanmış olan birçok girdi değişken arasındaki ilişkiyi matematiksel bir eşitlik ile ifade etmektir. Burada önemli olan çıktı parametresinin tahmininde etken olan dolaylı değişkenlerin belirlenmesi ve bu değişkenlere ait en uygun model katsayılarının elde edilmesini sağlayan lineer eşitliğin oluşturulmasıdır. SPSS istatistiksel paket programı kullanılarak veriler üzerinde çok değişkenli regresyon analizleri yapılmıştır. Bu işleme ait program çıktısı Çizelge 2'de gösterilmiştir. Bu işlem sonucunda girdi değişkenleri cinsiden kaya fırlama mesafesini en iyi tahminleyen aşağıdaki lineer eşitlik elde edilmiştir:

$$KFM = 87{,}239 - 39{,}844DK - 13{,}384DAM + 26{,}782SD - 1{,}033DB + 794{,}046DÇ - 36{,}004ÖŞ - 0{,}291DPM \quad (2)$$

Çizelge 2'de verilen katsayılar incelendiğinde dilim kalınlığı (DK), delikler arası mesafe (DAM), delik boyu (DB) ve özgül şarj (ÖŞ) ile kaya fırlama mesafesi (KFM) arasında ters yönlü bir ilişkiden söz edilebilir. Yani bu değişken değerlerinde gözlemlenecek bir artış kaya fırlama mesafesinin azalmasını sağlayacaktır. Bu değişkenlerin değerlerindeki bir azalış ise KFM'nde bir artışa neden olacaktır. Sıkılama derinliği (SD), delik çapı (DÇ) ve delik başına patlayıcı miktarı (DPM) ile kaya fırlama mesafesi arasında doğru yönlü bir ilişki söz konusudur.

Bu değişkenlerin değerlerinde gözlemlenecek bir artış KFM'nin artışına neden olurken değerlerindeki azalış ise KFM'nin azalışıyla sonuçlanacaktır.

Aynı çizelgede yer alan standartlaştırılmış katsayılar incelendiğinde ise kaya fırlama mesafesini tahminleyen çoklu regresyon denkleminde en etkin girdi parametresinin dilim kalınlığı (DK) olduğu anlaşılmaktadır. Bu değişken -1,038'lik bir beta değeri ile KFM üzerinde en yüksek etkiye sahiptir. İkinci en yüksek etkiye sahip değişken ise 0,649'luk beta değeri ile sıkılama derinliği (SD) olmuştur. En az etkiye sahip değişken ise -0,129'luk beta değeri ile delik boyunun (DB) olduğu anlaşılmaktadır. T-dağılım istatistik değerleri incelendiğinde, çoklu regresyon modeline dâhil edilen bütün değişkenlerin anlamlılık düzeyi değerleri test değeri (α <0,05) olduğundan dolayı oluşturulmuş olan modelin geçerli bir model olduğu kabul edilmiştir. Sadece delik boyu (DB) anlamlılık değeri (0,092) test değerinin (α > 0,05) üzerinde çıkmıştır.

Çizelge 2. Çoklu regresyon denklemine ait katsayıları ve test istatistiklerini gösterir SPSS program çıktısı.

	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Sabit)	87,239	23,838		3,660	0,000		
DK	-39,844	3,101	-1,038	-12,848	0,000	0,143	6,975
DAM	-13,384	2,608	-0,474	-5,132	0,000	0,110	9,115
SD	26,782	1,974	0,649	13,569	0,000	0,409	2,445
DB	-1,033	0,609	-0,129	-1,695	0,092	0,161	6,229
DÇ	794,046	69,850	0,518	11,368	0,000	0,450	2,221
ÖŞ	-36,004	13,437	-0,303	-2,679	0,008	0,073	13,698
DPM	0,291	0,066	0,345	4,413	0,000	0,153	6,521

3.3 Bulanık Mantık

İlk defa Zadeh tarafından 1965 yılında önerilmiş olan bulanık küme, mantık ve sistem kavramları, fazlaca karmaşık, doğrusal olmayan sistemlerin çözümünde kullanılan bir yaklaşımdır (Şen, 2001). Bulanık mantık ilkelerinin klasik kümelerden temel farkı, bir elemanın herhangi bir kümeye ait olması hakkında verilecek kararın, klasik kümdeki gibi 'evet' veya 'hayır' gibi keskin olmayıp, bu elemanın ilgili kümeye ait olma olasılığının 0 ila 1 arasında değerler alabilen bir üyelik fonksiyonu ile ifade edilmesidir. Kesinlik belirtmeyen sözel ifadelerin (ağır, hafif, sert, yumuşak, yavaş, hızlı, sıcak, soğuk, vb.) bulanık modellere kolayca dâhil edilebilmesi bulanık mantığın diğer yöntemlerden en büyük farklılığıdır.

Bulanık modellerin yapısında üyelik fonksiyonlarının türü ve alt bölge sayısı, kural sayısı, durulaştırma (defuzzification) yöntemi gibi aşamalar belirleyici olmaktadır. Bulanık mantık yöntemi ile model oluşturma işleminde dikkat edilmesi gereken ilk husus, her bir değişkenin tanımlı olduğu uzay boyunca en uygun sayıda alt bölümün ve bunlara ait üyelik fonksiyonunun belirlenmesidir. Bu çalışma kapsamında genelde modelde yer alan değişkenler, '*düşük-orta-yüksek'* şeklinde üç adet alt bölgeye ayrılmış ve her bir bölge için en yaygın kullanıma sahip ve işlemlerde kolaylık sağlayan üçgen üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Sadece kaya fırlama mesafesi için '*düşük-orta-yüksek-ç.yüksek'* şeklinde dört alt bölge tanımlanmış ve her birisi için üçgen üyelik fonksiyonu seçilmiştir.

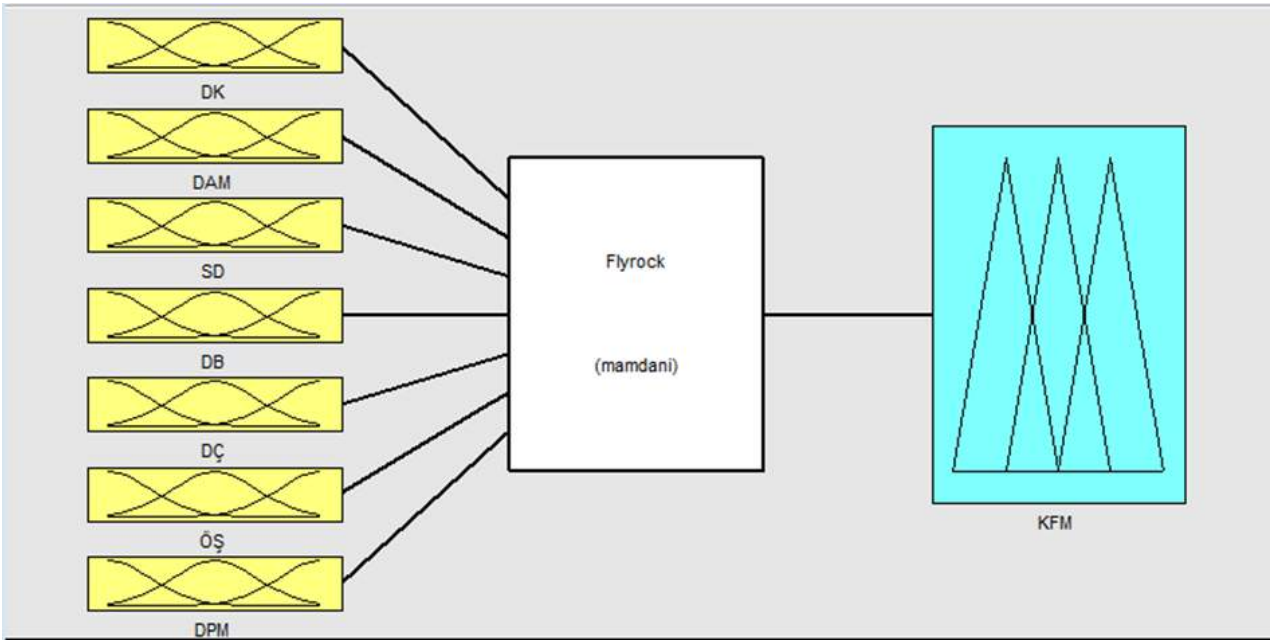
Bulanık mantık yönteminde en önemli aşama, öncül ve soncul parametreler arasındaki ilişkileri belirleyen '*Eğer-İse'* kurallarının oluşturulmasıdır. Bu çalışmada, en eski ve en yaygın, bulanık ilişkileri tanımlamakta tecrübeye dayalı bilgilerin rahatlıkla dahil edilebildiği, kolay ve

pratik olması gibi birçok avantajı barındıran Mamdani yöntemi tercih edilmiştir. Bahse konu işlemler Matlab ortamındaki bulanık mantık araçlar menüsü kullanılarak yapılmıştır. Bunu yaparken, 150 birimlik gözlem verisindeki her bir veri setinde yer alan her bir değişken için alt bölgeler ve bunlara ait üyelik fonksiyonları ayrı ayrı ifade edilmiştir. Her bir veri setinde yer alan değişkenler için tanımlanmış kurallar programa tek tek girilmiştir. Durulaştırma işleminde ise farklı alternatifler sınanarak (centroid, bisector, mom, lom, som) gerçek değerlere en yakın tahminleri üreten '*mom'* yöntemi tercih edilmiştir. Şekil 2'de, yukarıda aşamaları açıklanarak oluşturulan bulanık mantık modelinin en son hali şematik olarak gösterilmiştir.

4 BULGULAR VE TARTIŞMA

Kaya fırlama mesafelerini, kontrol edilebilir delik düzeni ve patlayıcı özelliklerinden faydalanarak önceden tahmin etmek amacıyla geliştirilen üç farklı modelin gerçek değerleri tahmin etme kabiliyetleri üç farklı ölçek kullanılarak test edilmiştir. Bunun için belirlenme katsayısı (R^2), VAF ve RMSE değerleri hesaplanmıştır. Çalışmaya dâhil edilen her üç modele ait iyi uyum test istatistik değerleri Çizelge 3'de toplu halde verilmiştir. Belirlenme katsayısı, oluşturulan bir modeldeki çıktı parametresinin değişkenliğin ne kadarlık kısmının girdi parametrelerince izah edilebildiğini gösteren bir değerdir. Bu değer, eğer 1,0 olacak olursa çıktı parametresindeki değişkenliğin tamamının modele dâhil edilmiş olan girdi parametrelerince açıklanabileceğini, başka bir ifade ile kaya fırlamalarında görülen değişkenliğin tamamının delik düzeni ve/veya patlayıcı özelliklerinden kaynaklanabileceğini ifade etmektedir.

Bu çalışmada oluşturulan her üç model için bu değerler sırasıyla, 0,8336, 0,8672, 0,7555 olarak bulunmuştur. En yüksek değer, çoklu regresyon yöntemi ile oluşturulan modelce hesaplanmıştır. Burada, kaya fırlamalarının yaklaşık % 86,72'sinin modele dâhil edilen değişkenlerden kaynaklandığı varsayılabilir. Geriye kalan % 13,18'lik kısmın ise modele dâhil edilemeyen daha çok jeolojik ve kaya kütlesi özelliklerinden kaynaklandığı sanılmaktadır. Boyutsal analiz, çoklu regresyon ve bulanık mantık yöntemlerine ait R^2 değerleri, gerçek ve tahmin edilen kaya fırlama mesafeleriyle birlikte sırasıyla Şekil 3'te verilmiştir.

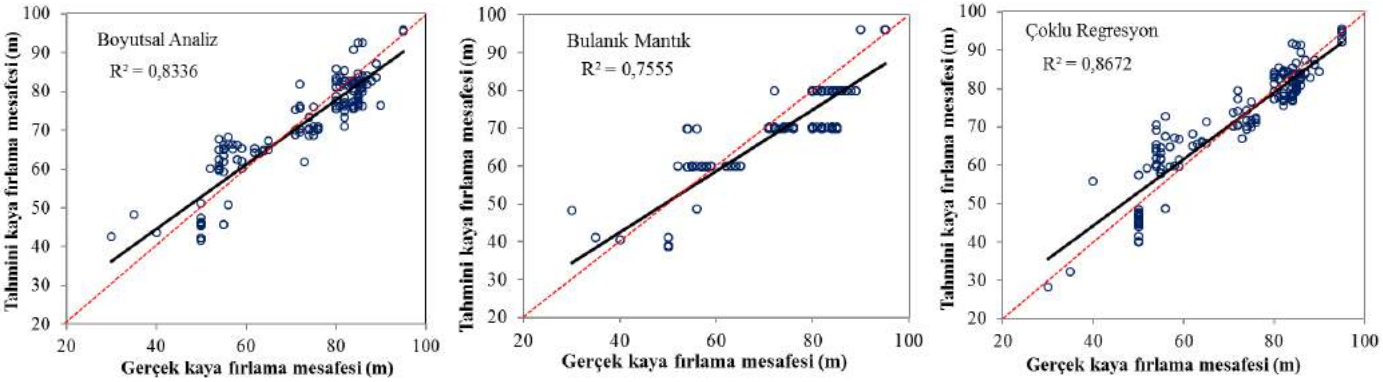


Şekil 2. Kaya fırlama mesafelerini (KFM) tahminleyen bulanık mantık modelinin şematik gösterimi.

Çizelge 3. Üç modele ait iyi uyum istatistik değerleri.

Model	R^2	VAF	RMSE
Boyutsal Analiz	0,8336	83,36	6,09
Çoklu Regresyon	0,8672	86,72	5,38
Bulanık Mantık	0,7555	75,15	8,21

Önerilen eşitliklerde şayet VAF değeri 100 ve RMSE değeri 0 olacak olursa, oluşturulmuş modelin tahmin kabiliyeti mükemmel demektir. Buna göre, VAF değerleri boyutsal analiz, çoklu regresyon ve bulanık mantık modelleri için sırasıyla 83,36, 86,72 ve 75,15 olarak hesaplanmıştır. Yine benzer şekilde, bu üç modele ait RMSE değerleri sırasıyla 6,09, 5,38 ve 8,21 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar dikkate alındığında, kaya fırlama mesafesini delik düzeni ve patlayıcı özelliklerin birer değişken olarak kullanıldığı modeller içerisinde gerçek değerleri en doğru şekilde tahminleyen modelin çoklu regresyon eşitliği olduğu anlaşılmıştır. Bulanık mantık ile regresyon yönteminin karşılaştırılması ile ilgili literatürde yer alan birçok çalışmada bulanık mantık yöntemi kullanarak oluşturulan modellerin regresyon modellerine göre daha doğru değerler tahmin ettiği vurgulanmıştır (Rezai ve ark. 2011, Ghasemi ve ark. 2014). Benzer bir durum bizim çalışmamızda söz konusu değildir. Bunun birçok farklı nedeni olabilir. Bulanık modellerin oluşturulmasında üyelik fonksiyonları, yapıları, kural sayısı, durulaştırma (defuzzification) yöntemi gibi aşamalar belirleyici olmaktadır. En uygun modelin bulunmasında bu aşamaların her birinin ayrı ayrı denenmesi ve en uygun olanların araştırılması gerekir. Bütün bu değerlendirmeler yapılmadan oluşturulacak olan modelin nihai model olması beklenilmemelidir. Örneğin kural sayısının artırıldığı bir bulanık Mamdani modelde performansın daha da artacağı varsayılmaktadır. Bütün bunlar dikkate alındığında bulanık mantık yönteminde bazı düzeltmelere gidilmesi gerektiği aşikârdır.



Şekil 3. Üç farklı yöntemce bulunan tahmini değerlerin gerçek gözlem değerleriyle karşılaştırılması.

5 SONUÇ

Açık ocak işletmelerinde, üretim amaçlı yapılan patlatmalar esnasında patlatmadan beklenen amacın dışında patlatma kaynaklı birçok sorunla karşılaşılmaktadır. Bu çalışmada, bu problemlerden insana ve çevreye en çok zarar verme potansiyeli gösteren kaya fırlamaları incelenmiştir. Kontrol edilebilir çeşitli patlatma parametrelerinden faydalanmak suretiyle kaya fırlamalarını önceden tahmin edilmesini sağlayacak modeller üzerinde çalışılmıştır. Bu amaçla, boyutsal analiz, çoklu regresyon ve bulanık mantık yöntemleri kullanılmıştır. Geliştirilen

modeller içerisinde, model doğruluğunu gösteren ölçek katsayıları dikkate alındığında, gerçek verilere en yakın tahminlerin çoklu regresyon modelince sağlandığı anlaşılmıştır.

Çalışmada dikkate değer diğer bir husus ise modellerin birbirine göre farklı iyi uyum ölçekleri göstermesidir. Bunun ise modellerce kullanılan eşitliklerin farklı olmasından ve modelleme sürecinde kullanılan işlemlerin farklılığından kaynaklandığı sanılmaktadır. Oluşturulan modeller sayesinde patlatma yapılmadan önce her bir delik düzeni ve patlayıcı özelliklerine bağlı olarak ne kadarlık mesafelerde kaya fırlaması meydana geleceği söz konusu saha için önceden tahmin etmek mümkün olacaktır. Bu sonuçlardan yola çıkarak, kaya fırlama mesafelerini en aza indirecek uygun delik düzeni ve patlayıcı özelliklerini çalışmaya konu olan saha için yeniden tasarlanması gerekebilecektir.

KAYNAKLAR

Adhikari GR, 1999. Studies on flyrock at limestone quarries. Rock Mech Rock Eng, 32:291–301.

Bazzazi AA, Osanloo M, Azimi Y, 2009. Flyrock prediction by multiple regression analysis in Esfordi phosphate mine of Iran. In: Proceedings of the 9th international symposium on rock fragmentation by blasting. Granada, Spain, p. 649–57.

Bajpayee TS, Rehak TR, Mowrey GL, Ingram DK, 2004. Blasting injuries in surface mining with emphasis on flyrock and blast area security. J Saf Res, 35:47–57.

Ghasemi E, Amini H, Ataei M, Khalokakaei R, 2014. Application of artificial intelligence techniques for predicting the flyrock distance caused by blasting operation. Arab J Geosci,7(1):193–202.

Ghasemi E, Sari M, Ataei M, 2012. Development of an empirical model for predicting the effects of controllable blasting parameters on flyrock distance in surface mines. Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci., 52:163-170.

Ladegaard-Pedersen A, Holmberg R, 1973. The dependence of charge geometry on flyrock caused by crater effects in bench blasting. Report DS1973, Swedish Detonic Res Found (SweDeFo), p. 1–38.

Lundborg N, Persson A, Ladegaard-Pedersen A, Holmberg R, 1975. Keeping the lid on flyrock in open-pit blasting. Eng Min J.,176:95–100.

Persson, P.A., Holmberg, R., Lee, J. 1994. Rock Blasting and Explosives Engineering. Boca Raton, FL: CRC Press.

Rezaei M, Monjezi M, Yazdian Varjani A, 2011. Development of a fuzzy model to predict flyrock in surface mining. Saf Sci, 49:298–305.

Roth JA, 1979. A model for the determination of flyrock range as a function of shot condition. US Department Commerce, NTIS Report no. PB81222358, p. 61.

Rustan, A. 1998. Rock Blasting Terms and Symbols- A Dictionary of Symbols and Terms in Rock Blasting and Related Areas Like Drilling, Mining and Rock Mechanics. Rotterdam: Balkema.

Singh TN, Singh V, 2005. An intelligent approach to predict and control ground vibration in mines. Geotech Geol Eng, 23:249–62.

Şen Z, 2001. Bulanık mantık ve modelleme ilkeleri. Bilge Yayıncılık, İstanbul.

Workman JL, Calder PN, 1994. Flyrock prediction and control in surface mine blasting. In: Proceedings of the 20th ISEE conference on explosives and blasting technique. Austin, Texas, p. 59–74.

Patlayıcının Duyarsızlaşma ve Etkileşim Yolu ile Bozulması

Explosives Malfunction from Sympathetic Detonation to Shock Desensitization

M. Derya, Ü. Kılıç, V. Alabaş
Madser Patlayıcı Maddeler San. ve Tic. Ltd. Şti., Çankaya/Ankara

ÖZET Patlatma uygulamalarında verimliliği arttırmak için uygulama şartları ve ihtiyaçlar tam olarak anlaşılmalıdır. Bunu gerçekleştirebilmek için kullanılan patlayıcının temel özellikleri hakkında bilgi sahibi olunmalıdır. Patlayıcı maddenin yanlış seçimi veya kullanımı, patlatmanın kısmen ya da tamamen başarısızlıkla sonuçlanmasına yol açacaktır.

Duyarsızlaşma, gaz baloncuklar veya mikro balonlar kullanılarak hassaslaştırılan patlayıcının (emülsiyon, watergel, vb.) ateşlenme duyarlılığını kaybetmesidir. Bu, patlatma performansını olumsuz yönde etkileyen önemli bir sorundur. Duyarsızlaşmanın aksine, patlama sonrası oluşan şok dalgasının komşu delikteki patlayıcıyı ateşlemesine etkileşim yolu ile patlama denir.

Etkileşim yolu ile patlama veya duyarsızlaşma, patlatma tasarımının bozulmasına ve verimliliğin düşmesine yol açacaktır. Bu bildiride, patlayıcının duyarsızlaşarak bozulmasına ve etkileşim yolu ile patlamaya yol açan temel sebepler anlatılmıştır.

ABSTRACT In order to maximize the performance of blasting it is necessary to fully understand their mode of operation and thus requirements. This can only be achieved with knowledge of those properties of explosives. If the explosive is used incorrectly, result in the partial or complete failure of the blast.

The desensitization of an explosive charge refers to the loss of detonation sensitivity of an explosive product that is sensitized via air bubbles or micro-balloons (emulsion, watergel, etc.) which is a serious concern for successful blasting result. Unlike desensitization, sympathetic detonation can occur when an explosive charge is initiated as a result of a shock wave produced by the detonation of a neighboring borehole.

Sympathetic detonation or desensitization directly affects productivity by disrupting blast design. This session will review the basic reasons behind the explosives malfunction.

1 GİRİŞ

Patlayıcın bozulması; patlayıcı madde ve/veya kapsüllerin duyarsızlaşarak patlamaz hale gelmeleri, düşük enerji açığa çıkarmaları veya yanlış zamanda patlamaları anlamına gelmektedir. Patlayıcının bozulması sonrası aşağıda verilen olumsuzluklar ile karşılaşılabilir:

- Deflagrasyon veya düşük patlama hızı
- Zehirli gazların açığa çıkması
- Yanlış zamanda patlama

Sonuç olarak patlayıcının bozulması sonrasında verimlilik ve patlatma işlerinde iş güvenliği olumsuz etkilenmekte, risk bölgelerinde patlatma kaynaklı yer sarsıntısının kontrolü

güçleşmektedir. Delik içerisinde bulunan patlayıcının ve/veya kapsülün komşu delikteki patlamanın etkisiyle bozulması, uygulamacıların özellikle yer altı patlatmalarında karşılaştığı oldukça önemli bir sorundur. Bununla birlikte karşılaşılan patlayıcı bozulmalarının gerçek sebeplerinin saha çalışmaları ile tespiti oldukça güçtür.

Bu bildirinin konusu; özellikle emülsiyon patlayıcılarda görülen bozulmalar ve bozulmaya yol açan mekanizmaların incelenmesidir. Günümüzde emülsiyon patlayıcıların özellikleri ve performansları hakkında bilinenler doğrultusunda bozulmanın gerisinde yatan sebepler aşağıdakilerin birinin veya birkaçının oluşumu ile gerçekleşmektedir:

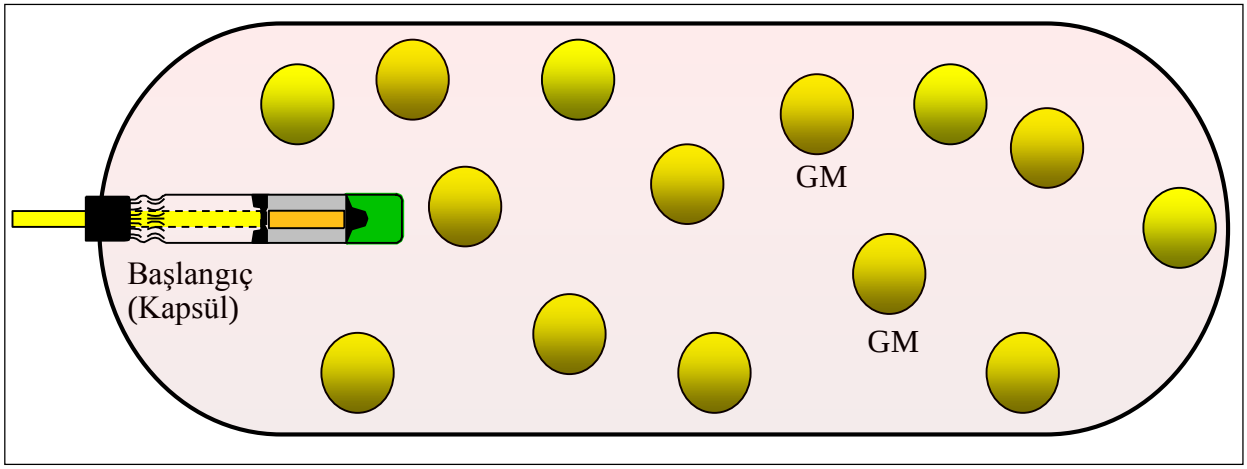
- Patlayıcının duyarsızlaşması (dinamik basınç etkisi)
- Patlayıcının yoğunluğunun değişmesi (hidrostatik basınç etkisi)
- Etkileşim yolu ile patlama
- Kapsülün bozulması

2 EMÜLSİYON PATLAYICILARIN DETONASYONU

2.1 Şok Dalgasının Etkisi İle "Sıcak Nokta" Oluşumu

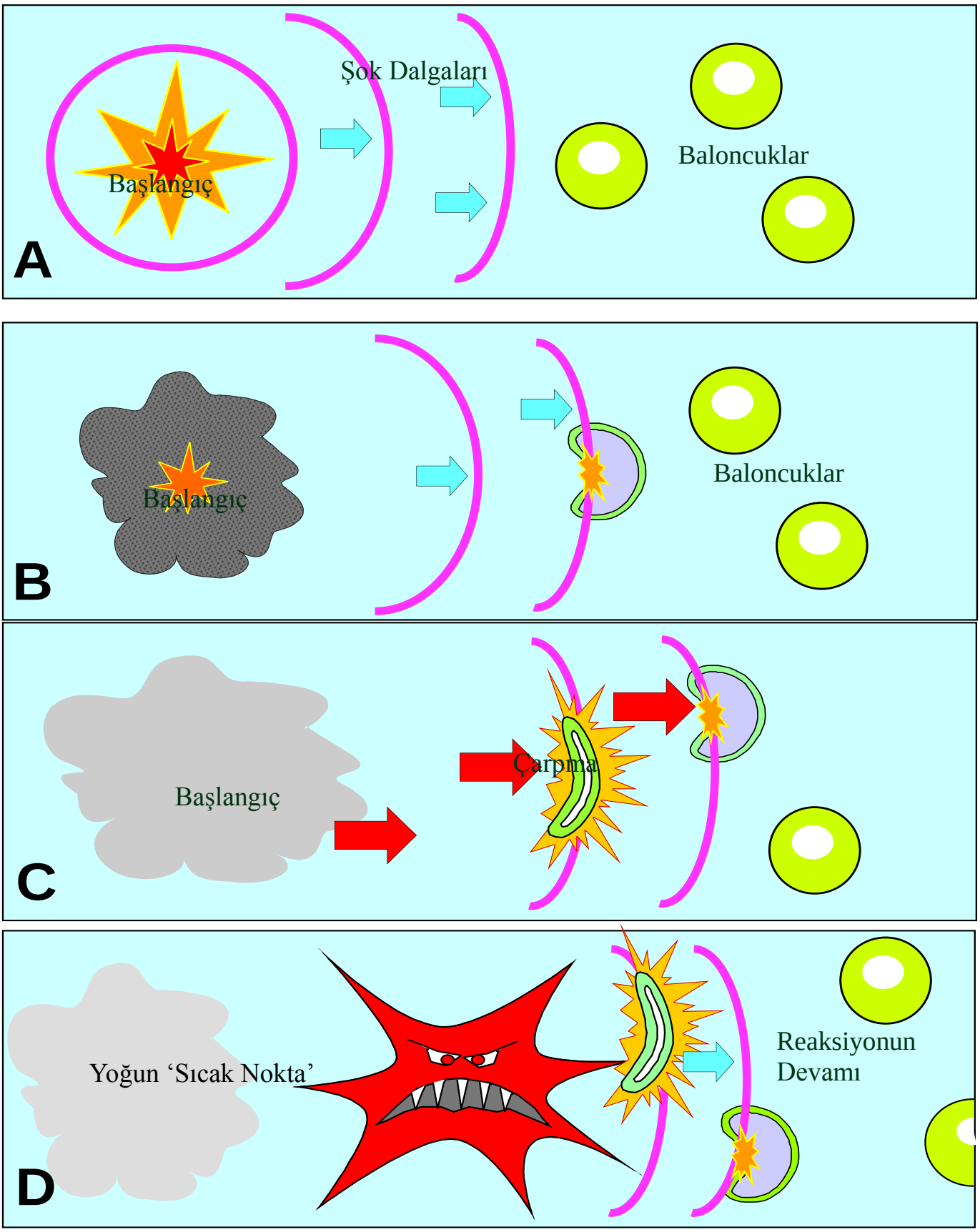
Emülsiyon ve harç patlayıcıların hassaslaştırılması gaz baloncuklar veya mikro balonlar (cam/plastik küreler) vasıtasıyla yapılmaktadır. Cam veya plastik mikro balonlar patlayıcı hamuru (matriksi) ile doğrudan karıştırılmakta, gaz baloncuk ile hassaslaştırma işlemi ise özel gazlama çözeltileri kullanılarak yapılmaktadır (Şekil 1).

Kapsül tarafından üretilen şok dalgası emülsiyon patlayıcı kolonu içerisinde bulunan baloncuklara çarptığında içerlerinde bulunan havayı sıkıştırır ve ısıtır.



Şekil 1. Patlayıcı içerisinde gaz veya cam baloncuklar ile oluşturulan boşluklar

Bu yüksek sıcaklık ve basınç etkisi ile her bir baloncuk iç yüzeyinden dışa doğru alev alır. Böylelikle, patlayıcının içerisinde sıcak noktalar oluşmakta ve bu bölgelerde kimyasal çözülmeler başlamaktadır. Bu küçük çözülme alanları reaksiyonun devamını sağlamaktadır. Her bir kimyasal çözülme alanında (sıcak nokta) üretilen yeni şok dalgası sonraki patlayıcı bölgesinin ayrışmasını ve istikrarlı bir patlama sürecinin devamını sağlamaktadır (Şekil 2).

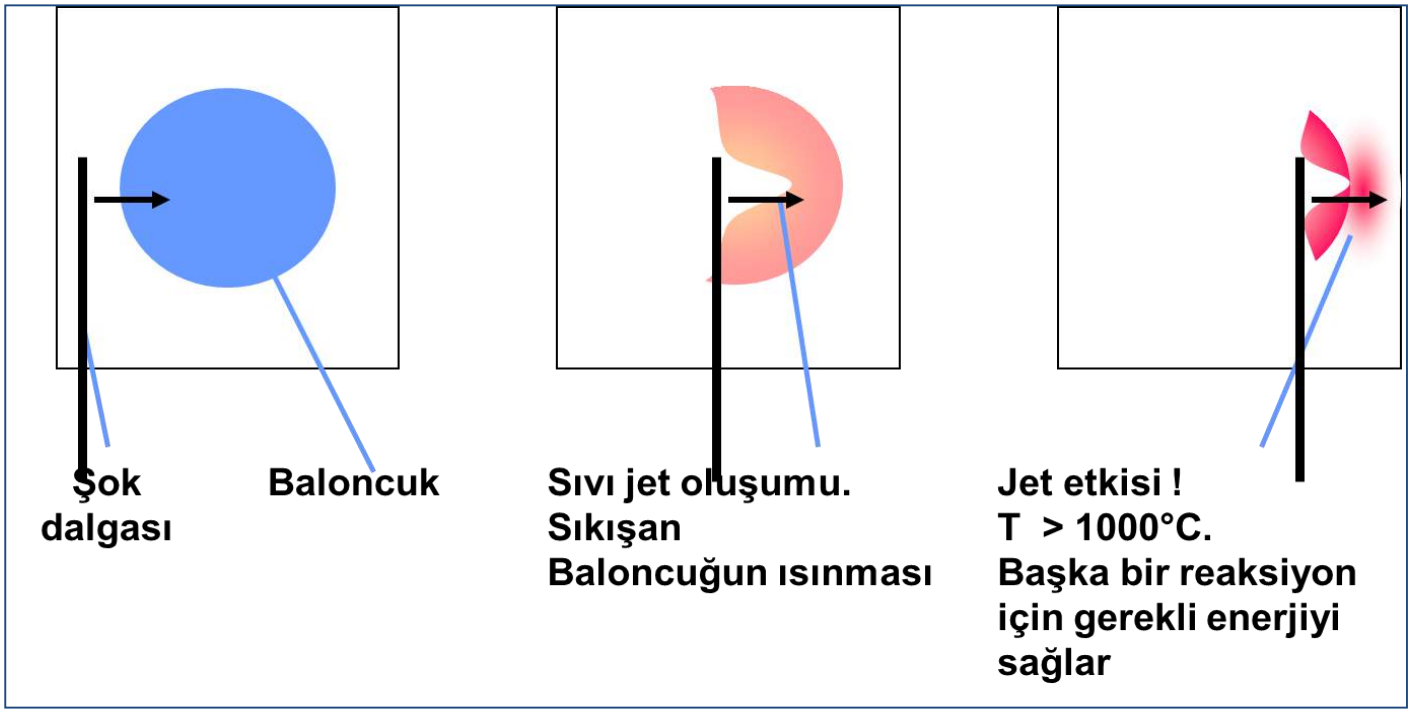


Şekil 2. Sıcak noktaların reaksiyonun devamını sağlaması (Orica Mining Services, 2008)

2.2 Şok Dalgasının Etkisi İle İçe Çöken Boşlukların Yarattığı Jet Etkisi

Bir şok dalgasının ön cephesi patlayıcı matriksi içerisinde bulunan baloncuğun ön yüzeyine ulaştığında/çarptığında baloncuk içeri doğru çöker. Baloncuğun çevresinin içeri doğru çökmesiyle (akmasıyla) jet etkisi oluşmaktadır (Johansson ve Persson 1970). Jet etkisi aynı

baloncuğun yüzeyine çarpan şok dalgasına göre iki ya da üç kat daha hızlıdır. Bu nedenle gaz veya mikro-balon ile hassaslaştırılan patlayıcıların ateşlenmesinden/patlamasından ve reaksiyonun devamından bu jet etkisinin sorumlu olduğu söylenebilir.



Şekil 3. Şok dalgasının etkisi ile jet etkisinin oluşumu (Orica Mining Services, 2008)

Bu sıcak noktalar, üzerinde genel olarak uzlaşılan bir bilgidir. Sıcak noktaların kesin fonksiyonları ise tam olarak anlaşılamamıştır. Yukarıda anlatılan mekanizmalar nedeniyle patlayıcı içerisinde sıcak noktalar oluşturulmaktadır. Genel bir kural olarak, bu boşlukları (hava baloncuğu, mikro balon) bozmak, yok etmek veya patlayıcının fazını değiştirmek (sıcak noktaların doğasını ve karışımın uygunluğunu değiştirmek) patlayıcının hassasiyetini değiştirecektir.

2.3 Sıcak Nokta Yoğunluğunun Azalmasına ve Bozulmalara Yol Açan Faktörler

Pratikte (sıralı patlatmalarda), boşlukların (sıcak nokta yoğunluğunun) azalmasına aşağıdaki faktörler neden olurlar:

- Komşu delikten yayılan şok dalgası
- Komşu delikten yayılan gaz etkisi (özellikle delikler arsında süreksizlik varsa)
- Delik içerisinde infilaklı fitil kullanımı
- Delik ve patlayıcının çap uyumsuzluğu sonucu oluşan ‘Kanal Etkisi’
- Kayanın ötelenmesi sonucu oluşan dinamik kuvvetler

Bu dinamik baskılar veya kanal etkisi sonucunda patlayıcının yoğunluğu değişebilir. Bu durumda oluşan duyarsızlaşma göründüğünden daha karmaşıktır. Duyarsızlaşan bir patlayıcı ve aksesuarlar tamamen bozulmak yerine çalışmak eğilimindedir. Ancak yanlış zamanda ve yanlış iş gücü (verimlilik) ile çalışacaklarından, olumsuzluğun altında yatan temel mekanizmanın anlaşılması güçleşecektir (Wieland ve Aler 1991). Böylelikle patlatmadan elde edilecek verim, tam patlatma ve hiç patlamama arasında bir yerde olacaktır.

Bir delik patladığında komşu delikler üzerinde oluşan stres dalgaları faklı hızlarda yayılmaktadır (tipik P dalga hızı kireçtaşı için 2500 m/s ve granit için 6000 m/s). Bu durumda delikler arası mesafeye bağlı olarak, oluşan şok dalgaları komşu deliklere 1 ms’den daha kısa bir sürede ulaşacaktır. Bu nedenle duyarsızlaşmanın bu süreden kısa bir süre sonra oluşacağı

söylenebilir. Diğer taraftan patlatma deliğini çevreleyen kayanın kırılıp yırtılması 10 - 20 ms sonra gerçekleşmektedir (Wieland 1987). Gecikme aralıklarının ise genellikle 25 ms ve üzerinde olduğu düşünülürse, şok ve yırtılma etkisinin bozulmalar üzerinde son derece etkili olduğu söylenebilir. Ancak bazı patlayıcılarda geri dönüş periyodu sonrasında patlayıcı tekrar patlayabilir hale gelmektedir. Bu geri dönüş için patlayıcıya gerekli süre tanınmalıdır.

Wieland (1987) bu işlemin karmaşıklığını anlamış ve patlayıcıları 2 kategoriye ayırmıştır: Esnek ve esnek olmayan patlayıcılar.

Esnek patlayıcılarda geri dönüş için gerekli bir bekleme süresi vardır. Darbe ile sıkıştırılan patlayıcı geçici bir duyarsızlaşmaya uğrar ve bir süre sonra kısmi olarak geri döner, tekrar ateşlenebilir hale gelir. Eğer patlayıcının geri dönmesi için gerekli süre verilmez ise bu patlatmanın dinamiklerini olumsuz etkileyecektir. Wieland'ın (1992) araştırmalarına göre harç ve emülsiyon patlayıcılar genellikle bu kategoridedirler.

Esnek olmayan patlayıcılarda, duyarsızlaşma olduğunda patlayıcı durumunu korumak eğilimindedir. Daha önce belirtildiği üzere patlayıcının içerisinde bulunan mikro-balonların veya gaz baloncukların baskı sonucu bozulması duyarsızlaşma sebebidir. Bu patlayıcının yoğunluğunun artmasına yol açar ve performans kaybı veya tam duyarsızlaşma ile sonuçlanır. Wieland'ın (1990)'ın yaptığı deneyler sonucunda esnek olmayan patlayıcılarda geri dönülemez faz değişiklikleri sonrası mikro yapıda gerçekleşen bozulmaların kalıcı olduğunu görmüştür. Emülsiyonlar ise duyarsızlaştıktan sonra duyarsızlaşmanın büyüklüğüne göre belli ölçülerde geri dönme eğilimli patlayıcılardır.

3. PATLAYICININ BOZULMASI

3.1 Duyarsızlaşma

Pek çok patlayıcı yüksek yoğunluklarda daha az duyarlı hale gelmektedir. Bu ilişki gaz veya mikro balonla (GMB) hassaslaştırılan patlayıcılarda daha belirgindir. Fiziksel duyarsızlaşma gaz baloncukların veya mikro balonların bozulması ile olur. Sıkışma ile duyarsızlaşma **"Dead Press"** olarak adlandırılır. GMB ile hassaslaştırılan patlayıcılar gaz baloncuklarla hassaslaştırılanlara göre daha az duyarlıdırlar. Çünkü gaz baloncuklar ile hassaslaştırılan patlayıcıların belli ölçülerde geri dönebilme yetenekleri vardır.

Duyarsızlaşma aşağıda verilen temel nedenlerle olur;

- Hidrostatik basınç
- Dinamik basınç
- Dinamik ve hidrostatik basınç kombinasyonu

Duyarsızlaşma kavramının daha iyi anlaşılabilmesi için emülsiyon patlayıcılarda kullanılan hassaslaştırıcı tipleri, özellikleri ve reaksiyon içerisindeki görevleri bilinmelidir.

3.1.1 Yoğunluk değişimi ile duyarsızlaşma

Ticari patlayıcıların seçim kriterlerinden biri de yoğunluktur. Yoğunluktaki küçük bir değişim patlayıcının patlama özellikleri, duyarlılığı ve performansını ciddi olarak etkileyebilir. Herhangi bir nedenle patlayıcının yoğunluğu artarsa, spesifik enerjisi ve ideal patlama hızı artar. Ancak yoğunluk belli bir kritik noktanın üzerine çıkarsa patlayıcı kararlı hızına ulaşamaz. Bu duruma **'dead press'** denir. Bu durumda patlayıcının içerisindeki gaz baloncuk ve mikro-balon ile oluşturulan boşluklar kaybolacak ve yeterli sıcak nokta oluşmadığından reaksiyon gerçekleşmeyecektir. Emülsiyon ve harç patlayıcılarda gaz ve mikro balonlar bulunmaktadır. Bunların iki temel amacı; performans parametresinin kontrolü ve hassasiyet kontrolüdür. Eğer yoğunluk dışarıdan gelen bir basınç sebebiyle delik içerisinde artarsa (değişirse), örneğin; komşu delikten kaynaklanan bir patlama sonucu şok dalgası diğer delikteki patlayıcının yoğunluğunu arttırırsa, onun duyarlılığını ve performansını etkileyecektir. Oluşan etki kalıcı

veya geçici olabilir. Bu etki, gaz baloncukların üzerinde olan hasarın derecesine ve patlayıcı fazındaki hasarın derecesine bağlıdır.

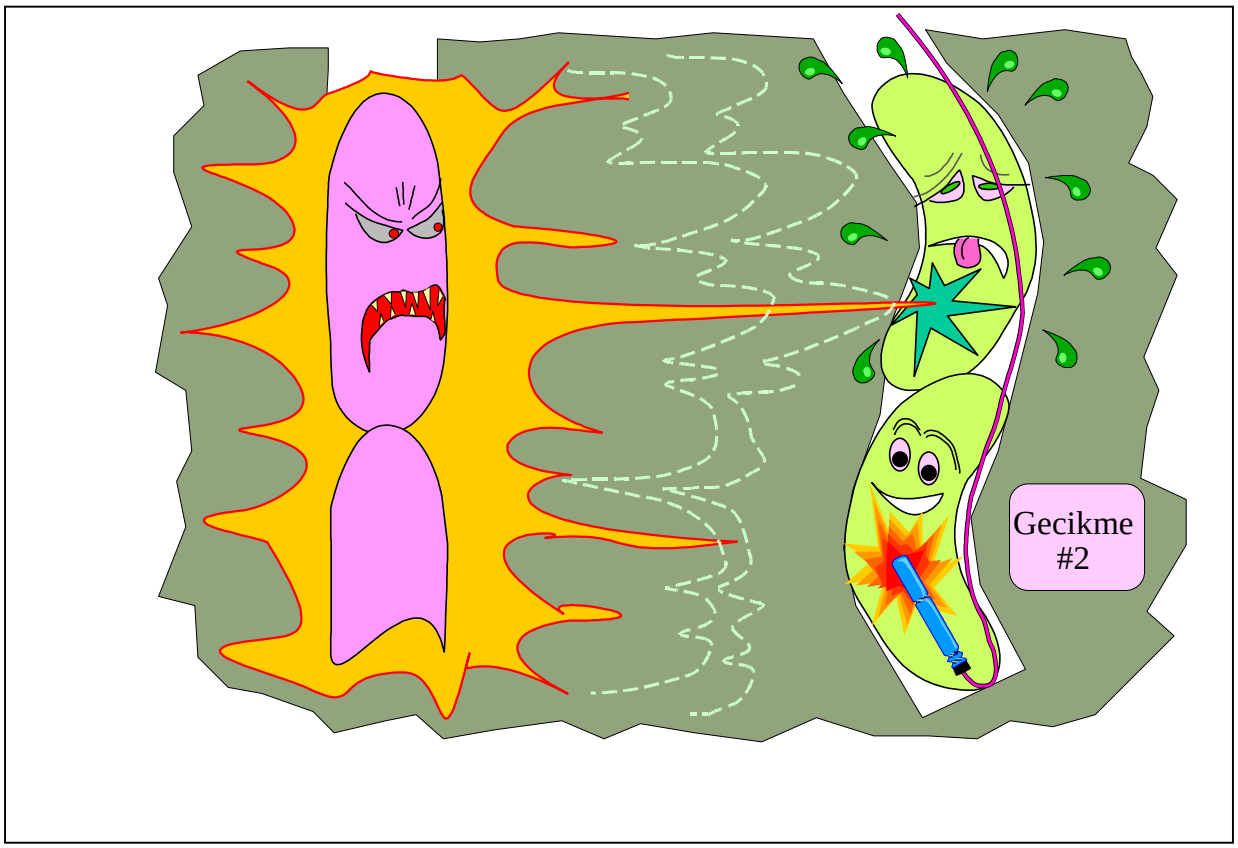
3.1.2 Basınç etkisi ile duyarsızlaşma

Patlatma delikleri birbirine yaklaştıklarında (sapma, delme hatası, vb.) önce patlayan delikler diğer delikteki patlayıcıyı çeşitli şekillerde etkileyebilir:

- Patlayıcı gazları çatlaklar/süreksizlikler vasıtasıyla komşu deliğe ulaşabilir.
- Önce patlayan delikten gelen şok dalgalarının yarattığı baskı vasıtasıyla etkilenebilir (Şekil 4).
- Yanal bozulma sonrası su ve kaya hareketi ile diğer delikte bulunan patlayıcının etkilenmesi söz konusu olabilir.
-

3.1.2.1 Dinamik basınç etkisi ile duyarsızlaşma

Özellikle yeraltı patlatmalarında patlatma deliklerinin dipleri birbirlerine delgi hatası vb. sebepler nedeniyle tasarımda belirlenenden daha fazla yaklaşabilirler. Bunun dışında delikler arasında süreksizlik kontakları bulunabilir. Böyle durumlarda önce patlayan delikler gecikme süresini bekleyen deliklerdeki paylayıcıyı gaz veya şok dalgalarının baskısıyla duyarsızlaştırmasına dinamik basınç etkisi ile duyarsızlaştırma denir (Şekil 4). Patlatma sonrası yığın içerisinde görülen patlamamış patlayıcı kartuşları dinamik basınç etkisi ile olan duyarsızlaşmanın işareti olabilir (Şekil 5-7). Açık ocaklarda delikler arası mesafelerin büyüklükleri nedeniyle bu tip duyarsızlık problemi ile karşılaşılmaz.



Şekil 4. Önce patlayan deliğin gecikme sırasını bekleyen delikteki patlayıcıyı etkilemesi

Şekil 5. Kapsül patlamasına rağmen patlamamış kapsüle duyarlı emülsiyon patlayıcı

Şekil 6. Patlamayan kapsüle duyarlı emülsiyon patlayıcının kalıntıları

Şekil 7. Kapsüle duyarlı patlamamış emülsiyon patlayıcının kalıntıları

3.1.2.2 Hidrostatik basınç etkisi ile duyarsızlaşma

Patlayıcı kolonuna patlayıcının dayanabileceğinden fazla hidrostatik basınç uygulandığı durumlarda gaz veya mikro balonlarla hassaslaştırılmış dökme ve paketli ürünler duyarsızlaşabilir. Derin (delik boyu > 5m) ve sulu deliklerle yapılan patlatmalarda hidrostatik basınç etkisi ile patlayıcı kolonu içerisinde bulunan boşluklar bozularak patlayıcının yoğunluğu artabilir. Bu nedenle kullanılan patlayıcının özellikleri iyi bilinmeli ve üreticinin tavsiye ettiği ürünler kullanılmalıdır.

Moharty ve Deshares (1989) değişik patlayıcılar üzerinde dinamik ve statik basınçların duyarsızlaşmaya etkisi üzerinde çalışmışlardır. Buna göre statik ve şok basıncının benzer etkileri bulunmaktadır. Ancak aynı yoğunluk değişikliğini yaratmak için dinamik basıncın statik basınca göre iki kat büyüklükte olması gerekmektedir.

3.1.3 Kanal etkisi ile duyarsızlaşma

Kanal etkisi ile duyarsızlaşma özel bir ile bozulma türüdür. Delik içerisinde patlayan patlayıcı aynı delikteki diğer patlayıcıları patlatmak yerine duyarsızlaştırabilir. Bunun sebebi patlama sonrası oluşan şok dalgalarının oluşturacağı basıncın diğer patlayıcıların patlamasına fırsat vermeden onların yoğunluğunu arttırmasıdır. Bu olaya kanal etkisi denir. Kanal etkisiyle duyarsızlaşmanın başlıca sebebi delik çapından çok daha küçük çapta patlayıcı kartuşu kullanılmasıdır. Son kesme deliklerinde uygulanan patlatma tekniği nedeniyle kullanılan küçük çaplı patlayıcının delik içerisinden çıkarılmış, patlamamış kartuşları Şekil 8'de görülmektedir.

Şekil 8. Son kesme deliklerinde kullanılan özel patlayıcılar

3.2 Etkileşim Yolu İle Patlama (Sympathetic Detonation)

Etkileşim yolu ile patlatma komşu delikte patlayan patlayıcının diğer delikteki patlayıcıyı ateşlemesi anlamına gelmektedir. Bu durum gecikme sürelerinin bozulmasına, ilerlemenin düşmesine ve sarsıntı kontrolü güçleşmesine yol açacaktır.

Etkileşim yolu (paralel deliklerde veya ara sıkılamalarda) ile patlamaya yol açan birçok parametre vardır.

- Deliklerin sapması – delik diplerinin yakınlaşması
- Komşu deliklerin (etkileyen – etkilenen) birbirine çok yakın olması
- Delik çapı
- Şarjlar arası uzaklık (ara sıkılama)
- Yemlemenin yeri ve konumu
- Kayaç yapısı
- Diğer delikten gelen gazın etkisi
- Diğer delikten gelen stres dalgasının etkisi

Yer altı patlatmalarında dar bir alanda birden fazla patlatma deliği farklı gecikme sürelerine sahip kapsüllerle doldurulur. Delik diplerinin birbirine çok yaklaştığı durumlarda mesafeye bağlı olarak önce patlayan patlayıcı, bekleyen patlayıcıyı etkileyerek patlatabilir. Bu tip patlamaları önlemek için deliklerin birbirlerinden ayrılma mesafelerinin tayini önemlidir.

Emülsiyon patlayıcılar daha az hassas olduklarından delikler arasında direk bağlantı/süreksizlik bulunmuyorsa, 200 mm'nin üzerindeki mesafelerde etkileşim yolu ile patlamaları pek mümkün değildir. Geçmiş saha deneyimlerimize istinaden Türkiye'de kullandığımız emülsiyon patlayıcıların hassaslaştırma elemanları da göz önüne alındığında 100 mm ve altı mesafede etkileşim yolu ile patlama 200 ile 500 mm mesafe aralığında ise duyarsızlaşma eğiliminde oldukları söyleyebiliriz.

3.2.1 Kapsülün bozulması

Pek çok araştırmacı bozulmaları araştırırken piroteknik gecikmeli kapsüllerin rolü üzerinde durmuşlardır. Wieland (1990) su altında şok dalgası testleri yaparak işin doğası ve potansiyel problemler üzerinde durmuştur. Araştırmalarında temel olarak kapsüllerin etkileşim yolu ile patlamaya veya yapısal hasara karşı olan duyarlılığını ortaya çıkarmayı amaçlamıştır. Harç patlayıcılar kullanarak gerçekleştirdiği deneylerde kapsüllerin 62 ila 164 cm mesafelerde ve farklı gecikme sürelerinde (25, 75, 175, 250 ms) bozulduğu sonucuna varmıştır. Kapsüllerde oluşan bozulmaları köprü telinin açılması, hasarlanan kovanlar ve etkileşim yolu ile patlamalar olarak rapor etmiştir.

3.3 Patlayıcıların Bozulmasının Bilinmeyen Olumsuz Etkileri

Patlayıcıların bozulmaları (duyarsızlaşma ve etkileşim yolu ile patlamaları) sonucu aşağıda verilen olumsuzluklar gerçekleşmektedir:

- Verimlilik – ilerleme problemleri
- Parçalanma – ötelenme problemleri
- Güvenlik problemleri
- Sarsıntı kontrolünde güçlükler

Yukarıda sayılan olumsuzluklar uygulamacılar tarafından genel olarak bilinmektedir. Bunun dışında bozulan patlayıcının patlama hızının (VOD) düşmesi ve yüksek oranda zehirli gaz açığa çıkardığı uygulamacılar tarafından pek bilinmemektedir.

3.3.1 Patlatma sonrası oluşan gazlar ve düşük patlama hızı

Wieland ve Ruhe (1991)'ye göre şok/basınç etkisi sonrası patlayıcıda orta derecede bir duyarsızlaşma olursa tam bozulma yerine deflagrasyon (parlama) ve/veya düşük hızda patlama gerçekleşebilir. Bozulan reaksiyon sonrası zehirli dumanlar CO ve NO_X oluşur.

Normal bir patlatmada amonyum nitrat bazlı patlayıcılar ayrışarak temel olarak Nitrojen (N_2), Karbondioksit (CO_2) ve Su (H_2O) oluşur. Ancak şok dalgası sonrası oluşan duyarsızlaşma durumunda, kimyasal reaksiyon tamamlanamaz ve CO ve NO_x (NO, NO_2 ve N_2O) gibi zehirli gazlar açığa çıkar. Oksijen eksikliği durumunda karbonmonoksit, oksijen fazlalığı durumunda ise nitrojen oksit gazları açığa çıkar. Bu nedenle oksijen dengesi patlayıcının reaksiyon sonrası ürettiği zehirli gaz seviyesini belirler. Bu zehirlilik seviyesi ise farklılık göstermektedir. Örneğin; NO gazı CO gazına göre 6 kata kadar daha zehirlidir. Yine de zehirli gazların oluşması sonucu toplam patlayıcının ürettiği enerji düşecek ve kayanın kırılması amaçlı yapılan iş miktarı azalacaktır.

Patlatma sonrası oluşması gereken H_2O, N_2 ve CO_2 yerine NO, NO_2, N_2O ve CO oluşması sonucu toplam enerji azalacaktır. Örneğin ANFO'yu ele alırsak normal bir oksijen dengesindeki patlama durumunda aşağıdaki reaksiyon oluşur:

$$37\ NH_4NO_3 + C_{12}H_{26} \rightarrow 37\ N_2 + 12\ CO_2 + 87\ H_2O \quad (1)$$

1000 g. ANFO için (946 g. NH_2NO_3 ve 54 g $C_{12}H_{26}$) açığa çıkan enerji **3797 kj/kg**
Diğer tarafta, reaksiyon CO üretirse denklem;

$$34\ HN_4NO_3 + C_{12}H_{26} \rightarrow 34\ N_2 + 9\ CO_2 + 81\ H_2O + 3\ CO \quad (2)$$

1000 g. ANFO için (946 g. NH_2NO_3 ve 54 g $C_{12}H_{26}$) için açığa çıkan enerji **3723 kj/kg**
Ancak reaksiyon NO_2 gazı oluştursa denklem;

$$68\ HN_4NO_3 + 2\ C_{12}H_{26} \rightarrow 67\ N2 + 24\ CO_2 + 152\ H_2O + NO_2 \quad (3)$$

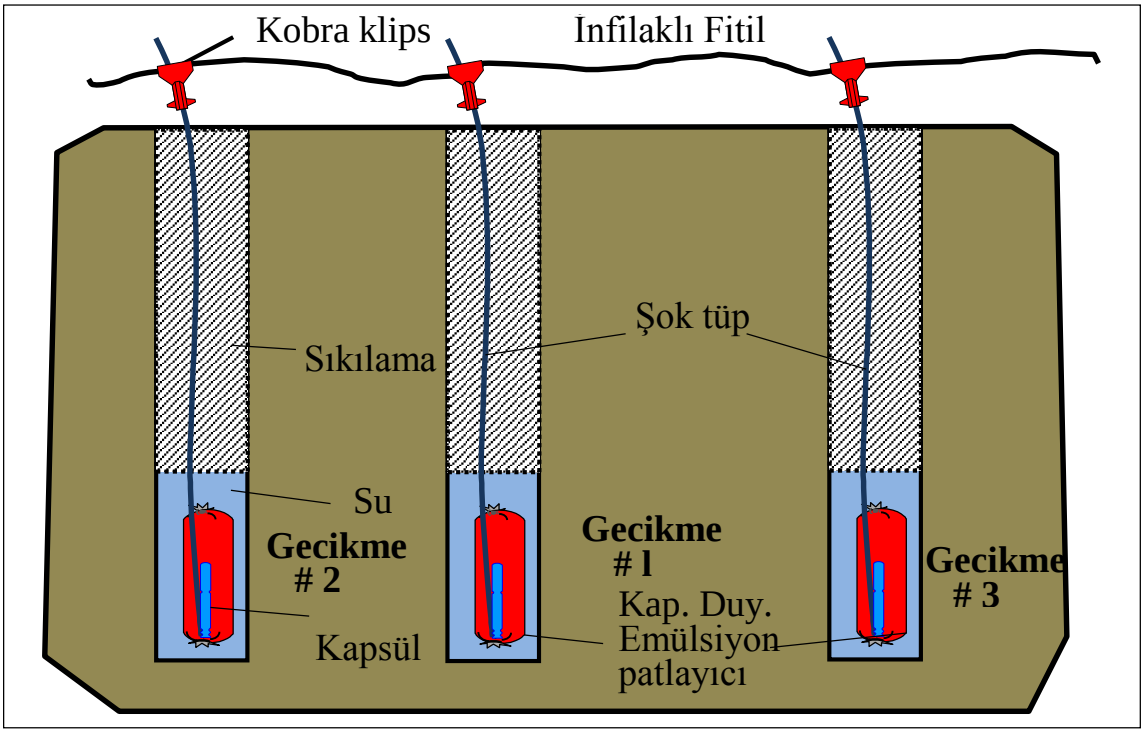
Bu durumda aynı kompozisyon için enerji miktarı bu sefer **3610 kj/kg** olacaktır.

(2) numaralı denklemde (1) numaralı denkleme göre kg patlayıcı başına % 2'lik bir düşüş gerçekleşmiştir. (3) numaralı denkleme göre ise her kg patlayıcı başına % 5'lik bir düşüş gerçekleşmiştir. Başlangıçta bu miktarlar fazla görünmese de, her patlatmada gerçekleşecek % 5'e varan bir enerji kaybının ciddi etkileri olacaktır. Daha kötüsü, zehirli gazlar yeraltı çalışma ortamının güvenliğini bozacak ve zaman kaybına yol açacaktır.

4 DUYARSIZLAŞMA DENEYLERİ

Patlayıcıların duyarsızlaşması konusunda yapılan bazı denemeler de mevcuttur. Denemelerde amaçlanan patlayıcı şarjlarının hangi mesafelerde duyarsızlaştığının tespitine yöneliktir.

Queens Üniversitesi (1993) tarafından yapılan duyarsızlaşma testlerinde, birbirine paralel, 5 metre derinlikte ve 45 mm çapta delikler delinmiştir. Granit içerisine delinen bu deliklerin birbirlerine olan mesafeleri farklı tutulmuştur. Her defasında bir delik ateşlenmiş ve farklı gecikme ve mesafelerdeki diğer deliklerde bulunan patlayıcılar üzerindeki etkileri gözlenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Deney deliklerinin görünümü

Denemeler sırasında delik içi VOD ölçerler kullanılarak patlayıcıların patlama hızları ve titreşim ölçerler vasıtasıyla parçacık hızları (PPV) ölçülmüştür. Tüm deliklere su konularak patlayıcı ve delik çapı arasında kontak ve uyum iyileştirilmiştir.

Şarj boyları 1,2 ila 1,6 metre olarak seçilmiştir. Gazlama solüsyonu kullanılarak hassaslaştırılan kapsüle duyarlı emülsiyon patlayıcının yoğunluğu 1,15 g/cm^3'tür.

Çizelge 1. 5 metrelik deliklerle yapılan testlerin sonuçları

Test No	İlk Delik VOD (m/s)	Delik Uzaklıkları (mm)	Gecikme Süresi (ms)	Patlama Zamanı (ms)	Yorum
1	4950	180	25	6,3	Bozulma
2	4730	180	25	11,4	Bozulma
3	4650	200	50	45,7	Patlama hızı = 4940 m/s
4	5060	200	50	48,4	Patlama hızı = 5270 m/s
5	4730	200	75	0,94	Bozulma
6	4950	200	75	0,41	Etkileşim yolu ile patlama Patlama hızı = 6000 m/s
7	5230	230	25	16,42	Bozulma
8	4960	230	25	18,97	Bozulma
9	5230	230	50	21,2	Bozulma Patlama hızı = 2430 m/s (ilk anda alınan kayıt)
10	4960	230	50	47,61	Bozulma
11	4650	230	100	45,9	Bozulma
12	5060	230	100	0,45	Etkileşim yolu ile patlama Patlama hızı = 1470 - 940 m/s

Test sonuçları kapsüle duyarlı emülsiyon patlayıcıların bu mesafelerde (180-230mm) sıklıkla bozulma eğiliminde olduklarını, etkileşim yolu ile patlamalara karşı ise daha dayanıklı olduklarını düşündürmektedir. Emülsiyon patlayıcıların düşük hassasiyet dereceleri göz önüne alındığında, sonuçların tutarlılık gösterdiği söylenebilir.

5 SONUÇ

Maden ve İnşaat sektörlerinde patlayıcı kullanımının temel amacı kaya kütlesinin kırılması, ötelenmesi veya gevşetilerek yüklenebilir hale getirilmesidir. Ancak bazı nedenlerle delik içerisinde bulunan patlayıcının duyarsızlaşarak patlamaz hale gelmesi, düşük hızda patlaması veya yanlış zamanda patlaması, verimlilik ve patlatma iş güvenliğini olumsuz etkilemekte, riskli bölgelerde patlatma kaynaklı yer sarsıntısının kontrolünü güçleştirmektedir.

Delik içerisinde bulunan patlayıcının ve/veya kapsülün komşu delikteki patlamanın etkisiyle bozulması, özellikle yer altı patlatmalarında karşılaşılan oldukça önemli bir sorundur. Bununla birlikte karşılaşılan patlayıcı bozulmalarının gerçek sebeplerinin saha çalışmaları ile tespiti oldukça güçtür.

Patlayıcıların bozulmaları üzerinde delik sapmaları, delik çapı ile uyumsuz patlayıcı çapı kullanımı, kayaç yapısı, yanlış patlatma tasarımı, uygun olmayan gecikme süreleri, patlayıcıda kullanılan hassaslaştırma elemanının çeşidi, patlayıcıda kullanılan emülgatörün (emülsiyonlaştırıcı) etkisi, vb. pek çok etken rol oynayabilir.

Bir başka deyişle patlayıcıların bozulmaları konusunda yeterli deneyime sahip olmaksızın yapılan tespitler doğru olmayabilir. Patlayıcı üreten firmalarda çalışan mühendisler zaman zaman bu yanılgıya düşmekte, yığın üzerinde bulunan patlamamış patlayıcı kartuşları için duyarsızlaşma teşhisini kolayca koyabilmektedirler. Kullanıcılar ise patlamamış kartuşlar ile karşılaştıklarında genellikle bu durumun ürün kalitesinden kaynaklandığını düşünmektedirler. Bir başka yanlış ise duyarsızlaşmanın sıkça atım kesmeleri ile karıştırılmasıdır. Bazen de uygulamacılar fark edilemeyen bir hataya bağlı olarak düşük VOD ile patlatmalar yapmakta, üretici firma mühendislerine ürünün gücü veya zehirli gazlar ile ilgili şikâyetler iletmektedirler.

Bu tip arızaların çalışma ortamında tespiti oldukça güç ve deneyim isteyen iştir. Genellikle arızalanan şarjlar kötü kırılma, kötü ilerleme dışında çok belirgin izler bırakmaz ve bu kötü sonuçların gerçek sebebinin anlaşılması oldukça güçtür.

Özetle patlayıcı ile çalışan uygulamacılar kullandıkları patlayıcıların özelliklerinin yanı sıra uyguladıkları patlatma metodunun gereklilikleri hakkında ne kadar çok bilgi sahibi olurlarsa o kadar bilinçli ve verimli patlatmalar yaparak yüksek güvenlikte çalışabilirler.

KAYNAKLAR

Johansson C.H., Persson P.A., *Detonation of High Explosives,* Academic Press, New York, 1970.

Aler J.T., Wieland M.S., *The Waiting Time Recovery Test,* 17th Annual Conference on Explosives and Blasting Techniques, ISEE, Solon, OH, 1991.

Wieland M.S., *The Desensitization and Malfunction of Coal-Mine Explosives,* 13th Annual Conference on Explosives and Blasting Techniques, Cleveland, OH, 1987.

Mohanty B., Deshaies R., *Pressure Effects on Density of Small Diameter Explosives,* 5th Annual Symposium on Explosives and Blasting Research, ISEE, Cleveland, OH,1989.

Wieland M.S., *The Laboratory Determination of Dynamic Pressure Resistance of Cap-Sensitive Explosives,* 16th Annual Conference on Explosives and Blasting Techniques, Orlando, Florida, 1990.

Ruhe T.C., Wieland M.S., *Toxic Fumes from Shock-Damaged Permissible Explosives,* 17th Annual Conference on Explosives and Blasting Techniques, Las Vegas, Nevada, 1991.

Orica Mining Services Technical Team, Engineering Training Program, Australia, 2008

Fitz G., *Desensitization in Multiple Borehole and Decked Charges,* B.Sc. Thesis, Department of Mining Engineering, Queen's University, Kingston, Canada, 1993.

Patlayıcı Maddelerle İlgili Mevzuatın Değerlendirilmesi

Assessing Legislation Related With Explosive Substances

Ç. Uzun
Nitromakdnx Kimya Sanayi A.Ş.

ÖZET "87 / 12028 sayılı Tekel dışı bırakılan patlayıcı maddelerle ilgili, av malzemesi ve benzerlerinin usul ve esaslarına ilişkin tüzük" resmi gazetede ilk yayınlandığı 29/9/1987 tarihinden bugüne kadar uygulamada karşılaşılan çözümsüzlükler sebebiyle kısmi değişikliklere uğramış, oluşan sıkıntılar genelge ve uygulama yönetmelikleri ile çözüme ulaştırılmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmada, ilgili tüzüğün cevap veremediği sorunları, genelge ve uygulama yönetmelikleriyle ne kadar çözümlenebildiği anlatılmıştır.

Özellikle teslim süresi olan hes, yol inşaatı gibi projelerde karşılaşılan yasal mevzuat ile ilgili sıkıntıların nasıl hızlı ve uygun yasal şartlar sağlanarak çözümlenebildiği değerlendirilmiştir. Bölgesel coğrafi şartlar sebebi ile 87 / 12028 sayılı tüzük şartlarının uygulanabilirliği tartışılmıştır.

ABSTRACT There has been partial changes in some articles of "The Regulation no.87/12028 for some unsolved practical difficulties up to date, and it was attempted to resolve those difficulties through directives and operating procedures following the first publishment of "The Regulation no.87/12028 on Procedures and Principles of production, import, transportation, storage, sales, usage, removal and inspection of unmonopolized explosive substances, hunting materials and similar goods " in the official gazette dated 29/9/1987.

Issues to which the related regulation fails to resolve, and up to which extent it has been achieved to resolve those issues through directives and operating procedures are explained hereby in this research.

It is assessed how legal issues encountered especially for projects with due dates such as HPP or road construction have been resolved in short periods by providing proper legal grounds, and applicability of some articles of the regulation no. 87/12028 against local geographic conditions is discussed.

1 GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkelerde teknolojinin ve insan ihtiyaçlarının farklılaşması, iş yapılabilirliğin arttırılması ve zamanın verimli kullanılabilmesi açısından yasal şartların da bu farklılaşmaya uyum göstermesini zorunlu hale getirmektedir.

Bu çalışmada Türkiye'de yürürlükte olan "87 / 12028 sayılı Tekel dışı bırakılan patlayıcı maddelerle ilgili, av malzemesi ve benzerlerinin usul ve esaslarına ilişkin tüzük" ile ilgili uygulamada karşılaşılan sorunlardan bazıları aktarılmaya çalışılmıştır. Bu sorunların başlıcaları;

- Tehlikeli madde taşımacılığı; ADR ve SRC 5
- Seyyar depo (gezici depo) kurulması
- Patlayıcı madde satın alma ve kullanma izin belgesi için patlayıcı madde ihtiyaç raporu hazırlanması

2 TEHLİKELİ MADDE TAŞIMACILIĞI; ADR VE SRC 5

Tehlikeli maddeler dünyanın her yerinde farklı taşıma türleri ile taşınmaktadır. Bir tehlikeli madde yolculuğuna; karayoluyla başlayıp, demiryoluyla limana taşınabilir ve havayoluyla taşımasına devam edip başka bir ülkedeki varış noktasına ulaştırılabilir. Taşıma türü ve geçilen ülkenin değişmesi sonucunda her defasında kuralların değişmesi taşımayı zorlaştıracak ve imkansız hale getirecektir. Bu nedenle; zaman içerisinde taşımaların dünya çapında ortak düzenlenmiş kanun ve kurallara göre yapılması zorunlu hale gelmiştir. Bu kapsamda kamuya açık alanlarda tehlikeli maddelerin hareketleri uluslararası özel bir mevzuat kapsamında düzenlenmiştir. "ADR"

Orijinal adı: Accord Europeen Relatif Au Transport International Des Marc Handıses Dangerous Par Route

İngilizce: Europen Agreement Concerning The International Carriage Of Dangerous Goods By Road

Türkçe: Tehlikeli Maddelerin Uluslararası Karayollarında Taşınmasına Dair Avrupa Anlaşması

Türkiye ADR anlaşmasına 22 şubat 2010 tarihinde taraf olmuş ve 1 ocak 2014 tarihinde yürürlüğe girmiştir. 2018 yılına kadar ise mevcut 20.000 aracın kademeli olarak bu standartları karşılaması gerekecektir.

Türkiye'deki uygulamaya henüz ADR standartlarında yeterli sayıda araç ve SRC 5 belgeli şoför olmadığı için geçilememiş, mevcut tüzük üzerinden taşımalar yapılmaktadır. 87 / 12028 sayılı tüzükte taşıma ile ilgili şartlar taşıma türüne göre madde 53 ve madde 81 aralığında verilmiştir. Bu aralıktaki maddelerden 58. ve 67. Maddelerin ADR ile uyumsuzluğu dikkat çekmektedir.

Madde 58 – Ana depolardan geçici ve gezici depolara ve iş yerlerine yapılan ve il sınırı dışına elli kilometreden çok çıkmayan taşımalarda, toplam üç yüz kilogramı geçmemesi ve çeşitli patlayıcı maddelerin aynı bölümlere konulmaması koşuluyla 57. maddenin birinci fırkası (Dinamitler, barutlar ve kapsüller aynı taşıtta bir yerde ve bir arada taşınamaz) hükmü uygulanmaz.

Madde 67 – Patlayıcı madde taşıyacak taşıtların ön ve arkasına, her iki taraftan görünecek biçimde, eni ve boyu otuz santimetre olan kırmızı renkte flamalar asılması, ön, arka ve yanlarına da boyu yirmi, çizgi kalınlığı iki buçuk santimetreden az olmayan beyaz renkli harflerle, kırmızı zemin üzerine, "PATLAYICI MADDE" sözcükleri yazılı levhalar konulması zorunludur.

Ancak; 58. maddenin uygulamasında ADR standartlarında olmayan, araç ebatlarından dolayı neredeyse yan yana taşınan kapsül ve patlayıcı nakilleri gözlemlenmektedir. 300 kg dinamitin patladığı öngörüldüğünde can kaybının kaçınılmaz olduğu aşikardır. Yasal olduğu halde belirtilen şekilde taşıma yapmak belirli bölgelerde yüksek risk almak anlamına gelmektedir.

67. maddenin uygulamasında ise özellikle terör olaylarının sık yaşandığı bölgelerde ön ve arkasında "PATLAYICI MADDE" yazan araçlarla taşıma yapmak oluşacak olumsuzluğun riskini daha da arttırmaktadır. ADR standartları gereği araçlara yazı yerine 1. sınıf patlayıcılar için öngörülmüş sayıların asılması yeterli olmaktadır.

Şekil 1. Araç üstü levhaları

Anlaşmaya taraf olan her ülkede nakliye araçlarına verilen ADR belgeleri aynı şartları sağlıyor olması gerekmektedir. Şekil 2'de görülen Gürcistan'a ülkemizden patlayıcı sevk etmek üzere gelmiş araca Gürcistan makamlarınca ADR belgesi verilmiştir. Ancak görülmektedir ki 1993 model aracın kasası bakımsız, işaretler belirtilen standartlarda değildir.

Şekil 2. Gürcistan'dan ADR almış araca ait ruhsat

Şekil 3. Gürcistan'dan ADR belgesi almış araç

3 SEYYAR DEPO (GEZİCİ DEPO) KURULMASI

Seyyar depo kurulumu ve gerekli olan şartlarla ilgili konular 87 /12028 sayılı tüzükte 101.maddeden itibaren yer almaktadır.

Genel olarak kurulum için ilk şart, Ek -1 sayılı "Patlayıcı madde işyerlerinin ve depolarının çevreye olan güvenlik uzaklıklarını gösterir çizelge" de belirtilen mesafelerin sağlanmasıdır. Bu asgari mesafeler tüzükte, kara ve su yollarına 100 metre, konutlara 193 metre olacak şekilde belirlenmiştir. Belirtilen mesafelerin, yoğun yağış alan ve dağınık şekilde yerleşilmiş bir bölgede sağlanması güç olmaktadır. 2 tonluk seyyar depoyu araziye yerleştirmek için tel örgüler dahil yaklaşık 45 m x 45 m uygun arazi gerekmektedir. Kamulaştırma çalışmaları proje işyeri

tesliminden sonra da devam ettiği için engebeli arazilerde "sağlık güvenlik bandı" oluşturmak zorlaşmaktadır. Bunların sonucunda ya depo proje sahasından uzak bir alana kurulmakta ya da kurulamamaktadır. Her iki durumda da güvenliği sağlamak şantiye yakınında depo kurulduğu durumdan daha tehlikelidir. Depo kurulamadığı durumlarda;

- Şantiyeler, bir sevkiyatta daha çok patlayıcı madde satın alıp, kazı miktarını arttırmak zorunda kaldığı için aynı anda patlayan delik sayısı artmakta ve patlatma sonucunda oluşan titreşim miktarı da artmaktadır.
- Her bir patlatma grubu için patlayıcı sevkiyatı yapılmakta ve nakliye maliyeti artmaktadır.

Deponun kurulacağı arazi ile ilgili sıkıntıların yanı sıra seyyar depo kurulumunda istenen belgeler de süreci uzatmaktadır. Bu belgeler;

- Valilik tarafından görevlendirilmiş makine mühendisine onaylatılmış seyyar depo projesi
- Seyyar depo kurulacak alana ait kroki
- Arazi kira sözleşmesi ya da arazi devlete ait ise ilgili makamdan "patlayıcı madde deposu kurulmasında sakınca yoktur" ibaresi bulunan yazı

şeklindedir. Bu belgelerden seyyar depo projeleri, ilgili tüzükte detaylı bir şekilde izah edilmiş ve çizimi verilmiştir. Tüzükte belirtilen boyutlar dışında seyyar depo yapılması ilgili tüzük ve heyet kontrolleri sebebi ile mümkün değildir. Tüzüğe uygun olarak hazırlanan ve makine mühendisleri tarafından onaylanmış depo projesinin, tekrar valilik bünyesindeki mühendislere onaylatılarak seyyar depo başvurusunun yapılması istenmektedir. Bu ikili onay prosedürü süreci yavaşlatmakta ve uzatmaktadır.

Belgelerden bir diğerinde arazinin hazineye ya da devlet kurumlarına ait olması durumunda ilgili kurumdan " seyyar patlayıcı deposu kurulmasında sakınca yoktur" ibaresi bulunan yazı alınması istemektedir. Belirtilen yazı için muhatap olunan kurumla yazışmalar yapılmakta bu yazışmalar süreç olarak seyyar depo kurulumunu ötelemektedir.

Seyyar depo kurulumundan önce 23.05.2001/24410 karar sayılı tüzük gereğince iki defa, il emniyet müdürlüğü, il jandarma komutanlığı, il çevre ve şehircilik müdürlüğü ve il itfaiyesinden yetkililerin oluşturduğu heyet seyyar depo kurulumu talep edilen arazide incelemeler yapmaktadır. Birincisinde arazinin güvenlik uzaklıklarına uygunluğuna, ikincisinde olur verilen arazide yapılan seyyar deponun tüzük şartlarına yapı olarak uygunluğuna bakılmaktadır. Heyetin toplanıp araziye gitmesi için belirtilen kişilerin aynı gün uygun durumda olup hareket etmesi gerekmektedir. Bu uygunluk 3 ay gibi sürelere ulaşabilmektedir. Süreli projelerde gerek zaman ve gerekse maddi olarak harcananlar artmaktadır.

Şekil 4. Seyyar depo

4 PATLAYICI MADDE SATIN ALMA VE KULLANMA İZİN BELGESİ İÇİN PATLAYICI MADDE İHTİYAÇ RAPORU HAZIRLANMASI

Aşağıda kronolojik olarak sıralanmış tüzük ve bu çerçevede yapılan değişiklikler belirtilmektedir:

12/10/2001 tarihli uygulama talimatında (Değişik bend: 14/05/2001 - 2001/2443 S.Tüz./13. md.) " Bünyesinde maden mühendisi bulunan kamu kuruluşları ile özel kuruluş veya kişiler ihtiyaçlarını kendileri tanzim edebilirler. Bu olanağa sahip olmayan kamu kuruluşları ile özel kuruluş veya kişiler il valiliğince görevlendirilecek maden mühendisleri veya bünyesinde maden mühendisi bulunduran bir kamu kuruluşunca verilir. "

9-10-11/10/2012 tarihli silah ve patlayıcı maddeler çalıştayın da "Patlayıcı madde satın alma kullanma izin belgesi ihtiyaç raporları maden mühendislerinin inisiyatifine bırakılmamalıdır. Bu raporlar ile ilgili kamu kurum ve kuruluşlarının uzmanlarından veya teknik personelinden yararlanılmak suretiyle düzenlenmelidir."

22/02/2013 tarihli patlayıcı maddeler birleştirilmiş genelgesinde "İşin nevine göre (madencilik, HES, yol veya tünel yapımı, bina yıkımı vb.) valilik bünyesindeki teknik personelce (mühendis veya mimar) düzenlenecektir."

Oluşan son durumda valilik bünyesinde görevli bütün mühendis ve mimarlar patlayıcı madde ihtiyaç raporu hazırlayabilecek durumdadır. Bu konuda ilgili teknik elemanlara herhangi bir eğitim verilmemiş yalnızca il emniyet müdürlüklerinden, ilgili kurumda bulunan mühendis ve mimarların patlayıcı madde ihtiyaç raporu hazırlayıp hazırlayamayacağı sorulmuştur. Bünyesinde mühendis ya da mimar bulunduran kamu kurumları, patlayıcı madde ihtiyaç raporunu hazırlayabileceğini belirtmesi sonucunda mühendis veya mimarlar yetkili olmuşlardır.

Özetle, maden mühendisi olmayan ve meslek hayatında hiç patlayıcı madde ve ferilerini kullanmamış ya da patlayıcı madde ile ilgili herhangi bir eğitim almamış teknik personelin ihtiyaç raporu hazırlaması yasal hale getirilmiştir. Bu durum günlük olarak yetersiz patlayıcı madde alınmasına ya da ilgili iş için cins ve miktarları düzensiz olan ihtiyaç raporları oluşmasına, detaylı bir ihtiyaç raporu hazırlandığında ise delik başına düşen patlayıcı miktarının yetersiz ya da fazla olarak belirlenmesine neden olmaktadır.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde: tehlikeli madde taşımacılığı; ADR ve SRC 5, seyyar depo (gezici depo) kurulması, patlayıcı madde satın alma ve kullanma izin belgesi için patlayıcı madde ihtiyaç raporu hazırlanması konuları ile ilgili önceki bölümlerde ifade edilen sorunlar maddeler halinde verilmiştir. Ayrıca sorunların giderilebilmesi için gerekli önerilerde bulunulmuştur.

- Türkiye ADR anlaşmasına taraf olmasına rağmen mevcut tüzükte ADR standartları ile çelişen maddeler bulunmaktadır. Bu çelişen maddelerin belirlenerek gerekli düzenlemelerin yapılması önerilmektedir.
- Ülkemizde mevcut patlayıcı taşıyan araçlara bazı standartlar getirilmiştir ancak "Tehlikeli maddelerin uluslararası karayollarında taşınmasına dair Avrupa anlaşması (ADR)" na tam olarak geçiş sağlanamamıştır.
- ADR ve SRC 5 uygulamalarına tam olarak geçilebilmesi için gerekli araç sayısına ulaşılabilmeli ve gerekli SRC kursları verilmelidir. Son yıllarda özellikle SRC 5 eğitimi veren kursların sayısının artması, ve 1 ocak 2014 tarihinden itibaren ADR yönetmeliği UN tip ambalaj kullanılması, şöförlerin SRC 5 belgesi ve Sınıf 1 ehliyetleri alması,

danışmanlar ve faaliyet belgeleri adımlarının sırasıyla yürürlüğe girmesi ve denetlemelerinin başlatılması yakın tarihte tam anlamıyla uygulamaya geçilebileceğinin bir işareti olarak görülmektedir.

- Seyyar depo kurulumu için gerekli güvenlik şartlarının sağlanabilme olanakları bölgelere göre farklılık göstermektedir. Bazı bölgelerde asgari güvenlik mesafelerinin sağlanması imkansız haldedir.
- Seyyar depo kurulamaması özellikle günlük tüketimin yüksek olduğu iş yerlerinde ek maliyet, zaman kaybı ve ek prosedür getirmektedir.
- Patlayıcı madde tüketiminin yüksek olduğu projelerde seyyar depo bir zorunluluk haline gelmektedir. Teslim tarihli projelerde seyyar depo kurulum süresi proje süresinin içinde önemli bir yere sahiptir ve bu sürenin minimumda tutulması gerekmektedir.
- Seyyar depo kurulumu için gerekli olan prosedürler için düzenlemeler yapılmalıdır.
- Patlayıcı madde satın alma ve kullanma izin belgesi için gerekli olan "ihtiyaç raporu" tanzimi, mevcut düzenleme ile patlayıcı madde ile ilişkilendirilemeyen teknik personele yaptırılabilmektedir. Maden mühendisi olmayan ve meslek hayatında hiç patlayıcı madde ve ferilerini kullanmamış ya da patlayıcı madde ile ilgili herhangi bir eğitim almamış teknik personelin ihtiyaç raporu hazırlaması yasal hale getirilmiştir. Bu durum günlük olarak yetersiz patlayıcı madde alınmasına ya da ilgili iş için cins ve miktarları düzensiz olan ihtiyaç raporları oluşmasına, detaylı bir ihtiyaç raporu hazırlandığında ise delik başına düşen patlayıcı miktarının yetersiz ya da fazla olarak belirlenmesine neden olmaktadır.
- "Patlayıcı madde ihtiyaç raporu" hazırlanması yalnızca maden mühendislerine bırakılmalıdır.
- Maden mühendisleri odasının belirtilen sorunların çözümü için ilgili makamlarla ortaklaşa çalıştaylar düzenlemesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Avrupa ekonomik komisyonu iç ulaştırma komitesi 2012, Tehlikeli malların karayolu ile uluslararası taşımacılığına ilişkin Avrupa anlaşması – New York ve Cenevre

Derici R. – Özdikmen T. 2011, Tehlikeli maddelerin güvenliği ve emniyetli nakli (sayfa13-14) – Ankara

Ertunç B, 2014, ADR, Nitromak Newblaster 5.sayı, 2.sayfa, Ankara

Tekel dışı bırakılan patlayıcı maddelerle ilgili, av malzemesi ve benzerlerinin usul ve esaslarına ilişkin tüzük (87 / 12028)

Patlayıcı maddeler birleştirilmiş genelgesi (2013-28)

Türkiye'deki Patlayıcı Mevzuatının İncelenmesi, Eksiklerinin Tespiti ve Çözüm Önerileri

Examining the Turkey's Explosive Legislation, Determining Its Insufficiencies and Solution Offers

E. Karakaş, A. Kahriman
Okan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Patlayıcı Mühendisliği Ana Bilim Dalı

A. Çeltikçi, S. Bağdatlı
Okan Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü

ÖZET Son yıllarda dünyada, patlayıcı madde üretiminde ve kullanımında büyük teknolojik gelişmeler yaşanmaktadır. Bu gelişmelere paralel olarak ülkemizde de patlayıcı maddelerin sivil sektörde kullanımı ivmelenerek yaygınlaşmaktadır.

Patlayıcı maddelerin üretimi, depolanması, taşınması ve kullanılması gibi alanlarda yasal düzenlemelerin incelenmesi büyük önem arz etmektedir. Çünkü bu gibi kritik alanlarda çalışan kişilerin icra ettikleri faaliyetler söz konusu düzenlemelere tabidir. Bu nedenle söz konusu kuralların çok iyi bir şekilde bilinmesi ve ilgili mevzuata hakim olunması gerekmektedir. Bu bildiri kapsamında, Türkiye'de kullanılmakta olan patlayıcı ile alakalı mevzuat irdelenmiştir. Daha sonra, mevzuatımızın eksikleri tespit edilmiştir. Bu eksikler tespit edilirken konu ile alakalı uzman kişilerin görüşlerine başvurulmuştur. Tespit edilen eksikler gerekçeli olarak sıralanmış ve ardından bu eksiklerin giderilmesine yönelik çözüm önerileri sunulmuştur.

ABSTRACT In recent years the world has made great technological advancements in the production and the usage of explosives. Parallel to these developments, the use of explosives in non-military areas is also spreading in our country in an accelarating manner.

People who work in the production, storage, transportation and usage of explosives have to conform with regulations, and therefore examining the legislation has great importance. Because, employees working in such critical fields have responsibilities set by the legislations. Thus, knowing these rules very well and mastering the relevant legislation are necessary. In this paper, explosive legislation that is being used in Turkey is examined. Then, insufficiencies of the legislations are determined. During this study, explosive experts were consulted. The insufficiencies are listed with their reasons and then solutions are proposed for the elimination of these insufficiencies.

1 GİRİŞ

Günümüzde, dünyada maden ve inşaat gibi sektörlerde patlayıcı madde kullanımına yönelik ihtiyaçlar büyük bir hızla artmaktadır. Hızlı nüfus artışı ve kentleşme ile beraber oluşan konut, ulaşım yolu ve hammadde ihtiyacı, ülkemizde de yoğun olarak hissedilmektedir. Bu gelişmeler neticesinde ülkemizde de patlayıcı madde kullanımı önemli ölçüde yaygınlaşmıştır. Açık ocak madenciliği, yer altı madenciliği, inşaatlarda temel kazıları, tünel açma gibi alanlarda kullanılan en ekonomik ve etkili yöntem patlayıcı madde kullanılarak kaya parçalanmasıdır. Bu nedenle de bahsi geçen alanlarda en çok başvurulan yöntem patlayıcı madde kullanımıdır.

Ayrıca mevcut ihtiyaçlar ve patlayıcı madde kullanım hızındaki artış ivmelenerek devam etmektedir. Hızla büyüyen ve gelişen bu sektörde, faaliyetlerin sağlıklı bir şekilde yürütülmesi büyük önem taşımaktadır. Bunun için de faaliyetler yürütülürken, bir düzen ve intizam içinde kurallara bağlı kalınmalıdır.

Yapılan her faaliyette olduğu gibi, patlayıcı faaliyetlerinde de uyulması gereken hukuk kuralları bulunmaktadır. Ayrıca, patlayıcı gibi yüksek tehlike barındıran bir alanda çalışan insanlar için, bu kurallara uyulması daha da önem kazanmaktadır. Bu kurallara uyulmaması durumunda hem ölümle dahi sonuçlanabilecek kazalar meydana gelebilir hem de yasal yaptırımlarla karşılaşılabilir. İşte bu istenmeyen durumlarla karşılaşılmaması için, patlayıcının üretiminden taşınmasına, depolanmasından sahada kullanılmasına kadar her aşamada mevzuat en ince detaylarına kadar bilinmeli ve uygulanmalıdır.

Ne yazık ki, ülkemizde patlayıcı ile alakalı mevzuat oldukça yetersizdir. Mevzuatımız, bu alanda son yıllarda hızla yaşanan gelişmelere ayak uyduramamıştır. Ayrıca mevcut normlar da güncelliğini yitirdiği için ihtiyacı karşılayamamaktadır. Bu çalışmada, ülkemizde patlayıcı ile ilgili olarak var olan mevzuat incelenerek sorunlar ve eksikler tespit edilmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur.

2. YASAL DÜZENLEMELER

Bu bölümde Türkiye'de yürürlükte bulunan patlayıcı ile alakalı yasal düzenlemeler üzerinde durulacaktır. Bu düzenlemeler aşağıda sayılmıştır:

2.1 Anayasa

2709 sayılı Türkiye Cumhuriyeti Anayasası; Kurucu Meclis tarafından 18.10.1982'de Halkoylamasına sunulmak üzere kabul edilmiş ve 20.10.1982 tarihli ve 17844 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmış; 07.11.1982'de Halkoylamasına sunulduktan sonra 09.11.1982 tarihli ve 17863 Mükerrer sayılı Resmi Gazete'de yeniden yayımlanmıştır. 177 adet madde ve 19 adet geçici maddeden oluşmaktadır. Hazırlandığı tarihten günümüze kadar olan süreçte 19 kez değişikliğe uğramıştır.

Anayasa, bir ülkenin temel kanunu olup, devletin yönetim biçimini, yasama-yürütme-yargı erkleri arasındaki ilişkiyi, temel hak ve özgürlükleri düzenler. Anayasa'da, herhangi bir konu ile ilgili temel esaslar yer almakta olup, bu konunun ayrıntılı düzenlenişi kanunlar ve diğer alt düzenleyici işlemlere bırakılmıştır. Anayasa'daki patlayıcı konusu ile ilgili temel alınabilecek düzenleme madde 56'tır. Sağlık hizmetleri ve çevrenin korunması başlıklı bu maddenin ilk iki fıkrasına göre; Herkes, sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir. Çevreyi geliştirmek, çevre sağlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek Devletin ve vatandaşların ödevidir. Bu temel madde çerçevesinde, patlayıcı madde üreticileri, kullanıcıları ve herhangi bir şekilde bu maddelerle çalışan kişilerin, çevreye karşı görevleri, anayasal seviyede düzenlenmiş olmaktadır.

2.2 Maden Kanunu

3213 sayılı Maden Kanunu, Türkiye Büyük Millet Meclisi tarafından 04.06.1985 tarihinde kabul edilmiş, 15.06.1985 tarihli ve 18785 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Maden Kanunu, yürürlüğe girdikten sonra muhtelif tarihlerde 11 kez değişikliğe uğramıştır. Bu değişikliklerden en kapsamlı olanı 2004 yılında 5177 sayılı kanun ile gerçekleştirilmiştir. Maden Kanunu, 54 madde, 20 geçici madde ve 9 ek maddeden oluşmaktadır.

2.3 Barut ve Patlayıcı Maddelerle Silah ve Teferruatı ve Av Malzemesinin İnhisardan Çıkarılması Hakkında Kanun

6551 sayılı Maden Barut ve Patlayıcı Maddelerle Silah ve Teferruatı ve Av Malzemesinin İnhisardan Çıkarılması Hakkında Kanun Türkiye Büyük Millet Meclisi tarafından 09.05.1955 tarihinde kabul edilmiş, 18.05.1955 tarihli ve 9009 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Kanun, 7 maddeden oluşmakta olup yürürlüğe girdikten sonra 1 kez değişikliğe uğramış ve 3. maddesi ilga edilmiştir.

2.4. Tekel Dışı Bırakılan Maddelerle Av Malzemesi ve Benzerlerinin Üretimi, İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul ve Esaslarına İlişkin Tüzük

87/12028 sayılı Tekel Dışı Bırakılan Maddelerle Av Malzemesi ve Benzerlerinin Üretimi, İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul ve Esaslarına İlişkin Tüzük; Bakanlar Kurulu'nun 14.08.1987 tarihli kararı ile, 29.09.1987 tarihli ve 19589 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu tüzük; 137 madde ve 4 ek maddeden oluşmaktadır. 1999, 2001 ve 2004 yıllarında olmak üzere 3 kez değişikliğe uğramıştır.

2.5. Sivil Kullanım Amaçlı Patlayıcı Maddelerin Belgelendirilmesi Piyasaya Arzı ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik

Sivil Kullanım Amaçlı Patlayıcı Maddelerin Belgelendirilmesi Piyasaya Arzı ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik, Bilim, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı tarafından hazırlanmış olup 15.10.2002 tarihli ve 24907 sayılı Resmi Gazete'de yayımlarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik, 20 adet madde ve 1 adet geçici maddeden oluşmaktadır. Yönetmeliğin 14'üncü maddesi, 2007 yılında ilga edilmiştir.

2.6 Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği

Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanmış olup 04.06.2010 tarihli ve 27601 sayılı Resmi Gazete'de yayımlarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik, 44 adet madde ve 3 adet geçici maddeden oluşmaktadır. Bu yönetmelik, 2011 yılında bir kez değişikliğe uğramıştır.

2.7 Madencilik Faaliyetleri Uygulama Yönetmeliği

Madencilik Faaliyetleri Uygulama Yönetmeliği, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanmış olup 06.11.2010 tarihli ve 27751 sayılı Resmi Gazete'de yayımlarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik, 170 adet madde ve 22 adet geçici maddeden oluşmaktadır. Bu yönetmelik, iki kez 2012 ve bir kez 2014 yılında olmak üzere üç defa değişikliğe uğramıştır. Yönetmeliğin amacı; Maden Kanununun uygulanması ile ilgili esas ve usulleri düzenlemektir.

2.8 Madencilik Faaliyetleri İzin Yönetmeliği

Madencilik Faaliyetleri İzin Yönetmeliği, Bakanlar Kurulu Kararı ile çıkartılmış olup 21.06.2005 tarihli ve 25852 sayılı Resmi Gazete'de yayımlarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik, 93 adet madde ve 4 adet geçici madde ve 2 adet ek maddeden oluşmaktadır. Bu yönetmelik, 2007 ve 2009 yıllarında 2 kere değişikliğe uğramıştır. Yönetmeliğin amacı; Maden Kanununun 7'nci maddesinde belirtilen alanlarda madencilik faaliyetlerinin hangi esaslara göre yürütüleceği ve bu esaslarla ilgili olarak bakanlıklar ve diğer kamu kurum ve kuruluşlarının vereceği izinlere dair usul ve esasları düzenlemektir.

2.9 Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik

Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı tarafından çıkartılmış olup 24.10.2013 tarihli ve 28801 sayılı Resmi Gazete'de yayımlarak yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik, 44 adet madde ve 7 adet maddeden oluşmaktadır. Bu yönetmelik, 2014 yılında 1 kere değişikliğe uğramıştır. Yönetmeliğin amacı; tehlikeli maddelerin; insan sağlığı ve diğer canlı varlıklar ile çevreye zarar vermeden güvenli ve düzenli bir şekilde kamuya açık karayoluyla taşınmasını sağlamak; bu faaliyetlerde yer alan gönderenlerin, alıcıların, dolduranların, yükleyenlerin, boşaltanların, paketleyenlerin, taşımacıların ve tehlikeli maddeleri taşıyan her türlü taşıt sürücüleri veya operatörlerinin hak, sorumluluk, yükümlülük ve çalışma koşullarına ilişkin usul ve esasları belirlemektir.

2.10 Patlayıcı Maddeler Birleştirilmiş Genelgesi

Patlayıcı Maddeler Birleştirilmiş Genelgesi 22.02.2013 tarihinde 2013/13 Bakanlık Genelge Numarası ve 2013/28 EGM Genelge Numarası ile yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Toplam 12 bölümden oluşmaktadır. Söz konusu genelge; 6551 sayılı Barut ve Patlayıcı Maddelerle Silah ve Teferruatı ve Av Malzemesinin İnhisardan Çıkarılması Hakkındaki Kanunun 2. Maddesine göre hazırlanmış olan, 87/12028 karar sayılı Tekel Dışı Bırakılan Patlayıcı Maddelerle Av Malzemesi ve Benzerlerinin Üretimi, İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul ve Esaslarına İlişkin Tüzük başta olmak üzere diğer ilgili mevzuat hükümleri doğrultusunda, uygulamayı kolaylaştırmak, ortaya çıkan tereddütleri gidermek, yoruma muhtaç hususları açıklığa kavuşturmak için zaman zaman gönderilen genelgelerin birleştirilerek tek metin haline getirilmesiyle oluşmuştur. Bu sayede çeşitli zamanlarda yayımlanan farklı genelgeler dolayısıyla oluşan karışıklığın önüne geçilmek istenmiştir.

3 PATLAYICI MEVZUATI İLE İLGİLİ TESPİT EDİLEN EKSİKLER

Bu çalışma kapsamında, patlayıcı mühendisliği, mevzuat kavramı ve Türkiye'de yürürlükte olan patlayıcı mevzuatı hakkında bilgiler verilmiştir. Yapılan incelemeler, yerinde araştırmalar ve mülakatlar sonucu, patlayıcı mevzuatımızın bir takım eksikleri belirlenmiştir. Bu bölümde gerekçeli olarak bu eksikler üzerinde durulacaktır.

Mevcut patlayıcı mevzuatımızın en büyük eksikliği, konu ile doğrudan alakalı bir kanunun bulunmamasıdır. Yukarıda üzerinde durulduğu gibi, normlar hiyerarşisine göre Anayasa'nın ardından kanunlar gelmektedir ve bağlayıcılık seviyesi olarak diğer normlardan üstün konumdadır. Patlayıcı gibi ivmelenerek gelişen ve kullanım alanı yaygınlaşan bir alanda, konu ile ilgili düzenlemeleri içeren bir kanun bulunmaması, normatif düzlemde büyük bir eksiklik olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışmanın ikinci bölümünde verildiği üzere, mevzuatımızın çeşitli bölümlerinde, patlayıcı konularını içeren bir takım maddeler bulunmaktadır. Ayrıca patlayıcı konularını kapsayan, 87/12028 sayılı Tekel Dışı Bırakılan Maddelerle Av Malzemesi ve Benzerlerinin Üretimi, İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul ve Esaslarına İlişkin Tüzük de halen yürürlüktedir fakat ne yazık ki normlar hiyerarşisine göre tüzük olarak kanunun altında yer aldığı için kanun seviyesinde bağlayıcılığa sahip değildir. Ayrıca bu düzenlemenin bir tüzük olmasının sonucu olarak, tüzük hükümleriyle çelişen herhangi bir kanun maddesi olması durumunda, tüzüğün ilgili hükmü uygulanabilirliğini yitirecektir.

Patlayıcı mevzuatımız ile ilgili bir diğer önemli eksiklik de mevcut düzenlemelerin, zamansal olarak günümüzün gerisinde kalmış olmalarıdır. Son yıllarda patlayıcı kullanımına yönelik teknolojik gelişmeler büyük bir hızla artmaktadır. Bu teknolojiler süratle yeni kullanım alanları bulmaktadır veya mevcut kullanım alanlarına entegre olmaktadır. Maden ve inşaat sektörlerindeki hızlı büyüme de bu gelişmeleri hızlandırmıştır. Ayrıca kentsel dönüşüm

kapsamında, bu ilerlemenin daha da hızlanarak artacağı öngörülmektedir. Yürürlükte bulunan patlayıcı mevzuatımız ise maalesef bu gelişmelere ayak uyduramamıştır. Patlayıcı konularını büyük oranda düzenleyen 87/12028 sayılı Tekel Dışı Bırakılan Maddelerle Av Malzemesi ve Benzerlerinin Üretimi, İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul ve Esaslarına İlişkin Tüzük, 1987 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu tüzük 1999, 2001 ve 2004 yıllarında olmak üzere üç kez değişikliğe uğramıştır fakat bu değişiklikler de yeteri kadar kapsamlı değildir ve güncelliği sağlayamamıştır.

Patlayıcı konusundaki mevzuatımızla ilgili bir diğer önemli eksiklik de söz konusu düzenlemelerin uygulamada kullanılan patlatmalı bina yıkımı gibi bazı alanları kapsamamasıdır. Uygulamada kullanılan bir takım konular mevzuatımızda yer almamaktadır. Hal böyle iken patlayıcı alanında çalışanlar, yasal düzenlemeye ihtiyaç duydukları bazı alanlarda ne yazık ki herhangi bir kural bulamamaktadır. Örneğin son yıllarda kullanım alanı artmakta olan elektronik kapsüller ile ilgili olarak mevzuatımızda herhangi bir düzenleme bulunmamaktadır. Tekel Dışı Bırakılan Maddelerle Av Malzemesi ve Benzerlerinin Üretimi, İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul ve Esaslarına İlişkin Tüzük'te fitille ateşlenen kapsüller, elektrikle ateşlenen kapsüller ve gecikmeli elektrikli kapsüller sayılarak bunların ambalajlama biçimleri düzenlenmiş fakat elektronik kapsüllere ilişkin bir düzenleme yapılmamıştır.

Diğer bir eksiklik olarak, uygulanabilirliğini yitirmiş hükümleri sayabiliriz. Temelde mevzuatımızın eski tarihli olmasına dayanan bu sorun sonucu, günümüzde artık kullanım alanı kalmayan bazı alanlarda, mevzuatımıza çeşitli maddeler bulunmaktadır. Buna örnek olarak 87/12028 sayılı tüzükteki kestane fişeğini örnek verebiliriz. Bu fişekler artık kullanılmamaktadır. Buna rağmen halen mevzuatımızda bunlarla ilgili düzenlemeler mevcuttur. Bu örnekleri artırmak mümkündür. Uygulanabilirliğini yitirmiş bu hükümler, mevzuatımızı hantallaştırmaktadır.

Mevcut mevzuatımızla ilgili bir diğer eksiklik de patlayıcı ile ilgili maddelerin farklı düzenlemelerde dağınık olarak bulunmasıdır. İkinci bölümde patlayıcı konularını içeren farklı düzenlemeden bahsedilmiştir. Anayasa'yı bu grubun dışında tutarsak bunlar: Maden Kanunu, Barut ve Patlayıcı Maddelerle Silah ve Teferruatı ve Av Malzemesinin İnhisardan Çıkarılması Hakkında Kanun, Tekel Dışı Bırakılan Maddelerle Av Malzemesi ve Benzerlerinin Üretimi, İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul ve Esaslarına İlişkin Tüzük, Sivil Kullanım Amaçlı Patlayıcı Maddelerin Belgelendirilmesi Piyasaya Arzı ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, Madencilik Faaliyetleri Uygulama Yönetmeliği, Madencilik Faaliyetleri İzin Yönetmeliği, Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik, Patlayıcı Maddeler Birleştirilmiş Genelgesi'dir. Kanunlarla alakalı olarak çeşitli yönetmeliklerin olması doğaldır ancak anılan bu düzenlemelerin en azından bir kısmı tek bir norm olarak düzenlenebilir. Kaynakların bu şekilde dağınık halde bulunması kullanıcılar açısından zorluk teşkil etmektedir. Bir kişinin, uygulamada hangi kural için hangi düzenlemeye bakması gerektiği konusunda sorun yaşaması muhtemeldir.

Önemli bir diğer eksiklik ise yapıların yıkımı gibi önem arz eden bir konuda patlayıcı kullanımını içeren herhangi bir düzenleme olmayışıdır. Kentsel dönüşüm faaliyetleri son yıllarda hız kazanmıştır. Bunun sonucu olarak ülkemizde yıkılması planlanan birçok yapı bulunmaktadır. Patlayıcı kullanılarak yıkım tekniği; diğer metotlar olan uzun erişimli yıkım makinesi ile yıkım tekniği, ekskavatörle yıkım tekniği, kat eksiltme suretiyle yıkım tekniği ve çekme halatı ile yıkım tekniğine göre çok daha hızlı, güvenilir ve ekonomiktir. Ancak yasal düzenlemelerimizde yapıların patlayıcı kullanılarak yıkımı hususu henüz yer almamaktadır.

Mevcut patlayıcı mevzuatımızdaki bir diğer eksiklik de Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nde bulunan çevresel titreşim kriterleriyle

alakalıdır. Bu bölümde maden ve taş ocakları ile benzeri faaliyette bulunulan alanlardaki patlatmaların zeminde oluşturacağı azami titreşim değerleri belirtilmektedir. Ancak söz konusu değerler hazırlanırken ülkemizdeki yapı durumu göz önüne alınmamıştır. Ülkemizde kerpiç, yığma taş gibi çok çeşitli türlerde yapılar bulunmaktadır. Aynı zamanda ülkemizde birçok tarihi eser niteliğinde yapılar yer almaktadır. Ne yazık ki Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nde bulunan hasar kriterleri ülkemizin ihtiyacını karşılamamaktadır. Aynı zamanda patlayıcı madde kullanımıyla doğrudan alakalı olan bu husus, doğrudan patlayıcı madde ile ilgili olan bir normda yer almamaktadır. Yukarıda, mevzuatın dağınık halde bulunduğu bahsinde, bu konu üzerinde durulmuştur.

Mevzuatımızla ilgili bir diğer eksiklik de şudur: Patlatma uygulamalarına nezaret etmek üzere, sorumluluk alanlarına göre Emniyet Genel Müdürlüğü veya Jandarma Genel Komutanlığı tarafından kolluk personeli görevlendirilmektedir. Bu faaliyetlerde görevlendirilen personelin, nezaret ettikleri faaliyetin çevresel etkileri, bu faaliyetlerde alınması gereken güvenlik önlemleri gibi hususlarda eğitim almalarına yönelik olarak mevzuatımızda herhangi bir hüküm bulunmamaktadır. Bunun sonucu olarak da çok farklı alanlarda çalışan bu kolluk personeli, nezaret ettiği bir maden veya inşaat patlatmasında, gerek işin mahiyeti, gerek kullanılan endüstriyel patlayıcıların imkan ve kabiliyetleri hakkında gerekli bilgiye sahip olmadığı için, bu nezaret görevini layığıyla yerine getirememektedir.

Karşılaştığımız bir diğer eksiklik de patlayıcı madde depoları ile alakalıdır. Tekel Dışı Bırakılan Maddelerle Av Malzemesi ve Benzerlerinin Üretimi, İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul ve Esaslarına İlişkin Tüzük'te bulunan depo tiplerinden birisi olan "Gezici Depo"lar hakkında, ilgili tüzükte yeterli tanımlama ve kısıtlama hususları yer almamaktadır. Bu depolarla alakalı olarak daha sıkı güvenlik önlemlerine yer verilmesi gerekmektedir. Çünkü bu depolarda 2 tona kadar patlayıcı madde bulunabilmektedir ve ülkemiz gibi terör örgütlerinin eylemlerine açık bir ortamda, bu depoların kötü niyetli şahıslar tarafında saldırı maksatlı olarak kullanılabileceği riski her zaman mevcuttur.

Bir diğer sorun da, kurumlar arası koordinasyon eksikliğidir. Patlayıcı alanı disiplinlerarası bir alandır ve farklı kurumların bu faaliyetlerde görev ve sorumluluğu bulunmaktadır. Konu ile alakalı olan başta Çevre ve Şehircilik Bakanlığı olmak üzere bakanlıklar, bu bakanlıkların il düzeyinde müdürlükleri, Emniyet Genel Müdürlüğü, Jandarma Genel Komutanlığı, üniversitelerin ilgili bölümleri vb. kurumlar arasında, mevzuatımızda bu kurumların koordineli çalışmasına imkan verecek bir düzenleme bulunmamaktadır. Bu durum da faaliyetlerin aksamasına ve gecikmelere neden olmaktadır. Çeşitli hususlarda herhangi bir görev ve sorumluluğun hangi kuruma ait olduğu, koordine hususlarının ne şekilde gerçekleştirileceği vb. konular mevzuatımızda ayrıntılı ve açık bir şekilde bulunmamaktadır. Bunun sonucu da bir takım faaliyetler teamüllere göre icra edilmekte ve yasal dayanağı bulunmamaktadır.

Mevzuatımızla ilgili diğer bir eksiklik de şudur: Patlayıcı madde alanında çalışan kişiler yeterli eğitime sahip değillerdir. Patlayıcı madde kullanılmakta olan işyerlerinin çoğunda mühendis seviyesinde personel bulunmamaktadır. Mevzuatımızda da bunu zorunlu kılan bir hüküm yoktur. Bunun sonucu olarak da eğitimin çok önemli bir yere sahip olduğu patlayıcı alanında, söz konusu faaliyetler yeterli eğitime sahip olmayan kişiler tarafından icra edilmektedir.

Gördüğümüz bir diğer eksiklik de gece patlatması, tünel patlatması, kanal patlaması, tarımda patlayıcı madde kullanımı vb. özel nitelikli patlatma faaliyetleriyle alakalı olarak mevzuatımızda kapsamlı bir hüküm bulunmamasıdır. Bu alanlar, spesifik olarak farklı özellikler barındırmaktadır. Bu patlatmaların ne şekilde yapılacağı, alınacak güvenlik önlemleri vb. hususların mevzuatımızda ayrıntılı olarak düzenlenmesi artık bir ihtiyaç ve zorunluluk olmuştur.

Bir diğer eksiklik patlayıcı izin belgesi verme sürecidir. Ülkemizde patlayıcı üretimi, taşınması, satın alınması ve kullanılması gibi hususlarda izin belgesi verilmesi süreci, Tekel Dışı Bırakılan Maddelerle Av Malzemesi ve Benzerlerinin Üretimi, İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul ve Esaslarına İlişkin Tüzük gereği valiliklerin sorumluluğundadır. Valilikler ise bu hususta İl Emniyet Müdürlüklerini görevlendirmiştir. Bu durum ise, özellikle İstanbul gibi büyük metropollerde iş yükü açısından sorun yaratmaktadır. Her türlü evrak tam olarak hazırlansa bile ilgili birimlerdeki iş yükünün fazlalığından dolayı izin belgesi alınması süreci çok fazla uzamaktadır. Aynı zamanda söz konusu personel sık tayin olmaları sebebiyle konu üzerinde tam olarak uzmanlaşma imkanı elde edememektedirler.

Günümüz Türkiye'sinde Tekel Dışı Bırakılan Maddelerle Av Malzemesi ve Benzerlerinin Üretimi, İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul ve Esaslarına İlişkin Tüzük'ün 16'ncı maddesi, artık büyük bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu madde gereği; *Şenlik ve işaret fişekleriyle oyun ve eğlence aracı olan* patlayıcı *maddelerin brüt beş kilograma kadar olan miktarlardaki satışları serbesttir. Ancak, şenlik ve işaret fişekleri on sekiz yaşından küçüklere satılamaz.* Bu tür patlayıcı maddelerin 5 kilograma kadar satışı serbest olduğu için, son yıllarda terör örgütü sempatizanları sokaklarda gerçekleştirdikleri eylemlerde bu madde hükmünde geçen patlayıcı maddeleri sıklıkla kullanmaktadır. Bu durum da can ve mal kayıplarına neden olmakta, kamu düzenini bozmaktadır.

Patlayıcı mevzuatımız incelendiğinde karşılan önemli sorunlardan birisi de, patlayıcı konusu üzerinde çalışan kişiler tarafından patlayıcı mevzuatının tam olarak bilinmemesidir. Üretiminden depolanmasına, taşınmasından sahada kullanılmasına kadar patlayıcı maddeler her alanda büyük tehlike arz etmektedir. Ancak ülkemizde bu konu üzerinde çalışan kişiler mevzuatımıza tam olarak hakim değillerdir. Bunun sonucu olarak da faaliyetler genellikle teamüllere göre yürütülmektedir. Yapılan işin yasal dayanağı hakkında gerekli bilgiye sahip olmayan çalışanlar, herhangi bir sorunla karşılaşıldığında yaptıkları işin gerekçesini açıklayabilecek durumda değillerdir. (Karakaş, 2015)

4 ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Çalışmanın bu son kısmında, patlayıcı mevzuatı ile alakalı olarak yukarıda tespit edilen eksikliklerin, bu sıraya göre çözüm önerileri yer almaktadır.

Türkiye Büyük Millet Meclisi tarafından patlayıcı ile ilgili konuları düzenleyen bir kanun çıkarılması yerinde olacaktır. Böylelikle patlayıcı gibi kritik bir alanda kanun seviyesinde yasal bir norm bulunmaması eksikliği giderilmiş olacaktır. Yukarıda üzerinde durulduğu gibi, patlayıcı konusunda sahip olduğumuz temel norm 87/12028 sayılı tüzüktür ve söz konusu normun bir tüzük olmasından dolayı, kanunlara göre bağlayıcılık seviyesi daha düşüktür. Konu ile alakalı bir kanun bulunması halinde, normatif olarak bu sorun aşılmış olacaktır.

Diğer bir çözüm önerisi ise, mevcut mevzuatımızın zaman içinde sürekli olarak güncellenmesidir. Yukarıda üzerinde durulduğu üzere patlayıcı ile ilgili yasal düzenlemelerimiz, günümüzün gerisinde kalmıştır ve mevcut teknolojik gelişmelere ayak uyduramamaktadır. Bu eksikliğin; ilgili bakanlıkların, kamu kurumlarının, özel sektörün ve üniversitelerin görüşleri alınmak suretiyle, yasal düzenlemelerde güncelleştirme yapılarak çözülebileceğini düşünülmektedir.

Mevzuatımızla ilgili bir diğer çözüm önerimiz de uygulamada kullanım alanı olmasına rağmen mevzuatta yer almayan hususların mevzuatımıza dahil edilmesidir. Bu kapsamda patlayıcı maddelerin üretim, depolama, taşıma ve kullanma alanlarında uygulama alanı olup da mevzuatta yer almayan hususlar ayrıntılı olarak tespit edilmeli, bu konularda ne şekilde kurallar konulması gerektiği incelenmeli ve bu kurallar mevcut yasal düzenlemelere dahil edilmelidir.

Herhangi bir şekilde uygulama ve kullanım alanı kalmamasına rağmen halen mevzuatımızda yer alan hükümlerin kaldırılması gerekmektedir. Bu sayede patlayıcı alanındaki mevzuatımızdaki bilgi kirliliği diye tabir edilebilecek sorun çözülmüş olacaktır. Aynı zamanda mevzuat gereksiz diye adlandırılabilecek bu hükümlerden arındırıldığında hantallıktan kurtularak daha dinamik hale gelecektir.

Mevzuatımızda dağınık halde bulunan normlar, mümkün olduğunca tek bir düzenleme altında toplanmalıdır. Böylelikle patlayıcı alanında herhangi bir düzenlemeyi öğrenmeye ihtiyaç duyulduğunda, konunun farklı kaynaklardan araştırmak yerine tek kaynaktan incelenmesi çok daha işlevsel olacaktır. Ayrıca dağınık halde bulunan düzenlemeler neticesinde bir kullanıcının bütün düzenlemelere hakim olamama ihtimali artmaktadır. Bu da hata yapma olasılığını yükseltmektedir. Aslında bu husus, yukarıda da önerdiğimiz konu ile alakalı bir kanun çıkartılması hususu ile de alakalıdır. Çıkarılmasını önerdiğimiz bu kanunda, patlayıcı alanını içeren düzenlemelerin tamamının toplanması çok isabetli olacaktır. Patlayıcı ile alakalı bütün tanımlamaları içeren, ilgili kişilerin her türlü sorularının cevaplarının yer aldığı bir kanun çıkarılması gerekmektedir.

Patlayıcı kullanılarak yapıların yıkımı hususunun, mevzuatımızda yer alması gerekmektedir. Bu sayede gelişmiş ülkelerde uygulanmakta olan patlayıcı kullanılarak yapı yıkımı tekniğinin ülkemizde de yaygın kullanım alanına sahip olacağı değerlendirilmektedir. Patlayıcı Maddeler Birleştirilmiş Genelgesi'nin on ikinci bölümünde de söz edilen, bu husus ile alakalı olarak hazırlanan Yapıların Yıktırılmasına İlişkin Yönetmelik Taslağı bulunmaktadır. Bu yönetmelik taslağının yürürlüğe girmesiyle beraber, özellikle kentsel dönüşüm kapsamında yıkılması gereken yapıların hızlı, emniyetli ve ekonomik şekilde patlayıcı madde kullanılarak yıkılmasının yasal zemini hazırlanmış olacaktır.

Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nde bulunan çevresel titreşim kriterlerinin değiştirilmesi gerekmektedir. Yeni kriterler hazırlanırken ülkemizin yapı stoku göz önüne alınarak ulusal bir hasar kriter çizelgesi oluşturulmalıdır. Bu hususta örnek olarak kullanılabilecek (Karadoğan, 2008)'ın *Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimler İçin Ulusal Yapı Hasar Kriterleri Oluşturulabilirliğinin Araştırılması* konulu bir doktora tezi mevcuttur. Aynı zamanda patlayıcı madde kullanımıyla doğrudan alakalı olan bu hususun, patlayıcı madde ile ilgili olan bir normda yer alması da gerekmektedir.

Patlatma uygulamalarına nezaret etmek üzere, sorumluluk alanlarına göre Emniyet Genel Müdürlüğü veya Jandarma Genel Komutanlığı tarafınca görevlendirilen kolluk personelinin sahip olması gereken özelliklerin, mevzuatımızda düzenlenmesi gerekmektedir. Söz konusu personele ifa ettikleri bu görev hakkında gerekli eğitimin verilmesi gerekmektedir. Ayrıca bu personelin görev tanımları net bir şekilde yapılmalıdır. Böylelikle bu görevi icra eden kolluk personeli hem yetkilerini hem de sorumluluklarını açık olarak bilecektir.

Tekel Dışı Bırakılan Maddelerle Av Malzemesi ve Benzerlerinin Üretimi, İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul ve Esaslarına İlişkin Tüzük'te bulunan depo tipleri ve depo tiplerine ait özelliklerin de yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Özellikle burada yer alan Gezici Depo'lar ile alakalı yeni sınırlandırmalar getirilmesi gerekmektedir. Bu depolarda 2 tona kadar patlayıcı madde bulunabilmektedir. Bu sebeple kötü niyetli kişiler tarafından saldırı maksatlı kullanılabilecekleri gerçeği de göz önünde bulundurularak bu tip depolarla alakalı azami güvenlik tedbirlerinin alınması ve mevzuatımızda bu tedbirlere yer verilmesi yerinde olacaktır.

Patlayıcı ile alakalı mevzuatımızda düzenlenmesi gereken bir diğer husus da kurumlar arası koordinasyon eksikliğinin giderilmesine yönelik olmalıdır. Patlayıcı alanı gibi multidisipliner bir alanda farklı kurumların sorumlulukları doğmaktadır. Bu yetki ve sorumluluklar mevzuatımızda kurumlar bazında açık olarak düzenlenmelidir. Bunun sonucu olarak da teamüllere göre icra edilen, yasal dayanağı bulunmayan bir takım faaliyetler, yasal zemine

dayandırılacaktır. Herhangi bir sorunla karşılaşıldığında konu ile alakalı olan kurum belli olacak ve belirsizlik ortamı ortadan kalkacaktır.

Eğitimin çok önemli bir yere sahip olduğu patlayıcı alanında, söz konusu faaliyetlerin yeterli eğitime sahip olan kişilerce icra edilmesi zorunlu hale getirilmelidir. Bu itibarla, mevzuatımıza bu konuyla ilgili bir hüküm konulmalıdır. Bu hüküm gereği de patlayıcı madde kullanılan iş yerlerinde patlayıcı yüksek mühendisi, patlayıcı konusunda tez hazırlamış veya görev yapmış ve en az iki yıl deneyimli maden mühendisi, inşaat mühendisi, jeoloji mühendisi, jeofizik mühendisi ya da benzer nitelikli program mezunu gerçek kişilerin çalıştırılması zorunlu kılınmalıdır.

Gece patlatması, tünel patlatması, kanal patlaması, tarımda patlayıcı madde kullanımı vb. özel nitelikli patlatma faaliyetleriyle alakalı olarak mevzuatımıza düzenlemeler getirilmesi uygun olacaktır. Patlayıcı denilince ilk olarak akla gelen maden patlatmaları veya inşaatta temel kazı faaliyetleri yanında patlatıcı maddelerin kullanıldığı bir çok alan bulunmaktadır. Özel nitelikli olarak adlandırabileceğimiz bu alanlarda mevzuatımızda ayrıntılı düzenlemeler yer almalıdır. Bu sayede bu tür patlatma faaliyetlerinde yasal olarak uyulması gereken kurallar, yetki ve sorumluluklar net bir şekilde ortaya çıkacaktır.

Patlayıcı üretimi, taşınması, satın alınması ve kullanılması gibi hususlarda izin belgesi verilmesi kapsamında, İl Emniyet Müdürlüklerinde bulunan ilgili şubelerdeki personel sayısının artırılması ve bu kişilere eğitim verilmesi yerinde olacaktır. Bu sayede uzun zaman alan izin belgesi alma süreci kısalacaktır. Aynı zamanda söz konusu izin belgelerinin verilmesi sürecinde özellikle İstanbul gibi büyük şehirler ilçeler bazında sorumluluk sahalarına ayrılarak İl Jandarma Komutanlıkları ile de görev paylaşımı yapılabilir. Bu da süreci hızlandıracaktır. Ayrıca söz konusu birimlerde görevli personeli görevde kalma süreleri uzatılarak konu üzerinde uzmanlaşmalarının sağlanması da yerinde olacaktır.

Tekel Dışı Bırakılan Maddelerle Av Malzemesi ve Benzerlerinin Üretimi, İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul ve Esaslarına İlişkin Tüzük'ün 16'ncı maddesinin mevcut hali "*Şenlik ve işaret fişekleriyle oyun ve eğlence aracı olan patlayıcı maddelerin brüt beş kilograma kadar olan miktarlardaki satışları serbesttir. Ancak, şenlik ve işaret fişekleri on sekiz yaşından küçüklere satılamaz.*" şeklindedir. Bu madde hükmünde yer alan "serbesttir" ifadesinin "izne tabidir" şeklinde değiştirilmesi yerinde olacaktır. Bu sayede son yıllarda terör örgütü yandaşlarının şehir merkezlerinde eylem amaçlı olarak kullandıkları bu tür patlayıcı maddelerin satışı kontrol altına alınabilecektir.

Patlayıcı maddelerle ilgili alanlarda çalışan kişilere sorumlu oldukları mevzuat hakkında eğitim verilmelidir. Üretim, taşıma, depolama ya da kullanma alanlarından hangisinde olursa olsun söz konusu personel icra ettiği faaliyetin yasal dayanağını bilmelidir. Böylelikle hem kanuna aykırı bir faaliyette bulunulmayacak hem de herhangi bir sorunla karşılaşıldığında bu faaliyetin yasal dayanağı kolayca ortaya konulabilecektir.

KAYNAKLAR

Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, 27601, 04.06.2010

Dinçkol, A. (2012). *Hukuka Giriş.* İstanbul: Der Yayınları.

Karadoğan, A. (2008). *Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimler İçin Ulusal Yapı Hasar Kriterleri Oluşturulabilirliğinin Araştırılması* . İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Karakaş, E. (2015). *Türkiye'deki Patlayıcı Mevzuatının İncelenmesi, Eksikliklerinin Tespiti ve Çözüm Önerileri.* İstanbul: Okan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kaya, E. (2014). Patlayıcı mevzuatı ve uygulamalarında yaşanan sorunlar. (E. Karakaş, Röportajı Yapan)

Kurt, İ. (2014). Patlayıcı mevzuatı ve uygulamalarında yaşanan sorunlar. (E. Karakaş, Röportajı Yapan)

Maden Barut ve Patlayıcı Maddelerle Silah ve Teferruatı ve Av Malzemesinin İnhisardan Çıkarılması Hakkında Kanun, (1955), T.C. Resmi Gazete, 9009, 18.05.1955

Maden Kanunu, (1985), T.C. Resmi Gazete, 18785, 15.06.1985

Madencilik Faaliyetleri İzin Yönetmeliği, (2005), T.C. Resmi Gazete, 25852, 21.06.2005
Madencilik Faaliyetleri Uygulama Yönetmeliği, (2010), T.C. Resmi Gazete, 27751, 06.11.2010
Özcan, C. (2014). Patlayıcı mevzuatı ve uygulamalarında yaşanan sorunlar. (E. Karakaş, Röportajı Yapan)
Özcan, H. (2014). Patlayıcı mevzuatı ve uygulamalarında yaşanan sorunlar. (E. Karakaş, Röportajı Yapan)
Sivil Kullanım Amaçlı Patlayıcı Maddelerin Belgelendirilmesi Piyasaya Arzı ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik, (2002), T.C. Resmi Gazete, 24907, 15.10.2002
Tekel Dışı Bırakılan Maddelerle Av Malzemesi ve Benzerlerinin Üretimi, İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul ve Esaslarına İlişkin Tüzük (87/12028), (1987), T.C. Resmi Gazete, 19589, 29.09.1987 14/05/1999, R.G. no:23695; 23/05/2001, R.G.no:24410; 29/05/2004, R.G.no.25476; 12/11/2004, R.G.no:25641
Türkiye Cumhuriyeti Anayasası ,(1982), T.C. Resmi Gazete, 17844, 20.10.1982

Tüm Emek İş Sitesi Binalarının Patlayıcı Kullanılarak Yıkımı

Demolition of the Tüm Emek Iş Buildings by Using Explosives

Ü. Özer, A. Karadoğan, M.C. Özyurt, Ü. Kalaycı
İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul

U. Tutar
Egenitro Patlayıcı Madde Tic. Ltd. Şti, İzmir

B. Demir, F. Toprak
T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, İstanbul.

ÖZET Ülkemizde kentsel dönüşüm kapsamında yıkılacak birçok eski veya hasar görmüş yapı olması, araştırmacıları bu konuya yönlendirmiştir. Yurt dışında yıllardır başarılı bir şekilde uygulanan patlayıcı ile kontrollü yapı yıkımı, avantajları hesaba katıldığında dikkate değer bir tekniktir.

Bu çalışmada, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Kentsel Dönüşüm ve Altyapı Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından kentsel dönüşüm çalışmaları kapsamında, İstanbul ili Kartal ilçesinde bulunan Tüm Emek İş Sitesi'ne ait 4 adet binanın 17 Ağustos 2013 tarihinde kontrollü patlatma tekniği ile yıkımına karar verilmiştir.

Binaların planı, konumu ve durumu, betonarme malzeme özellikleri ile komşu yapılar dikkate alınarak yıkılma şekilleri ve patlatma tasarımı belirlenmiştir. Model üzerinde patlatma tasarımı uygulanarak bina davranışı ve yıkılma şekli simüle edilmiştir. Ateşleme süresi boyunca kolonlara tesir eden yüklerin kolonların taşıma kapasitelerinin üzerine çıktığı görülmüştür. Bu simülasyondan yola çıkarak binaların planlanan şekilde yıkılacağı ve beklenen ölçüde parçalanmanın oluşacağı öngörülmüştür.

Yıkım tamamlandığında, sonucun planlama aşamasında öngörülen şekilde gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır.

ABSTRACT New techniques are seeked in the concept of urban transformation in our country cause there are many of the old or damaged buildings that are needed to be demolished. Considering the advantages, controlled structure destruction by explosives is a remarkable technique that is applied successfully in abroad countries for years.

In this study, the controlled demolition of Tum Emek Is Buildings by using explosives was done in August 17, 2013 within the scope of urban renewal works by T.C. Environment and Urban Ministry.

Considering the building plan, location, state, material parameters and environmental factors, demolition designs and firing sequences for each buildings were determined. The determined firing sequence was performed on the model. Based on this simulation, the buildings would be demolished as planned and the expected degree of fragmentation would be occurred.

When the demolition is completed, the results were consistent with the expectations.

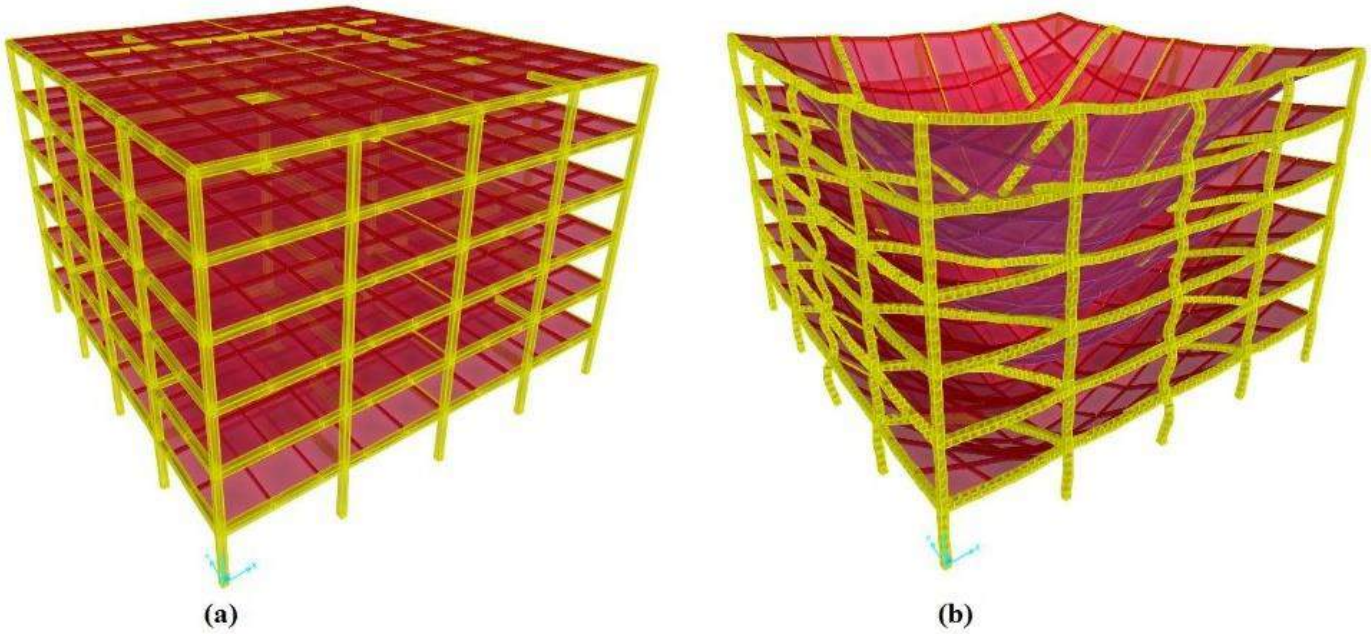
1 GİRİŞ

Ülkemizde, kentsel dönüşüm kapsamında yıkılması söz konusu olan milyonlarca bina bulunmaktadır. Bu binaların klasik yöntemlerle yıkımının uzun sürede gerçekleşmesi sonucu çevreye verilen rahatsızlık, yüksek maliyet ve emniyetsiz çalışma şartlarını beraberinde getirmektedir. Bu yüzden daha pratik yöntemlerin arayışına gidilmiştir. Bunun sonucunda, ülkemizde henüz uygulanmaya başlayan ve Ekim 2014'te yürürlüğe giren "Yapıların Tam ve Kısmi Yıkımı İçin Uygulama Kuralları" TS13633 standardında belirtilen kontrollü patlatma ile yapı yıkımı gündeme gelmiştir.

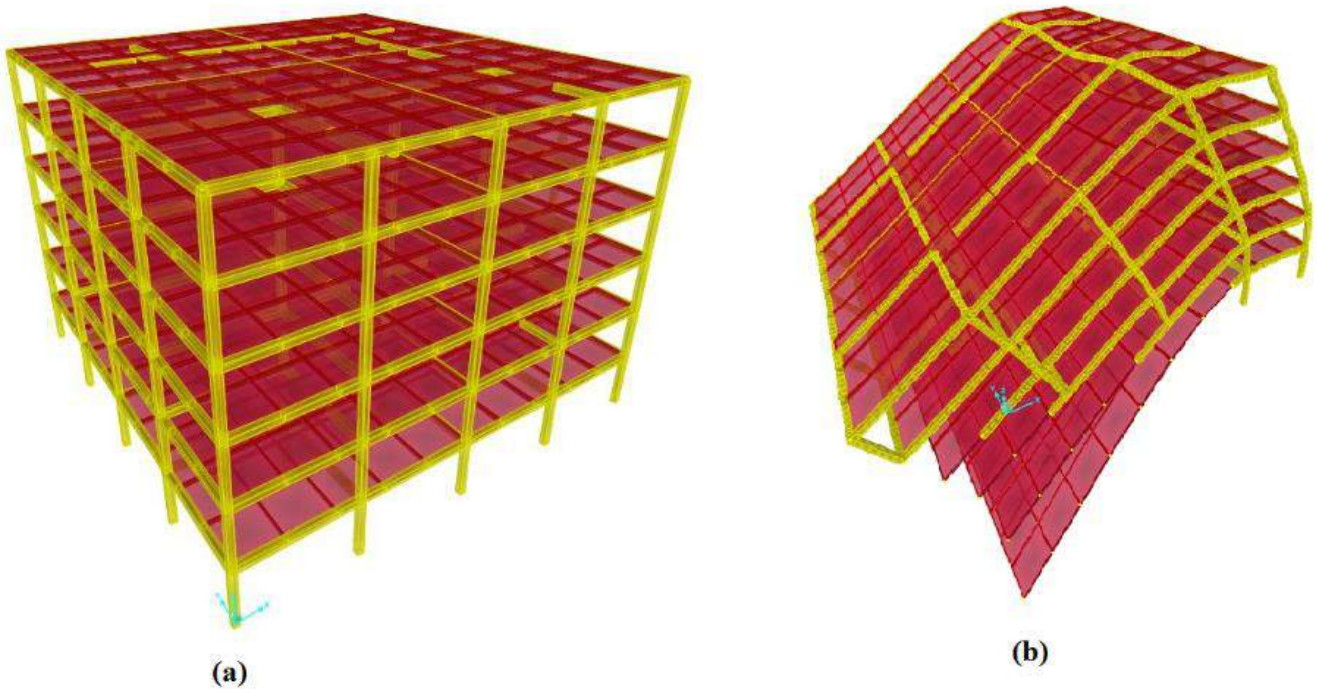
Patlatma ile yıkım metodu, alt katlarda mevcut olan taşıyıcı elemanların patlayıcı kullanılarak parçalanması ile geri kalan taşıyıcı elemanların artan basınç ve/veya moment yükü karşısında yenilmesi sonucu yapının yıkılmaya başlaması prensibine dayanır (Özyurt, 2013).

Binanın kontrollü patlatma ile yıkılmasında, genel bir tasarım önerisi sunulamaz. Çünkü çevresel faktörler (komşu yapılar) ile bina özellikleri (konumu, planı, malzeme özellikleri vs.) her bir bina için farklılık göstermektedir. Bina özellikleri ile çevresel faktörler dikkate alınarak, amaca uygun yıkım tasarımı önerilmelidir (Dowding, 1996; Özyurt, 2013).

Yapıların, patlatma ile kontrollü yıkımı için iki yöntem uygulanmaktadır. İlki; yapının ağırlık merkezinin değiştirilmesi sonucu yana devrilmesidir. İkincisi ise; yapının taşıyıcı elemanlarından bir kısmının taşıyıcı özelliğini yitirmesi ile diğer yapı elemanlarının artan yük karşısında deforme olması sonucu yapının bulunduğu sınırlar içerisinde çökmesidir. Bu iki metodun birlikte kullanıldığı uygulamalar da görülmektedir. Şekil 1 ve 2'de bu iki yöntemin model üzerinde uygulanması ile bina davranış modeli sırasıyla sunulmuştur (Özyurt, 2013).



Şekil 1. Betonarme binanın kendi içine doğru çökertilmesi (Özyurt, 2013)



Şekil 2. Betonarme Binanın Yana Devrilmesi (Özyurt, 2013)

Stevenston (1972), Olofsson (1980), Gustafsson (1981), Jimeno (1995), Dowding (1996), gibi araştırmacılar patlayıcı kullanılarak yapı yıkımına değinmişlerdir. Gustafsson (1981), yapı elemanlarının patlayıcı kullanılarak yıkılmasına dair patlatma tasarımı önerilerinde bulunmuştur. Hauser, Werner ve Thomas ise şarj miktarının belirlenmesi üzerine çalışmalar yapmıştır (Şimşir ve Köse, 1996; Koca, 2006; Özer ve Karadoğan, 2012).

Yapı yıkımında genel olarak yüksek hassasiyetli dinamitler, T.N.T. v RDX ile PETN içerikli plastik patlayıcılar kullanılmaktadır. Yüksek hassasiyetli dinamitler genellikle beton veya betonarme malzemede kullanılırken, lineer şekilli plastik patlayıcılar çelik malzemelerin yıkımında kullanılırlar. Beton veya betonarme malzemede patlayıcılar yapı elemanında delinen deliklere yerleştirilirken, çelik yapılarda patlayıcı yapı elemanının yüzeyine yerleştirilir (Koca, 2006; Extreme Explosions, 2010).

Sıkılama için kâğıt, kum, balçık, toprak ve sıva kullanılabilir. Yüzeysel patlayıcıların sıkılanmasında kum torbaları veya kontrplak ve dayanıklı kumaşlar birlikte kullanılır. Yüzeysel patlatmalarda şarjın nesne ile sıkı temas etmesi, şarjın da üzerinde sıkılama olması patlama etkisini artırır (Oloffson, 1980; Özer ve Karadoğan, 2012).

Patlatma kaynaklı çevresel etkiler; parça savrulması, yer sarsıntısı, gürültü ve toz oluşumudur.

Parça savrulmasından oluşabilecek hasarın önüne geçmek adına patlayıcı yerleştirilen yapı elemanları jeotekstil malzeme ve tel örgü ile sarılmalıdır. Bununla birlikte, binanın yıkım esnasında enkaz alanı dışına parça savrulmasına imkan veren açık kısımları da jeotekstil malzeme ve tel örgüler ile çevrelenmelidir.

Gürültüden oluşabilecek rahatsızlıkların önüne geçmek için çevre sakinleri ve ilgili personel kişisel koruyucu kulaklık kullanabilir ve gürültü oluşumunu minimize etmek üzere patlayıcı yerleştirilen yapı elemanı cam yünü ile sarılabilir (Özyurt, 2013; Özyurt ve diğ., 2013).

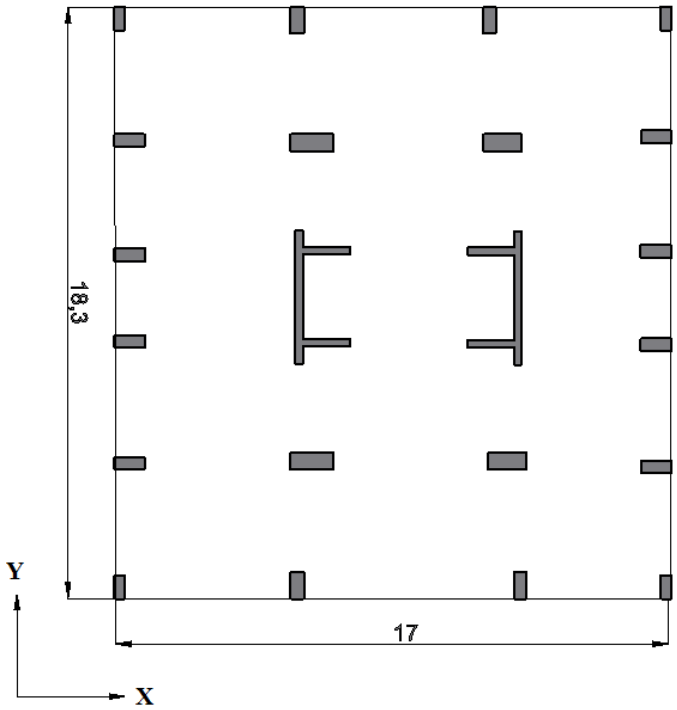
Patlamanın gerçekleşmesi ve yapının yıkılıp yere çarpması sonucu oluşacak yer sarsıntısını azaltmak için darbe emici özellikte olan koruyucu malzemeler veya inşaat molozları yapının devrileceği alana serilebilir (Özyurt, 2013).

Yıkım süresince toz oluşumunun tamamen önüne geçmek oldukça güçtür. Bu hususta, yapı ıslatılabilir veya yıkım anında yapı, su püskürtme makineleri ile sulanabilir (Özyurt, 2013).

2 TÜM EMEK İŞ SİTESİ

Tüm Emek İş Sitesi, İstanbul ili Kartal ilçesindedir. Sitede 7 adet bina mevcuttur. Binaların kat planı aynı olup 254 m^2'dir. Yıkımı düşünülen 4 adet binanın üç tanesi 14 katlı, bir tanesi 12 katlıdır. Her katta 20 adet kolon, 6 adet betonarme duvar mevcuttur. Bina fotoğrafları Şekil 3'te, bina planı ise Şekil 4'te sunulmaktadır.

Şekil 3. Tüm Emek İş Sitesi



Şekil 4. Binaların Planı (m)

Tüm Emek İş Sitesi, yerleşim bölgesi içerisinde bulunması dolayısıyla çevresinde pek çok risk noktası mevcuttur (Şekil 5).

Şekil 5. Tüm Emek İş Sitesi ve Çevre Yapılar

Yıkım planı yapılırken göz önünde bulundurulması gereken ilk husus; binanın statik durumunun tespit edilmesidir.

Söz konusu binalarda bulunan betonun TS500 (2000) standardının çok altında kalan C10 sınıfı betona eşdeğer olduğu, donatı çeliğinin ise TS708 (2010) standardında ifade edilen en düşük dayanımlı çelik olan ise S220a çeliği olduğu bilgisi bina projesinden edinilmiştir.

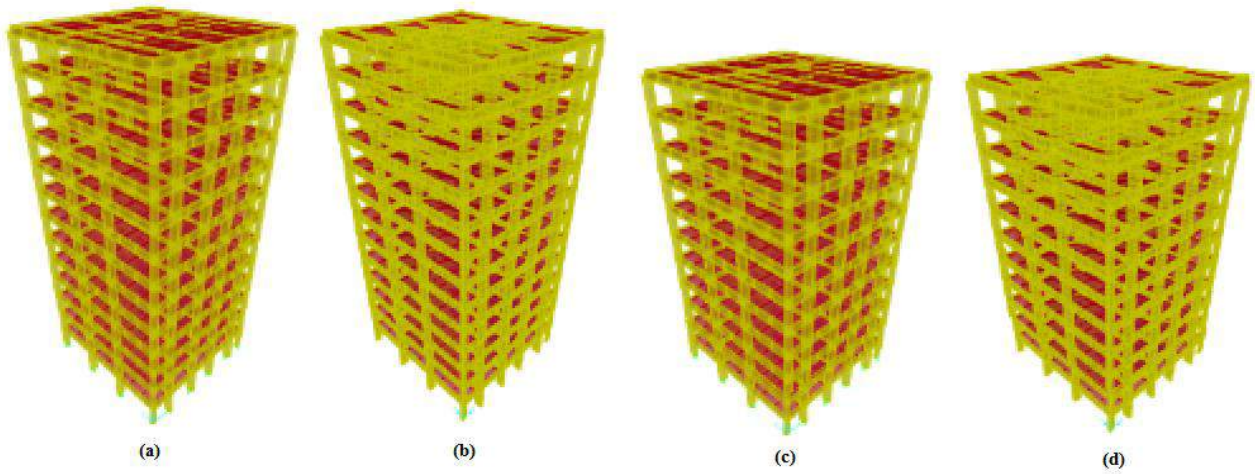
Binalarda bulunan her bir kolonun taşıma kapasitesi hesaplanmıştır. Taşıma kapasitesi, kolona tesir eden çekme kuvvetinin minimum olduğu noktada basınca karşı gösterdiği direnç ile basınç yükünün minimum olduğu noktada çekme kuvvetine karşı gösterdiği direnç olarak ifade edilir. Taşıma kapasiteleri hesaplanırken "Simetrik Donatılı Kolonların Karşılıklı Etki Diyagramı" kullanılmıştır (Zorbozan ve Aydemir, 2013).

Binalar, sonlu elemanlar yöntemini baz alarak hesaplama yapan bir simulasyon yazılımında modellenmiştir. Modeller üzerinde yapılan statik analizde taşıyıcı sisteme tesir eden yükleri belirlenmiştir. Taşıyıcı sisteme tesir eden yükler kolonların taşıma kapasitesi ile karşılaştırılmış, bunun sonucunda binaların TS500 ve Deprem Yönetmeliği (1998)'ne göre çürük sınıfına girdiği anlaşılmıştır. Çizelge 1'de 3 numaralı binanın zemin katındaki kolonlardan bazılarının taşıma kapasiteleri ile başlangıç anında tesiri altında kaldığı yükler sunulmuştur.

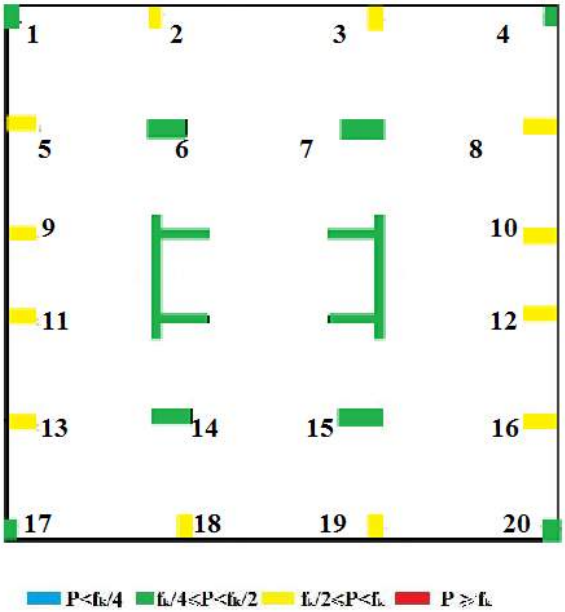
Çizelge 1. 3 numaralı binanın zemin katında bulunan kolonların bir kısmının taşıma kapasitesi ve tesiri altında kaldığı yükler

Kat	Kolon No	Max. Taşıma Kapasitesi (kN)			Başlangıç Anında Kolonlara Tesir Eden Yükler (kN)		
		P	Mx	My	P	Mx	My
Zemin	2	2304	276	124	1774	4	47
	7	4000	300	600	1539	37	5
	9	2520	132	340	2359	0	0
	13	2520	132	340	1986	73	0
	20	1680	176	76	1579	38	6

Binaların modeli ve ölü yükler altındaki davranışına ait görüntüleri Şekil Şekil 6'da, zemin katta bulunan kolonların risk durumu ise Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 6. (a) 1, 2 ve 3 Numaralı Bina Modeli, (b) 1, 2 ve 3 Numaralı Binaların Ölü Yükler Altındaki Davranışını, (c) 4 Numaralı Bina Modeli, (d) 4 Numaralı Binanın Ölü Yükler Altındaki Davranışı



Şekil 7. Binaların zemin katında bulunan kolonların risk durumu

Bina döşemelerinin iç kısımlarında deplasmanlar görülmektedir. 2 numaralı binada, kat sayısının az olması sebebiyle binada oluşan ölü yüklerin daha düşük miktardadır, bu nedenle gözlenen eğilme miktarı diğer binalara nazaran daha düşüktür. olmasıdır.

Şekil 7'de görüldüğü üzere, binaların kenar kısımlarında kalan kolonların yenilme olasılığı diğer kolonlara göre daha fazladır. Bunun sebebi; merkez kolonların yüzey alanının çevre kolonların yüzey alanından büyük olması ve bina merkezinde oluşan ölü yükün büyük bir kısmınının perdeler tarafından taşınmasıdır.

3 YIKIM TASARIMI

Binaların statik durumu, betonarme malzeme özellikleri, çevresel faktörler ve kat sayısı göz önünde bulundurulduğunda, literatürde "içine çökertme" olarak adlandırılan yıkım tekniğinin uygulanmasına karar verilmiştir. "İçine çökertme" yöntemi uygulanırken çevresel riskleri minimize etmek amacıyla çok düşük bir açıyla yıkım bir yöne yönlendirilmesine karar verilmiştir (Şekil 8).

Şekil 8. Binaların yıkım eğim yönleri

Binanın statik durumu göz önünde bulundurulduğunda, sadece kolon ve perdelere patlayıcı yerleştirilmesine karar verilmiştir. Her bir elemanın taşıyıcı özelliğini yitirmesine neden olacak patlayıcı madde miktarını hesaplamak için Thomas'ın geliştirdiği hacme bağlı şarj miktarı hesabı (Eşitlik 1) kullanılmıştır. Tecrübe katsayısı (q), literatür araştırması sonucu elde edilmiştir.

$$L = V*q \tag{1}$$

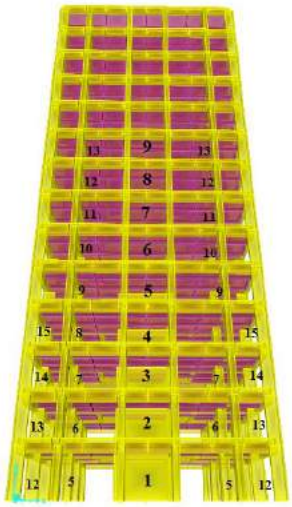
Burada;

L: Şarj miktarı (kg) ,
V: Taşıyıcı elemanın hacmi (m^3),
Q: Tecrübe katsayısı

Delikler, taşıyıcı elemanların uzun kenarına dik, kısa kenar uzunluğunun 2/3'si kadar delinmiştir. Delikler, delik boyuna bağlı olarak 50 gr, 75 gr veya 100 gr dinamit ve sıkılama malzemesi (toprak ve alçı) ile doldurulmuştur. Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmış şarj miktarı, bir delikteki dinamit miktarına bölünerek delik adedi belirlenmiştir.

Yapı elemanları, binaların "içe çökertme" tekniği ile yıkılması amacı ile ateşleme sırasına göre gruplandırılmıştır. Her bir ateşleme grubu içerisinde bulunan yapı elemanları, yıkımın çok düşük bir açıyla bir yöne yönlendirilmesi amacı ile sırasıyla patlatılacaktır. Bu sıra, her bir bina için yıkım eğim yönüne bağlı olarak değişmektedir.

Ateşleme grupları Şekil 9'da, tasarımlara ait detaylı bilgiler ise Çizelge 2'de sunulmuştur.



Ateşleme Grupları	Kat	Yapı Elemanı	Kat	Yapı Elemanı
1	B ve Z	Perdeler		
2	1	Perdeler		
3	2	Perdeler		
4	3	Perdeler		
5	4	Perdeler		
6	5	Perdeler	B ve Z	Merkez Kolonlar
7	6	Perdeler	1	Merkez Kolonlar
8	7	Perdeler	2	Merkez Kolonlar
9	8	Perdeler	3	Merkez Kolonlar
10	4	Merkez Kolonlar		
11	5	Merkez Kolonlar		
12	6	Merkez Kolonlar	Z	Çevre Kolonlar
13	7	Merkez Kolonlar	1	Çevre Kolonlar
14	8	Merkez Kolonlar	2	Çevre Kolonlar
15	9	Merkez Kolonlar	3	Çevre Kolonlar

Şekil 9. Yapı elemanlarının ateşleme sırası

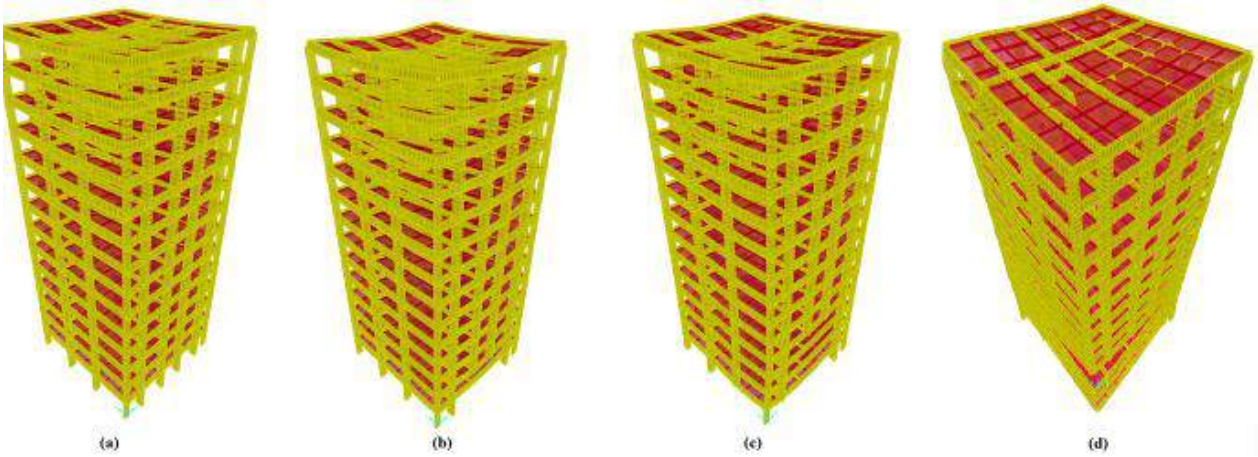
Çizelge 2. Her bir bina için tasarım parametreleri

Tasarım Parametreleri	**Birim**	**Bina No.**				**Toplam**
		1.Blok	**2.Blok**	**3.Blok**	**4.Blok**	
Kat sayısı (bodrum+zemin+katlar)	Adet	14	14	14	12	
Patlayıcı konulacak kat sayısı	Adet	9	9	9	9	
Bir kattaki kolon sayısı	Adet	20	20	20	20	
Toplam kolon sayısı	Ade	280	280	280	240	
Patlayıcı konulmayacak kolon sayısı	Adet	214	206	206	172	
Patlayıcı konulacak toplam kolon sayısı	Adet	66	74	74	68	
Delik düzeni	-	Şeşbeş	Şeşbeş	Şeşbeş	Şeşbeş	
Bir kolondaki delik sayısı	Adet	9-11	9-11	9-11	9-11	
Kolonlardaki toplam delik sayısı	Adet	626	707	707	645	
Bir kattaki betonarme duvar sayısı	Adet	6	6	6	6	
Patlayıcı konulacak toplam betonarme duvar sayısı	Adet	54	54	54	54	
Birinci betonarme duvardaki delik sayısı	Adet	31-45	31-45	31-45	31-45	
İkinci betonarme duvardaki delik sayısı	Adet	10-15	10-15	10-15	10-15	
Üçüncü betonarme duvardaki delik sayısı	Adet	9-16	9-16	9-16	9-16	
Dördüncü betonarme duvardaki delik sayısı	Adet	30-43	30-43	30-43	30-43	
Beşinci betonarme duvardaki delik sayısı	Adet	9-17	9-17	9-17	9-17	
Altıncı betonarme duvardaki delik sayısı	Adet	10-15	10-15	10-15	10-15	
Duvarlardaki toplam delik sayısı	Adet	1,091	1,091	1,091	1,091	
Toplam delik sayısı	Adet	1,717	1,798	1,798	1,736	
Bir delikteki patlayıcı miktarı	Kg	0.050-0.100	0.050-0.100	0.050-0.100	0.050-0.100	
Patlayıcı madde	-	Dinamit (Nobelex-TG)				
Ateşleme Sistemi	-	Elektriksiz Kapsüller (NONEL)				
Toplam patlayıcı miktarı	Kg	109.375	112.350	115.450	110.800	**447.975**
Toplam kapsül miktarı	Adet	1,717	1,798	1,798	1,736	**7,049**
Kablo	Metre	750	750	750	750	**3,000**

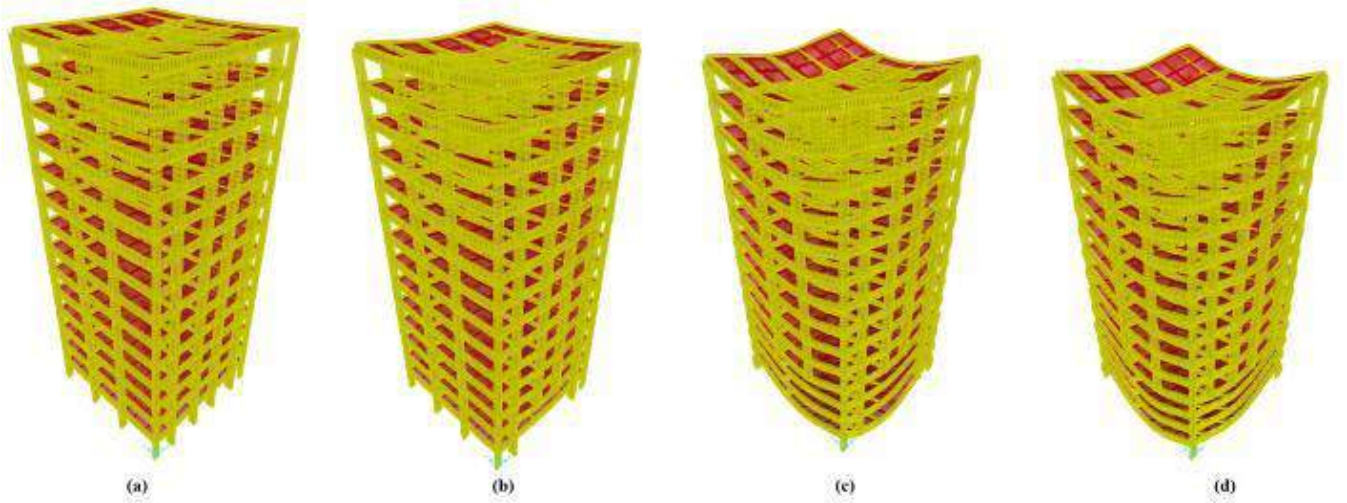
3.1 Yıkım Simulasyonu

Nihai tasarımlar, Şekil 6'da sunulan bina modelleri üzerinde test edilmiştir. Ateşleme süresince oluşacak yüklerin kolonların taşıma kapasitelerinin üzerine çıkacağı tespit edilmiştir (Çizelge

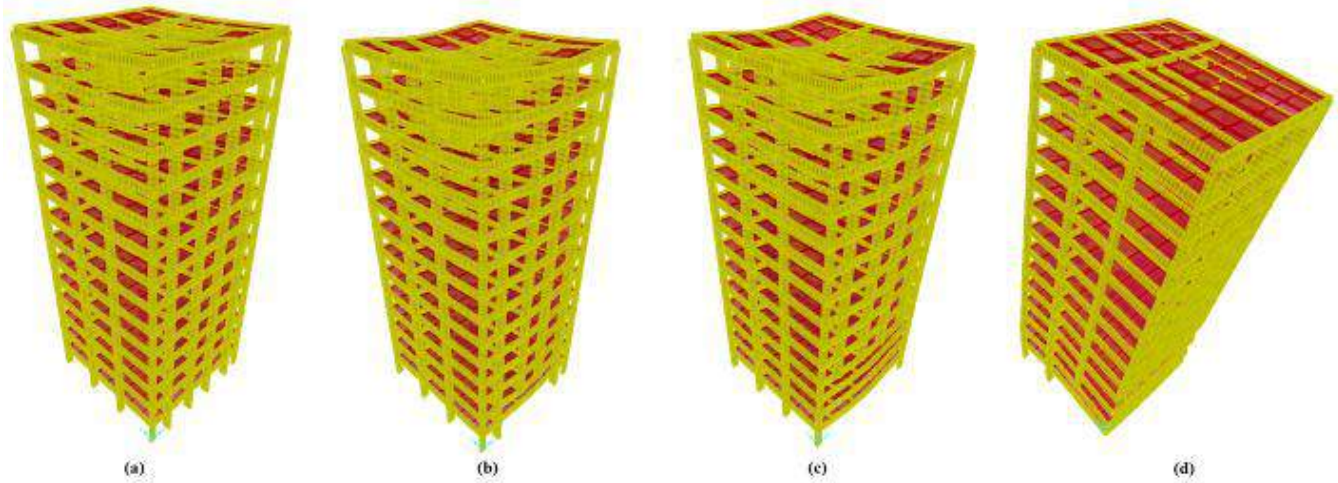
3). Beton en büyük gerilmeye ulaşıldığında değil, belirli bir deformasyona ulaşınca kırılması (Türk, 2011) ve Faklı yükleme hızları altında betonun basınç dayanımı ve elastisite modülü değişmesi (Felekoğlu ve Türkel, 2004) göz önünde bulundurulduğunda, uygun gecikme aralığı ile tüm kolonların yenileceği öngörülmüştür. Nihai tasarım parametreleri kullanılarak oluşturulan yıkım simulasyonları Şekil 9, 10, 11 ve 12'de gösterilmiştir.



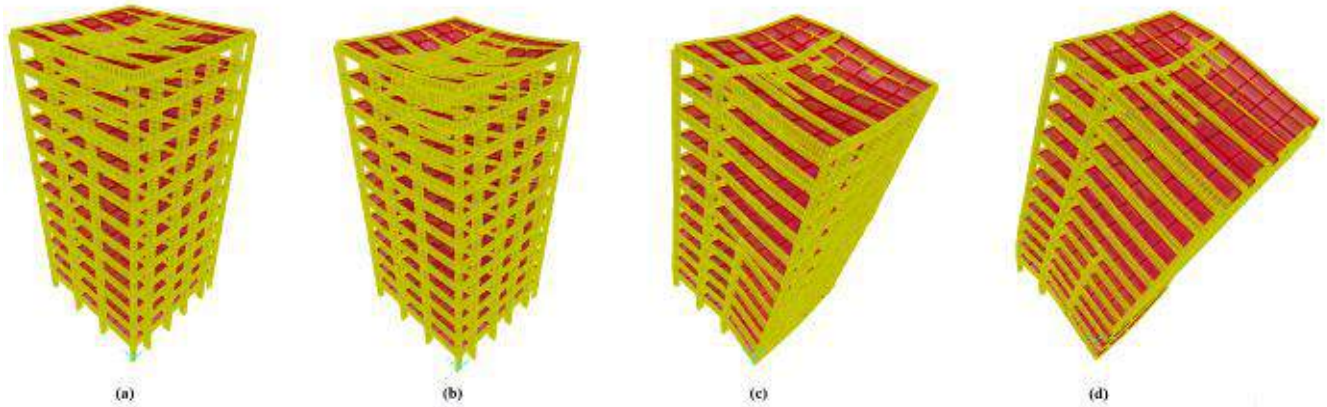
Şekil 9. 1 numaralı binanın yıkım simülasyonu (a) 1. Sn, (b) 2. Sn, (c) 3. Sn, (d) 4. Sn



Şekil 10. 2 numaralı binanın yıkım simülasyonu (a) 1. Sn, (b) 2. Sn, (c) 3. Sn, (d) 4. Sn



Şekil 11. 3 numaralı binanın yıkım simülasyonu (a) 1. Sn, (b) 2. Sn, (c) 3. Sn, (d) 4. Sn



Şekil 12. 4 numaralı binanın yıkım simülasyonu (a) 1. Sn, (b) 2. Sn, (c) 3. Sn, (d) 4. Sn

Çizelge 3. Ateşleme süresince 3 numaralı binadaki kolonlara etkiyen basınç ve moment yükleri

Kat	Kolon No	t = 1 sn			t = 2 sn			t = 3 sn			t = 4 sn		
		P	M2	M3	P	M2	M3	P	M2	M3	P	M2	M3
1	2	1929	8	53	3661	14	136	4544	230	248	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı
	7	3169	1	67	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı
	9	2368	132	7	2722	210	6	1823	433	17	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı
	13	1769	45	15	2233	89	17	691	234	34	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı
	20	997	15	20	1295	23	20	0	0	0	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı
4	2	1444	13	48	2436	14	213	3955	332	282	21253	295	866
	7	2422	7	95	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı
	9	1744	122	16	2022	168	13	1290	106	35	125	954	120
	13	1372	49	32	1718	111	29	550	89	70	769	326	80
	20	818	22	33	1079	44	33	400	251	208	820	403	153
7	2	989	17	46	1419	29	127	3050	223	268	12941	32	709
	7	1651	8	75	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı	Patlatıldı
	9	1174	129	21	1388	162	18	790	124	46	229	117	97
	13	962	51	41	1198	103	36	404	50	87	1033	310	130
	20	587	25	40	786	53	39	397	166	182	469	143	129
10	2	549	19	45	723	46	92	1857	150	232	6725	83	568
	7	923	8	64	51	48	150	122	64	414	3	324	285
	9	651	122	24	791	169	20	360	57	49	299	71	101
	13	545	53	46	680	108	40	220	51	90	676	324	170
	20	328	27	45	447	57	43	246	118	165	204	115	112
13	2	114	22	68	148	56	119	337	147	327	1245	107	696
	7	219	10	81	42	83	164	123	108	433	39	503	341
	9	150	214	28	183	294	24	88	93	55	56	189	115
	13	132	96	53	161	183	47	72	88	98	115	572	194
	20	48	33	62	72	69	60	5	111	204	21	121	136

3.2 Güvenlik Önlemleri

Yıkım esnasında oluşması muhtemel çevresel etkilerin önlenmesi veya en aza indirilmesi yönünde yapılacak çalışmaların başında patlatma öncesi ve sonrasında patlatma alanını da içine alan "Güvenli (yasak) nölge"nin oluşturulması işlemi gelmektedir.

Güvenli bölgenin oluşturulmasının temel amacı patlatma sırasında yıkım olayını izlemesi muhtemel seyirci kitlesinin ve civarda ikamet eden insanların ve yapıların güvenliğini sağlamak ve patlatma kaynaklı muhtemel etkilerden izole etmektir. Güvenli (yasak) bölgenin kapsadığı

alanlar dört ana grupta toplanırlar. Bunlar; plan alanı, tasarlanan devrilme alanı, tahmin edilen enkaz alanı ve tampon bölgedir.

Güvenli bölge üzerinde, yapının durumu, patlayıcı çeşidi ve miktarı, çevre yapıların varlığı ve konumu direk olarak etkilidir. Bunlara ilaveten çalışmayı izlemek için bölgede bulunan halkın güvenliği de göz önünde bulundurularak, oluşturulan güvenli bölgenin kısımları ve sınırı Şekil 13'te gösterilmiştir.

Şekil 13. Yıkımda oluşturulan güvenli bölge

Münferit güvenlik önlemlerinin alınmasından önce, güvenli bölge içerisinde kalan alanın elektrik ve doğalgaz bağlantısı kesilmiş ve yapılar sigortalatılmıştır. Ayrıca, güvenli bölgenin dışında kalan havuzun üzeri branda ile kapatılmıştır.

Yıkımı planlanan binalar yerleşim yerinde bulunduğundan ötürü, taş savrulması önemli bir risk haline gelmiştir. Bu nedenle, binaların dışı kısımlarında kalan ve patlayıcı yerleştirilen kolonlar ilk önce tel örgü, ardından branda ile sarılmıştır. Binaların iç kısımlarında kalan kolonların ise sadece tel örgü ile sarılması yeterli görülmüştür. Ayrıca, her bir binanın duvarları yıkılmış olan katların çevreleri tel örgü ve branda ile sarılmıştır.

4 YIKIM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yıkım sahasında yapılan kontrollerde binaların tahmin edilen enkaz alanı içerisinde yıkıldığı görülmüştür (Şekil 14).

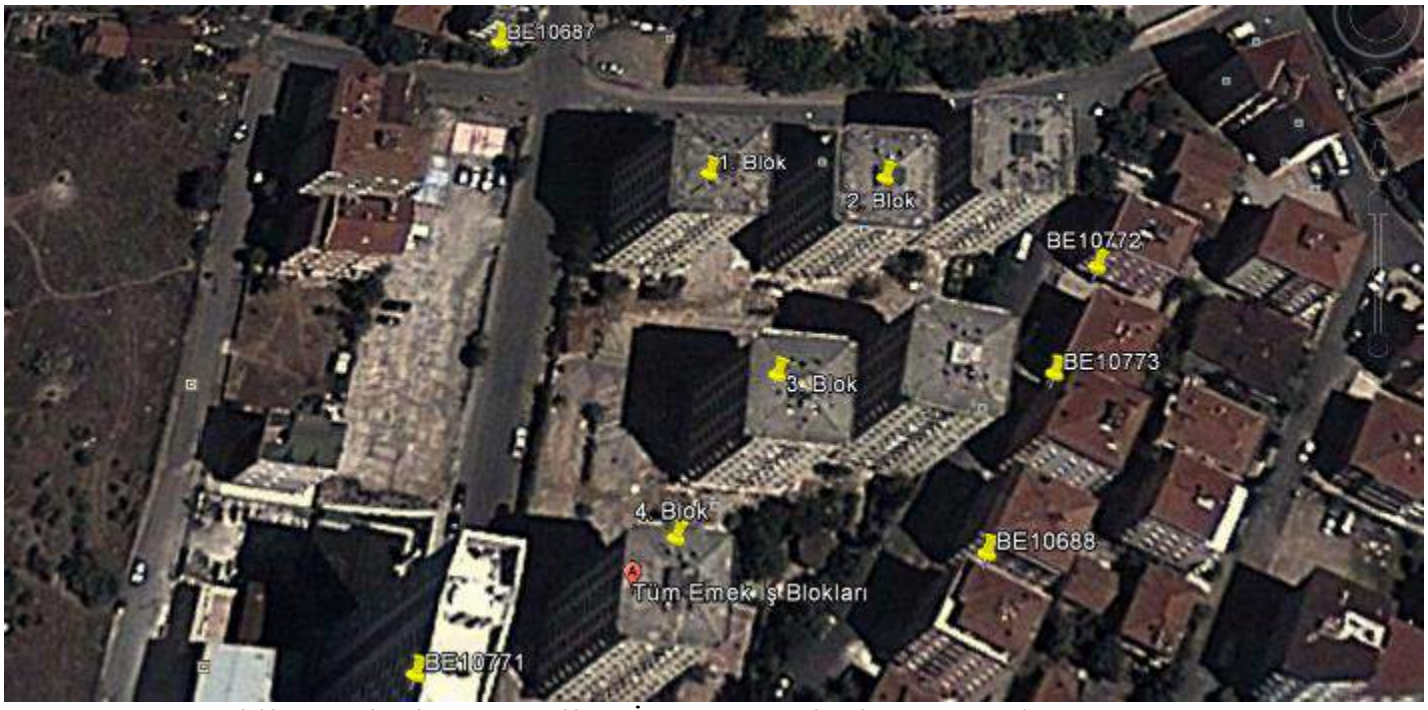
Şekil 14. Yıkım öncesinde ve yıkım anında binaların görüntüsü

Yıkım modelinde öngörüldüğü gibi yenildiği yıkım sonrası yerinde yapılan incelemelerle tespit edilmiştir. Parçalanma seviyesi, oluşan yığının ikincil kırma işlemine tabi tutulmadan yüklenip taşınabileceği düzeydedir.

Yıkım sonunda, ilgili yerleşim biriminde gözle görülür düzeyde maddi ve manevi herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

4.1 Titreşim Kaydı

Yıkım kaynaklı titreşim ve hava şokunu ölçmek amacıyla 5 adet titreşim ölçer cihaz yasak bölge içerisinde bulunan risk noktalarına yerleştirilmiştir. Şekil 15'te ise binaların ve cihaz istasyon noktalarının uydu görüntüsü sunulmuştur.



Şekil 15. Binaların ve Cihaz İstasyon Noktalarının Uydu Görüntüsü

Çizelge 4'de titreşim ölçer cihazların kaydettiği maksimum parçacık hızı, frekans ve hava şoku değerleri sunulmuştur.

Çizelge 4. Titreşim Ölçer Cihaz Kayıtları

Cihaz no	Titreşim Kaydı			Yatay uzaklık
	Maksimum parçacık hızı (mm/sn)	Frekans (Hz)	Hava şoku (dB)	
Instantel BE10687	4,44	85,3	146,9	39,05
Instantel BE10688	4,06	100	147,5	102,07
Instantel BE10771	*	*	*	99,92
Instantel BE10772	*	*	*	95,80
Instantel BE10773	*	*	*	95,27
T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Limitleri	19		136	

* Yeterli genlikte sismik dalga oluşmadığından kayıt alınamamıştır

Cihaz kayıtlarından anlaşılacağı üzere, yıkımda; kaydedilen olaylarda ortaya çıkan maksimum parçacık hızlarına karşılık gelen frekans değerlerinin dağılımları incelendiğinde, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın önerdiği limitlerinin altında kaldığı görülmüştür.

5 SONUÇLAR

İstanbul ili, Kartal İlçesi, Tüm Emek İş Sitesi'nde bulunan 4 adet binanın genel planları incelenmiş, kolon, duvar ve kiriş boyutları, çevredeki yapıların durumu ve mesafeleri göz önünde bulundurularak patlatma tasarımları yapılmış ve yıkım öncesinde, sırasında ve sonrasında söz konusu bölgede oluşabilecek çevresel etkilerin neler olduğu ve bu etkilerin azaltılabilmesi için yapılması gerekenler ortaya konmuştur. Bunların doğrultusunda yıkım planlandığı gibi başarılı bir şekilde ve herhangi bir çevresel hasara sebebiyet vermeden tamamlanmıştır.

Kolonlara yerleştirilen patlayıcı madde kolonların sahip olduğu taşıyıcı özelliği yitirmesine yol açarak, binanın yıkılmasını sağlamıştır.

Mevcut tasarımda, ateşleme süresince kolonlara etkiyen yüklerin kolonu deforme edecek boyutta olduğu, oluşturulan simülasyon modelinde tespit edilmiştir. Benzer sonucun (Özyurt ve diğ., 2013)'te de elde edilmesine karşın binada meydana gelen deformasyon öngörülen seviyede olmamış, bunun sebebi "gecikme aralığının, tepki ve yenilme süresini karşılayabilecek düzeyde olmadığı" olarak açıklanmıştır. Bu çalışma, (Özyurt ve diğ., 2013)'ü doğrulamıştır. Yıkım modelinde öngörüldüğü gibi kolonların yenildiği, bunun sonucunda yığının ikincil kırma işlemine tabi tutulmadan yüklenip taşınabileceği düzeyde parçalanma meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Tüm Emek İş Sitesi'nde bulunan 4 adet binanın yıkımı, hazırlık ve planlama aşamasında öngörüldüğü gibi tamamlanmasına karşın; uygun gecikme aralığının hesaplanabilmesi için literatürde bir yaklaşım bulunmamakta olup proje ekibinin tecrübesi ile belirlenmektedir. Uygun gecikme aralığının belirlenebilmesi; betonarme malzemenin tepki ve yenilme süresinin uygun yöntemlerle belirlenmesine bağlıdır.

Ülkemizde kentsel dönüşüm kapsamında yıkılması planlanan binaların birçoğu yerleşim yeri içerisinde veya yakınında bulunmaktadır. Bu durum; ülkemizde patlatma ile kontrollü patlatma tekniğinin uygulanabilirliğine dair ön yargı oluşturmaktadır. Bu çalışma ile beraber ön yargıların önüne geçerek, kontrollü patlatma tekniğinin ülkemizde uygulanabilir olduğu kanıtlanmıştır.

KAYNAKLAR

Deprem Yönetmeliği, 1998, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Dowding, H.C., 1996, Construction Vibration, pp. 265-283, Prentice Hail, Upper Saddle River, NJ, U.K.

Extreme Explosions, 2010, Discovery Channel Belgesel Seti.

Felekoğlu, B., Türkel, S., 2004, Yükleme Hızının Beton Basınç Dayanımına ve Elastisite Modülüne Etkisi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 6 Sayı: 1 sh.65-75, Ocak 2004.

Gustaffson, R., 1981, Blasting Technique, Dynamit Noben Wien, Vienna, 327 s.

Jimeno, C.L., Jimeno, E.L., Curceda R.J.A, 1995, "Drilling and Blasting of Rocks", A.A. Balkemo, Rotherdam, pp. 312-322.

Koca, O., 2006, "Patlayıcı Maddelerle Kontrollü Yapı Yıkımı", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Oloffson, S.O., 1980, Applied Explosives Technology for Construction and Mining, pp. 268-277.

Özer, Ü.; Karadoğan, A., 2012, "Patlatmali Yapi Yikim Tekniği, Binalarda Patlayıcı Kullanılarak Yıkım Tekniği", İleri Yıkım Teknikleri Eğitimi, TMMOB.

Özyurt, M.C., 2013, "Patlayıcı Madde Kullanılarak Yapıların Kontrollü Yıkılması ve Verimliliğinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü.

Özyurt M.C., Özer Ü., Karadoğan A., "Edirne Kapıkule Gümrük Lojman Binalarının Kontrollü Patlatma Ile Yıkımı", 2013, VII. Delme-Patlatma Sempozyumu, ESKİŞEHİR, TÜRKİYE, 07-08 Kasım 2013, ss.21-33

Stevenston, A., 1972, Blasting Practice, Nobel's Explosives Company Limited, Scotland, 284 p.

Şimşir, F. Ve Köse, H., 1996, Yapı Yıkımında Patlatma Uygulamaları, T.M.M.O.B. Madencilik Dergisi, İstanbul , 3, 39-56.

TS500, 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, İstanbul

TS708, 2010, Çelik – Betonarme İçin – Donatı Çeliği, Türk Standartları Enstitüsü, İstanbul

TS13633, 2014, Yapıların Tam ve Kısmi Yıkımı İçin Uygulama Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, İstanbul

Türk, K., 2011, Betonarme I Ders Notları, Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Zorbozan ve Aydemir, 2013, Bileşik eğilme etkisindeki dikdörtgen kesitli betonarme kolonların karşılıklı etkileşim diyagramları (Ara donatısız S220)

Kırmataş İşletmelerinde Delme-Patlatma İşleminin Toplam Maliyete Olan Etkisinin Belirlenmesi

Determination of the Effect of Drilling-Blasting Operation on Total Cost in Quarry

N. Bilim
Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya

A. Çelik
TKİ Dodurga Kontrol Müdürlüğü, Çorum

B. Kekeç
Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Konya

ÖZET Patlayıcı maddeler madencilik faaliyetlerinde, baraj, karayolu ve tünel inşaatlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Patlatmalı kazı faaliyetleri kaya birimini gevşetmek ve üretim için kullanılan en etkili ve ekonomik yöntem olarak bilinmektedir. Kırmataş sektöründe üretim maliyeti analizinde, toplam maliyeti, delme-patlatma, yükleme-taşıma ve kırma-eleme maliyetleri oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; kırmataş tesislerinde kullanılan ekipmanların tüketmiş oldukları enerjileri birbirleriyle kıyaslayarak, enerji maliyetine en fazla etki eden çalışmaların neler olduğunu belirlemektir. Bu çalışmada, kırmataş tesislerinde toplam maliyete etki eden unsurlar delme-patlatma, yükleme-taşıma, kırma-eleme giderleri olmak üzere üç başlıkta incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, toplam maliyetler içerisinde en büyük payı delme-patlatmanın oluşturduğu belirlenmiştir.

ABSTRACT The aim of this work; energy they have consumed by the equipment used in the quary by comparing with each other, to determine the most effective work of the energy cost Explosive are commonly used in mining operation, dam, highway and tunnel construction. Excavation with blasting operation is the most economic and effective methods for production of raw materials and loosen of rock units. In quarries, drilling and blasting, haulage and loading, crushing and screening constitute the total cost in cost analysis.

In this study, the factors effecting on total cost of quarries, drilling and blasting, haulage and loading, crushing and screening, have been investigated and evaluated. In the result of evaluation, it is determined that drilling-blasting system has the most part of total cost.

1 GİRİŞ

Ülkemizde kırmataş olarak kullanılabilecek rezervler oldukça fazladır. Beton ve asfalt gibi inşaat sektörünün vazgeçilemez ürünlerinin üretiminde kullanılan kum, çakıl ve kırmataş agregaları toplam ürünün büyük bir hacmini oluşturmaktadır. Dünya genelinde agrega üretimi % 58'lik payla tüm maden üretimi içinde birinci sıradadır (Öztürk ve diğ, 2007). Ürüne olan talebin artması ile rekabet ortamını doğmuştur. Pazarda oluşan rekabet, fiyatları doğrudan

etkilediği için üretim maliyetleri üzerinde yeni önlemler ve maliyet analizleri zorunluluğu ortaya çıkmıştır.

Kırmataş ocaklarında üretilen her ton üretim başına düşen birim maliyeti etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerin birim maliyet üzerindeki etkilerinin iyi bir şekilde tanımlanması artan rekabet çerçevesinde, işletme gelirleri açısından çok büyük önem arz etmektedir. Kırmataş ocaklarında birim maliyete büyük oranda etki eden parametrelerden bir tanesi de delme-patlatma maliyetidir (Tek, 1999; Tosun, 1996; Yılmaz ve Arıoğlu, 2006; Aksoy ve Yalçın, 1999).

Genel olarak üretim maliyetinde, delme-patlatma maliyeti %5-40 arasında değişmektedir. Bu değerler, delme-patlatma konusunda, bilim ve tekniğe uygun çalışmayla daha alt seviyelere çekilebilir. Bazı işletmelerde yapılan deneysel çalışmalar bu rakamların %10-20 sınırına çekilebileceğini göstermektedir (Bağdatlı, 2013).

Aksoy ve Yalçın (1999) birim maliyet üzerinde delme patlatmanın %20, yükleme ve taşımanın %40, kırma ve elemenin ise %40 etkiye sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Halili (2000) delme patlatmanın %18 – 21, yükleme ve taşımanın %29–33, kırma ve elemenin ise %46–53 oranında birim maliyeti etkilediği gözlemlemiştir.

Delme-patlatmanın birim maliyet üzerindeki etkileri belirlendikten sonra, bu maliyetleri azaltmak için alınacak önlemler üzerinde de çalışma imkânı bulunacaktır. Bu sebeple yapılacak tasarımlar genel olarak değiştirilebilir parametreler ve değiştirilemeyen parametreler olmak üzere incelenmektedir. Değiştirilemeyen parametreler faaliyetin sürdürüldüğü kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı iken, değiştirilebilir parametreler patlayıcı cinsi, özgül şarj, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe gibi parametrelerin amaca uygun bir şekilde belirlenebilmesi esasına dayanmaktadır. Ayrıca, delme patlatma tasarımının uygun dizaynı kendisinden sonraki işlemler için oluşacak olan maliyetleri de doğrudan etkilemektedir. Çünkü bir atımda elde edilen ürün hacmindeki artış, birim maliyeti oldukça düşürecektir.

Açık ocak faaliyetlerinin en önemli aşamasını oluşturan delme-patlatma tasarımında, en önemli iki parametre özgül şarj ve dilim kalınlığının belirlenmesi olduğu bilinmektedir. Bu iki parametrenin uygun değerleri belirlendikten sonra diğer parametreler bunlara bağlı olarak hesaplanabilmekte ve tasarım tamamlanabilmektedir (Pekin, 2010).

Bu çalışmanın amacı; kırmataş tesislerinde kullanılan ekipmanların tüketmiş oldukları enerjileri birbirleriyle kıyaslayarak, enerji maliyetine en fazla etki eden çalışmaların neler olduğunu belirlemektir. Bu çalışmada, Öztaşoğlu Hafriyat Nakliyat Taahhüt Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.'ne ait kırmataş ocağında üretim faaliyetleri sırasında yapılan delme patlatma parametreleri ve toplam maliyete doğrudan etkiyen diğer parametreler incelenmiştir. Yapılan 20 ayrı atım sonucunda üretilen ürünün toplam maliyeti üzerinde delme patlatmanın ve diğer etken parametrelerin etkileri belirlenmiş ve sunulmuştur.

2 ÇALIŞMA SAHASININ TANITIMI

Bu bölümde, çalışma bölgesi olarak seçilen işletme ve işletme bölgesinin jeolojisi hakkında bilgiler sunulmuştur. Ayrıca işletmenin yer bulduru haritası verilmiştir.

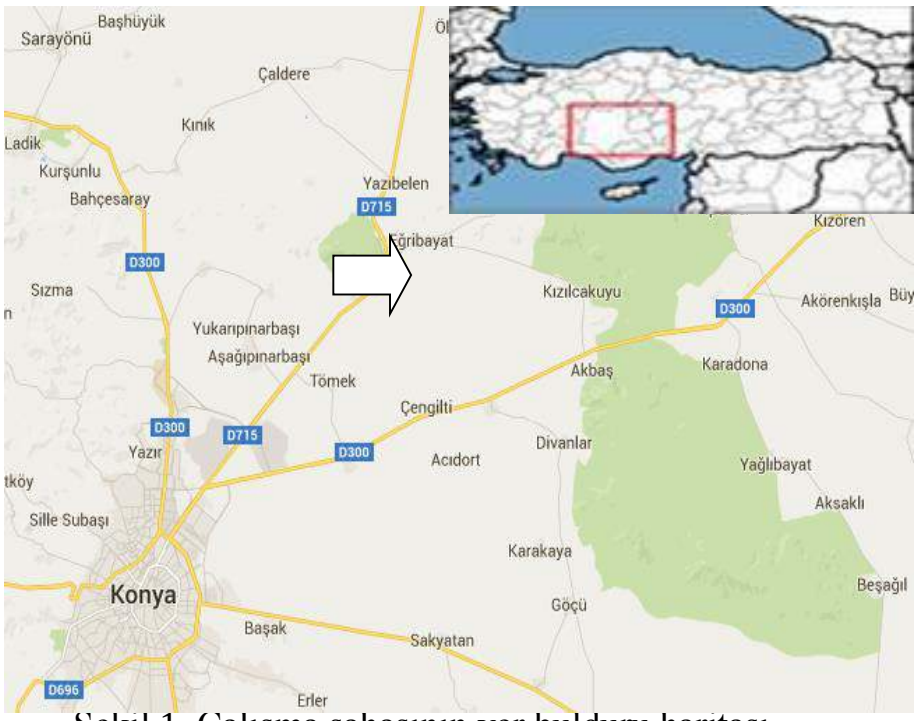
2.1 Bölgenin Jeolojisi ve Yer Bulduru Haritası

Bu çalışmada örnek çalışma alanı olarak seçilen kırmataş ocağı, halen faaliyetlerini devam ettirmektedir. Ocağın bulunduğu Selçuklu ilçesi Konya'nın kuzeyinde yer almakta olup yüzölçümü 2056 km^2 ve ilçe rakımı 1020 m'dir. Taş ocağı sahası Selçuklu İlçesinin

kuzeydoğusunda Konya–Ankara şehirlerarası karayolunun 32. km'sinde, Eğribayat Köyü civarındadır. Ocağın yer bulduru haritası Şekil 1.'de sunulmaktadır. Çizelge 1'de ise işletmeden çıkarılan kırmataşa ait temel özellikler verilmektedir.

Çizelge 1. Kırmataşa ait genel özellikler (Şirket performans raporu, 2014).

Kırmataşın genel özellikleri	
Petrografik Tanımlama	Kalsitik mermer
Su emme oranı (%)	1,3
Yoğunluk (gr/cm^3)	2,72



Şekil 1. Çalışma sahasının yer bulduru haritası.

Çalışma alanının bulunduğu Konya ili, Selçuklu ilçesi, Eğribayat Köyü mevkii, kuvaterner ova çökelleri ve paleozoyik ve mesozoyik temel kayaçları üzerinde yer almaktadır. Üretici firma kuruluşundan bu yana doğal (kalsit, kalker vb) kaynakların, konkasör sistemi ile kırılarak inşaat sektörünün ana malzemesi olan agregaların üretimini yapmaktadır.

2.2 Çalışma Yöntemi

Ocaktaki örtü tabakasının kalınlığının az olması çalışma sistemine oldukça katkı sağlamaktadır. Tabakanın üst tarafındaki örtü hemen hemen yok sayılacak kadar az miktarda görülmektedir. Kırmataş üretimi açık ocak yöntemiyle üretilmektedir. Üretim iki basamak halinde yürütülmektedir. Basamak yükseklikleri 15 m. olarak seçilmiştir.

3 KIRMATAŞ ÜRETİMİNDE MALİYETE ETKİ EDEN PARAMETRELER

Kırmataş işletmeciliğinde maliyet analizleri oldukça önemlidir. Toplam maliyet giderleri delme- patlatma giderleri, yükleme-taşıma giderleri ve kırma-eleme giderleri olmak üzere üç ana unsur olarak incelenmektedir. Maliyetler tüketilen elektrik enerjisi (kırıcı), sıvı yakıt (yükleme ve taşıma) ve kullanılan patlayıcı maddelerin tüketimleri baz alınarak yapılmıştır. İşçilik, personel giderleri ve amortisman bu hesaplamaların dışında tutulmuştur.

3.1 İşletmedeki Delme Patlatma Uygulamaları

Kırmataş üretiminin ilk aşamasını delme-patlatma işlemi oluşturmaktadır. Ocaktaki delme işlemleri delici makine ile yapılmaktadır. Delik çapları 89 mm ve delik boyları basamak yüksekliğine uygun olarak delinmektedir. Ocakta uygulanan basamak şev açıları yaklaşık 85° olarak belirlenmiştir. Buna bağlı olarak delik eğimi de dik olarak delinmektedir.

Üretim amaçlı yapılan patlatmalar tek sıralı olarak ve örnek olarak seçilen kırmataş ocağı yakınında yerleşim yerleri mevcut olduğu için çevresel etkiler bakımından kontrollü bir şekilde yürütülmektedir.

Patlatma uygulamalarında kullanılan ana patlayıcı madde ANFO'dur (Şekil 2a). Yemleme amaçlı jelatin dinamit ve gecikmeli kapsüller kullanılmaktadır. (Şekil 2b-c). Delik delme işlemleri esnasında oluşan kırıntılar deliklere sıkılama malzemesi olarak kullanılmaktadır.

(a) (b) (c)

Şekil 2. Ana patlayıcı malzemeler.

Örnek olarak seçilen kırmataş ocağında, üretim amaçlı yaygın olarak uygulanan patlatma parametreleri aşağıda sunulmaktadır.

Delik düzeni	: Şeşbeş
Delik Eğimi	: Dik
Delikler arası mesafe	: 3–3,25 m
Dilim kalınlığı	: 2,5–2,75 m
Delik Çapı	: 89 mm
Delik Boyu	: 12–25m
Toplam delik sayısı	: 1168 Adet (20 atım için)
Toplam delik boyu	: 20112 m (20 atım için)
Gecikme	: Gecikmeli kapsül

Patlayıcı maddenin şarjı esnasında kayanın süreksizlik ve karstik boşluk yapısına göre ANFO poşet içerisinde kartuş olarak kullanılabilmektedir. Her ne kadar patlatma işlemlerinden sonra arzu edilen bir durum olmasa da elde edilen ürün içerisinde patar kalabilmektedir. Açığa çıkan bu patarlar kırma tesisine gönderilmeden hidrolik kırıcı yardımı ile kırılmakta olup, kırma tesisine beslenen maksimum malzeme boyutu 0,5-1 m arasında tutulmaktadır. Bu işlem artı bir maliyet oluşturduğu için toplam maliyeti olumsuz yönde etkilemektedir.

3.2 İşletmedeki Yükleme ve Taşıma İşlemleri

Ocakta yükleme işlemi malzemenin durumuna göre lastikli yükleyici loader veya ekskavatör ile gerçekleşmektedir (Şekil 3). Lastikli yükleyiciler, ocak yapısının daha düzenli olduğu

bölgelerde, yakıt tüketimlerinin de daha az olmasından dolayı ekskavatöre kıyasla daha çok kullanılmaktadır.

Ocakta taşıma yıl içerisindeki üretim miktarındaki değişikliklere bağlı olarak 2 veya 3 kamyonla yapılmaktadır. Ocak ile kırma tesisi arası en uzak mesafe yaklaşık 500 m civarı iken en kısa mesafe 200 m civarındadır. Kamyonların makas kırması, lastik patlatması vb. gibi arızalarını en aza indirmek için taşıma da kullanılan yol greyder ile belirli aralıklarla düzeltilmekte ve kamyonlara aşırı yükleme yapılmamaktadır. Ocakta hava şartlarına bağlı olarak gün içerisinde devamlı sulama yapılmaktadır.

Şekil 3. Ocaktan bazı görüntüler.

3.3 İşletmedeki Kırma ve Eleme İşlemleri

Ocakta kırma işlemi 130'luk Primer darbeli kırıcı (PDK) ile yapılmaktadır. Malzeme PDK' ya girmeden önce ızgaralı elekten pazar şartlarına göre bypass malzemesi olarak 0-25, 0-38, 0-80 mm boyutlarında alınır. Sonrasında PDK 'da kırılıp çıkan malzeme sırasıyla sekonder ve tersiyer kırıcılara girmektedir. Tesiste tersiyere aşırı yükleme yapılmaması için tersiyerden önce ara bunker bulunmakta olup tersiyere besleme sürücüler ile kontrol edilmektedir

Elek yapısı yıl içerisinde malzeme durumuna göre değiştirilmektedir. Tesisinin yıllık üretimi son 5 yıl ortalama 700.000 ton olup saatlik kapasitesi ortalama 285 tondur.

4 ANALİZLER

Örnek olarak seçilen taşocağında 2014-2015 yılları arasında yapılan 20 atımın ve üretilen malzemenin ayrıntılı analizleri takip edilmiştir. Her bir atımda üretilen malzemenin toplam maliyete etkilerini belirlemek amacıyla; delme maliyeti, patlatma maliyeti, kırıcı maliyeti, yükleme maliyeti, taşıma maliyeti ve kırma maliyetleri ayrı ayrı hesaplanarak Çizelge 2' de sunulmuştur. Çizelge 2'de kırıcı maliyeti olarak ifade edilen maliyet hesaplanırken, hidrolik kırıcının patar kırma (ikincil kırma) işleminde kullanılırken harcamış olduğu yakıtın maliyeti kullanılmıştır. Yükleme ve taşıma maliyetleri olarak ifade edilenler, yükleme ve taşımada kullanılan ekipmanların harcamış olduğu yakıt maliyetidir. Kırma maliyeti olarak ifade edilen

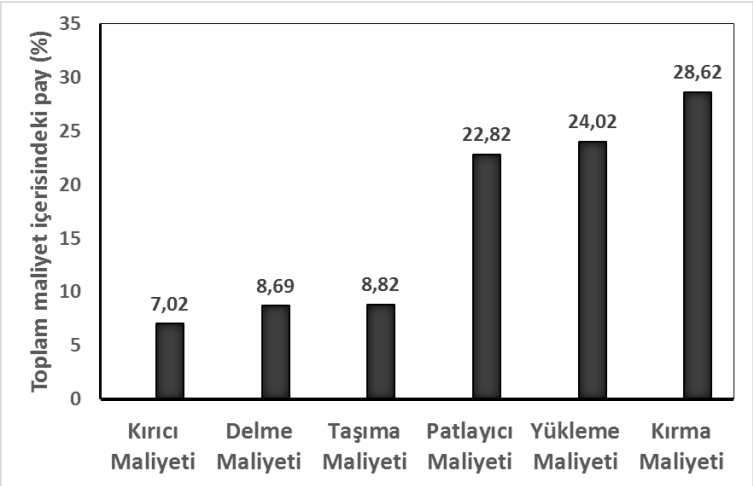
ise; konkasör tesisinin boyut küçültme ve sınıflama elemanlarının tüketmiş olduğu elektrik enerjisi maliyetidir. İşçilik, bakım onarım, personel giderleri ve amortisman vb. giderler toplam maliyet içerisine dahil edilmemiştir.

Çizelge 2. Üretimin maliyet analizleri (Çelik 2015).

Atım	Delme Maliyeti (TL)	Patlayıcı Maliyeti (TL)	*Kırıcı Maliyeti (TL)	Yükleme Maliyeti (TL)	Taşıma Maliyeti (TL)	Kırma Maliyeti (TL)	Toplam Maliyet (TL)	Üretim (Ton)	Birim Maliyet (TL/Ton)
1	3,032.40	8,854.41	1,986.60	8,043.00	2,986.20	9,600.89	34,503.50	20,169.00	1.711
2	3,166.80	8,831.92	1,915.20	8,274.00	3,091.20	9,879.07	35,158.19	21,141.00	1.663
3	3,087.00	8,839.62	2,196.60	9,496.20	3,469.20	11,344.42	38,433.04	24,034.70	1.599
4	3,234.00	8,841.63	2,423.40	9,706.20	3,704.40	11,603.28	39,512.91	25,193.00	1.568
5	3,112.20	8,756.39	1,671.60	7,434.00	2,826.60	8,865.80	32,666.59	20,047.50	1.629
6	3,313.80	8,865.32	1,717.80	7,896.00	3,007.20	9,374.65	34,174.77	20,958.80	1.631
7	3,200.40	8,785.63	2024,40	9156,00	3427,20	10866,97	37460,60	23889,90	1.568
8	3,309.60	9,102.39	2,192.40	9,756.60	3,465.00	11,528.40	39,354.39	24,975.80	1.576
9	3,297.00	8,812.36	2,251.20	8,253.00	3,066.00	9,940.26	35,619.82	20,047.50	1.777
10	3,414.60	8653,12	2242,80	8610,00	3213,00	10263,92	36397,44	20776,50	1.752
11	3,288.60	8,721.54	2,835.00	10,130.40	3,746.40	11,989.74	40,711.68	23,889.90	1.704
12	3,376.80	9,214.98	2,570.40	10,143.00	3,847.20	12,008.66	41,161.04	24,758.70	1.662
13	3,368.40	8,841.73	2,893.80	8,975.40	3,120.60	10,613.36	37,813.29	20,027.30	1.888
14	3,502.80	8,612.74	2,524.20	8,807.40	3,297.00	10,519.96	37,264.10	20,462.60	1.821
15	3,456.60	8,701.81	3,166.80	10,386.60	3,813.60	12,389.49	41,914.90	23,865.80	1.756
16	3,515.40	9,002.08	2,969.40	10,353.00	3,733.80	12,306.97	41,880.65	24,384.60	1.718
17	3,586.80	9,007.96	4,250.40	9,458.40	3,334.80	11,311.41	40,949.77	19,743.80	2.074
18	3,641.40	8,511.63	3,666.60	9,391.20	3,360.00	11,181.38	39,752.21	20,250.00	1.963
19	3,658.20	8,792.48	4,032.00	10,731.00	3,901.80	12,854.06	43,969.54	23,528.00	1.869
20	3,759.00	9,101.52	4,888.80	11,167.80	3,960.60	13,377.40	46,255.12	24,131.30	1.917

*Hidrolik kırıcı maliyeti

Çizelgede üretim amaçlı yapılan her bir işleme ait giderler ayrı ayrı analiz edilerek sunulmuştur. Toplam üretim ile giderler arasında bağıntı kurularak birim maliyet değerleri hesaplanmıştır. Yapılan ayrıntılı analizlerle birlikte toplam maliyet üzerine her bir işlem giderinin etkileri belirlenerek % değerler olarak grafikte sunulmuştur (Şekil 4).

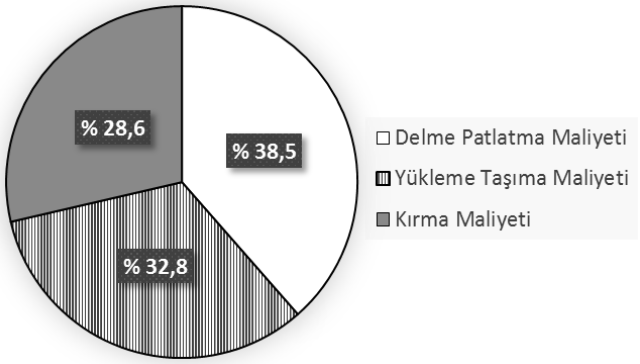


Şekil 4. Üretim maliyetlerini oluşturan ayrıntılı giderler.

Şekil 4' de sunulan grafik incelendiğinde üretim maliyetini oluşturan toplam maliyetler içinde en yüksek gideri % 28,62'lik bir değerle kırma maliyeti oluşturmaktadır. Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi işletmede yükleme işlemleri lastik tekerlekli loader ile yapılmaktadır. Toplam üretim giderleri içerisinde delme maliyeti % 8,69, patlatma maliyeti ise % 22,82'lik bir paya sahiptir.

7,02'lik bir değer ile kırıcı maliyeti en düşük gideri oluşturmaktadır. Ancak üretim faaliyetlerini delme-patlatma yöntemi ile sürdüren işletmelerde kırıcı maliyetlerinin çok daha az olması veya olmaması beklenmektedir. Çünkü patlatmanın amacı kayanın gevşetilmesinin yanı sıra parça boyut dağılımının da en ideal şekilde ayarlanmasıdır. Parça boyut dağılımının ideal olarak ayarlanamadığı atım işlemlerinde oluşan patarlardan kaynaklı kırma işlemlerine gerek duyulmaktadır ve bu işlem üretim giderlerini artırmaktadır. Ancak mevcut ocakta basamak düzenlemeleri yeni oluşturulduğundan, iklim şartlarına maruz kalan üst kademede, özellikle sıkılma derinliğinde kırık ve çatlak yapısı oldukça fazladır. Patar oluşumunun büyük kısmı üst kademede oluşmaktadır. Mevcut patern ile alt kademede patar oluşumu yok denecek kadar azdır.

Şekil 4'de verilen maliyetler grafiğindeki üretim giderleri oluşturan ana unsurlar olarak birleştirilerek tekrar değerlendirildiğinde toplam ana unsurlar giderleri Şekil 5' deki gibi olmaktadır.



Şekil 5. Üretim maliyetlerini oluşturan ana unsurlar.

Şekil 5'te sunulan grafikte, üretim giderlerini oluşturan tüm parametreler birleştirilerek, delme-patlatma maliyeti, yükleme-taşıma maliyeti, kırma-eleme maliyeti olmak üzere üç ana unsur haline getirilmiştir. Toplam maliyet üzerine etkiyen üç ana unsurun etki yüzdeleri incelendiğinde en büyük payın (% 38,53) delme - patlatma maliyeti olduğu belirlenmiştir. İşletmenin delme - patlatma maliyeti belirlenirken patarlama maliyeti de eklenerek % 38,53 olduğu tespit edilmiştir. Üretim giderleri içerisinde en düşük maliyeti (%28,62) kırma – eleme işlemlerinin oluşturduğu görülmektedir.

5 SONUÇLAR

Madencilik faaliyet alanlarından önemli bir yere sahip olan kırmataş madenciliği artan taleplerle birlikte sektörel açıdan oldukça güçlenmiştir. Taleplerdeki artış rekabeti de beraberinde getirmiştir. Kaliteyi düşürmeden artan talebin karşılanması, minimum toplam maliyet, ideal parça boyut dağılımı işletmelerde üzerine düşülmesi gereken parametrelerdir.

Kırmataş işletmeciliğinde üretimin ilk aşaması delme-patlatma işlemleridir. Delme-patlatma uygulamaları uzmanlık ve sorumluluk isteyen bir faaliyettir ve büyük ölçüde üretim miktarı, ideal parça boyut dağılımı ve toplam maliyeti belirleyen ana unsurlardandır. Toplam maliyeti

etkileyen diğer ana unsurlar, genel olarak işletmeciliğin başlangıcında karar verilen makine ve teçhizata bağlı olduğundan, bu unsurlar üzerinde yenileme masrafları yüksek olmaktadır. Dolayısıyla maliyeti azaltmak için delme-patlatma tasarımlarının optimum hale getirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, kırmataş üretimi amaçlı yapılan 20 ayrı atım sonucunda üretilen toplam ürün miktarı ve üretim esnasında oluşan giderler ayrıntılı olarak incelenmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Buna göre;

- Toplam üretim giderleri içerisinde delme maliyeti % 8,69, patlatma maliyeti % 22,82, patlatma sonrası oluşan patarların hidrolik kırıcı ile kırılma maliyeti ise %7,02'lik bir paya sahiptir. Yani toplam giderler içerisinde delme-patlatma maliyeti % 38,53'lük bir kısımla en yüksek maliyeti oluşturmaktadır. Elde edilen veriler literatürle uyumlu bir sonuç göstermektedir.
- Üretilen ürünün taşıma maliyeti toplam maliyetin %8,82'sini yükleme maliyeti ise % 24,02'sini oluşturmaktadır. Yani yükleme ve taşıma maliyeti toplam maliyet üzerinde % 32,84'lük paya sahiptir
- Toplam maliyeti oluşturan diğer ana unsurlardan bir tanesi olan kırma-eleme giderleri ise toplam maliyetin % 28,62'lik bir kısmını oluşturmaktadır.
- 1168 adet patlatma izlenerek (20 atımda) elde edilen verilere göre; işetme enerji için harcanan birim maliyet 1,736 TL/Ton dur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Öztaşoğlu firmasına ait taş ocağında, yüksek lisans öğrencisi Arif ÇELİK tarafından toplanan veriler ışığında elde edilmiş olup halen hazırlanmakta olan tezinin ilk verileridir. Yazarlar çalışma süresince desteklerini esirgemeyen işletme yetkililerine teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Aksoy, C.O., Yalçın, E., 1999, Türkiye Kırmataş Üretim Yöntemlerinin Ekonomik Analizi *3.Endustriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir

Bağdatlı, S., 2013, Üsküdar - Ümraniye - Çekmeköy Metro Hattı Libadiye İstasyonu Yaklaşım Tüneli Kazısında Yapılan Patlatmalı Kazılardan Kaynaklanan Titreşimlerin Ölçülmesi Ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Okan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (150 s.).

Çelik A., 2015, Kırmataş Tesislerinde Toplam Birim Maliyete Etki Eden Parametreler ve Delme – Patlatma Birim Maliyetinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (Yayımlanmamış).

Halili, A., 2000, Agrega Üretiminde Kırma Eleme ve Taşın Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Önemi, 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul

Öztürk, Ö., Çelikkol, M., Erkan, M., 2007. Türkiye Agrega Sektör Raporu. Hazır Beton, Kasım-Aralık, 52-56.

Pekin, A., 2010, Ercan Taş Ocağı Delme-Patlatma Sisteminin İncelenmesi, *BAÜ FBE Dergisi* Cilt:12 Sayı:1, (s. 31-45)

Şirket performans raporu, 2014

Tek, A., 1999, Ocak Delme-Patlatma İşlemlerinde Maliyet Azaltılması, *2.Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, Istanbul

Tosun, S., 1996, Patlayıcı madde Kaya Eşleşmesinin Maliyet Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, *2. Delme Patlatma Sempozyumu*, Ankara

Yılmaz A. O., Arıoğlu, E., 2006, Taşocağında Üretim Maliyetlerinin Matematiksel Modelinin Oluşturulması ve Örnek Uygulama, *4. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, (s. 265-276) İstanbul

Patlatma Ekonomisi
Blasting Economy

E. Alpaydın
Solar Patlayıcı Maddeler Sanayi A.Ş. Ankara

ÖZET Bu bildiride, Madencilik ve İnşaat sektöründe yapılan patlatma çalışmalarında en ekonomik maliyetin elde edilmesi için neler yapılması gerektiği konularına vurgu yapılmıştır. Patlatma operasyonlarının ekonomik şekilde yapılmasında emniyet ve iş güvenliğinden hiçbir zaman ödün verilmemelidir. Önceliğimiz ortamda ve çevrede bulunanların can ve mal güvenliği olmalıdır. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliğine uygun çalışma ortamlarının oluşturulması birincil görevimizdir.

Bir ürüne düşük ücret ödemek, her zaman maliyetlerin düşük oluşması anlamını taşımaz. Patlatma ekonomisinde, patlatılacak kayacın özelliğine uygun patlayıcı madde seçimi ve uygun patlatma dizaynı yapılmasına dikkat edilmelidir. Bunun yanı sıra bilinçli personel seçimi ve personel eğitimi de çalışmaların ekonomik yapılmasında önemli etkenlerdendir. Çalışmalara başlamadan önce iyi bir planlama yapılmalıdır. Çalışmalar sırasında her aşama kontrol edilmelidir. Aksaklıklar tespit edilip, önlemler alınmalıdır. Tüm bunların sonucunda güvenli ve ekonomik patlatmalar yapmak mümkündür.

ABSTRACT In this declaration, the issues about how to acquire the best economic cost and what sould be done during blasting procedures in mining and construction sector are emphasized. In blasting operations done in an economic way, securirty and safety should never be underestimated. Our priority should be the life and property safety around the area. Our first goal is to build work places suitable for safety and security.

Lower prices don’t mean lower costs. In blasting economy, choosing proper explosive materials according to the rock and proper blasting design is important. In addition to this, conscious personnel selection and training them are the other important determinants of the economic operations. A detailed planning should be done before starting the operations. Each step of the operations should be controlled. The deficiencies should be determined, precautions should be taken. As a result of this, safe and economic blasts would be possible.

1 GİRİŞ

İnsanlığın içerisinde bulunduğu gelişmişlik düzeyine ulaşmasında, patlayıcı maddelerin yeri ve önemi büyüktür. 1863 yılında Alfred Nobel’ in dinamiti bulması ile birlikte patlayıcı maddeler sürekli gelişim sağlamıştır. Özellikle 20. yy ın son çeyreğinden itibaren de yenilikçi ürünler, firmalar tarafından üretilerek kullanıcıların hizmetine sunulmuştur.

Madencilik ve İnşaat Sektöründe kazı çalışmalarını yapmak için patlayıcı madde ve ateşleme sistemlerine olan gereksinim kaçınılmazdır. Her türlü kaya hareketlerinde (yer altı ve yer üstü madencilik faaliyetlerinde, baraj, yol ve diğer inşaat-altyapı çalışmalarında ve hatta orman yangınları ve çığ ile mücadelede vb.) patlayıcı maddeler yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Çok geniş bir yelpazede kullanım alanı olan patlayıcı maddeler, yeri doldurulamayan bir kaynaktır.

Madencilik ve inşaat sektöründe maliyet çalışması yapılırken planlama aşamasından başlayıp, delmeden patlatmaya kadar geçen süreçteki bütün çalışmaları dikkatle ele almak gerekir. Patlatma verimi sadece kırılma ya da parça boyutu ile değerlendirilmemeli, yapılan patlatma sonucunda ortaya çıkan işin amacına uygun olup olmadığı ile bir bütün olarak ele alınmalıdır.

Başarısız sayılacak patlatma ile oluşan blok, taban ve tırnak problemleri sonucunda ikincil delme-patlatma işlemlerine ihtiyaç duyulur. Ayrıca geri çatlakların oluşması da, işin devamında delme zorlukları ile karşı karşıya kalmamıza neden olur. Bu durum doğal olarak maliyetlerimizin artmasında önemli bir etkendir.

Bu yazıda, delme patlatma işlemlerinde daha verimli ve daha ekonomik maliyetleri elde etmek için dikkat edilmesi gereken noktalar vurgulanacaktır. Optimum maliyet; ***başta delme ve delik çapı, patlayıcı madde ve ateşleme sistemi seçimi olmak üzere birçok parametrenin fonksiyonu ile elde edilir.***

2 GENEL EKONOMİK DEĞERLENDİRME

Bir patlatma operasyonunun iş güvenliği ve emniyet konusunda ödün vermeden, ekonomik ve amaca uygun şekilde yapılması nı patlatma ekonomisi olarak tanımlayabiliriz. Konuyu teknik olarak ele almadan önce ekonomi piyasasında oluşan gelişmelere değinmek yararlı olacaktır.

Kırılgan mali piyasası ve bu algıya sahip ekonomik yapılarda küresel faiz oranlarındaki artı yönde artışlar, gelişmekte olan ülkelerde gelişmenin yavaşlamasına neden olur. Bu yavaşlamaya bağlı olarak, piyasalarda daralmalar oluşur. İçerisinde bulunduğumuz dönemde petrol fiyatlarındaki düşüş, bu daralmaya karşı büyümeye destek veren gelişmekte olan ülkelere katkı koyabilir. Ancak bu katkı yanıltıcı olabilir. Ekonomide kısıtlı seçenekleri olan ülkeler, bu tür dalgalanmalardan çok daha fazla etkilenmektedirler (Dünya Bankası Raporu, 2015).

Ülkemiz kırılgan bir ekonomiye sahip olup, küresel dalgalanmalardan fazla etkilenmektedir. Son yıllarda yaşanan piyasa koşulları, artan rekabet şartlarına bağlı olarak karlılıkların düşmesi, firmaları varlıklarını sürdürebilmesi için maliyetlerini daha fazla irdeler hale getirdi. Firmalar, daha verimli ve daha ekonomik nasıl çalışılabilir modelleri üzerinde çalışmalar yapmaya başladılar.

3 PATLATMA EKONOMİSİ

Patlatma ekonomisinin tanımını yukarıda yapmıştık. Patlatma sonucunda ekonomik verilere ulaşmak için planlamanın doğru yapılması gerekir. Bazı uygulamalar yapılıp, sonuçlar değerlendirilir. Elde edilen bu sonuçlara göre gerekiyorsa bazı parametrelerde değişiklikler yapılarak, en iyi sonuç elde edilmeye çalışılır.

Patlatma sonuçları değerlendirilirken; parçalanma, yığın geometrisi, geri çatlak oluşumu ve fazla kırılma ve çevresel etkenler (titreşim, hava şoku, taş savrulması vb.) göz önüne alınmalıdır. Parametrelerden bir tanesi olan parçalanma, patlatma mühendisliğinin en önemli

kavramlarından birisidir. Madencilikte boyut küçültme, patlatma ile başlar ve kırma, öğütme devreleri ile devam eder. Kırma ve öğütme tesisinin verimliliği yığın boyut dağılımı ile doğrudan ilişkilidir. Ayrıca yükleme ve taşıma işlerinin verimliliği de parçalanmaya bağlıdır (Esen ve Bilgin, 2000).

Patlatmaların ekonomik ve işin amacına uygun yapılması, sadece işin delme-patlatma aşamalarını etkilemez. Verimli patlatma kırma, öğütme, zenginleştirme, enerji ve yakıt sarfiyatı gibi çalışmalara da etkisi vardır. Yani özetle bizim delme-patlatma işlemlerini verimli, ekonomik ve amacına uygun şekilde yapmamız, bütün çalışmalarımızı olumlu yönde etkileyecektir.

4 PATLATMA İŞLEMLERİ

Patlatma operasyonu, delme-patlatma çalışmalarının tamamını kapsar. Bu tanımın çok geniş bir çalışma alanını içerisine alır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar;

-İşin planlanması,
-Kayaç ve arazi yapısının incelenmesi,
-Delik geometrisinin tespit edilmesi,
-Delme sisteminin belirlenmesi,
-Basamak ve delgi boyutunun tespiti,
-Patlayıcı madde ve ateşleme sistemi seçimi,
-Gecikme aralıklarının belirlenmesi,
-Patlatma öncesi kontrollerin yapılması,
-Patlatmanın yapılması,
-Atım sonrası kontroller ve pasa (yığın) kontrolü

olarak sıralamak mümkündür. Yukarıda sıralanmış olan işleri işletmenin durumuna ve projeye göre çoğaltmak mümkündür. Yukarıda sıralanan işlemlerin tamamı, patlatma operasyonlarını içerir. Bu çalışmaların bütün aşamaları gerekli kontrol, alınacak önlemler ve yapılacak düzeltmeler ile çalışmalar daha ekonomik şekilde yapılabilir.

Patlatma işlemleri ve patlatma ekonomisi; ***tam planlamayı, iyi bilgi sahibi olmayı ve deneyimi*** gerektirir.

5 VERİMLİ ve EKONOMİK PATLATMALAR İÇİN DİKKAT EDİLECEK NOKTALAR

Verimli ve ekonomik patlatmalar yapmak için uygulamalar sırasında bazı noktalara dikkat etmek gerekir. Küçük ayrıntılar önemli getirileri olabileceği gibi, gözden kaçan noktalarda da ciddi risk ve maliyet artışı ile karşı karşıya kalırız. Daha verimli ve daha ekonomik patlatmalar yapmak için neler yapmamız gerektiğini inceleyelim.

5.1 Planlama

Planlamada, çalışmalar kurgulanır. Aşamalar değerlendirilerek tasarlanır. Çevresel etkenler gözden geçirilir. Lojistik çalışmaları yapılır. Planlama esansında;

-Ekonomik faktörler
-Teknolojik faktörler
-Sosyal faktörler
-Çevresel faktörler
-Yasa ve yönetmelikler

değerlendirilir.

Çevre ile yaşanacak olumsuzluklarda maliyet artışlarına neden olur. Bu tür sürprizlerle karşılaşmamak için saha çalışmalarına başlamadan önce risk analizinin yapılması gerekir. Yapılacak risk analizi ile mevcut durum kayıt altına alınır. Çalışmaların devamında bizden kaynaklanmayan olumsuzlukların bize fatura edilmesinin önüne geçilmiş olur.

Diğer bir konu, İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği dir. İSG konusunda önlemlerin tam ve eksiksiz alınması gerekir. Ülkemizde meydana gelen iş kazalarının yaklaşık % 25 nin patlatmalardan kaynaklandığı gerçeğinden yola çıkarsak, konun önemi daha iyi ortaya çıkar (Sandwik).

5.2 Jeoloji ve Kayaç Yapısı

Mühendislik Jeolojisi, jeolojik verilerin sayısal olarak belirlenmesi ve mühendislik işlerine uygulanmasıdır. Mühendislik Jeolojisi, maden ve inşaat mühendisliğinde jeoloji ile ilgili konularda faydalanmayı sağlar.

Kayaçlar kendi içerisinde kırılgan ve dayanımlı olmak üzere iki gruba ayrılır. Kırılgan olanlar gevşek, çimentosuz olarak adlandırılır. Dayanımlı kayaçlar ise sıkışmış ve çimentolu kayaçlar olarak tanımlanır. Kolay parçalanma ve dağılma özelliği olan kayaç yapılarıyla zemin mekaniği, sert olanlarla ise kaya mekaniği ilgilenir ve bunların tamamına Mühendislik Jeolojisi denir (DEU ders notu).

Kayaçların mühendislik özellikleri *–kimyasal, fiziksel, mekanik deformasyon ve teknolojik özellikleri-* patlatma işlemlerindeki etkisi önemlidir. Bu nedenle kayaç yapıları incelenmeli, kayacın kalitesi belirlenerek uygun patlayıcı madde ve ateşleme sistemleri seçilmelidir. Patlatma işlemlerinden daha verimli ve daha ekonomik sonuçlar alabilmek için Mühendislik Jeolojisinden yararlanmak gerekir.

Tablo.1 Kaya kalitesi tanımı (RQD) ile kaya kalitesi arasındaki sınıflandırma

RQD	Kaya Kalitesi
0-25	Çok kötü
25-50	Kötü
50-75	Orta
75-90	İyi
90-100	Çok iyi

Kayanın kalitesi, patlayıcı madde seçiminde bize kılavuzluk eder. O nedenle çalışma yaptığımız kayaç yapısı ile ilgili doğru bilgilere sahip olmak gerekir.

5.3 Delme ve Delik Geometrilerinin Belirlenmesi

5.3.1 Delme

Delme işlemi, patlatma operasyonunun en önemli kısmını oluşturur. Yanlış delici makine ve uygun olmayan delme çapı seçimi maliyetlerimize olumsuz etkisi vardır. Delici makine seçiminde;

-İlk yatırım maliyetleri,
-İşçilik,
-Akaryakıt,
-Yedek parça,
-Yağ ve bakım,

-Delici takımı maliyetlerine dikkat edilmelidir.

Delmeden kaynaklanan maliyeti azaltmak için, delme hatalarını en aza indirmek gerekir. Bu nedenle delme işlemine başlamadan önce bazı noktalara dikkat etmemiz gerekir. Bunlar;

-Delik yerleri tek tek ölçülerek işaretlenmelidir.

-Delinecek alanda boş pasa, serbest malzeme ve kırıntılar varsa, temizlenmelidir.

-Önceki atımdan kalan patlamış malzeme varsa bu malzeme uzaklaştırılmalıdır.

-Delici makina delme öncesi teraziye alınmalı, deliğin delinme durumuna bağlı olarak makinenin eğim açısı ayarlanmalıdır.

-Operatör eğitimlerine önem verilmelidir.

Delme esnasında;

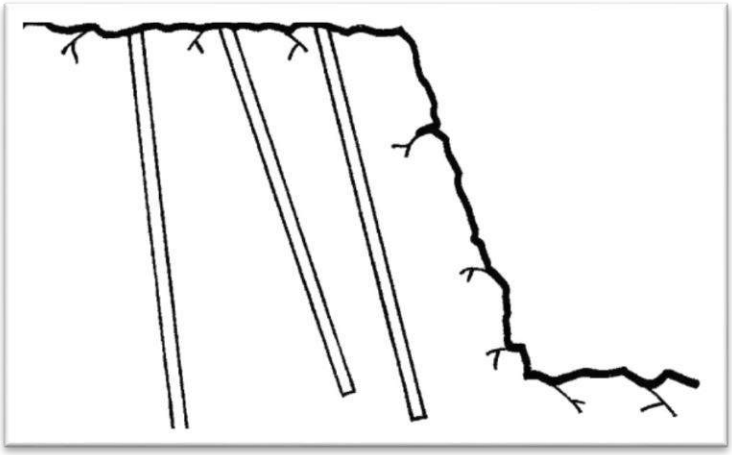
-Delik delerken çıkan tozlar ve kırıntılar delik ağzından çekilerek temizlenmelidir.

-Delme açılarındaki değişiklikler ve delik sapmaları sürekli kontrol edilmelidir.

-Atım grubunda delme işi bir baştan başlayıp diğer tarafa doğru devam edilmelidir. Delik makinesi, delinen delikler üzerinden geçmemelidir.

-Delme işlemi esnasında makine izlenmeli, kayaç yapısındaki boşluklar, tabaka geçişleri ve buna bağlı olarak açılar kontrol edilmelidir.

-Özellikle çamur tabakalarında sapma fazla olacağı için tekrar tekrar delik doğrultu düzeltmesi yapılmalıdır.



Şekil 1: Yanlış delme uygulaması

Genel olarak;

-Çok uzun delik delinmemeli,

-Problemli zeminlerde ve bölgelerde eğimli delik delinmeli,

-Aynalar, tabakaların yatımı ya da tersi yönde oluşturulmamalı, tabaka eğimlerini aynada görecek şekilde ayna oluşturulmalı,

-Operatör eğitimlerine önem verilmelidir.

5.3.2.Delik Geometrisi ve Sıkılama

Dikkat etmemiz gereken diğer bir etken, delik geometrisinin tespitidir. Delik geometrisinin seçiminde, delik çapı ve basamak yüksekliği etkendir. Delik geometrisinin geniş tutulması delme maliyetini azaltırken patlatma sonucunda bloklu malzeme yığını, taban ve tırnak problemleri oluşmasına neden olur. Diğer bir olumsuz etkisi, titreşimden kaynaklanan çevresel rahatsızlıktır.

Delik geometrisinin dar tutulması ile aşırı patlayıcı madde sarfiyatı ve kaya uçmaları gibi olumsuz sonuçlar ortaya çıkar. Delikler arası mesafenin düşük tutulması ile oluşabilecek ve maliyeti artıracak diğer bir etkende, bir önceki deliğin patlaması ile sonraki delikte patlayıcının basınç etkisi ile sağırlaşması ve patlamama riskinin olmasıdır (emülsiyon patlayıcılarda sağırlaşma).

Delmenin patlatmaya etkisi olduğu gibi, patlamanın da delmeye etkisi vardır. Geri çatlaklar, taban ve topuk problemleri bir sonraki patlatmalarda maliyetlerimizi önemli oranlarda artıracaktır.

Deliklerin şarj edilmesi sırasında dikkat edilmesi gereken diğer faktör ise, sıkılamadır. Sıkılama işleminin ana amacı, delik içerisinde infilak eden patlayıcının gazını tutmaktır. Patlatma deliğinin iyi ya da kötü sıkılanması, patlatma sonucuna etkisi büyüktür. Etkin bir sıkılama için;

-Kullanılan sıkılama malzemesinin tipi ve boyutu,

-Sıkılama boyu

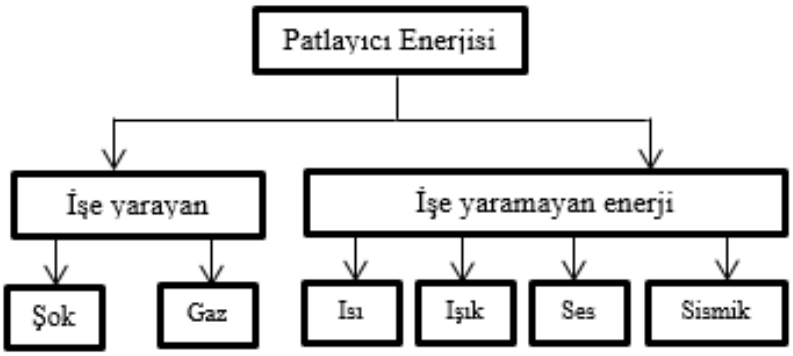
noktalarına dikkat edilmelidir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki, sıkılama malzemesi olarak kırmataş kullanılması ile yüksek verim alınır. Genel uygulama delik içerisinden çıkan malzeme ile sıkılama yapılmaktadır. Bu uygulama pratik bir çözüm olmakla birlikte, patlatma performansı açısından yeterli sonuçlar ortaya koymaz. Taş unu ise, kötü bir sıkılama malzemesidir (Bilgin ve Esen, 1998).

5.4.Patlayıcı Madde ve Ateşleme Sistemlerinin Seçimi

Patlayıcı madde ve ateşleme sistemlerinin seçiminde dikkat edilmesi gereken iki önemli nokta vardır. Seçtiğimiz patlayıcı madde ve ateşleme sistemlerinin güvenli ve ekonomik olması gerekir Bir ürüne az ücret ödemek, yaptığımız işin ekonomik olduğunun göstergesi değildir. Önemli olan, amacına uygun ürün seçilmesidir.

Sivil amaçlı patlayıcı maddelerin büyük çoğunluğu, ideal olmayan patlayıcılardır. Diğer bir ifade ile gerçek patlama hızları ile teorik olarak hesaplanmış hızları farklılık gösterir. Burada etken parametre, delik çapıdır. Yani patlama hızı, delik çapının bir fonksiyonudur. Delik çapı arttıkça patlama hızı da artar. Dolaysıyla patlayıcı enerjisinden daha fazla yararlanılır.

Patlatma esnasında birçok enerji ortaya çıkar. Bunların bir kısmı işe yaramayan enerji olarak adlandırılır. Isı, ışık, ses ve sismik enerji bu tür enerjilerdir ve patlatma performansına olumlu hiçbir etkisi yoktur.



Şekil 2. Patlayıcı enerjilerinin sınıflandırılması

Patlatma esansında ortaya çıkan diğer enerji ise işe yarayan enerjidir. İşe yarayan enerji biri şok, diğeri de gaz enerjisi olmak üzere iki tanedir.

Kayaçlar değişik gerilme ve sıcaklık koşullarına bağlı olarak üç farklı farklı davranış sergiler. Bunlar; elastik davranış, plastik davranış ve vizkoz davranıştır. Elastik davranışta kayaca uyguladığımız yükü kaldırdığımızda kayaç eski halini alır. Yani kayaçta deformasyon oluşmaz. Plastik davranışlı kayaçlarda deformasyon sürekli artar. Vizkoz yapılar ise kayaç akışkan ve katı arası davranış sergiler. Bu yapılar zaman içerisinde kendi ağırlıklarına bağlı olarak da deforme olurlar **(**HÜ ders notu**)**

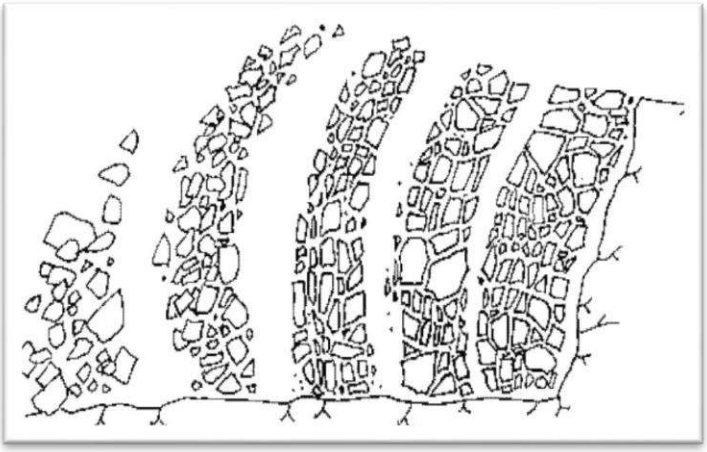
Dikkat etmemiz gereken en önemli nokta, işe yarayan enerjiden hangisine daha fazla ihtiyaç duyulduğudur.

Tespit edilen kayaç yapısına göre itme ya da kırma enerjisi yüksek patlayıcı seçmek gerekir. Elastik yapılarda gaz enerjisi (itme) yüksek patlayıcı madde, plastik kayaç yapılarında ise şok enerjisi (kırma) yüksek olan patlayıcı maddeyi seçmek gerekir. Vizkoz yapılarda, ise gaz ve şok enerjisi dengeli olan patlayıcıları tercih etmeliyiz. Mühendislik jeolojisinin, kayaç yapısının tespit edilmesi açısından önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

Patlayıcı madde seçimi esnasında delik durumu da incelenmelidir. Delik içerisinde su varsa, suya dayanıklı patlayıcı madde tercih edilmelidir. Bazı uygulamalarda kullanıcılar ekonomik olması için sulu deliklerde ANFO'yu torbalayarak kullanılmaktadır. Bu yanlış bir uygulamadır. Bu tür uygulamalarda maliyet azalacağı yerde düşük patlatma performansına bağlı olarak maliyet daha da artar.

Ateşleme sistemi seçimi de tıpkı patlayıcı madde seçimi gibi kontrol edilebilen parametredir ve patlatma performansı ve maliyet açısından çok etkendir. Yine delik koşulları ve çevre koşullarına bağlı olarak uygun ateşleme sistemlerinin seçilmesine dikkat edilmelidir. ***Patlatma işlemleri sırasında oluşan kazaların büyük çoğunluğu, yanlış ateşleme sistemlerinin seçilmesi ya da seçilen ateşleme sistemlerinin yanlış ve hatalı uygulamalardan kaynaklanır.***

Patlatma delikleri ve bunların arasındaki gecikme zamanları patlatma maliyetini direkt olarak etkiler. Çok sayıda patlatma delikleri ve iki-üç sıradan daha fazla sıraları olan atım gruplarında çok daha dikkatli olmak gerekir. Böyle karmaşık ve kalabalık atım gruplarında ateşleme sistemlerinin seçimi daha büyük önem kazanır.



Şekil 3 Uygun gecikme aralığı

Gecikme aralığının uygun olmaması, patlatma deliklerinin sıkışmasına ve yığının yüklemeye uygun olmamasına neden olur. Bu da maliyeti artıran en önemli etkenlerden biridir. Bu nedenle ateşleme sistemleri seçiminde güvenli, çevresel etkileri azaltacak (titreşim, hava şoku vb.), meteorolojik ve iklimsel koşullardan etkilenmeyecek kapsüllerin tercih edilmesi gerekir.

5.5 Kontroller

Maliyet unsurlarını etkileyen diğer önemli konu, kontrollerdir. Patlatma operasyonlarının her aşaması kontrol edilmeli, her aşaması gözlemlenmelidir. Delik doldurma işlemlerine başlamadan önce deliklerin fiziksel kontrolü yapılmalıdır. Fiziksel kontrol sırasında;

-Delikler belirlenen delik geometrisine uygun olup olmadığı,
-Delik boylarının durumu,
-Varsa dip delgi uzunluğunun durumu,
-Delik eğimi ya da dikliği,
-Deliğin yapısı ve durumu (su var mı ?)

kontrol edilmelidir. Ayrıca delik delindikten sonra delik etrafında oluşan toz ve taş parçalarının mutlaka temizlenmesi gerekir.

Deliklerin doldurulması ve ateşleme sistemlerinin bağlantısı tamamlandıktan sonra atım grubu mutlaka kontrol edilmelidir. Böylece;

-Doldurulmamış delik,
-Yanlış bağlantı ya da bağlantısı yapılmamış delik,
-Artan patlayıcı madde ve ateşleme sistemlerinin

kontrolü bir daha yapılmış olur. Oluşan aksaklıklar varsa, bu kontrol sonucunda belirlenir ve olumsuzluklar giderilir.

Patlatma esnasında çevre kontrolleri yapılmalıdır. Patlatma ile ilgili gerek çevre de yaşayanlar ve gerekse çalışanlar ikaz edilmeli, sesli ikaz cihazları ile haberdar edilmelidir. Bunun amacı tüm çalışanların ve çevrede yaşayanların can ve mal güvenliği korunmasıdır. Bu çalışmaların yapılmaması, ya da eksik yapılmasından kaynaklanan kazalar sonucunda hem can, hem de mal kayıpları yaşanır.

Patlatma sonrasında pasa ve yığın kontrolü yapılarak, patlamayan delik ya da atım kesmesi gibi durumların olup olmadığı tespit edilmelidir. Olumsuzluklar varsa giderilmelidir. Güvenli ortam oluşmasından sonra çevrede yaşayanlar ve çalışanlara uyarılmalıdır. Gözden kaçan, dikkat edilmeyen küçük bir ayrıntı, kazalara neden olabileceği gibi, maliyetlerimizin de artmasına neden olur.

5 SONUÇ

Başta da ifade edildiği gibi sivil amaçlı patlayıcı maddeler, yaşamımızın birçok noktasında kullanılmaktadır. Patlayıcı maddeler çok büyük bir güçtür. Bu gücü doğru ve yararlı bir şekilde kullanmak tüm sektör çalışanlarının öncelikli görevidir. Bu görev yerine getirilirken iş güvenliğinden asla ödün verilmemelidir.

İş yaşamımızda hep daha ekonomik, daha az maliyetle nasıl daha fazla iş üretirim yapabileceğimiz konularına kafa yorarız. . Tasarruf eder, giderlerimizi kısarak bir takım önlemler alırız. ***İş yaşamı, her geçen gün daha acımasız ve daha rekabetçi ortamları beraberinde getirmektedir.***

Özetle;

1- ***Eğitim ve Bilgi.*** Birçok işletmede delme-patlatma işlerini yürüten personelin eğitim ve bilgi seviyesi düşüktür. Yüksek bedellerle alınan delme makinaları yeterli donanıma sahip olmayan elemanlara teslim edilmektedir. ***İşletmede delici makine operatörleri ve patlatma ekibine; delik delmenin önemi ve sonuçları, patlayıcı madde özellikleri, patlatma emniyeti ve patlatma parametreleri hakkında teorik ve uygulamalı bilgiler verilmelidir.*** Firmalar bu

eğitimleri kendileri verebilir. Ancak, bu eğitimi kendi bünyelerinde veremeyen firmaların mutlaka destek almaları gerekir. Üretici firmalar, Üniversiteler vb. kuruluşlar bu konuda ilk akla gelenlerdir.

2- ***Sistemli çalışma.*** Yapılacak çalışmaların sistematik bir şekilde yürütülmesi gerekir. Bu amaçla hazırlanan patlatma parametreleri her atım sonrası değerlendirilerek en uygun sonuçlar elde edilene kadar sürdürülür. Kayaç parçalanmasına etki eden parametrelerin her defasında bir tanesi değiştirilir. Uygun değerler elde edildiğinde diğer parametrenin kesinleştirilmesi yoluna gidilir ve nihai sonuca ulaşılır. Bunun için bilinçli ve eğitimli personel seçimi yapmak gerekir.

3- ***Uygun ürün seçimi.*** Amaca uygun patlayıcı madde ve ateşleme sistemi kullanmak gerekir. Delik durumu ve kayaç yapısına bağlı olarak suya dayanıklı patlayıcılar kullanmak ekonomik bir çözümdür. Ateşleme sistemleri olarak da, emniyet ve ekonomik olması açısında elektriksiz ateşleme sistemlerinin tercih edilmesi gerekir. Son yıllarda artan üretici sayısının artması ile seçenekler de artmıştır. Patlayıcı madde üreten firmalardan daha detaylı ürün bilgileri alınabilir.

4- ***Amacına uygun çalışma sistemi.*** İşimize, projemize uygun delme çapı ve delik geometrisinde çalışmalıyız. Makine seçiminde algıya göre değil, amaca göre seçim yapmak gerekir. Delik geometrisi belirlenirken patlatma sonrası oluşacak yığının kullanım alanı göz önüne alınmalıdır.

5- ***Kontrol.*** Kontrol, patlayıcı madde ile uğraşanların yaptıkları işin her aşamasında uygulamaları gereken bir mekanizma olduğunu bir kez daha vurgulamak gerekir. Gözden kaçan bir noktanın kontrol sırasında tespit edilmesi ciddi sorunları ve büyük ekonomik kayıpların önüne geçilmesine neden olabileceği unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

Bilgin. H.A., Esen. S., 3. Delme-Patlatma Sempozyumu. Şubat 1998, Ankara
Dirik. Kadir., Prof. Dr. Hacettepe Üniversitesi, Ders Notları
Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Jeolojisi Ders Notları
Esen. S, Bilgin. H.A., 4. Delme-Patlatma Sempozyumu. Nisan 2000, Ankara
Fortune Türkiye, Dünya Bankası 2015 Raporu
Sandwik, Patlatmalarda İş Güvenliği

"Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Odayeri-Paşaköy (3. Boğaz Köprüsü Dahil) Kesimi" Ömerli Köyü Kalker Ocağında Yapılan Açık Ocak Patlatmalarının Çevresel Hasar Riski Açısından Analizi

"North Marmara Motorway Project Odayeri-Paşaköy (3rd Bosphorus Bridge Included) Section" Environmental Damage Risk Analysis of the Performed Open-Pit Blasting in the Omerli Village Limestone Quarry

A. Kahriman, A. Çeltikçi, S. Bağdatlı
T.C. Okan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Patlayıcı Mühendisliği Yüksek Lisansı

İ. Ocak
İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul

A. Özdemir, İ. Sefer, R. Sağlam
ICA İçtaş-Astaldi Ortak Girişimi "Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Odayeri-Paşaköy (3. Boğaz Köprüsü Dahil) Kesimi" Projesi

ÖZET Yerleşim yerleri yakınındaki patlatma çalışmalarının sebep olduğu, rahatsızlık derecesine varan çevresel sorunların artmasıyla, büyük bir dikkat gerektiren emniyetli patlatma tasarımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle; özellikle şehir içi patlatmalarında, belirli bir mesafede, gecikme başına düşen maksimum patlayıcı madde miktarının sınırı, çevresel problemlerin elimine edilmesi için büyük önem taşımaktadır. Emniyetli yaklaşımlarla, yer sarsıntısının parçacık hızı ve diğer bileşenlerinin tahmini, patlatma tasarımcıları için önemli kolaylıklar sağlayacaktır. Patlatmanın sebep olduğu çevresel problemlerin azaltılabilmesi için günümüze kadar yürütülen yoğun çalışmalara rağmen, henüz güvenilir bir genel formül saptanamamıştır. Bu yüzden deneysel çalışmalar, her bir sahaya özgün olarak, bu problemlerin azaltılabilmesi için gereklidir. Bu bildiri kapsamında, parçacık hızı seviyesini tespit etmek için "Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Odayeri-Paşaköy (3. Boğaz Köprüsü Dahil) Kesimi" Ömerli Köyü Kalker Ocağında Yapılan Açık Ocak Patlatmalarında gerçekleştirilen her bir atım titreşim ölçer cihazlar kullanılarak kaydedilmiş ve olası hasar riski, uluslararası normlara göre değerlendirilmiştir.

ABSTRACT Near residential areas caused by blasting, with increasing degree of environmental issues up to discomfort, which requires great attention is needed to safety blasting designs. Therefore; especially local blasting at a distance, the maximum limit of the amount of explosives per delay is of great importance for the elimination of the environmental problems. The safety approach, particle velocity prediction of earthquakes and other components will provide significant convenience for blasting designers. Despite intensive studies carried out up to now in order to reduce the environmental problems caused by the blasting, the formula has not yet been determined reliably. Thus experimental studies, as unique

to each area, it is necessary to reduce these problems. The extent of this paper, in order to determine the level of particle velocity "North Marmara Motorway Project Odayeri-Paşaköy (3rd Bosphorus Bridge Included) Section" of Omerli Village Limestone Quarry recorded using each shot vibration measuring devices carried in open pit blasting open pit and possible damage risk is analyzed in accordance with international norms.

1 GİRİŞ

Patlatmanın kaçınılmaz olduğu taş ocakçılığı, madencilik, inşaat, altyapı kazıları, kuyu - tünel, boru hattı, baraj gibi çeşitli sektörlerde; yer sarsıntısı ve hava şokundan kaynaklanan çevre problemleri sıkça karşılaşılmakta ve tartışılmaktadır. Bu nedenle, patlatma tasarımında yalnızca parçalanma derecesi, eş dağılımlılık, maliyet gibi teknik ve ekonomik unsurlar değil, aynı zamanda söz konusu problemlerin elimine edilmesi de dikkate alınmalıdır. Patlatmadan kaynaklanan titreşim bileşenlerinin tahmin edilmesi çevresel şikâyetleri önlemede büyük önem taşımaktadır.

Son yıllarda, patlatmalı kazılardan sorumlu teknik elemanların karşılaştıkları sorunlardan biri de yer sarsıntısı ve hava şokları nedeniyle, çevrede yaşayan kişi ya da kuruluşların haklı veya haksız şikayetleridir. Nüfus artışı ve şehirleşmeye paralel olarak bu tür gerçek ya da psikolojik rahatsızlıklar giderek de yoğunlaşmaktadır. Dolayısıyla ekonomik ve emniyetli bir patlatma, aynı zamanda bu tür sorunları da elimine etmek durumundadır. Bu nedenle, iyi bir patlatmadan beklenen en önemli unsurlardan biri de atımın çevresel etkiler açısından emniyetli olmasıdır. Bu tür çevresel duyarlılıklar dikkate alındığında, patlatma kaynağından belirli bir uzaklıkta bulunan bir yerleşim biriminin ya da tesisin; patlatma sonucunda oluşacak yer sarsıntısı, kaya fırlaması ve hava şoku gibi sonuçlardan etkilenmemesi bakımından; patlatma tasarımında yanıt aranacak bir diğer konu da herhangi bir gecikme aralığında kullanılabilecek en fazla patlayıcı madde miktarını önceden belirleyebilmek ve kontrollü atımlar gerçekleştirebilmektir.

Patlatmadan kaynaklanan çevresel problemler, gelişmiş ülkelerde ülkemize göre çok daha önceleri yaşanmıştır. Bu nedenle bu konuların çözümü ve konuyla ilgili bazı standartların oluşturulması amacıyla çeşitli sistematik araştırma programları yürürlüğe konulmuştur. Bu programların sonucunda "Kontrollü Patlatma Tekniğinin İlkeleri" ortaya konulmuştur. Günümüzde patlayıcı madde üreticileri ve tüketicileri, patlatma sonucu oluşan yer sarsıntıları ve hava şokunun etkilerini belirlemek ve gerekli önlemleri alabilmek için deneysel çalışmaları sürdürmektedirler. Bu konularda çeşitli yasal hükümler geliştirilmeye çalışılmaktadır (Ceylanoğlu, A. ve Kahriman, A., 1996; Johnston, G.J. ve Durucan, Ş. 1994).

1.1 Araştırmanın Amacı

"Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Odayeri-Paşaköy (3. Boğaz Köprüsü Dahil) Kesimi" Projesinin Asya Yakası hammadde ihtiyaçlarını karşılamak üzere üretim faaliyetleri sürdürülen Ömerli Köyü Kalker Ocağında üretimi hedeflenen malzemenin sert ve sağlam yapılı olması dolayısıyla patlatmalı kazı kaçınılmaz olarak yapılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; söz konusu ocakta üretim sırasında, patlatmadan kaynaklanan titreşim ve hava şoku gibi çevresel problemlerin ölçülerek, bu unsurların, çevrede bulunan yerleşim birimlerindeki yapılarda hasarlara neden olabilecek seviyelerde olup olamayacağı konusunda değerlendirme yapılmasıdır.

2 ÇALIŞMA ALANI VE ARAŞTIRMADA UYGULANAN YÖNTEM

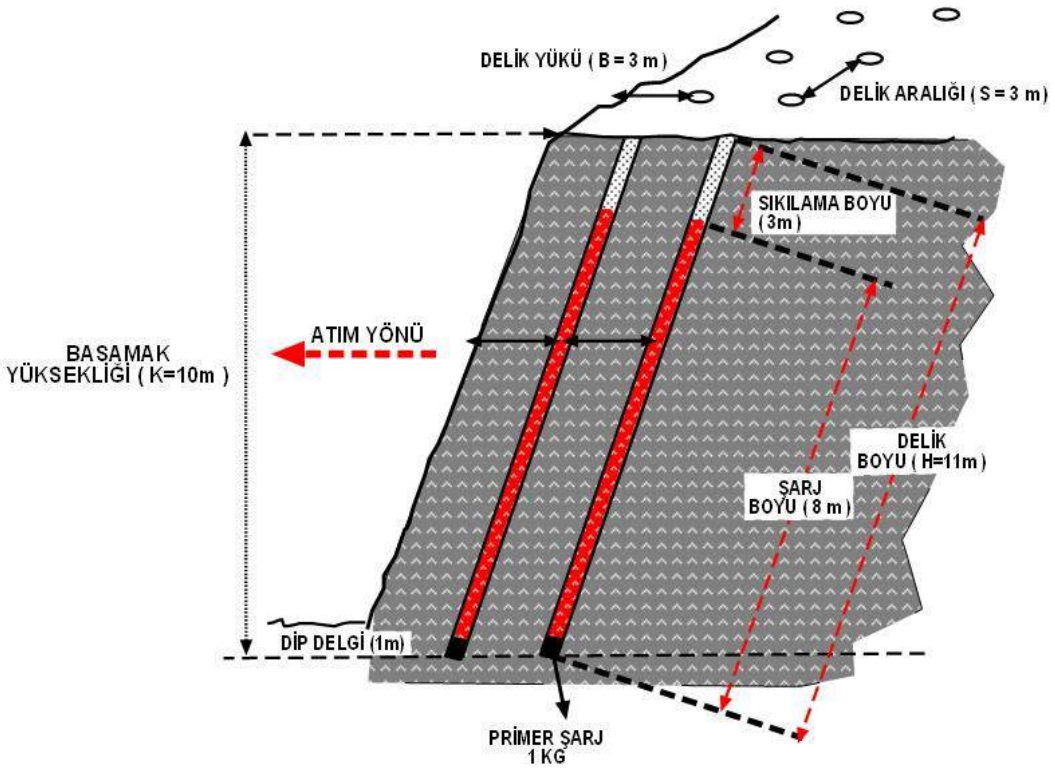
Çalışma alanı, İstanbul İli Çekmeköy İlçesi Ömerli Su Havzasının Batısında bulunup, havzaya olan mesafesi 500-600 metredir.

Çalışma alanında ve Ömerli barajının kuyruk suyunun doğu sınırında (Kurnaköy' ün doğusunda) uzun bir koridor şeklinde Pelitli Formasyonu yer almaktadır. Pelitli Formasyonu'nun bir üyesi olan Dolayoba Kireçtaşı üyesi ve Soğanlık Kireçtaşı Üyesi Beştepeler mevkiinde açığa çıkmaktadır.

Çalışma alanı, İstanbul'un Paleozoyik yaşlı birimlerini oluşturan jeolojik yapı üzerinde gelişmiştir. Bu birimlerin geçmişte ileri derecede aşınarak peneplenleşmesinden sonra bu eski düzlüğün üzerinde çökelen bazı genç (üçüncü zaman) birimleri de, sahadaki izleyen aşınma döneminden arta kalan örnekleri ile izlenebilmektedir. Yakın zamanda bölgenin yükselmesi ile Ömerli Havzası'nın içinde oluştuğu vadi sistemi gelişmiştir (Emay, 2013).

2.1 Araştırmada Uygulanan Yöntem

Bu sahada yapılan basamak patlatmaları sırasında patlayıcı madde olarak ANFO ve emülsiyon tip patlayıcılar, ateşleme sistemi içinse elektriksiz kapsüller kullanılmıştır. Üretim delikleri 89 mm çapında (3,5 inç) delinmiş, delik dibine ise 65×250 mm boyutlarında 1 kg ağırlığında kapsüle duyarlı emülsiyon tipi patlayıcı madde yerleştirilmiştir (primer charge). Primer charge'a 14 metre uzunluğunda yüzey gecikmeli elektriksiz kapsül takılmıştır. Primer charge'ın üzerine ANFO (deliklerin su durumuna göre suya dayanıklı ağır ANFO) doldurulmuş, sıkılama boyu da 3 metre bırakılmıştır. Sıralar arasında ise 4 metrelik yüzey gecikmeleri kullanılmıştır. Delikler arası mesafe 3 metre, sıralar arası mesafe 3 metre, fazla delgi 1 metre olarak belirlenmiştir. Delik başına toplam patlayıcı madde miktarı 40 kg (1 kg primer charge + 39 kg ANFO); özgül şarj ise 0,400 kg/m^3 olarak belirlenmiştir (Şekil 1.) (Kahriman A. ve diğ.,2014).



Şekil 1. Ömerli Köyü Kalker Ocağı Patlatma Paterni

Her atımın ölçekli mesafe unsurları dikkatlice kaydedilirken titreşim ölçer cihazları ile yersarsıntısı unsurları ölçülmüştür. Söz konusu saha çevresinde bulunan yapıların, patlatma faaliyetlerinden dolayı zararının olup olmadığının belirlenmesi amacıyla ölçülen frekans ve en yüksek parçacık hızı (PPV) değerleri, Amerikan USBM, Alman DIN-4150 normları ve T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre değerlendirilmiştir. Daha sonra parçacık hızının kestirimi için, ölçekli mesafe ve parçacık hızı veri çiftleri söz konusu saha için analiz edilmiştir. Bu analiz sırasında literatürde yaygın kullanıma sahip kareköklü ölçekli mesafe eşitliği kullanılmıştır. Değerlendirme sonunda, söz konusu saha için parçacık hızı ile ölçekli mesafe arasında ampirik ilişki elde edilmiş ve önerilmiştir.

3 ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Patlatma paterni yukarıda detaylı olarak açıklanan atımlar sonucunda, kayaç içi titreşimlerin oluşturduğu parçacık hızı, deplasman, ivme ve frekans değerleri, kayıt cihazları ile tespit edilmiştir. Titreşim ve hava şoku ölçümü yapılan atımlarda, cihazların kaydettiği değerler; çevredeki tesis ve yapılara etki derecelerini tahmin ve mukayese etmek amacıyla, hem Amerikan USBM hem Alman DIN 4150 Norm'ları ve hem de T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre değerlendirilmiştir. Kayıt alınan atımlardan bazılarının parçacık hızı bileşenlerini, frekans değerlerini ve hava şoku değerlerini içeren bilgileri, Çizelge 1.'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 1. Atımlar Sonucunda Ölçülen Titreşimlerin Veri Kaydı (Kahriman A. ve diğ., 2014).

Atım No	Tarih	Saat	Enine (PVT) (mm/s)	Frekans (f) (Hz)	Düşey (PVV) (mm/s)	Frekans (f) (Hz)	Boyuna (PVL) (mm/s)	Frekans (f) (Hz)	Max. Parçacık Hızı (PPV) (mm/s)	Frekans f (Hz)	Hava Şoku (dB)	Toplam Şarj (kg)	Gecikme Başına Toplam Şarj (W) (kg)	Mesafe (R) (m)	Ölçekli Mesafe (SD)
001	19.03.2014	17:08	0,51	32	0,51	41	0,51	43	0,51	32	135	340	2,8	127,24	76,04
012	10.06.2014	19:07	1,14	16	1,14	23	1,78	14	1,78	14	121,9	4600	20,35	374,35	82,98
025	12.08.2014	12:48	1,52	14,2	1,9	19,7	1,14	16,5	1,9	19,7	135,2	3130	35	400	67,61
038	15.09.2014	12:57	0,89	14,8	1,4	29	0,89	18	1,4	29	128,3	1690	45	540	80,50
050	18.10.2014	12:16	1,27	32	1,9	26	1,4	18	1,9	26	129,1	1540	45	565	84,23
063	25.11.2014	12:15	1,27	20	1,14	28	1,9	11	1,9	11	123,9	1535	27	429	82,56
075	22.12.2014	12:52	1,02	18	1,02	27	0,89	18	1,02	18	124,1	2480	34,44	479	81,62
088	28.01.2015	12:26	2,54	18	2,67	26	3,05	18	3,05	18	124	2320	42,18	201	30,95
100	23.02.2015	12:07	1,02	22	1,02	28	0,89	18	1,02	22	137,4	3000	33,7	488	84,06
112	18.03.2015	18:17	1,27	19	1,9	24	1,52	21	1,9	24	121,9	4700	26,09	416	81,44
125	09.04.2015	18:26	1,65	20	0,89	34	0,89	20	1,65	20	124,7	2745	34,31	485	82,80
138	28.04.2015	18:16	1,52	17	1,78	21	1,65	13	1,78	21	129	5920	32,2	460	81,06
150	19.05.2015	18:09	3,17	18	3,43	27	2,41	18	3,43	27	140,2	3625	33,72	203	34,96
163	04.06.2015	13:08	1,4	22	1,4	24	1,65	17	1,65	17	112,3	2540	20,23	370	82,26
175	25.06.2015	12:14	1,78	16	1,9	23	2,41	15	2,41	15	113,3	1930	25,55	245	48,47
182	04.07.2015	12:10	2,03	23	3,05	22	3,17	21	3,17	21	116,9	3720	34,44	245	41,75
196	31.07.2015	13:07	0,89	30	1,14	22	1,14	20	1,14	22	127	2480	31	456	81,90

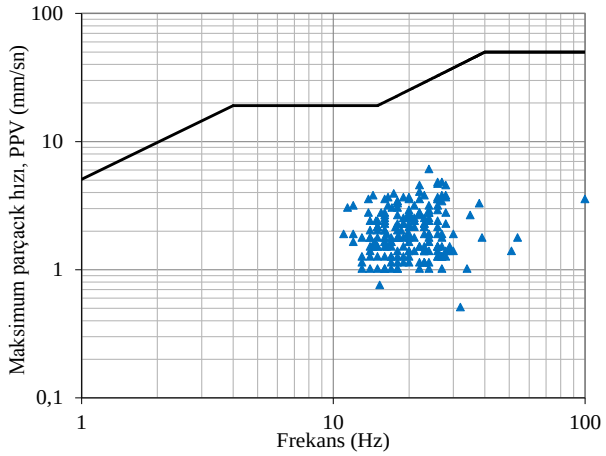
Patlayıcı madde atımları sırasında ölçüm istasyonunda 145 dB'den yüksek değerlerde sesten rahatsız olma, pencere camı kırılmaları, binalarda hasar meydana gelebilmektedir (Kahriman A. ve diğ., 2014).

Kazı sahasında yapılan atımlar sırasında cihazların mikrofonu zemine yerleştirilerek ölçülen hava şoku değerleri 145 dB altında kaydedilmiştir. Bu değerlerden, atımların, seçilen ölçüm istasyonlarına göre çok daha uzakta bulunan çevredeki tesis ve yapılarda herhangi bir hasar oluşturmayacağı gibi, cam kırılmaları, sesten rahatsız olma gibi durumların da meydana gelmeyeceği anlaşılmıştır.

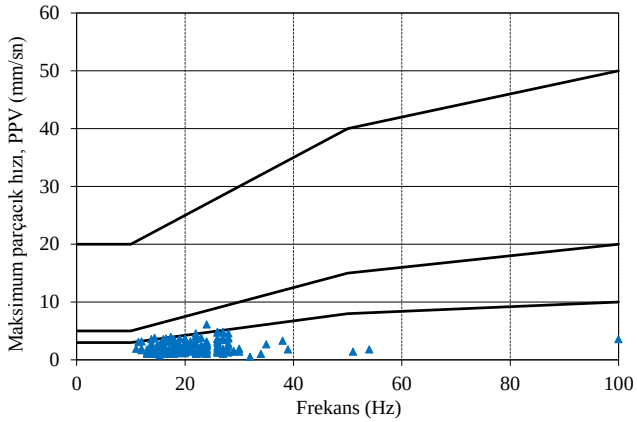
3.1 Atımların Hasar Kriterlerine Göre Değerlendirilmesi

Öte yandan, söz konusu sahada yapılan atımların ölçülen parçacık hızı ve frekans değerleri çevreye verebilecekleri hasar riski açısından Amerikan USBM, DIN 4150 Alman Normu ve TC Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimi yönetmeliği'ne göre irdelenmiştir. Şekil 2, 3 ve 4'deki grafiklerde, kaydedilen olaylarda ortaya çıkan maksimum parçacık hızlarına karşılık gelen frekans değerlerinin dağılımı görülmektedir

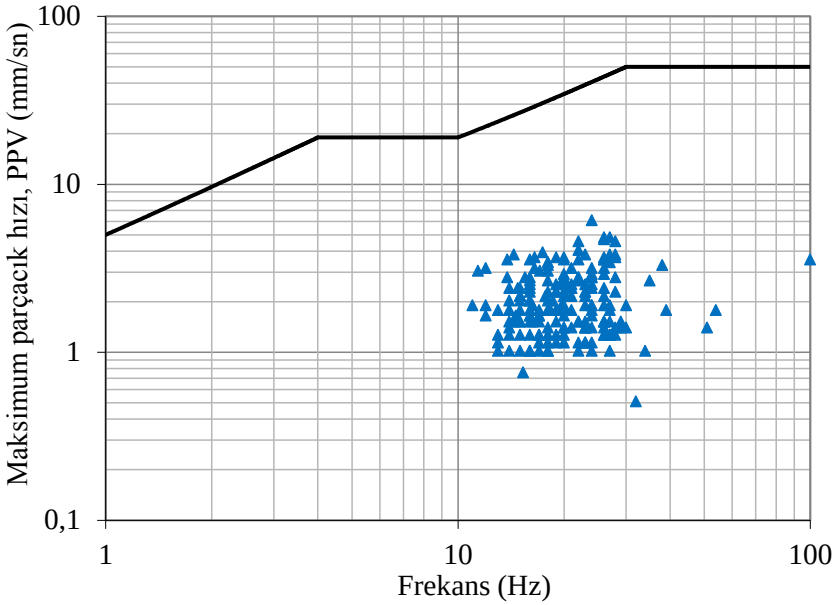
Yapılan değerlendirmeler sonucu, kaydedilen değerlerin, yıpranmış binalar için verilen hasar başlangıç sınırının bile altında olduğu belirlenmiştir (Şek. 3). Bu veriler ışığında, bu çalışma esnasında yapılan atımların, söz konusu sahaya yakın yerleşim birimlerinde herhangi bir hasar riski taşımadığı saptanmıştır.



Şekil 2. Ömerli Köyü Kalker Ocağı Patlatmalarının USBM Normuna Göre Değerlendirilmesi



Şekil 3. Ömerli Köyü Kalker Ocağı Patlatmalarının DIN 4150 Alman Normuna Göre Değerlendirilmesi.



Şekil 4. Ömerli Köyü Kalker Ocağı Patlatmalarının T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'ne Göre Değerlendirilmesi

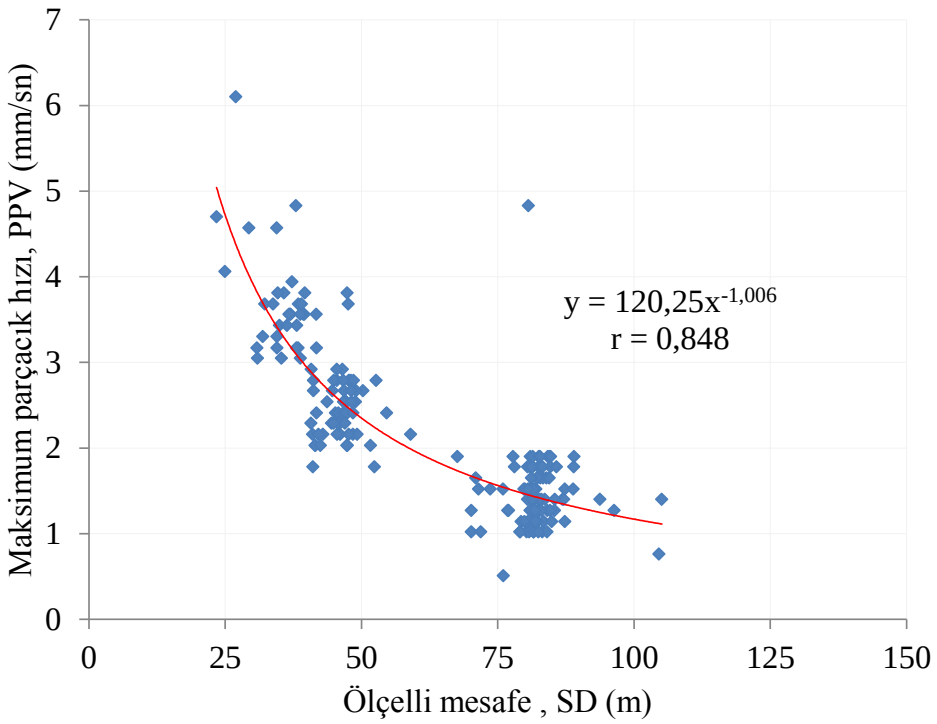
3.2 Atım Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

Bu çalışma kapsamında kaydedilen ve oluşan yersarsıntısı ölçüm sonuçları Çizelge 1'de sunulmuştur. Parçacık hız bileşenleri (boyuna, enine, düşey ve maksimum) oluşum frekansları dikkate alınarak daha önce bahsedilen uluslararası genel kabul görmüş normlarla mukayesesi yapılmıştır. Bu çalışmaya ek olarak parçacık hızı tahmini için gecikme başına düşen en yüksek patlayıcı madde miktarı ve kaynak ile ölçüm istasyonu arasındaki uzaklıklar dikkate alınarak türetilen ölçekli mesafe ile parçacık hızı arasındaki ilişki incelenmiştir.

Çizelge 1'deki verilerden hareketle ölçülen maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe veri çiftleri kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucunda, yapılacak kontrollü patlatma tasarımlarında, parçacık hızı tahmininde kullanılması önerilen çalışma sahasının sabitleri;

$$PPV = 120{,}25 \times SD^{-1{,}006}; \text{ (r= 0,848)} \qquad (1)$$

formülüyle ifade edilmiştir. Buna göre, çalışılan sahanın sabitleri K =120,25 ve β = - 1,006 olarak bulunmuştur. Oldukça anlamlı sayılabilecek korelasyon katsayısı ile sonuçlanmış olan bu regresyon ifadeleri, söz konusu işletmede titreşim ölçer cihazı kullanılmadığı durumlarda,herhangi bir atımdaki gecikme başına kullanılan belirli miktardaki bir patlayıcı maddenin oluşturacağı titreşimin hızının belirli bir uzaklıktaki değerinin ne olacağını tahmin etmede çok önemli bir yaklaşım olarak rahatlıkla (kabul edilebilir limitlerdeki bir sapma ile) kullanılabilecektir. 196 atım sonucunda elde edilen bu yaklaşımların yeni veriler ile ocağın derinleşmesi de dikkate alınarak zaman esaslı olarak güncelleştirilmesi gözden uzak tutulmamalıdır. Literatüre uygun olarak makul sayılabilecek korelasyon katsayılarıyla elde edilen bu fonksiyonların grafiksel görünümü de Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Ömerli Köyü Kalker Ocağı Patlatmalarının Maksimum Parçacık Hızı ve Ölçekli Mesafe İlişkisi

4 SONUÇLAR

Nüfus artışı ve kentleşmeye paralel olarak, modern dünyanın ihtiyacı olan büyük inşaat ve tesislerin yapımı ile birlikte endüstrinin ihtiyacı olan maden kaynaklarının üretilerek insanlığın hizmetine sunulması sırasında, geçmişte olduğu gibi günümüzde, hatta gelecekte de patlatmalı kazı çalışmalarının kaçınılmaz olduğu bilinmelidir. Bu yüzden; patlamadan kaynaklanan çevresel etkilerin belirlenmesine yönelik yer sarsıntısı ve hava şoku ölçümleri büyük önem taşımaktadır.

Gelişmiş ülkelerde bu tür çevresel problemlerin çözümüne dönük araştırma programları uzun süreden beri sürdürüldüğü ve muhtelif standartlar ve kriterler oluşturulduğu dikkate alındığında, ülkemizin bu konuda oldukça yetersiz ve geri kalmış olduğu görülmektedir. Bu nedenle, benzer çalışmaların yaygınlaştırılarak, ülkemiz koşullarına uygun standart ve kriterleri elde edebilmek için üniversite ile patlatmalı kazı çalışmalarını yürüten gerek özel sektör gerekse devlet kuruluşları arasında ciddi ilişkiler kurulmalıdır.

Bu yönde yapılan çalışmalara örnek olarak seçilen araştırma sahasında, kısmi olarak elde edilen ölçüm sonuçları, günümüzde yaygın kabul görmüş olan bazı kriterler ile analiz edilmiş ve patlamalı kazı çalışmaları sırasında, izlenen paternlerdeki atımların meydana getirdiği titreşim ve hava şokunun, ölçüm alınan noktalar itibariyle söz konusu saha civarındaki tesisler başta olmak üzere, çevredeki yapılarda etkili olamayacağı belirlenmiştir. Ancak, bu tür çalışmalarda, kontrollü atım tasarımlarının ve kayıt cihazı kullanımının önemi, özellikle ihtilaflı durumların çözümünde, gözden uzak tutulmamalıdır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu araştırmaya olanak sağlayan ICA İçtaş-Astaldi Adi Ortaklığı yetkilileri'ne teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Ceylanoğlu, A., Kahriman, A., 1996, "Measurement and Analysis of Ground Vibration Induced by Bench Blasting in a Celestite Open-pit Mine in Turkey", Fourth International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production, October 7-11, Volume 1, s 283-290, Cagliari, Italy.

Emay Uluslararası Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş.; 2013, İstanbul İli Çekmeköy İlçesi Ömerli Köyü Jeoloji Raporu, İstanbul

Johnston, G.J., Durucan, Ş., 1994 "The Numerical Prediction, Analysis and Modelling of Ground Vibration Induced by Blasting", Third International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, 18-20 October, İstanbul.

Kahriman, A., Görgün, S., Karadoğan, A., Tuncer, G., 2000, "Estimation Particle Velocity on The Basis of Blast Event Measurement For An Infrastructure Excavation Located Nearby Istanbul", First World Conference on Explosives And Blasting Technique, 6-8 September, Munich, Bavaria, Germany.

Kahriman, A., Karadoğan, A., Tuncer, G., Görgün, S., Güven, S., Ferhatoğlu, A., Gezbul, T., 2002a, "Evaluation of Damage Risk of the Ground Vibration Induced by Blasting in a Quarry" Second International Conference Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, 9-15 June, s. 365-377,. Varna, Bulgaria,

Kahriman, A., Tuncer, G., Görgün, S., Karadoğan, A., 2002b, "Monitoring and Analysing Ground Vibration Induced by Different Blasting Excavation Activities", Seventh International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production, October 7-10, s 385-394, Cagliari, Italy,

Kahriman, A., Tuncer, G., Görgün, S., Karadoğan, A., Özdemir, K., 2003, "Evaluation of The Ground Vibration Attenuation Produced From Blasting For The Different Rock Masses", Proceedings of The Twenty-Ninth Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, 2-5 February, Vol. I, s. 193-201, Nashville, Tennessee, USA.

Kahriman A. ve diğ., 2014, Ica İçtaş-Astaldi Adi Ortakliği "Kuzey Marmara Otoyolu Projesi (3. Boğaz Köprüsü Dahil) Odayeri-Paşaköy Kesimi" Ömerli Taş Ocağı Patlatma Yöntemleri Patlatma Kaynaklı Titreşim ve Hava Şoku Ölçümleri Aylık Raporları, İstanbul,

Bir Bakır Madeninin Delme ve Patlatma Performanslarının Veri Entegrasyonuyla İncelenmesi

Investigation of Drill and Blast Performances of a Copper Mine by Data Integration

M. M. Kahraman
The University of Arizona, Tucson, Arizona, USA

ÖZET Son teknolojik yenilikler sayesinde delme ve patlatma proseslerinin hemen her aşamasının takibi mümkün hale gelmiştir. Bugün patlatma deliklerinin GPS koordinatlarının sondaj makinesine ofisten gönderilmesinden, delinen deliklerin GPS koordinatlarına; deliklerin hangi patlayıcıyla ne kadar doldurulduğundan, yapılan sıkılamaların uzunluğuna; patlatmada delik gecikmelerinden, patlatma sonrası parça boyut dağılımına ve hatta ekskavatörlerin kazım performansına neredeyse bütün operasyonel veriler farklı sistemlerle veya manuel olarak kayıt altına alınmaktadır. Ancak her sistem verisi veya manuel kaydedilen veri çoğunlukla kendi ortamında kalmakta ve tek başına incelenmektedir. Farklı performans verilerinin birbiriyle ilişkilendirilememesi sebebiyle bütüncül bir performans analizi yapılamamaktadır.

Veri ambarcılığı veya daha güncel adıyla iş zekâsı farklı sistem verilerinin tek bir noktaya toplandığı, normalleştirildiği ve entegrasyonunun yapıldığı bir yöntemdir. Uzun yıllardır diğer birçok sektörde kullanılmakta olan bu çözüm; son yıllarda maden operasyonlarında ve şirketlerinde de kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu çalışma ABD'de yer alan bir bakır madeninin verilerinin entegrasyonuyla delme ve patlatma performanslarının analizinin yapıldığı bir aracın geliştirilmesini konu almaktadır.

ABSTRACT Latest technological innovation made possible to track every step in drilling and blasting. Planned GPS coordinates of the blastholes, actual blasthole coordinates, stem heights, types of explosives loaded, particle size distribution, shovel dig performance are some of the recorded data today automatically or manually in almost all mines. However, all captured data tend to remain in it is natural environment thanks to traditional approaches. Lack of data integration between various systems and processes prevents holistic performance analysis.

Data Warehousing or Business Intelligence is a method where different systems data are gathered, normalized and integrated. This method has been widely used in other industries in past decades and recently in mining. This study discusses a toolkit developed for a copper mine in USA by use of data integration and data warehousing concepts.

1 GİRİŞ

Artan küresel rekabet ve cevher fiyatlardaki oynamalar maden operasyonlarını sürekli gelişime mecbur kılmaktadır. Son yıllarda ekipmanların boyutlarındaki büyümeler üretim maliyetlerinin düşürülmesine katkıda bulunmuştur. (Hustrulid, 2006) Bugün nerdeyse her işletme kendi üretimini ve kârlılığını sürdürebilmek için fırsat kollamaktadır. Bu sebeple maden işletmeleri üretim aşamalarının her kademesini daha detaylı takip etmeye başlamıştır. Delme ve patlatma prosesleri cevher üretiminde en yüksek maliyete sahip olmamasına rağmen, kırma ve öğütmeye

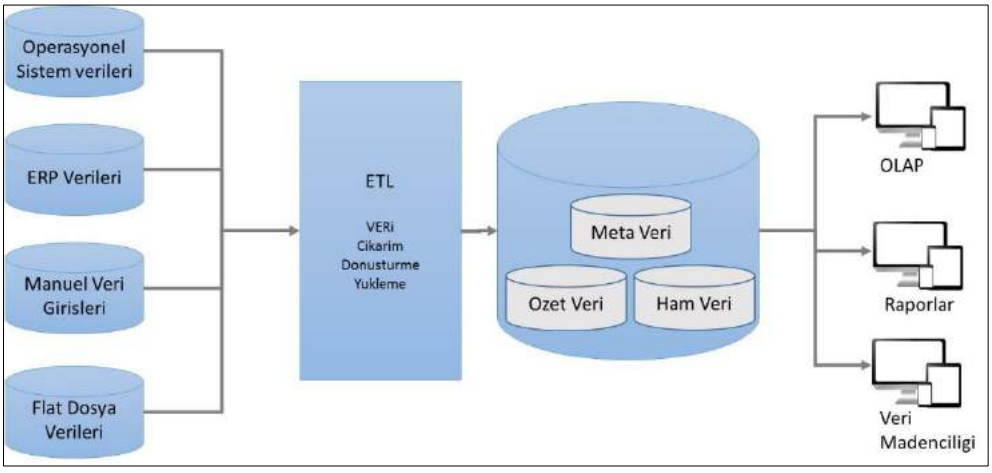
olan etkisi göz önüne alındığında işletme maliyetlerine en büyük etkiyi yapabilecek potansiyele sahiptir.

Scott ve Morrell (1998) üretilen cevherlerin bütün tedarik zinciri boyunca takibinin kritik bir öneme sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu amaç doğrultusunda işletmelerin imkânlarına ve büyüklüklülerine göre gerek teknolojik yatırımlar, gerekse iş gücüne dayalı manuel veri kaydı yapılmaktadır. Hareket eden maden ekipmanları mümkün olan en yüksek hassasiyetli GPS cihazlarıyla takip edilmekte, basamak patlatmalarında patlatma deliklerinin her birinin tasarımı maden planlama programlarında yapılıp delicilere gönderilmekte, deliciler bu sondaj deliklerini yüksek çözünürlüklü GPS yardımıyla ve santimetre hatayla açarken zemin ve makinenin performansıyla ilgili bilgiler toplamaktadırlar. Daha sonraki aşamada sondaj deliklerinin doldurulduğu patlayıcı tipleri, miktarları ve deliklerin sıkılama miktarı gibi birçok faktör kayıt altına alınmaktadır. Patlatma sonrasında ise patlatma öncesi aşamaların performansı ise ilk aşamada parça boyut dağılımını ölçen kameraların kaydettikleri verilerle ortaya çıkarılmaktadır. Parça boyut dağılımının kazıcıların performansına muhtemel etkisi ise filo yönetim sistemleri vasıtasıyla ölçülmektedir.

2 VERİ ENTEGRASYONU

Bu çalışmanın temelinde veri bulunduğu için verinin tanımı önem taşımaktadır. Lee ve Famoye (2011) kalitatif (niteliksel) ve kantitatif (niceliksel) iki tur veri tipi olduğunu belirtmiştir. Kantitatif veriye örnek olarak 100 tonluk cevheri düşünürsek; bu cevherin üretildiği basamak, kazan ekskavatör, üretim tarihi de kalitatif veriye örnek olarak gösterilebilir. Teknolojinin gelişmesiyle daha çok veri toplanmaktadır. Ancak bugün maden ocakları veri bakımından zengin ama bilgi açısından ise fakir durumdadırlar (Dessureault, 2007). Veri entegrasyonu ve ambarcılığı son yirmi yıldır bankacılıktan, sağlığa, petrol ve doğalgaz üretiminden yakın zamanda madencilikte dâhil birçok farklı endüstride kullanılan bir bilişim teknolojisi uygulamasıdır. Inmonna (2008) veri ambarcılığını özne odaklı, birbiriyle entegre edilmiş, zaman ile değişen ama değişken olmayan ve yönetimin karar verme işlemlerinde kullanılan veri koleksiyonu olarak tanımlamaktadır. Şekil 1 veri ambarcılığı sistem mimarisini göstermektedir (Inmonna 2008).

Bir çok örnekte toplanılan verilerde (insan hatası, sensor hatası, atlanılan kısımlar ve tutarsız) sıkıntılar bulunmaktadır. (Han ve Kamber, 2000) Bu tur hatalar SQL sorguları veya OLAP ile tespit edilip sonrasında giderilebilir.



Şekil 1. Veri ambarcılığı sistem mimarisi

3 PATLATMA VERİLERİNİN İNCELENMESİ

3.1 Bakır Madeni

Bu çalışma Arizona'da yer alan bir bakır madeninde delme ve patlatma proseslerinde bulunan teknolojilerin normalleştirilmesi ve entegrasyonu ile incelenmesini hedeflemektedir. Maden ocağı açık işletme olup; üretilen sülfürlü cevher değirmene ve oksitli cevher ise liç alanlarına dökülmektedir. Haftada beş gün patlatma yapılmakta ancak her gün sondaj delikleri delinmektedir. Patlatma prosesinde veri toplama aşamasında kullanılan yöntemler Çizelge 1'de yer almaktadır.

3.2 Veri Entegrasyonunun Temelleri

Bu çalışm öncesinde maden ocağına ait önceden oluşturulmuş veri ambarı bulunmaktaydı. Veri ambarında Çizelge 1'de bahsi gecen teknolojik sistemlerden gelen veriler düzenli olarak (saatte bir defa) madene ait operasyonel veri ambarına aktarılmaktaydı. Bu çalışma için manuel olarak toplanan patlayıcı yerleştirmeye ait veriler oluşturulan paketler yardımıyla günlük olarak veri ambarına aktarılmaya başlandı. Böylece delme ve patlatma aşamalarının tüm verileri normalleştirilmiş bir ortam olan veri ambarında toplanmış oldu.

Verilerin ilk incelenmesi sonucunda ekskavatörler üzerinde bulunan parça boyut dağılım kameralarının resmini çektiği ve analizini yaptıkları kamyonlara yüklenen kepçelerin parça boyut dağılımının belirlenmesi için yeterli sayıda (kamyon başına 1 den az) resim çekmediği tespit edilmiştir. Bunun delme-patlatma süpervizörüne bildirilmesiyle gerekli incelemeler yapılmış ve teknik aksaklıklar giderilmiştir.

Çizelge 1 Delme ve Patlatma verilerinin toplanması

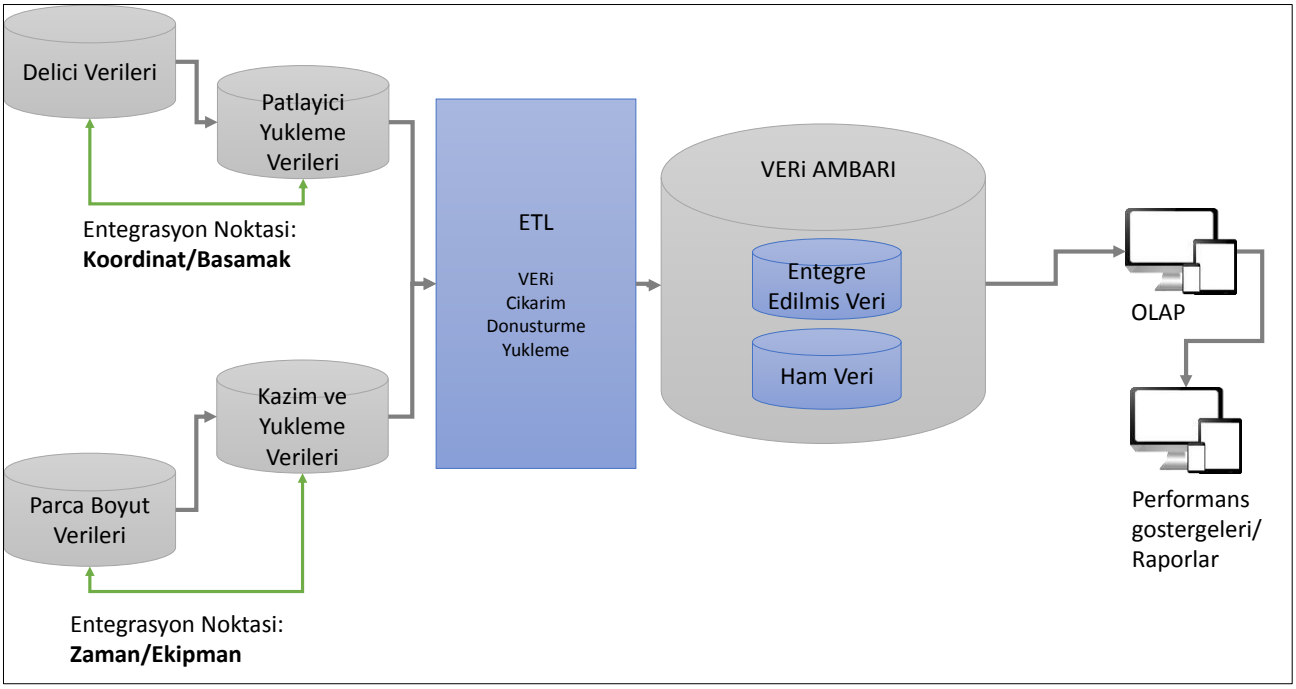
Yöntem	Teknoloji	Toplanan Veriler	Veri Tabanı
Delici takibi ve yönetimi	Yüksek çözünürlüklü delici gözlemleme sistemi	Delik koordinatları, delik derinliği/delme hızı, kaya tipi, delici uç kalınlığı, tork	SQL Server
Patlayıcı yerleştirme	Manuel	Kullanılan patlayıcı tipleri/miktarı/homojenliği, delik sıkılama miktarı, delik su seviyesi, atlanan delikler	Flat Dosyalar
Boyut dağılımı analizi	Parça boyut dağılım kameraları	Yüzde 10'luk aralıklarla parça boyut eğrisi, 0,5 inçlik (1.28 cm) aralıklarla elek altı yüzdeleri	MS Access/SQL Server
Kazı hızı performansı	Yüksek çözünürlüklü ekskavatör gözlemleme/filo yönetim sistemi	Ekskavatör kazı koordinatları, kazılan malzeme ve kayaç tipi, kazı ve yükleme hızı	SQL Server

3.3 Kritik performans göstergelerinin belirlenmesi

Verilerin performansa pozitif katkısının bulunabilmesi için operasyonel amaçların ve hedeflerin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu sebeple madenin delme-patlatma departman yönetimiyle bir araya gelinmiş ve ilk etapta delme-patlatma-boyut dağılımının değerlendirilebilmesi için kritik performans göstergeleri (KPI) belirlenmiştir. Veri ambarı yardımıyla oluşturulan bir raporda bu göstergeler eklenmiş ve günlük olarak incelenmesi mühendislerden birinin sorumluluğuna verilmiştir.

3.4 Analiz Aracı: Toolkit

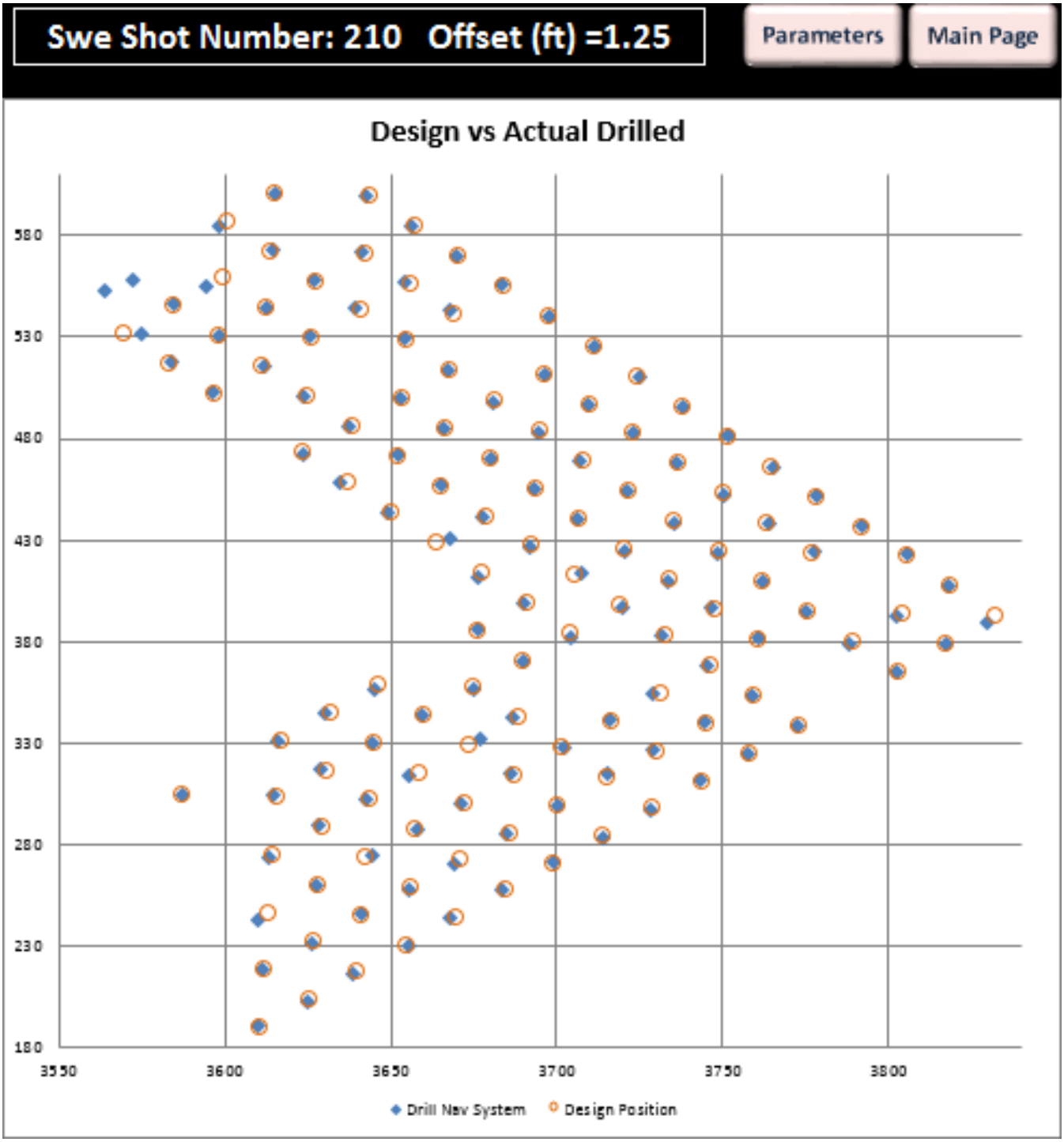
Belirlenen kritik performans göstergelerinin daha detaylı incelenebilmesi için yine veri ambarı kullanılarak interaktif bir analiz aracı "Toolkit" tasarlanmıştır. Bu analiz aracının çalışma mantığı belli bir süreç sonunda yapılmış olan patlatmanın birbirinden farklı ortamlarda saklanan delme-patlayıcı yükleme-parça boyut dağılımı-kazma performanslarını içeren verilerin koordinat ve zaman olarak entegrasyonuyla sağlanmıştır. Şekil 2 verilerin entegrasyonunu ve veri ambarından analiz aracına akımını göstermektedir.



Şekil 2. Verilerin entegrasyonu ve veri ambarından analiz aracına akımı

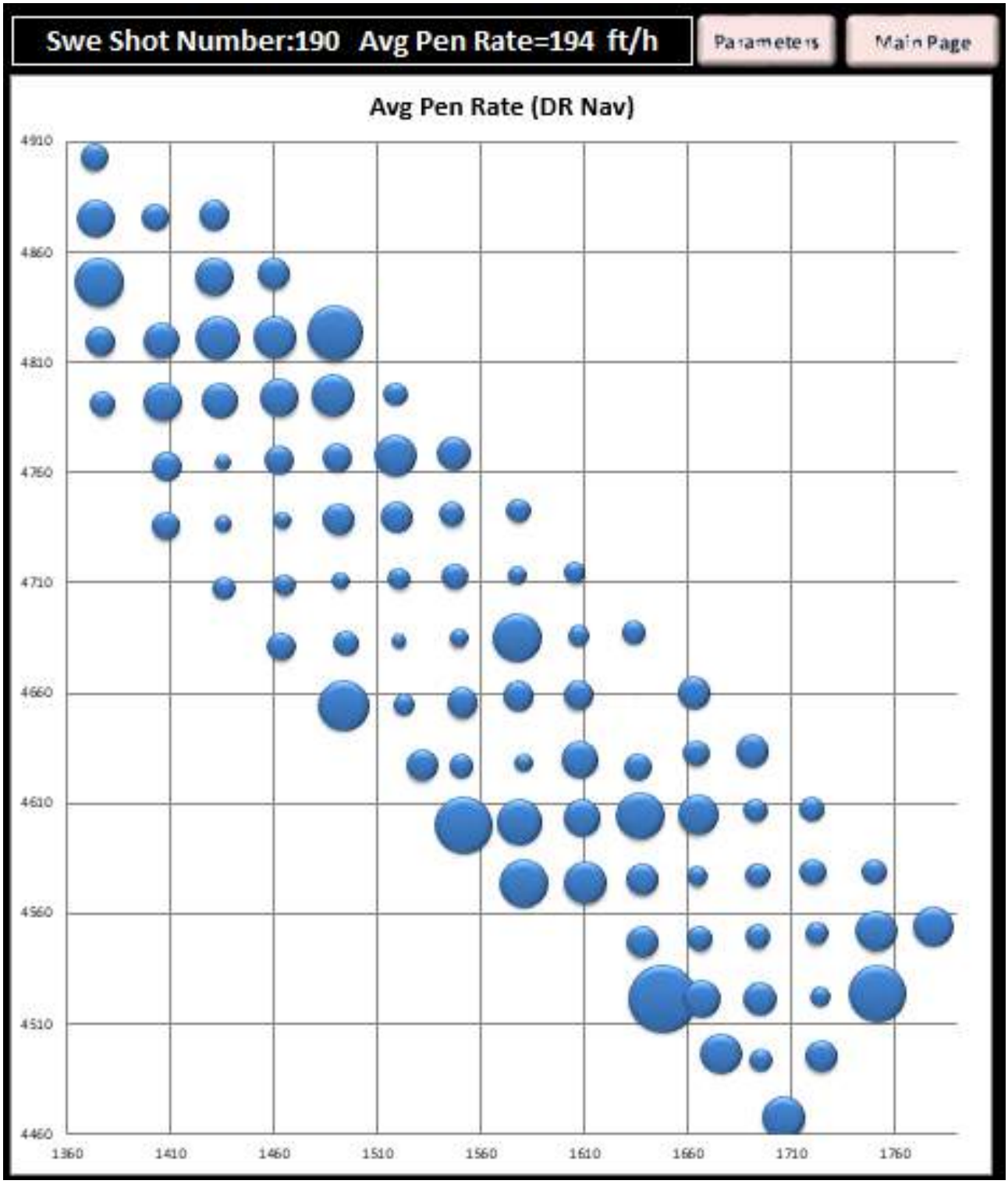
3.4.1 Analiz Aracı Bileşenleri: Delici Performansı

Veri ambarı kullanılarak oluşturulan analiz aracı parametrelerin seçilmesiyle bir takım analiz şekillerini güncellemekte ve değişik performans göstergelerini görsel olarak sunmaktadır. Bu analiz aracında ilk grafikte delicinin planlanan delik yerlerine ne kadar sadık kaldığı ölçülmektedir. Bu çalışmanın yapıldığı on aylık sure içerisinde yapılan isin kalitesinin yöneticiler tarafından görünür hale gelmesiyle delik başına ortalama sapma 3 feet'ten (0.9 m) 0,5 feet'e (0.3 m) kadar düşmüştür. Şekil *3* Şekil *3* 210 numaralı patlatmaya ait planlanmış delik düzeni (halkalar) ve gerçekte delinen deliklerin yerlerini (elmaslar) göstermektedir. Bu patlatma için delinen delik başına sapma ortalama 1,25 feet (0.38 m) olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3. Planlanan delik yerleri (halkalar) ve gerçekte delinen delikler (elmaslar)

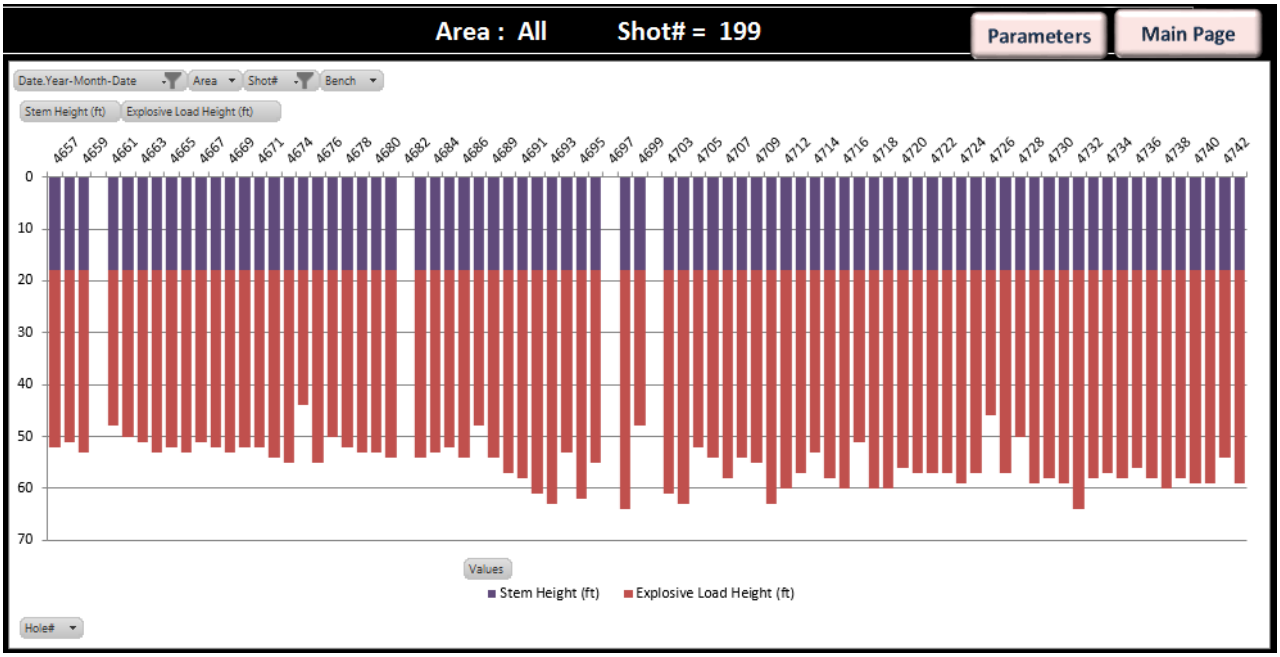
Delinen kayacın sertliğini ve kırılganlığını bilmek patlayıcı yüklerken daha başarılı kararlar verilmesine yardımcı olabilir. Bu sebeple delici gözlem sistemlerinin kaydettiği ortalama delme hızı da önemli bir göstergedir. Ortalama delme hızının görsel olarak sunumu patlatılacak basamağın jeolojik yapısı ve delinebilirliği hakkında fikir vermekte ve daha iyi bir patlayıcı dağılımı için fırsat sunmaktadır. Şekil *4*Şekil *4*'de 190 numaralı patlamaya ait basamaktaki ortalama delme hızları gösterilmektedir. Bütün basamağın ortalama delme hızı saatte 194 feet (59 m) olmakla birlikte; büyük baloncuklar daha yüksek delme hızını ve küçük baloncuklar ise daha düşük delme hızını göstermektedir.



Şekil 4. 190 numarali patlatma basamaginda ortalama delme hızları

Bir diğer kritik performans göstergesi de delinen deliklerin derinlikleri ve sıkılama miktarıdır. Patlatılacak basamağın deliklerinin derinliklerinin hedeflenen aralıktan az veya çok olmaması sonraki oluşan zeminin düzgünlüğü ve ekskavatörün performansı için önem arz etmektedir. Bu sebeple analiz aracına delik derinliklerini ve sıkılama miktarlarını gösteren bir grafikte eklenmiştir. Şekil 5Şekil 5 199 numaralı patlatmaya aittir. Bu grafikten anlaşılacağı üzere sıkılama miktarı hiç mümkün olmayacak kadar homojen görünmektedir. Bu sebeple manuel olarak yapılan bu olçumun gerçekten yapılmadığı çıkarımını yapmak mümkündür. Delik derinlikleri de 48 feet (14.6 m) ile 63 feet (19.2 m) arasında değişmekte ve ortalama delik

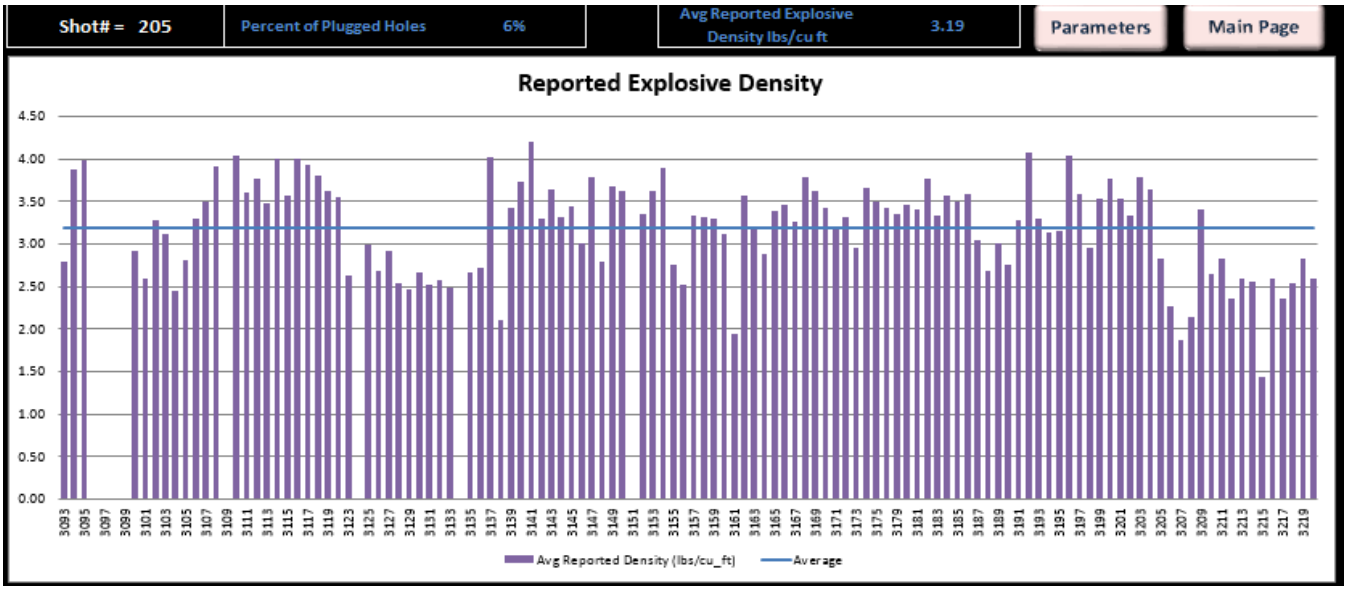
derinliği 53,5 feet (16.3 m) olarak hesaplanmıştır. Bu rakam hedeflenen rakamdan 1,5 feet (0.45 m) kısadır.



Şekil 5. 199 numaralı patlatmada sıkılama miktarı ve delik derinlikleri

3.4.2 Analiz Aracı Bileşenleri: Patlayıcı Yükleme Performansı

Patlatma sırasında bazı sondaj deliklerinde göçmeler olabilmekte ve bunun sonucunda bazı deliklerin aşırı yüklenmesi veya hiç yüklenememesi söz konusu olabilmektedir. Aşırı doldurulan delikler patlatmanın dengesi bozmakta ve zaman zaman emniyetlilik açısından sıkıntılar oluşturabilmektedir. Bu sebeple veri ambarında yapılmış olan bir hesap ile her patlatma deliği için delicinin deldiği hacim hesaplanmakta ve ayni deliğe yüklenen patlayıcı ağırlığına bölünerek ortalama yoğunluk hesaplanarak raporlanmaktadır. Şekil 6Şekil 6'da 205 numaralı patlatmaya ait deliklerin hesaplanan patlayıcı yoğunlukları gösterilmektedir. Buna göre yüklenen ANFO'nun yoğunluğu 1,5 ile 4,2 arasında hesaplanmıştır. Bu ciddi bir varyasyon olarak göze çarpmaktadır.

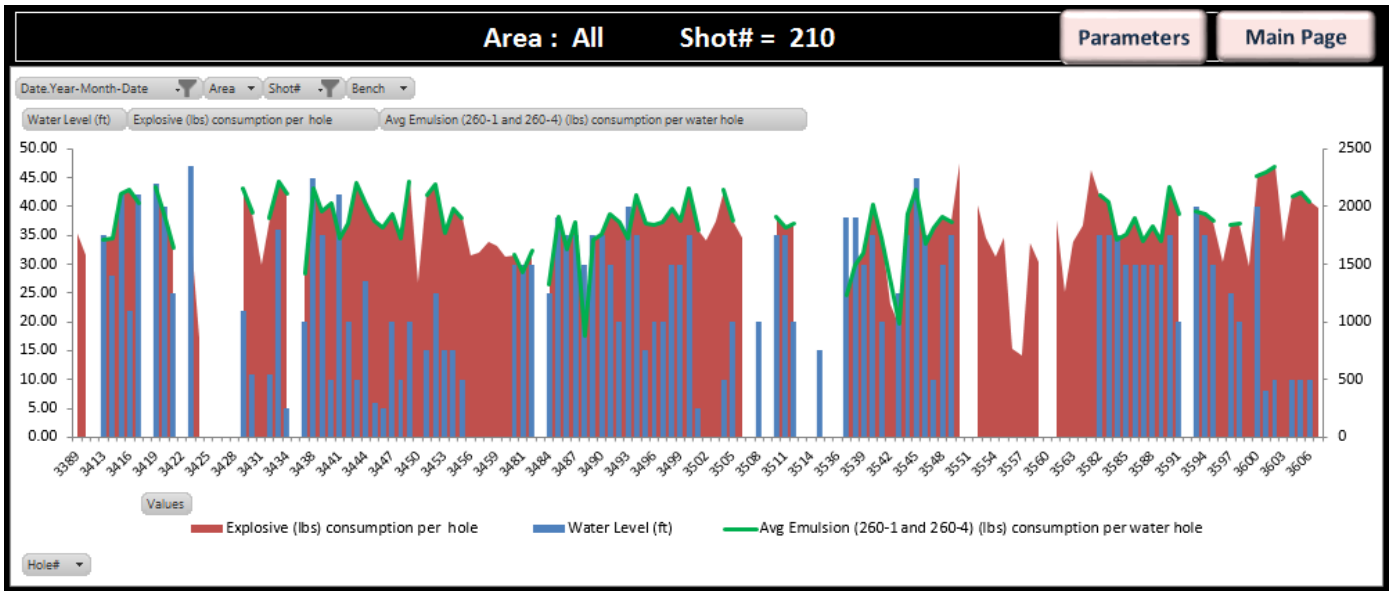


Şekil 6. 205 numaralı patlatmaya ait deliklerin hesaplanan patlayıcı yoğunlukları

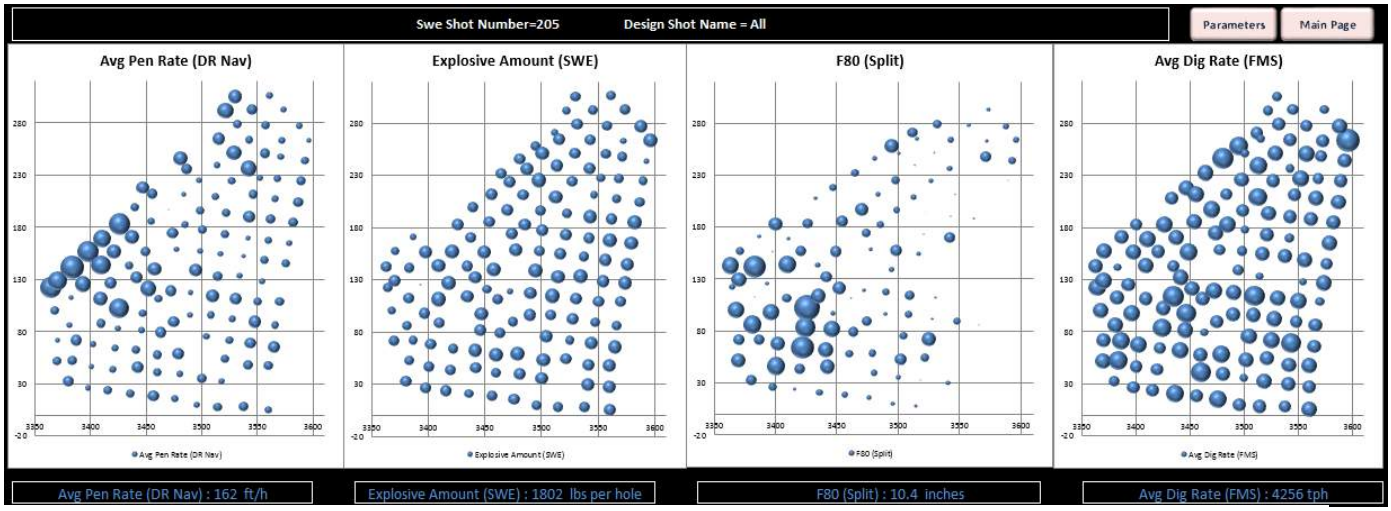
Bir diğer gösterge ise deliklerde bulunan sıvı miktarı ve doğru patlayıcının yüklenilip yüklenilmediğinin gösterilmesidir. Bilindiği üzere içinde sıvı bulunan deliklerin ANFO yerine emülsiyonla doldurulması gerekmektedir. Şekil 8Şekil 8'de 210 numaralı patlatma için deliklerdeki sıvı dağılımı ve emülsiyon kullanımı gösterilmektedir.

3.4.3 Analiz Aracı Bileşenleri: Genel Performans

Farklı yöntemler ve teknolojilerle kaydedilen delme ve patlatmaya ait veriler genellikle kendi bulundukları ortamlarda kalmaktadırlar. Bu durum yapılan işlemlerin sonuçlarının doğrudan görülebilmesini pek mümkün kılmamaktadır. Örneğin ayni patlatma deliği delici tarafından koordinat (X-Y-Z) ve zaman; patlayıcı yükleme kamyon operatörü tarafından delik numarası (D875), ekskavatör tarafından koordinat (X-Y-Z) ve zaman olarak kaydederken parça boyut kameraları ise sadece zaman olarak kayıt yapmaktadır. Veri ambarı farklı detaylarla kaydedilmiş ayni deliğe ait verilerin entegrasyonunu mümkün kılmakta ve tek grafikte deliklere yüklenen patlayıcı, delme hızı, parça boyut dağılımı ve ekskavatörün kazı hızı yer almaktadır.



Şekil 8. 210 numaralı patlatma için deliklerdeki sıvı dağılımı ve emülsiyon kullanımı



Şekil 7 Genel Performans Göstergeleri

4 SONUÇLAR

Veri entegrasyonu değişik ortamlarda bulunan aynı üniteye ait verilerin ilişkilendirilmesini mümkün kılmaktadır. Verilerin görsel, kolay okunur ve entegre edilmiş olması verilen kararların daha etkin ve başarılı olmasını mümkün kılmaktadır. Bu çalışmada dört farklı veri kaynağının entegrasyonu yapılmıştır. Bu süreç boyunca ilk etapta verilerdeki tutarsızlıklar ortaya çıkmış ve düzeltilmesi için girişimlerde bulunulmuştur. Sonraki aşamada ise daha ileri ilişkilendirmeler, analiz araçları ve görseller oluşturulmuştur. Veri ambarcılığının bir avantajı tamamen farklı detaylara sahip verilerin bulunan bir ortak noktadan bile birbirleriyle ilişkilendirilmesinin mümkün olması ve entegrasyonunun bir defa yapılması sonucunda aynı araçların her zaman farklı kullanıcılar tarafından kullanılabilecek bir fırsat barındırıyor olmasıdır. Bu çalışma yaklaşık on aylık bir sürede yapılmış ve çalışma prensiplerinin ve yönetim yaklaşımlarının da değişimiyle sonuçlanmıştır. Parça boyut dağılımı (d_{80}) ortalama 16 inç'ten (40.6 cm) hedeflenen ortalamanın bile 2 inç (5 cm) altına 6 inç'e (15.2 cm) kadar düşürülmüştür. Kullanılan patlayıcı miktarında önemli bir değişiklik yapılmadığı göz önüne alındığında kırma ve öğütmede çok ciddi bir kazanımın olduğunu söylemek mümkündür.

KAYNAKLAR

Dessureault, Sean D. "Data mining, mining data: energy consumption modeling." *CIM Bulletin*: Eylül /Ekim 2007. Print.

Han, Jiwaei and Kamber, Micheline. Data Mining: Concepts and Techniques. Morgan Kaufmann Publishers. 2000. Print.

Hustrulid,William, and Kuchta, Mark. *Open Pit Mine Planning & Design*, 2nd ed. London: Taylor & Francis Group, 2006. Print.

Inmonna, William H., Datawarehouse4u, *Data warehouse*, 2009. Web. 12 Eylül 2011

Lee, Carl and Famoye, Felix. Data types and possible analysis techniques. n.d. Web. 21 Temmuz 2011.

Scott, A. and Morrell, S. Proceedings, Mine to Mill 1998, Brisbane. iii-iv. Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 1998.

Mekanik ve Patlatmalı Kazı Maliyetinin Karşılaştırılması Örnek Uygulama: İstanbul Uluslararası Finans Merkezi İnşaatı

Comparison of Mechanical and Blasting Excavation Cost Case Study: Istanbul International Financial Center Construction

S. Bağdatlı, A. Çeltikçi
Okan Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü

A. Kahriman, Z. Yıldız
Okan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Patlayıcı Mühendisliği Ana Bilim Dalı

ÖZET İstanbul Ataşehir'de yapımı planlanan İstanbul Finans Merkezi, 208.000 m^2'lik alan üzerinde inşa edilmektedir. Proje planlamasına göre söz konusu alanda 7.904.207,63 m^3 hafriyat yapılması gerekmektedir. Proje kapsamında yapılan araştırmalarda yaklaşık 8 milyon m^3 olarak hesaplanan hafriyatın yaklaşık %55'i kaya olup bu miktar 4,4 milyon m^3 kazıya karşılık gelmektedir. Kaya dışı makine ile kazılabilen hafriyat 3,6 milyon m^3 civarındadır. Kazıya 2013 yılı Ocak ayının ortalarında başlanması ve kazının Haziran 2014'te sonlandırılması planlanmıştır. Bu plan kapsamında aylık ortalama 475.000 m^3 hafriyat yapılması gerekmektedir.

Belirtilen kazı miktarlarına bakıldığında, çalışmanın planlanan süre içerisinde tamamlanabilmesi için, tamamının makineli kazı ile gerçekleştirilmesi fiziki ve teknik şartlara göre mümkün olmamaktadır. Bu nedenle kazı alanının %55'lik kaya olan kısmında patlatmalı kazı uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Bu araştırma kapsamında; kazı alanı bölgelere ayrılmış, oluşturulan bölgelerin kesitlerinden faydalanılarak kazı hacimleri hesaplanmıştır. Ayrılan bölgelerde yapılan kazı çalışmaları makineli ve patlatmalı kazı olarak sınıflandırılmıştır. Bu alanlarda yapılan kazı çalışmalarının bir kısmı yerinde incelemeler yapılarak kayıt edilmiş bir kısmı ise şantiye raporları ve kayıtlarından elde edilmiştir. Ortaya çıkan maliyetler, gider kalemleri şantiye rapor ve faturalarından elde edilmiştir. Yapılan incelemeler doğrultusunda mekanik kazı ile patlatmalı kazı uygulamaları maliyet açısından değerlendirilmiştir.

ABSTRACT İstanbul Finance Center is planned to be built on an area of 208,000 m^2 which is located in İstanbul Ataşehir. 7,904,207.63 m^3 of excavation should be done in these areas according to the project planning. The survey conducted under the project is approximately 55% to approximately 8 million m^3 of rock excavation, calculated on this amount corresponds to 4.4 million m^3 of excavations. Rock excavation can be dug out of the machine is approximately 3.6 million m^3. It is planned start the excavation in the middle of the month of January 2013 and is planned to be finalized in June 2014. With this plan 475.000 m^3 monthly average excavations is required.

When the specified amount of excavation is considered, mechanical excavation in such physical and technical conditions for the entire site cannot be possible in order to complete the work in planned schedule. Therefore, 55% of the excavation area of the rock excavation procedure was carried out by blasting operations.

The scope of this research, the excavation area divided into zones and then excavation volumes were calculated by utilizing cross-sections of these devided regions. The excavation carried in this divided regions or zones can be classified as mechanical and blast excavation. Some of data related with the excavation works in these areas were recorded during the site investigations and others were obtained from construction reports. The resulting costs, expenses, and invoices were obtained from site reports. Blasting and mechanical excavation were evaluated in terms of cost in accordance with site investigations.

1 GİRİŞ

İnşaat teknolojisinin son derece gelişmiş olduğu içinde bulunduğumuz dönemde Türkiye'nin en büyük metropolü olan ve nüfusu 15 milyona yaklaşan İstanbul'da nüfus artışı da şehirleşmeye paralel olarak artmakta, artan bu nüfusun ikamet ve çalışma alanı ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yeni binalar yapma gereği meydana gelmektedir.

Anadolu yakasında son 15 yılda özellikle ikamet alanlarıyla son 5 yılda da ofis ve iş alanlarındaki gelişen potansiyeli ile Ataşehir ilçesi bu ihtiyaçların giderilmesine ev sahipliği yapmaktadır.

Türkiye'nin en büyük metropolü durumundaki İstanbul'un yukarıda bahsi geçen nedenlerle İstanbul Uluslararası Finans Merkezi projesinin yapım koşul ve gerekliliği oluşmuş olup, projenin hayata geçirilmesine başlanmıştır. Metro istasyonunun ara bağlantı durağının da proje içinde yer alması nedeniyle projenin konumu son derece önem kazanmıştır.

2 ÇALIŞMANIN AMACI VE KONUMU

Bu bildirinin amacı genelde bina inşaatlarındaki temel kazılarında bulunduğumuz döneme kadar uygulanan klasik yöntem olan mekanik kazı (makine kullanılarak temel kazısı yapılması) ile patlayıcı kullanarak kazı yapılmasının başta maliyet olmak üzere bazı yönlerden karşılaştırmasının yapılmasıdır. Bu sayede kullanımı son derece az olan ve genelde sıkıntılı bulunan patlayıcı madde ile temel kazısının avantajlarının ortaya konulması amaçlanmaktadır. Yıldız 2014 yılındaki çalışmasından faydalınarak bu bildiri hazırlanmıştır.

2.1 Mekanik Kazı Tanımı

Mekanik kazı tamamen makine gücü kullanılarak yapılan ve genelde ekskavatör tipi makinelerin kullanıldığı yöntemdir. Zaman zaman kazının az ve küçük miktarda olduğu durumlarda traktör kepçe de kullanılır. Duruma göre dozer ve/veya ripper de kazıda kullanılabilmektedir. Bu makineler genelde sert olmayan (kaya dışı) zeminlerde kullanılmaktadır. Sert olan (kaya) zeminlerde paletli ekskavatörlerle kazı yapmak mümkün olmayıp; ekskavatörlere kırıcı ataşman takılarak (hidrolik kırıcı, Jack Hammer) sert ve kaya olan zeminler kırılarak kazı yapılmaktadır. Kırılan zemin daha sonra ya ekskavatörle (kepçe ataşmanı takılarak) ya da yükleyici makinelerle (loder) yüklenerek alan dışına döküm yapılacak yere nakledilmektedir.

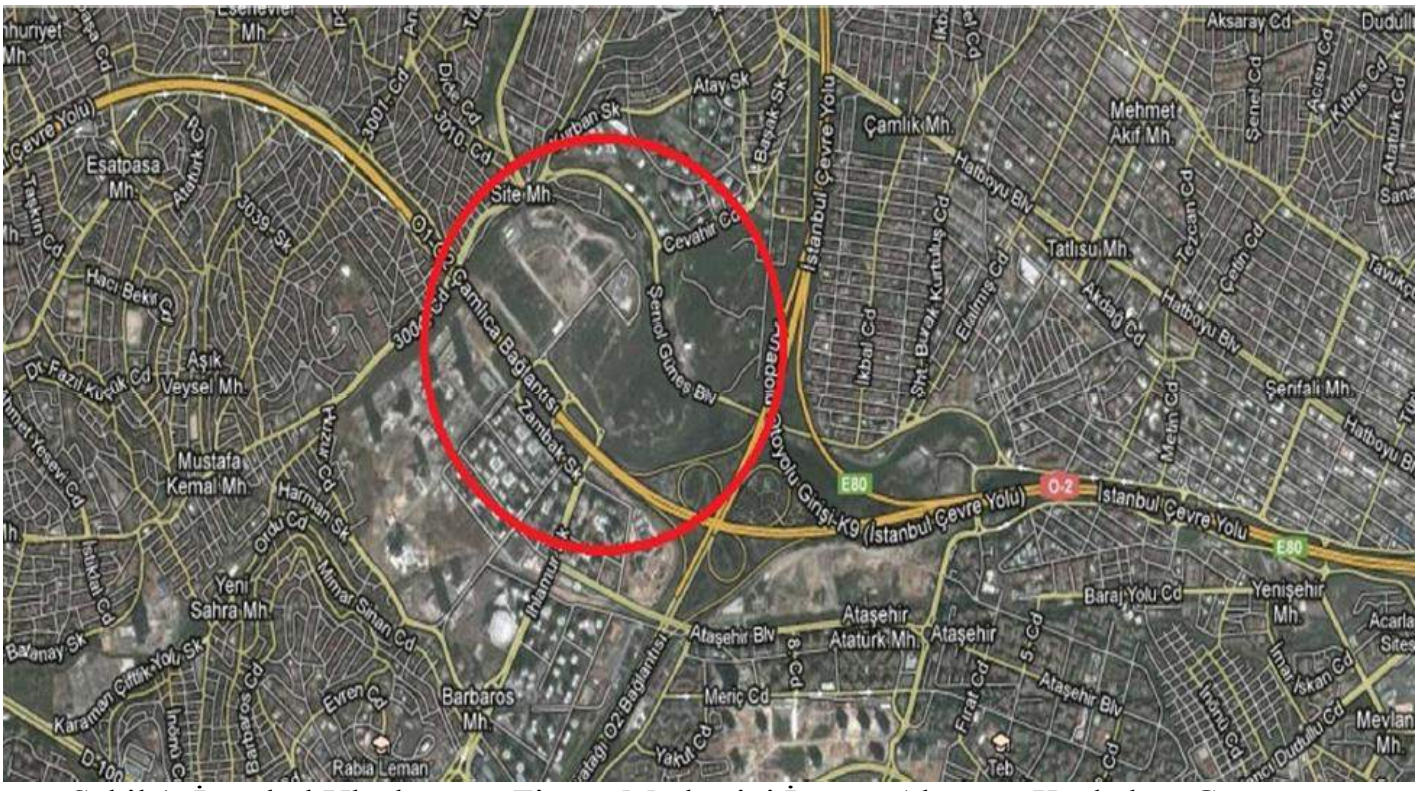
2.2 Patlayıcı ile Kazı Yapılması

Patlatmalı kazı; yapılacak alanda kırıcı ile bir taraftan serbest yüzey oluşturulduktan sonra delici makineler ile 64-76-89-102 mm gibi çaplarda delikler delinip bu deliklere patlayıcı madde yerleştirildikten sonra belli bir emniyet mesafesinde kablolar çekilerek uzaktan patlatılması, dolayısıyla kayanın parçalanıp ya da gevşetilmesi suretiyle yapılan kazılardır. Patlatma yapıldıktan sonra büyük parçalar yüklenemiyorsa kırıcılar vasıtası ile ufaltılarak yüklenecek duruma getirilmektedir. Patlayıcı kullanılarak kazı yapılması ilave bazı riskleri de taşıdığından patlayıcı kullanımı için özel izinlerin alınması gerekmektedir.

2.3 Çalışma Alanının Konumu

İstanbul Uluslararası Finans Merkezi Ümraniye ilçesi Site Mahallesi sınırları içinde olup; alanın güney yönünde Boğaziçi Köprüsü Çamlıca bağlantı yolu Kentplus ve Varyap Meridyen projeleri, doğusunda Fatih Sultan Mehmet Köprüsü Kozyatağı Tem yolu bulunmaktadır.

Proje güneyde Batı Ataşehir ile sınır komşusudur. 3328 Ada 1-15 nolu 15 parselden oluşmakta 208.000 m^2'lik bir arsadır. Arsa alanı olarak tek projede kullanılan İstanbul'daki en büyük alandır İstanbul Uluslararası Finans Merkezini inşaatı alanının kuşbakışı görüntüsü Şekil 1.'de verilmiştir.



Şekil 1. İstanbul Uluslararası Finans Merkezini İnşaatı Alanının Kuşbakışı Görüntüsü (Goolge, 2014)

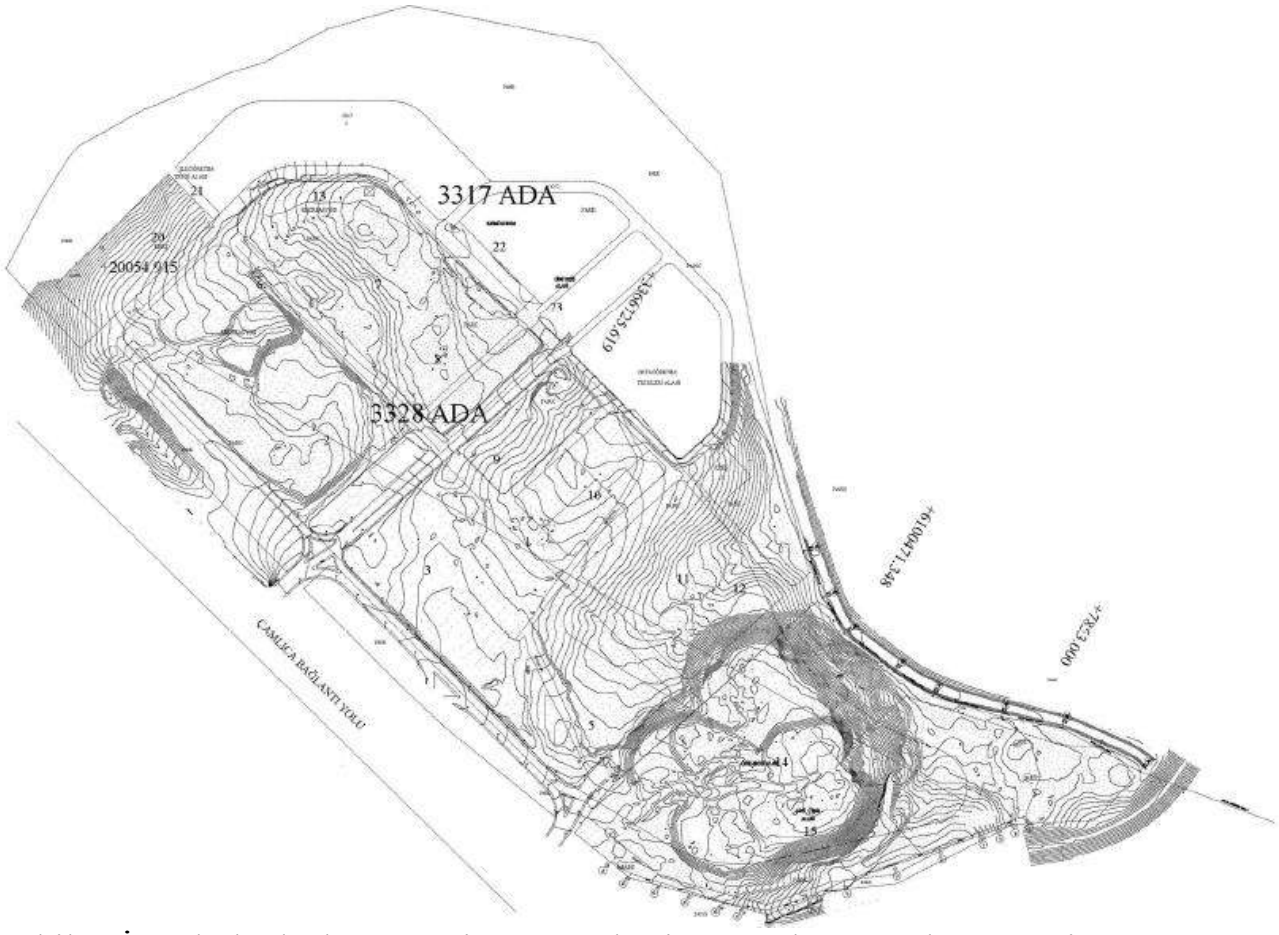
3 PROJE BİLGİSİ VE ARAŞTIRMADA UYGULANAN YÖNTEM

Proje, 2500 kişilik konferans salonu, AVM, 5 yıldızlı otel ve ofis alanları ve Rezidansların yer alacağı otopark ve teknik mekânların da bulunduğu 3.200.000 m^2'lik inşaat alanını kapsamaktadır. Proje kapsamında 200.000 m^2 Finans Merkezi bulunmaktadır. Otopark (kapalı) metro istasyonunun ara bağlantı durağı ile bağlantılı olacaktır. 2016 yılında inşaatın tamamlanması hedeflenmektedir. Finans Merkezi projesinde hayata geçirilecek tüm inşaatlar çevre dostu olacak, İstanbul Finans Merkezi projesi için hazırlanan Master Plan ve Mühendislik raporunda, bölgede inşaat yapacak yatırımcıların en az LEED gümüş sertifikası elde etmesi zorunlu hale getirilmiştir. Master planlarda belirtilen en az %1'lik yenilenebilir enerji hedefine istinaden İstanbul Finans Merkezi tamamlandığında yaklaşık olarak toplam 2.000 kW kurulu gücünde Yenilenebilir Enerji kapasitesine sahip olacaktır.

Yenilenebilir Enerji verimliliği önemsenen şekilde tasarlanan İstanbul Finans Merkezi Projesi sonuçlandığında en az %30 oranında enerji ve su verimliliği sağlayacak tüm açılardan çevre dostu bir proje olacaktır.

3.1 Plankote ve Kazı Kübajı

İstanbul Uluslararası Finans Merkezi'nin proje olarak kapladığı alan 208.000 m^2'dir. Kazı alanının plankotesi Şekil 2.'de gösterilmiş olup; kazı kübajı hesaplanırken belirtilen plankote baz alınmıştır. Kazı alanı 23 bölgeden oluşmuştur. Hesaplamalar km 0+000/0+101 ile son keşif olan 1+045/1+049,77 km arasında olmak üzere birer metre arayla hesaplanmıştır. Toplam kesit çıkarılan boy 1050 metre olup 1051 adet kesit hesaplanmıştır. Toplam kazı kübajı 7.904.207,63 m^3 tür. (Yaklaşık sekiz milyon m^3 kazı vardır) (Kuru, 2014).



Şekil 2. İstanbul Uluslararası Finans Merkezi Kazı Alanının Plan Kotesi (Kuru, 2014)

3.2 Kazı Programı

İstanbul Uluslararası Finans Merkezi İnşaatı bünyesinde toplam 8 milyon m^3 olarak hesaplanan hafriyatın yaklaşık %55'i kaya olup 4,4 milyon m^3 civarındadır. Kaya dışı makine ile kazılabilen hafriyat 3,6 milyon m^3 civarındadır. Kazıya 2013 yılı Ocak ayının ortalarında başlanmıştır. Aylık ortalama 475.000 m^3 hafriyat yapılmaktadır. Miktar baz alınırsa kendi alanında süre olarak Türkiye çapında rekor demektir. Patlayıcı ile kazı çalışması 15 Mart 2013'te başlamıştır (Kuru, 2014).

3.3 Hafriyatta Çalışan Makineler

Makinelerin çalışması ile ilgili özet bilgi şu şekildedir: Kazıya 3 Ocak 2013 tarihinde başlanmıştır. Başlangıçta 10 Mart 2013'e kadar 15 ekskavatör, 3 hidrolik kırıcı, 2 loder 1 traktör kepçe ve 200 kamyonla başlanmış olup 2 vardiyalı çalışma (12x2) yapılmıştır. Hafriyat nakli 200 kamyonla 24 saat yapılmıştır. 15 Mart 2013'te patlatma ile kazıya devam edilmiş 2 delik delme makinesi ile Haziran ayına kadar çalışılmış Haziranda delici (Rock Drill) sayısı 3'e çıkmıştır. Aralık 2013'te delici sayısı 5'e çıkarılmıştır. Mart 2013'te 2 kırıcı konkasör çalışırken

bu sayı en son 5'e çıkmıştır ayrıca 2 adet de dozer çalışmaktadır. Hafriyat çıkışında 8 adet kantar bulunmaktadır. Bunların dışında 2 adet su tankeri, 1 adet mazot tankeri, 1 adet de elek bulunmaktadır. Aralık 2013'ten sonra çalışan kamyon sayısı 300 adede çıkmıştır (Kuru, 2014).

3.4 Uygulanacak Kontrollü Patlatma Modelleri

Patlama geometrisi tasarımlarının mini basamak uygulaması şeklinde mesafenin fonksiyonuna bağlı değişken olarak düzenlenmesi gerekmektedir. Bunun anlamı risk noktalarına uzak mesafelerde nispeten daha büyük basamak yükseklikleri ile çalışılabilecekken fore kazıklara yaklaşırken tedrici azalan yüksekliklere geçilmesi gerekecektir (Kahriman, Çeltikçi, & Bağdatlı, 2013).

4 MEKANİK VE PATLATMALI HAFRİYATIN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

Mekanik ve patlatmalı kazı arasındaki avantaj veya dezavantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Mekanik hafriyatın maliyeti çok küçük miktarlar dışında büyük ekseriyetle patlatma ile yapılan hafriyattan daha yüksektir. Patlatma ile yapılan hafriyat daha uygun maliyetlidir.
- Patlatma ile yapılan hafriyatta çevresel etkiler gerekli tedbirler alındığında kısa süreli olup daha azdır. Patlatmanın başlayıp bitmesi en fazla 1 dakika içinde olur. Kırıcı ile yapılan hafriyatta kırıcı çalışması gün boyunca devam eder. Bunun ürettiği gürültü de çalışma boyunca olur.
- Çok yakınında bina ve tesis olan temel kazılarında patlatma ile kazı yapmak riskli olmaktadır. Çok iyi önlem almak gerekmektedir. Bu da maliyetleri artırdığından fazla tercih edilmemektedir.
- Patlatma ile yapılan hafriyat uzmanlık gerektirir, riskleri fazladır. Uzman olmayan ve gerekli eğitimleri almamış kişiler yapamaz. Bugüne kadar çok fazla kullanılmamış olması (temel kazılarında) dezavantajıdır. Avantajları anlaşıldıkça şehir içinde temel kazılarında kullanımı artmaktadır.
- Patlatma ile yapılan hafriyatta maliyet unsuru yanında en önemli etken patlatmalı hafriyatta sürenin mekanik hafriyata göre oldukça kısalmasıdır. Burada şantiyedeki imkân ve çalışma koşulları da dikkate alındığında süre 4-5 katını bulabilir.

Örneğin İstanbul Uluslararası Finans Merkezinde patlayıcı ile hafriyat yapılırken ortalama 3 adet kaya delme makinesi 20 adet civarında Ekskavatör çalışmaktadır. Kırıcı ile bu hafriyatın yapıldığı düşünülürse gerekli olan kırıcı sayısı şu şekilde olmaktadır:

Aylık kırılması gereken kaya ortalama 175.000 m^3tür.

1 kırıcı ile aylık yapılan kaya kırımı 5200 m^3

Gerekli olan kırıcı sayısı $= \frac{175.000m^3}{5.200m^3} = 34$ adet

Zeminin sertleştiği durumlarda bu sayı 50 adeti bulacaktır. Bu kadar makineyi bulmak ve bir temel kazasında çalıştırmak son derece zordur. Ayrıca az önce bahsedilen sayıdaki kırıcı makinenin ürettiği gürültülü ortamda çalışmanın da ne derece sağlıklı olacağı da ayrı bir soru işareti olacaktır. Kırıcı sayısında yapılacak değişiklik yükleyici sayısını etkilemeyecektir.

5 MEKANİK VE PATLATMALI HAFRİYATIN BÜTÇE KIYASLAMASI

Bu bölümde mekanik ve patlatmalı kazı çalışmalarında yapılan harcama kalemleri ve karşılaştırılması yapılmıştır.

5.1 Patlatmalı Kazı Bütçesi

Patlatmalı kazı bütçesini oluşturan maddeler şu şekildedir.

- Patlatılacak delikler için kullanılan delici makine kirası

Delici makine aylık kirası 30.000 TL (Mazot hariç)

Günlük kira: $\frac{30.000}{26} = 1154 TL/Gün$

(Pazar çalışılmıyor)

Günlük ortalama delinen delik 300 m.dir.

Günlük 1 delicinin yaptığı iş: $30 \times 3 \times 3 = 2700 m^3$

1 m^3teki Delici Makine maliyeti: $1154/2700 = 0{,}43 TL/m^3$ (Burul, 2014).

- Delicinin yakıt maliyeti

Delici 8 saat çalışmada 240 litre yakıt tüketiyor

Saatteki tükettiği yakıt: $240/8 = 30 lt$

1 m^3 hafriyat için 1 saatte kullanılan yakıt: $30/337{,}5 = 0{,}089 lt/m^3$ (1 saatteki hafriyat=337,5m^3)

Mart 2014 fiyatı ile yakıt maliyeti:

$$3{,}95 \frac{TL}{lt} \times 0{,}089 \frac{lt}{m^3} = 0{,}35 TL/m^3$$

(Furukawa, 2010).

- Patlayıcı madde maliyeti

Deliğe yerleştirilen patlayıcı maddeler, kapsüller (Nonel ve elektrikli) ateşleme kablosu toplamlarından Mart 2014 fiyatlarıyla 0,88 TL/m^3 bulunmuştur (Burul, 2014).

- İşçilik Maliyeti

Ödenen maaşlar, sigorta, yemek paraları yatma kamp ve tüm giderler dahil olmak üzere aylık 150.000 m^3 patlatılan kaya baz alınmıştır.

Harita Müh.: $4000/2 = 2000 TL/ay$

Formen: $4000/2 = 2000 TL/ay$

Ateşçi: $3500 TL/ay$

Ateşçi Yrd.: $5 \times 3000 = 15000 TL/ay$

Toplam = 22500 TL/ay

1 m^3 kazı işçilik maliyeti: $22500/150000 = 0{,}15 TL/m^3$ (Kuru, 2014).

- Kırıcının Çalışma Maliyeti (iri parça kırımı)

Kırıcı günde 4 saatlik çalışma ile iri parçaları kırabiliyor. (2700 m^3 patlamış hafriyat)

Kırıcının Günlük Kira Maliyeti:

$$\frac{25000}{26 \times 2} = 480 TL/gün$$

Kırıcının Yakıt Maliyeti: Günde 220 lt.

4 saatlik çalışma: $\frac{220 \times 3{,}95}{2} = 434 TL/gün$

1 m^3 için kırıcı mazot gideri:

$$\frac{480 + 480}{2700} = 0{,}34 TL/m^3$$

(Kuru, 2014).

- Ekskavatör yükleme maliyeti kepçe kapasitesi 2,5 m^3 (35 saniyelik döngü süresi)

Araç kirası aylık 25.000 TL/ay (mazot hariç)

%41 kabarma ile = 20 sn de 1 m^3 yükleme yapılıyor.

Saatlik yükleme: $\frac{60 sn}{20 sn/m^3} \times 60 dk = 180 m^3$

Günlük yükleme : $180 \times 8 = 1440 m^3$

1 m^3 yükleme için kira bedeli:

$$\frac{25000 TL}{26 gün \times 1440 m^3} = 0{,}67 TL/m^3$$

1 m^3 için yakıt: $\frac{220lt \times 3{,}95TL}{1440m^3} = 0{,}60TL/m^3$
(Holland, 2011)

- Delici makine sarf malzemeleri maliyeti günde ortalama 110 TL delici sarf malzemesi kullanılıyor.

1 m^3 için delici sarf: $\frac{110TL}{2700m^3} = 0{,}04TL/m^3$
Toplam 1 m^3 Kazı Maliyeti: 3,46 TL/m^3 (Mart 2014) (Kuru, 2014).

5.2 Mekanik (Makineli) Kazı Maliyeti

Mekanik kazı bütçesini oluşturan maddeler şu şekildedir.

- Kırıcı kirası 1 m^3 başına şu şekildedir.

Aylık kırıcı kirası 25000 TL/ay
1 saatte kırılan kaya 25 m^3
Aylık kırıcının kırdığı kaya: $25m^3 \times 8sa \times 26gün = 5200m^3$
1 m^3 için kırıcı kirası: $\frac{25000TL}{5200m^3} = 4{,}80TL/m^3$
(Kuru, 2014).

- Kırıcı yakıt maliyeti 1 m^3 başına şu şekildedir.

1 gündeki yakıt tüketimi = 200 lt
1 m^3 başına tüketilen yakıt:
$\frac{200lt}{8sa \times 25m^3} \times 3{,}95TL = 3{,}95TL/m^3$
(Holland, 2011).

- Ekskavatör yükleme maliyeti patlayıcı ile yapılan hafriyattaki maliyetle aynı olur.

1 m^3 için yükleme bedeli = 1,27 TL/m^3
Toplam 1 m^3 Mekanik Hafriyat bedeli = 10,02 TL/m^3 (Mart 2014) (Kuru, 2014).

5.3 Her İki Yöntemde de Maliyete Katılmayan veya Katılan Kalemlerin Karşılaştırılması

- Yükleme hariç maliyetler

Patlatmalı ve mekanik kazıda yükleme maliyeti aynı olup; yükleme maliyeti düşülüp sadece gevşetme maliyetleri karşılaştırılırsa; Mart 2014 yılına ait maliyet şu şekildedir.
Patlatmalı kazı için: $3{,}46 - 1{,}27 = 2{,}19TL/m^3$
Mekanik kazı için: $10{,}02 - 1{,}27 = 8{,}75TL/m^3$.

- Bulunan maliyetlerde genel giderler bulunmamaktadır, genel giderler dahil edilirse

Patlatmalı kazı genel gider dahil: $3{,}46 \times 1{,}10 = 3{,}81TL/m^3$
Mekanik kazı genel gider dahil: $10{,}02 \times 1{,}10 = 11{,}02TL/m^3$.

- Fiyatlara KDV dahil değildir.

KDV dahil edilirse maliyetler şu şekildedir.
Patlatmalı kazı KDV dahil: $3{,}81 \times 1{,}18 = 4{,}50TL/m^3$
Mekanik kazı KDV dahil: $111{,}02 \times 1{,}18 = 13TL/m^3$.

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İstanbul Uluslararası Finans Merkezi inşaatında yapılmakta olan patlatmalı temel kazısının klasik mekanik kazı ile aynı kazının yapılmasında maliyetlerin mekanik kazıda patlatmalı kazıya göre 3 katı olduğu görülmektedir (patlatmalı kazı: 4,50TL/m^3; mekanik kazı: 13TL/m^3). Patlatmalı kazıların daha önce şehir içinde yapılmamasının en önemli nedeni izinler ile bürokratik nedenler ve çevresel etkilerinin tam olarak tespit edilememesidir. Gerek patlayıcı mühendisliğinin, gerekse teknolojik gelişmeler ve sürenin projelerde çok önemli olması ve maliyetinin çok açık olarak daha düşük olduğunun görülmesi patlayıcı kullanılarak temel hafriyatının yapılmasını teşvik edecektir. Burada önemli olan konu halkla ilişkilerin iyi organize edilerek dezavantaj gibi görülen çevresel etkilerin (yer sarsıntısı ve hava şoku) çevre sakinlerine etkilerinin kontrol altına alınması ve ölçümlerin yapılarak çevre halkının bilgilendirilmesi gereğidir. İleride çıkabilecek şikâyet ve problemlere karşı raporların arşivlenmesi de önemlidir. Temel kazılarında bundan sonra yapılacak projelerde patlatmalı kazı önerilecektir.

KAYNAKLAR

Burul, T. (2014). *İstanbul Uluslararası Finans Merkezi Aylık Patlatma Raporları*. İstanbul: Taşpat Hafriyat ve Patlatma Hizm. San. Tic.

Furukawa. (2010). Hidrolik Kaya Delici HCR 910 DS Makine Kataloğu. İstanbul.

Goolge. (2014, 03 25). Google Maps: tr.wikipedia.ogr/wiki/istanbul=Finans_Merkezi adresinden alınmıştır

Holland, N. (2011). Kobelko 385 Kaya Kırıcı Makine Kataloğu. İstanbul.

Kahriman, A., Çeltikçi, A., & Bağdatlı, S. (2013). *İstanbul Uluslararası Finans Merkezi Projesi Kapsamında Patlatmalı Temel Kazısı Ön Tasarım Raporu.* İstanbul.

Kuru, Ö. (2014). *İstanbul Uluslararası Finans Merkezi Şantiye Raporları.* İstanbul: Ergü İnşaat Madencilik ve Gıda Sanayi Ticaret Ltd. Şti. .

Yıldız, Z. (2014). *Mekanik Hafriyatın Patlayıcı ile Yapılan Hafriyatla Maliyet Karşılaştırması.* İstanbul: Okan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Derin Yeraltı Patlatma Uygulamalarında Özgül Şarjı Etkileyen Değiştirgelerin Kümeleme Analizi ile İncelenmesi

Investigation of the Parameters Effecting Powder Factor in Deep Underground Blasting Operations by Cluster Analysis

E. Köken, A. Özarslan
Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

ÖZET Madencilik uygulamalarında en çok kullanılan yöntemlerden biri olan delme-patlatma yönteminin, proje maliyeti, güvenliği ve sürdürülebilirliği açısından ne kadar önemli olduğu önceki çalışmalardan bilinmektedir. Kayaçların parçalanma mekanizmasını etkileyen pek çok değiştirge mevcuttur. Bu değiştirgelerden bir tanesi de önceki çalışmalarda pek yer almayan derinlik olgusudur. Bu çalışmada patlatma verimi ve maliyet konularında öne çıkan özgül şarjın derin yeraltı patlatmalarına ait bir incelemesi yer almaktadır. Öncelikle özgül şarjı etkileyen temel değiştirgeler özetlenmiştir. Daha sonra farklı araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen derin yeraltı patlatmalarına ait geniş bir veri seti oluşturulmuştur. Bu çalışma için oluşturulan veri seti kullanılarak kümeleme ve regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, derin yeraltı patlatma uygulamalarında özgül şarjın kestirimi için yeni bir analitik yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem veri setine uygulanmış ve sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak önerilen yöntemin, derinlik, kaya malzemesi (dayanım) ve kütlesi (kaya kütlesi kalitesi) koşulları göz önünde bulundurularak, derin madencilik uygulamalarında kullanılabilir olduğu görülmüştür.

ABSTRACT It is known from previous studies that how important drilling and blasting method; mainly used in mining applications, is in terms of project cost, safety and sustainability. A great deal of parameters effecting the fragmentation mechanism of rocks exist. One of those parameters which is not much mentioned in previous studies is the fact of depth. In this study, a research is included about the powder factor which is outstanding in blasting efficiency and cost issues concerning deep underground blasting operations. At first, the main parameters effecting powder factor are summarized. After, an extensive dataset related to deep underground blasting applications performed by different researchers is generated. By using the dataset generated for this study, cluster and regression analysis are performed. According to the analysis results, a new analytical method is proposed to predict the powder factor for deep underground blasting operations. The proposed method is applied to the dataset and the results are compared to one another. It is concluded that, the proposed method is found to be available for deep mining applications considering depth, rock material (strength) and rock mass (rock mass quality) conditions.

1. GİRİŞ

İnsan, çevre koşulları ve mühendislik yapılarında herhangi bir problem teşkil etmeyen delme-patlatma uygulamalarında patlatma verimi ve maliyet gibi konular üzerine yapılan analizler, özgül şarjın temel iki değiştirge tarafından kontrol edildiğini göstermektedir. Bunlar, kontrol

edilebilen ve kontrol edilemeyen değiştirgeler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Kontrol edilemeyen temel değiştirge bilindiği gibi kaya malzemesi ve kütlesinin jeolojik ve jeoteknik özellikleridir. Kontrol edilebilen değiştirge ise kaya kütlesine uygun delme ve patlatma yönteminin belirlenmesidir. Uygun delme-patlatma yöntemin belirlenmesinde öncelikle patlatmanın amacı, uygulama alanı çevre şartları ve ilgili kaya, kütlesinin jeolojik ve jeoteknik özelliklerinin sağlıklı bir şekilde ortaya konması gerekmektedir (Olofsson 1990, Chakraborty vd. 2004).

Bu çalışmada kontrollü delme-patlatma uygulamalarında önemli bir konu olan özgül şarjı (q, kg/m^3) etkileyen değiştirgelerin derin tüneller (Tünel derinliği > 100 m) için bir incelemesi yer almaktadır. Kazı ve/veya delme-patlatma konularında en önemli başlangıç çalışması, ilgili kaya malzemesi ve kaya kütlesinin jeoteknik özelliklerinin belirlenmesidir. Kaya malzemesi ve kaya kütlesinin jeoteknik özelliklerinin sağlıklı olarak belirlenmesi, hangi kazı ve/veya patlatma yönteminin kullanılması gerektiği konusunda oldukça açıklayıcı bilgiler vermektedir (Franklin vd. 1971, Aler vd. 1996, Ak ve Konuk 2008). Pratik uygulamalarda kaya malzemesi genellikle tek eksenli basınç dayanımı ile kaya kütlesi ise bazı kaya kütle sınıflama sistemleri (RMR, Q vb.) ile temsil edilmektedir.

Derin yeraltı işletmelerinde kazı ve patlatma işlemlerini etkileyen önemli hususlardan bir tanesi de düşey (P_v) ve yanal (P_h) arazi gerilmeleridir (Yang vd. 2014, Chen vd. 2015). Yeraltı işletmesi üzerindeki örtü tabakası kalınlığının artmasıyla doğru orantılı olarak artan birincil düşey ve yanal arazi gerilmeleri kayaçların delme ve patlatma işlemlerini güçleşmektedir.

Lu vd. (2012), düşey arazi gerilmesindeki artışın delik içindeki doğrusal şarj miktarını artırdığını ifade etmiştir.

Derin yeraltı patlatmalarında kaya kütlesinin parçalanması, patlatma esnasında delik içinde meydana gelen basıncın (P_i) kaya kütlesi dinamik çekme dayanımı ($\sigma_{tm(dyn)}$) ile birincil yanal arazi gerilmesinin toplamından büyük olduğu durumlarda gerçekleşmektedir (Grady ve Kipp 1987, Donze vd. 1997, Ma ve An 2008). Bu durum basit olarak Eşitlik 1 ile ifade edilebilir.

$$Parçalanma \rightarrow P_i \geq \sigma_{tm(dyn)} + P_h \quad (1)$$

Yüzeyde gerçekleştirilen basamak patlatmaları ile sığ derinliklerdeki tünel patlatmalarında ise düşey ve yanal arazi gerilmelerinin delme-patlatma üzerinde etkisi ihmal edilecek düzeydedir (Yang vd. 2013). Bu sebepten yerüstü ve sığ derinliklerde gerçekleştirilen patlatmalarda özgül şarj miktarı derin patlatmalara göre genellikle daha düşüktür. Ancak özgül şarjın yerüstü patlamalarında daha düşük olmasının nedeni sadece derinlikle ifade edilemez. Sığ tünellerde, yerleşim yerlerine yakın yerüstü maden işletmelerinde özgül şarj, çevresel etki değerlendirmeleri nedeniyle, patlatma verimliliğine rağmen genellikle düşük tutulmaktadır (Kahriman vd. 2006, Amnieh vd. 2010, Wang 2013). Özgül şarjın bu bölgelerde düşük tutulmasının başlıca nedenleri, gürültü, titreşim, çevre binaların zarar görmesi, uçan kaya sorunları ve patlatma sonrası oraya çıkan büyük toz bulutlarıdır. Özgül şarjın yerüstü ve sığ derinliklerde düşük tutulmasının diğer nedenleri ise, açık işletmelerdeki şev duraylılık sorunları ve tünelcilik uygulamalarındaki tünel kesitini aşan aşırı patlatma riskleridir (Murthy ve Dey 2003).

Bunun dışında kırmataş üretimi yapan taş ocaklarındaki basamak patlatmalarında özgül şarj, hangi boyutlarda agrega üretileceği ile ilişkilidir. Ne kadar ufak boyutlarda agrega üretilmek istenirse, özgül şarj miktarı da o ölçüde artmaktadır (Kuznetsov 1973, Jhanwar vd. 2000, Sanchidrian vd. 2007, Kulatilake vd. 2010, Hudaverdi vd. 2011, Xiu-Zhi vd. 2012).

Özetle, yerüstü ve yeraltı patlamalarında özgül şarj beş temel değiştirge tarafından kontrol edilmektedir. İkinci bölümde bu beş değiştirge alt başlıklar halinde ayrıntılı olacak ele alınmıştır.

2. ÖZGÜL ŞARJI ETKİLEYEN DEĞİŞTİRGELER

Giriş bölümündeki ifadelere bakıldığında özgül şarjın beş temel değiştirge tarafından kontrol edildiği söylenebilir. Bunlar jeolojik ve jeoteknik özellikler, topoğrafik konum etkisi, teknolojik faktörler, çevresel etki değerlendirmesi ve patlatmanın uygulama alanı olarak alt başlıklara ayrılabilir (Çizelge 1). Jeolojik ve jeoteknik özellikler kısaca, kaya malzemesi ve kaya kütlesinin dayanım özelliklerini anlatmaktadır. Bu anlamda hem kaya malzemesinin çekme dayanımı hem de süreksizliklerin jeoteknik özellikleri özgül şarjı etkilemektedir. Patlatma üzerindeki ortalama örtü tabakası kalınlığındaki artışın özgül şarjı artırması ve patlatma alanındaki olası su kaynaklarının (Akarsu, akifer vb.) gerek kaya kütlesini gevşetmesi gerekse patlayıcı maddenin patlatma etkisini azaltabileceği düşünüldüğünde bu etkiler topoğrafik konum başlığı altında yer almalıdır. Patlatmanın amacı ve kaya kütlesine uygun delme-patlatma yönteminin seçilmesi ise teknolojik faktörler başlığı altında toplanabilir. Yerüstü patlatmalarında göz önüne alınması gereken diğer bir husus ise çevresel etki değerlendirmesidir. Bu beş değiştirge bir bütün olarak ele alındığında ise, özgül şarjın, yerüstü ve yeraltı patlatmaları için ayrı ayrı ele alınması gerekmektedir. Çizelge 1'deki alt başlıklarda ifade edilen değiştirgeler kullanılarak özgül şarjın kestirimine yönelik önceki çalışmalarda belirtilen çok sayıda görgül bağıntı mevcuttur. Bu görgül bağıntılardan en sık kullanılanları Çizelge 2'de ifade edilmiştir.

Çizelge 1. Özgül şarjı etkileyen temel değiştirgeler

Jeolojik ve Jeoteknik Özellikler (Kontrol Edilemeyen Değiştirge)	
Kaya Malzemesi	Kaya Kütlesi
Dayanım Özellikleri	Süreksizliklerin Jeoteknik Özellikleri
• Kaya Malzemesi Çekme Dayanımı	• Süreksizlik Aralığı • Süreksizlik Devamlılığı • Süreksizlik Pürüzlülüğü • Ayrışma-Bozunma • Süreksizlik Su Geliri • Süreksizlik Dolgu Durumu
Topoğrafik Faktörler (Kontrol Edilemeyen Değiştirge)	
• Arazi Gerilmeleri	• Patlatma Alanına Su Geliri
Teknolojik Faktörler (Kontrol Edilebilir Değiştirge)	
• Patlayıcı Madde Türü • Patlayıcı Maddenin Suya Olan Hassasiyeti • Delik Düzeni • Delikler Arası Mesafe	• Patlayıcı Maddenin Detonasyon Hızı • Patlayıcı Maddenin Çıkardığı Enerji Miktarı • Delik Boyu • Delik Sıraları Arasındaki Dik Mesafe
Çevresel Risk Değerlendirmesi (Kontrol Edilebilir Değiştirge)	
• Toz • Titreşim • Uçan Kaya Sorunları	• Gürültü • Olası Yapı Hasarları
Uygulama Alanı (Kontrol Edilebilir Değiştirge)	
• Taş Ocağı İşletmeciliği • Yerüstü Maden İşletmeciliği	• Tünelcilik • Yeraltı Maden İşletmeciliği

Çizelge 2. Özgül şarjın kestirimine yönelik önerilen bazı görgül bağıntılar

Araştırmacı	Görgül Bağıntı	Ek Açıklamalar
Pokrovsky (1980)	$q\ (kg/m^3) = q_1 \cdot s_t \cdot f \cdot s_{wr} \cdot d_{ef}$	

q_1 = Kaya malzemesinin parçalanmasını ifade eden bir dayanım çarpanı olup, Protodyakonov Darbe Dayanım İndeksi'ne (PDDI) göre belirlenir. (Bkz. Evans ve Pomeroy 1966)

q_1	PDDI
1,5 - 1,2	20 - 15
1,2 - 1,0	15 - 10
1,0 - 0,8	10 - 8
0,8 - 0,6	8 - 4
0,6 - 0,2	4 - 2
0,15	< 2

f = Kaya kütlesi sınırlama faktörü

$f = \frac{6,5}{\sqrt{A}}$ A = Tünel veya Galeri Patlatma Alanı (m^2)

s_t = Kaya malzemesinin yapısal özelliğine göre ifade edilen bir çarpan

s_t	Yapısal Özellik
2	Az çatlaklı, elastik kaya kütlesi
1,4	Orta derecede çatlaklı ve düzensiz kaya blokları içeren kaya kütleleri
1,3	Bol çatlaklı (Şeyl gibi) ve patlatma deliğinin tabaka doğrultusuna dik olduğu kaya kütleleri

s_{wr} = Patlayıcı maddenin patlatma etkisini ifade eden bir çarpan (ANFO = 1) Patlayıcı madde gücüne göre 1 ile 1,3 değerleri arasında yer alır.

d_{ef} = Patlatma deliğinin çapını ifade eden bir çarpan

d_{ef}	Delik Çapı (mm)
1,10	25
1,00	30
0,95	40

Araştırmacı	Görgül Bağıntı
Ashby (1977)	$q\ (kg/m^3) = \left(\frac{0,56Tan(\Phi+i)}{\sqrt[3]{\lambda}}\right)$

Ek Açıklamalar: Φ = Kaya malzemesi içsel sürtünme açısı (°) λ = Kaya kütlesindeki metre başına düşen ortalama çatlak sayısı

i = Süreksizlik pürüzlülük açısı (°), (Bkz. Barton ve Choubey 1977)

Araştırmacı	Görgül Bağıntı	Ek Açıklamalar
Langeford ve Kihlstrom (1973)	$q\ (kg/m^3) = \left(\frac{14}{A}\right) + 0,8$	A = Tünel veya Galeri Patlatma Alanı (m^2)

Araştırmacı	Görgül Bağıntı
Kuznetsov (1973)	$q\ (kg/m^3)^{(1)} = (k_{50})^{-5/4} x\ (R_m)^{5/4} x\ (Q)^{5/24}$

Ek Açıklamalar: k_{50} = Patlatma sonrası istenen ortalama parça boyutu (mm)

Q = Kullanılan patlayıcının çıkardığı enerji miktarı (MJ)

R_m = Kaya kütlesi tanımlana puanı

R_m	Kaya Kütle Tanımı
< 8	Kötü
8 - 10	Orta
10 - 14	İyi
14 - 16	Çok İyi

(1) Kuznetsov (1973) tarafından önerilen görgül bağıntıda özgüj şarj miktarı (q) yalnız bırakılarak bağıntı yeniden düzenlenmiştir.
Not : Kuznetsov (1973) yaklaşımı özgül şarj miktarı 0,30 - 0,74 kg/m3aralığında yapılan patlatmalar sonucu elde edilmiştir.

Araştırmacı	Görgül Bağıntı	Ek Açıklamalar
Toper (1988)	$q\ (kg/m^3) = -1,9928+0,2904\ln(V_p)$ $q\ (kg/m^3) = 0,1268\exp(0,0081\sigma_{ci})$ $q\ (kg/m^3) = 0,116\exp(0,11\sigma_{tB})$	σ_{ci} = Kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı (MPa) σ_{tB} = Kaya malzemesi dolaylı çekme dayanımı (MPa) V_p = Kaya malzemesi P dalga hızı (m/s)

Araştırmacı	Görgül Bağıntı	Ek Açıklamalar
Sül (1996), Kahriman vd. (2001)	$q\ (kg/m^3) = 0,184+4,04x10^{-3}W_i$ $q\ (kg/m^3) = 0,009W_i - 0,006\sigma_{tB}$	W_i = Bond iş indeksi (kWh/m^3) σ_{tB} = Kaya malzemesi dolaylı çekme dayanımı (MPa)

Araştırmacı	Görgül Bağıntı	Ek Açıklamalar
Paşamehmetoğlu vd. (1986)	$q\ (kg/m^3) = 0,474+ 0,004\sigma_{ci}$ $q\ (kg/m^3) = 0,369+ 0,0224\sigma_{tB}$	σ_{ci} = Kaya malzemesi tek eksenli basınç dayanımı (MPa) σ_{tB} = Kaya malzemesi dolaylı çekme dayanımı (MPa)

Araştırmacı	Görgül Bağıntı	Ek Açıklamalar
Jhanwar vd. (2000)	$q\ (kg/m^3) = \left(\frac{33,34F_I - 24,34}{RMR\ x\ \left(\frac{S}{B}\right)}\right)^{(2)}$	F_I = Parçalanma indeksi $\longrightarrow F_I = \left(\frac{x_b}{x_{50}}\right)$ x_b = Arazide gözlemlenen ortalama blok boyutu (mm)

x_{50} = Patlatmadan sonra istenen ortalama parça boyutu (mm)

S = Aynı sıradaki delikler arası mesafe (mm)

B = İki delik sırası arasındaki dik mesafe (mm)

RMR = Jeomekanik Sınıflama Sistemi Puanı (Bkz. Bieniawski 1989)

(2) Jhanwar vd. (2000) tarafından önerilen görgül bağıntıda özgüj şarj miktarı (q) yalnız bırakılarak bağıntı yeniden düzenlenmiştir.

3. VERİ SETİNİN OLUŞTURULMASI

Bu çalışmada önceki çalışmalarda yer alan ve ortalama derinliği ≥ 100 m olan derin yeraltı patlatmalarına ait geniş bir veri seti oluşturulmuştur. Veri setinde patlatma yapılan kaya malzemesine ait ortalama tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}, MPa), ortalama kaya kütlelerine sınıflama sistemi puanları (RMR, RMR^* ve RMR^{**}), patlatılan arın kesit alanı (A, m^2), patlatma derinliği (H, m) ve bu patlatmalara ait özgül şarj (q, kg/m^3) değerleri yer almaktadır (Çizelge 4). Oluşturulan veri seti kullanılarak kümeleme ve regresyon analizleri yapılmış ve özgül şarjın farklı derinlik ve kaya kütle koşullarındaki değişimi araştırılmıştır. Bu çalışmada kaya kütle sınıflama sistemi olarak RMR kullanılmış olup, RMR sınıflama sisteminde yer alan kaya malzemesi dayanım değiştirgesi olan σ_{ci} değeri, Temel RMR puanından çıkartılarak RMR puanları yeniden düzenlenmiştir (Bkz. Çizelge 4'teki RMR^{**} ifadesi). Böylece kaya malzemesi ve kaya kütlesi değerleri analizlere ayrı iki değiştirge olarak ilave edilmiştir. Bieniawski (1989) tarafından son halini alan RMR sınıflama sisteminde σ_{ci} en fazla 15 puanlık bir değere sahiptir. Veri setinde ifade edilen σ_{ci} değerinin RMR sınıflama sistemine karşılık gelen puanları temel RMR puanından çıkartılarak RMR^* puanları hesaplanmıştır. Hesaplanan RMR^* puanları teorik olarak en yüksek 85 değerine sahiptir. Bu değerlerin 100 puana tamamlanmış şekli (RMR^{**}) ise Eşitlik 2 ile ifade edilmiştir.

$$RMR^{**} = RMR^{*} \times \left(\frac{100}{85} \approx 1{,}176 \right) \tag{2}$$

Veri setinin oluşturulmasında verilerin karşılaştırılabilir olması amacıyla değiştirgelerin bazılarında dönüşümler yapılmış ve Çizelge 4'ün açıklamalar kısmında bu dönüşümler ayrıntılı olarak ifade edilmiştir.

4. KÜMELEME ANALİZİ

Kümeleme analizi ana kitle içerisinde grupları belli olmayan verileri benzer özellikleri ile alt kümelere ayırmaya yardımcı olan çok değişkenli bir istatistiksel analiz yöntemidir. Başta tıp, ziraat, mühendislik ve sosyal bilimlerde yaygın olarak kullanılan kümeleme analizi, sonuçlarının kolay yorumlanabilmesi ve diğer analizlere veri girişi sağlaması sebebiyle oldukça tercih edilen bir yöntemdir (Li vd. 2015, Hardle ve Simar 2015).

Kümeleme analizi, ana kitle içindeki verilerin birbirine olan mesafeleri belirlenerek, yakın değerler gösteren verilerin alt kümelere ayrılması şeklinde tanımlanabilir. Verilerin birbiri arasındaki mesafeleri analitik geometri ilkelerine göre belirlenmekte olup, çeşitli araştırmacılar bu mesafeleri uzaklık fonksiyonları şeklinde ifade etmiştir. Kümelenme analizinde en sık kullanılan uzaklık fonksiyonları Çizelge 3'te verilmiştir. Ana kitlenin kaç alt kümeye ayrılması gerektiği konusunda kullanılan yaygın yaklaşım ise Eşitlik 3 ile ifade dilmektedir.

$$K_s = \sqrt{\frac{n}{2}} \tag{3}$$

Burada K_s alt küme sayısını, n ise ana kitledeki toplam veri sayısını (Eşitlik 2'nin kullanılabilmesi için n ≤ 100 olmalıdır.) ifade etmektedir. Çizelge 4'te ifade edilen her bir grupta toplam 63 veri olduğundan K_s değeri Eşitlik 3'e göre yaklaşık 5,61 olarak belirlenmiştir.

Analizde kullanılan toplam küme sayısı alt kümelerin ana kitleyi temsil etme oranları göz önünde bulundurularak 5 olarak seçilmiştir.

Bu çalışmada veriler arasındaki benzerlik ve farklılıkları daha iyi yansıtmasının yanı sıra, alt kümelerin ana kitleyi temsil etme oranlarının diğer yaklaşımlardan daha yüksek olması sebebiyle verilerin alt kümelere ayrılmasında *"Mahalanobis Uzaklık Fonksiyonu"* seçilmiştir (Bkz. Çizelge 3).

Çizelge 3. Farklı Araştırmacıların Önerdikleri Uzaklık Fonksiyonları

Yaklaşım	Uzaklık Fonksiyonu	Kaynak
Kulback-Liebler Uzaklığı	$D(p\|\|q)=\int p(x_i)\log\frac{p(x_i)}{q(x_j)}\partial x\geq 0$ $p(x_i)\geq q(x_j)$	Kullback ve Leibler (1951)
Minkowski Uzaklığı	$D(p\|\|q)=\left\|p(x_i)-q(x_j)\right\|^{\frac{1}{t}}$ $0<t<1$	Merigo ve Casanovas (2008)
Öklid (Euclidean) Uzaklığı	$D(p\|\|q)=\sqrt{\left(p(x_i)-q(x_j)\right)^2}$	Danielsson (1980)
Normalleştirilmiş Öklid (Euclidean) Uzaklığı	$D(p\|\|q)=\sqrt{\frac{\left(p(x_i)-q(x_j)\right)^2}{\left(sdv(x_{i/j})\right)^2}}$ $sdv(x_{i/j})$ = İki veri arasındaki standart sapma	Hardle ve Simar (2015)
City-Block (Manhattan) Uzaklığı	$D(p\|\|q)=\left\|p(x_i)-q(x_j)\right\|$	Swain ve Ballard (1991)
Mahalanobis Uzaklığı	$D(p\|\|q)=\sqrt{\left\|p(x_i)-\eta_{x_{i/j}}\right\|S^{-1}(x_{i/j})}$ $\eta_{x_{i/j}}$ = Veri ikilisinin aritmetik ortalaması $S^{-1}(x_{i/j})$ = Veri ikilisinin kovaryansı	Mahalanobis (1936) Bar-Hen ve Daudin (1995)

Çizelge 3'teki değiştirgeler kümeleme analizi sonucunda beş alt kümeye ayrılmıştır. Bu alt kümelere ait veri gruplarının değerleri ve bu alt kümelere ait temel istatistik verileri Çizelge 5'te görülmektedir. Çizelge 5'teki ham verilerin %95 güven aralığındaki değerleri Eşitlik 4 kullanılarak belirlenmiş ve her alt küme için değer aralıkları aynı çizelgede verilmiştir.

$$x_{ga}=\bar{x}\pm z\times\frac{s.s}{\sqrt{n}} \tag{4}$$

Burada x_{ga} %95 güven aralığındaki en yüksek ve en düşük değerleri, $\bar{x}$ ortalama, Z değeri ise %95 güven aralığındaki değeri (z = 1,96) ve n ise alt kümelerde yer alan toplam veri sayısını göstermektedir.

Çizelge 5 incelendiğinde, beş alt kümede ifade edilen değiştirgeler içerisinde Çizelge 3'te ifade edilen patlatma kesit alanı yer almamaktadır. Kümeleme analizlerinde patlatma kesit alanına ait verilerin istatistikî olarak anlamlı olmayışı sebebiyle kümeleme analizleri dört alt grup elemanı üzerinden yürütülmüştür. Alt kümeler içindeki bu veri grupları σ_{ci}, RMR**, H ve q değerlerine sahiptir.

Alt kümelerin %95 güven aralığındaki aldıkları en küçük ve büyük değerler karşılaştırıldığında, en derin yeraltı patlatmaları ana kitleyi yaklaşık %3'lük bir oran ile temsil eden Küme 2'dir.

Çizelge 4. Bu Çalışma İçin Oluşturulan Veri Seti.

Araştırmacı	Kaya Türü	σ_{ci}(MPa)	RMR	RMR*	RMR**	Patlatma Kesit Alanı (m^2)	Uygulama Alanı	Patlatma Kesit Geometrisi	Özgül Şarj q, (kg/m^3)	Ortalama Derinlik, H (m)
Yılmaz (2013) Yılmaz ve Ünlü (2014)	Orta Taneli Kumtaşı	65,20	35(1)	28	33	10,00	KG	AN	0,411	188
	İri Taneli Kumtaşı	48,00	50(1)	46	54	10,00	KG	AN	0,565	188
	Orta Taneli Kumtaşı	82,40	70(1)	63	74	10,00	KG	AN	0,890	188
Liang vd. (2011)	Siyenit	101,50	66(2)	54	64	60,00	DT	AN	1,121	200
Liang vd. (2013)	Siyenit	86,00	48(2)	41	48	60,00	DT	AN	0,856	200
Khodabin ve Hosseinitoudeshki (2014) Mohammad vd. (2015)	İleri Derecede Ayrışmış Tüf	48,00	18	16	19	65,00	OT	AN	0,840	300
	Orta Derecede Ayrışmış Tüf	67,50	50	43	51	65,00	OT	AN	1,700	300
	Ayrışmamış Tüf	158,00	70	58	68	65,00	OT	AN	2,620	300
Innauro vd. (1998), Innaurato vd. (2007), Innaurato vd. (2011)	Kristalize Kireçtaşı	65,00	58(5)	51	60	60,00	OT	D	2,500	265
	Kristalize Kireçtaşı	65,00	50(5)	43	51	60,00	OT	D	1,850	300
	Kristalize Kireçtaşı	65,00	45(5)	38	45	60,00	OT	D	1,650	330
	Porfirik Gnays	200,00	70(5)	58	68	76,80	OT	D	1,650	335
	Kloritli Mika-Şist	30,00	30(5)	26	31	93,00	OT	D	1,100	340
	Kalk-Şist	45,00	30(5)	26	31	76,00	OT	D	1,270	340
	Mika-Şist	90,00	55(5)	48	56	22,20	OT	D	2,410	343
	Mika-Şist	185,00	86(5)	74	87	22,20	OT	D	2,410	360
	Mika-Şist	90,00	64(5)	57	67	22,20	OT	D	2,410	394
	Mika-Şist	185,00	86(5)	74	87	22,20	OT	D	2,410	401
	Mika-Şist	185,00	62(5)	50	59	22,20	OT	D	2,410	432
	Mika-Şist	90,00	64(5)	57	67	22,20	OT	D	2,410	493
Dirikolu (2009)	Orta Derecede Ayrışmış Harzburjit	47,30(3)	46(4)	42	49	6,00	MM	AN	0,360	242
	Orta Derecede Ayrışmış Harzburjit	53,75(3)	60(4)	53	62	6,00	MM	AN	0,451	242
	İleri Derecede Ayrışmış Harzburjit	17,56(3)	30(4)	28	33	6,00	MM	AN	0,315	242
Şallı (2008)	Kireçtaşı	65,30	45	38	45	24,00	BDT	AN	0,455	250
Dey ve Murthy (2008) Dey ve Murthy (2012)	Klorit-Serisit Şist	63,00	61	54	64	14,40	YHS	DK	1,490	878
	Klorit-Şist	104,00	64	52	61	14,40	YHS	DK	1,460	878
	Klorit-Şist	67,00	62	55	65	14,40	YHS	DK	1,320	878
	Klorit-Şist	81,00	62	55	65	14,40	YHS	DK	1,580	878
	Klorit-Şist	100,00	63	54	64	14,40	YHS	DK	1,340	878
Quinteiro vd. (2001)	Riyolit	115,00	45	33	39	42,00	MM	DK	1,560	792
Iverson vd. (2009) Tesarik vd. (2011)	Riyolit	115,00	80	68	80	42,00	MM	DK	2,261	910

Çizelge 4. Bu Çalışma İçin Oluşturulan Veri Seti (Devam ediyor).

Araştırmacı	Kaya Türü	σ_{ci}(MPa)	RMR	RMR*	RMR**	Patlatma Kesit Alanı (m^2)	Uygulama Alanı	Patlatma Kesit Geometrisi	Özgül Şarj q, (kg/m^3)	Ortalama Derinlik, H (m)
Lu vd. (2011)	Granit	168,42(6)	75	63	74	58,00	YHE	AN/DK	2,340	700
Yang vd. (2013)	Granit	168,42(6)	85	73	86	96,00	YHE	AN/DK	2,840	700
Yan vd. (2009)	Granit	157,06(6)	82(2)	70	82	40,00	YHE	AN	3,660	2375
Chen vd. (2015)	Granit	157,06(6)	66(2)	54	64	40,00	YHE	AN	2,428	1937
Yan vd. (2015)	Granit	157,06(6)	45(2)	33	39	40,00	YHE	AN	1,785	1054
Zhou vd. (2007)	Diyorit	98,18	65(2)	58	68	10,89	MM	YE	2,140	667
Zhou vd. (2009) Zhou vd. (2014)	Diyorit	69,99	55(2)	48	56	10,89	MM	YE	2,100	814
Chakraborty ve Jethwa (1994) Chakraborty vd. (1998)	Şeyl	41,00	62(5)	58	68	5,00	MM	DK	1,950	600
	Şeyl	45,00	53(5)	46	54	5,00	MM	DK	1,700	600
	Şeyl	42,00	42(5)	38	45	5,00	MM	DK	1,800	600
	Şeyl	18,00	53(5)	51	60	5,00	MM	DK	1,600	600
	Şeyl	46,00	51(5)	37	44	5,00	MM	DK	1,900	600
	Şeyl	110,00	70(5)	58	68	5,00	MM	DK	2,100	600
	Şeyl	110,00	70(5)	58	68	5,00	MM	DK	2,650	600
	Şeyl	60,00	73(5)	66	78	5,00	MM	DK	2,500	600
	Şeyl	150,00	74(5)	62	73	5,00	MM	DK	2,700	600
	Şeyl	180,00	75(5)	63	74	5,00	MM	DK	3,150	600
	Şeyl	41,00	62(5)	58	68	5,00	MM	DK	2,300	600
	Şeyl	110,00	34(5)	22	26	5,00	MM	DK	1,440	600
	Şeyl	120,00	44(5)	32	38	5,00	MM	DK	1,570	600
	Şeyl	110,00	41(5)	29	34	5,00	MM	DK	1,460	600
	Şeyl	90,00	37(5)	30	35	5,00	MM	DK	1,330	600
	Şeyl	120,00	43(5)	31	36	5,00	MM	DK	1,480	600
	Şeyl	100,00	34(5)	24	28	5,00	MM	DK	1,380	600
	Şeyl	142,00	30(5)	18	21	5,00	MM	DK	1,300	600
	Şeyl	120,00	41(5)	29	34	5,00	MM	DK	1,450	600
	Şeyl	90,00	44(5)	37	44	5,00	MM	DK	1,390	600
	Şeyl	162,00	47(5)	35	41	5,00	MM	DK	1,700	600
	Şeyl	60,00	48(5)	41	48	5,00	MM	DK	1,430	600
	Şeyl	110,00	50(5)	38	45	5,00	MM	DK	1,430	600
Sarangi ve Krishnamurthy (2008)	Dolomit	65,00	74	67	79	13,50	OTM	DK	2,900	100
Ramulu ve Rao (2013)	Dolomit	70,00	72	65	76	13,50	OTM	DK	3,400	120

AÇIKLAMALAR

(1) : Yılmaz (2015) Sözlü Görüşme (2) : RMR Puanı Rui-Xin ve Yan-Jun (2015) tarafından düzenlenen Çin Kaya Kütle Sınıflama Sistemi'ne göre dönüştürülmüştür.

(3) : $\sigma_{ci} = 22I_{s50}$(Bkz. ISRM 1981), Eşitliği kullanılarak belirlenmiştir. (4) : RMR Puanı Dirikolu (2009)'da ifade edilen arın kesitleri ve süreksizliklerin jeoteknik özelliklerinden çıkartılmıştır.

(5) : RMR puanı RMR = 9ln(Q)+44 (Bkz. Barton 2002) Eşitliği kullanılarak belirlenmiştir. (6) : $\sigma_{ci} = 22{,}03V_p^{1{,}247}$ (Bkz. Sousa vd. 2005) Eşitliği kullanılarak belirlenmiştir.

* : Tek eksenli basınç dayanımı içermeyen RMR Puanı (RMR*=RMR - Dayanım Puanı) (Bkz. Bieniawski 1989)

** : 100 puana tamamlanmış tek eksenli basınç dayanımı içermeyen RMR puanı (RMR** = 1,176RMR*)

KG : Kömür Galeriai DT : Demiryolu Tüneli OT : Otoyol Tüneli MM : Metal Madeni BDT : Baraj (Derivasyon) Tüneli YHE : Yeraltı Hidroelektrik Santrali OTM : Oda Topuk Madenciliği
AN : At Nalı D : Dairesel DK : Dikdörtgen AN/DK : At Nalı ve Dikdörtgen Birleşimi YE : Yarı Eliptik

Küme 2'de patlatma derinliği 1725 m ile 2585 m arasında ve özgül şarj miktarı ise 1,83 kg/m^3 ile 4,25 kg/m^3 arasında değişmektedir. Ana kitleyi yaklaşık %34'lük bir oran ile en fazla temsil eden Küme 4'te ise patlatma derinliği 400 m ile 564 m arasında ve özgül şarj miktarı ise 1,95 kg/m^3 ile 2.37 kg/m^3 arasında değişmektedir (Çizelge 5). Çizelge 5'teki diğer alt kümlere bakıldığında patlatma derinliğindeki artışın özgül şarj miktarını artırdığı anlaşılmaktadır.

Ancak ikinci bölümde de ifade edildiği gibi, özgül şarj arazide tek bir değiştirge ile ifade edilemez. Bu sebepten Çizelge 5'teki değiştirgelerin ayrı ayrı regresyon analizleri ile özgül şarj üzerin etkileri araştırılmalıdır. Beşinci bölümde bu konuya değinilmiştir.

5. REGRESYON ANALİZİ

Çizelge 5'te alt kümelere veri gruplarının %95 güven aralığındaki en küçük ve en büyük değerleri kullanılarak basit ve çoklu regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizlerinde kullanılan analitik model ve veri grupları Çizelge 6'da sunulmuştur. Çizelge 6'da ifade edilen analitik modeller En Küçük Kareler Yöntemi ile çözülerek derin tünellerde özgül şarjın kestirimine yönelik hangi görgül bağıntı veya bağıntıların tutarlı sonuçlar verdiği araştırılmıştır.

Basit regresyon analizlerinde q - σ_{ci} veri ikilisi arasında doğruluk katsayısı (r^2) en fazla 0,39, q - RMR** veri ikilisi arasında r^2 en fazla 0,54 ve q - H veri ikilisi arasında r^2 en fazla 0,48 olarak belirlenmiştir. Basit regresyon analizleri sonucunda derin tünellerde özgül şarjın kaya malzemesi dayanımı, kaya malzemesi dayanımı içermeyen kaya kütlesi sınıflama sistemi puanı ve patlatma alanı üzerindeki ortalama örtü tabakası kalınlığı ile ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Ancak basit regresyon analizlerinden elde edilen doğruluk katsayı değerlerinden yola çıkarak özgül şarjın kestirilmesi sağlıklı sonuçlar vermeyecektir. Bu sebepten çoklu regresyon analizleri gerçekleştirilmiş ve Çizelge 6'da ifade edilen doğrusal olmayan analitik model ($y=a(x_1)^b(x_2)^c(x_3)^d$) gerçekleştirilen regresyon analizleri arasında en iyi doğruluk katsayısını (r^2 = 0,78) vermiştir. Kümeleme ve regresyon analizleri sonucunda derin yeraltı patlamalarında özgül şarjın kestirimi için Eşitlik 5 geliştirilmiştir.

$$q = 7{,}47 \times 10^{-3} \times \sigma_{ci}^{0,3} \times (RMR^{**})^{0,67} \times H^{0,2} \qquad (R^2=0{,}78) \qquad (5)$$

Eşitlik 5 kullanılarak kümeleme analizindeki q değerleri tahmin edilmiş ve sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Eşitlik 5 ile kestirilen özgül şarj değerleri ile kümeleme analizindeki değerlerin uyum içinde olduğu Şekil 1a'dan anlaşılmaktadır. Şekil 1b'de ise istatistikî sonuçlar ile kestirilen sonuçların Venn Şeması olarak gösterimi yer almaktadır. Buna göre Küme 1, Küme 3 ve Küme 4, Küme 3 ile Küme 4 ve Küme 2 ile Küme 3 teorik olarak birbiriyle kesişmektedir. Şekil 1b'de Venn Şeması içindeki verilerin boş bir uzayda Voronoi Poligonu olarak gösterimi de ana kitleyi temsil eden alt kümelerin birbiriyle olası etkileşimlerini ifade etmektedir (Şekil 1c). Farklı derinlik, dayanım ve kaya kütle koşullarında gerçekleştirilmiş patlatma uygulamalarında alt kümelerin birbirleri ile olan etkileşimleri, patlatma mekanizmasını etkileyen (Çizelge 1) ve Eşitlik 5'te kullanılmayan değiştirgelerin varlığını göstermektedir. Bunun yanı sıra alt kümelerin ana kitleyi temsil etme oranları da kümeler arası etkileşimi artırmaktadır. Buna örnek olarak Küme 2'nin ana kitleyi temsil etme oranı (yaklaşık %3) ile bu kümenin Küme 3 ile olan etkileşimi verilebilir (Şekil 1c).

Çizelge 5. Kümeleme Analizi Sonuçları.

Küme 1 (n= 16) Ana Kitleyi Temsil Oranı = %25,39)

Değiştirge	En Düşük	Ortalama	En Yüksek	Standart S.
σ_{ci} (MPa)	30,00	104,32	162,00	37,52
RMR**	18,81	33,74	44,69	7,49
Özgül Şarj, q (kg/m^3)	0,840	1,405	1,785	0,223
Ortalama Derinlik, H (m)	300,00	589,12	1054,00	176,31

%95 Güven Aralığı Değerleri

Değiştirge	En Düşük Değer	En Yüksek Değer
σ_{ci} (MPa)	85,940	122,700
RMR**	30,070	37,410
Özgül Şarj, q (kg/m^3)	1,296	1,514
Ortalama Derinlik, H (m)	502,730	675,510

Küme 2 (n= 2) Ana Kitleyi Temsil Oranı = %3,17)

Değiştirge	En Düşük	Ortalama	En Yüksek	Standart S.
σ_{ci} (MPa)	157,06	157,06	157,06	0,00
RMR**	63,51	72,91	82,30	13,30
Özgül Şarj, q (kg/m^3)	2,428	3,044	3,660	0,871
Ortalama Derinlik, H (m)	1937,00	2156,00	2375,00	309,71

%95 Güven Aralığı Değerleri

Değiştirge	En Düşük Değer	En Yüksek Değer
σ_{ci} (MPa)	157,060	157,060
RMR**	54,480	91,340
Özgül Şarj, q (kg/m^3)	1,837	4,251
Ortalama Derinlik, H (m)	1726,770	2585,230

Küme 3 (n= 9) Ana Kitleyi Temsil Oranı = %14,28)

Değiştirge	En Düşük	Ortalama	En Yüksek	Standart S.
σ_{ci} (MPa)	150,000	175,540	200,000	15,600
RMR**	58,800	75,140	87,020	9,790
Özgül Şarj, q (kg/m^3)	1,650	2,500	3,150	0,413
Ortalama Derinlik, H (m)	300,000	492,000	700,000	158,380

%95 Güven Aralığı Değerleri

Değiştirge	En Düşük Değer	En Yüksek Değer
σ_{ci} (MPa)	165,350	185,730
RMR**	68,750	81,530
Özgül Şarj, q (kg/m^3)	2,231	2,769
Ortalama Derinlik, H (m)	388,520	595,480

Küme 4 (n= 21) Ana Kitleyi Temsil Oranı = %33,34)

Değiştirge	En Düşük	Ortalama	En Yüksek	Standart S.
σ_{ci} (MPa)	18,000	67,080	110,000	24,180
RMR**	43,510	60,820	78,800	11,120
Özgül Şarj, q (kg/m^3)	1,430	2,160	3,400	0,482
Ortalama Derinlik, H (m)	100,000	482,190	814,000	190,000

%95 Güven Aralığı Değerleri

Değiştirge	En Düşük Değer	En Yüksek Değer
σ_{ci} (MPa)	56,740	77,420
RMR**	56,060	65,570
Özgül Şarj, q (kg/m^3)	1,954	2,366
Ortalama Derinlik, H (m)	400,930	563,450

Küme 5 (n= 15) Ana Kitleyi Temsil Oranı = %23,80)

Değiştirge	En Düşük	Ortalama	En Yüksek	Standart S.
σ_{ci} (MPa)	17,560	73,130	115,000	26,150
RMR**	32,930	57,310	79,970	13,530
Özgül Şarj, q (kg/m^3)	0,315	0,992	2,261	0,577
Ortalama Derinlik, H (m)	188,000	482,660	910,000	339,350

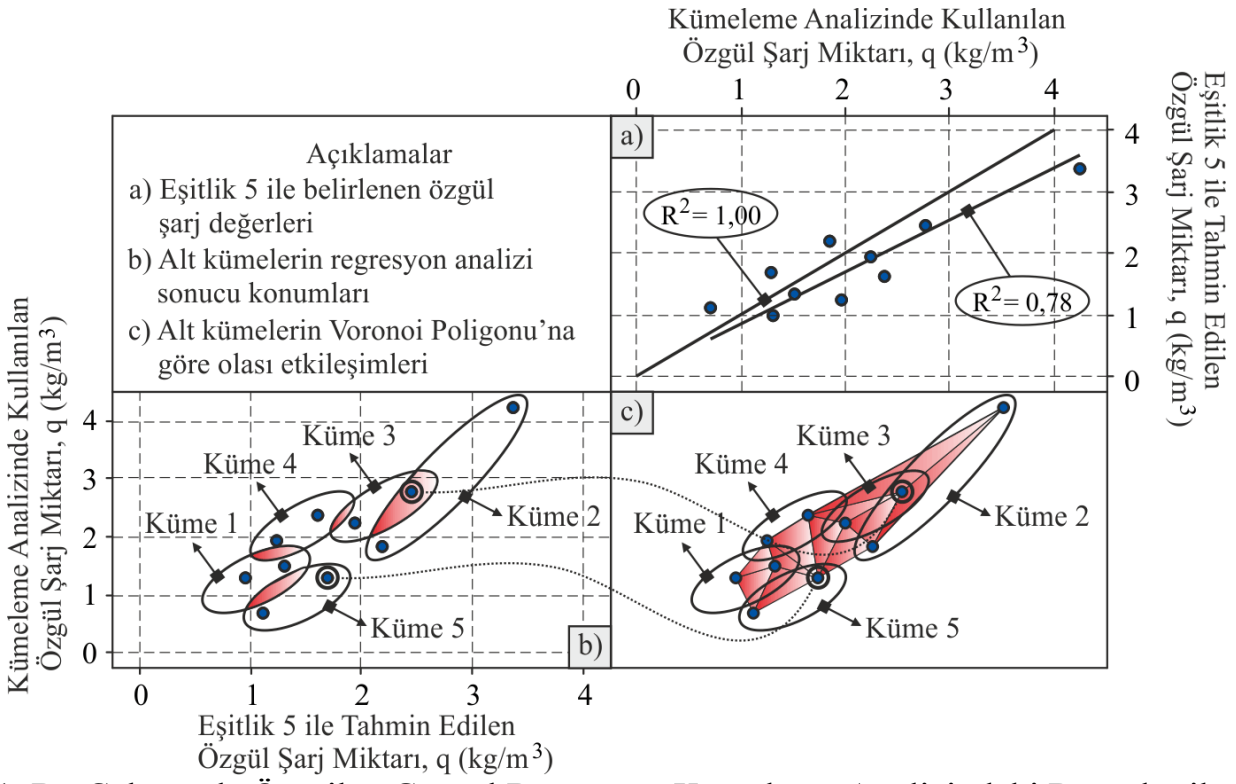
%95 Güven Aralığı Değerleri

Değiştirge	En Düşük Değer	En Yüksek Değer
σ_{ci} (MPa)	59,910	86,390
RMR**	50,460	64,160
Özgül Şarj, q (kg/m^3)	0,700	1,284
Ortalama Derinlik, H (m)	310,930	654,400

Yine de farkı derinlik, dayanım ve kaya kütle koşullarında değişen özgül şarj değerlerini kümeleme analizleri ile gruplandırmak mümkündür.

Çizelge 6. Regresyon Analizlerinde Kullanılan Değişken ve Bazı Analitik Modeller.

Basit Regresyon Analizi		Kullanılan Analitik Modeller
Bağımsız Değişken	Bağımlı Değişken	
$x_1 = \sigma_{ci}$ (MPa)	y= q (kg/m^3)	$y= a+b(x_1)$
x_2 = RMR**	y= q (kg/m^3)	$y= a+b(x_2)$
x_3 = H (m)	y= q (kg/m^3)	$y= a+b(x_3)$
		$y = a(x_1)^b$
		$y = a(x_2)^b$
		$y = a(x_3)^b$
		$y = a \exp(bx_1)$
		$y = a \exp(bx_2)$
		$y = a \exp(bx_3)$
Çoklu Regresyon Analizi		**Kullanılan Analitik Modeller**
Bağımsız Değişken	Bağımlı Değişken	
$x_1 = \sigma_{ci}$ (MPa)	y= q (kg/m^3)	$y=a+bx_1+cx_2+dx_3$
x_2 = RMR**	y= q (kg/m^3)	$\mathbf{y = a(x_1)^b(x_2)^c(x_3)^d}$ **(*)**
x_3 = H (m)	y= q (kg/m^3)	(*) En iyi sonuç veren model



Şekil 1. Bu Çalışmada Önerilen Görgül Bağıntının Kümeleme Analizindeki Değerler ile Karşılaştırılması ve Analiz Sonuçlarının Şematik Gösterimi.

6. SONUÇLAR

Patlatma uygulamalarında 1 m^3 kayayı gevşetmek için ihtiyaç duyulan patlayıcı madde miktarını ifade eden özgül şarj değeri, madencilik uygulamalarında proje maliyeti, sürdürülebilirliği ve güvenliği açısından en önemli ön tasarım araçlarından bir tanesi olarak kabul edilmektedir.

Bu çalışma ile özgül şarjı etkileyen değiştirgeler özetlenmiş, önceki çalışmalarda özgül şarj miktarının kestirimine yönelik yaygın kullanılan görgül bağıntılar saha mühendislerinin kolaylıkla ulaşabileceği bir kaynak olması adına bir araya getirilmiştir.

Önceki çalışmalarda önemi ifade edilen ancak analizlerde yer almayan derinlik olgusunun özgül şarj değeri üzerine etkileri ayrıntılı olarak araştırılmıştır.

Gerçekleştirilen kümeleme ve regresyon analiz sonuçlarına göre, derin yeraltı patlatma uygulamalarında özgül şarjın kestirimi için yeni bir analitik yöntem geliştirilmiştir. Önerilen analitik yöntem veri setine uygulanarak yöntemin uygunluğu araştırılmıştır.

Sonuç olarak önerilen analitik yöntemin, derinlik, kaya malzemesi (dayanım) ve kütlesi (kaya kütlesi kalitesi) koşulları göz önünde bulundurularak, derin madencilik uygulamalarında özgül şarjın kestirimi için kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Önerilen analitik yöntemin geliştirilmesi ve kümeleme analizlerinin daha iyi sonuç vermesi adına, oluşturulması planlanan alt kümelerin ana kitleyi temsil etme oranlarının birbirine yakın olmasına dikkat edilmelidir.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, yapılan çalışmalarda görüş ve önerileri için Bülent Ecevit Üniversitesi Öğretim Üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Özgür Yılmaz'a, Fırat Üniversitesi Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Zülfü Gürocak'a ve bildiriyi değerlendiren hakemlere teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Aler J., Mouza J. D. and Arnould M. (1996) Measurement of the Fragmentation Efficiency of Rock Mass Blasting and its Mining Applications, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol:33 No:2 pp 125-139.

Ak H. and Konuk A. (2008) The effect of discontinuity frequency on ground vibrations produced from bench blasting: A case study, Soil Dyna. Earth. Eng. Vol:28 pp 686-694.

Amnieh H.B., Mozdianfard M.R. and Siamaki A. (2010) Predicting of blasting vibrations in Sarcheshmeh copper mine by neural network, Safety Science, Vol:48 pp 319-325.

Ashby J.P. (1977) Production Blasting and the Development of Open Pit Slopesi Proccedings, 3th. Int. Conf. Stability in Surf. Min., Vancouver.

Bar-Hen A. and Daudin J.J., (1995) Generalization of the Mahalanobis distance in the mixed case, J. Multivariate Anal. Vol : 53 pp. 332–342.

Barton N. (2002). Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol : 39(2) pp 185 – 216.

Barton, N.R. and Choubey, V. (1977). The shear strength of rock joints in theory and practice. Rock Mech. Vol : 10, pp 1 – 54.

Bieniawski Z.T. (1989) Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual For Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering, Wiley-Interscience, pp 272.

Chakraborty A.K. and Jethwa J.L. (1994) Tunnel blasting techniques in difficult ground conditions, Geotech. Geol. Eng. Vol:12, pp 219-239.

Chakraborty A.K, Roy P.P., Jethwa J.L. and Gupta R.N. (1998), Blast Performance in Small Tunnels--A Critical Evaluation in Underground Metal Mines, Tunnel. Underg. Space Tech. Vol: 13 (3), pp 331-339.

Chakraborty A.K., Raina A.K., Ramulu M., Choudhury P.B., Haldar A., Sahu P. and Bandopadhyay C. (2004) Parametric study to develop guidelines for blast fragmentation improvement in jointed and massive formations, Engineering Geology, Vol:73 pp 105-116.

Chen M., Lu W.B., Yan P. and Hu Y.G. (2015), Blasting Excavation Induced Damage of Surrounding Rock Masses in Deep-buried Tunnels, Korean Soc. Civ. Eng. Vol(1), pp 1-10.

Danielsson P.E. (1980) Euclidean Distance Mapping, Computer Graphics and Image Processing Vol : 14 pp 227 – 248.

Dey K. and Murthy V.M.S.R. (2008) Blast-Induced Rok Damage in Drivage Excavation – A Review of Assessment and Prediction Methods, National Conf. On Emerging Trends in Min. and Allied Industry, pp 164 – 175. India.

Dey K. and Murthy V.M.S.R. (2012) Prediction of blast-induced overbreak from uncontrolled burn-cut blasting in tunnels driven through medium rock class, Tunnel. Underground Space Tech. Vol: 28 pp 49-56.

Dirikolu A. (2009) Kayseri-Pınarbaşı Toruntepe Yeraltı Krom İşletmesinde Delme-Patlatma Faaliyetlerinin Tasarımı Ve Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Cumhuriyet Üniversitesi, FBE, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, 234s., Sivas.

Donze F.V., Bouchez J. and Magnier S.A. (1997), Modeling Fractures in Rock Blasting, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol:34(8) pp 1153-1163.

Evans I. and Pomeroy C.D. (1966) Strength Fracture and Workability of Coal, London Pergamon Press.

Franklin J.A., Broch E. and Walton G. (1971) Logging the Mechanical Character of Rock, Trans. Ints. Min. Metall. Vol : 80, Section A, pp. A1 – A9.

Grady D.E., Kipp M.E. (1987) Dynamic rock fragmentation. In: Atkinson BK, editor. Fracture mechanics of rock. London: Academic;. pp. 429–475.

Hudaverdi T., Kulatilake P.H.S.W. and Kuzu C. (2011), Prediction of blast fragmentation using multivariate analysis procedures, Int. J. Num. Anal. Meth. in Geomech. Vol:35(12), pp 1318-1333

Innaurato N., Mancini R. and Cardu M. (1998) On the Influence of Rock Mass Quality on the Quality of Blasting Work in Tunnel Driving, Tunnel. Underground Space Tech. Vol : 13 (1), pp 81-89.

Innaurato N., Oggeri C., Oreste P.P. and Viani R. (2007) Experimental and Numerical Studies on Rock Breaking with TBM Tools under High Stress Confinement, Rock Mech. Rock Eng. Vol : 40 (5), pp 429-451.

Innaurato N., Oggeri C., Oreste P.P. and Vinai R. (2011) Laboratory tests to study the influence of rock stress confinement on the performances of TBM discs in tunnels. Int J Min Met Mater Vol : 18 (3) pp 253–259

ISRM (1981) Rock Characterization, Testing and Monitoring – ISRM Suggested Methods, E.T. Brown ed. Pergamon Press, Oxford.

Iverson S.R., Hustrulid W.A. Johnson J.C., Tesarik D. and Akbarzadeh Y. (2009) The Extent of Blast Damage from A Fully Coupled Explosive Chartge, 9th. Int. Symp. On Rock Fragmentation by Blasting. pp 459 – 468.

Jhanwar, J.C., Jethwa, J.L., Reddy, A.H., 2000. Influence of air-deck blasting on fragmentation in jointed rocks in an open-pit manganese mine., Engineering Geology Vol: 57, pp 13–29.

Kahriman A., Özkan Ş.G., Sül Ö.L. and Demirci A. (2001) Estimation of the powder factor in bench blasting from the Bond work index, Min. Tech. Vol:110 (2), pp 114 -118.

Kahriman A., Ozer U., Aksoy M., Karadogan A., Tuncer G. (2006), Environmental impacts of bench blasting at Hisarcik Boron open pit mine in Turkey. Environ Geol, Vol: 50 (7) pp 1015–1023.

Khodabin M. and Hosseinitoudeshki V. (2014) Confidence interval in Kirsch equations, Int. J. Applied Math. Res., Vol : 3 (4), pp 375 – 379.

Kulatilake P.Mean particle size prediction in rock blast fragmentation using neural Networks, Engineering Geology, Vol:114, pp 298-311.Kullback S. and Leibler R.A. (1951) On Information and Sufficiency, Ann. Math. Statist. Vol : 22, pp 79 – 86.

Kuznetsov, V.M. (1973) The Mean Diameter of the Fragments Formed by Blasting Rock, Soviet Mining Science, Vol : 9 (2), pp. 144 – 148.

Langefors U. and Kihlstorm B. (1973) The Modern Technique of Rock Blasting, John-Wiley, pp 188 – 301.

Li Y., Wang Q., Chen J., Xu L. and Song S. (2015), K-means Algorithm Based on Particle Swarm Optimization for the Identification of Rock Discontinuity Sets, Rock Mech. Rock Eng. Vol: 48, pp 375-385.

Liang Q., An Y., Zhao L., Li D. and Yan L. (2011) Comparative Study on Calculation Methods of Blasting Vibration Velocity, Rock Mech. Rock Eng., Vol : 44 pp. 93-101.

Liang Q., Li J., Li D. and Ou E. (2013) Effect of Blast-Induced Vibration from New Railway Tunnel on Existing Adjacent Railway Tunnel in Xinjiang, China, Rock Mech. Rock Eng. Vol : 46, pp. 19-39.

Lu W., Yang J.H., Chen M and Zhou C. (2011) An Equivalent Method for Blasting Vibration Simulation, Simulation Modelling Practice and Theory, Vol : 19 (9) pp 2050 – 2062.

Lu W., Chen M., Geng X., Shu D and Zhou C. (2012) A study of excavation sequence and contour blasting method for underground powerhouses of hydropower stations, Tunnel. Underground Space Tech. Vol : 29, pp. 31-39.

Mahalanobis P.C. (1936) On the Generalised Distance in Statistics, Proc. Nat. Inst. Sci. of India, Vol 2 (1), pp 49 – 55.

Ma G.W. and An X.M. (2008) Numerical simulation of blasting-induced rock fractures, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol:45 pp 966-975.

Merigo J.M. and Casanovas M. (2008) The Induced Minkowski Ordered Weighted Averagıig Distance Operator, XIV Congreso Español sobre Tecnologías y Lógica fuzzy, pp. 35 – 41.

Mohammad M., Farouq H.M., Bahman M. and Nabiollah H. (2015) Use of fuzzy set theory for minimizing overbreak in underground blasting operations – A case study of Alborz Tunnel, Iran, Int. J. Min. Sci. Tech. Vol : 25, pp. 439 – 445.

Murthy, V.M.S.R., Dey, K., 2003. Predicting overbreak from blast vibration monitoring in lake tap tunnel; a success story. Fragblast 7 Vol: 3, pp 149–166.

Olofsson S.O. (1990) Applied Explosives Technology for Construction and Mining, Second Edition, pp. 304.

Paşamehmetoğlu, A.G. ve diğ., (1986) Divriği Madenleri Müessesesi Açık Ocağında Patlatma Sorunlarının Etüdü", ODTÜ, Ankara.

Pokrovsky N.M. (1980) Driving Horizontal Workings and Tunnels, Mir Publishers, pp 38 – 41.

Quinteiro, C., Quinteiro, M. and Hedström, O. (2001) Underground Iron Ore Mining at LKAB, Sweden. Underground Mining Methods, Engineering Fundamentals and International Case Studies, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., editor Hustrulid and Bullock, pp 361-368.

Ramulu M. and Rao K.R. (2013) Novel Blasting Techniques for Productivity Improvement in Hard Rock Underground Dolostone Mine, Blasting in Mines, New Trends, Ghose-Joshi (Eds.) pp. 61 – 67.

Rui-Xin Y. and Yan-Jun Shen (2015) Correlation of Revised BQ System in China and the International Rock Mass Classification Systems, J. Civ. Eng. Res. Vol : 5 (2), pp 33-38.

Sanchidrian J.A., Segarra P. and Lopez. L.M. (2007) Energy components in rock blasting, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol:44 pp 130-147.

Sarangi A.K. and Krishnamurthy P. (2008) Uranium metallogeny with special reference to Indian deposits, Transactions of Mining, Geological and Metallurgical Institute of India (MGMI), Vol: 104 pp. 19 – 54.

Sül Ö.L. (1996), Patlatma Çalışmalarında Özgül Şarj ile Bond İş İndeksi Arasındaki İlişkilerin Araştırılması, Doktora Tezi (yayımlanmamış), Cumhuriyet Üniversitesi, FBE, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, 162s. Sivas

Şallı R. (2008) Ermenek Barajı HES Gövde Kazısı Patlatmalarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Çukurova Üniversitesi, FBE, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, s 88. Adana.

Sousa, L. M. O., Del Rio, L. M. S, Calleja, L., De Argandona, V. G. R. and Rey, A. L. (2005) Influence of Microfractures and Porosity on the Physico-Mechanical Properties and Weathering of Ornamental Granites. Engineering Geology, Vol: 77, pp 153 – 168.

Swain M.J. and Ballard D.H. (1991). Colour Indexing, Int. J. Computer Vision Vol: 7 (1), pp 11 – 32.

Tesarik D.R., Hustrulid W.A. and Nyberg U. (2011) Assessment and application of a single-charge blast test at the Kiruna mine, Sweden, Blasting and Fragmentation, Vol: 5(1), pp 47-72.

Toper A.Z. (1988) Study on Blasting Parameters in TKI Open Pit Lignite Mines, A Master Thesis, ODTÜ, Ankara

Wang X.G. (2013) Development of Engineering Blasting Techniques in China, Rock Fragmentation, Sing-Sinha (Eds.) pp. 171 – 179.

Xiu-Zhi S., Jian Z., Bang-Biao W., Dan H. and Wei W. (2012) Support vector machines approach to mean particle size of rock fragmentation due to bench blasting prediction, Trans. Nonferrous Met. Soc. China Vol: 22, pp 432-441

Yan, P., Lu, W. B., Shan, Y. G., Chen, X., Zhou, Y., and Zhou, C. (2009). Detecting and study of blasting excavation induced damage of deep tunnel and its characters." Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, Vol: 28 (8), pp. 1552 – 1561.

Yan P., Lu W., Chen M., Hu Y.G., Zhou C. and Wu X. (2015) Contributions of In-Situ Stress Transient Redistribution to Blasting Excavation Damage Zone of Deep Tunnels, Rock Mech. Rock Eng. Vol : 48 pp. 715 – 726.

Yang J., Lu W., Chen M., Yan P. and Zhou C. (2013), Microseism Induced by Transient Release of In Situ Stress During Deep Rock Mass Excavation by Blasting, Rock Mech. Rock Eng. Vol: 46(4), pp 859-875.

Yang J., Lu W., Hu Y., Chen M. and Yan P. (2014) Numerical Simulation of Rock Mass Damage Evolution During Deep-Buried Tunnel Excavation by Drill and Blast, Rock Mech. Rock Eng. pp 15.

Yılmaz Ö. (2013) Galerilerde Patlatma ile Parçalanma Mekanizmasının Sayısal Yöntemle Modellenmesi ve Arazi Uygulamalarıyla İrdelenmesi, Doktora Tezi (yayımlanmamış), FBE Bülent Ecevit Üniversitesi, 405s., Zonguldak.

Yılmaz Ö. And Ünlü T. (2014) An application of the modified Holmberg Persson approach for tunnel blasting design, Tunnel. Underground Space Tech. Vol: 43, pp. 113 – 122.

Yılmaz Ö. (2015) Sözlü Görüşme.

Zhou, J. M., Dang, Z., Cai, M. F., & Liu, C. Q. (2007). Soil heavy metal pollution around the Dabaoshan mine, Guangdong province, China. Pedosphere, Vol : 17, pp 588 – 594.

Zhou, M. F., Zhao, J. H., Jiang, C. Y., Gao, J. F., Wang, W., and Yang, S. H. (2009). OIB-like, heterogeneous mantle sources of Permian basaltic magmatism in the western Tarim basin, NW China: Implications for a possible Permian large igneous province. Lithos, Vol : 113, pp 583 – 594.

Zhou C., Liu Y. Jiang N., Zhang D. and Lu S. (2014) Property of a New Similiar Material for Physical Model of Daye Iron Mine in China, Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Vol : 19, pp. 10477 – 10488.

Eti Bakır A.Ş. Küre Yeraltı İşletmesi'nde Gerçekleştirilen Patlatma Uygulamalarının İncelenmesi

Investigation of Underground Blasting Applications in Eti Bakır A.Ş. Kure Underground Mine

G. Demir, M. Yılmaz, M. Şen

Eti Bakır A.Ş. Yeraltı İşletmesi,Cengiz Holding

ÖZET Eti Bakır A.Ş. KüreYeraltı İşletmesi'nde yeraltı kazıları delme patlatma ve arakatlı göçertme yöntemi ile yapılmaktadır. Yer altı patlatma işlemleri, cevher aynalarında, pasa aynalarında ve katlar arası göçertme patlatmaları olmak üzere üç ana başlıkta incelenmiştir. Bu atımlar yerinde takip edilerek kullanılan malzemeler, çalışma yöntemi ve atımların sonuçları takip edilmiş olup atımlar hakkında bilgiler hazırlanmıştır.

ABSTRACT Underground copper mining at Küre Mine of Eti Bakır A.Ş. have been conducted by a combination of drilling - blasting and sublevel stoping method. Underground blasting operation have been investigated under three main categories: Ore faces, waste faces, and sublevel stoping blasting. Those blasting activities had been followed and used blasting materials, working methods and blasting results are summurized at below study.

1 GİRİŞ

Madencilik, tünel, yol ve inşaat çalışmaları başta olmak üzere birçok sektörde delme-patlatma çalışmaları olmazsa olmazdır. Teknolojik gelişmelerle birlikte patlayıcı sektörüde gelişmekte, ihtiyaçlar eksiksiz ve daha güvenli bir biçimde karşılanmaktadır. Küre yeraltı işletmesindeki yeraltı hazırlık ve üretim çalışmalarının büyük bir bölümü patlatma çalışmaları ile yapılmaktadır. Patlatma sonucunda istenilen ilerleme, ayna kesitinin düzgünlüğü ve kırılan malzemenin tane boyutu patlatma verimimizin temelini oluşturmaktadır. Patlatmanın sonrasında yapılacak olan nakliye ve tahkimat gibi çalışmalarda göz önünde bulundurularak en uygun patlatma planı hazırlanması önem arz etmektedir. Buna bağlı olarak patlatma sektöründeki gelişmeler yakından takip edilmekte en uygun malzeme seçimi ve yöntemi uygulanarak verimli bir patlatma hedeflenmektedir.

2 KÜRE YERALTI İŞLETMESİ

Kastamonu Küre Yeraltı İşletmesi'nde 3 açık ve 1 yeraltı madeni ile üretime başlamıştır. Günümüzde açık ocak üretimi tamamlanmış üretim sadece yeraltından yapılmaktadır. Yeraltı ocağı Bakibaba, Aşıköy-1 ve Aşıköy-2 olmak üzere üç sektörden oluşmaktadır. Ancak Aşıköy-1 ve Aşıköy-2 sektörlerindeki rezervlerin 2015 yılı sonuna kadar tükenecek olması sebebiyle esas üretim bölgesi hazırlık çalışmaları halen devam eden Bakibaba bölgesinde olacaktır. Bakibaba işletmesinde üretimi yapılan madenin nakli, 2013 yılında tamamlanan, 960 metre uzunluğundaki, hazırlık çalışmaları halen devam eden ve 2015 yılının sonunda çalışmalarının tamamlanması planlanan kuyu ile gerçekleştirilecektir. Bu kuyu Türkiye sınırları içerisinde açılan en derin kuyu olma ayrıcalığına sahiptir.

2.1 Bölgesel Jeoloji

Küre Formasyonu'na ait serpantinit, gabro-diyorit ve bazalt birimlerinden cevherin konumu ile ilişkili olarak bazalt birimi içerisinde çalışılmaktadır. Bazaltlar Küre bölgesinde oldukça yaygınlardır. Stockwork cevherleşmenin ana kayacını ve masif (pirit-kalkopirit) zonun ise taban ve örtü kayacını oluştururlar. Ağsal saçınımın ana kayacı olan bazalt bölgelerinde kloritleşme, killeşme, serizitleşme, silisleşme, karbonat ve kuvars damarları ile yer yer dissemine pirit, spekülarit ve manyetit görülmektedir. Ağsal saçınımlı bazaltlar üste doğru masif zon olarak devam eder. Aşıköy cevher yatağında bu zon Siyah Şeyl tarafından örtülürken, Bakibaba yatağında ise daha genç bazaltlar tarafından örtülmektedir. Aşıköy ve Bakibaba yatakları arasında kalan bölgeyi genç bazaltlar, yastık lavlar ve breşler kaplamaktadır. Siyah Şeyl çökel kayacı Aşıköy yatağında yaklaşık 150 m kalınlığındadır. Gri-Siyah renkte ve ince taneli ve ince tabakalıdır. Bazalt, Siyah Şeyl dokanağında Bazalt breşleri gözlenmektedir. Bölgedeki tektonizma, yatakta kıvrımlanma olarak gözlenmektedir. Kıvrım eksenleri kabaca K-G yönlüdür. Aşırı deforme olmuş koyu renkli bazalt biriminin bu kıvrımlanmalar nedeniyle olduğu düşünülmektedir.

2.2 Bakibaba Yeraltı Ocağı

Bakibaba ocağında 2007 yılında hazırlık çalışmaları başlamış olup 2012 yılında da üretim çalışmalarına başlanmıştır. Ocakta üretim cevher içinde sürülen galeriler ve bu galerilere paralel olarak sürülen alt galerilerin arakat göçertmesi ile gerçekleştirilmektedir. Tam mekanize çalışılan ocakta galeri ilerlemeleri delme-patlatma metodu ile yapılmaktadır. Delme-patlatma sonucu elde edilen cevher yeraltı kamyonları ile yeraltı kırıcı ünitesine taşınmakta. Burada uygun boyuta indirilen cevher yatay ve dikey bantlarla cevher hazırlama tesisine gönderilmektedir.

3 YER ALTI DELME-PATLATMA UYGULAMALARI

Küre Yeraltı İşletmesi'nde Pasa aynalarında, Cevher aynalarında ve Katlar Arası göçertmelerde olmak üzere 3 farklı paternde delme ve patlatma yapılmaktadır. Cevher ve pasa aynalarında patlatma yöntemi Paralel delik yöntemidir. Üretim delikleri birbirine paralel delinmekte ve buna ek olarak genişletme delikleri (serbest yüzey oluşturma amacıyla) açılmaktadır. Üretim deliklerinin çapı 48mm, genişletme deliklerinin çapı ise 102mm'dir. Katlar arası göçertme için açılan üretim delikleri 76mm-89mm, genişletme delikleri ise 152mm olarak açılmaktadır. Katlar arası dolum üst kattan aşağı doğru veya alt kattan yukarı doğru (baş yukarı) olacak şekilde 2 türlü yapılabilmektedir. Patlayıcı madde şarjı sadece üretim deliklerine yapılmakta, genişletme delikleri ise serbest yüzey oluşturmak amacıyla açıldığı için bu deliklere patlayıcı şarjı yapılmamaktadır.

3.1 Yeraltı Delme Uygulamaları

Eti Bakır A.Ş. de hazırlık ve üretim işlerinde ayna, serbest yüzey (slot) ve sıra delgisi olmak üzere 3 ayrı şekilde delgi gerçekleştirilmektedir. Patlatılacak olan zemine uygun çap ve uzunluktaki delikler Jumbo (Şekil-1) veya Simba (Şekil-2) delicileri ile delinmektedir.

Ayna delgilerindeki delikler 48mm, 64mm (patar atımlarında) ve 102mm çaplarında delinmektedir. Delik uzunlukları ise 4.30 m, 3.70 m, 2.80 m ve 1.80 m dir. Aynalar delikleri paralel orta kesme yöntemine uygun olarak delinmektedir. Delik sayıları hazırlık galerileri ve maden galerilerinde değişmektedir.

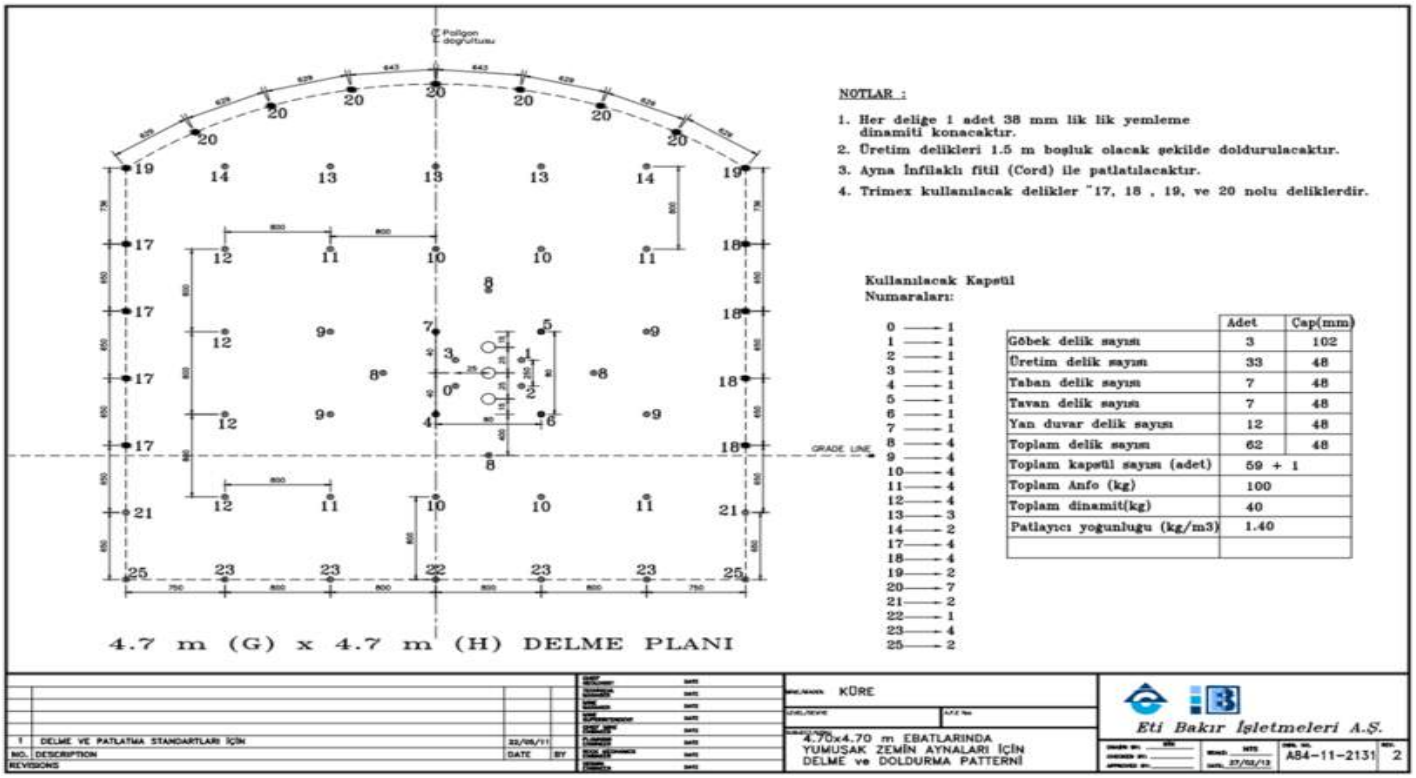
İşletmede yapılan çalışmalar sonucunda pasa ve cevher aynaları için ayrı ayrı delgi ve dolum düzenleri tasarlanmıştır. Pasa aynaları 5.0mx5.0m boyutlarında olup cevher aynaları ise 7.0mx5.0m boyutlarındadır.

Şekil 1. Jumbo (Atlas Copco Rocket Boomer-282)

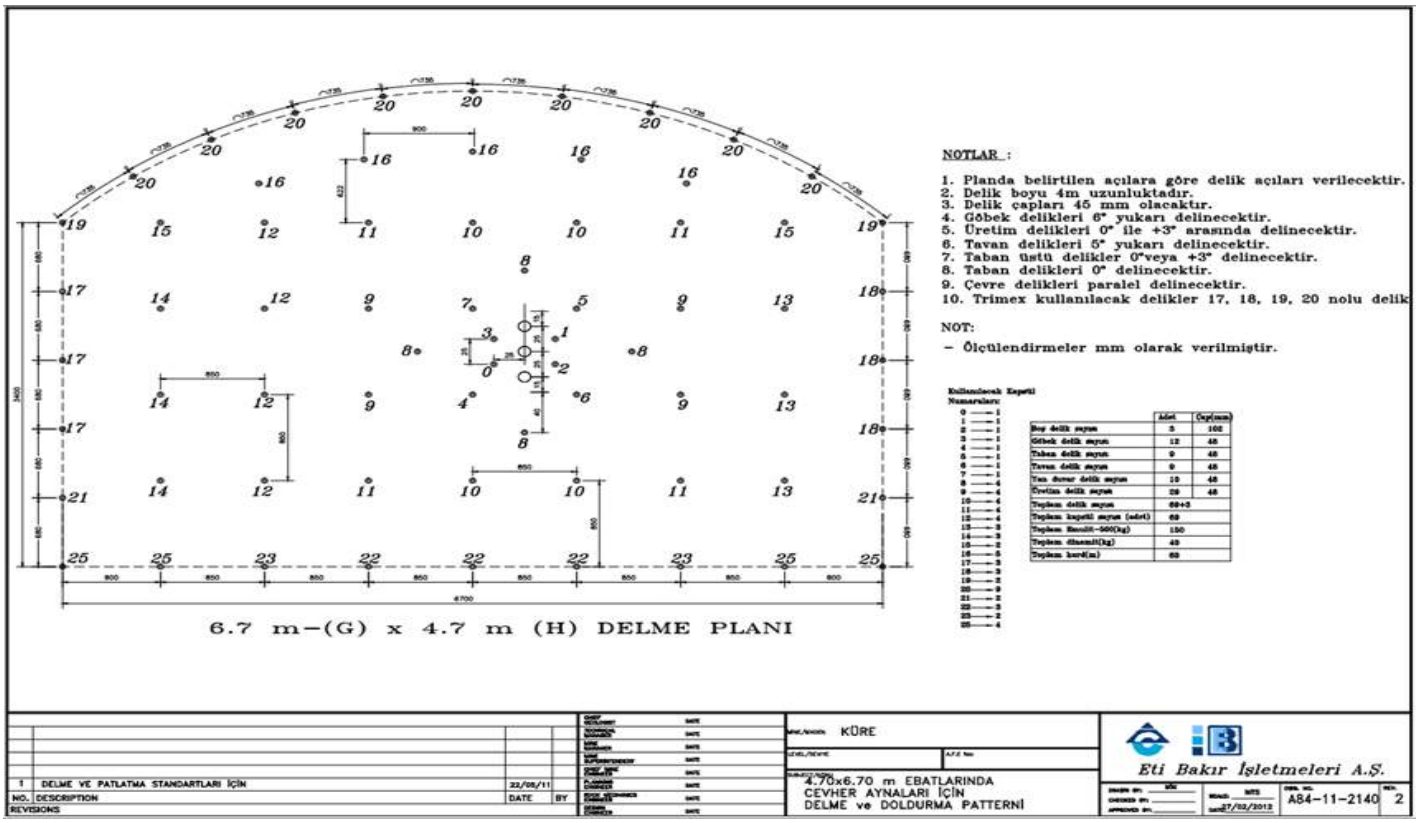
Şekil 2. Simba (Atlas Copco Simba ME7C)

Galeri kesitlerinin bu şekilde olmasının sebebi kullanılan makine ve ekipmana uygunluk, hedeflenen yıllık üretim miktarı ve kaya mekaniği ilkeleridir. İlerleyen dönemlerde üretim planına göre cevher aynalarının kesitlerinde değişiklik düşünülmektedir.

Cevher ve pasa galerilerinde uygulanmakta olan delik düzeni, kapsül sırası ve patlayıcı miktarları Şekil-3 ve Şekil-4'de ayrı ayrı gösterilmiştir.

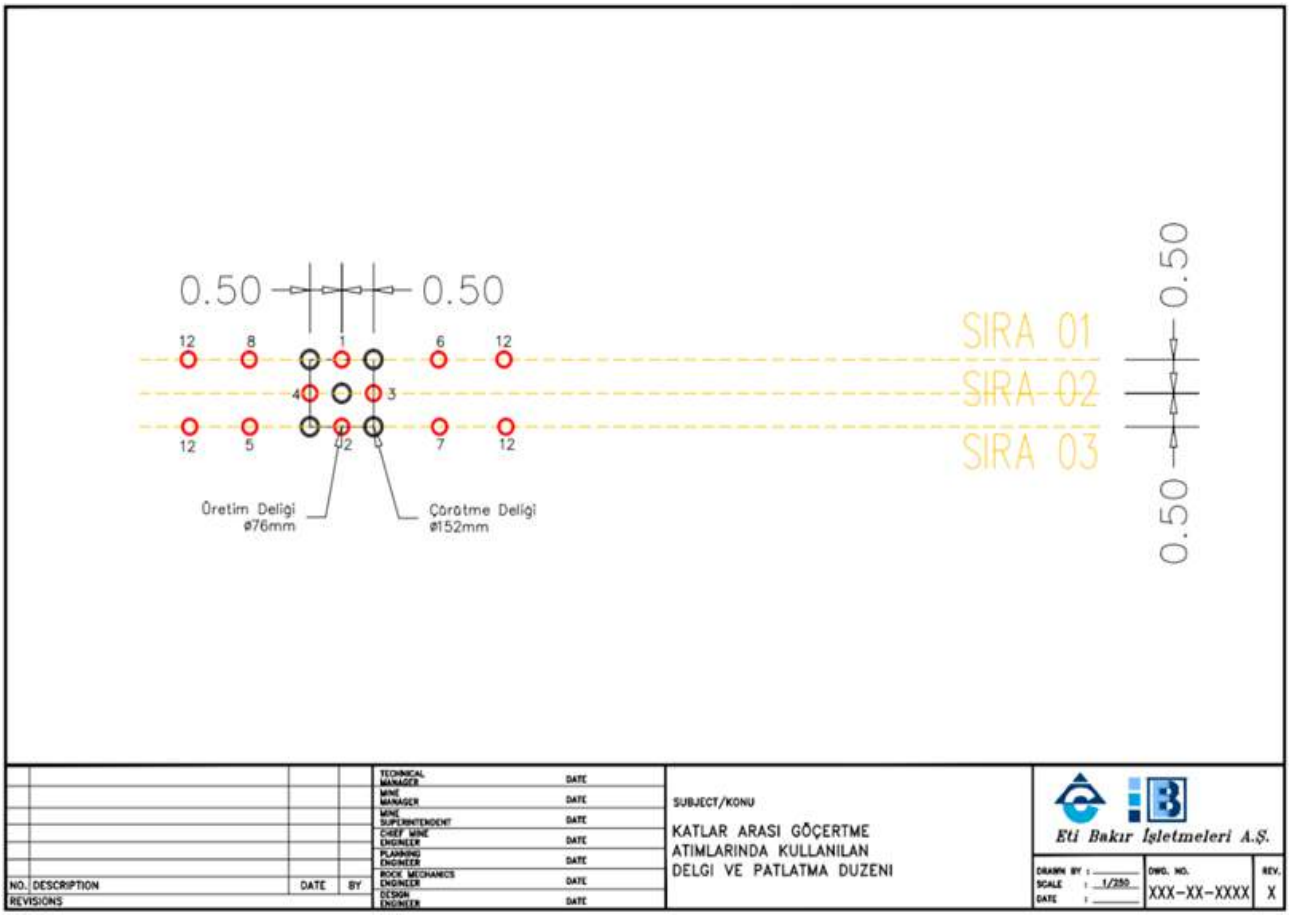


Şekil 3. Hazırlık galerisi paterni

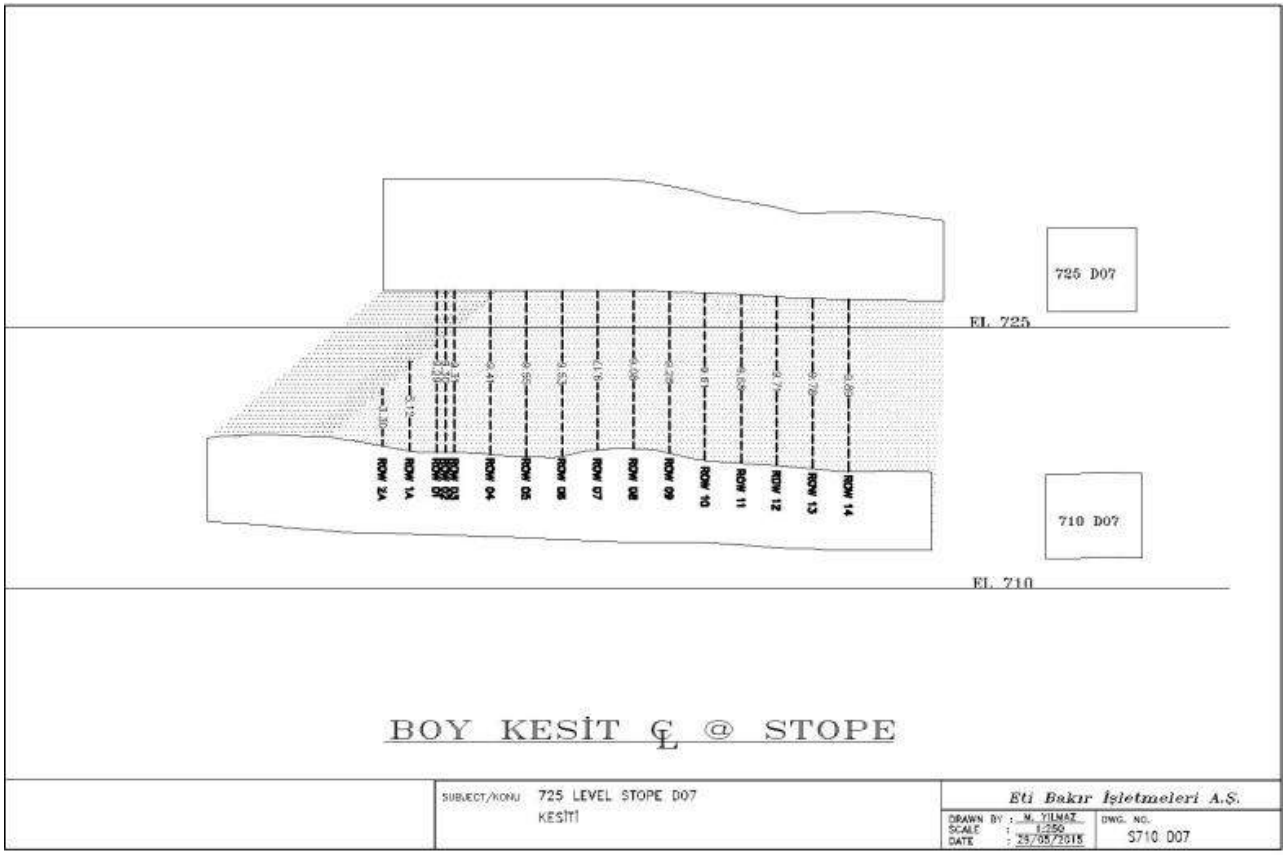


Şekil 4. Cevher galerisi paterni

Katlar arası delgilerdeki delikler 76mm, 89mm ve 152mm çaplarında delinmektedir. Delik uzunlukları cevher sınırına göre değişmekte olup bir tij (speed rod) uzunluğu 1.80m dir. Katlar arası delikleri slot atımına uygun şekilde delinmektedir. Delik sayıları zemin özelliklerine göre değişiklik göstermektedir.



Şekil 5. Kat arası slot plan



Şekil 6. Kat arası sıra kesit

3.2 Yeraltı Patlatma Uygulamaları

Küre Yeraltı İşletmeleri'nde ilerleme ve üretim delme-patlatma ile gerçekleşmektedir. İlerlenecek ayna ve üretimi yapılacak kat arası (stopelar) delindikten sonra dolum için hazırlanır. Patlatma işleminde, 36x420 mm Dinamit, ANFO, ANFO-S (Islak Anfo), Kontur, Nonel Kapsül, İnfilaklı Fitil (10gr), Elektrikli Kapsül ve Zil Teli kullanılır. Patlayıcı miktarlar ilerleme ve üretim türlerine göre değişmektedir. Öncelikli kullanım ANFO dan yana olup deliklerin su durumuna göre şarj sadece dinamit ile gerçekleştirilir. Ayna ve katarası (slot) dolumlarında NORMET CARMEC 1610B makinası kullanılmaktadır.

Şekil 7. Normet Charmec Ayna Dolumu

Şekil 8. Normet Charmec Katarası (Slot) Dolumu

3.2.1 Pasa Aynalarında Patlatma

Yeraltındaki cevhere ulaşabilmek için gerek taban taşında gerekse tavan taşında rampa sürülmektedir. Rampaya ek olarak kılavuz bağlantı (X-cut) yolları ve kılavuzlar sürülmektedir. Sürülen bu galeriler 5mx5m olarak bazalt veya siyah şeyl lokasyonlarında sürülmektedir. Bu tür zeminlerdeki patlatmalar "Pasa Aynası Patlatmaları" olarak adlandırılır. Tek seriden kullanılan kapsül miktarı 10 adettir. Anlık şarj 10 deliğe göre hesaplanmıştır. 510 orepass pasa aynasında yapılan patlatmalara ait bilgiler Çizelge-1 ve Çizelge-2 de verilmiştir.

Çizelge 1. 510 orepass patlatmalarına ait patlayıcı miktarları

510 Orepass da Yapılan Patlatmalarda Kullanılan Patlayıcı Madde Miktarları							
Atımlar	Delik Sayısı (adet)	Dinamit (kg)	Anfo (kg)	Trimex (kg)	İnf. Fitil (metre)	Nonel Kapsül (Adet)	Elektrikli Kapsül (Adet)
Atım 1	63	60	150	10	45	63	1
Atım 2	57	60	160	10	35	57	1
Atım 3	56	50	150	8	30	56	1
Atım 4	57	50	125	10	30	57	1
Atım 5	54	140	0	5	30	54	1

Çizelge 2. 510 orepass patlatmaları atım sonuçları

510 Orepass Yapılan Patlatmalara Ait Bilgiler					
Atımlar	Delik Uzunluğu (metre)	İlerleme-Metraj (metre)	Hacim-Kübaj (m^3)	Özgül Şarj (kg/m^3)	Anlık Şarj (kg)
Atım 1	4	3.86	89.6	2.46	34.9
Atım 2	4	3.74	86.8	2.65	40.4
Atım 3	4	4.02	93.3	2.23	37.1
Atım 4	4	4.08	94.6	1.96	32.5
Atım 5	4	3.86	89.5	1.62	26.9
Ortalama Değerler	4	3.91	90.76	2.18	34.36

3.2.2 Cevher Aynalarında Patlatma

Maden yüzeyine ulaştıktan sonra maden zonundan çıkana kadar cevher lokasyonunda ilerleme yapılır. Tüm bu ilerlemeler delme-patlatmayla gerçekleştirilir. Bu patlatmalara "Cevher Aynalarında Patlatma'' denmektedir (Şekil-7). Galeri kesiti 5mx7m olarak açılır. Tek seriden kullanılan kapsül miktarı 10 adettir. Anlık şarjımız 10 deliğe göre hesaplanmıştır.

645GB15 (645 Güney Batı 15) cevher aynasında yapmış olduğumuz patlatmalara ait bilgiler Çizelge-4 ve Çizelge-5 de verilmiştir.

Çizelge 4. 645GB15 patlatmalarına ait patlayıcı miktarları

645 GB15 de Yapılan Patlatmalarda Kullanılan Patlayıcı Madde Miktarları							
Atımlar	Delik Sayısı (adet)	Dinamit (kg)	Anfo (kg)	Trimex (kg)	İnf. Fitil (metre)	Nonel Kapsül (Adet)	Elektrikli Kapsül (Adet)
Atım 1	54	50	100	4	25	54	1
Atım 2	56	55	85	10	30	56	1
Atım 3	72	90	175	10	40	72	1
Atım 4	79	80	200	10	40	79	1
Atım 5	83	100	250	15	50	83	1

Çizelge 5. 645 GB15 patlatmaları atım sonuçları.

645 GB15 Yapılan Patlatmalara Ait Bilgiler					
Atımlar	Delik Uzunluğu (metre)	İlerleme-Metraj (metre)	Hacim-Kübaj (m³)	Özgül Şarj (kg/m³)	Anlık Şarj (kg)
Atım 1	2.8	2.54	69.28	2.22	28.5
Atım 2	3.7	2.07	69.56	2.16	26.8
Atım 3	3.7	2.64	91.53	3.00	38.2
Atım 4	4	3.04	144.32	2.01	36.7
Atım 5	4	4.38	143.82	2.54	44.0
Ortalama Değerler	3.64	2.93	103.70	2.39	34.84

Şekil 9. Dolum Yapılmış Ayna

3.2.3 Katarası (Slot-Sıra) Patlatmaları

Sürülen maden galerileri tavan taşına veya taban taşına ulaşıp maden üretimi tamamlandıktan sonra kat arası (stope) üretimine geçilmektedir. Bu üretimin gerçekleşmesi için alt ve üst galeri arasına Simba ile ilk olarak serbest yüzey oluşturmak için slot delikleri delinip (Şekil-5) patlatılır. Daha sonra serbest yüzeyin oluşmasının ardında sıra delgileri (Şekil-6) ve atımlarına geçilir. (Şekil-8)

S710 K04 kat arası için yapılmış olan patlatmalara ait bilgiler aşağıdaki Çizelgelarda verilmiştir.

Çizelge 7. S710 K04 slot ve sıra patlatmalarına ait patlayıcı miktarları.

710 K04 Katarsı Patlatmalarda Kullanılan Patlayıcı Madde Miktarları						
Atımlar	Delik Sayısı (adet)	Dinamit (kg)	Anfo (kg)	İnf. Fitil (metre)	Nonel Kapsül (Adet)	Elektrikli Kapsül (Adet)
Slot 1	27	20	1125	40	54	1
Slot 2	20	120	900	30	36	1
Sıra 1	12	80	650	20	24	1
Sıra 2	6	60	400	20	12	1
Sıra 3	5	30	275	10	10	1
Sıra 4	6	20	120	20	6	1
Sıra 5	6	30	175	20	12	1
Sıra 6	6	30	175	20	12	1

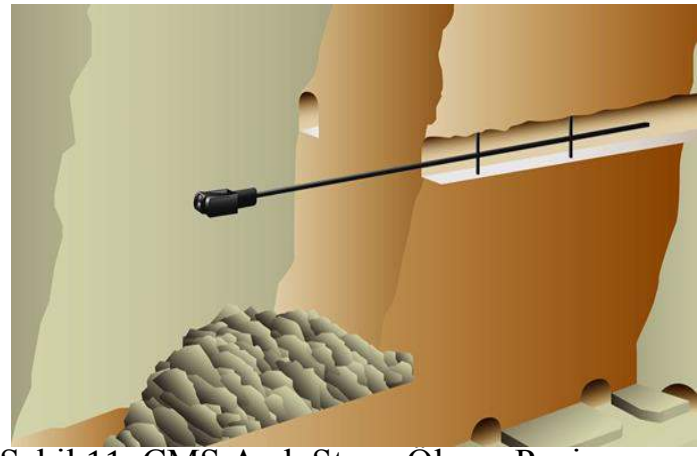
Çizelge 8. S710 K04 patlatmaları atım sonuçları.

S710 K04 Stope Yapılan Patlatmalara Ait Bilgiler			
Atımlar	Toplam Patlayıcı (kg)	Hacim-Kübaj (m^3)	Özgül Şarj (kg/m^3)
Slot 1	1145	277.47	4.13
Slot 2	1020	244.82	4.17
Sıra 1	730	841.1325905	0.87
Sıra 2	460	517.6200557	0.89
Sıra 3	305	355.8637883	0.86
Sıra 4	140	155.2860167	0.90
Sıra 5	205	226.4587744	0.91
Sıra 6	205	226.459	0.91
Ortalama Değerler	526.25	355.64	1.70

Şekil 10. Dolum Yapılan Slot

4 YER ALTI PATLATMALARININ HACİMSEL OLARAK İNCELENMESİ

Yeraltında yapılan ayna, slot ve sıra patlatmaları, atım yapılmadan önce ve atım yapıldıktan sonra CMS (Cavity Monitoring System) (Şekil-11, Şekil-12) cihazı ile ölçülerek 3 boyutlu model görüntüleri bilgisayar programlarına aktarılır. Daha sonra bu programlar yardımı ile yapılan atımların hacimsel ve metraj olarak verimleri gözlenir ve kayıt altına alınır.



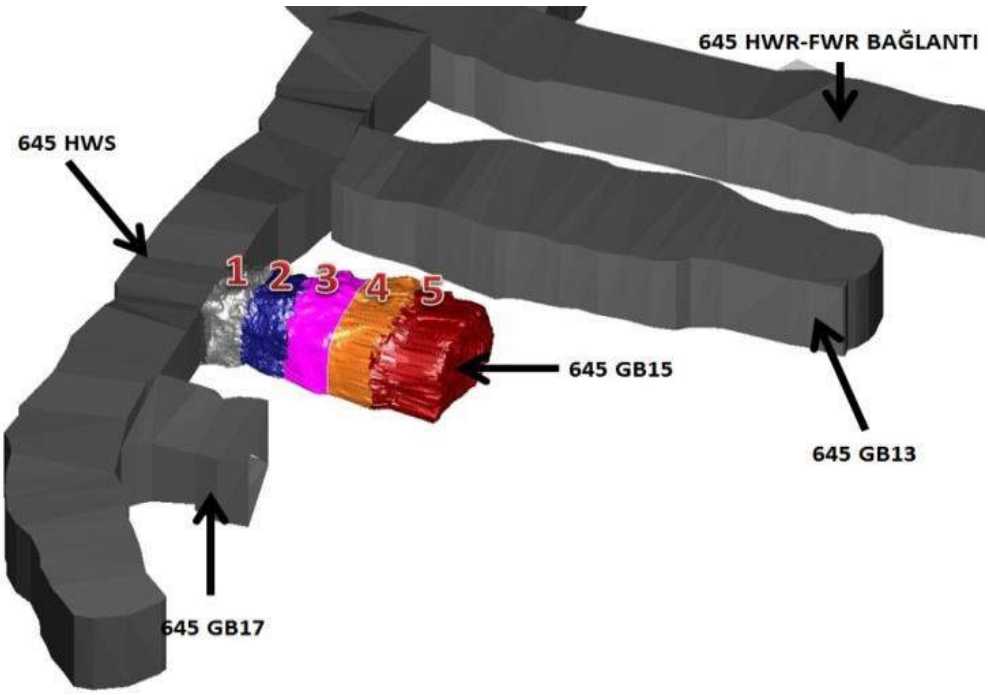
Şekil 11. CMS Açık Stope Ölçme Pozisyonu

Şekil 12. CMS Açık Stope Ölçme Pozisyonu

4.1 Ayna Atımlarının Hacimsel Olarak İncelenmesi

Yeraltında yapılan ayna atımları (cevher ve pasa aynaları) yukarıda bahsedildiği gibi atımlardan önce ve sonra ölçme ekibi tarafından ölçülerek verileri bilgisayar ortamına taşınır. Bu veriler bilgisayar ortamında işlenerek atımlarda elde edilen verim (ilerleme, koparılan hacim, tonaj vb.) incelenir.

Çalışmanın yapıldığı 645 GB15 aynasına ait ölçümler aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 13. 645 Aynasının Atımlara Göre CMS Ölçümleri

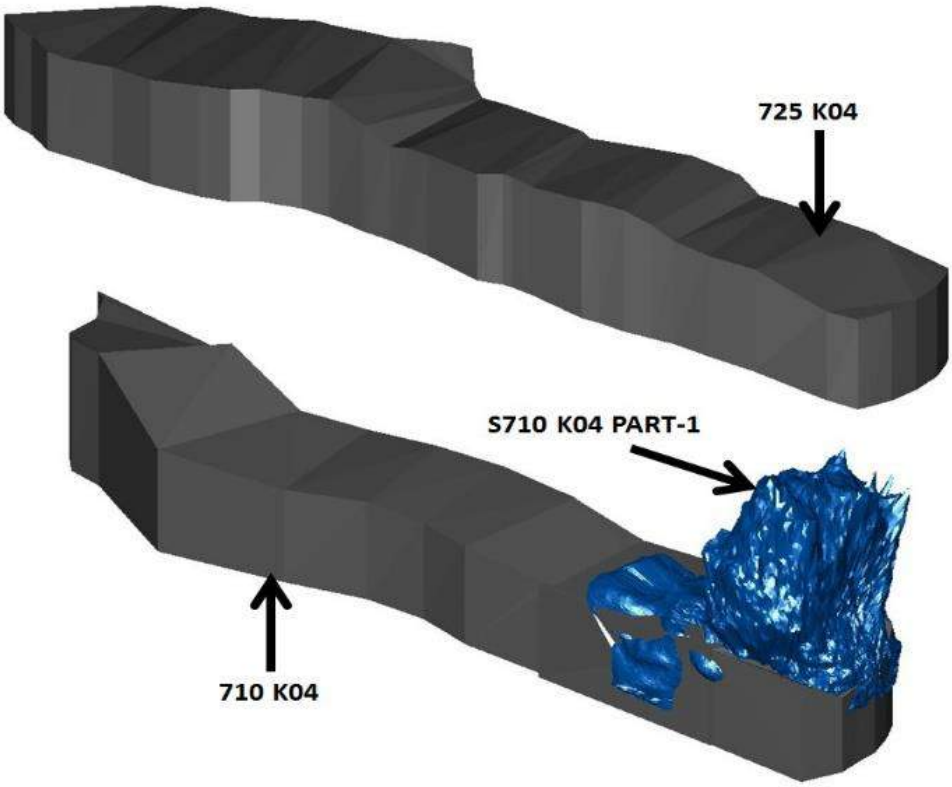
Çizelge-10. 645 GB15 Aynasına Ait CMS Ölçüm Sonuçları

645 GB15 Yapılan Patlatmalara Ait Ölçümler			
Atımlar	Delik Uzunluğu (metre)	İlerleme-Metraj (metre)	Hacim-Kübaj (m³)
Atım 1	2.80	2.54	69.28
Atım 2	3,70	2.07	69.56
Atım 3	3,70	2.64	91.53
Atım 4	4,00	3.04	144.32
Atım 5	4,00	4.38	143.82

4.2 Slot ve Sıra Atımlarının Hacimsel Olarak İncelenmesi

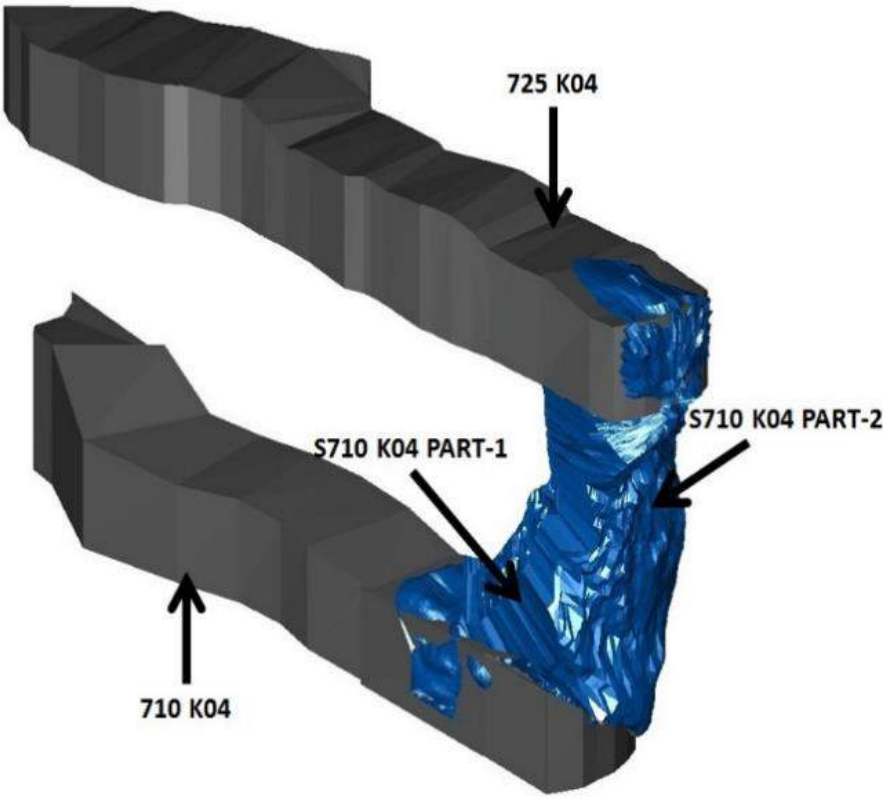
Yeraltında yapılan slot ve sıra atımları sadece cevher üretimi için yapılır. Extra olarak (CWF İstasyonu, Kırıcı Ünitesi, Silolar, Orepass, Havalandırma Kuyuları vb.) cevher olmayan lokasyonlarda da boşluk oluşturmak için slot atımları yapılabilmektedir. Bu tür atımlardan önce ve atım yapıldıktan sonra da Ölçme Ekibi tarafında ölçümler alınıp bilgisayar programlarına aktarılır. Daha sonra bu veriler işlenerek elde edilen verim (oluşan açıklık, koparılan hacim, tonaj vb.) incelenir.

Çalışmanın yapıldığı S710 K04 kat arasına ait CMS ölçümleri aşağıda gösterilmiştir.

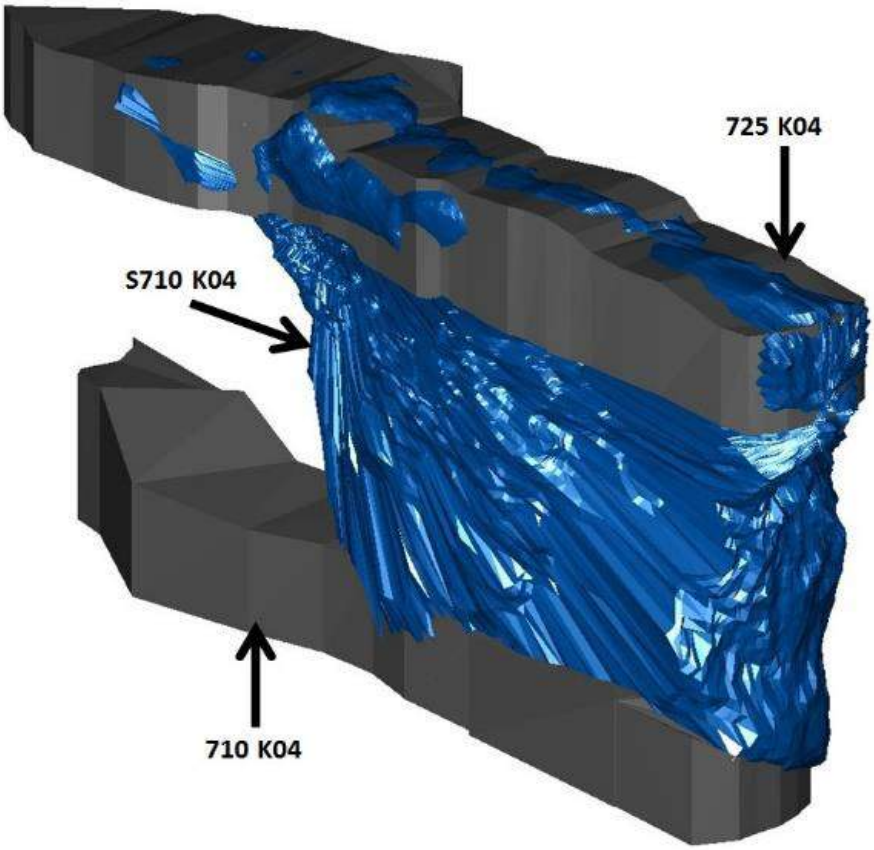


Şekil 14. S710 K04 Kat Arası Part-1 Slot Atımı CMS Ölçümleri

Katlar arası slot atımlarında yükseklik iki kısma bölünüp part-1 ve part-2 olmak üzere 2 atım gerçekleşir.



Şekil 15. S710 K04 Kat Arası Part-2 Slot Atımı CMS Olçümleri



Şekil 16. S710 K04 Kat Arası Slot+Sıra Atımları CMS Olçümleri

Çizelge 11. S710 K04 Ara Katına Ait CMS Ölçüm Sonuçları

S710 K04 Stope Yapılan Patlatmalara Ait Bilgiler				
Atımlar	Toplam Patlayıcı (kg)	Delik Sayısı (adet)	Delik Uzunluğu (m)	Hacim-Kübaj (m³)
Slot 1	1145	12	7	277.47
Slot 2	1020	12	7	244.82
Sıra 1	730	6	14	841.133
Sıra 2	460	6	14	517.62
Sıra 3	305	5	14	355.864
Sıra 4	140	5	14	155.286
Sıra 5	205	5	14	226.459
Sıra 6	205	5	14	226.459
TOPLAM	**4210**	**56**	**98**	**2845.11**

5 SONUÇ

Yapılmış olan yeraltı patlatma çalışmaları başka çalışma bölgelerinin birçok faktörüne bağlı olarak farklılıklar gösterebilir.

Eti Bakır A.Ş. Küre Yeraltı İşletmelerinde yapılan çalışmalar da 645 GB15 aynası, 510 Orepass (başyukarı galerisi) aynası ve S710 K04 Kat Arası seçilmiş ve atımlar yerinde takip edilmiştir. Bu çalışmada atımlarda kullanılan toplam patlayıcı miktarı, bir atımda gerçekleşen ilerleme mesafesi, bir atımda koparılan hacim incelenmiştir.

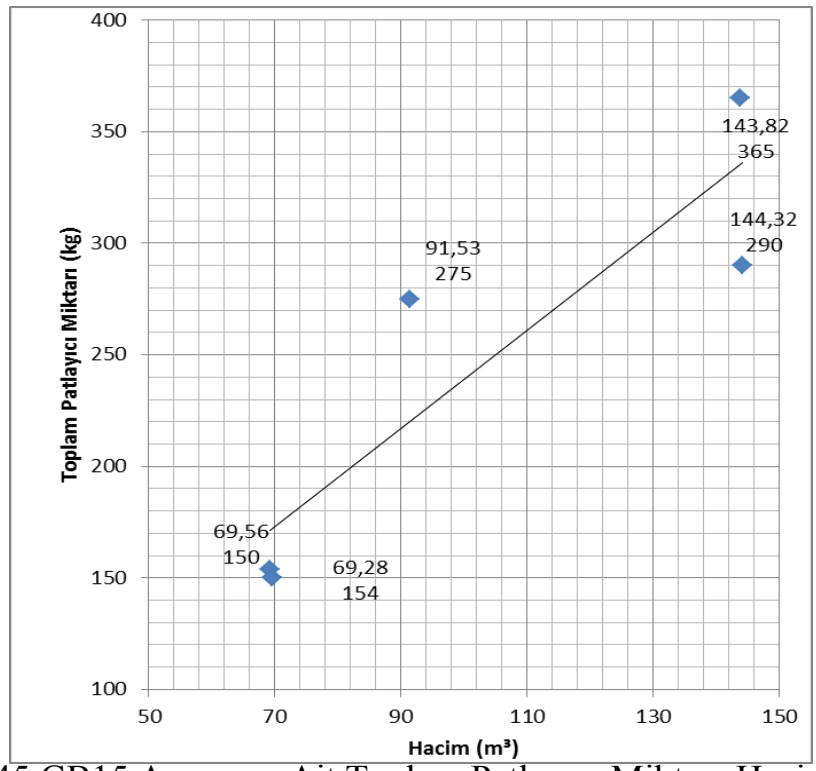
Maden-Operasyon ve Ölçme ekibiyle yapılan çalışmalar sonucunda tüm atımların toplam patlayıcı miktarı-koparılan hacim ilişkisi incelenmiş olup grafiğe aktarılmış ve Eti Bakır A.Ş Yeraltı İşletmeleri için bir standarda ulaşılmıştır.

Yapmış olduğumuz grafiksel yaklaşım Eti Bakır A.Ş. küre yer altı işletmesi içinde yapmış olduğumuz çalışmaya ait olup bu yaklaşım başka çalışma bölgeleri için geçerli olmayabilir.

Yapılan bu çalışmalara göre sonuçlar aşağıdaki gibidir.

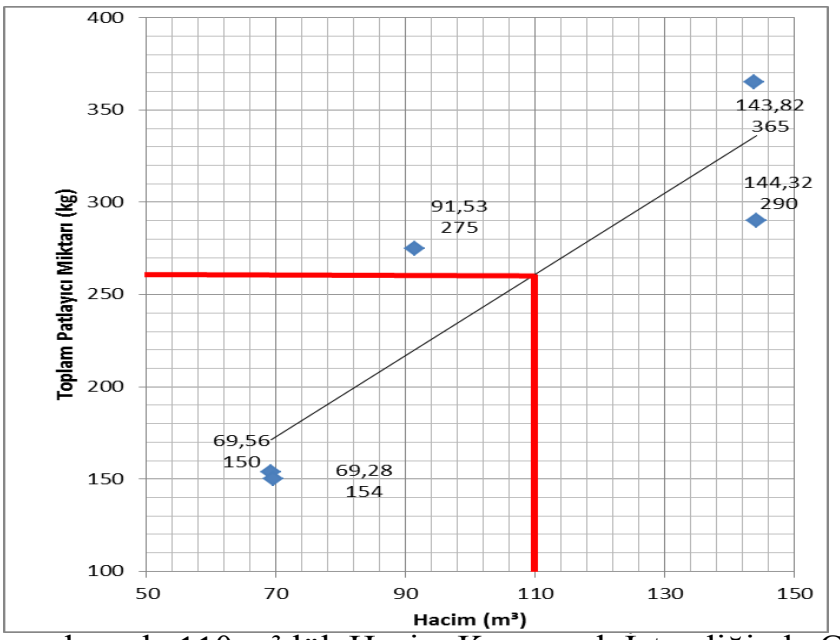
Çizelge 12. 645 GB15 ve S710 K04 Atımlarına Ait Genel Bilgiler

645 GB15 ve S710 K04 Patlatmalara Ait Bilgiler				
Atımlar	Toplam İlerleme (m)	Toplam Hacim (m³)	Toplam Patlayıcı Miktarı (kg)	Ortalama Özgül Şarj (kg/m³)
645 GB15	14,67	518	1234	2,38
510 Orepass	19,56	453,8	988	2,18
S710 K05	-	2845,11	4210	1,48



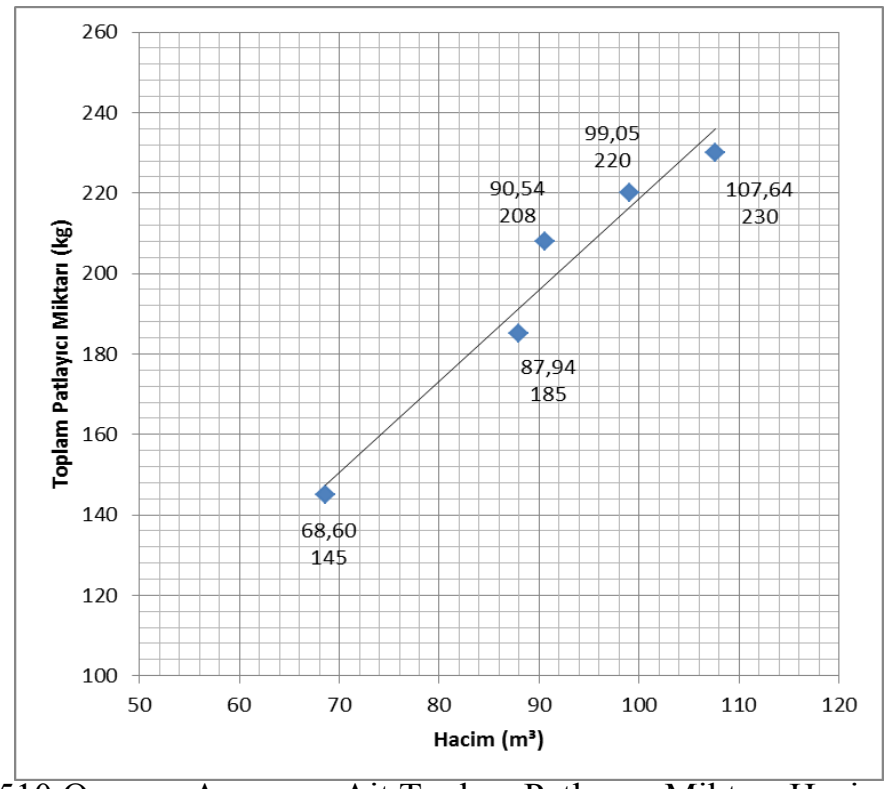
Şekil 16. 645 GB15 Aynasına Ait Toplam Patlayıcı Miktarı-Hacim Grafiği

Yapılan ayna atımları çalışmasında 5 atım ele alınıp yukarıdaki grafiğe ulaşılmıştır. (x = Kopartılmak istenen hacim, y = Toplam patlayıcı miktarı).



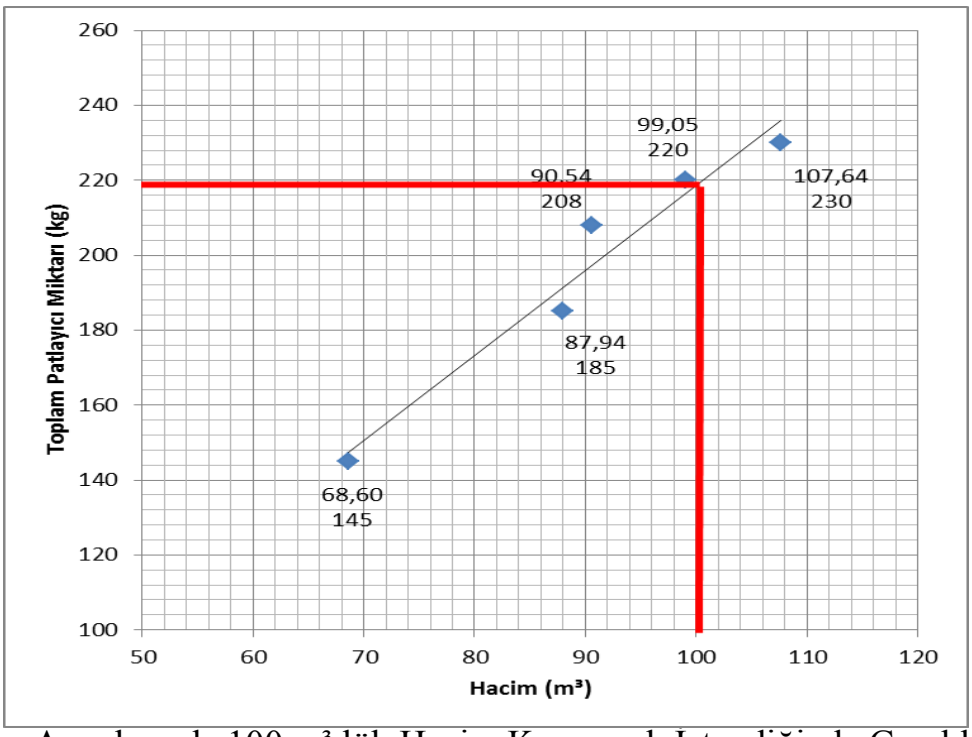
Şekil 17. Cevher Aynalarında 110 m³ lük Hacim Koparmak İstendiğinde Gerekli Patlayıcı Miktarı Grafiği

Buna göre cevher aynalarımızda 110 m³ lük bir hacim koparılmak istenirse, **x = 110 m³** yaklaşık **y = 260** kg lık patlayıcı kullanılması gerekmektedir.



Şekil 18. 510 Orepass Aynasına Ait Toplam Patlayıcı Miktarı-Hacim Grafiği

Yapılan ayna atımları çalışmasında 5 atım ele alınıp yukarıdaki grafiğe ulaşılmıştır. (x = Kopartılmak istenen hacim, y = Toplam patlayıcı miktarı).



Şekil 19. Pasa Aynalarında 100 m³ lük Hacim Koparmak Istendiğinde Gerekli Patlayıcı Miktarı Grafiği

Buna göre cevher aynalarımızda 100 m³ lük bir hacim koparılmak istenirse, **x = 100 m³** yaklaşık **y = 218** kg lık patlayıcı kullanılması gerekmektedir.

Galeri kesitlerinin dar olması (5mx7m, 5mx5m) ve çalışılan zeminin şartları özgül şarj değerinde değişiklikler göstermektedir. Kopartılan hacim sabit tutulmak şartı ile patlayıcı miktarlarını azaltıp aynı düzeyde verim alma çalışmaları devam etmektir.

Kat arası yapılan patlatmalarda özgül şarj 1.48 kg/m³ dir. Slot atımları, hem delik sayısı fazlalığı hem de serbest yüzey oluşturma amaçlı yapıldığından kullanılan patlayıcı miktarı fazla olmaktadır.

Bu nedenlerden dolayı grafik üzerinden konuşmak verimli olmayacağı için slot ve sıra atımlarının sonuçları grafiğe aktarılmamıştır.

KAYNAKLAR

Blasting and Explosives Quick Reference Guide, 2011, *Dyno Nobel, South Africa.* (17-37 s.).

5. Delme Patlatma Sempozyumu Bildirgeler Kitabı, 2007, *TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara.* (37-48 s.).

Olofsson, Stig O.,1988. *Applied Explosives Technology for Construction and Mining*, Arla, Sweden, (131-147 s.).

Proceedings of the Thirty-eighth Annual Conferance on Expolsives and Blasting Technique, 2012, *International Society of Explosives Engineers, Marvel Loch - Core and Shell Mass Blast USA.* (1-10 s.).

Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık Açık Ocağındaki Dekapaj Patlatmalarından Kaynaklı Çevresel Etkilerin İncelenmesi

The Research of Environmental Effects Arising From Blasting Activities of Pickling Process in Hisarcık Open Pit Mines of Emet Boron Works

M.E. Özen

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Emet Bor İşletme Müdürlüğü, Hisarcık Açık Ocak Üretim Sorumlusu, Emet, Kütahya

R. Bütüner

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Üretim ve Koordinasyon Daire Başkanlığı

Z. Keti

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Emet Bor İşletme Müdürlüğü, Emet Bor İşletme Müdür Yardımcısı, Emet, Kütahya

ÖZET Açık işletmelerde yapılan patlatma faaliyetlerinden kaynaklı çevresel sorunlar, madencilik faaliyetlerinin sürdürülebilirliği açısından bazı problemler ortaya çıkartmaktadır. Patlatma esnasında oluşan titreşim, hava şoku, taş sıçramaları ve toz gibi faktörler çoğu zaman işletmelerle çevre halkını karşı karşıya getirmektedir. Bu çalışmada; Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık Açık Ocağında yüklenici firma tarafından gerçekleştirilen dekapaj faaliyetleri esnasında yapılan patlatmaların çevresel etkileri ele alınmıştır. Yapılan patlatmaların Hisarcık İlçesi Karşıyaka mahallesindeki yerleşkelerde meydana getirdiği ekonomik ve psikolojik sorunların yanı sıra ocak içerisindeki üretim faaliyetlerine olan etkileri incelenmiştir. Proje kapsamında yaklaşık üç yıllık süre zarfında yapılan 4420 adet patlatmanın patlayıcı miktarları, ölçüm noktasına olan uzaklıkları, titreşim ve ses değerleri kaydedilerek, patlatmanın yapıldığı bölge ile çevresel etkileri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu veriler ışığında şikâyetlerin yoğunlaştığı bölgelerde patlayıcı madde ve atım sayısı düşürülerek çevresel etki minimize edilmiş, ayrıca belli başlı bazı bölgelerde istimlak çalışmaları başlatılarak maden sahası meskûn mahalden uzaklaştırılmıştır.

ABSTRACT Environmental issues, originating from blasting activities that carried out at open pit mines, cause some problems in terms of sustainability of the mining activities. During the blasting activities, some occuring factors such as vibration, air shock, stone splash, dust etc. usually cause problems between inhabitants and companies. In this study; environmental impacts of explosions that carried out during pickling activities by contractor company in Hisarcık Open Pit Mines of Emet Boron Works, have been discussed. Made of blastings, as well as economic and psychologic problems caused on inhabitants of Karşıyaka district in Hisarcık, the effects on production activities in the mine have been analysed. Within this project; explosive quantities, distance to measuring point, and vibration and noise values of the 4420 blastings (made in 3 years) have been recorded and the relations between blasting zone and environmental effects have been analysed. According to these datas, environmental effect was minimized in highly complained areas, by reducing blastings. Additionally in some areas, expropriation studies were started and the mining zone was taken distant to residential area.

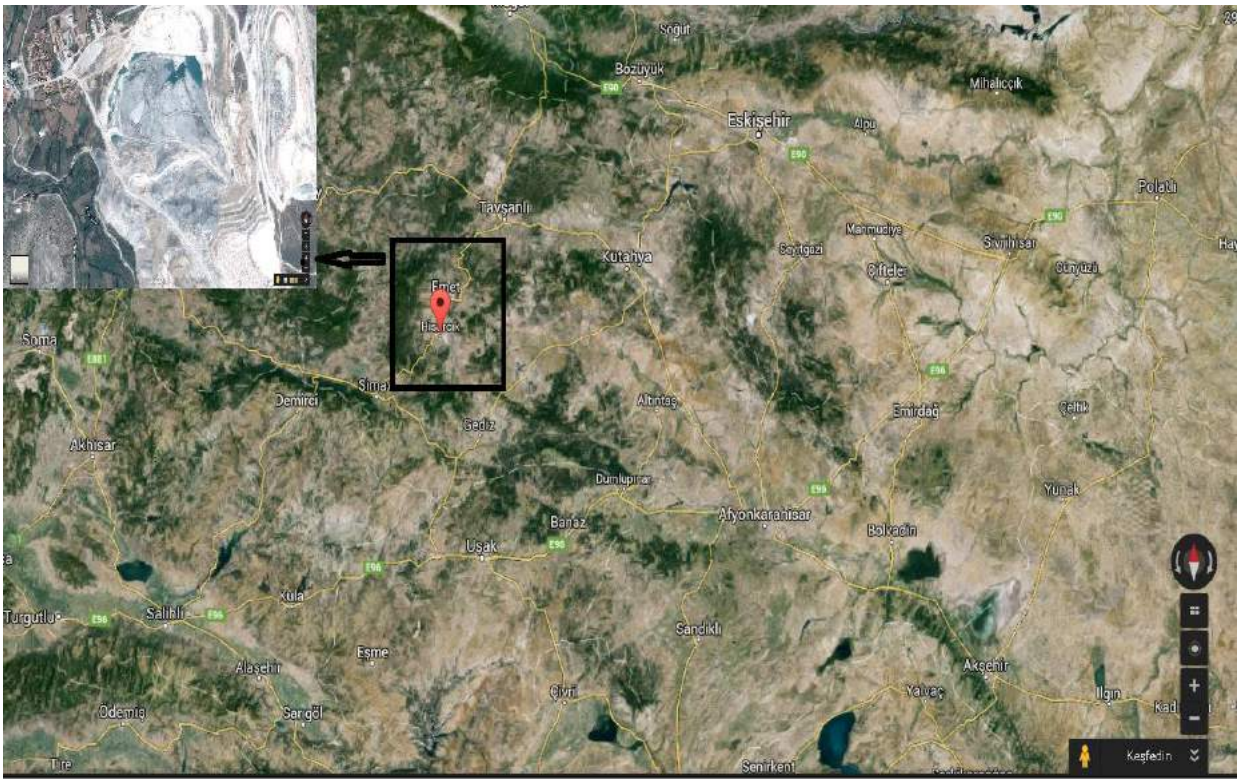
1 GİRİŞ

Madencilik faaliyetlerinin yapıldığı bölgenin etrafında istihdam ve nüfusa bağlı olarak yeni yerleşim yerleri oluşturulmakta, bununla beraber ocağın yıllar içerinde büyümesi göz önüne alınmadığı takdirde maden ocağı yerleşim yerlerinin için de kalabilmektedir. Özellikle madencilik faaliyetlerini sürdürebilmek için patlatma yapılan ocaklarda işverenle çevre halkı karşı karşıya gelmektedir. Çevreden gelen şikâyetler üretimin sürekliliğini bozarken kimi zaman bu durum firmalara maddi külfet oluşturmakta, kimi zaman ise yasal prosedürler yüzünden üretim faaliyetlerini durma noktasına getirmektedir.

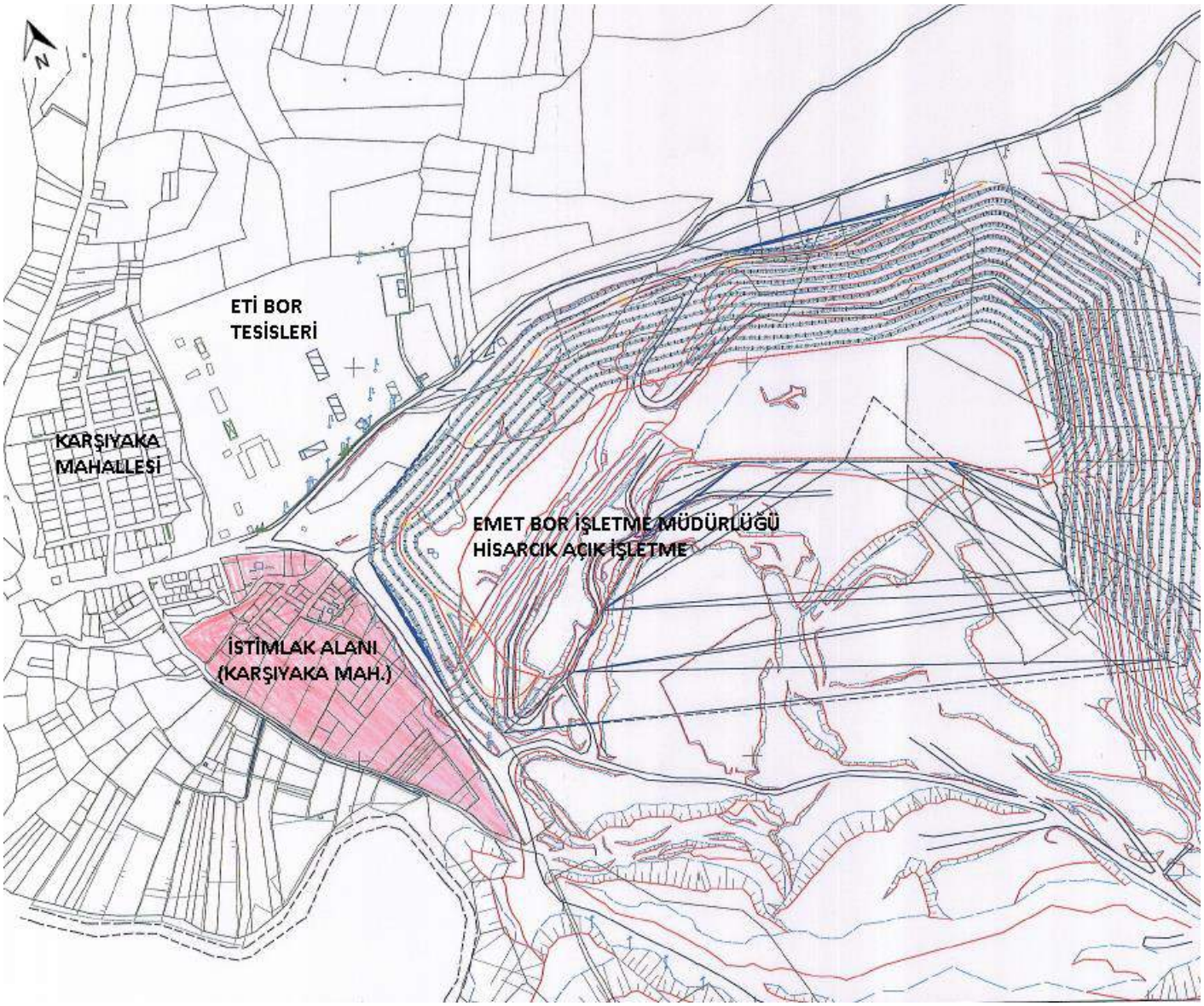
Yapılan bu çalışmada Eti Maden işletmeleri Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık Açık İşletmesinde dekapaj faaliyetleri esnasında yapılan patlatmaların Hisarcık İlçesi Karşıyaka Mahallesi yerleşkelerinde neden olduğu çevresel sıkıntılar ve bu sıkıntıların üretim faaliyetlerini nasıl etkilediği incelenmiştir.

2 ÇALIŞMA SAHASI

Çalışma, Eti Maden İşletmeleri Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık Açık işletme sahasında yapılmış ve yer bulduru haritası Şekil 1' de verilmiştir. Kütahya ilinin 110 km Güneybatısında, Emet ilçesinin 11 km güneyinde, Hisarcık ilçesinin bitişiğinde yer almaktadır. Şekil 2 'de gösterilmiş olan Sahanın batısında kazı alanına yaklaşık 150 metre mesafede 500 kişinin yaşadığı Hisarcık ilçesi Karşıyaka mahallesi, kuzeyinde ise Emet Bor İşletme Müdürlüğüne ait tesisler bulunmaktadır. Hisarcık kolemanit açık ocağı Eti maden işletmelerinin ilk kolemanit ocağı olup 1958 yılından beri faaliyet göstermektedir. 1997 yılına kadar devlet eliyle yapılan dekapaj faaliyetleri 1998 yılından itibaren yüklenici firma tarafından hizmet alımı yolu ile yapılmaya başlanılmıştır. Maden sahasının denizden yüksekliği yaklaşık 820 metre olup maden yataklanması ocak içerisinde güney-kuzey istikametinde % 8 derecelik bir eğim doğrultusunda ilerlemektedir. Ocağın kuzeydoğu kısmında üretim faaliyetlerinden kaynaklı kısmı heyelanlar oluşmaktadır.



Şekil 1. Hisarcık Kolemanit Ocağı Yer Bulduru Haritası



Şekil 2. Hisarcık Açık Ocak Ve Karşıyaka Mahallesi

3 JEOLOJİ VE KAYAÇ ÖZELLİKLERİ

3.1 Saha Jeolojisi

Bölgede en yaşlı kayaçlar; Paleozoik yaşlı, kirli beyaz, bej, yeşil renkli şistler ve bu şistlerle yanal – düşey geçişler gösteren kristalize kireçtaşlarıdır. Bu birimler üzerinde Triyas – Jura yaşlı dolomitik kireçtaşları ve Kretase yaşlı melanj yer alır (Akdeniz ve Konak, 1979). Bu birimleri Peleojen yaşlı granit ve granodiyoritler kesmektedir.

Bölgede temeli oluşturan bu kayaçlar üzerine açısal uyumsuzluk ile Neojen yaşlı göl çökelleri ve volkanitler gelir. Bölgede gözlenen Neojen yaşlı birimler; alüvyon yelpazesi çökelleri ile başlar. Alüvyon yelpazesi çökelleri kırmızı, sarı, kahve renkli, kötü boylanmış konglomera, kumtaşı, çamurtaşı şeklinde moloz akması ve çamur akması fasiyeslerinden oluşur. Birimin kalınlığı aynı araştırmacılar tarafından 10 – 100 metre verilmiştir.

Bölgede en genç çökeller kuvaterner yaşlı travertenler, akarsu alüvyonları ve yamaç molozlarından oluşur.

Bölgede volkanizma Neojen boyunca zaman zaman etkili olmuştur. Volkanizma; göl çökelleri ve alüvyon yelpazesi oluşurken dasit, riyodasit ve andezit bileşiminde, Boratlı yeşil kil zonu çökelirken kuvars latit bileşiminde, örtü kireçtaşlarının çökelimi döneminde de bazalt bileşiminde etkinlik göstermiştir (Akbulut ve diğ, 1986).

3.2 Örtü Kireç Taşları

Boratlı kil zonu üzerinde uyumlu olarak yer alan örtü görevi yapan kireçtaşları kirli beyaz, bej renklerde, silisifiye ve killi kireçtaşı bileşiminde, orta ve kalın tabakalı, oldukça sert ve çatlakları kalsit dolguludur. Bu kireçtaşları içinde çört yumruları ve bantları ile dentritik mangan yapıları izlenir. Bazı seviyelerde demir boyanımı nedeniyle pembe renklerde görülürler.

Örtü kireçtaşları işletme sahasında 85 – 95 metre kalınlıkta olup, genel eğimleri Güney – Güneybatı'ya doğru 1° – 10° arasında değişir. Birimin eğimi ve doğrultusu kendi içinde küçük değişimler göstererek kıvrımlanmalar yapmaktadır.

3.3 Yamaç Molozu

Kendisinden yaşlı bütün birimlerin üzerinde uyumsuz olarak yer alan yamaç molozları gri-kahverenkli kireçtaşı, mermer, şist, tüf çakıl ve blokların gevşek bir şekilde tutturulmasından oluşur. Kötü boylanmalı, yarı yuvarlak olan bu çökeller kuvaterner yaşındadır.

3.4 Saha Tektoniği

Maden sahasının içerisinde bulunduğu alan 1. derece deprem bölgesi içerisinde yer almaktadır. Maden sahasının da içerisinde olduğu bölge Emet Fay Zonu, Simav Fay Zonu ve Kütahya Fay Zonu'nun yanı sıra Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Gediz Graben Sistemi ile Sultandağı Fay Zonu ve Eskişehir Fay Zonu gibi komşu illerdeki fay zonlarının deprem tehdidi altındadır. Bu özellikleriyle de Batı Anadolu'nun en önemli deprem yörelerinden birisi durumundadır.(Sezer, 2012).Ocağın güneydoğu-kuzeydoğu doğrultusunda oluşan faylanmadan dolayı alüvyon malzemelerde kayma meydana getirmektedir.

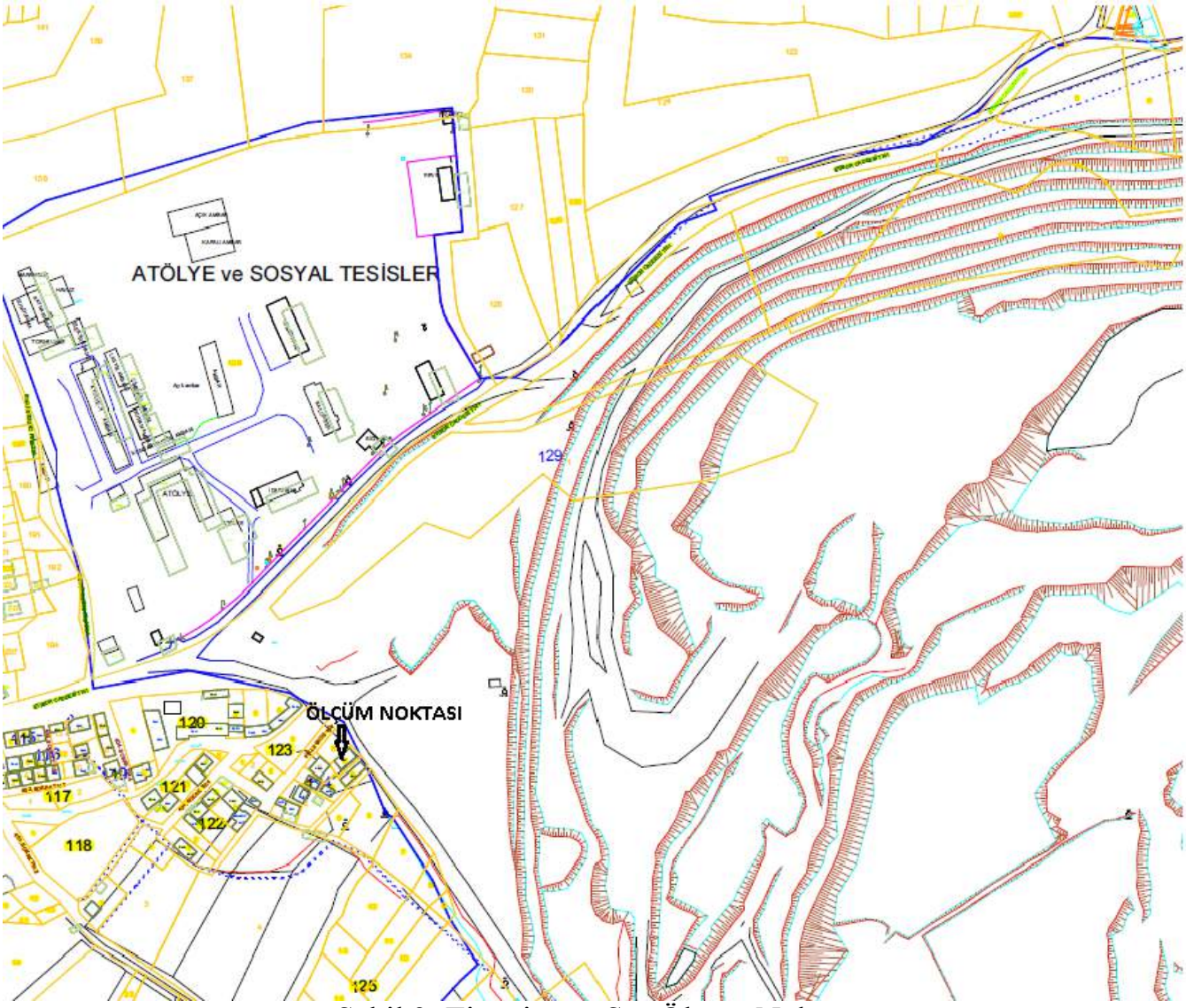
4 UYGULAMALAR

Eti Maden İşletmeleri Hisarcık açık ocağında Ilgazlar ve Özkardeşler ortak girişimi tarafından üstlenen 853 takvim gününde bitirilmesi öngörülen 30.300. 000 ton dekapaj işi 2012 temmuz ayında başlamış ve 2014 eylül ayında tamamlanmıştır. Yaklaşık 820 kodlarından başlayan kazı çalışması 690 kodundaki kolemanit cevherinin üzeri açıldığı bölgeye kadar 10'ar metrelik basamaklarla sürmüştür. Yapılan bu kazı faaliyetlerinin yaklaşık 3 milyon tonu patlatma yapılmadan alınırken, kalan 27 milyon tonluk kaya kütlesinde delme patlatma işlemi yapılarak malzemenin gevşetilmesi sağlanmıştır. Patlatmaların büyük bir çoğunluğu kireçtaşı ve silisifiye kireçtaşı gibi çok sert formasyonlarda yapılmış olup, ara zonlarda kimi zaman kil taşlarında da patlatma gerçekleşmiştir. Gevşetilen malzemeler ekskavatör kamyon yöntemi ile çıkarılarak elektronik kantarlarda tartılmıştır. Süreç boyunca yapılan atımlar basamak patlatması olsa da çıkan büyük kütlelerin gevşetilmesinde zaman zaman patar atımları yapılmıştır. Patlatmaya dair parametreler müteahhit firma tarafından makine parkı ve formasyona göre belirlenmektedir. Lakin değişken formasyonun ve üretim baskısından dolayı standartlaşmış bir parametreden söz etmek mümkün değildir. İşin süreli olması üretim baskısı artırmış, bu da delik geometrilerinde düzensizlikler meydana getirmiştir. Firmanın kullandığı bazı parametreler Çizelge 1 de verilmiştir. Yapılan tüm patlatmalarda ana patlayıcı Anfo olup, yemleme için kapsüle duyarlı dinamit ve ateşleme elemanı olarak elektriksiz şok kapsüller kullanılmıştır. Sistemin ateşlenmesi ise elektrikli kapsülle sağlanmıştır. Kullanılan elektriksiz kapsüller delikler aası 25 ms, sıralar arası ise 42 ms veya 67 ms ile geçiş sağlanmıştır.

Çizelge 1. Patlatma Parametreleri

Delik Çapı (mm)	89- 102- 165
Delik Eğim (°)	90-45
Delik Uzunluğu(m)	10
Basamak Yüksekliği	10
Dilim Kalınlığı	Değişken
Delikler Arası Mesafe	Değişken

Proje kapsamında yapılan tüm faaliyetler Eti Maden İşletmeleri tarafından hazırlanan şartnamelere göre sürdürülmüştür. Şartnameye göre projenin 2 etap şeklinde açılması ve etapların farklı zamanlarda tamamlanması gerektiğinden çalışma alanı daralmıştır. Bu nedenle çalışma aynası olmayan veyahut açık olan aynası patlatılmış ama alınmamış bölgelerde firma patlatma yapması verimliliğini düşürmüştür. Yapılan bu kapalı atımlar Çevresel olarak da sıkıntıların ortaya çıkmasında büyük rol oynamıştır. Kazı ilerleme yönü ocağın doğusundan batı istikametine doğru yapılmış olup, titreşim ve hava şoku Hisarcık İlçesi yerleşkelerinde şekil 3 de gösterilen noktadan ölçülmüştür. Bölgede en kritik bölge Karşıyaka Mahallesi olduğu için, mahallenin işletmeye en yakın noktasına titreşim ölçer cihaz (Instantel MiniMate Blaster) yerleştirilerek tüm titreşimler kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3. Titreşim ve Ses Ölçüm Noktası

5 PATLATMANIN ÇEVRESEL ETKİLERİ

5.1 Sarsıntıdan Kaynaklı Çevresel Etkiler

Hisarcık Açık Ocak sahasında yapılan patlatmalarda çevre ile ilgili yaşanılan en büyük sıkıntı şüphesiz sarsıntıdan kaynaklanan şikâyetlerdir. Bölgenin 1 derece deprem bölgesi olması insanlar üzerinde sarsıntı hassasiyetlerinin daha da artmasına neden olmuştur. Geçmiş yıllarda bölgede yaşanılan büyük depremlerin yanı sıra son yıllarda bölgede meydana gelen orta büyüklükteki depremler ve bunları takip eden sayıları 1000 aşan artçı depremler halk psikolojisi üzerinde olumsuz etkiler bırakmıştır. Bölgede meydana gelen bazı depremler Çizelge 2 de verilmiştir. İşletmede yapılan patlatmalar titreşim şiddeti sınırlamaların çok altında olsa dahi, halk bu titreşimleri bir artçı deprem sanarak paniklemektedir.

Çizelge 2. Bölgede meydana gelen bazı depremler

Tarih	Bölge	Şiddet	Büyüklük
28.03.1970	Gediz	X	7,2
30.09.2008	Dumlupınar	V	4,7
17.02.2009	Simav	VI	5,0
19.05.2011	Simav	VII	5,9
19.05.2011	Simav	V	4,6
20.05.2011	Simav	V	4,6
28.05.2011	Simav	VI	5,0
29.05.2011	Simav	V	4,6
28.06.2011	Simav	V	4,9
16.04.2012	Simav	V	4,8
16.04.2012	Simav	V	4,7
27.04.2012	Simav	V	4,9
03.05.2012	Hisarcık	VI	5,1
04.05.2012	Simav	V	4,7
19.06.2012	Simav	V	4,9

Gelişmiş ülkeler patlatma kaynaklı yer sarsıntılarının yapılara verdiği hasarları önlemek için, yıllar önce gerekli önlemleri almışlar ve bu konularla ilgili olarak sınır değerleri içeren belgeler yayınlamışlardır. Ülkemizde bu konu ilgili ilk yönetmelik (2002/49/EC) 25.06.2002 tarihinde yürürlüğe girmiş ve 04.06.2010 tarihinde "Çevresel Gürültünün Değerlendirmesi ve Yönetimi Yönetmeliği" başlığı değiştirilerek son halini almıştır. Bu yönetmeliğin "Çevresel Titreşim ve Esas ve Kriterleri" konulu Beşinci Bölüm 25. Maddesi aşağıda verilmiştir (Uysal, 2014).

Madde 25-(Değişik: RG-27.04.2011-27917)

1)Çeşitli titreşim kaynaklarının sebep olacağı çevresel titreşimin kontrol altına alınmasına ilişkin esaslar aşağıda belirtilmiştir.

a)Maden ve taş ocaklarıyla ile benzeri faaliyette bulunulan alandaki patlatmaların çevredeki çok hassas ve hassas kullanımlarda oluşturduğu zemin titreşim seviyesi Ek-VII'de yer alan Tablo 6.'da verilen sınır değerlerini aşamaz.

Yönetmeliğin Ek –VII'de verilen Tablo 6 Çizelge 3 de verilmiştir.

Çizelge 3. Maden ve Taş Ocakları ile Benzeri Alanlarda Patlama Nedeniyle Oluşacak Titreşimlerin En Yakın Çok Hassas Kullanım Alanının Dışında Yaratacağı Zemin Titreşimlerinin İzin Verilen En Yüksek Değerleri

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

Emet Bor İşletme Müdürlüğü tarafından projenin yürütümü için hazırlanan teknik şartnamede Patlayıcıların kullanımı ve titreşim değerleriyle ilgili sınırlama getirilmiştir. Hazırlanan teknik şartnamenin 23 maddesinde "Patlayıcı Madde Temini ve Kullanımı" adlı başlıkta şöyle belirtilmektedir: "Hisarcık'ta gecikme başına düşen patlayıcı miktarı ve ölçüm noktasına göre uzaklıkları Çizelge 4'deki gibi olacaktır. Patlatmalar bu verilere göre yapılarak, elde edilecek sarsıntı (PPV mm/s) değerinin Alman Norme DIN 4150 standartlarına göre hassas yapılar için belirlenmiş olan PPV değeri 10 Hz'de küçük frekanslı dalga formları için 3 mm/s'den aşağı çıkması sağlanacaktır."

Çizelge 4. Hisarcık'ta gecikme başına patlayıcı madde miktarı ve ölçüm noktasına olan uzaklıkları

Gecikme Başına Düşen Patlayıcı Miktarı (Kg)	Uzaklık (m)	Gecikme Başına Düşen Patlayıcı Miktarı (Kg)	Uzaklık (m)
7	100	500	850
16	150	561	900
28	200	625	950
43	250	693	1000
62	300	764	1050
85	350	838	1100
111	400	916	1150
140	450	997	1200
173	500	1082	1250
209	550	1170	1300
249	600	1262	1350
293	650	1357	1400
339	700	1456	1450
390	750	1558	1500
443	800	-	-

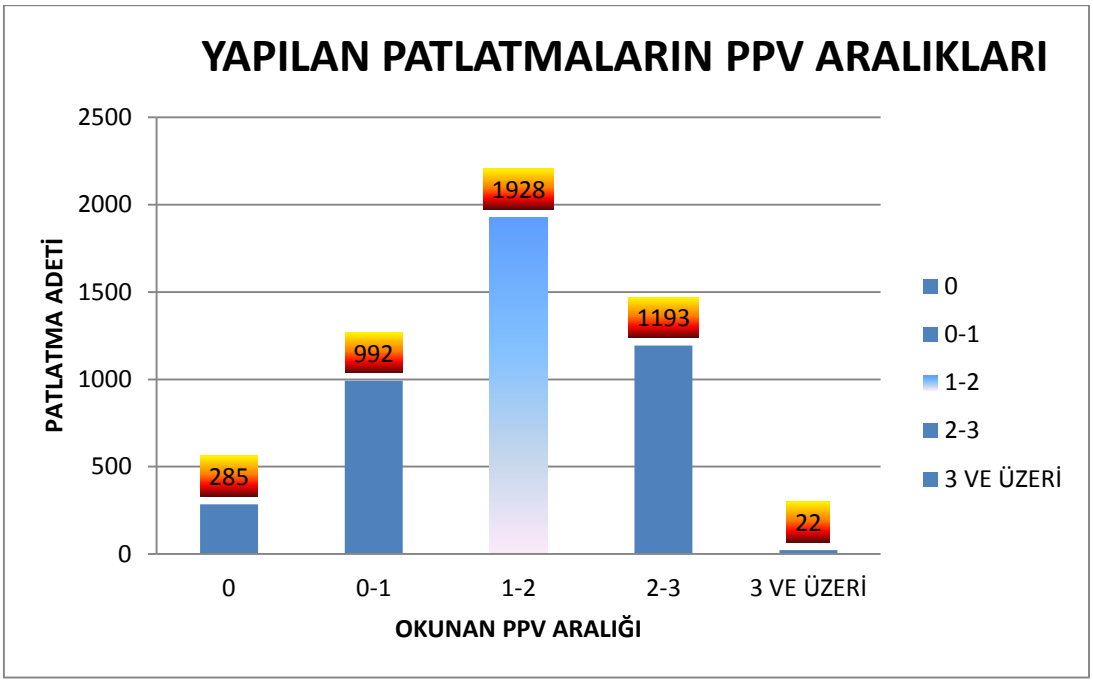
Emet Bor İşletmesi tarafından hazırlanan şartnamede maksimum titreşim değeri için Alman DIN 4150 Standardını kabul ettiği görülmektedir. Ülkemiz yönetmeliğinde aynı frekans değeri için 5 mm/s titreşim değeri kabul edilmiş olsa da işletme daha tutucu bir standart olan Alman DIN 4150 tercih etmiştir. İşletme Müdürlüğünün bu kararı alırken ilgili üniversitelerden danışmanlık hizmeti alarak bölge için en uygun titreşim değerinin yakalanması çalışılmıştır.

Proje kapsamında ocak içerinde ölçüm noktasına farklı mesafelerde toplam 4420 adet patlatma da yapılmıştır. Yapılan patlatmalardan en uzağı ölçüm noktasında 1116,875 metre mesafede, en yakını ise 137,585 metre mesafede yapılmıştır. Meskûn mahale yakın mesafede yapılan atımlarda alınan tüm önlemlere rağmen 22 adet patlatmada sınır değer aşılmıştır. Sınır değerin aşıldığı patlatmalara ait protokol bilgileri Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. PPV Sınır değerlerinin aşıldığı patlatmalara ait protokol bilgileri

No	Tarih	Geçikme Başına Max.Patlayıcı Madde Miktarı	Ölçüm Mesafesi (m)	Titreşim Hızı ve Frekansı						VS
				Tran		Vert		Long		
				mm/s	Hz	mm/s	Hz	mm/s	Hz	
51	04.09.2012	124	677,705	4,56	5,4	2,21	6,7	3,98	8	6,28
74	11.09.2012	119,33	697,885	0,937	6	1,21	9,3	3,27	NA	3,39
107	19.09.2012	76	425,055	4,16	6,3	1,89	6,2	2,48	6	4,26
119	22.09.2012	49,37	304,035	5,19	6,8	2,22	6,8	3,92	5,3	5,75
120	22.09.2012	45,62	311,825	4,83	5,5	1,62	6,8	1,94	7,9	4,91
121	22.09.2012	45,93	317,915	3,46	6,1	0,905	5,4	2,05	6,3	3,64
559	02.06.2013	138,5	580,505	1,87	7,6	1,17	7,9	3,51	9	3,93
577	07.06.2013	50,53	350,365	4,38	6,4	1,89	6,8	2,86	9,8	4,98
1117	31.10.2013	25,5	284,655	3,3	4,9	1,78	6,9	2,29	7,3	3,43
1119	31.10.2013	25,5	286,485	3,3	9,1	3,05	7,5	2,54	10,1	4,36
1122	31.10.2013	25,5	276,635	3,81	8,5	2,41	9,6	3,43	8,2	4,41
1123	31.10.2013	25,5	275,995	3,17	9	3,94	9,3	3,3	7,2	4,8
1124	31.10.2013	25,5	285,635	2,67	7,1	1,65	8	3,05	10,3	3,55
1131	01.11.2013	21,75	249,685	4,19	8,1	3,05	9,4	2,54	10	4,62
1129	01.11.2013	21,75	247,995	3,3	8,3	2,29	9,8	2,92	11,5	4,01
1132	01.11.2013	21,75	243,315	4,57	8,3	2,79	10,1	2,29	10,9	4,98
1133	01.11.2013	21,75	249,685	3,81	8,8	2,41	8,8	2,67	9,6	4,08
1147	02.11.2013	17,5	172,155	2,16	7,4	3,68	8,4	1,78	10	4,27
1149	02.11.2013	17,5	169,145	3,05	6,5	2,92	NA	2,29	9,7	3,9
1152	02.11.2013	17,5	160,675	3,05	9,7	3,05	8,8	1,9	9,3	3,49
2623	07.03.2014	18	203,385	1,14	18,3	1,4	13,8	3,05	11,5	3,11
2626	07.03.2014	18	197,485	2,67	10	3,05	8,9	2,41	9,4	3,41

Çizelge 5'de görüldüğü üzere 22.09.2012 tarihinde gerçekleştirilen 119 protokol numaralı atımda en yüksek değer olan 5,19 mm/s okunmuştur. Bu atım ölçüm noktasına 311,825 metre mesafede ve 6,8 Hz frekansta da gerçekleşmiştir. Delik başına kullanılan maksimum patlayıcı miktarı 49,37 kg'dır. Ayrıca yapılan 4420 adet patlatmanın 285 adetinde hiçbir değer okunmamış olup;992 adeti 0-1 mm/s arasında,1928 adeti 1-2 mm/s arasında, 1193 adeti ise 2-3 mm/s arasında titreşim hızları tespit edilmiştir. Atımlarda okunan titreşimlerin grafiksel halde gösterimleri Şekil 4'de mevcuttur. Yapılan patlatmaların ortalaması ise 1,06 mm/s'dir.



Şekil 4. Patlatmaların PPV aralıkları

Görüldüğü üzere yapılan atımlarda sınır değerin çok altında bir ortalama yakalanmıştır. Ancak buna rağmen süreç boyunca atımlardan ötürü çevre halkı ile birçok sorun meydana gelmiştir. Özellikle Karşıyaka Mahallesi sakinlerinin Başbakanlık bilgi sistemine yaptığı şikâyetlerden dolayı, patlatma değerleri prosedürlere uygun olsa da ek önlemler alınması gerekmiştir. Buda yüklenici firma için zaman ve para kaybına neden olurken işin yürütülmesinde de aksamalar meydana gelmiştir. Ayrıca bu şikâyetler kimi zaman halk ayaklanmasına dönmekte çalışan personelin sözlü ve fiziki saldırılara varan tacizleriyle sonlanmaktadır. Kimi zaman da yerel ve ulusal medyaya da konu edilerek işletme üzerinde kamuoyu baskısı yapılması hedeflenmiştir. Şikâyetlerin bazıları depremlerin yol açtığı korkudan kaynaklı hassasiyetlerden olsa da çoğu zaman maddi menfaat elde etme çabası üzerinden yapılmıştır. Proje boyunca sarsıntı kaynaklı çevrede herhangi bir can ve mal kaybı yaşanmamıştır. Ama Karşıyaka Mahallesinde ki birkaç betonarme binada sarsıntı kaynaklı olduğu iddia edilen çatlak ve hafif çaplı göçmeler meydana geldiği görülmüştür. Bina yaşlarının eski olması ve bölgede sıkça yaşanan depremlerden dolayı bu olaylara yol açan faktörün incelenmesi için Bakanlıktan bilirkişi gönderilmiştir. Bilirkişi raporuna göre çatlakların yıllar içinde oluştuğu ve sarsıntılardan etkilenerek arttığı tespit edilmiştir.

Sarsıntıların bir etkisi de çalışma sahası içerisinde görülmüştür. Ocağın kuzeydoğu yönünde bulunan fay düzlemi üzerindeki alüvyon malzeme sarsıntıların etkisiyle kaymaya başlamıştır. Başlangıçta lokal olarak başlayan kayma, zamanla kayma noktasının üzerinde bulunan tumba alanının oluşturduğu yükün etkisi ile o bölgedeki tüm basamakları kaplamıştır. Bu durumdan dolayı dekapaj projesi revize edilerek kaymanın bulunduğu bölge çalışma sahasından çıkarılmıştır.

5.2 Taş Sıçramalarından Kaynaklı Çevresel Etkiler

Açık Ocak patlatmaları yapılan yerlerde en hassasiyetle üzerinde durulan konuların başında taş sıçramaları gelmektedir. Özellikle basamak patlatmalarında taş sıçramalarının menzilini hesaplamak çok iyimser bir yaklaşımdır. Çünkü bölgenin formasyonundan, delik parametrelerine, sıkılamasına kadar birçok etken taş sıçramalarına neden olmaktadır. Hisarcık Açık ocak bölgesinin Hisarcık İlçesi Karşıyaka Mahallesi ile iç içe olması taş sıçraması sonucu

olabilecek hasar riskini de artırmıştır. Yapılan patlatmalarda taş sıçramalarına neden olan belli başlı faktörler;

a) Bölgenin büyük bir su havzası üzerinde olmasından dolayı sulu deliklerde atım yapılması.
b) Deliklerin düzgün bir şekilde sıkılama yapılmaması.
c) Patlatma ekibindeki personelin yeterince kalifiye olmaması.
d) Üretim baskısında dolayı işin kısa zaman da bitirilmeye çalışılması

.

Açık ocak sahasında yapılan patlamalardan en yakını meskûn mahallere 137,58 m mesafede gerçekleşmiştir. Atımlar sırasında herhangi bir can kaybı meydana gelmemiştir. Kimi zaman ise çok büyük tehlikelere ramak kalan maddi hasarlı taş sıçramaları gerçekleşmiştir. 11.10.2013 tarihinde meydana gelen atımda yüklenici firma şantiye binasına yaklaşık 10 kg ağırlığında bir taş sıçramıştır. Binanın çay ocağı kısmına düşen taş, içeride şans eseri kimsenin olmamasından bir faciaya yol açmadan ucuz atlatılmıştır. 14.11.2012 tarihinde ise ocak sahası içerisinde yapılan basamak patlatmasında sıçrayan taşlar 450 m mesafe uzaklıktaki drenaj boruları ve elektrik hatları üzerine sıçrayarak yaklaşık 50.000 TL lik hasara neden olmuştur. Şartnamenin ilgili maddeleri gereği yol açılan hasar yüklenici firma tarafından karşılanmıştır. Bunların haricinde münferit zamanlarda bina çatıları ve yaşam alanlarına sıçrayan taşlar halk üzerinde korku ve panik yaratmış, maddi hasarlarla atlatılmıştır.

5.3 Hava Şoklarından Kaynaklı Çevresel Etkiler

Patlatma esnasında oluşan hava şoklarının çevreye verdiği hasar çoğunlukla insanlarda psikolojik rahatsızlık olarak ortaya çıkmaktadır. Yüklenici firmanın işin yürütümünde esas aldığı şartnamede hava şoku ile ilgili herhangi bir sınır değer konmamıştır. Ama idarece yapılan kontrollerde çevre halkının hassasiyetinden dolayı bu değer 125 dB üzerinde çıkmaması istenmiştir. Yapılan atımlarda çıkan bazı yüksek değerler Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Hava Şoku değeri sınır değerin üzerinde olan patlatmalar

TARİH	Protokol No	HAVA SOKU (Hz)	HAVA SOKU (dB)
06.11.2013	1187	51	125,5
16.11.2013	1307	20	142,6
16.11.2013	1308	20	142
16.11.2013	1309	20	142,2
16.11.2013	1311	20	142,2
16.11.2013	1312	19,7	142,2
16.11.2013	1313	19,7	142,2
21.11.2013	1381	85	126,9
16.01.2014	2135	47	130,7
04.02.2014	2271	37	127,4
12.02.2014	2355	47	127
11.04.2014	2927	18,3	125
16.04.2014	3003	32	128,3
01.07.2014	3900	26	150
09.07.2014	4021	29	128,3
14.07.2014	4086	4,8	150

Yapılan atımlar sonucunda çevrede hava şoklarından kaynaklı herhangi bir zarar tespit edilmemiş olup; rahatsızlıkla ilgili sözlü ya da yazılı bir şikâyet alınmamıştır.

5.4 Tozdan Kaynaklı Çevresel Etkiler

Hisarcık Açık Ocak sahasında yapılan patlatmaların büyük bir kısmı sulu zeminlerde gerçekleşmiştir. Bundan dolayı toz ile ilgili çok büyük sıkıntılar yaşanmamıştır. Açık ocak etrafında ki bazı tarla sahiplerinin mahsullerindeki kurumaları tozdan kaynaklı olduğunu iddia etmişlerdir. Bunun üzerine Emet Bor İşletme Müdürlüğü çevre birimi tarafından ocağın münferit yerlerine toz tutucular yerleştirilmiştir. Çıkan sonuçta ocak içerisindeki toz emülsiyon miktarı 112 mg/m2–gün çıkmıştır. Yönetmeliğin izin verdiği oran 450 mg/m2-gün olduğundan dolayı ocaktaki toz değeri sınır değerin çok altında kalmıştır. Yapılan şikâyetlerin mesnetsiz olduğu tespit edilmiştir.

6 SONUÇLAR

Hisarcık Açık Ocak Kolemanit İşletmesinde yüklenici firma tarafından dekapaj projesi kapsamında yaklaşık 3 yıl süreyle yapılan patlatmaların, Hisarcık ilçesi ve çevresinde meydana getirdiği çevresel sorunlar incelenmiştir. Yapılan inceleme sırasında karşılaşılan sorunlara alınan tedbirler aşağıda belirtilmiştir.

1) Yapılan patlatmalar esnasında en büyük problemlerin başında ocak kazı sınırının Hisarcık İlçesi Karşıyaka Mahallesi yerleşkelerine yakınlığından yaşanmıştır. Bu nedenle Eti maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü 05.12.2013 tarihinde yönetim kurulu kararı ile dekapaj projesini revize ederek kazı sınırını meskûn mahalden uzaklaştırmıştır. Yeni proje ile en yakın yerleşim yeri önceki projeye göre 80 metre ötelenmiştir. Aynı revize kapsamında sarsıntı kaynaklı kısmi heyelanların yaşandığı alüvyonlu bölgede kazı sahasından çıkarılmıştır. Böylece yapılan atımlar daha güvenli hala gelmesi hedeflenmiştir.
2) Parçacık hızı sınır değer olan 3 mm/s üzerinde çıkan atımlarda gecikme başına patlayıcı miktarı düşürülmüştür. Ayrıca ölçüm noktasına yakın mesafede patlatılan delik sayılarına sınırlama getirilmiş, bazı bölgelerde 5'erli gruplara kadar düşürülmüştür. Bu durum bazı zamanlar dezavantaj olmuş günde sayısı 30 'u bulan patlatmalar zaman kaybının yanı sıra birbiri üzerine sıçrayan taşlardan dolayı atımda kesmeler meydana getirmiştir.
3) Hisarcık Açık ocak sahasının Karşıyaka Mahallesi ile iç içe olmasından dolayı bir sonraki projelerde de sıkıntı yaşanacağı görülmektedir. Bu nedenle Karşıyaka mahallesinin bir kısmı ve bölge yakınındaki tarlalar güvenlik amacıyla istimlak kapsamına alınmıştır. İstimlak kapsamına alınan bölge Şekil 2 de verilmiştir.
4) Ocakta oluşan kaynak suyu problemine karşı ocak içerisine pompalar yerleştirilerek, su direne edilmiştir.
5) Yapılan tüm patlatmalar günün aynı saatinde yapılarak, titreşimlerin halk arasında depremle karıştırılması önlenmeye çalışılmıştır. Bu sayede korku ve panik ortamının önüne geçilmiştir.
6) Olası taş sıçramalarını önlemek için delikler üzerine eskimiş konveyör bantları serilmiştir. Ocağın hemen kıyısından geçen köy yolları atım süresi boyunca trafiğe kapatılarak herhangi bir can veya mal kaybı yaşanmasının önüne geçilmiştir.
7) Patlatma sonrası çıkan büyük kütleli kayalarda yapılan patar atımlarında yaşanan sıkıntıların önüne geçilmesi için idarenin tavsiyeleri ile hidrolik kırıcı kullanılmaya başlanmıştır.
8) Deliklerde sıkılama kaynaklı yaşanan hava şokunu önlemek için sıkılama malzemesi olarak kırma taş kullanılmıştır. Bu kırma taşlar ocak içerisinden çıkan kireçtaşlarının seyyar konkasör tarafından kırılması ile elde edilmiştir.
9) Ocak içerisinde atım yapılacak bölgeler idarece kontrol edilerek, açık aynası bulunmayan yerlerde patlatma yapılmasına müsaade edilmemiştir.

KAYNAKLAR

Akdeniz N, Konak N, 1979. Simav - Emet - Dursunbey - Demirci yörelerinin jeolojisi, *MTA Derleme Raporu* No: 6547 (yayınlanmamış), Ankara.

Akbulut A, Aygün A, Dündar A, 1986. Emet yöresi bor tuzu sahalarının jeolojisi ve çökel ortamları, *MTA Dergisi.*

Sezer, L.İ, 2012. Kütahya yöresinin depremselliği, *Ege Coğrafya Dergisi* (35-52), İzmir.

Uysal, Ö, 2014, Emet Bor İşletme Müdürlüğü Hisarcık Açık Ocağında yapılan patlatmaların çevresel etkilerinin değerlendirilmesi, *Değerlendirme Raporu* (17), (yayınlanmamış), Kütahya.

Bahçe Nurdağ Varyantı Altyapı İnşaatı Projesi Kapsamında Nurdağ Portalinde Yapılan Kontrollü Patlatma Uygulamaları

Controlled Blasting Operation at the Nurdag Portal in Bahce-Nurdag Varyantı Altyapı İnşaatı Project

Ü. Kılıç, M. Derya, V. Alabaş
Madser Patlayıcı Maddeler Ltd. Şti.

ÖZET Yerleşim birimlerinin çok yakınında yapılan altyapı çalışmalarında mümkün olduğunca patlayıcı madde kullanmadan kazı yapılması hedeflenir. Bununla birlikte bitiş süresi belli olan bu projelerde kimi zaman patlayıcı madde kullanarak kazı yapmak bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durumda projeye göre kazı yapılırken risk altındaki yapıları ve insan konforunu da dikkate alan bir çalışma yöntemi geliştirmek en doğru yoldur.

Bu bildiride Bahçe-Nurdağ Varyantı Altyapı İnşaatı projesinin Nurdağ portalinde yapılan kontrollü patlatma uygulamaları anlatılmaktadır. Yerleşim birimlerinin çok yakınında yapılan bu çalışmadaki kontrollü patlatma uygulamalarının benzerlerinden farkı, sarsıntı, hava şoku ve kaya fırlaması gibi patlatmanın istenmeyen sonuçlarıyla mücadele etmenin yanı sıra yaklaşık 70 derecelik bir yamaçta yapılan patlatmalardan sonra yukarıdan herhangi bir blok yuvarlanmaması ve nihai şevlerin düzgün kesilmesi gibi gerekliliklere de çözüm üretilmesidir.

ABSTRACT It is not preferred to use explosive materials during excavation at the inferstructural projects which are constructed close to urban area. However, since its short completion period it is necessary to use explosive material in some project.
This paper includes the experience of controlled blasting applications in Bahçe-Nurdag Varyantı Altyapı Construction Project. The differences of controlled blasting operations in this project from similar studies are to prevent rolling of any block from the slope having the angle of appr. 70 degree after blasting and to achieve the slopes with smooth surface.

1 GİRİŞ

Mekanik olarak kazılamayan ya da kazılması zor ve zaman alıcı olan zeminlerin delme-patlatma yoluyla gevşetilerek kazılması günümüz teknolojik koşullarında en fazla tercih edilen yoldur. Bununla birlikte sarsıntı, hava şoku, gürültü ve kaya fırlaması gibi patlatmanın olumsuz çevresel etkilerini dikkate almak elzemdir. Yerleşim birimlerinden ve patlatmanın etkilerine maruz kalma ihtimali olan unsurlardan uzakta yapılan patlatma operasyonları, patlatma tekniğinin genel prensiplerine göre gerçekleşirken özellikle yerleşim yerlerine yakın bölgelerde bu kadar rahat davranmak mümkün olamamaktadır.

Patlatmanın olası etkilerinden zarar görebilecek unsurların (insan konforu, konutlar, iş yerleri, köprü, yol, baraj gibi mühendislik yapıları vb.) yakınlarında yapılan atımlarda sakınmalı-kontrollü patlatma tekniklerine başvurularak çevreye rahatsızlık ve zarar vermeden projenin önü açılabilir ve çevre ile barışık çalışma koşulları yaratılabilir. Bu çalışmada, Bahçe-Nurdağ Varyantı Altyapı İnşaatı projesi kapsamında yerleşim yerlerinin çok yakınında kazısı gerçekleştirilen Nurdağ portalinde yapılan sakınmalı-kontrollü patlatma uygulamaları anlatılmıştır.

2 BAHÇE-NURDAĞ VARYANTI ALTYAPI İNŞAATI PROJESİ

Osmaniye ili Bahçe İlçesi ile Gaziantep İli Nurdağ ilçesi sınırlarında yapılacak olan Bahçe-Nurdağ Varyantı Altyapı İnşaatı projesi ile 32.455 m olan mevcut hat uzunluğu 15.521 m kısalarak 16.934 m'ye düşecektir. Mevcut hatta dar olan kurp yarıçapları (en fazla 500-600 m) arttırılarak yeni varyant hattında en az 1.500 m olacaktır. Ayrıca mevcut hatta % 0,27 olan eğim bu proje ile % 0,15'e düşürülecektir. Proje kapsamında 22 adet menfez, 3 adet demiryolu üst geçidi, 2 adet betonarme köprü ve 7,90 m çapında 9.970 m uzunluğunda tünel bulunmaktadır. Bahçe tarafında 485.000 m^3, Nurdağ tarafında ise 135.000 m^3 yarma kazısı planlanmış olup toplam tünel kazısı ise 1.540.000 m^3'dür. Projedeki toplam dolgu miktarı 835.000 m^3'dür. Bu bilgiler. (Ormangören, M. 2013)

Bu projede yapılmakta olan tünel inşaatının Nurdağ portalinde 3 adet basamak (palye) mevcuttur. 13 m yüksekliğindeki basamaklardan en üstteki birinci ve ortadaki ikinci basamağın eğimi 2/1 (63,4 derece), en alttaki üçüncü palyenin eğimi ise 4/1 (76 derece) olarak planlanmıştır.

3 PORTAL KAZISI SIRASINDA YAPILACAK PATLATMALARDAN ETKİLENEBİLECEK UNSURLAR VE RİSKLER

Bahçe-Nurdağ Altyapı İnşaatı projesi Nurdağ portalinin Gökçedere köyünün çok yakınında olması ve çok dik bir topoğrafyada çalışılacak olması aşağıdaki riskleri oluşturmuştur:

- Yapılacak olan patlatmaların olumsuz etkilerinden (titreşim, hava şoku, kaya fırlaması ve gürültü) çevredeki evlerin, yapıların, D-400 Karayolu ve TAG Otoyolunun zarar görmesi ve insan konforunun etkilenmesi
- Gerek patlatma dolayısıyla gerekse makinalı kazı sırasında yuvarlanan büyük blokların çevredeki canlılar ve yerleşim yerleri için tehlike oluşturması

Patlatma alanının yakınındaki yerleşim birimlerinin, D-400 Karayolu, TAG Otoyolunun yapılacak olan patlatmalardan kaynaklı sarsıntılardan zarar görme riski vardır. Kaya fırlaması da aynı unsurlar için risk oluşturmaktadır. Kazı sırasında dik yamaçtan yuvarlanan büyük kaya blokları da çalışma bölgesine yaklaşık 60m uzaklıktaki yerleşim birimi için çok büyük risk oluşturmaktadır. (Şekil 1)

Şekil 1. 60m uzaklıktaki ev ve Yakındaki yerleşim yerleri

3.1 Yakındaki Yerleşim Birimleri

Projenin Nurdağ portali, Gaziantep ili Nurdağ ilçesi Gökçedere köyü ile Aşağıolucak köyü sınırlarının birleşim noktasında olup çalışma alanına en yakın yerleşim birimi 60m uzaklıktaki ev ve yanındaki mandıradır. Kamulaştırma sınırında olan bu evde kazı çalışmalarına başlandığı tarih itibarıyla halen insanlar yaşamakta olup yanında mandırası mevcuttur. Evin bahçesinde büyükbaş hayvanların da olduğu ahır vardır (Şekil 1). Ayrıca Gökçedere köyü tarafında 150 m mesafede yerleşim birimleri mevcuttur.

3.2 TAG Karayolu

Nurdağ portalinin yaklaşık 200 m üzerinden TAG otoyolu geçmektedir. Oldukça işlek olan bu yol portal kazısı sırasında yapılacak olan patlatmalardan etkilenebilecek unsurlar arasındadır.

3.3 Kaya Yuvarlanması

Gerek patlatma dolayısıyla gerekse makinalı kazı sırasında yuvarlanan büyük bloklar çevredeki canlılar ve özellikle kamulaştırma sınırında bulunan ancak henüz kamulaştırılması yapılmamış (portalde kazı çalışmasına başlandığı tarih itibarıyla içerisinde insanların yaşadığı, yanında küçük mandırası olan ve hayvanların bulunduğu) çalışma bölgesine yaklaşık 60 m uzaklıktaki yerleşim yeri için tehlike oluşturabilir (Şekil 1).

4 DELME PATLATMA UYGULAMALARI

4.1 Hazırlık ve Ruhsat Süreci

Ülkemizde yürürlükte olan 87/12028 sayılı tüzük gereği patlayıcı madde kullanacak firmalar il Valiliklerine başvurup Patlayıcı Madde Satın Alma ve Kullanma İzin Belgesi (Patlayıcı Madde Ruhsatı) almak zorundadırlar. Başvuruyu alan Valilik genel güvenlik açısından işin yapılacağı kolluğa, kullanılacak patlayıcı madde miktarı için de İl Çevre Müdürlüklerine görüş sorar. Bu projenin ruhsat sürecinde de Nurdağ İlçe Jandarma Komutanlığı'ndan tahkikat ve Gaziantep İl Çevre Müdürlüğü'nden projede patlayıcı madde kullanılıp kullanılamayacağı, kullanılacaksa miktarlarını bildiren görüş ve Gaziantep Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden yapılacak olan patlatmaların çevredeki yapılara hasar verip vermeyeceğine ilişkin rapor istenmiştir.

Gaziantep İl Çevre Müdürlüğü heyet halinde portal kazılarının yapacağı bölgeyi ziyaret ederek projenin CED dosyasına ve firmanın talebini de dikkate alarak görüşünü İl Emniyet Müdürlüğü'ne bildirmiştir.

Gaziantep İnşaat Mühendisliği Bölümü de 13.12.2013 tarihli raporunda 19 mm/s kriterini baz alarak 150 m uzaklıktaki kamulaştırma sınırı dışında kalan en yakın yerleşim birimlerinin zarar görmeyeceği şekilde gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarını 17,16 kg ile sınırlamıştır. Tüm kurumlar firmanın kendilerine sunmuş olduğu patlatma raporunu inceleyerek projenin önünü açmaya çalışırken Nurdağ İlçe Jandarma Komutanlığı ilk tahkikat yazısında yapılacak olan patlatmalardan yakındaki yerleşim birimlerinin, TAG Otoyolu ve D-400 Karayolunun etkileneceğine hükmederek olumsuz görüş bildirmiştir. Bunun üzerine teknik bir kurum olmayan Jandarma için dünyada ve ülkemizde yapılmış çeşitli kontrollü patlatma teknikleri ile ilgili videolar eşliğinde bir sunum yapılarak kurum ikna edilmiştir.

4.2 İlk Patlatmalar ve 1. Palye Kazısı

Ruhsat süreci tamamlandıktan sonra çevredeki riskleri göz önünde bulunduran bir tasarımla ilk patlatmalar yapılmıştır. 16.01.2014 tarihinde, topoğrafyaya uygun şekilde 1,50 m ile 4,00 m arasında değişen boylara sahip 2 sıra halinde delinmiş toplam 41adet deliğin patlatıldığı ilk atımda Instantel Minimate marka cihaz ile sarsıntı ölçümü de yapılmıştır. Bu atıma ait veriler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. 16.01.2014 Tarihinde yapılan ilk patlatmaya ait veriler

Tarih	: 16.01.2014 (Nurdağ Portali, Portal Kazısı İlk Patlatma)
Atım Yeri	: Bahçe-Nurdağ Altyapı İnşaatı- Nurdağ Portali
Delik Çapı	: 89mm
Yük Mesafesi	: 2,00m
Delik Aralığı	: 2,50m
Delik Boyu	: 1,50- 4,00m (topoğrafyaya uygun olarak delinmiş)
Sıkılama boyu	: 1,30m (1,5m'lik deliklerde), 1,70m (2m'lik deliklerde),
Ana Şarj	: ANFO- en fazla 5kg/delik (4m'lik delikte)
Yemleyici (Dinamit)	: Kapeks Nova 70 (50*220)- 0,50 kg/delik
Ateşleme Sistemi	: Kapeksdet Dual 25/500ms
Delikler Arası Gecikme	: 25ms yüzey gecikmesi
Sıralar Arası Gecikme	: 42ms yüzey bağlantı elemanı ile sağlanmıştır.
Delik Sayısı	: 41- adet (2 sıra halinde)

Çizelge 1'de detayları verilen ilk atım sırasında yapılan titreşim ölçümüne ait veriler Çizelge 2'de verilmiştir:

Çizelge 2. İlk patlatma sırasında yapılan sarsıntı ve hava şoku ölçüm sonuçları

Ölçüm Yerine Uzaklık	: 60 m (En yakındaki evin önü)
Gecikme Başına Düşen Patlayıcı Miktarı	: 5-kg ANFO + 0,5 kg Dinamit (En fazla)
Vektör Gövde Hızı	: 3.05 mm/sn (14 Hz)
Hava Şoku	: 118,5db

Topoğrafyaya uygun olarak 2 sıra halinde delinmiş toplam 41 adet deliğin patlatılatıldığı bu atımda toplam 221 kg Patlayıcı Madde (200 kg ANFO ve 21 kg yemleyici) kullanılmıştır. Ateşleme sistemi olarak elektriksiz kapsüller kullanılmış, delikler arası bağlantıda 25 ms, sıralar arası geçişte 42 ms gecikmeli yüzey bağlantı kapsülü kullanılmıştır. Böylece her deliğe ayrı gecikme verilmiş ve gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarının en fazla 4m'lik deliklere doldurulan 5 kg ANFO + 0,5 kg yemleyici (toplam 5,50 kg) olması sağlanmıştır.

Delik dolumu sırasında, atım yerinin risk altındaki evden uzak olan bölgesinde bir miktar kırma yapacak şekilde şarj ayarlaması yapılırken özellikle ev ile aynı hizaya denk gelen bölgesinde (blok yuvarlanmasına karşı emniyetli tarafta kalınması için sıkılma boyu uzun tutularak) sadece çatlatma yapılması hedeflenmiştir.

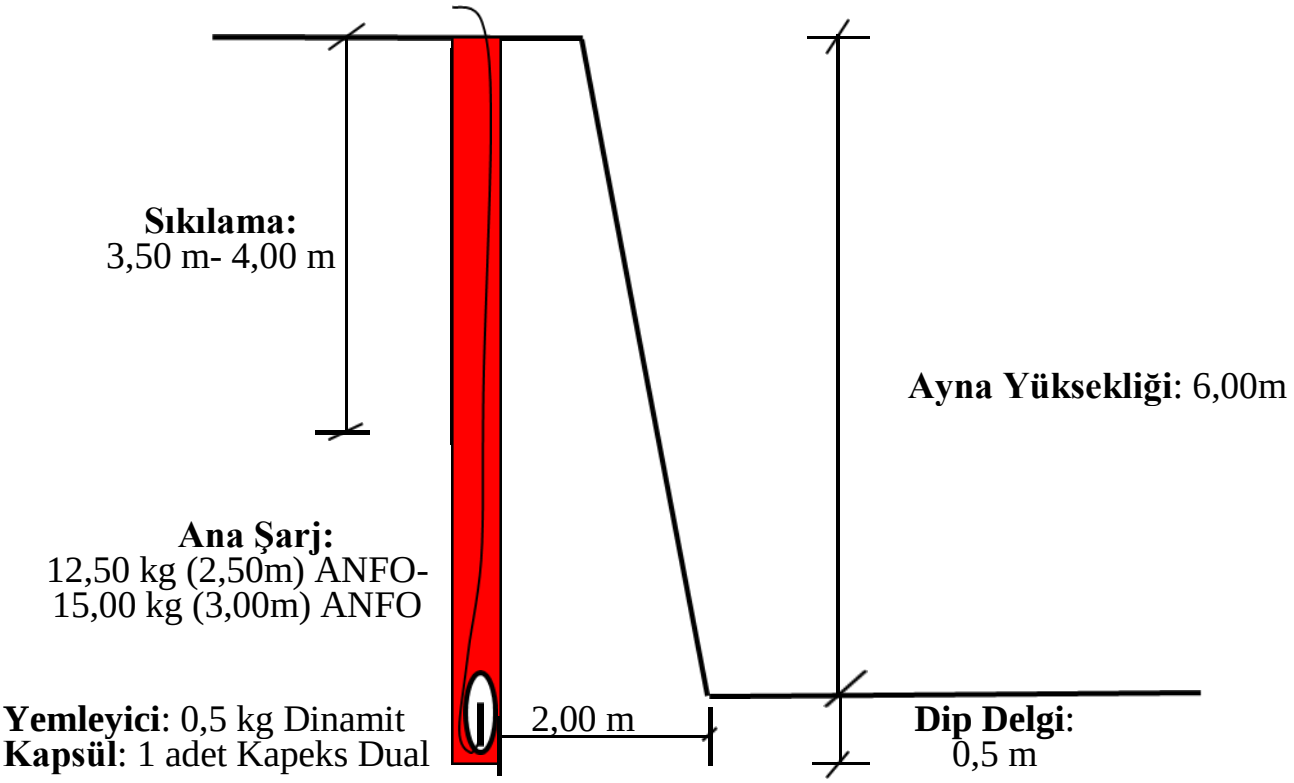
Şekil 2'de görüldüğü gibi yapılan ilk patlatmanın sonucu hedeflere uygun şekilde gerçekleşmiştir. Özellikle atım bölgesine en yakındaki evin üzerine karşılık gelen kısımda sadece çatlatma olmuş, bu bölgenin uzağındaki kısımda ise kırma nisbeten daha iyi olmuş ama her durumda pasa yerinde kalmış ve herhangi bir devirme-savrulma olayı gerçekleşmemiştir. Sadece kırıcı iş makinesinin kıramadığı zemini gevşetmekle yetinilmiştir.

Şekil 2. İlk patlatmadan görünüm

Topoğrafyaya uygun olarak farklı uzunluklarda delinmiş deliklerle yapılan ilk patlatmadan sonra daha önce planlandığı gibi 13 m yüksekliğe sahip basamakların 2 kademede kazılması için 6,50 m'lik deliklerle çalışılması üzerinde fikir birliğine varılmıştır. Toplam 3 basamaktan oluşan portalin ilk basamağı kontrollü şekilde 6,50 m'lik deliklerin delinip patlatılması ile 2 kademede kazılmıştır. İlk bir kaç patlatmadan sonra delme-patlatma uygulamaları rutin hale gelmiş, Şekil 3'te görülen ve Çizelge 3'de verilen parametrelere göre çalışılmıştır:

Çizelge 3. Birinci Palye Kazısı Sırasında Yapılan Patlatmalara Ait Parametreler

Atım Yeri	: Bahçe- Nurdağ Altyapı İnşaatı- Nurdağ Portali
Zemin Tipi	: Kalker
Delik Çapı	: 89 mm
Delik Aralığı	: üretimlerde 2,00 m, ön kesmede 0,80 m
Yük mesafesi	: üretimlerde 2,00 m, ön kesme-üretim arası 1,50 m
Delik Boyu	: Üretimler 6,50 m, ön kesme delikleri 15 m
Sıkılama Boyu	: 3,50 m- 4,00 m
Ana Şarj	: Üretimlerde her deliğe 12,50kg-15kg ANFO(deliğin 2,5-3m'si), ön kesme deliklerinde 80g/m'lik İnfilaklı fitil
Yemleyici Dinamit	: Kapeks Nova 65 (38*370)- 0,5 kg (tüm deliklerde)
Ateşleme Sistemi	: Üretimlerde, Kapeks Dual 25/500ms, ön kesme deliklerinde ise İnfilaklı Fitil 10g/m
Delikler Arası Gecikme	: Üretimlerde 25 ms. Ön kesmede gecikme yok
Sıralar Arası Gecikme	: Üretimler genelde tek sıra halinde. Çift sıra olunca 2. sıraya geçişlerde 42 ms kullanılıyor. Ön kesme delikleri üretimden 200 ms önce patlıyor.



Şekil 3. 6,50 m Boyundaki Deliğin Dolum Şekli

Ilk patlatmalardan sonra, genel uygulamalarda delik boyu olarak 6,50 m seçilerek 13m'lik basamağın 2 kademe halinde kazılması planlanmış ve gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarının Gaziantep Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden alınan teknik raporda sınırlandığı gibi 17,16 kg'ın altında kalması sağlanmıştır. Ayrıca ilk patlatmada gecikme başına 5,50 kg'lık anlık patlayan şarj ile alınan sarsıntı ölçümünden sonra genel uygulamada delik başına 13 kg patlayıcı kullanılmasıyla oluşan sarsıntı şiddetini tespit etmek için 30.01.2014 tarihinde yine aynı yerden (60 m uzaklıktaki evin önünden) yapılan ölçüm sonucu vektör gövde hızı 6,98 mm/s ölçülmüştür. Patlatmalarda delik sayısı 15-30 adet arasında tutulmuştur. Yapılan bu kontrollü patlatma uygulamalarından herhangi bir şikayet gelmemiştir ve herhangi bir kaya fırlaması, yamaçtan blok yuvarlanmasına bağlı yapılara zarar verilmesi gibi bir olay yaşanmamıştır. Şekil 4'te üst basamaktaki rutin patlatma uygulamalarının sonuçlarından bazıları görülmektedir.

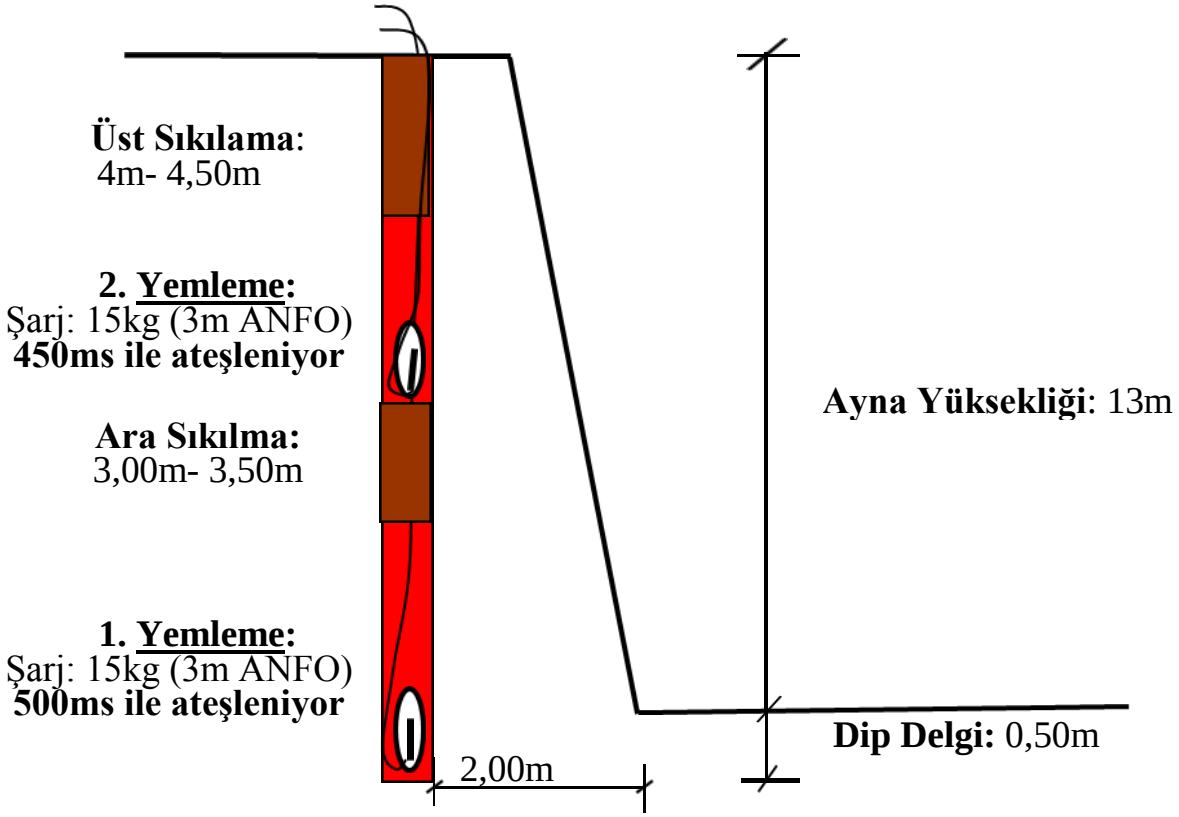
Şekil 4. Patlatma sonuçları

4.3 Delik Boyunu Uzatarak Kazı Hızını Artırma Çalışmaları ve 2. Palye Kazısı

13 m yüksekliğindeki 1.basamağın 6,50 m'lik 2 kademe halinde kazılması zaman alıcı olduğundan diğer basamakların kazısının tek kademede yapılması düşünülmüştür. Bunun için delik boyunun arttırılarak 13 m'ye çıkarılması ve bu boydaki deliklerin patlatılması sonucu çevredeki yapılara, canlılara zarar verilmeyecek bir tasarım yapılması gündeme gelmiştir.
İhtiyaca cevap verecek tasarım yapılırken çevresel riskler göz önünde tutulmuş ve aynı anda patlayan patlayıcı madde miktarı sınırlandırılmıştır. Ayrıca bu konuda Gaziantep Üniversitesi'nden alınmış olan raporda aynı anda devreye girecek patlayıcı miktarı 17,16 kg ile sınırlandırılmış olduğundan bu değerin aşılmamasına dikkat edilmiştir. Sonuçta Şekil 2'de görüldüğü gibi 13 m'lik deliğin ara sıkılama ile bölünerek 2 kademede patlatılmasını sağlayacak tasarım uygulanmaya başlanmıştır.

Şekil 5'te dolum şekli verilmiş olan 13 m'lik deliklerde çift sıkılama yapılarak üst kademe 450 ms'lik kapsüller ile alt kademe ise 500 ms'lik kapsüller ile ateşlenmektedir. Bir delikte toplamda 30 kg ANFO kullanılmasına rağmen önce üst kademedeki 15 kg'lık şarj (450 ms ile ateşlenen), 50 ms sonra da alt kademedeki 15 kg'lık şarj (500 ms ile ateşlenen) devreye girmektedir. Böylece delik boyu artmasına rağmen birim zamanda anlık patlayan şarj miktarı (15 kg ANFO) kontrol altında tutulmuştur.

Bu tasarımla ile ilk önceleri çevreden herhangi bir şikayetin olmadığı çok başarılı patlatmalar yapılmış ve çevreye herhangi bir zarar verilmemiştir. Ancak delme patlatma uygulamaları bu tasarıma sadık kalınarak uygulanırken dolum işçiliğini ve maliyeti arttıran çift sıkılama yerine ara sıkılamasız tek yemleme ile patlatmalar yapılmıştır. Bu durumda ara sıkılama kaldırıldığı için gecikme başına devreye giren patlayıcı madde miktarı 30-kg olmuştur. Gecikme başına düşen miktarın patlatmanın olumsuz etkilerini arttıracağı tahmin edilmekle birlikte yapılan ilk patlatmalardan herhangi bir şikayet gelip gelmediği şantiyeye sorulmuş ve herhangi bir şikayetin gelmediği cevabı alınmıştır. Ancak daha sonra yapılan birkaç patlatmadan sonra çevreden şikayet gelmiş ve derhal Şekil 5'teki tasarıma dönülmüştür.

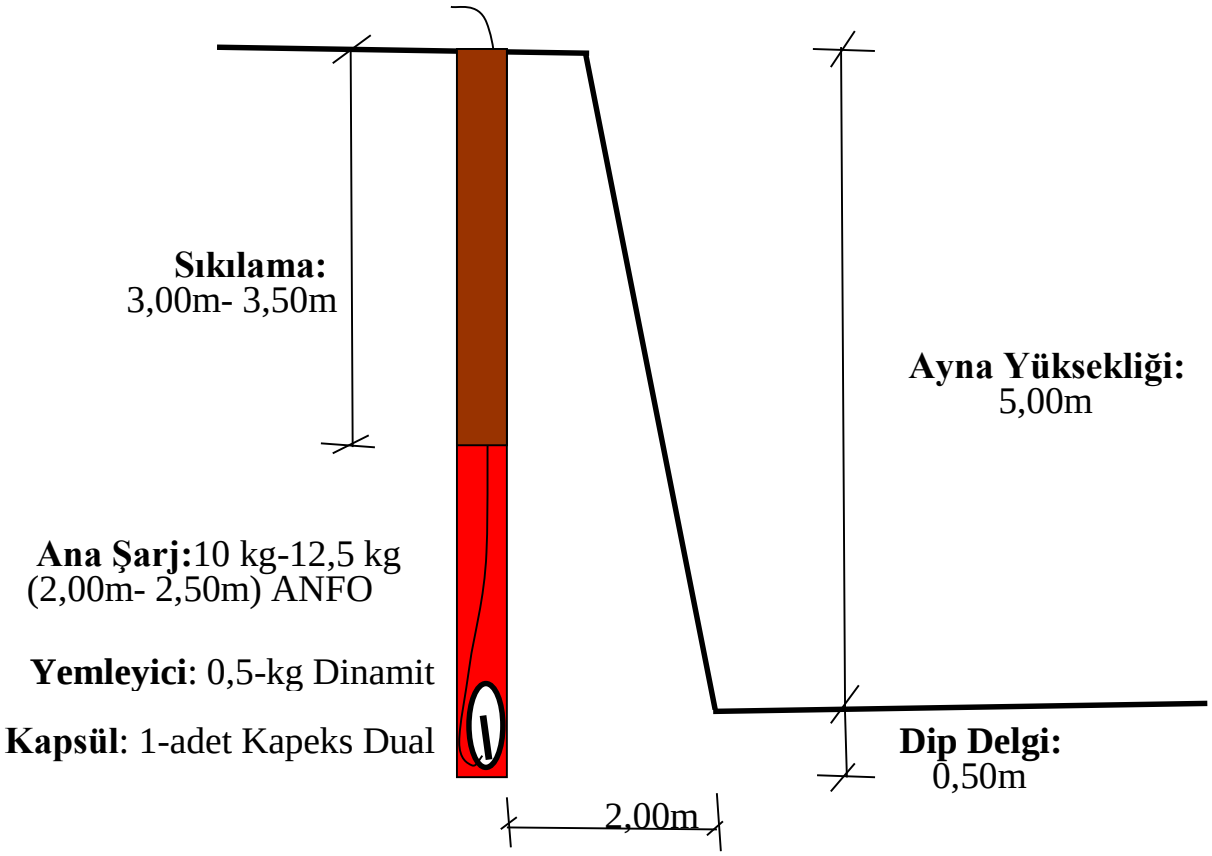


Şekil 5. 13m Boyundaki Deliğin Dolum Şekli

4.4 Yöntem Değişikliği ve 3. Palye Kazısı

2.Basamak kazısının son aşamalarında çevreden gelen şikayetler üzerine delik boyunu düşürmek amacıyla 15m'lik son basamağın 5'er metrelik 3.kademe halinde kazılması kararlaştırılmıştır. Kademelerin 5 m'lik 3 dilim halinde kazılması öngörüldüğünden deliklerin 5,50m derinliğinde delinmesine karar verilmiştir. Bu uygulama ile deliğe doldurulan ana şarj (ANFO) miktarını, dolayısıyla hissedilecek sarsıntı etkisinin düşürmek hedeflenmiştir. Sıkılama boyunun öncelikle 3,50 m olarak ayarlanması, atım sonuçlarına göre 3,00 m'ye kadar çekilmesi ve 3,00 m'den daha az sıkılama yapılmaması ile kaya fırlamasının önüne geçileceği öngörülmüştür. Uzun sıkılama boyuna rağmen atım kalitesini iyileştirmek adına delikler arası mesafe ile yük mesafesinin 2,00m olarak ayarlanması önerilmiştir (Şek. 6).

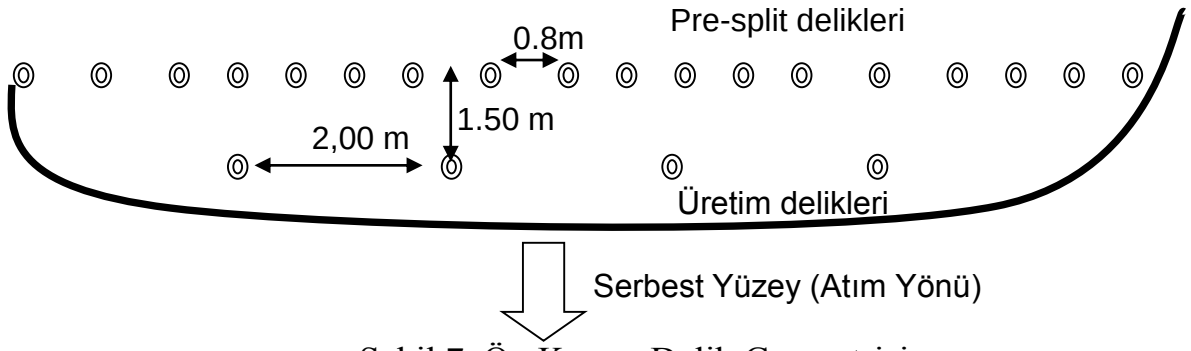
Bu parametreler uygulanırken Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü tarafından yapılan patlatmaların çevresel etkilerinin değerlendirildiği bir çalışma yapılarak raporlandırılmıştır. Bu çalışma kapsamında 12.06.2014 tarihli patlatma sırasında atım yerine 180m uzaklıktaki Gökçedere Köyün'de bir evin yanında sarsıntı ölçümü alınmıştır. 3,50m-5,50m arasında değişen uzunluklardaki 62 adet delikten oluşan atım grubu doldurulurken gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarı en fazla 12,5kg ANFO+0,50kg dinamit olarak gerçekleşmiştir. Atım sonucu Vektörel Gövde Hızı 2,53 mm/sn olarak ölçülmüş ve hazırlanan raporda bu parametrelerle çalışılması halinde yapılan patlatmaların herhangi bir olumsuz etkisinin olmayacağı görüşü bildirilmiştir.



Şekil 6. Son Palyede Uygulanan 5,50m Boyundaki Deliğin Dolum Şekli

4.5 Nihai Şevlerde Düzgün Yüzey Elde Etme Çalışmaları

Bahçe-Nurdağ Varyantı Altyapı İnşaatı işinin Nurdağ portali, yerleşim birimlerinin çok yakınında olduğu için kontrollü patlatma teknikleri ile kazısı yapılmaktaydı. Bunun yanında nihai şevlerde düzgün yüzey elde edilmek istendiğinden ihtiyaca cevap verecek şekilde bir Ön Kesme tasarımı yaparak düzen oturtmak için bir dizi deneme yapılmıştır. Önce 10g/m'lik infilaklı fitile ince çaplı dinamit kartuşlarının bantlanması ile ön kesme işlemi yapılmıştır. İlk uygulamanın sonuçları görüldükten sonra ikinci uygulama olarak ön kesme deliklerinde 80g/m'lik fitilin kullanıldığı uygulamaları yapılmıştır. İkinci uygulama devam ederken Bölüm 4.3'de belirtilen şikayetin gelmesi üzerine Bölüm 4.4.3'de anlatılan uygulama ile devam edilmiştir. Genel olarak Ön Kesme tekniğinde uygulanan delik geometrisi (delikler arası mesafe, ön kesme hattı ile üretim delikleri arası mesafe) Şekil 4'de görülmektedir. Ön kesme deliklerinin boyu basamak boyu kadar delinmekte olup dolum sırasında kullanılan patlayıcı maddeler Bölüm 4.5.1, Bölüm 4.5.2 ve Bölüm 4.5.3'de anlatılmıştır.



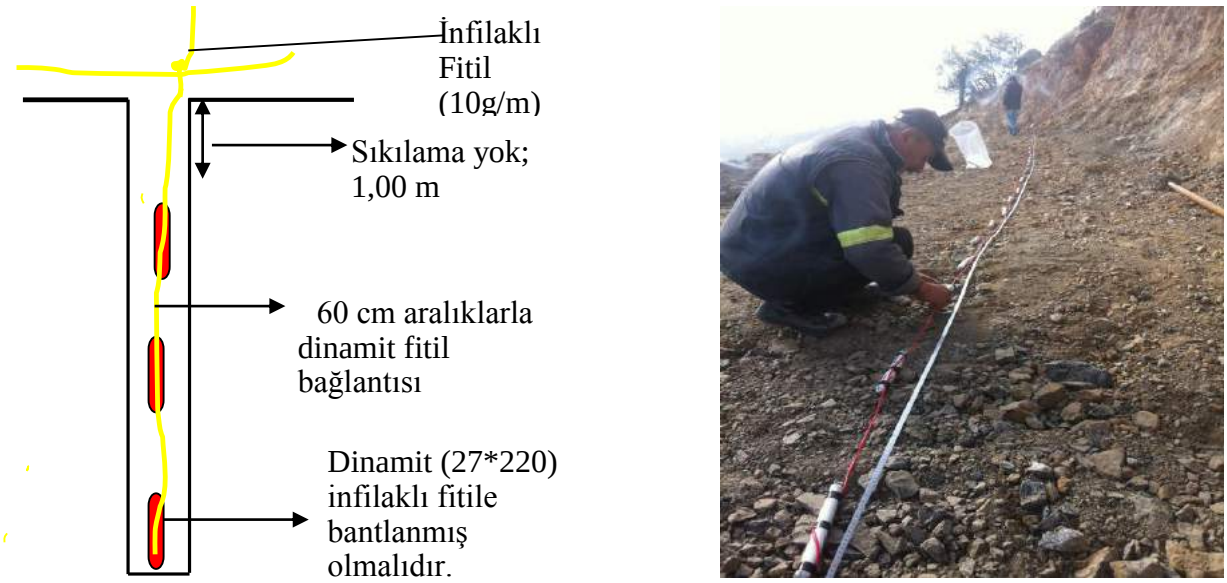
Şekil 7. Ön Kesme Delik Geometrisi

4.5.1 Dinamit kartuşları ve 10g/m'lik infilaklı fitil uygulaması

Kontrollü patlatma uygulamalarıyla birlikte talep edilen düzgün yüzey elde etme çalışmaları kapsamında tasarımı yapılan Ön Kesme tekniğinin ilk uygulaması klasik şekilde 10 g/m'lik infilaklı fitile 27 mm çapındaki kartuşların 60 cm aralıklarla bantlanması ile yapılmıştır. Şekil 8'de görüleceği gibi kartuşların fitile bantlanması sırasında ölçekli ve titiz çalışılmıştır. Şekil 8'de dolum şekli gösterilen deliklerin ateşlenmesi sonucu oluşacak hava şoku ve gürültüyü azaltmak için deliklerin üzeri konveyör bantı ile örtülmüş ve üzerlerine ağırlık yapmak için toprakla dolu poşetler yerleştirilmiştir. 23.01.2014 tarihinde yapılan uygulamaya ait veriler Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. 10g/m'lik fitile dinamit kartuşlarının bantlanması ile yapılan ön kesme uygulamasına ait veriler

Atım Yeri	Bahçe-Nurdağ Altyapı İnşaatı- Nurdağ Portali
Delik Çapı	89 mm
Delik Aralığı	0,80 m
Delik Boyu	16 m (nihai şev sınırında)
Şarj	İnf. Fitil üzerine 60 cm aralıklarla bantlanmış Dinamit
Dinamit tipi	Nobelex TG (27*220) her biri 150gr
Ateşleme Sistemi	İnfilaklı Fitil 10g/m
Delikler Arası Gecikme	Gecikme yok.
Sıralar Arası Gecikme	Sıra yok. Tek sıra halinde delinmiştir.
Delik Sayısı	20 adet (tek sıra halinde)



Şekil 8. İnfilaklı Fitil ve Dinamit Uygulaması ve Kartuşların fitile bantlanması

Bu uygulamanın çok fazla işçilik gerektirdiği, zaman kaybına neden olduğu ve atım sonucu aşırı hava şoku yaratıldığı sonucuna varılarak bir sonraki uygulamanın 80 g/m'lik infilaklı fitil ile yapılmasına karar verilmiştir.

4.5.2 Ön kesme deliklerinde 80g/m'lik infilaklı fitil uygulaması

10 g/m'lik infilaklı fitil üzerine 27 mm'lik dinamit kartuşlarının bantlanması ile yapılan ilk Ön Kesme uygulamasından sonra ikinci olarak ön kesme deliklerinde 80 g/m'lik fitil kullanılmaya başlanmıştır. Bu uygulamada deliğin tabanından ağzına kadar 80 g/m'lik infilaklı fitil kullanılmıştır. Sadece tabanda kırmayı garanti altına almak için deliğin dibine 0,50 kg

dinamit indirilmiştir. Üretim delikleri ile birlikte ön kesme tekniğinin birlikte kullanıldığı bu uygulamaya ait veriler Çizelge 5'de verilmiştir.

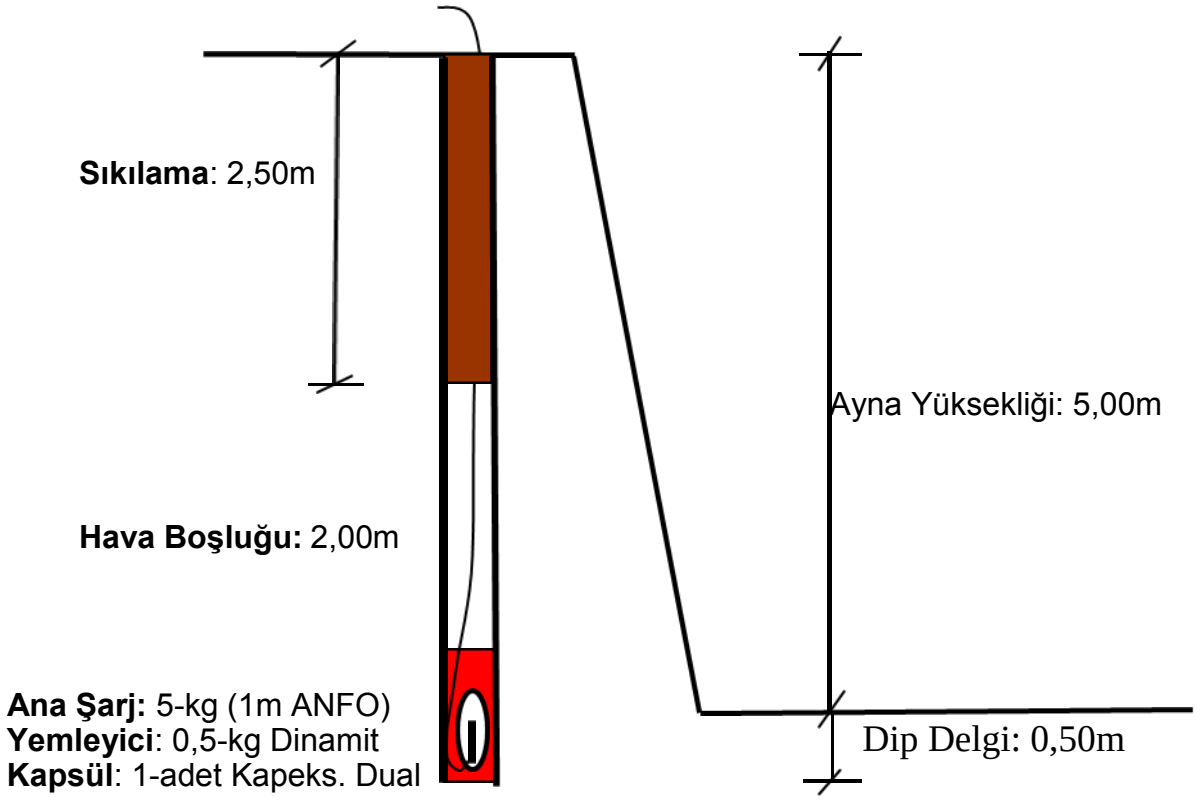
Çizelge 5. Üretim ve ön kesme deliklerinin birlikte kullanıldığı uygulamaya ait veriler

Delik Çapı	89-mm
Delik Aralığı	Üretimlerde 2,00 m, ön kesmede 0,80 m
Yük mesafesi	Üretimlerde 2,00 m, ön kesme-üretim arası 1,50 m
Delik Boyu	Üretimler 6,50-7,00 m, ön kesme delikleri 15 m
Ana Şarj	Üretimlerde her deliğe 12,50 kg-15,00 kg ANFO (deliğin 2,50m-3,00m'si), ön kesme deliklerinde 80g/m'lik İnf. fitil
Yemleyici Dinamit	0,50 kg Kapeks Nova 65 (38*370)- (tüm deliklerde)
Ateşleme Sistemi	Üretimlerde Kapeks Dual 25/500 ms, ön kesme deliklerinde ise İnfilaklı Fitil 10 g/m
Delikler Arası Gecikme	Üretimlerde 25ms. Ön kesmede gecikme yok
Sıralar Arası Gecikme	Ön kesme delikleri üretimden 200 ms önce patlıyor.

2. Palye kazısının son aşamalarına kadar ön kesme atımları bu parametrelere göre devam etmiştir. Bölüm 4.3'de nedeni anlatılan şikayetten sonra insanların daha fazla hassaslaştığı düşünülerek 80 g/m'lik infilaklı fitilin oluşturduğu gürültüyü azaltmak adına bu uygulama terk edilmiş ve Bölüm 4.5.3'deki uygulamaya geçilmiştir.

4.5.3 Ön kesme deliklerinde hava boşluğu uygulaması

Ön kesme deliklerinde 80g/m'lik infilaklı fitil kullanılan uygulama başarılı bir şekilde devam ederken Bölüm 4.3'de nedeni belirtilen şikayetin gelmesi üzerine patlatma sonucu oluşacak gürültünün yaratacağı psikolojik etki de düşünülerek ön kesme deliklerinin Şekil 9'da görüldüğü gibi hava boşluğu bırakılarak doldurulması kararlaştırılmıştır.



Şekil 9. 5,50m'lik ön kesme deliğinin dolum şekli.

80gr'lık fitil ile yapılan mevcut uygulamanın neden olduğu hava şoku ve gürültü seviyelerini düşürmek için ön kesme deliklerinde Şekil 9'daki uygulama önerilmiştir. Bu yeni uygulamada, 5,50 m boyundaki deliğin 1 m'si doldurulurken arada 2 m'lik bir hava kanalı bırakılmaktadır. Deliğin geri kalan üstten 2,50 m'si ise sıkılama malzemesi (delgi tozu) ile kapatılmaktadır. Çizelge 6'da bu uygulamanın verileri görülmektedir:

Çizelge 6. Delik içinde hava boşluğu bırakılan ön kesme uygulamasına ait veriler

Atım Yeri	Bahçe-Nurdağ Altyapı İnşaatı- Nurdağ Portali
Delik Çapı	89 mm
Delik Aralığı	1,00 m,
Yük mesafesi	1,50 m,
Delik Boyu	5,50 m,
Ana Şarj	5,00 kg ANFO (deliğin 1,00m'si ANFO ile doldurulacaktır)
Sıkılama Boyu	2,50 m (delgi tozu-toprak ile doldurulacaktır)
Yemleyici Dinamit	Kapeks Nova 65 (38*370)- 0,5 kg (tüm deliklerde)
Ateşleme Sistemi	Kapeks Dual 25/500ms (delikler arası 25ms, delik içinde 500ms gecikme),
Delikler Arası Gecikme	25ms.
Sıralar Arası Gecikme	Genelde tek sıra. Çift sıra olursa 42ms

5 DİĞER ÖNLEMLER

Bu çalışmada, yukarıdaki bölümlerde detayları verilen sakınmalı-kontrollü patlatma tekniklerine ilave olarak bazı tedbirler alınmıştır. Bu ek tedbirlerden birincisi, oldukça dik bir yamaçta yapılan çalışmalar sonucu kaya yuvarlanma riskini dikkate alarak bir emniyet hendeği kazılmasıdır. Bu sayede gerek mekanik kazı sırasında gerekse patlatmalar neticesinde yamaçtan yuvarlanacak iri blokların bu hendekte tutulması amaçlanmıştır. Fotoğraf 8'de görüldüğü gibi bu önlem çok yararlı olmuştur.

Tarafımızca önerilen diğer bir önlem ise normal siren uygulamasına ek olarak mahalle camisinden patlatmadan önce anons yapılarak insanların bilgilendirilmesidir. Böylece insanlar anonstan sonra patlatma yapılacağını bilerek paniğe kapılmalarının engelleneceği düşünülmüştür. Gerçekten de projenin Nurdağ Portali Gökçedere Mahallesinin çok yakınında olmasına rağmen yapılan patlatmalar sonucu insanların korku ve panik halinde sokağa çıktığı bir durum yaşanmamıştır. Dolayısıyla insanların patlatma konusunda önceden bilgilendirilmesinin bu tip çalışmalarda ne kadar önemli olduğu bir kez daha anlaşılmıştır.

Şekil 10. Emniyet Hendeği

6 SONUÇLAR

Günümüz teknolojik imkanları ile patlayıcı madde sektörü, özellikle yerleşim birimlerinin çok yakınlarında yapılacak olan patlatmalar için hem sarsıntı sorunu ile mücadelede kullanıcıların elini rahatlatacak hem de üretimi çok fazla düşürmeyecek ürünleri geliştirmiştir. Çok yakınında patlatmanın olumsuz etkilerine maruz kalabilecek unsurların bulunduğu durumlarda doğrudan yasaklama yerine bilimsel bir yaklaşımla kontrollü patlatma teknikleri ile yapılacak uygulamalara şans verilmesi ve sonuçlarının izlenerek revize edilmesinin doğru yol olduğu inancındayız. Bu çalışmamızda Bahçe-Nurdağ Varyantı Altyapı İnşaatı projesi kapsamında yerleşim yerlerinin çok yakınında kazısı gerçekleştirilen Nurdağ portalinde yapılan sakınmalı-kontrollü patlatma uygulamaları anlatılmıştır.

- Patlatmaların yapılacağı bölge önceden ziyaret edilerek patlatmalardan etkilenecek unsurlar tespit edilmiştir.
- Firma yetkililerinin talepleri ve mevcut durum göz önüne alınarak yapılacak olan patlatmaların detaylı olarak anlatıldığı bir teknik rapor hazırlanmıştır. Özellikle ruhsat başvurusu sırasında resmi makamlarca ve patlatmalar başladığında idare tarafından istenmiştir. Önceden hazırlanması yerinde olmuştur.
- Uygulamalar sırasında sarsıntı, kaya fırlaması, hava şoku ve gürültü gibi olumsuz patlatma etkilerinin yanında yamaçtan kaya yuvarlanması tehlikesi de dikkate alınmıştır.
- İlk palye kazısı 6,50m'lik 2 kademe halinde sorunsuz yapılmıştır.
- 2. Palyenin kazısı sırasında üretim hızını arttırmak amacıyla delikler 13m'ye çıkarılmış ve birim zamanda devreye giren patlayıcı madde miktarını sınırlamak için deliklerde ara sıkılama kullanılarak farklı gecikme sürelerine sahip çift yemleme yapılmıştır. Bu sistem sorunsuz devam ederken işçiliği arttıran ve zaman kaybına neden olan ara sıkılama bir kaç patlatmada terk edilmiş ve bunun sonucu çevreden şikayetler gelmiştir. Bunun üzerine derhal ara sıkılamalı sisteme dönülmüştür.
- 3. Palye kazısı ise 5,50m'lik delikler ile sorunsuz yapılmıştır. Bu palye kazısı sırasında bir önceki palye kazısı sırasında gelen şikayetlerden sonra çevrede hassaslığın artması nedeniyle ön kesme deliklerinde klasik fitil yöntemi terk edilerek Bölüm 4.5.3'de anlatılan delikte boşluk bırakılan yöntem uygulanmıştır.
- Nihai şevlerde düzgün yüzey elde etmek adına bir kaç farklı yöntem denenmiştir. Gelen şikayetler üzerine çevrenin hassasiyeti dikkate alınarak ihtiyaca cevap veren en uygun tasarımla 3.Palye kazısı tamamlanmıştır.
- Kontrollü patlatma prensiplerine bağlı kalınarak yapılan patlatma uygulamalarına ek olarak emniyet hendeği kazılması ve mahalle camisinden anons yapılarak önceden insanların haberdar edilmesi çok yaralı olmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu bildirinin hazırlanması sırasında desteklerini sunan Sn. Ömer Akarsu'ya, Sn. Barış Duman'a, Sn. Volkan Uçmaz'a ve İntekar Yapı Tur. Elekt. İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Günal, M. 2013. *Teknik Rapor*, Gaziantep Üniversitesi İnşaat Müh. Bölümü, Gaziantep

Kılıç, Ü. 2013. *Bahçe-Nurdağ Varyantı Altyapı İnşaatı Patlatma Tasarımı, Teknik Rapor*, Yayınlanmamış, Ankara

Kılıç, Ü. 2014. *Bahçe-Nurdağ Varyantı Altyapı İnşaatı Projesi Nurdağ Portalinde Yapılan Patlatmaların Değerlendirilmesi ve Yeni Öneriler, Teknik Raporlar*, Yayınlanmamış, Ankara

Kılıç, A. Mahmut ve Ural, S. 2014. Gaziantep İli, Nurdağ İlçesi, Aşağıocak ve Gökçedere Köyü sınırları İçerisinde Yer Alan T.C.D.D.'na Ait, *Bahçe-Nurdağ Geçişi Tünelinde İntekar Yapı Tur. Elekt. İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti. Tarafından Gerçekleştirilen Tünel Portal Kazı Patlatmalarının Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesine Yönelik Bilimsel Rapor*, Adana

Ormangören, M. 2013 Bahçe Nurdağ Varyantı Demiryolu Uygulama Projesi https://www.youtube.com/watch?v=-3WXqrYqec4 Bahçe-Nurdağ Varyantı ve Tünel Geçişi

Shuakhevi Hidro Elektrik Santral Projesi Enerji Tünellerindeki Patlatmalarda Uygulanan Paralel Kesme Yöntemi ve Orta Çekme (V-Kesme) Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Comparison of Parallel Cut and V-Cut Methods Which are Applied during Excavation in Energy Tunnel in Shuakhevi HEPP

Ü. Kılıç, V. Alabaş, M. Derya
Madser Patlayıcı Maddeler Ltd. Şti)

M. H. Erçelik
AGE Batumi

ÖZET Dünya'da delme-patlatmalı kazı yapılan tünel projelerinde veya maden galerilerinde delme-patlatma yöntemi olarak genelde Paralel Kesme metodu kullanılırken ülkemizde çok büyük oranda V-Kesme yöntemi tercih edilmektedir. Bu durumun ana nedenleri olarak delici operatörlerinin ve ateşleyicilerin alışkanlıkları ve Paralel Kesme yönteminin uygulaması sırasındaki zorluklar sayılabilir.

Bu bildiride her iki yöntemin kullanıldığı Shuakhevi HES projesindeki enerji tünellerinde yapılan patlatma uygulamaları anlatılarak sonuçları yorumlanmıştır. Bu çalışma, elde edilen tecrübeleri paylaşarak benzer şartlarda çalışan mühendislere fikir vermeyi amaçlamaktadır.

ABSTRACT In spite of the fact that V-Cut is the most preferred method in Turkey in tunnel projects which are excavated by drilling and blasting, Parallel Cut is the most preferred method in the World. The reasons could be the habits of the drilling operators and shotfirers and the operational difficulties of Parallel Cut method.

The experiences of drilling and blasting applications in Shuakhewi HEPP energy tunnels where both methods are applied are mentioned and the results are evaluated in this paper. This study aims to share the experiences and to help the engineers who are working in the same conditions.

1 GİRİŞ -

Dünya'da delme-patlatmalı kazı yapılan tünel projelerinde veya maden galerilerinde delme-patlatma yöntemi olarak genelde Paralel Kesme metodu kullanılırken ülkemizde çok büyük oranda V-Kesme yöntemi tercih edilmektedir. Bu durumun ana nedenleri olarak delici operatörlerinin ve ateşleyicilerin alışkanlıkları ve Paralel Kesme yönteminin uygulaması sırasındaki zorluklar sayılabilir.

Paralel kesme ile Orta kesme yöntemlerinin birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları mevcut olup yöntem seçimi genellikle alışkanlıklara göre yapılmaktadır. Ülkemizde delme-patlatma işinde çalışan personeller (delici makine operatörleri ve ateşleyiciler) usta- çırak ilişkisi ile yetiştiğinden bir yöntemi öğrenen personel diğerini bilememektedir. Şantiyede ise bu konu, genellikle ateşleyicilerin ve delici operatörlerinin inisiyatifine bırakılmaktadır. Bu nedenlerden ötürü, ülkemizde bu 2 yöntem arasında seçim yapılırken, denemeler sonucu elde edilen verilere göre bir analiz yapılması gibi bilimsel bir yaklaşımdan bahsetmek mümkün değildir. Seçim, tamamen alaylı personelin alışkanlıklarına ve bilgi seviyesine bağlı olup

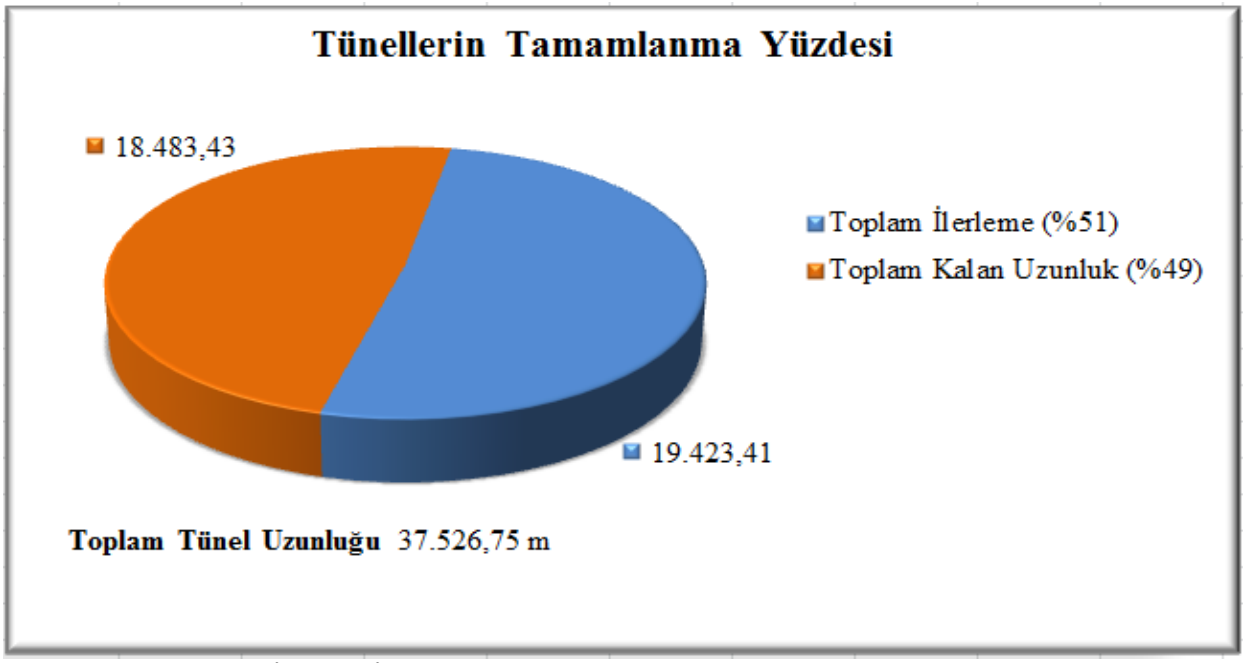
şantiyede konuya ısrarlı bir uğraş olmadıkça bu personelin yönlendirmesi doğrultusunda gerçekleşmektedir.

Bu bildiride her iki yöntemin kullanıldığı Shuakhewi HES projesindeki enerji tünellerinde yapılan patlatma uygulamaları anlatılarak sonuçları yorumlanmıştır. Bu çalışma, elde edilen tecrübeleri paylaşarak benzer şartlarda çalışan mühendislere fikir vermeyi amaçlamaktadır.

2 PROJE HAKKINDA KISA BİLGİ

Shuakhevi HES projesi, Gürcistan - Acara Özerk Cumhuriyeti şehirlerinden Batum il merkezine yaklaşık 70 km uzaklıkta bulunan dağlık Shuakhevi bölgesinde bir Norveç firması olan " Clean Energy" ile Hindistan firması "Tata Power" tarafından yatırımı devam eden bir proje olup inşaatı AGE-BATUMI şirketi tarafından yapılmaktadır. Clean Energy ile Hindistan firması tarafından kurulan Adjaristsgali Georgia LLC firması işveren firma olup, HES projesi tamamlandığında enerji üretim kapasitesi 185 MW olacaktır. Proje kapsamında bir adet ana tünel hattı ve iki adet transfer tünel hatları yer almaktadır. Shuakhevi Ana Tünel Hattı toplamda yedi adet yaklaşım tüneli yardımı ile Didachara – Shuakhevi Santral Binası arasındaki yaklaşık 21 km'lik, Ø6,2 m çapında bir tüneli kapsamaktadır. Skhalta – Didachara bağlantısını yapacak olan transfer tünel hattında Skhalta mevkinden tek bir yaklaşım tüneli yardımıyla ve Didachara mevkinden yaklaşımsız olarak açılacak olan tünel 9,5 km'lik Ø5,2 m çapında transfer tüneli oluşturulmaktadır. Chirukhistsqali – Skhalta transfer tüneli ise toplamda iki uçtan iki yaklaşım tüneline sahip ve yaklaşık 6,5 km'lik, Ø4,2 m çapında uzunluğa sahiptir. Bunun dışında toplamda 443 m uzunluğunda derivasyon tünelleri yer almaktadır. Bu üç tünel hattının ve derivasyon tünellerinin uzunlukları ve lokasyon isimleri Çizelge.1 ve Ek.1'de belirtilmiştir. (Çelik, E; Erçelik, M. ve Kurdoğlu, Ç. 2015. *Shuakhevi 185MW Hidroelektrik Santral Projesi Delme-Patlatma Verilerine Ait Rapor. Sayfa 3-5*)

Yüklenici firma tarafından hazırlanan raporda Haziran 2015 ayı itibari ile projede bulunan tünellerin %51'i tamamlanmış olup geri kalan %49'luk bölümün ise 2016 yılının sonuna kadar bitirilmesi planlanmaktadır (Şek.1).



Şekil 1. Haziran 2015 İtibari İle Tünellerin Tamamlanma Yüzdeleri (Çelik, E; Erçelik, M. ve Kurdoğlu, Ç. 2015)

Çizelge 1. Lokasyonlara Göre Tünel Uzunlukları

Lokasyon	Toplam Tünel Uzunluğu (m)
Shuakhevi Ana Tünel Hattı	**21.037,88**
Headrace Inlet	59,37
Diakonidze Adit	334,31
Diakonidze Right Side	2377,01
Diakonidze Left Side	2220,49
Vashlovani Adit	891,73
Vashlovani Right Side	2424,96
Vashlovani Left Side	2195,04
Chanckalo Adit	568,85
Chanckalo Right Side	2392,37
Chanckalo Left Side	2167,63
Akhaldaba Adit	555,23
Akhaldaba Right Side	141,76
Akhaldaba Left Side	2730,21
Pressure Shaft	251,30
High Pressure Headrace Adit	628,88
Headrace Right Side	482,16
Headrace Left Side	357,42
Bifurcation Adit	155,39
Steel Lined High Pressure Headrace RS	279,38
Steel Lined High Pressure Headrace LS	75,69
Skhalta- Didachara Transfer Tünel Hatttı	**9587,68**
Skhalta Intake Adit	365,30
Skhalta Intake Right Side	645,57
Lokasyon	**Toplam Tünel Uzunluğu (m)**
Skhalta Intake Left Side	3970,06
Skhalta Outlet	4606,75
Chirukhistgali – Skhalta Tarnsfer Tünel Hattı	**6457,87**
Chirukhistgali Intake Adit	16,49
Chirukhistgali Intake Right Side	40,70
Chirukhistgali Intake Left Side	3132,82
Rock Trap Adit	230,07
Rock Trap Right Side	2742,18
Rock Trap Left Side	295,61
Derivasyon Tünelleri	**443,32**
Didachara Derivasyon	179,98
Skhalta Spillway North Side	139,22
Skhalta Spillway South Side	124,10

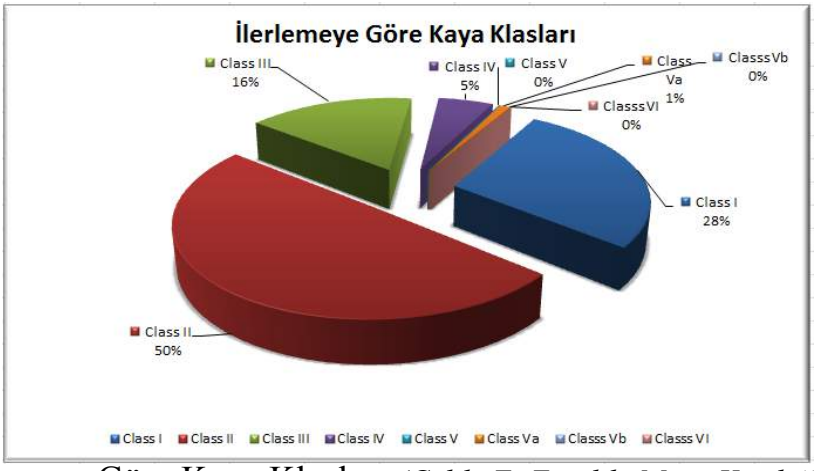
3 SAHANIN JEOLOJİSİ

Proje alanı içindeki kayalar, volkanik ve volkanikalstik tortulardır. Tipik olarak Andezit - Bazalt – Lav Akışları, Lav – Breşleri ve volkanik kül çökeltileridir (tüf). Saha alanında kaya türlerine bakıldığında Chidila (en yaşlı), Adigeni ve Gorjomi (en genç) olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Tünel yapımı sırasında Andezit, Bazalt, Tüf ve Breş/Konglomera dört ana kaya türleri ile çalışılması beklenmektedir.

Sahanın karmaşık jeolojik ortamı nedeni ile tünel yapım sırasında başka kaya tipleri ile de karşılaşılması beklenmektedir. Proje alanı boyunca, arada bir araya giren püskürük damarlar ile

de karşılaşılmıştır. Tünellerin yapımı sırasında karşılaşılan kayaların %98'inin yukarıda belirtilen dört ana kaya türlerinden biri olması beklenmektedir.

Projedeki kaya sınıflarına göre tünellerde yapılan ilerlemeler ve yüzdeleri Çizelge 2'de ve Şekil 2'de verilmiştir. Görüldüğü gibi tüneldeki ilerlemelerin %78'sı çoğunlukla sert zeminde yapılmış olup, Class I zemininde %28 (4895,80 m), Class II zemininde %50 (8786,88 m) ve Class III zemininde ise %16 (2872,65 m) ortalama ilerleme yapılmıştır. (Çelik, E; Erçelik, M. ve Kurdoğlu, Ç. 2015. *Shuakhevi 185MW Hidroelektrik Santral Projesi Delme-Patlatma Verilerine Ait Rapor*)



Şekil 2. İlerlemeye Göre Kaya Klasları *(Çelik, E; Erçelik, M. ve Kurdoğlu, Ç. 2015.)*

Çizelge 2. Tünellerde Kaya Klaslarına Göre İlerlemeler

Lokasyon	**Kaya Sınıfına Göre Tünel İlerlemeleri (m)**					**Toplam İlerleme (m)**
	Class I	Class II	Class III	Class IV	Class Va	
Ana Hat Tüneli	3962,07	4931,90	1720,82	490,13	100,73	11205,7
Skhalta - Didachara Transfer Tüneli	597,13	2130,36	526,48	267,72	48,00	3569,69
Chirukhistsqali - Skhalta Transfer Tüneli	197,90	1706,32	625,35	174,37	24,74	2728,68
Derivasyon Tünelleri	138,70	18,30	0,00	22,97	0,00	179,97
TOPLAM	4895,80	8786,88	2872,65	955,19	173,47	**17683,99**

*****ClassV, Class Vb, Class VI herhangi kazı yapılmamıştır.

4 KISA TEORİK BİLGİ

4.1 Tünel Patlatma Yöntemleri

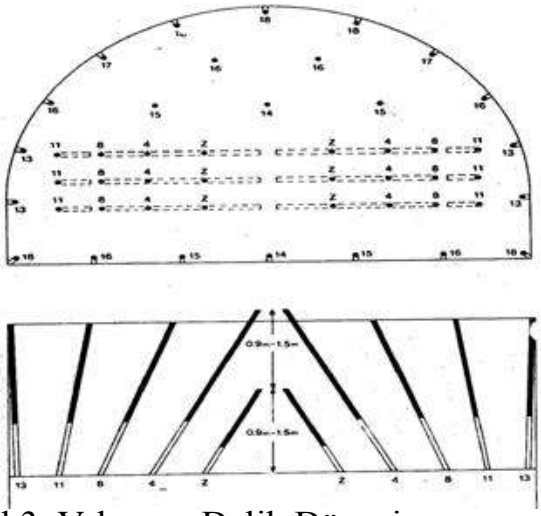
Basamak patlatmalarından farklı olarak tek bir serbest yüzeye doğru yapılan tünel patlatmalarında 2. serbest yüzey kesme bölgesi ile oluşturulur. Tünel patlatma yöntemleri de kesme bölgesinin şekline göre adlandırılır. En yaygın olarak uygulanan yöntemler V-Kesme (Orta Çekme) ve Paralel Kesme yöntemleridir. Her iki yöntemin birbirine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Bu bölümde her iki yöntem hakkında kısa bilgi verilmiştir.

4.1.1 Orta Kesme (V-cut) Yöntemi

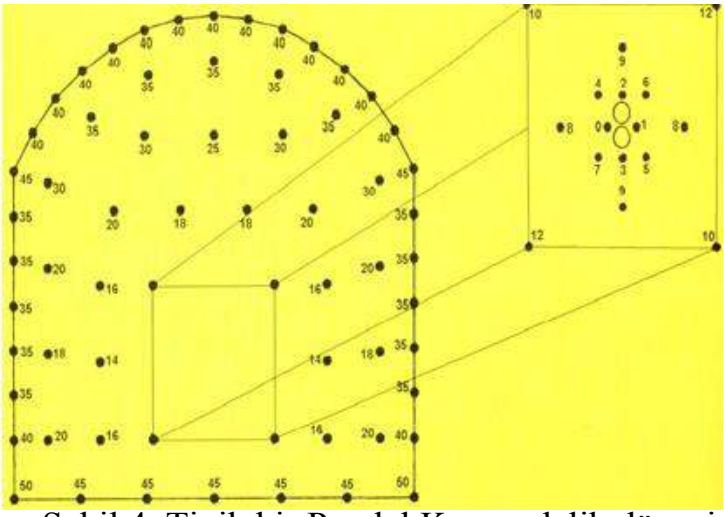
Bu yöntemde tünel aynasının kesme bölgesine V şeklinde delikler delinir ve bu delikler aynı anda ateşlenerek ilk önce bu bölgenin boşaltılması sağlanır. Şekil 4'de tipik delik düzeni görülen Paralel Kesme uygulamasında tüm delikler birbirine paralel olarak aynaya dik şekilde delinirken Orta Çekme (V-Cut) yönteminde kesme delikleri V şeklinde bir geometri ile delinir (Şek. 3). Sistemi sınırlayan en önemli husus V deliklerinin açısının en az 60 derece olmasının istenmesidir çünkü daha düşük açılarda başarılı sonuçlar almak zorlaşmaktadır (ISEE, 2011). Aksi takdirde dar açıdan dolayı V'nin dip kısmında kırılma yetersiz olmakta ve bu kritik

bölgede kamara (soket) kalabilmektedir. Verimli şekilde boşaltılamayan kesme bölgesi yetersiz serbest alandan dolayı sıkışmaya neden olur ve atımın tümünü etkileyerek toplamda atımın performansını düşürmektedir. Bu olumsuz durumu telafi edebilmek için şarj miktarı arttırılır ama bu da kesin çözüm değildir.

Olofsson'a ve ISEE'ye göre bu yöntemde tünel genişliğinin %45-50'sinden fazla ilerleme hedeflenmemelidir (Olofsson, 2002. Sayfa 177 ve ISEE, 2000, 17th ed, 452.s). Oysa uygulamada zemin tipi, eldeki makine vb. şartlar uygun olduğunda daha uzun delik boyları ile çalışılmaktadır. Dar kesitli tünellerde uzun delik boyları ile yapılan patlatmalarda, başarılı atım sonuçları ancak özgül şarjın arttırılması ile gerçekleşmektedir (Kılıç, Ü. Ve Demir E., 2013). Delik diplerinin birbirlerine 30cm'den fazla yaklaşmaması önerilir.



Şekil 3. V-kesme Delik Düzeni



Şekil 4. Tipik bir Paralel Kesme delik düzeni

(Olofsson, S, (2nd ed.), 2002. *Applied Explosives Technology For Construction and Mining*, 176 s)

4.1.2 Paralel Kesme (Burn Cut) Yöntemi

Bu yöntemde tüm delikler birbirine paralel, aynaya dik olarak delinir. Kesme bölgesine tasarıma bağlı olarak tercihen üretim deliklerinden daha büyük çaplara sahip boş delikler delinerek bunların etrafına oldukça yakın mesafede patlatma delikleri delinir. Patlatma delikleri farklı gecikmelerle ateşlenerek boş deliğin hacmi kademeli olarak genişletilerek hedeflenen 2.serbest yüzey yaratılmış olur. V-Kesme yönteminde olduğu gibi bu yöntem için en kritik nokta, kesme bölgesinin iyi tasarlanmış olmasıdır. Boş deliğin hacmi kesme bölgesinin hacminin en az %10-15'i kadar olmalı ve delikler birbirine titiz şekilde paralel delinmelidir (Orica, 2000). Özellikle kesme bölgesinin ilk 2 kademesinde her deliğe ayrı gecikme verilmelidir. Bu gecikme süreleri patlatma sonucu deliğin önündeki yükü, boş delikten dışarı atacak kadar yeteri uzunlukta tutulmalıdır. Özellikle kesme bölgesindeki deliklerde sıkılama payı çok az bırakılmalıdır. Bundan amaçlanan o bölgede yüksek şarj yoğunluğu sağlayarak kayacı ufalamak ve boş deliklerden dışarı atmaktır. Şekil 4'de tipik bir paralel delik delme yöntemi görülmektedir.

5 SHUAKHEVI HES PROJESİNDEKİ DELME PATLATMA UYGULAMARI

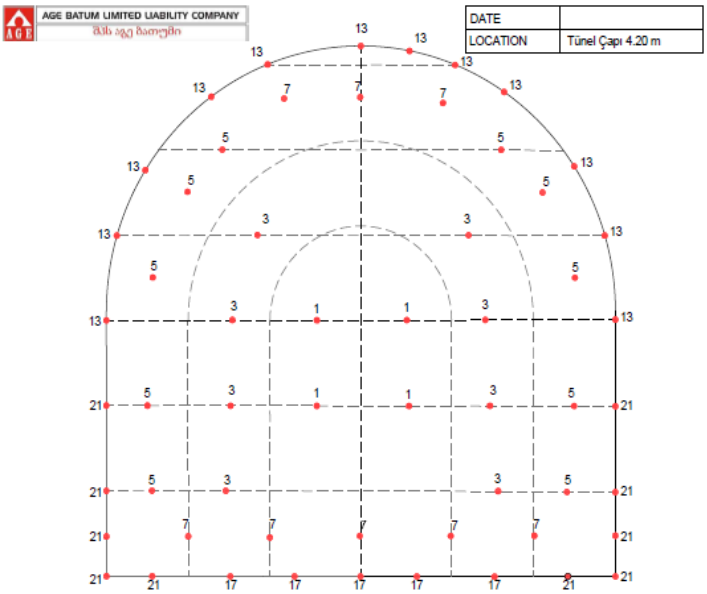
Bu projede Ø4,20 m, Ø5,20 m ve Ø6,20 m çapındaki tünellerde delme-patlatma yöntemi olarak hem paralel delik (Burn Cut) yöntemi hem de Orta Çekme (V-cut) delik delme yöntemi kullanılmıştır. Firma, tünellerin kazısı sırasında delme-patlatma metodu olarak önce paralel kesme yöntemini kullanmış, belli bir süre sonra V-Kesme (Orta Çekme) metodunu kullanmaya başlamıştır. Bu bölümde, proje kapsamında farklı çaplardaki tünellerde kullanılan delme-patlatma uygulamaları anlatılmıştır.

5.1 Ø 4,20m Çapındaki Tünellerde Orta Çekme (V- Kesme) Uygulaması

Firmanın 4,20m çapındaki tünellerde uyguladığı patlatma tasarımı Şekil 5'te görülmektedir. Bu çaptaki tüneller için yapılan tasarımda, aynaya 45 mm çapında, 3,00 m uzunluğunda ortalama 57 adet delik delinmektedir. Bu uygulamaya ait genel parametreler Çizelge 3'de verilmiştir. Firma kayıtlarına göre Haziran 2015 ayı sonu itibarıyla 4,20m çapındaki tünellerde uygulanan V-Kesme yöntemi sonucu günlük ilerleme ortalama 5,50m ve ortalama aylık ilerleme ise 150 m olarak gerçekleşmiştir. (Çelik, Emre; Erçelik, Mete Han ve Kurdoğlu, Çağatay, 2015. *Shuakhevi 185MW Hidroelektrik Santral Projesi Delme-Patlatma Verilerine Ait Rapor*.)

Çizelge 3. Ø 4,20m Çaplı Tünellerde V-Kesme Uygulaması

PARAMETRELER		
Formasyon	:Class I-II	
Tünel Kesit Alanı	: 18,86	m^2
Delik Çapı	: 45	mm
Delik Boyu	: 3,00	m
Delik Sayısı	: 57	ad
İlerleme	: 2,85	m
Üretim	: 53,75	m^3
Atım Verimi	: 95	%
KULLANILAN PATLAYICI MADDELER		
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(38x400)	: 137,21	kg
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(27x225)	: 2,79	kg
Elektriksiz Kapsül LP 5 m	: 57	ad
İnfilaklı Fitil 10 gr	: 20	m
İnfilaklı Fitil 80 gr	: 30	m
Elektrikli Kapsül	: 1	ad
ÖZGÜL TÜKETİMLER		
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(38x400)	: 2,553	kg/m^3
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(27x225)	: 0,052	kg/m^3
Elektriksiz Kapsül LP 5 m	: 1,060	ad/m^3
İnfilaklı Fitil 10 gr	: 0,372	m/m^3
İnfilaklı Fitil 80 gr	: 0,558	m/m^3
Elektrikli Kapsül	: 0,019	ad/m^3
Toplam Delgi	: 3,181	m/m^3



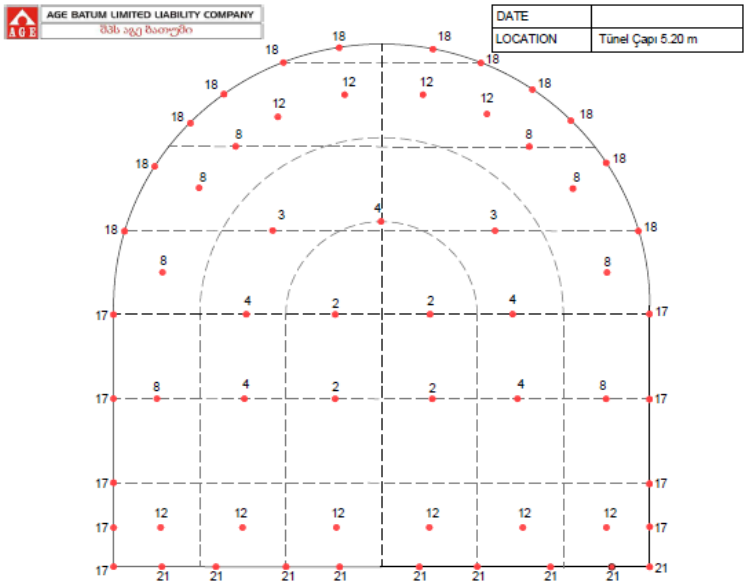
Şekil 5. 4,20m Çapındaki tünellerde uygulanan V-Kesme delik düzeni

5.2 Ø 5,20m Çapındaki Tünellerde Orta Çekme (V- Kesme) Uygulaması

5.20 m çapındaki tünelin aynasına 45 mm çapında, 3,60m uzunluğunda ortalama 65 adet delik delinmektedir. Bu uygulamaya ait genel parametreler ve birim tüketimler Çizelge 4'de, delik düzeni ise Şekil 6'da verilmiştir. Firma kayıtlarına göre Haziran-2015 ayı sonu itibarıyla 5,20m çapındaki tünellerde uygulanan V-Kesme yöntemi sonucu günlük ilerleme ortalama 6,20m ve aylık ortalama ilerleme ise 170 m olarak gerçekleşmiştir. (Çelik, Emre; Erçelik, Mete Han ve Kurdoğlu, Çağatay, 2015. *Shuakhevi 185MW Hidroelektrik Santral Projesi Delme-Patlatma Verilerine Ait Rapor*.)

Çizelge 4. Ø 5,20m Çaplı Tünellerde V-Kesme Uygulaması

PARAMETRELER		
Formasyon	: Class I-II	
Tünel Kesit Alanı	: 25,55	m^2
Delik Çapı	: 45	mm
Delik Boyu	: 3,60	m
Delik Sayısı	: 65	ad
İlerleme	: 3,42	m
Üretim	: 87,38	m^3
Atım Verimi	: 95	%
KULLANILAN PATLAYICI MADDE		
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(38x400)	: 167,58	kg
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(27x225)	: 2,42	kg
Elektriksiz Kapsül LP 5 m	: 65	ad
İnfilaklı Fitil 10 gr	: 20	m
İnfilaklı Fitil 80 gr	: 50	m
Elektrikli Kapsül	: 1	ad
ÖZGÜL TÜKETİMLER		
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(38x400)	: 1,918	kg/m^3
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(27x225)	: 0,028	kg/m^3
Elektriksiz Kapsül LP 5 m	: 0,744	ad/m^3
İnfilaklı Fitil 10 gr	: 0,229	m/m^3
İnfilaklı Fitil 80 gr	: 0,572	m/m^3
Elektrikli Kapsül	: 0,011	ad/m^3
Toplam Delgi	: 2,678	m/m^3



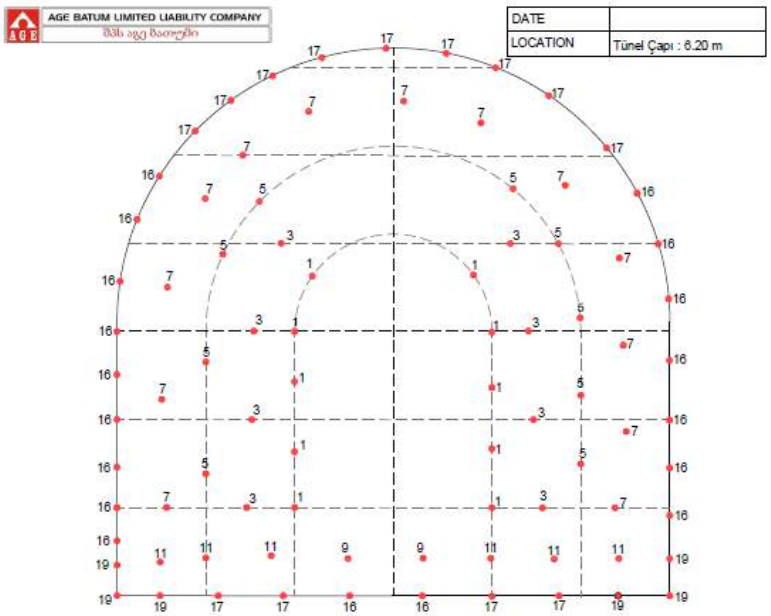
Şekil 6. 5,20m Çapındaki tünellerde uygulanan V-Kesme delik düzeni

5.3 Ø 6,20m Çapındaki Tünellerde Orta Çekme (V- Kesme) Uygulaması

6.20m çapındaki tünelin aynasına 45 mm çapında, 4,00m uzunluğunda ortalama 85 adet delik delinmektedir. Bu uygulamaya ait delik düzeni Şekil 7'de, genel parametreler, sarflar ve birim tüketimler Çizelge 5'de görülmektedir. Firma kayıtlarına göre Haziran-2015 ayı sonu itibarıyla 6,20m çapındaki tünellerde uygulanan V-Kesme yöntemi sonucu günlük ilerleme ortalama 6,00m ve aylık ilerleme ise 160 m olarak gerçekleşmiştir. (Çelik, E; Erçelik, M. ve Kurdoğlu, Ç. 2015. *Shuakhevi 185MW Hidroelektrik Santral Projesi Delme-Patlatma Verilerine Ait Rapor*.)

Çizelge 5. Ø 6,20m Çaplı Tünellerde V-Kesme Uygulaması

PARAMETRELER		
Formasyon	: Class I-II	
Tünel Kesit Alanı	: 36,87	m^2
Delik Çapı	: 45	Mm
Delik Boyu	: 4,00	M
Delik Sayısı	: 85	Ad
İlerleme	: 3,80	M
Üretim	: 140,11	m^3
Atım Verimi	: 95	%
KULLANILAN PATLAYICI MADDELER		
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(38x400)	: 248,06	Kg
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(27x225)	: 1,940	Kg
Elektriksiz Kapsül LP 5 m	: 85	Ad
İnfilaklı Fitil 10 gr	: 30	M
İnfilaklı Fitil 80 gr	: 50	M
Elektrikli Kapsül	: 1	Ad
ÖZGÜL TÜKETİMLER		
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(38x400)	: 1,77	kg/m^3
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(27x225)	: 0,014	kg/m^3
Elektriksiz Kapsül LP 5 m	: 0,61	ad/m^3
İnfilaklı Fitil 10 gr	: 0,214	m/m^3
İnfilaklı Fitil 80 gr	: 0,36	m/m^3
Elektrikli Kapsül	: 0,007	ad/m^3
Toplam Delgi	: 2,430	m/m^3



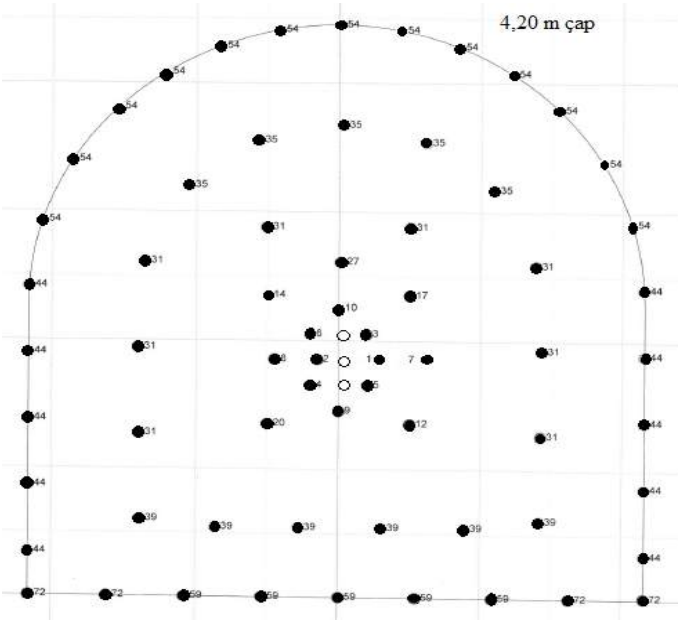
Şekil 7. 6,20m Çapındaki tünellerde uygulanan V-Kesme delik düzeni

5.4 Ø 4,20m İçin Paralel Kesme Uygulaması

Bu uygulamada, 4.20 m çapındaki tünelin aynasına 102 mm çapında 3 adet boş delik, 45 mm delik çapında ortalama 69 adet üretim deliği delinmekte olup günlük ilerleme ortalama 4.50 m ve aylık ilerleme ise 120 m olmaktadır. (Çelik, E; Erçelik, M. ve Kurdoğlu, Ç. 2015. *Shuakhevi 185MW Hidroelektrik Santral Projesi Delme-Patlatma Verilerine Ait Rapor*.) Bu çaptaki tünellerde uygulanan Paralel Kesme metoduna ait genel patlatma parametreleri Çizelge 6'da, delik düzeni ise Şekil 8'de verilmiştir.

Çizelge 6. Ø 4,20m Çaplı Tünellerde Paralel Kesme Uygulaması

PARAMETRELER		
Formasyon	: Class I-II	
Tünel Kesit Alanı	: 18,86	m^2
Delik Çapı	: 45	mm
Delik Boyu	: 3,60	m
Delik Sayısı	: 66 + **3**	ad
İlerleme	: 3,515	m
Üretim	: 66,29	m^3
Atım Verimi	: 95	%
KULLANILAN PATLAYICI MADDELER		
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(38x400)	: 184,38	kg
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(27x225)	: 3,10	kg
Elektriksiz Kapsül LP 5 m	: 66	ad
İnfilaklı Fitil 10 gr	: 20	m
İnfilaklı Fitil 80 gr	: 85,10	m
Elektrikli Kapsül	: 1	ad
ÖZGÜL TÜKETİMLER		
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(38x400)	: 2,781	kg/m^3
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(27x225)	: 0,046	kg/m^3
Elektriksiz Kapsül LP 5 m	: 0,996	ad/m^3
İnfilaklı Fitil 10 gr	: 0,302	m/m^3
İnfilaklı Fitil 80 gr	: 1,283	m/m^3
Elektrikli Kapsül	: 0,015	ad/m^3
Toplam Delgi	: 3,820	m/m^3



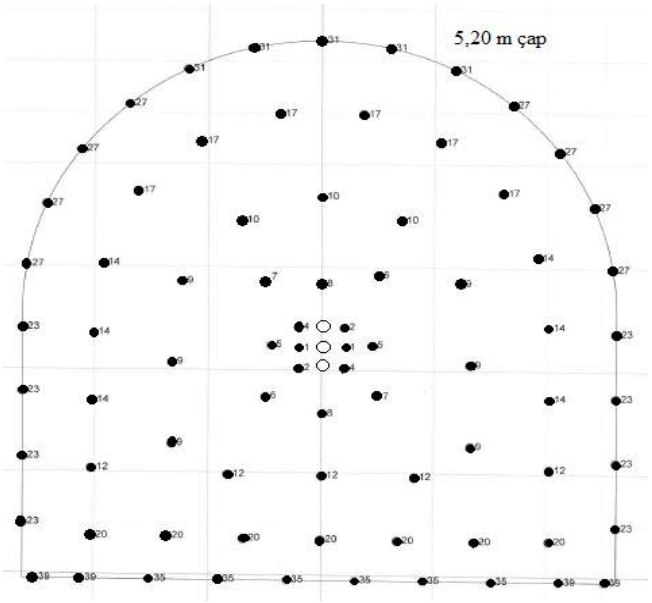
Şkeil 8. 4,20m Çapındaki tünellerde uygulanan Paralel Kesme delik düzeni

5.5 Ø 5,20m İçin Paralel Kesme Uygulaması

5.20 m çapındaki tünellerde uygulanan paralel kesme yönteminde tünelin aynasına 89 mm çapında 3 adet boş delik ve 45 mm çapında ortalama 81 adet üretim deliği delinmektedir. Bu uygulamaya ait delik düzeni Şekil 9'da ve genel patlatma parametreleri, sarflar, birim tüketimler Çizelge 7'de verilmiştir. Bu çaptaki tünellerde Paralel Kesme metodunun kullanıldığı delme patlatmalı kazı çalışmaları sonucu günlük ortalama ilerleme 5,50m, aylık ortalama ilerleme ise 150m olarak gerçekleşmiştir. 5,20m çapındaki tünellerde delik boyu 4,20m olarak planlanmıştır.

Çizelge 7. Ø 5,20m Çaplı Tünellerde Paralel Kesme

PARAMETRELER		
Formasyon	: Class I-II	
Tünel Kesit Alanı	: 25,55	m^2
Delik Çapı	: 45	mm
Delik Boyu	: 4,20	m
Delik Sayısı	: 78 + **3**	ad
İlerleme	: 4,00	m
Üretim	: 102,20	m^3
Atım Verimi	: 95	%
KULLANILAN PATLAYICI MADDELER		
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(38x400)	: 267,33	kg
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(27x225)	: 2,831	kg
Elektriksiz Kapsül LP 5 m	: 78	ad
İnfilaklı Fitil 10 gr	: 20	m
İnfilaklı Fitil 80 gr	: 96,60	m
Elektrikli Kapsül	: 1	ad
ÖZGÜL TÜKETİMLER		
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(38x400)	: 2,62	kg/m^3
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(27x225)	: 0,028	kg/m^3
Elektriksiz Kapsül LP 5 m	: 0,763	ad/m^3
İnfilaklı Fitil 10 gr	: 0,196	m/m^3
İnfilaklı Fitil 80 gr	: 0,945	m/m^3
Elektrikli Kapsül	: 0,010	ad/m^3
Toplam Delgi	: 3,329	m/m^3



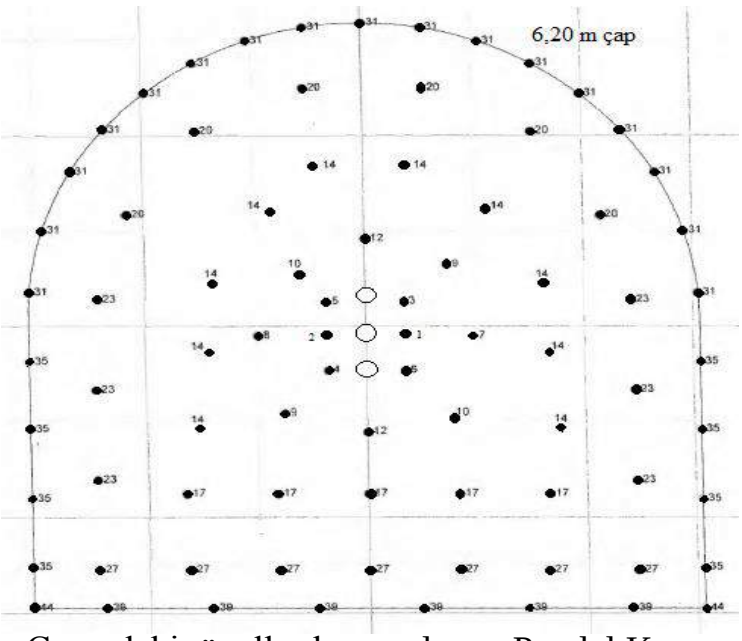
Şekil 9. 5,20m Çapındaki tünellerde uygulanan Paralel Kesme delik düzeni uygulaması

5.6 Ø 6,20m İçin Paralel Kesme Uygulaması

6.20 m çapındaki tünellerde uygulanan paralel kesme metodunda tünel aynasına 89 mm çapında **3** adet boş delik ve 45 mm çapında ortalama 84 adet üretim deliği delinmektedir. Genelde kullanılan delik boyu 4,50m'dir. Bu çaptaki tünellerde Paralel Kesme metodu kullanılarak yapılan delme patlatmalı kazı çalışmaları sırasında günlük ortalama ilerleme ortalama 5.00 m ve aylık ortalama ilerleme ise 140 m olarak gerçekleşmiştir. Bu uygulamaya ait genel patlatma parametreleri, sarflar, birim tüketimler Çizelge 8'de ve delik düzeni Şekil 10'da görülmektedir. (Çelik, E; Erçelik, M. ve Kurdoğlu, Ç. 2015. *Shuakhevi 185MW Hidroelektrik Santral Projesi Delme-Patlatma Verilerine Ait Rapor*.)

Çizelge 8. Ø 6,20m Çaplı Tünellerde Paralel Kesme Uygulaması (Ø6,20m)

PARAMETRELER		
Formasyon	: Class I-II	
Tünel Kesit Alanı	: 36,87	m^2
Delik Çapı	: 45	mm
Delik Boyu	: 4,50	m
Delik Sayısı	: 81 + **3**	ad
İlerleme	: 4,275	m
Üretim	: 157,62	m^3
Atım Verimi	: 95	%
KULLANILAN PATLAYICI MADDELER		
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(38x400)	: 308,53	kg
Elektriksiz Kapsül LP 5 m	: 81	ad
İnfilaklı Fitil 10 gr	: 30	m
İnfilaklı Fitil 80 gr	: 112,50	m
Elektrikli Kapsül	: 1	ad
ÖZGÜL TÜKETİMLER		
Kapsüle Duyarlı Pat.Mad.(38x400)	: 1,960	kg/m^3
Elektriksiz Kapsül LP 5 m	: 0,514	ad/m^3
İnfilaklı Fitil 10 gr	: 0,190	m/m^3
İnfilaklı Fitil 80 gr	: 0,714	m/m^3
Elektrikli Kapsül	: 0,006	ad/m^3
Toplam Delgi	: 2,280	m/m^3



Şekil 10. 6,20m Çapındaki tünellerde uygulanan Paralel Kesme delik düzeni

6 YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Haziran 2015 ayı itibari ile toplam tünel kazısının %51'i tamamlanmış olup yapılan kazıların %94'ünde delme-patlatma uygulamaları yapılmıştır. Kazıların %28'i (4896m) Class I formasyonunda, %50'si (8787m) Class II formasyonunda ve %16'sı (2873m) Class III formasyonunda yapılmıştır (Şek. 2, Çiz. 2). Değişik tünel çaplarında uygulanan delme- patlatma yöntemlerine ait genel parametreler ve ortalama günlük-aylık ilerlemeler Çizelge 9'da verilmiştir. Bu tablodaki veriler incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar görülmektedir:

- **Delik Boyu:** Paralel Kesme yönteminde daha uzun delik boyu ile çalışılmıştır.
- **Delik Sayısı:** Atım başına delik sayısı Paralel Kesme yönteminde daha fazladır. Bunun ana nedeni özellikle kesme bölgesinde birbirine yakın deliklerin fazla olması ve daha uzun delik boyları ile çalışılmasıdır. Bununla birlikte kesit alanın genişlediği 6,20m çapındaki tünellerde delik sayıları birbirine yaklaşmaktadır.
- **Patlayıcı Madde Miktarı:** Atım başına kullanılan patlayıcı madde miktarı Paralel Kesme yönteminde daha fazladır.
- **Birim Patlayıcı Tüketimleri:** Kapsüle duyarlı patlayıcı madde özgül tüketimi paralel kesme uygulamalarında daha fazladır (Çiz. 10). Bunun nedeninin Paralel Kesme metodunda daha uzun delik boylarının kullanılmasıdır. Uygulamada aynı kesite sahip tünellerde delik boyu arttıkça özgül şarjın arttığı gözlenmiştir (Kılıç,Ü. Ve Demir, E.2013). Kapsül için özgül tüketim değerleri her iki uygulamada bir birine yakındır. Paralel kesme yönteminde daha uzun delik boyları kullanılmasına rağmen delik sayısının fazla olması toplamda özgül tüketim mukayesesi açısından bir avantaj sağlamamaktadır (Çiz. 10).
- **Delgi Süresi:** Delik boyu ve delik sayısı daha fazla olduğu için delgi süresi Paralel Kesme yönteminde daha fazladır.
- **Kazı İlerleme Hızı:** Haziran-2015 ayı sonu itibarıyla yapılan toplam tünel kazıları sonucu her iki yöntem için günlük-aylık ortalama ilerleme hızları birbirine yakındır. Hatta atım başına delik boyları daha kısa olmasına rağmen V-Kesme (Orta Çekme) yönteminde ortalama ilerleme hızı daha fazladır.

Çizelge 9. İki Yöntemin Karşılaştırılması

Yöntem	Çap (m)	D.B. (m)	D.S. (ad)	D.Sr (dk)	Günlük İlerleme (m/gün)	Aylık İlerleme (m/ay)	Kapsüle Duyarlı (Kg)	İ.Fitil (m)		Kapsül (ad)	
								10g	80g	Elektrikli	Elektriksiz
Paralel Delik	Ø6,20	4,50	84	130	5,0	140	308	20	112	1	84
	Ø5,20	4,20	81	110	5,5	150	270	20	96	1	81
	Ø4,20	3,60	69	90	4,5	120	187	15	85	1	69
Orta Çekme	Ø6,20	4,00	85	100	6,0	160	250	30	50	1	85
	Ø5,20	3,60	65	90	6,2	170	170	20	50	1	75
	Ø4,20	3,00	57	75	5,5	150	140	20	40	1	65

D.B.: Delik Boyu, D.S.: Delik Sayısı, D.Sr.: Delgi Süresi (Kaynak: Çelik, E; Erçelik, M. ve Kurdoğlu, Ç. 2015. *Shuakhevi 185MW Hidroelektrik Santral Projesi Delme-Patlatma Verilerine Ait Rapor*)

Çizelge 10. Patlayıcı Madde Özgül Tüketimleri

Yöntem	Çap (m)	Özgül Tüketimler				
		Kapsüle Duyarlı (kg/m^3)	Elektriksiz Kapsül (Adet/m^3)	İnfilaklı Fitil- 80g (m/m^3)	İnfilaklı Fitil- 10g (m/m^3)	Elektrikli Kapsül (Adet/m^3)
Paralel Delik	Ø6,20	1,96	0,51	0,71	0,19	0,006
	Ø5,20	2,65	0,76	0,94	0,20	0,010
	Ø4,20	2,83	1,00	1,28	0,30	0,015
Orta Kesme	Ø6,20	1,78	0,61	0,36	0,214	0,007
	Ø5,20	1,94	0,74	0,57	0,23	0,011
	Ø4,20	2,60	1,06	0,56	0,37	0,019

*(*Kaynak: Çelik, Emre; Erçelik, M. ve Kurdoğlu, Ç. 2015. *Shuakhevi 185MW Hidroelektrik Santral Projesi Delme-Patlatma Verilerine Ait Rapor)*

7 SONUÇ

Yeraltı ve Tünel patlatma yöntemlerinden Paralel Kesme Yöntemi ve Orta Çekme (V- Kesme) yönteminin her ikisinin de kullanıldığı Shuakhevi HES projesinde başarılı delme-patlatma uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Uygulanan delme-patlatma tasarımları ve kayıt altına alınan sonuçlar, müteahhit firma AGE Batumi tarafından yazarlarla paylaşılmıştır. Bu çalışmanın önemli sonuçları aşağıda verilmiştir:

- Genellikle atım sonucunun başarısız olacağı endişesi, dolumdaki zorluklar, özgül şarjın artacağı gerçeği ve daha fazla kontrolsüz boşluklar oluşacağı düşünceleri nedeniyle uzun delikli tünel patlatma uygulamalarından kaçınılır. Oysa bu projedeki delme-patlatma uygulamalarında uzun delik boyları cesaretle kullanılmıştır.
- İlk patlatmalarda tünel patlatma yöntemi olarak alışılagelen Orta Çekme yöntemi yerine şantiyede teknik personelin ısrarı ile Paralel Kesme yöntemi kullanılmıştır. Teknik personelin yoğun çabası ile bu yöntem, ateşleyicilere ve delici makine operatörlerine benimsetilmiş ve ilk 5-6 ay boyunca yapılan yaklaşık 5-km'lik tünel kazılarında başarıyla uygulanmıştır. Daha sonra özellikle personel sirkülasyonu ve çalışılan ayna sayısının artmasına bağlı olarak yeni personel ihtiyacı sonucu Türkiye'den giden delici makine operatörlerinin alışık olduğu Orta Çekme (V- Kesme) yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Çünkü çok fazla sayıda aynada yoğun bir şekilde delme-patlatma operasyonu yapılırken yeni gelen personelin Paralel Kesme eğitim süreci zaman alıcı olmaktaydı.
- Orta Çekme yöntemi kullanılmaya başlandıktan sonra atım başına delik boyu daha kısa olmasına rağmen bu yöntemin ilerleme hızını düşürmediği rapor edilmiştir. Bu durum atım sonuçlarına ait kayıtlarda açıkça görülmektedir. Bu konu hakkındaki bir görüşe göre "Paralel Kesme yönteminin kullanıldığı kazı çalışmalarının ilk başlarında yaşanan aksaklıklar, bu yönteminin kullanıldığı dönemde aylık ilerleme hızı üzerine olumsuz yansımıştır". Diğer bir görüş ise "Paralel Kesme yönteminde uzun delik boylarından dolayı yapılan patlatmalar sonucu tarama (kesit düzeltme) işine daha fazla zaman ayırmak gereği ortaya çıkmaktadır. Bu durum ilerleme hızını olumsuz etkilemektedir." Ayrıca Paralel Kesme Yönteminde delici operatörlerinin ve ateşleyicilerin yeterli deneyime sahip olmamaları nedeniyle delgi süresinin ve dolum süresinin daha fazla olması da ilerleme hızını etkileyen diğer unsurlardır.
- Yeraltı Madenciliğinde galeri sürme veya tünel kazısı işlerinde uygun yöntem seçilirken, her iki yöntem denenerek sonuçları kayıt altına almalı ve bu sonuçların ışığında çalışma koşullarına uygun olan yöntemin seçilmesi doğru yaklaşım olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu bildirinin hazırlanması sırasında desteklerini sunan Sn. Sezai AZİZOLU'na, Sn. Yavuz DİKER'e, Sn. Nazım KURDOĞLU'na, Sn. Ömer KULEYİNLİOĞLU'na ve AGE BATUM LLC.'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Çelik, Emre; Erçelik, Mete Han ve Kurdoğlu, Çağatay, 2015. *Shuakhevi 185MW Hidroelektrik Santral Projesi Delme-Patlatma Verilerine Ait Rapor*. Batum

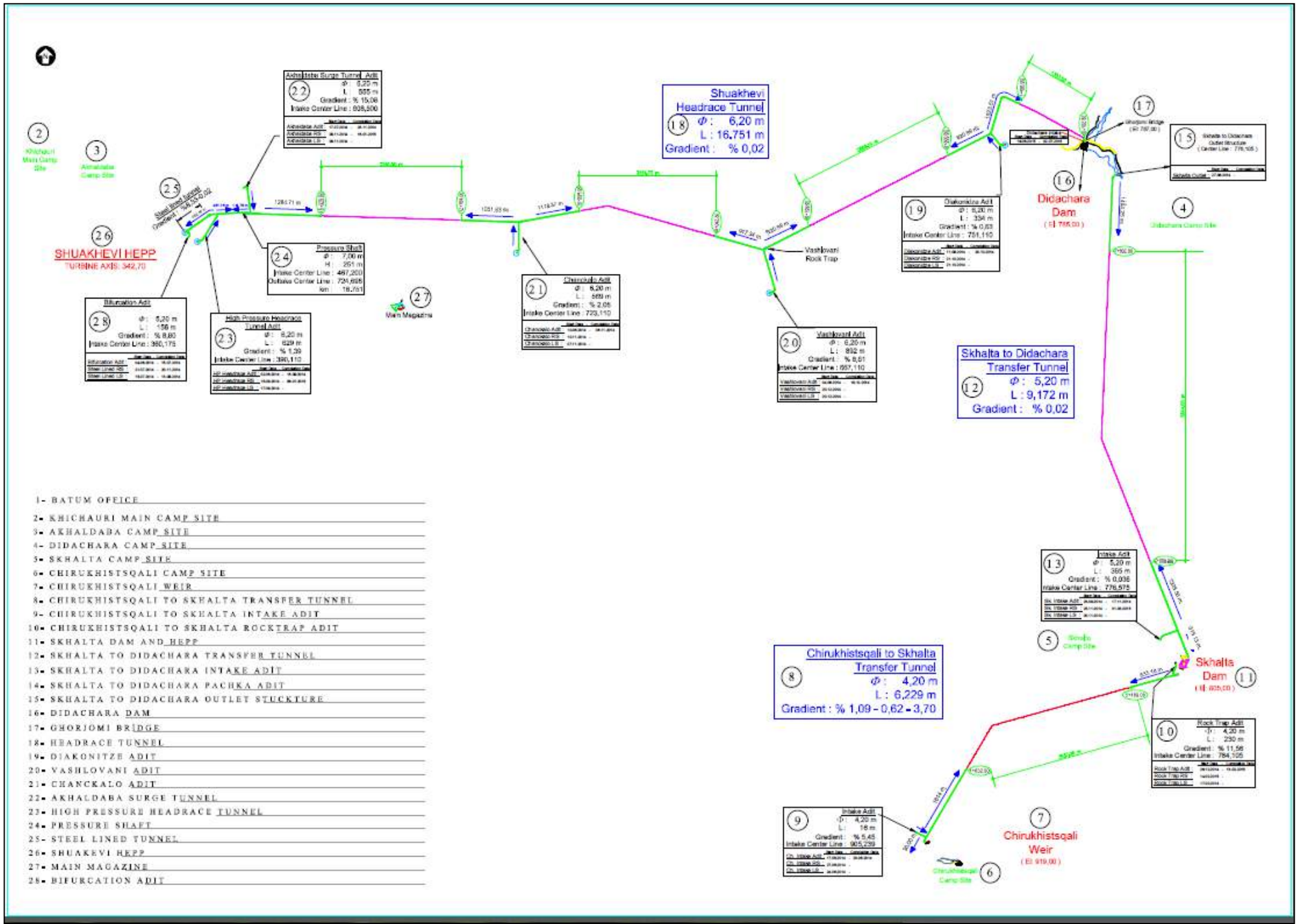
International Society of Explosive Engineers (ISEE), (18th ed.), 2011. *Blasters' Handbook*, Cleveland, Ohio ABD, 845 s.

International Society of Explosive Engineers (ISEE), (17th ed.), 2000, Second Printing. *Blasters' Handbook*, Cleveland, Ohio ABD, 452. s

Kılıç, Ü. ve Demir, E. 2013. *VII. Delme Patlatma Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 225-233s. Eskişehir

Olofsson, S, (2nd ed.), 2002. *Applied Explosives Technology For Construction and Mining*, Arla, Sweden, 166-177s.

Orica Mining Services, Technical Services, 2010. *Safe and Efficient Blasting in Underground Metal Mines*, Avustralya, 88 s.


Shuakhevi Headrace Tunnel
Φ : 6,20 m
L : 16.751 m
Gradient : % 0,02
Skhalta to Didachara Transfer Tunnel
Φ : 5,20 m
L : 9,172 m
Gradient : % 0,02
Chirukhistsqali to Skhalta Transfer Tunnel
Φ : 4,20 m
L : 6,229 m
Gradient : % 1,09 - 0,62 - 3,70
SHUAKHEVI HEPP
TURBINE AXIS: 342,70
Didachara Dam
Skhalta Dam
Chirukhistsqali Weir
Vashlovani Rock Trap
1- BATUM OFFICE
2- KHICHAURI MAIN CAMP SITE
3- AKHALDABA CAMP SITE
4- DIDACHARA CAMP SITE
5- SKHALTA CAMP SITE
6- CHIRUKHISTSQALI CAMP SITE
7- CHIRUKHISTSQALI WEIR
8- CHIRUKHISTSQALI TO SKHALTA TRANSFER TUNNEL
9- CHIRUKHISTSQALI TO SKHALTA INTAKE ADIT
10- CHIRUKHISTSQALI TO SKHALTA ROCKTRAP ADIT
11- SKHALTA DAM AND HEPP
12- SKHALTA TO DIDACHARA TRANSFER TUNNEL
13- SKHALTA TO DIDACHARA INTAKE ADIT
14- SKHALTA TO DIDACHARA PACHKA ADIT
15- SKHALTA TO DIDACHARA OUTLET STUCKTURE
16- DIDACHARA DAM
17- GHORJOMI BRIDGE
18- HEADRACE TUNNEL
19- DIAKONITZE ADIT
20- VASHLOVANI ADIT
21- CHANCKALO ADIT
22- AKHALDABA SURGE TUNNEL
23- HIGH PRESSURE HEADRACE TUNNEL
24- PRESSURE SHAFT
25- STEEL LINED TUNNEL
26- SHUAKEVI HEPP
27- MAIN MAGAZINE
28- BIFURCATION ADIT

Patlatmalı Şaft Kazılarının V-Kesme Metodu ile Uygulanabilirliği

Applicability of the V-Cut Method of Blasting Shaft Excavation

S. Bağdatlı, A. Çeltikçi
Okan Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü

A. Kahriman, S. Işıdı
Okan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Patlayıcı Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Y. Kahraman
Doğuş İnşaat ve Ticaret A.Ş.

ÖZET Şaft (kuyu) kazıları, tünelcilik ve yer altı madenciliğinde birçok projede uygulanmaktadır. Özellikle sığ derinliklerdeki ulaşım tünellerinde, şantiye alanlarının gündelik işleyişe engel olmaması açısından hem de projenin bir an önce tamamlanarak hizmete alımı açısından önem arz etmektedir.

Çalışma kapsamında; Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy metro hattı projesinde, I15 Necip Fazıl İstasyonu ile I16 Çekmeköy İstasyonu arasında bulunan S15A Kemerdere inşaat şaftı yapısının açılmasında uygulanan patlatmalı kazı çalışmaları incelenmiştir. Patlatmalı şaft kazı çalışmalarında; basamak metodu ve tam kesit metodu olmak üzere iki farklı yöntem uygulanmıştır. Bu bildiride, söz konusu iki patlatmalı kazı yönteminin uygulama aşamaları anlatılarak, birbirine olan avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir.

ABSTRACT Shaft excavation is a technique commonly employed in a great variety of projects in tunneling and underground mining. It is considered to be particularly important for transportation tunnels in shallow depth in terms of avoiding disruption in the smooth daily operations at construction sites and facilitating the completion of the project at the shortest time possible.

This paper is based on the analysis of the blasting shaft excavations conducted in the I15A Kemerdere construction shaft, which is situated between I15 Necip Fazıl Station and I16 Çekmeköy Station in the Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy subway line in Istanbul. In these excavations, two different methods were used: full-cut method and mini-bench method. This paper describes the application stages of the two methods and compares and contrasts them highlighting their advantages and disadvantages.

1 GİRİŞ

İstanbul Dünyanın en büyük metropollerinden birisidir. Resmi rakamlara göre 14 milyondan fazla nüfusa sahiptir. Gayri resmi rakamlara göre ise nüfus 18 milyonu aşmıştır ve her geçen gün artış söz konusudur. Nüfusun bu denli kalabalık oluşu ve gün geçtikçe artıyor olması büyükşehirlerin en büyük sorunlarından olan trafik ve ulaşım sorununu ortaya koymaktadır. İstanbul'da trafik sorununu aşmak için toplu taşıma sistemlerine yapılan yatırımlar artmaktadır. Bu kapsamda İstanbul'un bir çok bölgesine metro hatları inşa edilmektedir. Bu hatlardan birisi de Doğuş İnşaat ve Ticaret A.Ş.'nin üstlenicisi olduğu Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metro hattıdır. Bu hatların inşasının süresi, hem şantiye alanlarının gündelik işleyişe engel olmaması

açısından hem de projenin bir an önce tamamlanarak hizmete alımı açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle hat boyunca birçok farklı noktadan şaftlar (kuyular) açılarak; birçok aynadan tünel inşası hızlı bir şekilde sürdürülmekte aynı zamanda inşaat süresince açık kalacak bu şaftlardan makine, malzeme ve personel ikmali yapılmaktadır. Dolayısıyla şaftların kullanımı inşaatın bütün aşamalarında önemli bir yere sahiptir.

1.1 Araştırmanın Amacı

Söz konusu metro inşaatı kapsamında çeşitli noktalarda şaft kazıları yapılmıştır. Bunlardan biriside, inceleme alanı olan; I15 Necip Fazıl İstasyonu ile I16 Çekmeköy İstasyonu arasında bulunan S15A Kemerdere inşaat şaftıdır. Söz konusu şaft kazısında 2 farklı patlatmalı kazı yöntemi uygulanmıştır. Bunlardan birincisi; şaftın bir ucunda serbest yüzey açmak suretiyle basamak oluşturulması ve klasik basamak patlatma uygulaması ile kazının gerçekleştirilmesidir. İkincisi ise, tünel aynalarında sıklıkla uygulanan V-Kesme patlatma tasarım metodunun, şaft kazısına uyarlanarak yapılan kazı yöntemidir. Çalışma kapsamında; söz konusu iki yöntem karşılaştırılarak, birbirine olan avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir.

2 ÇALIŞMA SAHASI VE PROJE HAKKINDA BİLGİLER

2.1 Çalışma Sahası ve Jeolojisi

Çalışma sahası; İstanbul İli, Çekmeköy İlçesi sınırlarında Şile Otoyolu üzerinde bulunan Kemerdere Kavşağının yanında bulunmaktadır (Şekil 1).

Şekil 1. İnceleme alanını gösterir uydu fotoğrafı (İçöz, 2013)

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmasında mevcut zemin yüzeyinden 3,8 metre boyunca kil muhtevalı yapay dolgu, 3,8 metreden sondaj sonuna kadar ise Pelitli Formasyonuna ait kireçtaşı birimleri gözlenmiştir.

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmasında mevcut zemin yüzeyinden 3,8 metre boyunca kil muhtevalı yapay dolgu, 3,8 metreden sondaj sonuna kadar ise Pelitli Formasyonuna ait kireçtaşı birimleri gözlenmiştir.

2.1.1 Pelitli formasyonu

Pelitli Formasyonu büyük bölümüyle şelf tipi neritik karbonatlardan oluşur. Alttan üste doğru kireçli şeyl-kumtaşı-killi kireçtaşı-kireçtaşı ardışığı (Mollafenari Üyesi), bol makrofosilli resifal kireçtaşı (Dolayoba Kireçtası Üyesi), orta-ince katmanlı, yer yer laminalı mikritik kireçtaşı (Sedefadası Kireçtaşı Üyesi) ve en üstte ince şeyl arakatkılı yumrulu kireçtaşı (Soğanlık Kireçtaşı Üyesi) birimlerini kapsar (İçöz, 2013).

2.2 Proje Hakkında Genel Bilgiler

Proje konusu iş, Üsküdar meydanına yapılacak olan Üsküdar istasyonundan başlayarak, 17 km'lik güzergahta TBM/EPM ve NATM yapım tekniğiyle gerçekleştirilecek tüneller ile Çekmeköy istasyonuna ulaşmaktadır. Ayrıca ana güzergahtan Dudullu mevkiinde sapılarak, 2,7 km'lik tünel bağlantı hattı ile Depo Sahası / Bakım ve Kontrol Merkezine erişim sağlanmaktadır.

Proje kapsamında, raylı sistem hattının (Km:-0+743 ile Km: 17+119 arası ana hat ve 2,78 km'lik depo tünel bağlantı hattı), 16 istasyonun ve Depo Sahası ile Bakım ve Kontrol Merkezi'nin inşaat işlerini, ince işlerini, giriş-çıkış yapılarını, demiryolu işlerini, elektrik temini ve dağıtımını, sinyalizasyonu, kontrol haberleşmeyi, yardımcı tesisleri, yürüyen merdivenleri, yürüyen bantları, asansörleri, çevresel kontrolü, depo sahasında ve Dudullu (Yedek Kontrol Merkezi) istasyonunda trafik kumanda merkezi kurulmasını ve donanımın temini ile ilgili bütün sistem için ve sistemin parçaları için sistemin asgari bakım gerektirecek şekilde tasarım hizmetlerini, yapım, temin, montaj, test etme ve işletmeye alma işleri ile sistemle ilgili 24 ay süreli işletme ve bakım gözetimi hizmeti verilmesini, işletme ve bakım el kitaplarının hazırlanmasını, 2 yıllık yedek parça ve sarf malzemeleri ile özel alet ve teçhizatların teminini, eğitimlerin iş başında ve yurt dışında verilmesini kapsamaktadır (Doğuş, 2012).

3 YÖNTEM

3.1 Proje Hakkında Genel Bilgiler

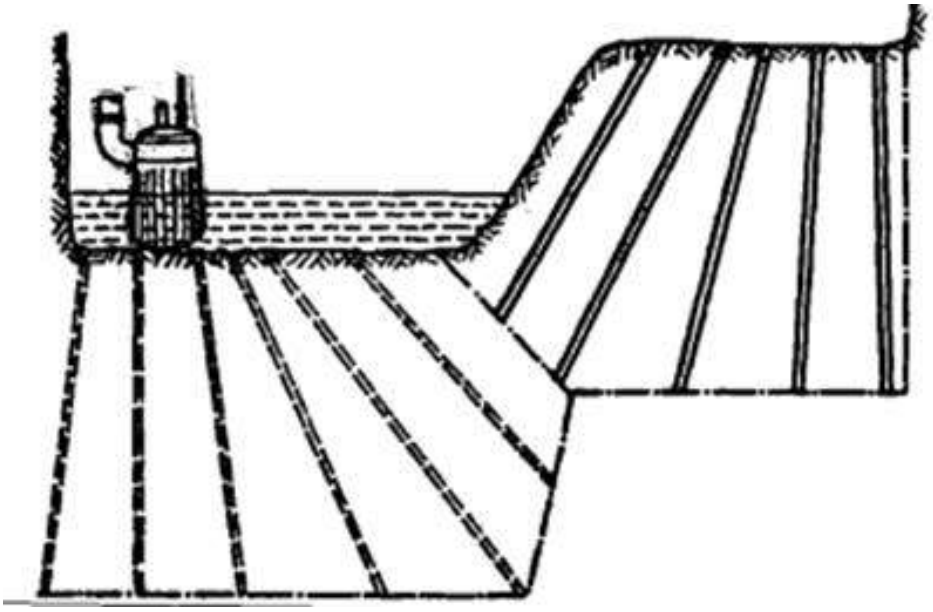
Şaft açma yöntemleri 3 gruba ayrılabilir. Bunlar;

- Basamak metodu (Yarım kesit)
- Spiral metot
- Tam kesit metodu

olarak adlandırılabilirler (Jimeno, Jimeno, & Cardedo, 1995).

3.1.1 Basamak metodu

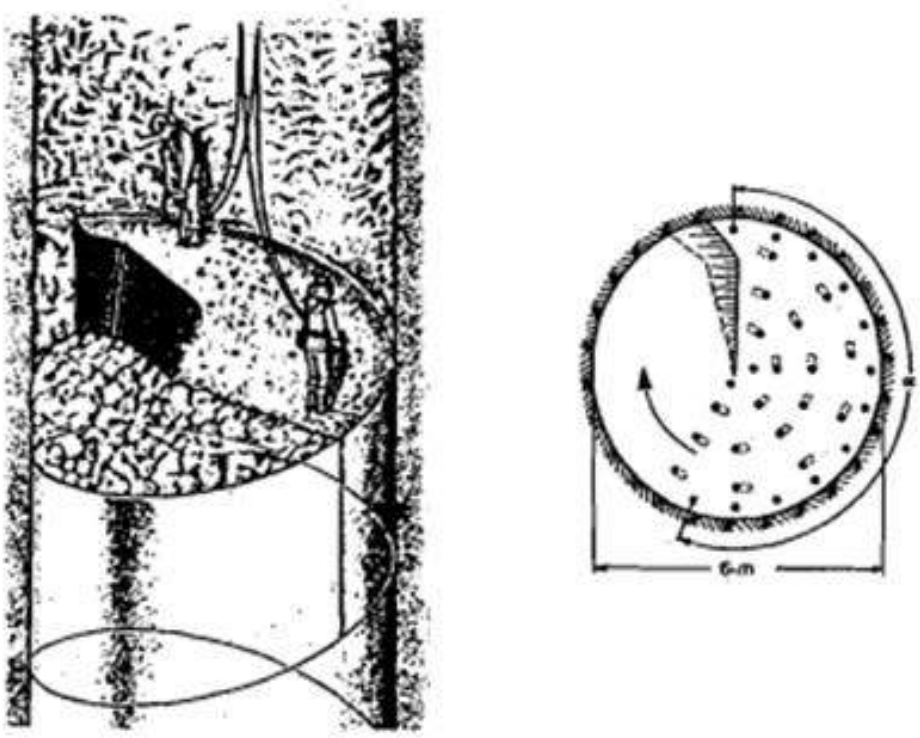
Bu metotta, şaft içerisinde küçük basamak oluşturulması suretiyle çalışma gerçekleştirilir. Kazı yüzeyi iki bölgeye ayrılır. Birinci bölge öncelikle, kırıcı ile kazılarak ikinci bölge için serbest yüzey oluşturulur. Oluşturulan her iki bölgede yelpaze çekme metodu ile delgi gerçekleştirilir (Şekil 2). Delgi boyları her iki bölgede de aynı uzunluktadır. Böylece patlatma gerçekleştirildikten sonra bir sonraki patlatma için serbest yüzey elde edilmiş olur (Jimeno, Jimeno, & Cardedo, 1995).



Şekil 2. Basamak metodu ile şaft kazısı (Jimeno, Jimeno, & Cardedo, 1995)

3.1.2 Spiral metodu

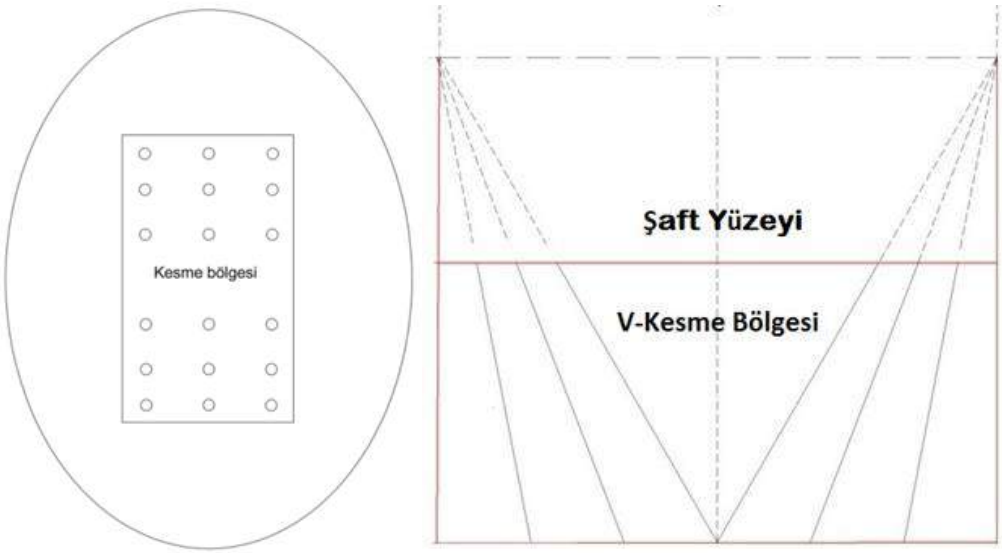
Bu yöntemde kazı, yukarıdan aşağıya doğru sarmal bir şekilde iletilir. Genellikle dairesel kesitli, geniş çaplı ve derin şaftlarda kullanılır. (Şekil 3.) (Jimeno, Jimeno, & Cardedo, 1995)



Şekil 3. Spiral metot şaft kazısı (Jimeno, Jimeno, & Cardedo, 1995)

3.1.3 Tam kesit metodu

Bu yöntem, genellikle kare ya da dikdörtgen şekilli şaftlarda tercih ediliyor olsa da, dairesel şaftlarda da kullanılmaktadır. Kazı yüzeyi, tünel aynası gibi düşünülerek tasarım yapılır. Buna göre, serbest yüzey oluşturulması için kesme bölgesi belirlenerek bu bölgeye, birbirleriyle 50 ila 75 derecelik açılarla kesme delikleri delinir. Ateşlemeye bu bölgeden başlanarak serbest bölge oluşturulur. Daha sonra tünel aynasında da olduğu gibi çevre delikler, oluşturulan serbest bölgeden dışarıya doğru olacak şekilde patlatılır (Jimeno, Jimeno, & Cardedo, 1995).



Şekil 4. Tam kesit metodu, V-Kesme delikleri plan ve kesit görüntüsü

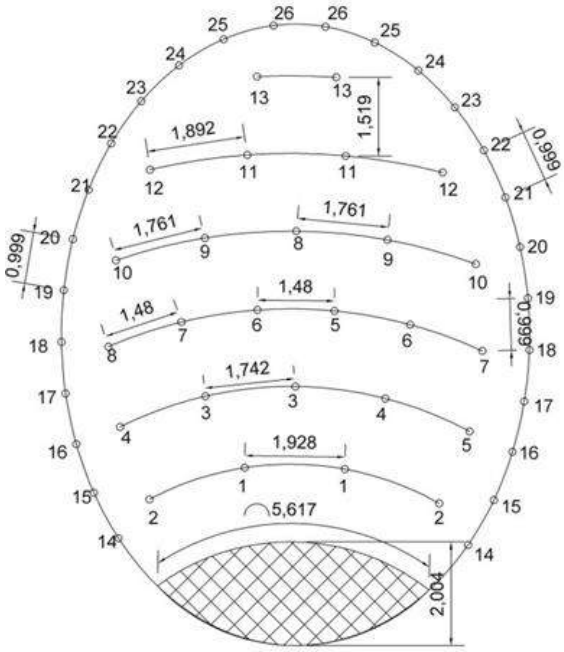
4 UYGULANAN YÖNTEM

4.1 Kullanılan Metodlar

Çalışma kapsamında, söz konusu şaftın kazısında öncelikle basamak metodu yöntemi uygulanması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Şekil 5.de verilen tasarıma uygun olarak uygulama gerçekleştirilmiştir. Tasarıma ait parametreler Çizelge 1.de verilmiştir.

Çizelge 1. Basamak Metodu Şaft Kazısı Parametreleri

Delik Çapı	42 mm
Delik Boyu	2 m
Delik Sayısı	52 adet
Şarj Miktarı	2 kg/delik
Patlayıcı Türü	Orica Powergel Magnum 365 34x400



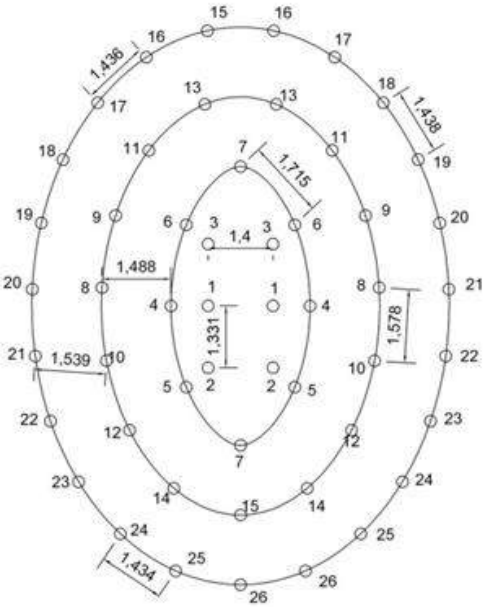
Şekil 5. Basamak Metodu Atım Paterni

Şekil 6. Basamak Metodu Uygulaması

Basamak metodu uygulaması için oluşturulması gereken serbest yüzey, çalışılan kaya birimlerinin sert ve sağlam yapısı nedeniyle sağlıklı olarak açılamamıştır. Yeterli boyutlarda serbest bölge oluşturulamaması, patlatmanın verimini düşürmüş, istenilen ilerleme ve kaya kırılmasını sağlayamamıştır. Bu nedenle, daha etkin sonuçlar verecek yöntemler incelenmiştir. Gerek deliklerin oluşturulması gerekse uygulama deneyimi açısından "tam kesit şaft kazı metodu" seçilmiştir. Bu doğrultuda, Şekil 7.de verilen, v-kesme yöntemiyle oluşturulmuş atım tasarımı uygulanmıştır. Tasarım parametreleri Çizelge 2.de verilmiştir.

Çizelge 2. Tam Kesit Metodu Şaft Kazısı Parametreleri

Delik Çapı	42 mm
Delik Boyu	2-4 m
Delik Sayısı	52 adet
Şarj Miktarı	2-2.5 kg/delik
Patlayıcı Türü	Orica Powergel Magnum 365 34x400



Şekil 7. Tam Kesit Şaft Kazı Metodu

Şekil 7'de verilen tasarımda verilen; 1, 2 ve 3 numaralı delikler v-kesme deliklerini göstermektedir. Ayrıca, tasarımda belirtilen numaralar deliklerin patlama sırasını göstermektedir.

Şekil 8. Tam Kesit Şaft Kazı Metodu Uygulaması

4.2 Kullanılan Metotların Karşılaştırılması

Çalışma süresince; basamak metodu ve tam kesit metodu olmak üzere 2 farklı yöntem uygulanmıştır. Basamak metodu ile 3 atım, tam kesit metoduyla ise 13 atım gerçekleştirilmiştir. Yapılan atımlardan elde edilen sonuçlara göre; her 2 yönteminde avantajları ve dezavantajları olduğu gözlemlenmiştir. Bu avantaj ve dezavantajlar Çizelge 3.te verilmiştir.

Çizelge 3. Basamak ve Tam Kesit Metotlarının Karşılaştırılması

Kullanılan Metot	Avantajları	Dezavantajları
Basamak Metodu	• Delik açılarının doğru olarak verilmesi daha pratik olarak yapılabilmektedir • Titreşim değerleri daha düşüktür • Kaya fırlama oranı daha düşüktür • Ateşleme sırası daha basittir	• Serbest yüzey oluşturulması gerekmektedir
Tam Kesit Metodu	• Serbest yüzey gerektirmemektedir	• Ozellikler v-kesme deliklerinin açıları doğru verilmeli ve düzgün delinmelidir • Ateşleme sıralaması daha karışıktır • Titreşim değerleri daha yüksek çıkmaktadır • Kaya fırlama oranı daha yüksek olmaktadır

*Tablodaki değerlendirmeler iki yöntemin birbirine olan avantaj ve dezavantajlarıdır.

Tabloda verilen değerlendirmeler dikkate alındığında, basamak metodunun daha avantajlı olduğu görülmektedir. Fakat, basamak metodunun en kritik şartı olan serbest yüzey oluşturulma zorunluluğu, bu metodun uygulanmasına engel olmuştur. Bu nedenle alternatif olarak "tam kesit metoduna" başvurulmuştur. Tam kesit metodunun uygulanmasında, şafta en yakın yapıların yaklaşık 70 m mesafede başlıyor olması, bu metodun titreşim dezavantajını elemine etmektedir. Diğer bir dezavantaj konusu olan kaya fırlaması ise, patlatma yüzeyinin patlatma örtüleri ile örtülmesi ve şaftın üstünün, şafta özel kapaklarla kapatılmasıyla sağlanmıştır (Basamak metodunda da örtü ve kapaklar kullanılmıştır) (Şekil 9). Ateşleme sırası ve deliklerin hazırlanması ise deneyimli teknik personelin etkisiyle başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Şekil 9. Kaya fırlamasına karşı alınan önlemler

5 SONUÇ

Çalışma kapsamında; 2 farklı şaft kazı metodu uygulanarak, bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda iki yöntemin birbirine olan avantaj ve dezavantajları kıyaslanmıştır. Yapılan kıyaslamalar her ne kadar basamak metodunun daha avantajlı olduğunu gösteriyor olsa da, basamak metodunun en önemli şartı olan serbest yüzeyin oluşturulmasında yaşanan zorluk bu yöntemi dezavantajlı kılmıştır. Tam kesit yöntemi gerekli önlemler alınarak başarıyla uygulanarak kazı etkin biçimde tamamlanmıştır.

TEŞEKKÜR

Çalışma esnasında göstermiş oldukları yardım ve desteklerinden dolayı Doğuş İnşaat ve Ticaret A.Ş. çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Doğuş. (2012). *Üsküdar - Ümraniye - Çekmeköy Metrosu İnşaat ve Elektromekanik İşleri.* İstanbul: Doğuş İnşaat ve Ticaret A.Ş.

İçöz, G. (2013). *S15A İnşaat Şaftı Geçici Aç-Kapa Kazı ve Destek Sistemi Geoteknik Hesap Raporu.* İstanbul: Prota Mühendislik.

Jimeno, C. L., Jimeno, E. L., & Cardedo, F. J. (1995). *DrillingAndBlasting of Rocks,*. Rotterdam: AA Balkema.

Ceyhan Yılankale Bölgesi Kalker İşletmesinin Patlatma Parametrelerinin İncelenmesi ve Patlatma Sonrası Parça Boyut Dağılımının Belirlenmesi

Investigation of Blasting Parameters of Ceyhan Yılankale Area Limestone Quarry and Determination of Post-Blast Particle Size Distribution

E. Kahraman, A. M. Kılıç
Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, 01330, Balcalı, Adana

ÖZET Taş ocağı işletmelerinde patlatma sonrası oluşan yığının tane boyutu maliyet açısından çok önemlidir. Tasarım parametrelerinin seçiminde istenilen parça boyutunu sağlayacak en uygun tasarım yapılmalıdır. Bu çalışmada Ceyhan Yılankale bölgesinde bulunan CYS madenciliğe ait taş ocağının patlatma parametreleri incelenmiştir. Patlatma öncesi ve sonrası görüntüler alınarak WipJoint ve WipFrag yazılımları yardımıyla parça boyut analizi yapılmıştır. Patlatma tasarım parametrelerinin istenilen parça boyutunu sağlayıp sağlamadığı incelenmiştir.

ABSTRACT Post-Blast Particle Size Distribution is very important in terms of cost in limestone quarry. In the selection of design parameters to provide the desired particle size should be the most appropriate design. This study examined of blasting parameters the limestone quarry of CYS mining in the Ceyhan Yılankale region. Images taken post blasting and pre-blasting particle size analysis was conducted with via of WipJoint and WipFrag software. Blasting design parameters for compliance with the required particle size was investigated.

1 GİRİŞ

Dünyada gelişen teknoloji ile birlikte madencilik ve inşaat sektörleri de önemli ilerlemeler kaydetmektedir. Bu ilerlemelerle birlikte sıkça kullanılan delme patlatma işleri de büyük önem arz etmektedir. Delme patlatma işlemlerinden doğan maliyet girdileri oldukça yüksektir. Patlatma sonrası oluşan yığın nakliye, kırma, öğütme gibi ek işlemler gerektirmektedir. Bu ek giderleri azaltmak patlatma sonrası oluşan yığın boyutunun istenilen aralıkta olması ile mümkündür. Bu yüzden patlatma tasarım parametrelerinin iyi belirlenmesi ve istenilen parça boyut dağılımını vermesi gerekmektedir.

Bu çalışmada Adana İli Ceyhan ilçesi Yılankale Mevkinde bulunan kalker işletmesinin patlatma parametreleri incelenmiş, patlatma öncesi ve sonrası alınan ölçekli fotoğraflar ile parça-boyut dağılım analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda patlatma parametrelerinin ekonomik olup olmadığı incelenmiştir.

Çalışma sahasında üretilen kalker kırma-eleme tesisine besleme bunkerine boşaltılır ve bunkerden bant yardımıyla ilk önce primer (çeneli) kırıcıya gönderilip orada yaklaşık 1/6 oranında kırma işlemi gerçekleştirilecek daha sonra sekonder (darbeli kırıcı) kırıcıya beslenecek ve elek üstü malzeme tekrar sisteme beslenerek 1 grup; 0–3 mm, 2 grup; 3–7 mm 3 grup; 7–15 mm ve 4 grup; 15–25 mm olacak şekilde ürünler elde edilecektir.

Kırma-eleme işlemi maliyetli bir prosestir ve üretilen ürün kırıcıya beslendikten sonra yeniden sisteme besleme yapmak istenilmeyen bir durumdur. Bu yüzden patlatma parametreleriyle patar oluşumunu engellemek, nakliye girdisini azaltmak ve kırma eleme maliyetine ek maliyet getirmemesi istenmektedir.

2 ÇALIŞMA SAHASI BİLGİLERİ

İnceleme alanı olarak CYS Madenciliğe ait kireçtaşı ocağı kullanılmıştır. Sahanın genel görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1. Çalışma sahası genel görüntüsü.

2.1 Çalışma Sahası Coğrafik Konumu

Çalışma alanı Adana İlinin 35 km güneybatısında ve Ceyhan ilçesinin 8,3 km kuzeydoğuda Kokar Tepe'de yer almaktadır. Şekil 2'de çalışma sahası yer bulduru haritası sunulmuştur.

Şekil 2. Çalışma sahası yer bulduru haritası.

2.2 Bölge ve Çalışma Sahasının Jeolojisi

Bölge Kretase yaşlı kireçtaşı, dolomitik kireçtaşından oluşmaktadır. Altta dolomitik kireçtaşı ile başlayıp, üste doğru kireçtaşı halinde devam eden bir dizilim söz konusudur. Ancak üst seviyelerde de gene yer yer dolomitik kireçtaşı seviyeleri görülür. Taze yüzü gri, açık gri bej ve benzer renklerde orta kalın tabakalıdır. Dolomitik seviyeler orta-kalın tabakalanmalı, siyah renkli, kireçtaşı seviyeleri çoğunlukla gri renkli tabakalanmalı, yer yer de tabakalanma vermez durumdadır. Yapılan incelemelerde yüzeylerde karstlaşma oluşumları gözlenmemiştir (MTA, 2006).

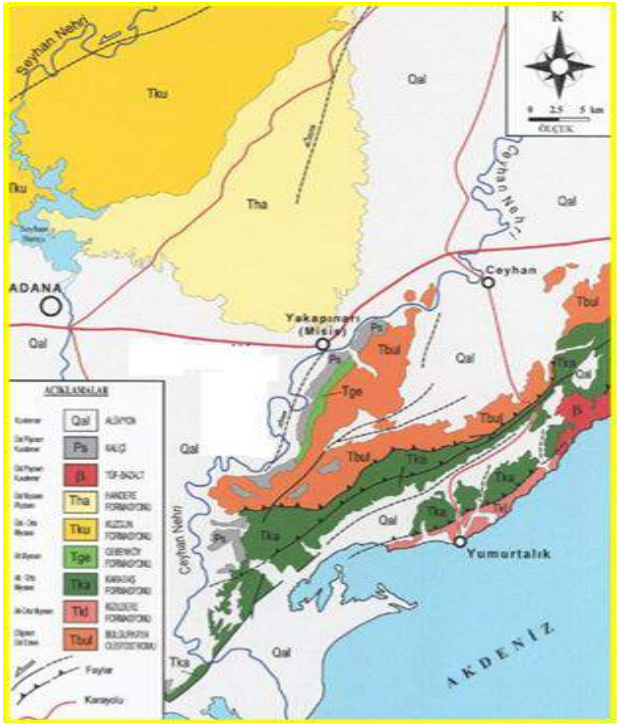
Kokar tepenin çevresinde geniş bir yayılım gösteren Kuaterner yaşlı alüvyonal çökeller bulunmaktadır. Kuaterner yaşlı alüvyonal çökeller Ceyhan nehri ve etrafından bulunan dere yataklarının getirdiği kum, çakıl, kil, marn gibi ince taneli malzemelerden oluşmuştur. Kuaterner çökeller genellikle nehirlerin eski yataklarında ve yüksek tepelerle çevrili ovalarda gevşek tutturulmuş çakıl, kum ile çamur taşından oluşur. Eski çökeller üzerinde 1-1,5 m kalınlığında bitki toprağı, altında ise; çakıl, kum, kil karışımı alüvyon malzeme yer almaktadır (MTA, 2006). Kokar tepe bölgesinin jeolojik haritası Şekil 3'de verilmiştir.

Çalışma sahasında mikritik yapılı kayaçta ince kavkılı lamellibranş ve miliolidlerden oluşan biyoklaslar oldukça seyrektir (%5). 2 yönde hakim gelişmiş orta kalın çatlaklar ile erime ile genişletilmiş çatlak alanları iri sparikalsit dolgulu seyrek biyoklastlar mikritik zıhlı olup içleri ince sparikalsit dolguludur.

İnce kavkılı lamellibranş ve bilinmedik foraminiferlerden oluşan biyoklastlar (% 20) mikritik zeminde seyrek kümelenmiştir. İnce–orta çatlaklar sparikalsit dolguludur.

Erime ile genişletilmiş kırık gözenek alanları iri sparikalsit dolguludur. Kayaç yer yer kataklastik dokuludur. Kayaç % 15 kadar pellet kapsamaktadır ve yer yer breşimsi görünümlüdür (Yurdakul, 2010).

Mikritik kireçtaşında ince kavkılı lamellibranşlardan oluşan biyoklastlar seyrektir (% 10). Erime ile genişletilmiş gözenek alanları iri parikalsit dolgulu kayaya breşimsi bir görüntü kazandırmıştır. % 15 kadar bilinmedik foraminiferler ile % 20 kadar mikritik yapılışlı intraklastlar mikritik zeminde yer yer tane desteklidir (Yurdakul, 2010).



Şekil 3. Çalışma sahasının bulunduğu bölgenin jeolojik haritası (Kozlu, 1997).

3 PATLATMA TASARIMI

Çalışma sahasında pek çok patlatma gözlenmiş ve çalışma sahasında bulunan kayaç özellikleri belirlenmiştir. Gözlenen patlatmalar ve kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri de dikkate alınarak en uygun patlatma tasarım parametresinin seçimi yapılmaya çalışılmıştır. Çalışma sahasında gözlemlenen patlatmanın patlatma paterni ve tasarım parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. CYS taş ocağında gözlemlenen patlatmanın tasarım parametreleri

Patlatma Parametreleri	
Delik Düzeni	Şeş Beş
Delik Sayısı	30 Adet
Delik Çapı	76 mm
Delikler Arası Mesafe	4 m
Dilim Kalınlığı	5 m
Basamak Yüksekliği	12 m
Şarj Miktarı	1500 kg
Delik Taban Payı	1 m
Delik Boyu	10 m
Delik Eğimi	90°
Basamak Eğimi	80°
Su Durumu	Sulu/Susuz
Patlayıcı Madde	ANFO
Kapsül	Elektrikli

4.GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİ İLE PARÇA BOYUT ANALİZİ

Dijital görüntü işleme yöntemiyle parça boyut analizi yapan pek çok metot geliştirilmiştir. Bu metotlarda farklı algoritmaların geliştirilmesi ile özellikle madencilik çalışmalarında bu tür programların kullanımını yaygın hale getirmiştir.

Görüntü işleme yöntemi ile yapılan parça boyut dağılımı normal elek analizine çok sayıda avantajlara sahiptir. Bunlardan en önemlisi pratik olması ve zaman kaybını engellemesidir.

Görüntü işleme yöntemi, patlatma işleminden sonra oluşan yığının miktarı göz önünde bulundurulursa parça boyut dağılımının analizi için çok kısa zamanda en hızlı sonucu veren yöntemdir.

4.1 WipJoint ile Patlatma Öncesi Basamağın Blok Boyutu Analizi

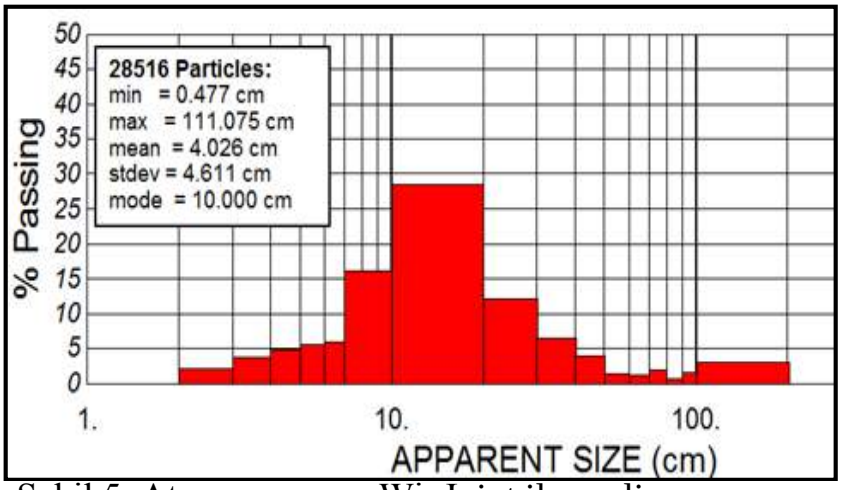
Patlatma yapılan aynanın ölçekli fotoğrafları alınarak patlatma öncesi yerinde blok analizi yapılmaktadır.

WipJoint yazılımının algoritması WipFrag programından farklıdır. Bu programda öncelikle ölçekli, çözünürlüğü yüksek fotoğraf alınır ve programda fotoğraftaki ölçek kullanılarak görüntü ölçeği boyutu belirlenir. Daha sonra program kenar belirleme ve poligon yaratma işlemini gerçekleştirir. Kenarlar çatlakların yönelimini tespit etmek amacı ile belirlenir. Poligonlar ise kaya bloklarını tespit etmek amacıyla tesis edilir ve blokları temsil eden çatlak ağı oluşturulur (Hüdaverdi, 2010).

Patlatma öncesinde alınan ölçekli fotoğraf patlatılacak yüzeyin yerinde blok boyutunu vermekte ve patlatma sonrası oluşacak yığın boyutu ile kıyaslandığında patlatma verimliliği hakkında da bilgi vermektedir. Şekil 4'de patlatma öncesi basamak görülmektedir. Atım aynasının WipJoint ile analiz sonucu ise Şekil 5'de verilmiştir.

WipJoint ile yapılan analiz sonucunda maksimum blok boyutu 111,075 cm, minimum blok boyutu 0,477 cm ve ortalama blok boyutu ise 4,026 cm olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4. Patlatma basamağının görüntüsü



Şekil 5. Atım aynasının WipJoint ile analiz sonucu.

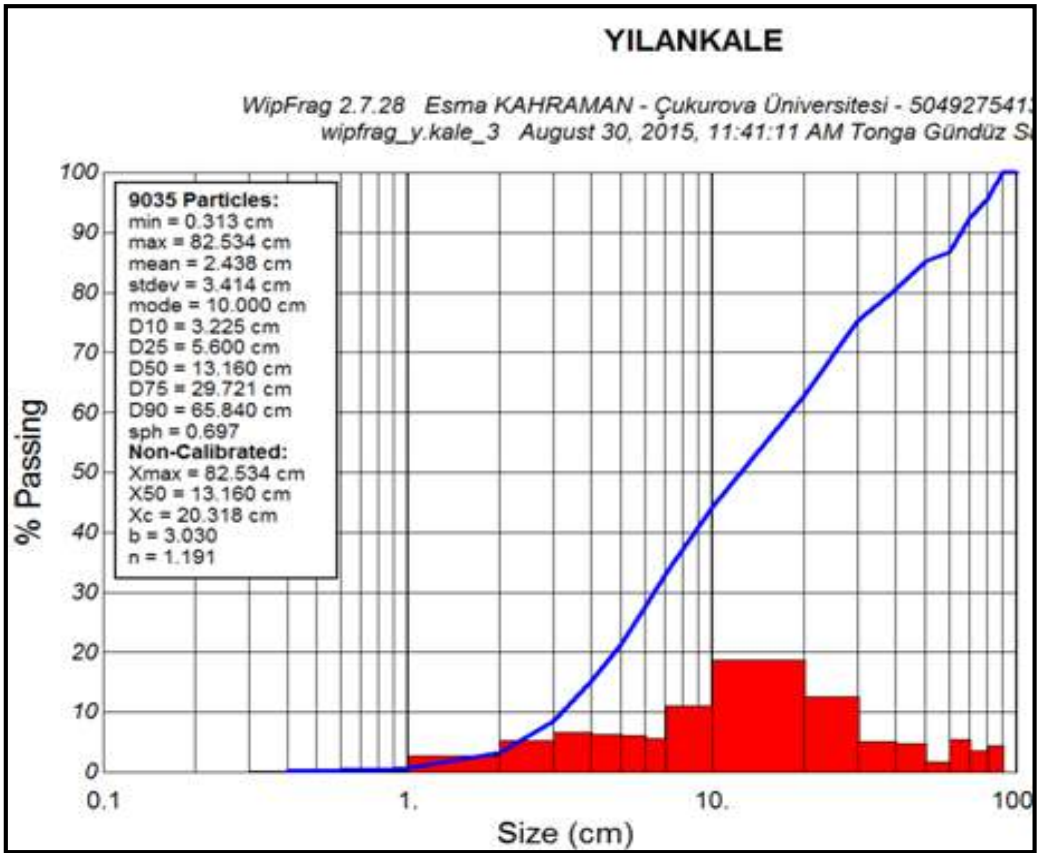
4.2 WipFrag ile Patlatma Sonrası Parça Boyut Analizi

Wipfrag ile ölçeklenmiş fotoğraf programa yüklendikten sonra otomatik olarak bir algoritma yolu ile parça sınırlarını belirlemekte ve bir parça boyut ağı oluşturmaktadır. Ölçüm duyarlılığını arttırmak için kullanıcı bu parça boyut ağına elle müdahale edebilmektedir. İki boyutlu parça ağını kullanan yazılım, geometrik olasılıkları ve steroloji bilimini kullanarak üç boyutlu parça boyut dağılımı yapmaktadır (Hüdaverdi, 2010).

Genişliği fazla olan atımlarda hatayı en aza indirmek için yığını bölerek görüntü alınmalıdır. Bu görüntüler WipFrag ile tek tek analiz edilebilmekte ve bu analizler tek bir grafikte birleştirilebilmektedir.

İncelen atımdan alınan ölçekli yığın fotoğrafı örneği Şekil 6'da ve WipFrag ile oluşturulan yığın parça boyut dağılımı Şekil 7'de verilmiştir.

Şekil 6. Analizde kullanılan yığın fotoğraf örneği



Şekil 7. WipFrag ile elde edilen elek analizi grafiği.

WipFrag analiz sonucu dağılım oranları Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. WipFrag sonucu dağılım oranları

Boyut(cm)	Geçen %
100	100
90	100
80	95,72
70	92,28
60	86,79
50	85,14
40	80,47
30	75,35
20	62,80
10	44,09
7	33,08
6	27,46
5	21,31
4	15,10
3	8,51
2	3,23
1	0,63
0,9	0,51
0,8	0,41
0,1	0,36
0,6	0,27
0,5	0,13
0,4	0,10

WipFrag analiz sonucu incelendiğinde ise maksimum parça boyutunun 82,534 cm, minimum parça boyutunun 0,313 cm ve ortalama parça boyutunun ise 2,438 cm olduğu görülmüştür.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma da öncelikli olarak taş ocağında gerçekleştirilen patlatma işlemleri sonucunda istenilen parça boyutunun elde edilip edilmediği incelenmiştir. Bu amaç için birçok patlatma tasarım parametresi denenmiş ve bu tasarım parametrelerinden en uygun patlatma tasarım parametresinin kullanılmasıyla patlatma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Patlatma öncesi WipJoint ile yapılan blok analizi bize maksimum blok boyutu hakkında bilgi vererek patlatma sonrası oluşacak yığınla kıyas yapmamızı sağlamıştır. Patlatma sonrası yığından pekçok fotoğraf alınmış ve bu fotoğraflar programda birleştirilerek yığının parça boyut dağılımı belirlenmiştir. Belirlenen dağılım ile blok dağılımı arasındaki ilişkiye bakılarak da patlatmanın ekonomik olup olmadığı belirlenebilmektedir.

WipJoint analizi sonucu maksimum blok boyutu 111,075 cm olarak, patlatma sonrası WipFrag analizi sonucunda da maksimum parça boyutunun 82,534 cm'ye düştüğü görülmüştür. Bu da patlatma sonrası patlatmanın verimli olduğunu göstermektedir. Patlatma sonucu elde edilen parça boyunun %44,09'u 10 cm ve altında elde edilmiş olup, bu da nakliye ve kırma açısından büyük önem taşımaktadır.

Gerçekleştirilen bu analizler sonucu taş ocağında uygulanan patlatma tasarımının işletme için uygun patlatma tasarım parametreleri olduğu sonucuna varılmıştır.

İşletmeden üretilen ara ürün boyutları da dikkate alındığı zaman elde edilen ürün aralığının uygun aralıkta olduğu gözlenmiştir.

TEŞEKKÜR
Bu çalışmanın yapılmasına katkıda bulunan CYS Madencilik Şirketi yönetimine katkılarından dolayı teşekkürü bir borç biliriz.

KATKI BELİRTME
Yazar çalışmaya sağladığı destekten dolayı ÇÜBAP (Çukurova Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, **MMF2011BAP19**)'a teşekkür eder.

KAYNAKLAR
Hüdaverdi, T., 2010, Parçalanmanın İyileştirilmesine Yönelik Patlatma Tasarımının Araştırılması, İTÜ Doktora Tezi, İstanbul, 187s

Kozlu, H. 1997. Misis-Andırın Dolaylarının Stratigrafisi ve Yapısal Evrimi, Türkiye 7. Petrol Kong., 104-116, Ankara.

M.T.A. Genel Müdürlüğü, Türkiye Jeoloji Haritaları, 2006, Ankara.

Yurdakul, S., 2010, Yılankale-Misis (Ceyhan-Adana) Yöresi Kireçtaşlarının Hammadde Özelliklerinin Belirlenmesi, Ç.Ü. Yüksek Lisans Tezi, Adana, 78s.

Allokton Kökenli Bir Kireçtaşı Ocağında Yapılan Patlatmanın Performans Açısından Değerlendirilmesi

Evaluation of Blasting Performance in Allochthonous Limestone Quarry

İ. Çobanoğlu, A. Kaya
Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Denizli

ÖZET Jeolojik oluşumlarına ve özelliklerine bağlı olarak kireçtaşı ocaklarında yapılan patlatmalar oldukça farklı patlatma performansları sergileyebilmektedirler. Süreksizlik yoğunluğu, kaya kütlesinin kırık ve çatlaklılığı ocağın işletme verimini doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada, taşınarak yerleşmiş ve jeolojik olarak orijinal konumunu yitirmiş (allokton) bir kireçtaşı istifi içinde yapılan patlatmaların verimliliği ele alınarak, teorik olarak elde edilen patlatma parametreleri ile uygulamada ortaya konan parametrelerin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Allokton birimler içinde açılmış taş ocakları oldukça faylı ve kırıklı bir yapı sunmaktadırlar. İnceleme alanındaki kireçtaşı birimi yer yer kumlu ve çakıllı seviyeler de içermektedir. Bu açıdan kütle kısmen heterojen bir yapı sunmaktadır. Ocak içinde KG yönünde gelişmiş çok sayıda fay düzlemi yer almaktadır. Kaya kütlesinin doğal kırıklı ve çatlaklı yapısı kullanılacak patlayıcı malzemesi miktarının daha az olmasını sağlayacak gibi görünse de gerçekte tersine bir durum söz konusu olabilmektedir. Allokton birimler içinde tektonizmanın etkinliği ile birlikte karbonat sıvamalarının, fay yüzeylerinin ve erime boşluklarının yer alması patlatmanın yersel olarak değerlendirilerek ele alınmasını gerekli kılmaktadır.

İnceleme alanı Denizli ili Serinhisar ilçesi sınırları içinde yer almakta olup Denizli'ye yaklaşık 30 km mesafede yer almaktadır. Kireçtaşı ocağı 1992 yılından beri yerli bir firma tarafından işletilmektedir. Elde edilen kırmataş malzemeler beton, asfalt ve dolgu malzemesi olarak iç piyasaya sunulmaktadır. Bu çalışma kapsamında ocakta yapılan patlatmalar için teorik olarak bir dizayn ortaya konulmuş ve uygulamada yapılan tasarım ile bu tasarımın kıyaslanması sağlanmıştır. Teorik olarak ortaya konulan patlatma dizaynının uygulamaya ait patlatma dizaynı ile oldukça farklılık sunduğu görülmüştür. Bunun nedeni, bol kırık ve çatlak içeren allokton birim içinde patlama sırasında oluşan şok enerjisinin bir kısmının bu yüzeyler boyunca kaçması olarak değerlendirilmiştir.

ABSTRACT According to geological formation and its properties, blasting in limestone quarries may show different blasting performances. Discontinuity spacing, joints and faults of rock mass directly affect the quarry efficiency. In this study, blasting performance was assessed and also comparison of theoretically determined blasting parameters with actually measured parameters of an allochthonous limestone formation which moved from its original location is aimed.

In stone quarries opened in allochthonous formations faults and joints are densely observed. Limestone formation in the study area contains sandy and gravely layers. For this reason, the rock mass shows heterogeneous structure. In the quarry there are many faults which are in NS

direction were observed. In existence of many faults and joints it can be thought that the less amount of explosive is needed for blasting operation, in fact it may not be true. The assessment of blasting must be performed locally in allochthonous formations because of effect of tectonism, carbonate filling, faults and karstic voids.

The study area is located in Serinhisar town and 30 km far from Denizli. Limestone quarry is operated by a local company since 1992. Produced cracked limestone material are sent to market for production of concrete, asphalt and filling material. In the frame of this study, blasting is theoretically designed and compared with practical blasting operation. There are differences between theoretically and practically designed blasting. The reason of this phenomenon can be explained by dissipation of explosion energy through the faults and cracks in allochthonous formation.

1 GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı ve İnceleme Alanının Tanıtılması

Bu çalışma, jeolojik koşulların patlatma verimleri üzerindeki etkisini ortaya koyan bir vaka analizi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında işletilmekte olan allokton kökenli bir kireçtaşı ocağında yapılan patlatmalar izlenmiş, uygulamada kullanılan tasarım parametreleri, bu çalışma ile yapılan tasarım parametreleri ile kıyaslanarak ortaya konulan atımın değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla işletme içinde yapılan bir basamak patlatması ele alınmıştır.

İnceleme alanı Denizli ili şehir merkezine yaklaşık 30 km mesafede olup Denizli – Serinhisar yolu üzerindedir (Şekil 1). 1992 yılından beri faaliyet göstermekte olan Amiroğlu Madencilik firmasına ait kırmataş ocağı yılda yaklaşık 1.000.000 ton kırmataş agrega üretmektedir. Üretimi yapılan agregalar başta beton sektöründe olmak üzere, asfalt, büz ve taş duvar malzemesi olarak çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Açık ocak şeklinde üretim yapılan ocakta delme-patlatma ile parçalanan malzeme kırım tesislerinde istenen boyutlardaki agrega malzemesi haline getirilmektedir.

Şekil 1. İnceleme alanı uydu görüntüsü ile sahanın genel görünümleri.

1.2 Materyal ve Metod

Bu çalışma, arazi çalışmaları ile elde edilmiş verilerin değerlendirilmesi, ocak patlatmasına ait teorik tasarımın yapılması ve ocakta uygulanan tasarım parametreleri ile kıyaslanarak patlatmanın performans açısından değerlendirilmesi şeklinde yürütülmüştür. İnceleme içinde patlatma yapılan ocak ayna yüzeylerinde kırık ve çatlaklılığın belirlenebilmesi için tabakalanma, kırık ve çatlak ölçüleri alınarak hakim kırık ve çatlak konumları ortaya çıkarılmıştır ve çatlak açıklıkları ölçülmüştür. Yapılan teorik patlatma tasarım verileri ile uygulanan patlatma parametreleri değerlendirilmiş ve veriler ışığında patlatmanın performansı değerlendirilmiştir.

2 DELME VE PATLATMANIN TASARIMI

Açık ocak işletmeciliği şeklinde üretim yapılan bir sahada, kaya kütlesinin kontrollü bir şekilde parçalanarak, malzemenin istenen boyutlarda olacak şekilde elde edilmesi amaçlanır. Amaçlanan hedef doğrultusunda, iyi parçalanmış ve gevşek bir yığın malzemesinin üretimi, taşıma ve kırma işlemlerini de kolaylaştıracağından tercih edilir. Yapılan bir patlatma işleminin başarısı amaçlanan hedef doğrultusunda sonuç alınıp alınamaması ile ilgilidir. Bu bakımdan yapılmış patlatma tecrübelerinden elde edilmiş bilgiler günümüz patlatma tasarımlarında da doğrudan kullanılır hale gelmiştir. Bir patlatma tasarımı ile aşağıda maddeler halinde sıralanmış hususların tek tek alınarak bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir.

1- Patlayıcı maddenin cinsi, miktarı ve dağılımı
2- Delik çapı
3- Dilim kalınlığı
4- Delikler arası mesafe
5- Delik taban payı
6- Delik eğimi
7- Sıkılama
8- Patlayıcı ateşleme sırası
9- Gecikme zamanları

Yukarıda sayılan etkenlerden her biri yapılması planlanan üretim patlatmasının verimliği üzerinde etkili rol oynamaktadır (Paşamehmetoğlu vd, 1995). Gerek duyulduğunda tasarımcı, parametreleri değiştirerek tasarımın gelişmesini sağlayabilir.

2.1 Allokton Kökenli Kireçtaşlarının Genel Özellikleri

Çalışma alanı, tektonik olarak oldukça fazla etkilenmiş allokton nitelikteki kireçtaşı birimlerinden oluşmaktadır. Jeolojide uzun mesafeler boyunca taşınıp, jeolojik olarak orijinal konumunda olmayan bindirme levhasına "allokton", bu levhayı oluşturan kaya topluluklarına ise "allokton birimler" adı verilir. Ege bölgesi içerisinde geniş alanlar kaplayan ve Likya napları adıyla bilinen karmaşık pek çok yapısal birimden oluşmaktadır. Likya napları, Tavas napı, Bodrum napı, Domuzdağ napı, Gülbahar napı ve Marmaris ofiyolit napı olmak üzere 5 ana tektonik birliğe ayrılmaktadır (Şenel, 1991). Çeşitli araştırmacılar tarafından "Teke Torosları" (Demirtaşlı, 1975), "Lisiyen veya Likya Torosları" (Blumental, 1963; Aksoy ve Aksarı, 2008'den) isimleriyle de tanımlanmışlardır. Ülkemizde allokton nitelikteki birimlerin uzun süreli taşınmaya bağlı olarak oldukça kırıklı ve çatlaklı bir görünüm sundukları ve çoğu kez ilksel yapılarını koruyamadıkları görülmektedir (Şekil 2). Çalışma alanı çevresinde de geniş bir alanda yayılım sunan allokton kireçtaşları renk, doku ve görünüm olarak da farklılıklar sunmaktadır. Yoğun çatlaklı yapının birim içerisinde su hareketlerini kolaylaştırması ile çatlak yüzeyleri boyunca karbonat sıvamaları ve aragonit oluşumları yaygın olarak görülmektedir (Şekil 3). Şekil 4, arazide alınan kırık ve çatlak ölçümleri ile elde edilmiş gül diyagramını ve çatlaklara ait arazi görünümlerini sunmaktadır.

Şekil 2. İnceleme alanındaki kireçtaşları ve yaygın olarak gözlenen çatlaklı yapı.

Şekil 3. Kırık ve çatlak yüzeyleri boyunca oluşan aragonit kristalleri (solda) ve karbonat sıvamalarından görünümler (sağda).

Şekil 4. Arazi çalışmaları sırasında alınmış olan kırık ve çatlak ölçümleri ile elde edilmiş gül diyagramı (solda) ve gelişmiş çatlak düzlemlerine ait arazi görünümleri.

Elde edilmiş gül diyagramının yorumlanması KB-GD doğrultulu ve KD-GB doğrultulu olmak üzere iki hakim kırık-çatlak sisteminin var olduğunu ortaya koymaktadır. Bu hakim iki çatlak takımının dar açı ortayı yaklaşık K-G doğrultusu şeklindedir ve en büyük basınç doğrultusunu vermektedir. Bu durumun, Likya naplarının yerleşimi konusunda öngörülmekte olan K-G doğrultulu sıkışma rejimiyle uyumlu olduğu belirlenmiştir. Ocak içinde birbirlerini baklava dilimleri şeklinde kesen çok sayıda çatlak sistemi de mevcut tektonik hareketlenme ile meydana gelmiştir. Ocak içinde çatlak aralıkları 5 – 30 cm arasında değişmekte olup çatlak açıklıkları ise yer yer 1 – 2 cm'ye kadar çıkmaktadır. Birim içinde yer yer gelişmiş karstik boşluklar da kırık ve çatlaklar gibi ortamı zayıflatıcı bir diğer etken olarak değerlendirilmiştir.

2.2 Teorik Olarak Ortaya Konulan Patlatma Parametreleri

Patlatma tasarımları, büyük ölçüde geçmişte yapılan patlatmalardan elde edilmiş olan tecrübeler ışığında ortaya konulmuş çeşitli ampirik yaklaşımlar ile gerçekleştirilmektedir. Kaya kütlesine

ait jeolojik özellikler ve kayacın mekanik özellikleri bu ampirik yaklaşımların genelinde dikkate alınmamaktadır. Kayacın kütlesel sınıflamasına ait bir tanımlama da çoğu kez yapılamamaktadır. Oysa bilindiği üzere, çatlak sistemleri enerji dalgalarının yayılmasını, enerjilerinin sönmesini ve şekil olarak bu dalgaların oluşturduğu deformasyonlara direnç göstererek parçalanmayı etkilerler (Erkoç, 1990). Bu amaçla yapılacaklar arasında, kayacın sert ve masif olması koşulunda patlatma deliğinin küçük çaplı açılması, yumuşak ve orta sert kayalarda ve çok çatlaklı birimlerde ise büyütülmesinin gerekliliği belirtilmiştir (Özkahraman, 2012). Bu açıdan da kayaca ait hem jeolojik ve hem de fiziksel ve mekanik parametrelerin belirlenmesi önem taşımaktadır.

Bu çalışmada ampirik yaklaşımlarla ortaya konulmuş ilişkiler kullanılarak bir patlatma tasarımı yapılmıştır. Tasarımda;

1- Patlayıcı madde olarak ANFO kullanılacaktır.

2- Delik çapı 89 mm olarak seçilmiştir. Bu delik çapı için şarj yoğunluğu (lb) Kou ve Rustan (1992) tarafından önerilmiş olan abak kullanılarak 5.0 kg/m olarak belirlenmiştir.

3- Dilim kalınlığı (B) değeri literatürde en fazla kullanılan ilişki kullanılarak;
$B=1.36* \sqrt{lb} = 1.36*\sqrt{5} = 3.04$ m olarak belirlenmiştir.

4- Delikler arası mesafe (S);
$S= 1.25*B = 1.25*3.04 = 3.8$ m

5- Delik taban payı (hb);
$hb = 0.3*lb = 0.3*3.04 = 0.91$ m

6- Delik eğimi, dik delik olarak belirlenmiştir.

7- Sıkılama

8- Toplam delgi boyu (H),
H = Basamak yüksekliği (K) + delik taban payı (hb)
H = 10 m + 0.91 m = 10.91 m

9- Sıkılama boyu (h_o)
h_o= B = 3.04 m
Şarj boyu
Hc = H - ho = 10.91 - 3.04 = 7.87 m
Şarj (patlayıcı)miktarı
Qt = Ib * hc = 5.0kg/m * 7.87 = 39.35 kg
Bir sıradaki delik sayısı
Delik sayısı (n) = Ayna genişliği / delikler arası mesafe
= 10 m / 3.8 m = 3 sıra
Özgül şarj
q = n * Q / B * K * W
= 3 * 39.35 / 3.04 * 10 * 10 = 0.388 kg/m³

10- Patlayıcı ateşleme sırası, ayna yönüne ters yönde içten dışa doğru

11- Gecikme zamanları, delikler arası 42 ms ve dilimler arası 500 ms olarak seçilmiştir.

2.3 Uygulama İle Ortaya Konulan Patlatma Parametreleri

Bu çalışma kapsamında ele alınan ve teorik olarak tasarlanmış olan patlatmanın, incelenen ocak içinde yapılan uygulama ile kıyaslanması amaçlanmıştır. Ocakta yapılan patlatma, üretim patlatması niteliğindeki basamak patlatmasıdır. Basamakların yükseklikleri aynı olup, basamak genişlikleri saha içinde çalışılan lokasyona göre değişiklik göstermektedir. Bütün patlatmalarda patlayıcı olarak ANFO kullanılmakta ve yemleme jelatin dinamit ile yapılmaktadır.

Bu çalışma ile ilgili patlatma çalışmaları için hem öngörülmüş teorik veriler ışığında ortaya konulan patlatma tasarımının elde edilmesi ve hem de ocakta şu an itibariyle uygulanmakta olan

patlatma verilerinin karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler ve bu çalışma kapsamında yapılan patlatma tasarım verileri karşılaştırıldığında Çizelge 1 ve Şekil 5'deki durum ile karşılaşılmaktadır.

Çizelge 1. Üretimi patlatmasında tasarlanan ve ocakta uygulanan patlatma verilerinin karşılaştırılması

	Bu Çalışma İle Teorik Olarak Hesaplanan Patlatma Değerleri	İşletmede Uygulanan Patlatma Parametreleri
Patlayıcı maddenin cinsi, miktarı ve dağılımı	ANFO	ANFO
Delik çapı	89 mm	89 mm
Dilim kalınlığı	3,04 m	2,5 m
Delikler arası mesafe	3,8 m	3 m
Delik taban payı	0,91 m	0,7 m
Delik eğimi	Dik	Dik
Sıkılama	3,04 m	3 m
Patlayıcı ateşleme sırası	Ayna yönüne ters yönde içten dışa doğru	Ayna yönüne ters yönde içten dışa doğru
Toplam delik sayısı	26	30
Toplam şarj miktarı	1023 kg	1400 kg
Toplam üretim tonajı	7950 ton	7000 ton (%5-10 hata payı ile)
Özgül şarj	0,341 kg/m^3	0,388 kg/m^3

Şekil 5. Tasarlanan ve ocakta uygulanan patlatmalara ait delik düzenleri ve ocakta uygulanan patlatma uygulaması aşaması

3 ATIMIN DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1 Parça Boyutunun Değerlendirilmesi

İşletmede yapılan patlatma sonrasında elde edilecek olan malzeme boyutunun en fazla 60 cm olması bu tür tesislerde ekonomik olmaktadır. Elde edilen parça boyutunun istenen ölçüde olması konkasörde harcanacak enerjinin de artmasına neden olmaktadır. Patlatma ile parçalanan malzeme ne kadar küçük olursa kırıcıya giren malzeme için kırıcının harcamış olduğu enerji miktarı da doğru orantılı olarak azalacağı için işletmenin maliyeti de düşecektir. Şekil 6, işletmede yapılan patlatma ile elde edilmiş atım kütlesinin genel görünümünü göstermektedir.

Şekil 6. Yapılan patlatma ve sonrası oluşan atım kütlesinin (ortada) ve yer yer büyük bloklar şeklinde elde edilmiş malzemenin genel görünümü (sağda).

3.2 Tasarım ve Uygulama Patlatma Parametrelerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında incelenen ocak için teorik yaklaşımlarla belirlenmiş olan patlatma parametrelerinin istenen boyutlarda malzeme üretimi için tam olarak yeterli olmayacağı belirlenmiştir. Bu yüzden delikler arası mesafeler sıklaştırılmış ve dilim kalınlıkları düşürülmüştür. Böylesi bir koşulda bile Şekil 6'de görüldüğü gibi patar oluşumları gözlenmiş ancak genel anlamda işletme açısından olumsuz bir durum teşkil etmediklerinden ayrıca bir değişiklikte bulunulmamıştır.

3.3 Patlatma Verimini Etkileyen Jeolojik Faktörlerin Değerlendirilmesi

Allokton kökenli olması nedeniyle de büyük miktarda ve çok çeşitli doğrultularda gelişmiş süreksizlik yüzeylerinin varlığı, patlatma sırasından oluşan kırma enerjisinin bir kısmının boşa çıkmasına neden olabilmektedir. Patlama reaksiyonu ile oluşan gaz basıncı ve kaya yapısına iletilen sismik enerjinin bu süreksizlik düzlemleri boyunca serbest kalması, açık alanda ses ve titreşimin artması olarak kendisini göstermektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan arazi çalışmaları, allokton birim içerisinde patlatma performansını etkileyecek jeolojik unsurların;

a- Tabakalanma düzlemlerinin varlığı,
b- Makaslama zonları oluşturacak şekilde gelişmiş kırık sistemlerinin varlığı,
c- Açılmış ve yer yer kalsit sıvamaları şeklinde gelişmiş çatlakların varlığı,
d- Birim içinde az da olsa gelişmiş karstik boşlukların bulunması,
e- Birimin taşınmasına bağlı olarak düzensiz dağılımlı olarak yayılım sunan topraklaşmış seviyelerin varlığı, şeklinde tanımlanmasını sağlamıştır.

Kırık ve çatlaklılığın bol olduğu ortamlarda delik delinmesi de büyük problem oluşturmaktadır. İnceleme alanı içerisinde de benzer problemler yaşanmaktadır. Diğer taraftan gaz kaçakları ve şok dalgalarının yayılımının bozulması ile patlatma verimi de düşmektedir.

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kayaç yapısının, kırık ve çatlaklılığın ve kaya dayanımının bütün patlatmalar üzerinde önemli etkisi bulunduğu bilinmektedir. Kırık ve çatlaklı bir yapıdaki kaya kütlesinin patlatılması için harcanacak enerji ile daha masif ve sağlam bir kaya kütlesinin patlatılması için harcanacak enerji aynı olmayacaktır. Bu yüzden tasarımlarda ve uygulamalarda kaya kütlelerinin özelliklerini belirlemek ve bilmek ayrıca önem taşımaktadır. Çoğu tasarımda önemsenmeyen ve yapılmayan ön çalışmalar ile bölgesel jeolojik bilgiler ışığında sahadaki kaya kütlesine ait yapısal koşulların ortaya çıkarılması ve değerlendirilmesi patlatma performansı açısından büyük önem taşımaktadır.

İnceleme yapılan saha dolomitik içerikli ve allokton kökenli kireçtaşı biriminden oluşmaktadır. Birim içinde yer yer kumlu ve çakıllı seviyeler de görülmektedir. Bu açıdan kütle yer yer heterojen özellikler sergilemektedir. Kireçtaşı birimi içinde gelişmiş KB-GD doğrultulu

ve KD-GB doğrultulu olmak üzere iki hakim kırık-çatlak sisteminin var olduğu belirlenmiştir. Birimin bol kırık ve çatlak içermesi, teorik olarak işletmede yapılan patlatmalarda elde edilmek istenilen tane boyutuna daha kolay ulaşılmasını sağlamakta ve şirketin karlılığını artırmaktadır. Bu faydasının yanında kırık ve çatlaklı yapı nedeniyle patlayıcının oluşturmuş olduğu detonasyonun azalması söz konusu olmaktadır ki bu durumda patlatma veriminin düşmesine neden olacaktır.

Patlatma uygulamalarında, kaya kütlesine ait kırık ve çatlaklılığın belirlenmesi ve bu özelliklerin patlatma açısından yararlanılır hale getirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla bölgedeki kırık ve çatlak sistemlerinin ölçümlerinden yola çıkılarak gül diyagramlarının hazırlanması ve değerlendirilmesi büyük avantajlar sağlayacaktır.

Çatlak sistemlerine dik aynalarda kırılmanın çatlak yapısına uygun olacağı ve kontrol edilemeyeceği, paralel aynalarda ise daha fazla enerji gereksinimine karşın kırılmanın kontrol edilebileceği deneyiminden yararlanarak patlatma dizaynı geliştirilebilir (Erkoç, 1990). Bu yüzden özellikle hakim çatlak konumlarının yapılan jeolojik çalışmalarla ortaya konulması ile patlatmaya yön verilmesi teknik açısından da doğru olacaktır. Bu amaçla kırık ve çatlak doğrultusuna paralel teşkil edilecek aynalarla çalışmak her zaman daha ufak parçalanmaya neden olacağından kırmataş ocakları için tercih edilmelidir.

KAYNAKLAR

Aksoy, R., Aksarı, S, 2008. Elmalı (Antalya, Batı Toroslar) Kuzeyindeki Likya Naplarının Jeolojisi, S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi, c.23, sa.2, sayfa 45 – 59.

Demirtaşlı, E, 1975. İran, Pakistan ve Türkiye'deki Alt Paleozoyik Yaşlı Kayaların Stratigrafik Korelasyonu, *Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Bildiriler Kitabı,* s. 204-222, Ankara.

Erkoç, Ö., Y., 1990. *Kaya Patlatma Tekniği*, Çeliker Matbaacılık, İstanbul, 164 s.

Şenel, M, 1991. Likya Napları İçindeki Volanit Katkılı Paleosen – Eosen Çökelleri: Faralya Formasyonu, *MTA Dergisi*, 113, s.1-15.

Kou, S. Q. and Rustan, A., 1992. Burden related to blast hole diameter in rick blasting, IJRM and Geo. Abstr., Vol. 29, pp. 543-553.

Özkahraman, H., T., 2012. *Patlatma Teknolojisi*, Tuğra Ofset Yayını, Isparta, 173 s.

Paşamehmetoğlu, A.G., Özgenoğlu, A, Karpuz, C, 1995. *Kaya Şev Stabilitesi*, Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 358 s.

Şehir İçi Açık Saha Patlatma Maliyet Analizi

Blasting Cost Analysis at Urban Open Field

A. Kahriman, A. Çeltikçi, S. Bağdatlı
T.C. Okan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Patlayıcı Mühendisliği Yüksek Lisansı

İ. Ocak
İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü

A. Özdemir, İ. Sefer, R. Sağlam
ICA İçtaş-Astaldi Ortak Girişimi "Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Odayeri-Paşaköy (3. Boğaz Köprüsü Dahil) Kesimi" Projesi

ÖZET Nüfus artışı ve şehirleşmeye paralel olarak taş ocakçılığı, madencilik, inşaat altyapı kazıları, kuyu-tünel, boru hattı, baraj, otoyol gibi çeşitli sektörlerde yapılan kazı çalışmalarında kaçınılmaz olarak kullanılan ve tüketimi her geçen gün daha da artan patlayıcı maddelerin, patlatma tasarımında; parçalanma derecesi, eş dağılımlılık, çevresel sorunlar gibi teknik ve ekonomik unsurların yanında maliyet analizi de dikkate alınmalıdır.

Şehir içi patlatmalarında yasal yükümlülüklerden dolayı patlatma maliyetine bir takım ilave masraflar gelmektedir. Patlatma yapılacak yüzeyin üstünün lastik yorganlarla örtülmesi, her bir patlatmanın vibrasyonlarının ölçülerek kayıt altına alınması vb. Bu ilave masraflara ek olarak çevredeki tesis ve yapılara zarar vermeden yapılması gereken patlatmalar mevcut uluslararası standartlar tarafından denetlendiği için patlatma başına elde edilecek hafriyat miktarı da kısıtlanmakta bu da birim maliyeti arttırmaktadır.

Bu bildiri kapsamında, şehir içi patlatma maliyetini belirlemek için "Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Odayeri-Paşaköy (3. Boğaz Köprüsü Dahil) Kesimi" Başakşehir İlçesi Yol Güzergahı boyunca yapılan patlatmalarda oluşan maliyetler incelenmiş ve patlatma maliyeti bulunmuştur.

ABSTRACT Population growth and urbanization parallel quarrying, mining, construction, infrastructure, excavation, well-tunnels, pipelines, dams, highways, such as the various sectors made fragmentation of the design detonation of explosives used increasingly inevitable trials, codependency, techniques such as environmental problems and economic Besides cost analysis of the factors should be taken into account.

A team of legal liability costs due to blasting in blasting within the city comes additional costs. The surface will be blasting be covered with high tire quilts, each blasting, etc. to be recorded by measuring the vibrations. These additional costs needs to be done without damage to surrounding property and structures in addition to blasting to be obtained per blasting for inspection by current international standards excavation amount of restriction is that the unit cost It increases.

Under this declaration, to determine the local blasting costs "North Marmara Motorway Project Odayeri-Paşaköy (3rd Bosphorus Bridge Included) Draft" Başakşehir County Routes examined costs incurred in blasting along and blasting costs were found.

1 GİRİŞ

Delme patlatma tasarımlarının hazırlanmasında; çalışma yapılacak sahanın formasyon analizi, delici ekipmanın sarf malzemesi, kullanılacak patlayıcı madde ve aksesuarları, patlatma dizaynı gibi bir çok unsur dikkate alınmaktadır. Delme patlatma tasarımları içerisinde birçok unsur bulundurmasından dolayı maliyet kontrolünün yapılabilmesi ve verimlilik artışının sağlanabilmesi zordur. Yapılan birçok çalışmada kulaktan dolma bilgi ve duyumlara göre uygulamalar yapılması hem maliyetleri yükseltmekte hem de toplam verimliliği azaltmaktadır. Düşük maliyetle yüksek verimlilik elde edilebilmesi için bütün unsurların iyi analiz edilmesi ve uygulamanın yapıldığı sahanın şartlarına göre seçilmesi gerekir. Burada göz önünde bulundurulması gereken önemli nokta, her doğrunun her çalışmada geçerli olmaması, her çalışmaya göre unsurların değişkenlik göstermesidir. (Yıldız; 2013).

1.1 Çalışmanın Önemi ve Amacı

2013 yılında yapımına başlanan ve 2016 yılında tamamlanması hedeflenen 3. Boğaz Köprüsü, Kuzey Marmara Otoyolu projesi Odayeri – Paşaköy kesiminde yer alacak; Köprü üzerindeki raylı sistem, Edirne'den İzmit'e kadar yolcu taşıyacak; Marmaray ve İstanbul Metrosu ile entegre edilecek raylı sistemle Atatürk Havalimanı, Sabiha Gökçen Havalimanı ve yeni yapılacak 3. Havalimanı da birbirine bağlanacaktır.

Projenin, Odayeri – Paşaköy kesiminde; 19 adet kavşak ve bağlantı yollarına sahip yaklaşık 115 km'lik Kuzey Marmara Otoyol'u bulunmaktadır.

Bu otoyol projesi; Odayeri - Paşaköy hattının, halen kullanılmakta olan 1. Boğaz Köprüsü ile 2. Boğaz Köprüsü'nün trafik yükünü rahatlatmak ve İstanbul'un ulaşım sorununu giderebilmek için planlanan bir otoyol projesidir.

Çalışma alanı olarak "Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Odayeri-Paşaköy (3. Boğaz Köprüsü Dahil) Kesimi" Başakşehir ilçesi yol güzergahı seçilmiştir. Çalışma alanının sert ve sağlam yapılı olması dolayısıyla patlatmalı kazı kaçınılmaz olarak yapılmaktadır.

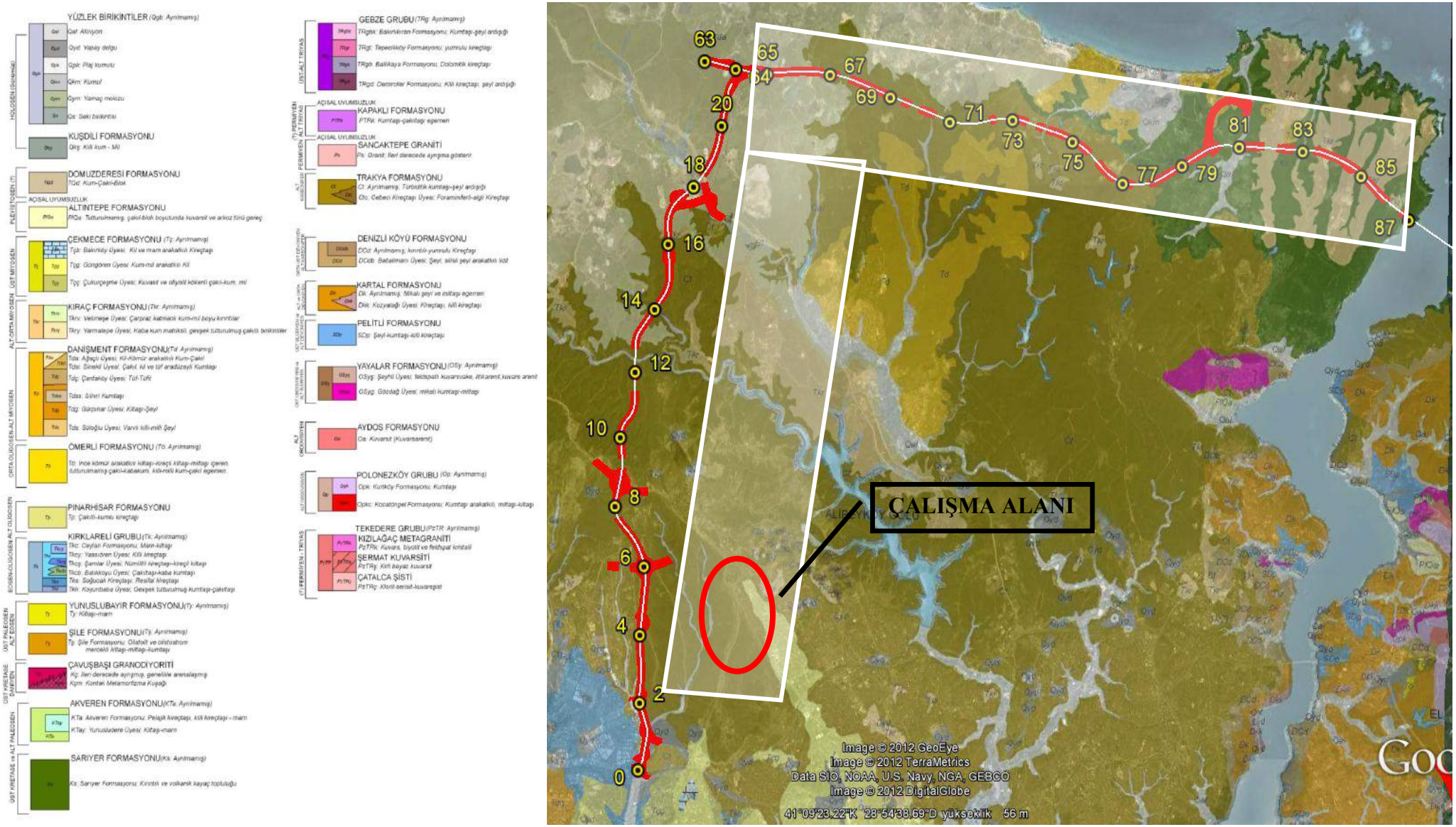
Bu çalışmanın amacı; söz konusu sahada üretim sırasındaki patlatma faaliyetleri incelenerek patlatma maliyet analizinin bulunmasıdır.

2 ÇALIŞMA ALANIN JEOLOJİSİ

İstanbul Boğazı'nın, farklı iki çökel grubunun yaklaşık sınırını oluşturduğu gözlenir. İstanbul Boğazı' nın doğu (Asya) yakası, bölgenin görünür temelinde Paleozoyik (Karbonifer) yaşlı ve Trakya Formasyonu olarak adlanan grovak çökelleri, batı yakasında (Avrupa) ise ekseriyetle bu grovak çökelleri üzerinde uyumsuz oturan Senozoyik yaşlı genç çökellerden oluşmaktadır. Genç çökeller, bölgesel anlamda N - S doğrultulu batıya eğimli bir yapının sonucu, İstanbul Boğazı'nın batısında yaygınca yer almakta ve grovak kayaları üzerinde Eosen yaşlı sığ denizel kireçtaşı ile başlamaktadır. Neojen döneminde de, karasal-sığ denizel ortamda yaygınca çökelimini sürdüren genç kırıntılı çökel toplulukları, Trakya Havzası olarak adlandırılan İstanbul Avrupa yakasının hakim çökellerini oluşturmuşlardır.

Kocaeli yarımadasında Paleozoyik, Permo-Triyas, Geç Kretase-Orta Eosen, Geç Oligosen-Erken Miyosen, Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı çökel kayalar ile Permiyen, Permo-Triyas ve Geç Kretase yaşlı magmatik-volkanik kayalar yüzeyler.

Güzergahın geçtiği birimler ve formasyonlar İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB)'nin 2011 yılında hazırladığı 1/100.000 ölçekli yüzey jeolojisi haritasından alınmıştır (Şekil 1.) (EMAY, 2013).



Şekil 1. İstanbul Avrupa yakası yüzey jeoloji haritası ve çalışma alanı(EMAY,2013).

2.1 Çalışmada Uygulanılan Yöntem

Şehir içi patlatmalarda en önemli çevresel sorunlar vibrasyon ve taş fırlamasıdır. Patlatma paternlerinin çevredeki tesis, bina ve evlere zarar vermeyecek şekilde planlaması gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında da binalara verilecek vibrasyonu engellemek için gecikme başına kullanılan maksimum patlayıcı madde miktarı düşük tutulmuş; taş fırlama riskini en aza indirmek içinde lastik yorganlar kullanılmış; delikler arası mesafe, dilim kalınlığı ve sıkılama boyu paremetreleri değiştirilmiştir (Şekil 2).

Şekil 2. Patlatma esnasında taş fırlamasını engellemek için lastik yorganların (örtülerin) serilmesi.

3 MALİYET ANALİZİ

Şehir içi patlatmalarının verim ve maliyetini etkileyen en önemli unsurlardan birisi de hava karardıktan sonra açık sahalarda patlayıcı madde kullanımının hem iş güvenliği açısından sakıncalı olduğu; hem de yasal yönetmelikler tarafından izin verilmediği için sadece gündüz saatlerinde yapılmasıdır. Patlatma maliyet analizi yapılırken de hesaplamalar tek vardiya üzerinden 10 saat olarak yapılmıştır. Söz konusu çalışma kazı faaliyetlerinin sürdürüldüğü 2015 yılı piyasa rayiçleri göz önüne alınarak yapılmıştır.

Patlatma maliyet analizi yapılırken delgi hizmeti; patlatma hizmeti ve örtme giderleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Delici makine kira bedeli (operatörü dahil; sarf malzeme ve mazot hariç) aylık olarak 25.000-30.000 TL'dir. Günlük delgi metrajı zemine göre değişkenlik göstermekte olup çalışma alanında ki sert bazalt kayasına göre saatte 30-40 metre olmakla birlikte vardiya da ortalama 320 metre ölçülmüştür. Yedek parça gideri arazi çalışmalarında gözlemlenmiş ve aylık ortalama 5.000 TL olduğu bulunmuştur. Delici makinenin saatte 20 lt mazot harcadığı yerinde yapılan

ölçümlerle kayıt altına alınmış; ürün kataloglarıyla karşılaştırılarak teyit edilmiştir. Mazot fiyatı olarak da çalışmanın yapıldığı tarihteki değeri olan 3,90 TL alınmıştır.

Delme gideri:
30.000TL/(30*320 mt) =3,12TL/mt
Yedek parça gideri:
5.000 TL/ (30*320 mt) =0,520 TL/mt
Mazot gideri:
20lt/saat*10saat*3,90TL/320mt =2,43 TL/mt

Delgi Hizmet Maliyeti Toplamı:
3,12 TL/mt + 0,520 TL/mt + 2,43 TL/ mt = 6,07 TL/mt

Patlatma hizmetini gerçekleştiren ekip içerisinde 1 adet mühendis, 1 adet ateşçi formeni, lastik yorganları örtmek için 4 adet ateşçi yardımcısı, bu ekibe tahsis edilmiş bir adet çift çeker pick up arazi aracı ve şoförü bulunmaktadır. Pick up ın saatlik mazot gideri hesaplamalarda 0,15 lt saat olarak ölçülmüş ve maliyet hesabında yerini almıştır. Hesaplamalara mühendis, ateşçi formeni, ateşçi yardımcıları ve şoförün aylık maaş + SGK + yemek ve yatma masrafları da eklenmiştir.

Patlatma Hizmet Maliyeti:
1 Mühendis:
(5731,2 TL) /30*320mt= 0,597 TL/mt
1 Ateşçi Formeni:
(3801,6 TL)/ 30*320mt= 0,396 TL/mt
4 Ateşçi Yardımcısı:
(4*2263,2 TL) / 30*320 mt= 0,943 TL/mt
1 Şoför:
(2400 TL) / 30 * 320 mt= 0,235 TL/mt
1 Pick up gideri =
Kira Gideri + Mazot Gideri
Pick up kira gideri=1843,2 TL/30*320 mt =0,192 TL/mt
Pick up Mazot gideri=
(0,15 lt/saat* 10 saat*3,90 TL)/30*320mt =0,182 TL/mt
Pick up Gideri= 0,192 + 0,182 =0,390 TL/mt
Patlatma Hizmet Maliyeti:
1 Mühendis + 1 Ateşçi Formeni + 4 Ateşçi Yardımcısı + 1 Şoför + 1 Pick up Gideri=
0,597 + 0,396 + 0,943 + 0,235 + 0,390 =
2,561 TL/mt

Örtme gideri hesaplanırken ise lastik örtü örtme işinde kullanılan hiyap (operatörü dahil) kira bedeli ve mazot bedeli hesaplamalarda kullanılmıştır.

1 hiyapın operatörü dahil aylık kira bedeli 6.900 TL'dir. Hiyabın saatlik mazot tüketiminin ise yerinde yapılan ölçümlerde 7,5 lt olduğu bulunmuştur.

Hiyap mazot gideri:
7,5 lt/saat*10 saat*3,90 TL/ 320 mt
= 0,091TL/mt
Hiyap Gideri:
6.900 TL/ 30*320 mt=0,718 TL/mt
Örtme Gideri Toplamı=
Hiyap kira gideri + mazot gideri=
0,718 TL/mt + 0,091 TL/mt= 0,809TL/mt
olarak bulunmuştur.

Toplam maliyet=
Delme hizmet maliyeti + patlatma hizmet maliyeti + örtme maliyeti
6,07 TL/mt + 2,561 TL/mt + 0,809 TL/mt= 9,44 TL/mt

Söz konusu çalışma kapsamında kullanılan patlayıcı ürünler (patlayıcı madde, kapsül, bağlantı kabloları vb.) ayrıca detaylı olarak hesaplanmamış olup, çalışma süresince kullanılan toplam miktar, yapılan kazı miktarına bölünerek ortalama 0,750 TL/m3 olduğu hesaplanmıştır.

4 SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında "Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Odayeri-Paşaköy (3. Boğaz Köprüsü Dahil) Kesimi" Başakşehir ilçesi yol güzergahında yapılan açık saha patlatmalarının maliyet analizi yapılmıştır.

Maliyet analizi yapılırken Delme hizmet maliyeti, patlatma hizmet maliyeti ve örtme gideri incelenmiş ve her biri sırasıyla 6,07 TL/mt, 2,561 TL/mt, 0,809 TL/mt olarak bulunmuştur. Toplam patlatma maliyeti ise 9,44 TL/mt olarak gerçekleşmiştir.

Söz konusu sahada dinamit sarfiyat gideri hesaplamalara katılmamış olmakla birlikte ortalama 0,750 TL/m3 olduğu yerinde yapılan çalışmalar sonucu bulunmuştur.

Elde edilen bu değerlerin değişik arazi ve saha şartlarında farklılıklar göstereceği unutulmamalı ve her bir saha için bu çalışma yapılarak o sahaya özgü maliyet analizi bulunmalıdır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu araştırmaya olanak sağlayan ICA İçtaş-Astaldi Adi Ortaklığı yetkilileri'ne teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Emay Uluslararası Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş.; 2013, "Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Odayeri-Paşaköy (3. Boğaz Köprüsü Dahil) Kesimi" İstanbul İli Sarıyer, Eyüp, Arnavutköy ve Başakşehir İlçeleri Jeoloji Raporu, İstanbul

Yıldız, M.F; 2013, Delme Patlatma da Yüksek Verimlilik ve Maliyet Analizi, http://www.madencilik-turkiye.com/pdfler/mak-1379068740.pdf, s.50-51.

Kapıkule Sağlık Ocağı'nın Patlayıcı İle Kontrollü Yıkılması

Demolition of Kapıkule Community Clinic by Using Explosives

Y. Yılmaz

ÖZET 25 Eylül 2012 tarihinde Edirne ili Kapıkule mevkiinde bulunan Sağlık Ocağı kontrollü patlatma tekniği ile yıkılmıştır.

Patlatma ile yıkımın amacı, mevcut iş makinesine minumum miktarda iş yaptırmak ve riskleri minimize etmektir. Dolayısıyla tasarım yapılırken binanın birinci ve ikinci katı patlatma yöntemiyle, üçüncü ve dördüncü katı ise iş makinesi ile yıkılmasına karar verilmiştir. Türkiye' de resmi dairelerden gerekli izinlerin alınması sebebiyle, ilk resmi patlatma yöntemiyle bina yıkımı olarak kayıtlara geçmiştir.

Yıkım tasarımı yapılırken riskli yapı olarak öngörülen caminin zıt yönüne eğimli şekilde içe çöktürme amaçlanmıştır. Binanın yıkılma anındaki davranışı amaca uygun şekilde gerçekleşmiştir. Bu sonuçtan yola çıkarak uygulanan ateşleme sırasının doğru olduğu görülmektedir.

ABSTRACT A community clinic in Kapıkule, Edirne was demolished by using explosives at 25th Semptember, 2012.

To reduce the workload of the machine and minimize the risks were the main purpose of demolition. Therefore, it was decided to demolish the basement and first floor by explosives the other floors by machine. Due to the receipt of required approvals from authorities in Turkey, it was recorded as the first official building demolition by blasting.

When the demolition design is constitute, it is aimed that to demolish the building to the reverse side of the mosque with declined angle.The behavour of the building during the demolition, was suitable for the purpose. Based on this result, it was seen that the applied firing sequence was correct.

1. ÇALIŞMADA UYGULANAN YÖNTEM

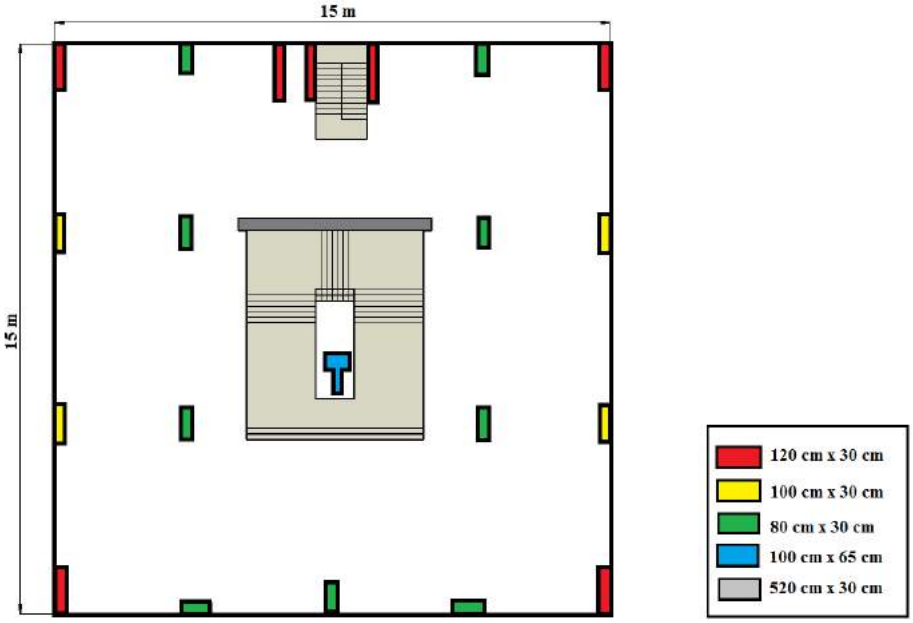
Bu çalışma kapsamında, Kapıkule Sağlık Ocağı'nın patlatma ile kontrollü yıkımı gerçekleştirilmiştir. Bunun için yapılan çalışmalar sırası ile aşağıda maddelendirilmiştir;

- Sağlık ocağının hali hazırda bulunmayan planı şerit metre yardımı ile çıkartılmıştır.
- Sağlık ocağı, AutoCAD programında üç boyutlu modeli oluşturulmuştur.

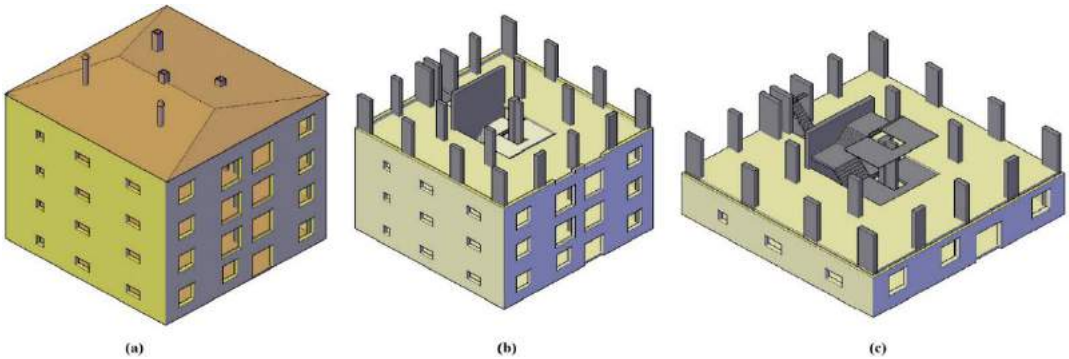
- Literatürde ifade edilen (Thomas, 1985)'in hacme dayalı şarj miktarı eşitliği kullanılarak kolon başına düşen şarj miktarı belirlenmiştir.
- Literatürde ifade edilen (Thomas, 1985)'in hacme dayalı şarj miktarı eşitliğinde kullanılan tecrübe katsayısını belirlemek için sağlık ocağında mevcut olan betonarme malzeme özelliklerine uygun değer Çizelge 2.9'dan seçilmiştir.
- Sağlık ocağının betonarme malzeme özellikleri, yıkım amacı ve çevresel koşullar dikkate alınarak yıkım tasarımı belirlenmiştir.
- Yıkım tasarımı sahada uygulanmış ve 25 Eylül 2012 tarihinde Saat 17:00'da yıkım gerçekleştirilmiştir.
- Yıkım sonucu irdelenmiş ve patlatmalı yıkımın verimli olup olmadığını tartışılmıştır.

2.1 Bina Hakkında Genel Bilgiler

Edirne Kapıkule Gümrük Lojman binasının zemin katında bulunan duvarların yıkılmasıyla 21 adet kolon ve 1 adet perde beton olduğu ortaya çıkmıştır. Bina planının çizimi tamamlandığından binanın genişliğinin ve uzunluğunun ise 15 m, yüksekliğinin 12,6 m ve yüzey alanı ise 225 m^2 olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Sağlık Ocağı'nın Planı



Şekil 2. (a) Sağlık Ocağı'nın Görünüşü, (b) Sağlık Ocağının Kolon Planı, (c) Sağlık Ocağı'nın Kat Planı

3. YIKIM TASARIMI

3.1 Patlayıcı Madde Miktarı ve Delik Dizayının Belirlenmesi

Binada bulunan betonarme malzemenin mekanik özelliklerinin oldukça düşük olması sonucu binanın ateşleme süresince kontrolsüz yıkılmasını önlemek ve parka savrulmasını minimize etmek amacı ile sadece kolonlara patlayıcı yerleştirilmesi uygun görülmüştür.

Kolon başına düşen şarj miktarını hesaplamak için (Thomas, 1985)'in hacme dayalı şarj hesabı (Eşitlik 2.5) kullanılmıştır.(Eşitlik 2.5)'te kullanılan tecrübe değeri, deneme atımları veya mühendisin daha önceki çalışmaları baz alınarak tespit edilir. Ancak, ilgili binada deneme atımları için izin çıkmaması ve ülkemizde baz alınabilecek patlayıcı ile kontollü yapı yıkımı uygulaması olmadığı için Çizelge 2.7, 2.8 ve 2.9 gösterilen tecrübe değerleri incelenmiştir. Binanın mevcut durumu ve çevresel koşullar dikkate alınarak Çizelge 2.9 incelenmiş ve tecrübe katsayısı 0,5 kg/m^3 alınmıştır. Buna göre kolonlarda kullanılması gereken patlayıcı madde miktarı hesaplanmıştır. Çizelge 1'de hesaplanan ve kullanılan şarj miktarları gösterilmiştir.

Çizelge 1. Kolonların Taşıyıcı Özelliğini Kaybetmesi İçin Kullanılması Gereken Şarj Miktarları

Kolon Boyutları (m)			Kullanılması Gereken Şarj Miktarı (kg)
Yükseklik	Kenar	Kenar	
3	1,2	0,3	0,54
3	1	0,3	0,45
3	0,8	0,3	0,36
3	1	0,65	0,975
3	5,2	0,3	2,34

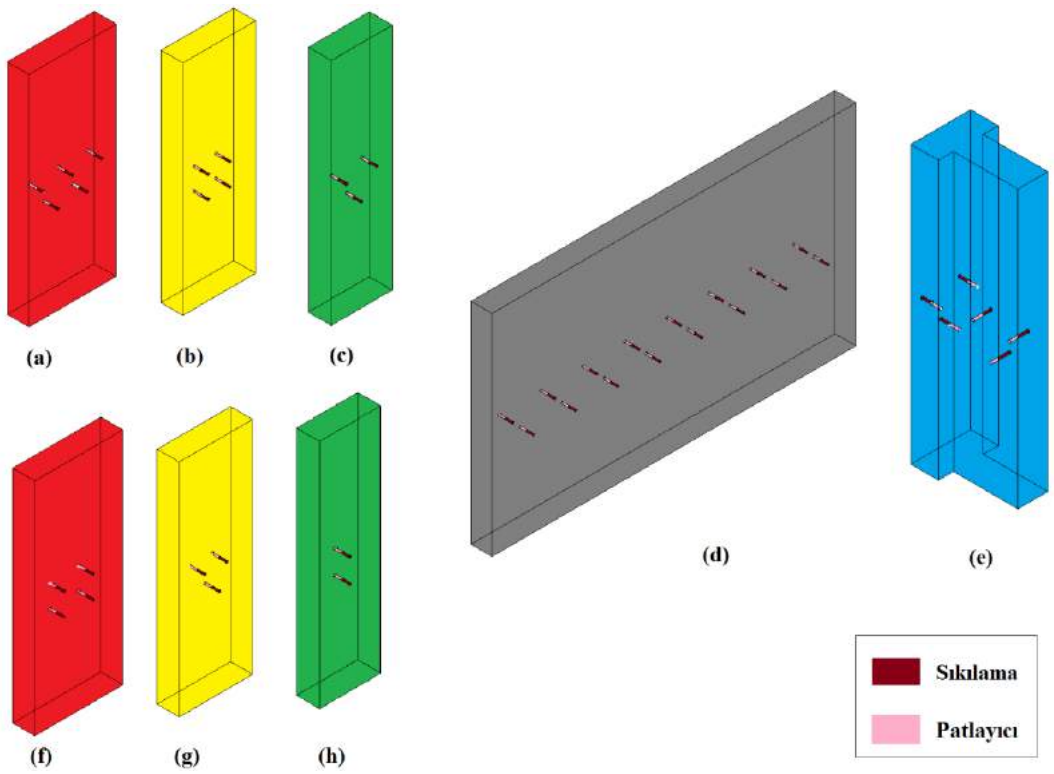
Kolonların daha geniş yüzeyde hasar almasını sağlamak amacı ile deliklerin geniş kenara dik, dar kenara paralel olarak delinmesi uygun görülmüştür.

Literatürde, delik boyunun kolon genişliğinin 2/3'ü, sıkılama boyununda deliğin yarısı olması gerektiği ifade edilmektedir. Kolon genişliği 30 cm olduğu için delik boyu 20 cm olarak belirlenmiştir. Her bir delikte 125 gr dinamit konulması uygun görülmüştür. Bunun sebebi; firmanın, 500 gr. lık 38 mm. çapındaki, patlayıcısının 4' e eşit bölündüğünde, 125 gramı delikte 9,5 cm yer kaplamaktadır, Geri kalan 10,5 cm ise sıkılama miktarıdır.

Ülkemizde patlatma ile yıkımın uygulamasının olmaması tecrübe katsayısının belirlenmesinde hata riskini arttırmaktadır. Bu nedenle, delik geometrisi de dikkate alınarak riski minimize etmek için yıkım yönünde (caminin zıt yönünde) kullanılan şarj miktarı arttırılmış, cami yönünde ise azaltılmıştır. Buna bağlı olarak kolonlarda uygulanması planlanan şarj miktarı Çizelge 2'de, delik dizaynı ise Şekil 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 2. Kolonlarda Kullanılan Şarj Miktarları

Kolon Boyutları (m)			**Cami Yönündeki Kolonlarda Kullanılan Şarj Miktarı (kg)**	**Serbest Yöndeki Kolonlarda Kullanılan Şarj Miktarı (kg)**
Yükseklik	**Kenar**	**Kenar**		
3	1,2	0,3	0,5	0,75
3	1	0,3	0,375	0,625
3	0,8	0,3	0,25	0,5
3	1	0,65	0,9	
3	5,2	0,3	2	



Şekil 3. (a) 120x30 cm'lik kolondaki delik dizaynı, (b) 100x30 cm'lik kolondaki delik dizaynı, (c) 80x30 cm'lik kolondaki delik dizaynı, (d) Perde betondaki delik dizaynı, (e) 100x65 cm'lik kolondaki delik dizaynı, (f) Cami yönündeki 120x30 cm'lik kolondaki delik dizaynı, (g) Cami yönündeki 100x30 cm'lik kolondaki delik dizaynı, (h) Cami yönündeki 80x30 cm'lik kolondaki delik dizaynı

3.2 Ateşleme Tasarımının Belirlenmesi

Kolon başına düşen patlayıcı madde miktarı hesaplandıktan sonra patlatma ile kontrollü yapı yıkımının en önemli aşaması olan ateşleme tasarımı belirlenmiştir.

Literatürde kontrollü yapı yıkımı için genel bir tasarım önerisi yapılmadığı, tasarımın çevresel koşullar, betonarme malzeme özellikleri ve yıkım amacına bağlı olarak değiştiğinden bahsedilmiştir. Bu nedenle ateşleme tasarımı belirlenirken bu üç faktör irdelenmiştir.

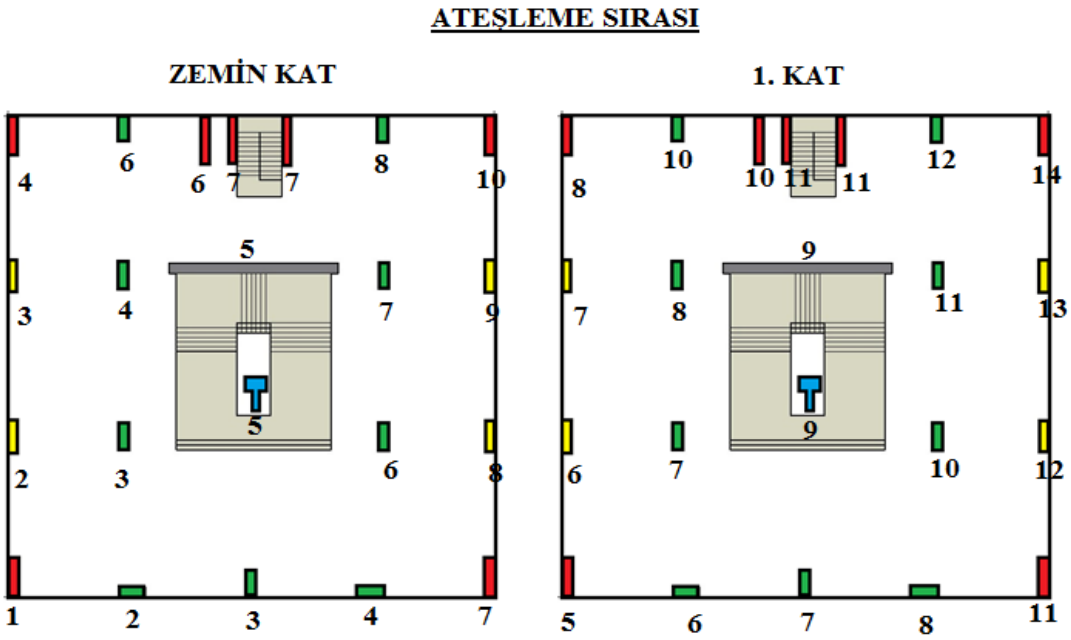
Ülkemizde daha önce, patlatma ile kontrollü yapı yıkımı uygulamasının olmaması belirlenmiş gecikme aralığının doğruluğu hakkında fikir sahibi olunmasına engeldir. Bu nedenle, betonarme malzeme özelliklerinin oldukça düşük olması ateşleme anında binanın kendini bırakmasına neden olacağı düşünülmüştür. Bu durum yıkımın kontrollü bir şekilde gerçekleşmesine engeldir. Kat sayısının az olması ise, yapı elemanlarına etkiyen basınç ve moment yükünün düşük olması anlamına gelmektedir. Bu iki duruma dikkat edildiğinde, gecikme aralığının kısa (≤25 ms) veya uzun (≥100 ms) olmaması gerektiği düşünülmüştür. Tedarikçide bu kritere uygun sadece 65 ms gecikmeli elektriksiz kapsül olduğundan, gecikme aralığı 65 ms olarak belirlenmiştir.

Çevresel koşullar dikkate alındığında ise tek risk unsuru, sağlık ocağına 8 m mesafede bulunan Fatih Sultan Mehmet Camii'dir. Caminin hala aktif olarak kullanılması ve çok yakın mesafede bulunması çok fazla risk taşımaktadır. Bu riski minimize etmek için sağlık ocağını kendi içine camiye zıt yönde bir eğimle çökertmek amaçlanmıştır. Yıkım eğim yönü Şekil 4'te gösterilmiştir.

Şekil 4 Yıkım Eğim Yönü

Ateşleme tasarımının belirlenmesinde bir diğer faktör yıkım amacıdır. Kapıkule Sağlık Ocağı'nın patlatma ile yıkılmasının sebebi Edirne İl Özel İdaresi'nde bulunan makine ve ekipmanların, binanın makine ile yıkımına uygun olmamasıdır. Edirne İl Özel İdaresi'nde bom yüksekliği 9.5 m, bina yüksekliği ise 12,6 m olması patlatmalı yıkımın tercih edilmesini sağlamıştır. Ancak, binanın tümünün parçalanarak yıkılması, 8 m mesafede bulunan cami için çok büyük risk taşımaktadır. Bu nedenle, patlatmalı yıkım sonucunun makineli yıkıma imkan sağlayacak boyutta olmasına karar kılınmıştır. Dolayısıyla bina yüksekliğini yarıya indirmek için sadece iki kata patlayıcı yerleştirilmiştir.

Tüm faktörler değerlendirilerek uygun ateşleme tasarımı belirlenmiştir. Kolonların ateşleme sırası ve ateşleme anı Şekil 5'te gösterilmiştir.



ATEŞLEME ANI

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
65 ms	130 ms	195 ms	260 ms	325 ms	390 ms	455 ms	520 ms	585 ms	650 ms	715 ms	780 ms	845 ms	910 ms

Şekil 5 Sağlık Ocağı'nın Yıkım Tasarımı

Şekil 5'te görüldüğü üzere zemin katta ateşleme 65-650 ms arasında, 1.katta ise 325-910 ms arasında gerçekleşmektedir. Toplam ateşleme süresi 910 ms'dir. Zemin katta bulunan perde beton ateşlendiğinde ateşleme 1.katta başlamaktadır.

3.3. Hazırlık Çalışmaları

Yıkım öncesi binanın zemin katında bulunan kolonların etrafında bulunan duvarlar yıkılarak kolonlar delik delmeye ve mevcut yıkım tasarımını uygulanabilir hale getirmiştir. Ayrıca, duvarların ortadan kalkması savrulan parça miktarınıda azaltmaktadır.

Serbest kalan kolonlar tasarımda belirtilen şekilde delinmiş ve şarjlanmıştır. Donma süresinin kısa olmasından ötürü sıkılama malzemesi olarak alçı kullanılmıştır. Delik delme, sıkılama ve şarj yapma esnasında çekilmiş fotoğraflar Şekil 6'da gösterilmiştir.

Şekil 6. Delik Delme ve Deliklerin Doldurulması Sırasında Çekilmiş Fotoğraflar

Yıkım tamamlandığında, 8 metre yakında bulunan caminin hasar durumu çok önemlidir. Yıkım tasarımı bu durum göz önüne alınarak yapılmasına karşın patlatma sonucu meydana gelecek olan parça savrulması cami için çok büyük risk taşımaktadır. Bu nedenle patlayıcı yerleştirilen tüm kolonlar önce 1mm. Kalınlığında membran, membranın da üstüne çelik tel ile sarılmıştır (Şekil 7). Cami tarafına savrulan parçaları minimize etmek adına binanın cami yönündeki kenarları boydan boya 2 mm. kalınlığında mıcır brandası ile kaplanmıştır (Şekil 8).

Şekil 7. Kolonlarda Alınan Güvenlik Önlemleri

Şekil 8. Cami Yönünde Alınan Güvenlik Önlemleri

4. YIKIM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yıkım, tasarım aşamasında planlandığı gibi gerçekleşmiştir. Tasarım aşamasında istenilen sonuçları;

- Sağlık ocağına 8 m mesafede bulunan caminin hasar görmemesi,
- Binanın makineli yıkım için elverişli hale gelmesidir.

Yıkım anının görüntüleri Şekil 9 ve 10'da gösterilmiştir.

Şekil 9. Yıkım Anı

Şekil 10. Yıkım Anı

Yıkım anında bina, istenilen yönde 10-15º'lik eğimle yıkılmıştır. Bu sonuç, belirlenen ateşleme sırasının doğru olduğunu göstermektedir.

Binanın patlayıcı yerleştirilmeyen kolonlarında her hangi bir deformasyon olmamıştır. Ancak patlayıcı yerleştirilen kolonların taşıyıcı özellikleri ortadan kalkmıştır. Bu da, kolonlarda belirlenen delik dizaynı ile şarj miktarının doğru olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, bina yüksekliği yaklaşık 6 m azalmıştır. Binanın yıkım sonu çekilmiş fotoğrafı Şekil 11'de gösterilmiştir.

Şekil 11. Yıkım Tamamlandığında Binanın Durumu

Yıkım sonrasında en çok merak edilen husus caminin durumu olmuştur. Belirlenen yıkım tasarımının amacının parçalamaya yönelik değil, makineli yıkıma elverişli hale getirmek olmasının ve ciddi güvenlik önlemlerinin alınmasının sebebi caminin hasar görmesinin

istenmemesidir. Yıkım sonu, cami incelendiğinde bir camın dahi kırılmadığı görülmüştür. Bu da alınan güvenlik önlemlerinin görevini başarılı ile yaptığını göstermektedir. Yıkım sonrası mevcut iş makinası bir günlük mesai de kalan iki katı da başarılı bir şekilde yıkmıştır. Fatih Sultan Mehmet Camii'nin fotoğrafı Şekil 11'de gösterilmiştir.

Parça savrulması yapı yıkımının kaçınılmaz bir sonucudur. Bu sorun, sağlık ocağına 8 m mesafede bulunan Fatih Sultan Mehmet Camii için çok fazla risk taşımaktadır. Bu nedenle hem yapı elemanlarında, hem de binanın cami yönündeki çevresinde güvenlik önlemleri alınmıştır.Yıkım tamamlandığında camide herhangi bir hasar oluşmaması, risklerin çok iyi değerlendirilip gerekli önlemlerinin alınmasının bir sonucudur.

Yıkım sonrası bina gözlemlendiğinde, döşemeler üst üstte binmiş ve patlayıcı yerleştirilmeyen yapı elemanlarının yeterli hasarı almadığı görülmüştür. Bunun sebebinin uygulanan yıkım tasarımıdır. Çünkü binayı molozlara ayırmak için uygulanması gerekli yıkım tasarımı sonucunda yüksek miktarda parça savrulması, yer sarsıntısı ve gürültü açığa çıkacaktır. Sağlık ocağına 8 m mesafede bulunan caminin günümüzde hala aktif olarak kullanılması nedeniyle iş sağlığı ve işçi güvenliği prensipleri gereğince yıkım amacı binayı makineli yıkıma uygun hale getirmek olmuştur.

Patlayıcı yerleştirilen yapı elemanlarının taşıyıcı özelliklerini kaybetmesi, belirlenen şarj miktarının doğru olduğunu göstermektedir.

Patlatma ile kontrollü yapı yıkımının, yerleşim yerlerindeki binaların yıkımında büyük risk taşıdığına dair kamuoyunda bir önyargı söz konusudur. Bu çalışmada yıkılan binanın 8 m yakınında bulunan camiye hiçbir zarar gelmemesi, bu ön yargının önüne geçmektedir.

Sağlık ocağının kontrollü patlatma ile yıkımı performans açısından düşük olmasına karşın, iş güvenliği ve işçi sağlığı ile yıkım amacına kusursuz hizmet etmiştir.

Türkiye' de ilk defa resmi olarak uygulanan bu yöntemdeki çalışmalar ışığında daha sonra gerçekleştirilen Kapıkule Lojmanlarının yıkımına yardımcı olmuş ve şu an da da ülkemizde yüksek katlı binaların yıkımı, köprülerin yıkımı gibi yıkımların başarılı bir şekilde yapılmasına öncülük etmiştir.

Ancak ülkemizde patlatma ile yıkım konusunda malesef halen bir yönetmelik bulunmamaktadır. Gerekli yasal düzenlemelerin en kısa sürede tamamlanması gerekmektedir, aksi takdirde konusunda uzman olmayan kişilerce yapılan tasarım ve yıkımlar Patlayıcı Mühendisliğinin gelişmesini engelleyecek ve hatta sonlandıracaktır. Bu bilim dalında yeni gelişen bir ülke olarak kamuoyunun hassasiyeti göz önüne alınmalıdır.

KAYNAKLAR

Edirne İl Özel İdaresi Dokümanları, Edirne.

Thomas, K., 1985, Formeln zur landemengenberechnung für das sprengen von bauwerken und bauvverkteilen, Nobel Hefte.

Kayaçların Mekanik Özellikleri ile Matkap Ömrü Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Investigation of Relationships between Mechanical Properties of Rocks and Drill Bit Lifetimes

M. Çapik, A.O, Yılmaz,
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

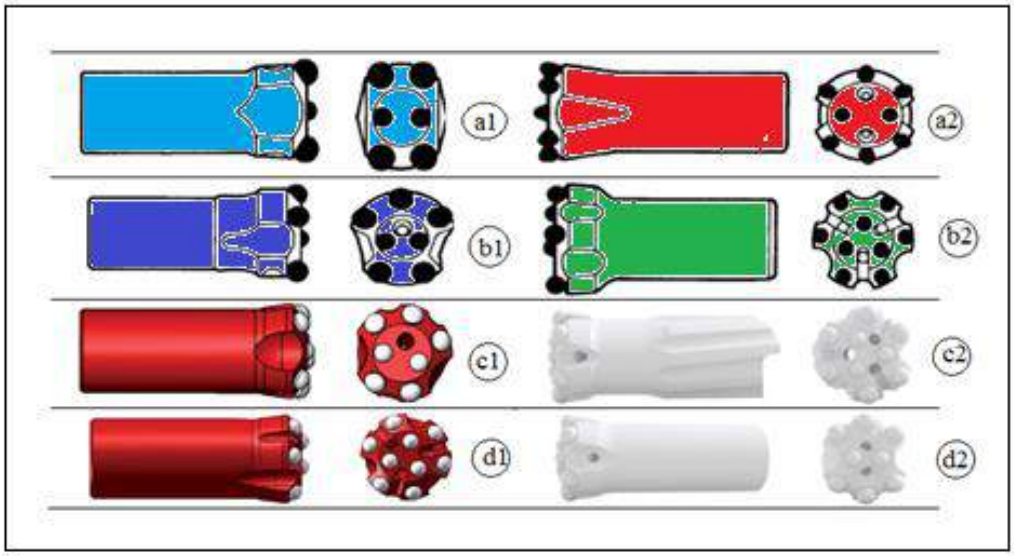
ÖZET Çalışma Hopa-Borçka (Artvin) Cankurtaran ve Salmankaş (Bayburt) Tünellerinden arazi ve laboratuvar çalışması olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmalarından, Atlas Copco Rocket-Boomer-282, Sandvik DD320 ve Tamrock AXERA6 Jumbo makinaları üzerinde farklı kazı aynalarında matkap ömürleri hesaplanmıştır. Laboratuvar çalışmaları için Cankurtaranda ve Salmankaş Tünelinde farklı kazı aynalarında numuneler alınmıştır. Laboratuvar çalışmaları için tünellerde alınan bloklardan uygun boyutlarda ve miktarda deney örnekleri hazırlanmıştır. Kayaçların mekanik özelliğini belirlemek için tek eksenli basınç dayanımı, Brazilian çekme dayanımı ve nokta yük dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler ile kayaçların mekanik özellikleri ve matkap ömrü arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Sonuç olarak matkap ömrü ile kayacın mekanik özellikleri arasında azalan üstel ilişkiler elde edilmiştir. Dayanımı yüksek olan andezit, bazalt, dolerit, ince taneli kumtaşı ve kireçtaşı gibi kayaçlarda matkap ömürlerinin düşük, fakat marn gibi yumuşak formasyonlarda matkap ömürlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

ABSTRACT This study was carried out in Hopa-Borçka (Artvin) Cankurtaran and Salmankas (Bayburt) Highway Tunnel and was carried out in two stages including in-situ and laboratory studies. In the field studies, to determine the drill bit life, measurements were realized on Atlas Copco ROCKET-BOOMER 282, Sandvik DD320 and Tamrock AXERA6 Jumbo machines from different excavation faces with drill bits. In the laboratory studies, samples were obtained from the Cankurtaran tunnels and Salmankas tunnels at the different excavations face. The test samples were prepared at the appropriate size and quantity. Uniaxial compressive strength tests Brazilian tensile strength and point load strength were performed to determine mechanical properties of rock. This paper examines the relationships between drill bit lifetimes with mechanical properties of rocks. The correlations among drill bit lifetimes and mechanical properties of rocks were statistically investigated. As a result, decreasing exponential relationships were found among drill bit lifetimes and uniaxial compressive strength, point load strength, Brazilian tensile strength. It was showed that high strength rocks such as andesite, basalts, dolerite, fine-grained sandstone and limestone rocks have low value bit lifetime, but soft strength rock such as marl have high bit lifetime

1.GİRİŞ

Delinebilirlik matkabının kayaç içinde ilerleme yapabilme oranı olarak tanımlamaktadır (Tamrock 1987). Bir başka ifadeyle delinebilirlik, delici makinaların tabancalarına darbe ve baskı kuvveti vererek belli bir hızda, kayacın jeolojik ve mekanik özelliğine, operatör tecrübesine ve işletme koşulları gibi pek çok değişken parametrelere bağlı olarak matkabın kayaç içinde ilerleme yapabilmesi olarak tanımlanabilir (Çapik vd., 2013a). Kayaçların delinebilirlik özellikleri üzerine farklı metotlar uygulanmakta olup bunların çoğu ampirik yaklaşımlara dayanmaktadır (Kahraman, 1999). Bu metotlar kayacın mineral bileşimi, kaya dokusu, tane şekli ve tane boyutu, porozite, yoğunluk, aşındırıcılık, sertlik, basma dayanımı, çekme dayanımı ve kaya kütlesinin yapısal parametrelerinde (eklemler, çatlaklar ve kırıklar) gibi birçok kayaç özelliği ile ilişkilidir (Ersoy ve Waller 1995; Osanloo, 1998; Rao ve Misra,1998; Hoseinie vd., 2008).

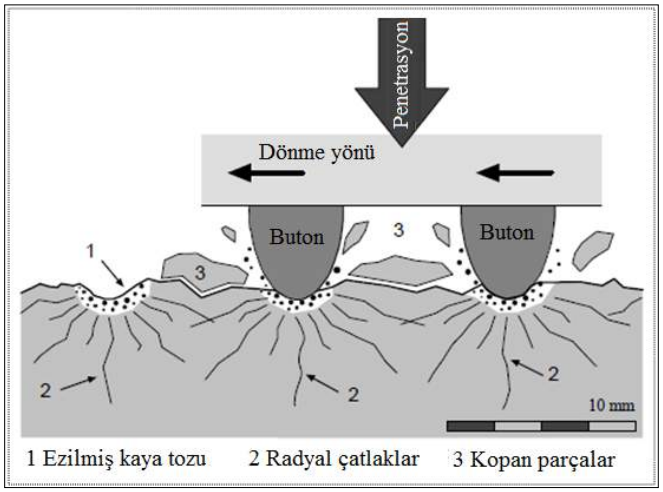
Delinebilirlik prensiplerine göre delme işleminde kullanılacak matkabın özellikleri, uygulanacağı kayacın özelliklerine uygun olmalıdır. Çünkü delme makinasının performansı matkabın tipi, dizaynı ve yapıldığı malzemenin kalitesine (kobalt bağlayıcı ile tungsten karbür, Mohs sertliği) göre değişmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Delme işleminde kullanılan matkapların farklı şekillerde dizaynı (Thuro, 1997'den değiştirilmiş).

Şekil 1'de görüldüğü gibi matkapların üzerinde farklı sayılarda ve büyüklükte buton uçları ve su püskürtme delikleri görülmektedir. Şekil incelendiğinde a_1; ortada iki buton, çevrede dört buton bulunmaktadır. a_2; ortada iki buton ucu, iki de su püskürtme deliği, çevrede ise altı buton bulunmaktadır. Bu farklılıklar diğer matkaplarda da vardır b, c ve d matkaplarına baktığımızda hem merkezde hem de çevredeki buton ve su püskürtme delikleri birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Ayrıca matkapların kafa ve gövde dizaynlarının da birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Matkaplarda bulunan bu farklılıklar kullanılacağı kayaç formasyonuna göre tercih edilmektedir.

Delici makinalarda delme işlemi ve buton ucunun altındaki kaya parçalanma süreci Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Delici makinalarında delme mekanizasyonu ve kaya parçalanma süreci (Plinninger vd., 2002).

Delici makinalarda delme işlemi ve kaya parçalanma sürecinde meydana gelen işlemler sırasıyla aşağıda verilmiştir.

(1) Ezilmiş kayaç tozunun; dönen matkapla birlikte butonlar darbe ve baskı altında kaya kütlesi içine nüfuz edilir. Bu işlem sırasında yüksek lokal gerilimlere sebep olur. Yüksek gerilmeler buton uçların altında ezilmiş bölgelerin oluşmasına neden olur.

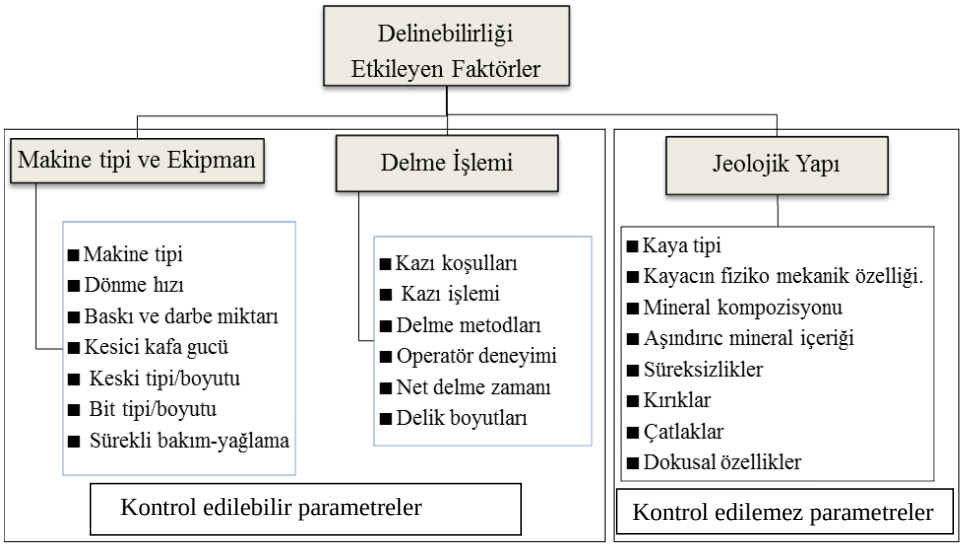
(2) Radyal çatlaklar; ilk çatlaklar ezilmiş bölgelerin kenarında oluşmaya başlar ve oluşan çatlaklar yavaşça kayanın içine doğru ilerlemeye devam ederler.

(3) Parçanın kopması; bu aşamada ise kayaç üzerinde darbe ve baskının etkisiyle gerilmeler artar ve kaya dayanım gücünü kaybetmektedir**.** Kayaçtaki gerilmeler yeterince yüksek olduğu zaman, kesme gerilmesinin etkisiyle buton kanalları arasındaki kaya parçaları kopmaya başlamaktadır. Kopan parçalar suyun yardımıyla matkabın çevresinden dışarı doğru atılmaktadır.

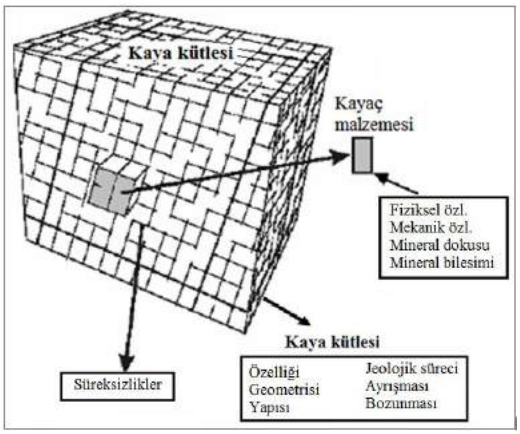
Delme mekanizmasında butonlar delme işlemi boyunca her zaman çatlamış kayaç üzerinde delme işlemini gerçekleştirmektedir. Çünkü matkap ilerledikçe kayaçta sürekli radyal çatlaklar oluşur ve oluşan bu çatlaklar üzerinde delme işlemi gerçekleşir**.**

1.2. Delinebilirliği Etkileyen Faktörler

Delinebilirliği etkileyen pek çok faktör olmasına rağmen temel de üç faktör vardır. Bunlar; makine tipi ve ekipman, delme işlemi ve jeolojik formasyona bağlı faktörlerdir (Şekil 3). Makine tipi ve ekipman ve delme işlemi kontrol edilebilir parametreler iken, jeolojik özelliklere bağlı parametreler arazi yapısıyla ilgili olduğundan ve değiştirmesi zor olduğundan kontrol edilemeyen parametreler olarak tanımlanmaktadır (Kahraman, 2002). Makine tipi ve ekipmana bağlı parametreler; delmede kullanılacak makinenin düzenli bakımı makine performansı için çok önemlidir. Delme koşullarına bağlı faktörler; burada önemli olan başlıca parametreler kazı koşulları, delme dizaynı ve operatör tecrübesidir. Jeolojik yapıya bağlı faktörler; bunlar özellikle delici makinanın performansını ve uç aşınmasını çok etkilemektedir. Jeolojik yapıya bağlı başlıca parametreler olarak kaya kütlesinin ve kaya malzemesinin fiziko-mekanik ve yapısal özellikleri, aşındırıcı mineral içeriği, mineral bileşimi ve süreksizlikler gibi parametreler gelmektedir. Kayacın süreksizlik yapısı, jeolojik sürece, hidrotermal ayrışması - bozunması ise kaya kütlesine bağlı parametrelerdir (Şekil 4).



Şekil 3. Delinebilirliği etkileyen faktörler (Thuro ve Spaun 1996; Thuro, 1997; Kahraman 1999; Thuro vd., 2002).



Sekil 4. Kaya kütlesinin dayanımına etki eden faktörler (Palmström, 1995).

Delinebilirlik direkt kaya yapısıyla ilişkilidir. Eklemli kaya yapılarında delik delmek, sağlam yapılara oranla daha zordur. Aşırı eklemli, süreksizlik aralıkları açık kayaçlarda delik delme beraberinde birçok sorunu da getirir. Örneğim delme işlemi sırasında delici ucun sıkışması ve kilitlenmesi gibi görülen sorunlar delme performansını düşürmektedir. Süreksizlik açıklıklarının dolgulu olması delinebilirlik üzerinde çok fazla olumsuz etki meydana getirmez. Ancak açık olması durumunda delici uçların eksenden sapmasına, basınçlı hava ve suyun bu açıklıklara kaçmasına ve delici uçların kilitlenmesine neden olmaktadır (Hoseinie vd, 2008).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.2. Çalışma Alanları

Çalışma Cankurtaran ve Salmankaş Karayolu Tünellerinde gerçekleştirilmiştir. Cankurtaran Tüneli Hopa-Borçka (Artvin) karayolu 7+980-13+208 km'leri arasında çift tüp olarak inşa edilmektedir. Yapımı tamamlamasıyla birlikte 5.288,00m uzunluğu ile Türkiye'nin en uzun karayolu tünellerinde biri olma özelliğini taşıyacaktır. Salmankaş Tüneli ise Trabzon ili Araklı ilçesi Dağbaşı- Uğrak yolu üzerinde, Araklı ile Bayburt arasında inşa edilmektedir. Salmankaş Tüneli karayolunun 36+121.97-40+151.67 km'leri arasında 4.030,00 metre uzunluğunda çift

tüp olarak inşa edilmektedir. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerine ait yer buldurur haritası Şekil 5'de, tünellerin sağ ve sol tüplerine ait görünümleri Şekil 6.'da gösterilmiştir.

Şekil 5. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerine ait yer buldurur haritası

Şekil 6. Cankurtaran ve Salmankaş tünellerine ait portal görünümü

2.3. Matkap Ömürleri

Matkap ömrü; matkap üzerinde bulunan butonların zamanla aşınmaları veya uzaklaşmaları olarak açıklanır. Bu terim bir matkabın gerçekleştirdiği delme miktarı (m / matkap), başka bir deyişle "matkap ömrü" olarak ifade edilir (Plinninger vd., 2002; Plinninger, 2008; Çapik vd., 2013b, 2015).

Tünel hattı boyunca delgi işlemini gerçekleştirmek için kullanılan çift boomlu Atlas Copco Rocket-Boomer-282, Sandvik DD320 ve Tamrock AXERA 6 Jumbo makinalar üzerinde matkap ömrü ölçümleri alınmıştır (Şekil 7). Ölçümlerde buton uçlu (45 mm çapındaki) matkaplar kullanılmış ve ölçümler sadece tünel aynalarından alınmıştır (Çapik vd., 2013c).

a) Sandvik DD320 b) Tamrock AXERA 6 c) Atlas Copco Rocket-Boomer-282

Şekil 7. Cankurtaran tünelinde kullanılan delici Jumbo makinaları

Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinden delgi işlemini gerçekleştirmek için kullanılan matkapların aşınma ömürleri aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmıştır (Thuro, 1997).

Matkap ömrü;

$$n = l_t / b_t \text{ (m/matkap)} \quad (1)$$

Burada,

n : Matkap ömrü (matkabın deldiği toplam delik uzunluğu), m/matkap

l_t : Delinen toplam delik uzunluğu, m

b_t : Toplam delik delme işleminde kullanılan matkap sayısı, adettir.

Cankurtaran ve Salmankaş Tünellerinde kullanılan matkap ömrü ve matkap aşınma hızı sınıflaması Thuro (1996) tarafında Ø 43 - 48 mm matkap çapları için geliştirildiği matkap aşınım oranı ve matkap ömürleri sınıflandırılması göre yapılmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Matkap aşınım oranları ve matkap ömürleri sınıflandırılması (Thuro, 1996).

Aşınma hızı sınıflaması	**Matkabın delme miktarı (m/matkap)**	**Matkap ömrü sınıflaması**
Çok düşük	>2000	Çok yüksek
Düşük	1500-2000	Yüksek
Orta	1000-1500	Orta
Yüksek	500-1000	Düşük
Çok yüksek	200-500	Çok düşük
Oldukça çok yüksek	<200	Oldukça çok düşük

2.4. Mekanik Özellikler

Laboratuvarda kayaçların mekanik özelliklerini incelemek için tünellerden alınan bloklardan NX boyutunda (54,75 mm çapında) karotlar alınmıştır. Hazırlanan karot örnekleri üzerinde kayaçların mekanik özelliklerinden tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı ve nokta yük dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi için boy/çap oranı 2.0 - 2.5 olacak şekilde örnekler hazırlanmıştır. Yükleme hızı 1,3 kN/s alınmış ve deney için her bir kayaç örneğinden en az 5

adet numune hazırlanmıştır (ISRM 1981, ASTM 2010). Dolaylı çekme dayanımı için, silindir şeklinde boy/çap oranı 0,5 ve 54,75 mm çapında olan kayaç örneklerinin her biri için 10 adet numune hazırlanmıştır. Dolaylı çekme için yükleme hızı 0,2 kN/s alınmıştır. Nokta yük dayanım deneyi ($I_{S(50)}$) ISRM (1985)'e göre yapılmıştır. Deney için boy/ çap oranı 0,3-1 arasında olacak şekilde yaklaşık 10'ar adet örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Laboratuvarda yapılan çalışmalarda kayaçların mekanik özellikleri incelenmiş ve yerinde yapılan çalışmalarda ise Jumbo makinalarının delme işlemini gerçekleştirmek içim kullandıkları matkap ömürleri hesaplanmıştır. Elde edilen verilen ışığında matkap ömürleri ve kayaçların mekanik özellikler arasında basit regresyon analizleri kurarak istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu ilişkileri sırasıyla Şekil 8-10'da gösterilmiştir. Elde edilen eşitlikler 2-4'de verilmiştir.

$$BI=1750,4e^{-0,01\sigma c} \qquad R^2= 0,73 \qquad (2)$$

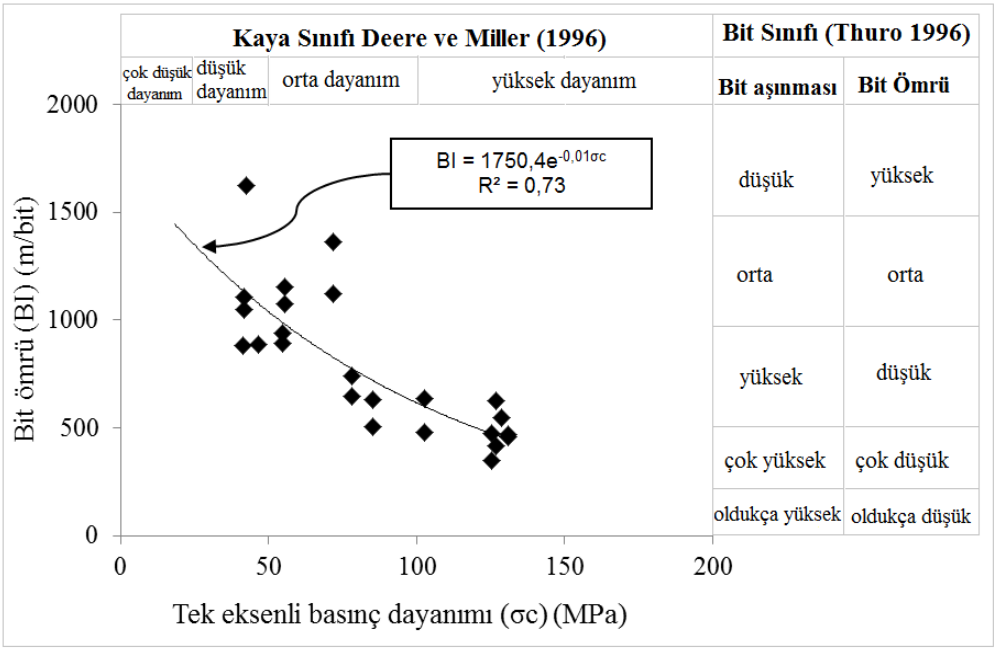
$$BI=1570,3e^{-0,136I_{S50}} \qquad R^2 =0,63 \qquad (3)$$

$$BI=1824,3e^{-0,084\sigma t} \qquad R^2 =0,65 \qquad (4)$$

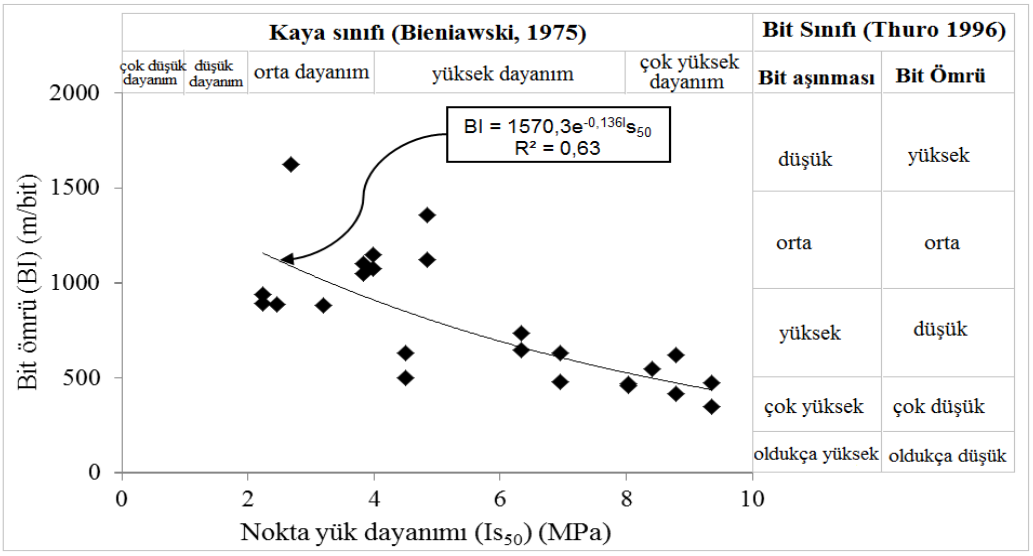
Burada, BI matkap ömrü (m/matkap), σ_c tek eksenli basınç dayanım (MPa), $Is_{(50)}$ nokta yük dayanımı (MPa), ve σ_t ise Brazilian çekme dayanımı (MPa) olarak verilmiştir.

Tünellerde kullanılan matkap ömürleri ve tek eksenli basınç dayanım ilişkisi Şekil 8'de verilmiştir. Matkap ömürleri ile tek eksenli basınç dayanımı arasında R^2 =0,73 üzerinde üstel bir ilişki elde edilmiştir. Matkap ömrü ile nokta yük dayanımı ve Brazilian çekme dayanımı ile arasında sırasıyla R^2 = 0,63 ve R^2 = 0,62 üzeri anlamlı ilişkiler elde edilmiştir. İlişki grafikleri Şekil 9 - 10'da verilmiştir. Kayaç dayanımı matkap ömrü üzerinde önemli bir parametreye sahiptir. Şekillerdeki grafikleri incelediğimizde kayaçların dayanımın artmasıyla matkap ömrünün düştüğü görülmüştür. Deere ve Miller (1996) Bieniawski (1975) kaya sınıfına göre dayanımı yüksek ve çok yüksek olan (andezit, bazalt, dolerit, ince taneli kumtaşı ve kireçtaşı) kayaçların Thoru (1996) matkap sınıflandırılmasına göre değerlendirildiğinde, matkap ömürlerinin düşük ve çok düşük olduğu matkap aşınmasının ise yüksek ve çok yüksek olduğu görülmüştür. Marn gibi düşük dayanım sahip kayaçların Thoru (1996) matkap sınıflandırılmasına göre matkap ömürlerinin yüksek, matkap aşınmasının düşük olduğu görülmektedir.

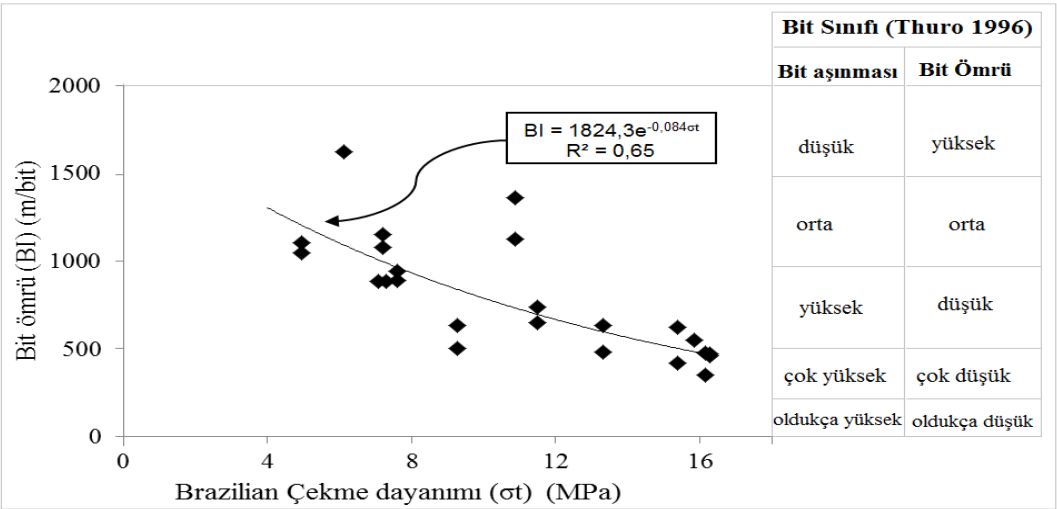
Ölçülen matkaplarda en yüksek matkap ömrü marn formasyonunda elde edilmiştir. Bu formasyon da bir matkapla 1623 (m/matkap) delgi işlemi Cankurtaran tünelinde gerçekleştirilmiştir. Bu matkap, Thuro (1996) matkap sınıflamasına göre, matkap aşınma hızı düşük, matkap ömrü ise yüksektir. Tünellerde ölçülen matkap ömürlerinde matkap ömrünün düşük ve çok düşük olduğu, matkap aşınma hızı ise yüksek ve çok yüksek olduğu birimler andezit, bazalt, dolerit, ince taneli kumtaşı ve kireçtaşı formasyonlarda elde edilmiştir (Çapik vd., 2015). Matkap kayaç içinde ilerleme yaparken kayacın jeolojik (dayanım ve aşındırıcı) özelliklerinden dolayı daha erken aşınımı uğramaktadır.



Şekil 8. Tek eksenli basınç dayanımı ile matkap ömürleri ilişkisi



Şekil 9. Nokta yük dayanımı ile matkap ömürleri ilişkisi



Şekil 10. Brazilian çekme dayanımı ile matkap ömürleri ilişkisi

6. SONUÇLAR

Çalışma Cankurtaran ve Salmankaş tünellerinde gerçekleştirilmiştir. Arazi ve laboratuvar çalışması olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Matkap ömürleri ile tek eksenli basınç dayanımı arasında R^2 =0,73 gibi üstel bir ilişki elde edilmiştir. Diğer mekanik özelliklerinden nokta yük dayanımı ve Brazilian çekme dayanımı ile matkap ömrü arasında sırasıyla R^2 = 0,63 ve R^2 = 0,62 üzeri anlamlı ilişki elde edilmiştir.
- Kayaç dayanımının matkap ömrü üzerinde önemli bir parametre olduğu görülmüştür. Dayanımı yüksek olan andezit, bazalt, dolerit, ince taneli kumtaşı ve kireçtaşlarında alınan ölçümlerden matkap ömürlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Ancak marn gibi düşük dayanıma sahip kayaçlarda ise matkap ömürlerinin yüksek olduğu görülmüştür.
- Dayanımın yanında matkap aşınmasını ve matkap ömrünü etkileyen diğer önemli parametreler olarak kayaçtaki kuvars miktarı, kuvarsın ortalama tane boyutu ve diğer aşındırıcı minerallerin miktarıdır.
- Matkap aşınması ve matkap ömrünü etkileyen en önemli özellik kayacın jeolojik özelliğidir. Ayrıca, matkap ömrü delmede kullanılan matkapların tipi, dizaynı, ve yapıldığı malzemenin kalitesiyle de ilişkilidir.
- Delme işleminde matkap üzerinde normal aşınma, butonların kopması ve kırılması gibi farklı aşınma şekilleri gözlenir. Arzu edilen genel aşınma şekli normal aşınmadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu tarafından desteklenen 8683 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Sağlanan destek için K.T.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Fonuna teşekkürü bir borç biliriz. Arazi çalışmaları sırasında, Cankurtaran Tüneli (NAS-YSE) ve Salmankaş Tüneli (AS-Yol) şirketleri yetkililerine ve tüm çalışma personellerine yaptıkları yardımlardan dolayı teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR

ASTM, 2010. Standard Test Method for Compressive Strength and Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens under Varying States of Stress and Temperatures, American Standarts for Testing and Materials, D7012-10, United States, 9 s.

Bieniawski ZT. 1975. The Point Load Test in Geotechnical Practice. Eng. Geol., Sept., pp. 1-11.

Çapik., M, Yılmaz, A.O., Yaşar S., ve Çavuşoğlu, İ. 2015. Matkap Aşınmaları ve Eşdeğer Kuvars İçeriği, *24rd International Mining Congress & Exhibition of Turkey*, 14-17 April 2015 ANTALYA s.474-481.

Çapik., M, Yılmaz, A.O., Yaşar S., Yaralı, O., Çavuşoğlu, İ. 2013a. Matkap Aşınımı ve Ömrü, *Proceedings of the 3rd International Symposium on Underground Excavation for Transportation,* 29-30 November, 2013, İstanbul. p. 225-232.

Çapik., M, Yılmaz, A.O., Yaşar S., Yaralı, O., Çavuşoğlu, İ. 2013b. Kayaçların Delinebilirlik ve Aşındırıcılık Özelliklerinin Karşılaştırılması, *23rd International Mining Congress & Exhibition of Turkey*, 16-19 April 2013 ANTALYA s.659-669.

Çapik., M, Yılmaz, A.O., Yaşar S., Yaralı, O., Çavuşoğlu, İ. 2013c. Jumbo Delici Makinesinin Çalışma Performansı ve Spesifik Enerji Değerleri, *Proceedings of the 3rd International Symposium on Underground Excavation for Transportation,* 29-30 November, 2013, İstanbul. p 191-200

Deere, D.U. and Miller, R.P., 1966. Engineering classifications and index properties of intact rock. *Technical report no. AFWL-TR 65-116,* University of Illinois: p. 300.

Ersoy, A. and Waller, M.D., 1995. Textural characterization of rocks. *J Eng Geol*, 39, 3–4 123–136.

Hoseinie, S.H., Aghababaei, H. and Pourrahimian Y., 2008. Development of a new classification system for assessing of Rock mass Drillability index (RDi). *Int J Rock Mech Min Sci*, 45 pp. 1–10.

ISRM, 1981. Rock characterization testing and monitoring and suggested methods, suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks, Part 3, p. 101-103.

ISRM, 1985. Suggested Method for Determining Point Load Strength. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. And Geomech.*, 22 2, 51-60.

Kahraman, S., 1999. Rotary and percussive drilling prediction using regression analysis, *Int J Rock Mech Min Sci*, 36, pp. 981–989. (Technical note).

Kahraman, S., 2002. Correlation of TBM and drilling machine performances with rock brittleness, *Engineering Geology*, 65, 269-283

Osanloo, M., 1998.. Drilling methods. Sadra Pub, Tehran

Palmström, A., 1995. RMi (The Rock Mass index) a rock mass characterization system for rock engineering purposes, PhD thesis, University of Oslo, Norway, Department of Geology, p 400.

Plinninger, R.J., 2008. Abrasiveness Assessment for Hard Rock Drilling, *Geomechanik und Tunnelbau 1* Berlin, DOI: 10.1002/geot.200800004, p. 38-46.

Plinninger, R.J., Spaun, G. and Thuro, K., 2002. Prediction and Classification of tool wear in Drill and blast tunneling . In Van.Roy & Jermy (editors), *Proceedings 9th Int. IAEG Congress*, Durban, South Africa 2226-2236.

Rao, K. and Misra, B.,1998. Principles of rock drilling", Rotterdam: Balkema

Tamrock., 1987. Handbook of Underground drilling, Tamrock Drills SF-33310 Tampere, Finland, p327

Thuro, K., 1996. Drillability prediction in hard rock tunnelling. *In: Conference on Prediction in Geology, Vrije Universiteit*, Amsterdam, pp 103-108.

Thuro, K,. Plinninger, R.J. and Spaun, G,. 2002. Drilling, Blasting and Cutting- is it possible to quantify geological parameters relating to excavatability?, Engineering Geology for Developing Countries - *Proceedings of 9th Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment*. Durban, South Africa, 2853-2862.

Thuro, K. and Spaun., G., 1996. Drillability in hard rock drill and blast Tunnelling, *Geomechanics*, .1-11.

Thuro, K., 1997. Drillability prediction- Geological influences in hard rock drill and blast Tunnelling, *Geol Rundsch* 86,426-438.

Güneşevler Sitesi Binalarının Patlayıcı Kullanılarak Yıkımı

Demolition of the Güneşevler Site Buildings by Using Explosives

A. Karadoğan, Ü. Özer, M.C. Özyurt, Ü. Kalaycı
İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul

U. Tutar
Egenitro Patlayıcı Madde Tic. Ltd. Şti, İzmir

B. Demir, F. Toprak
T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

ÖZET Ülkemizde kentsel dönüşüm kapsamında yıkılacak birçok eski veya hasar görmüş yapı olması, araştırmacıları bu konuya yönlendirmiştir. Yurt dışında yıllardır başarılı bir şekilde uygulanan patlayıcı ile kontrollü yapı yıkımı, avantajları hesaba katıldığında dikkate değer bir tekniktir.

Bu çalışmada, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Kentsel Dönüşüm ve Altyapı Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından kentsel dönüşüm çalışmaları kapsamında, Ankara ili Sincan ilçesinde bulunan Güneşevler Sitesi'ne ait 4 adet binanın 17 Ağustos 2013 tarihinde kontrollü patlatma tekniği ile yıkımına karar verilmiştir.

Binaların planı, konumu ve durumu, betonarme malzeme özellikleri ile komşu yapılar dikkate alınarak yıkılma şekilleri ve patlatma tasarımı belirlenmiştir. Model üzerinde patlatma tasarımı uygulanarak bina davranışı ve yıkılma şekli simüle edilmiştir. Bu simülasyondan yola çıkarak binaların planlanan şekilde yıkılacağı ve beklenen ölçüde parçalanmanın oluşacağı öngörülmüştür.

Yıkım tamamlandığında, sonucun planlama aşamasında öngörülen şekilde gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır.

ABSTRACT New techniques are sought in the concept of urban transformation in our country cause there are many of the old or damaged buildings that are needed to be demolished. Considering the advantages, controlled structure destruction by explosives is a remarkable technique that is applied successfully in abroad countries for years.

In this study, the controlled demolition of Gunesevler Buildings by using explosives was done in August 17, 2013 within the scope of urban renewal works by T.C. Environment And Urban Ministry.

Considering the building plan, location, state, material parameters and environmental factors, demolition designs and firing sequences for each buildings were determined. The determined firing sequence was performed on the model. Based on this simulation, the buildings would be demolished as planned and the expected degree of fragmentation would be occurred.

When the demolition is completed, the results were consistent with the expectations.

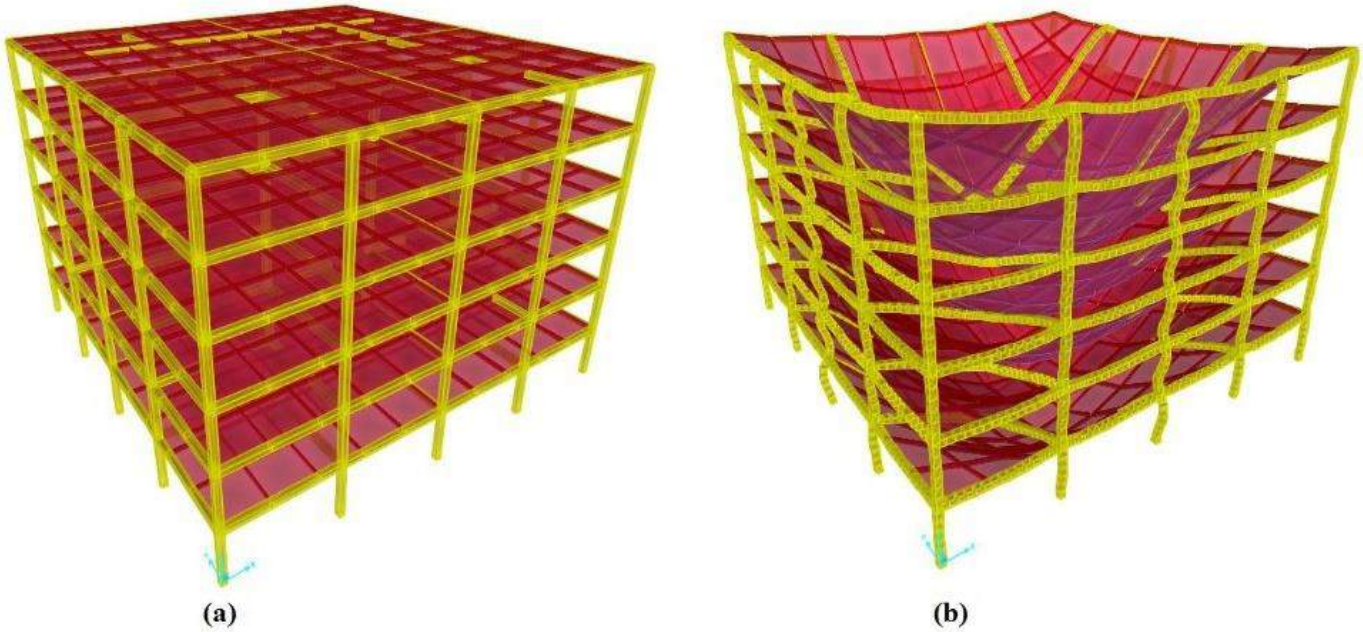
1 GİRİŞ

Ülkemizde, kentsel dönüşüm kapsamında yıkılması söz konusu olan milyonlarca bina bulunmaktadır. Bu binaların Klasik yöntemlerle yıkımının uzun sürede gerçekleşmesi sonucu çevreye verilen rahatsızlık, yüksek maliyet ve emniyetsiz çalışma şartlarını beraberinde getirmektedir. Bu yüzden daha pratik yöntemlerin arayışına gidilmiştir. Bunun sonucunda, ülkemizde henüz uygulanmaya başlayan ve Ekim 2014'te yürürlüğe giren "Yapıların Tam ve Kısmi Yıkımı İçin Uygulama Kuralları" TS13633 standardında belirtilen kontrollü patlatma ile yapı yıkımı gündeme gelmiştir.

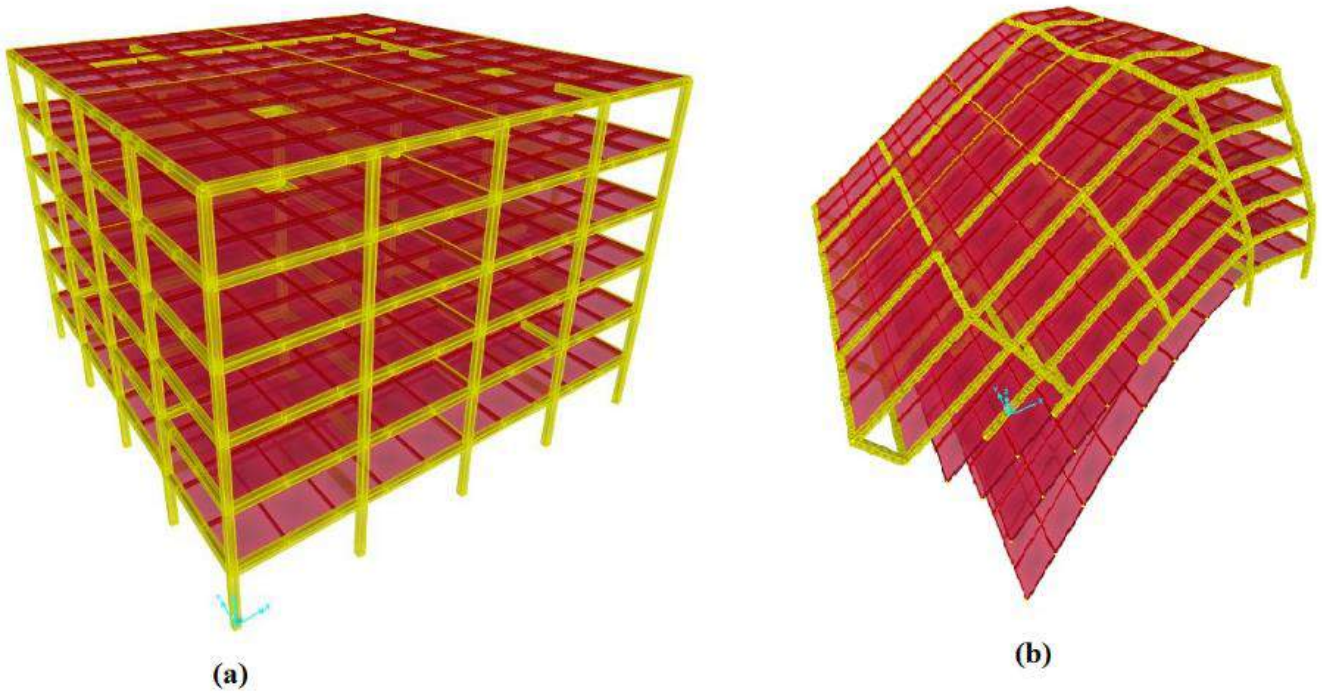
Patlatma ile yıkım metodu, alt katlarda mevcut olan taşıyıcı elemanların patlayıcı kullanılarak parçalanması ile geri kalan taşıyıcı elemanların artan basınç ve/veya moment yükü karşısında yenilmesi sonucu yapının yıkılmaya başlaması prensibine dayanır (Özyurt, 2013).

Binanın kontrollü patlatma ile yıkılmasında, genel bir tasarım önerisi sunulamaz. Çünkü çevresel faktörler (komşu yapılar) ile bina özellikleri (konumu, planı, malzeme özellikleri vs.) her bir bina için farklılık göstermektedir. Bina özellikleri ile çevresel faktörler dikkate alınarak, amaca uygun yıkım tasarımı önerilmelidir (Dowding, 1996; Özyurt, 2013).

Yapıların, patlatma ile kontrollü yıkımı için iki yöntem uygulanmaktadır. İlki; yapının ağırlık merkezinin değiştirilmesi sonucu yana devrilmesidir. İkincisi ise; yapının taşıyıcı elemanlarından bir kısmının taşıyıcı özelliğini yitirmesi ile diğer yapı elemanlarının artan yük karşısında deforme olması sonucu yapının bulunduğu sınırlar içerisinde çökmesidir. Bu iki metodun birlikte kullanıldığı uygulamalar da görülmektedir. Şekil 1 ve 2'de bu iki yöntemin model üzerinde uygulanması ile bina davranış modeli sırasıyla sunulmuştur (Özyurt, 2013).



Şekil 1. Betonarme binanın kendi sınırları içerisine çökertilmesi (Özyurt, 2013)



Şekil 2: Betonarme binanın yana devrilmesi (Özyurt, 2013)

Stevenston (1972), Olofsson (1980), Gustafsson (1981), Jimeno (1995), Dowding (1996), gibi araştırmacılar patlayıcı kullanılarak yapı yıkımına değinmişlerdir. Gustafsson (1981), yapı elemanlarının patlayıcı kullanılarak yıkılmasına dair patlatma tasarımı önerilerinde bulunmuştur. Hauser, Werner ve Thomas ise şarj miktarının belirlenmesi üzerine çalışmalar yapmıştır (Şimşir, Köse, 1996; Koca, 2006; Özer, Karadoğan, 2012).

Yapı yıkımında genel olarak yüksek hassasiyetli dinamitler, T.N.T. v RDX ile PETN içerikli plastik patlayıcılar kullanılmaktadır. Yüksek hassasiyetli dinamitler genellikle beton veya betonarme malzemede kullanılırken, lineer şekilli plastik patlayıcılar çelik malzemelerin yıkımında kullanılırlar. Beton veya betonarme malzemede patlayıcılar yapı elemanında delinen deliklere yerleştirilirken, çelik yapılarda patlayıcı yapı elemanının yüzeyine yerleştirilir (Koca, 2006; Extreme Explosions, 2010).

Sıkılama için kağıt, kum, balçık, toprak ve sıva kullanılabilir. Yüzeysel patlayıcıların sıkılanmasında kum torbaları veya kontrplak ve dayanıklı kumaşlar birlikte kullanılır. Yüzeysel patlatmalarda şarjın nesne ile sıkı temas etmesi, şarjın da üzerinde sıkılama olması patlama etkisini artırır (Oloffson, 1980; Özer, Karadoğan, 2012).

Patlatma kaynaklı çevresel etkiler; parça savrulması, yer sarsıntısı, gürültü ve toz oluşumudur.

Parça savrulmasından oluşabilecek hasarın önüne geçmek adına patlayıcı yerleştirilen yapı elemanları jeotekstil malzeme ve tel örgü ile sarılmalıdır. Bununla birlikte, binanın yıkım esnasında enkaz alanı dışına parça savrulmasına imkan veren açık kısımları da jeotekstil malzeme ve tel örgüler ile çevrelenmelidir.

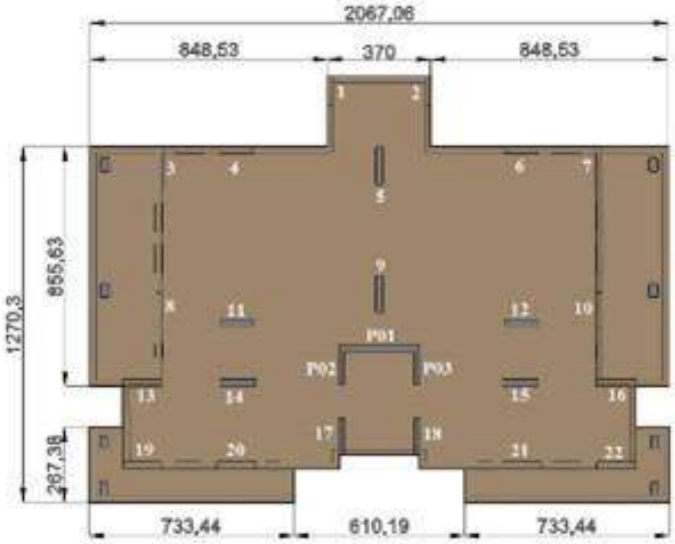
Gürültüden oluşabilecek rahatsızlıkların önüne geçmek için çevre sakinleri ve ilgili personel kişisel koruyucu kulaklık kullanabilir ve gürültü oluşumunu minimize etmek üzere patlayıcı yerleştirilen yapı elemanı cam yünü ile sarılabilir (Özyurt, 2013; Özyurt ve diğ., 2013).

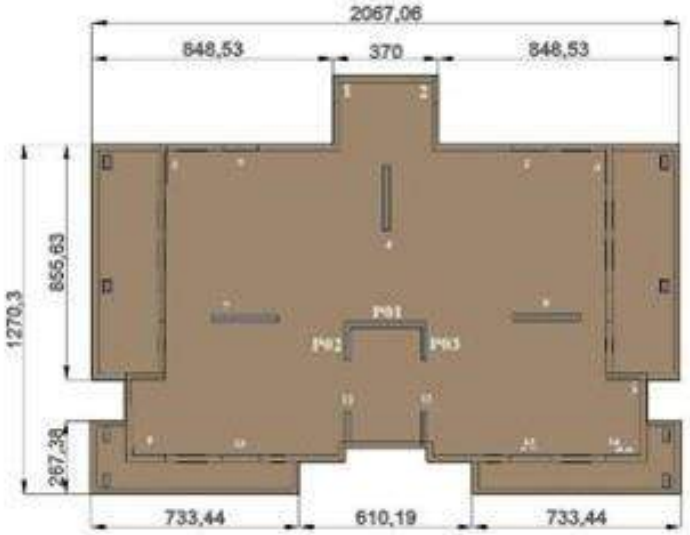
Patlamanın gerçekleşmesi ve yapının yıkılıp yere çarpması sonucu oluşacak yer sarsıntısını azaltmak için darbe emici özellikte olan koruyucu malzemeler veya inşaat molozları yapının devrileceği alana serilebilir (Özyurt, 2013).

Yıkım süresince toz oluşumunun tamamen önüne geçmek oldukça güçtür. Bu hususta, yapı ıslatılabilir veya yıkım anında yapı, su püskürtme makineleri ile sulanabilir (Özyurt, 2013).

2 GÜNEŞEVLER SİTESİ

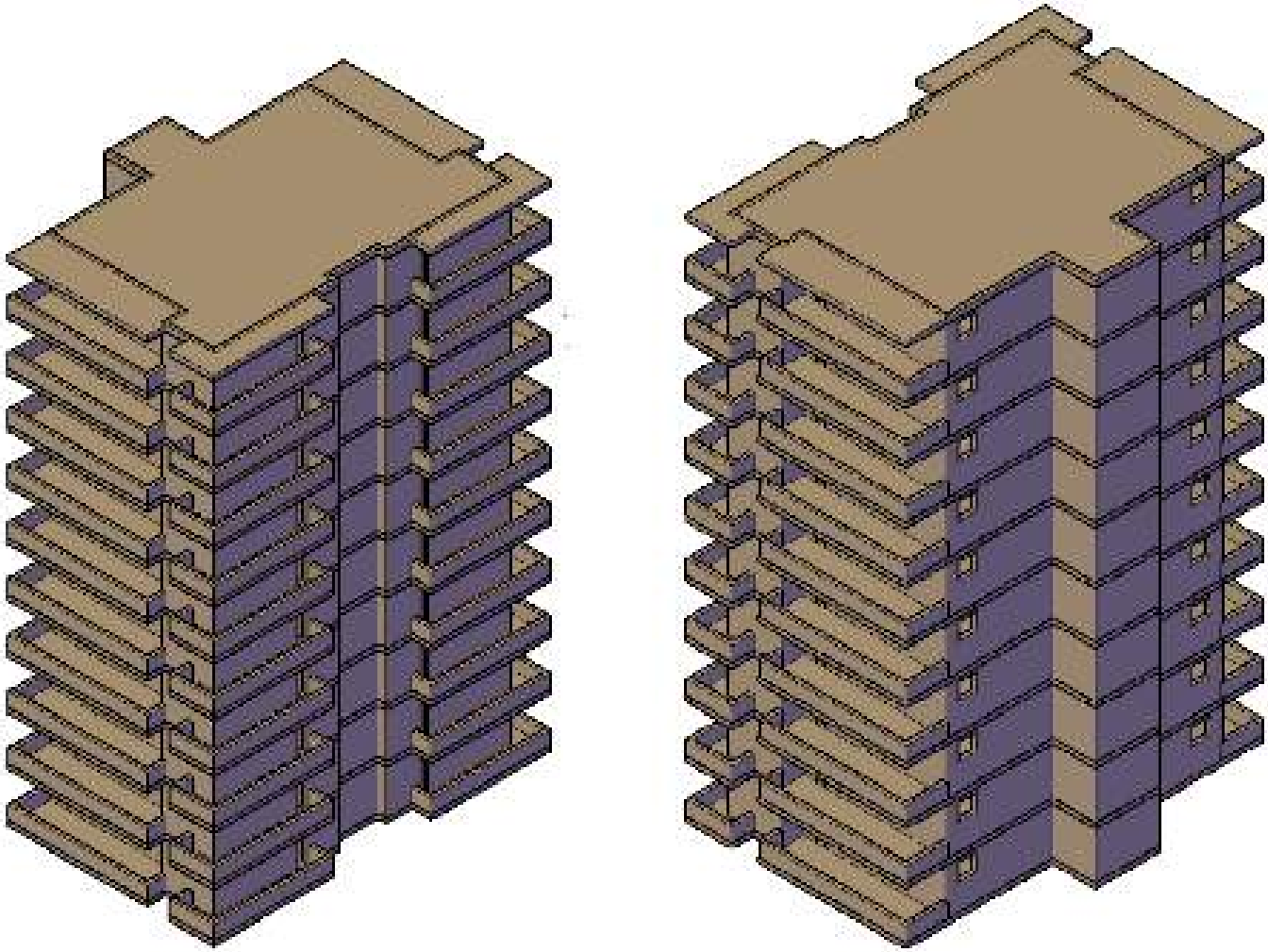
Güneşevler Sitesi, Ankara ili Sincan ilçesindedir. Sitede 12 adet bina mevcuttur. Bütün binalar 10 katlı olup bu binalardan 11 tanesinin planı aynı, 1 tanesinin (4 numaralı bina) hem kolon-kiriş aplikasyonu ve boyutları, hem de yapı malzemesi olarak diğer binalardan farklıdır.





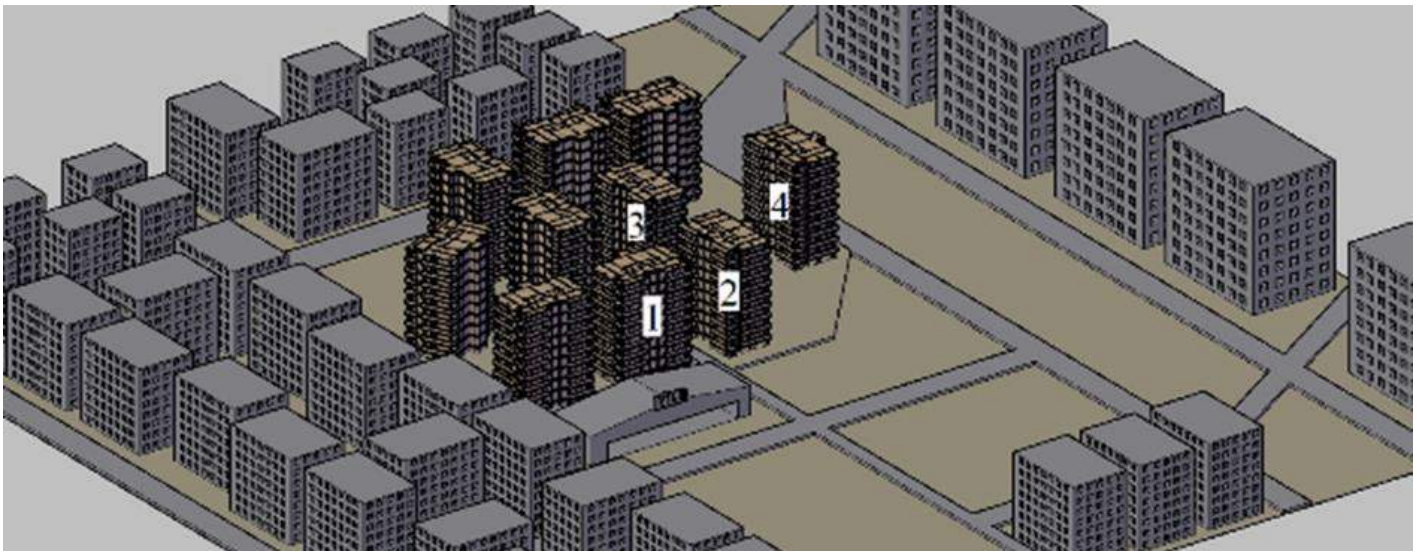
Şekil 3: Güneşevler Sitesi

Şekil 4. 1, 2 ve 3 Numaralı Normal Binaların (Soldaki), 4 Numaralı Binanın (Sağdaki) Planı (cm)



Şekil 5. 1, 2 ve 3 Numaralı Normal Binaların (Soldaki), 4 Numaralı Binanın (Sağdaki) Modeli

Bölgedeki risk noktaları; batı cephesinde 19 m, kuzey cephesinde 63 m ve güney cephesinde ise 18,5 m mesafede bulunan konutlar ile 1 numaralı binanın doğu yönünde 11 m mesafede Kiler Süpermarketi ve 4 numaralı binanın batı yönünde 8 m mesafede bulunan elektrik trafosudur (Şekil 6).



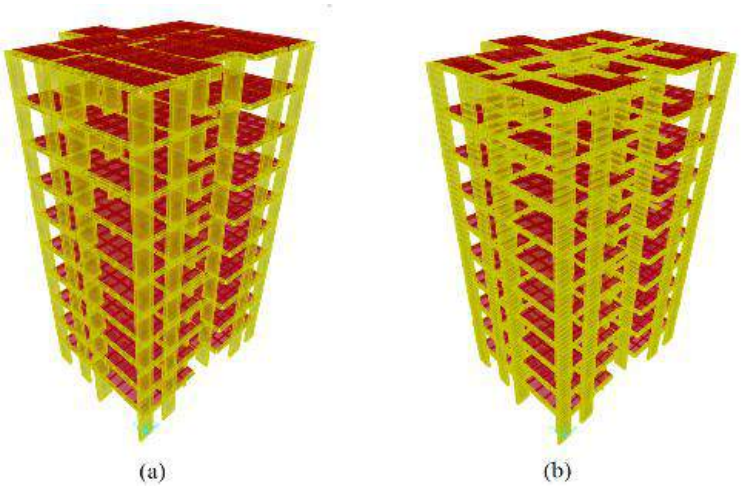
Şekil 6. Güneşevler Sitesi ve Çevre Yapıların Modeli

Yıkım planı yapılırken göz önünde bulundurulması gereken ilk husus; binanın statik durumunun tespit edilmesidir.

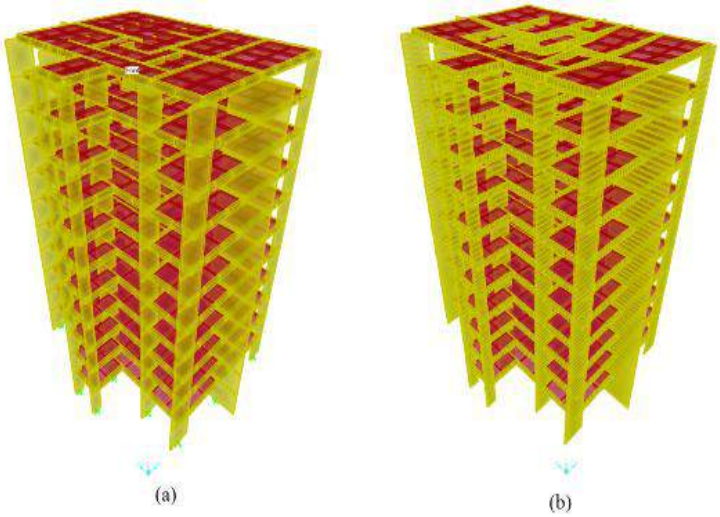
Söz konusu binalarda bulunan binalardaki betonun TS500 (2000) standardının çok altında kaldığı; 1, 2 ve 3 numaralı binalarda bulunan betonun C3, 4 numaralı binalarda bulunan betonun ise C5 sınıfı betona eşdeğer olduğu, donatı çeliğinin ise TS708 (2010) standardında ifade edilen en düşük dayanımlı çelik olan ise S220a çeliği olduğu bilgisi edinilmiştir.

Binalar, sonlu elemanlar yöntemini baz alarak hesaplama yapan bir simulasyon yazılımında modellenmiştir. Modeller üzerinde yapılan statik analizde binaların TS500 ve Deprem Yönetmeliği (1998)'ne göre çürük sınıfına girdiği anlaşılmıştır.

Binaların modeli ve ölü yükler altındaki davranışına ait görüntüleri Şekil Şekil 7 ve 8'de gösterilmiştir.



Şekil 7. (a) 1, 2 ve 3 Numaralı Bina Modellerinin Görüntüsü, (b) 1, 2 ve 3 Numaralı Binaların Ölü Yükler Altındaki Davranışının Görüntüsü



Şekil 8. (a) 4 Numaralı Bina Modellerinin Görüntüsü, (b) 4 Numaralı Binanın Ölü Yükler Altındaki Davranışının Görüntüsü

Şekil 7 ve 8'de görüldüğü üzere, bina döşemelerinin orta kısımlarında deplasmanlar görülmektedir. Ancak, 4 numaralı gözlenen eğilme miktarı, diğer binalara nazaran daha düşüktür.

3 YIKIM TASARIMI

Binaların statik durumu, betonarme malzeme özellikleri, çevresel faktörler ve kat sayısı göz önünde bulundurulduğunda, literatürde "içine çökertme" olarak adlandırılan yıkım tekniğinin uygulanmasına karar verilmiştir.

"İçine çökertme" yöntemi uygulanırken çevresel riskleri minimize etmek amacıyla çok düşük bir açıyla yıkım bir yöne yönlendirilmesine karar verilmiştir (Şekil 9).

Şekil 9. Binaların Yıkım Eğim Yönleri

3.1 Patlayıcı Madde Ve Kapsül Miktarı

Güneşevler Sitesi'nde bulunan 4 adet binanın kontrollü patlatma ile yıkımında patlayıcı madde olarak Nobelex-TG, ateşleme sistemi olarak ise elektriksiz kapsüller kullanılmıştır.

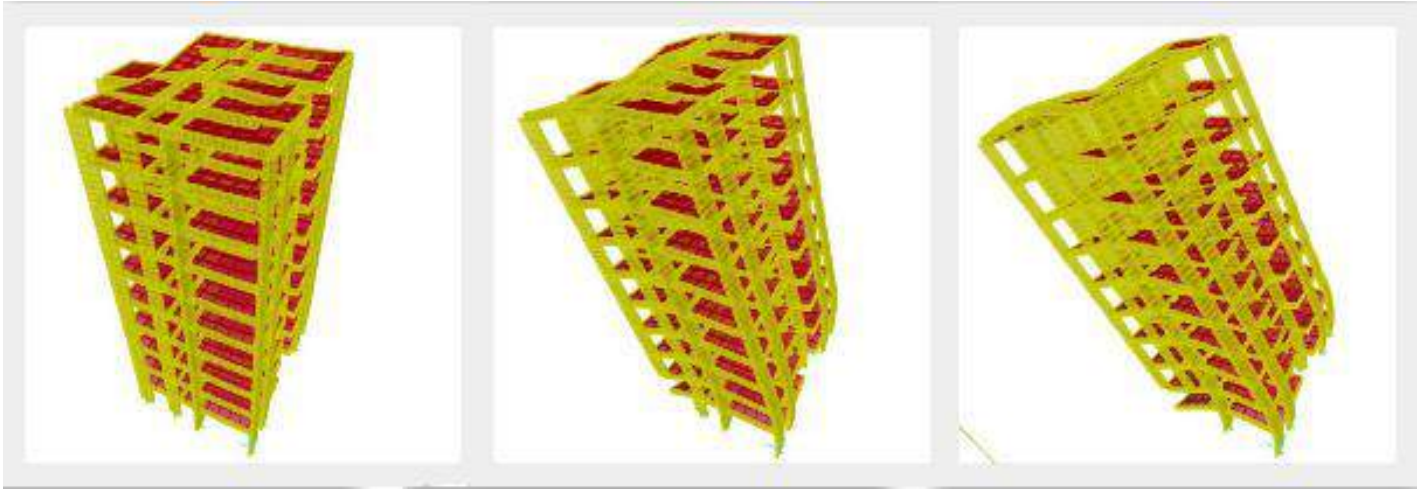
Çizelge 1'de her bir bina için patlayıcı konulan kat ve kolon sayısı, delinen delik sayısı, kullanılan patlayıcı madde miktarı ve kapsül sayısı belirtilmiştir.

Çizelge 1. Her bir bina için tasarım parametreleri

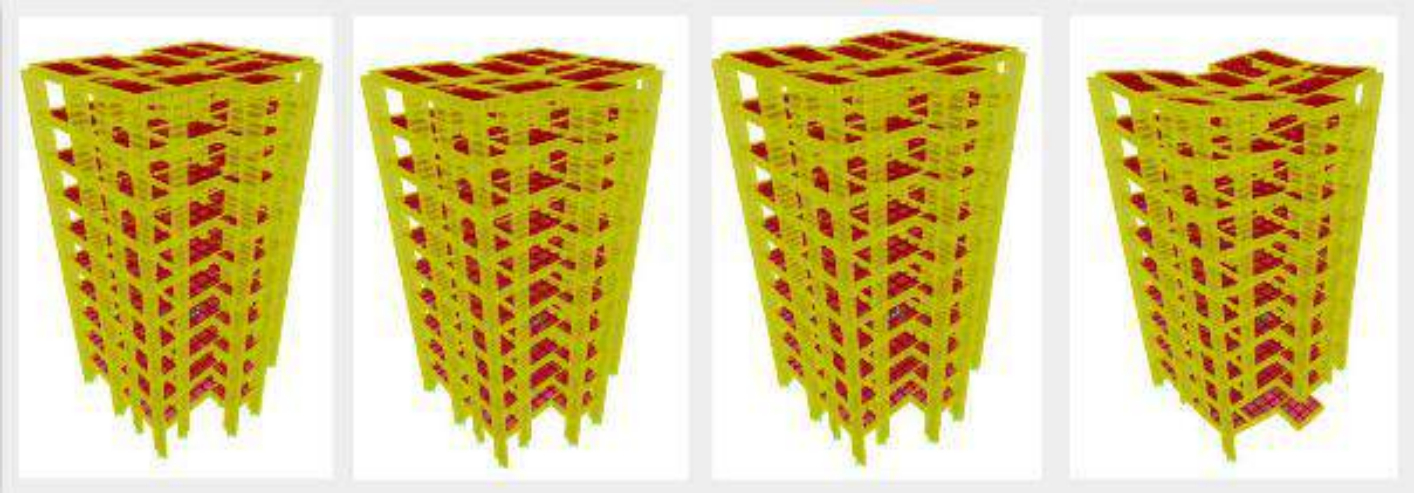
Bina No.	Kat Sayısı ve Patlayıcı Konulan Kat Sayısı	Kolon Sayısı ve Patlayıcı Konulan Kolon Sayısı	Betonarme Duvar Sayısı ve Patlayıcı Konulan Betonarme Duvar Sayısı	Delik Sayısı	Patlayıcı Miktarı (Kg)	Delik İçi ve Delikler Arası Bağlantı Kapsül Miktarı	Kolon Bağlantıları ve Ana Hat Bağlantıları Kapsül Miktarı
1	11/2	242/34	33/3	434	28,5	549	90
2	11/4	242/50	33/12	659	43,3	830	112
3	11/4	242/50	33/12	353	23,2	761	150
4	11/5	165/36	33/15	1151	75,7	1469	129
		Toplam		2597	170,7	3609	475

3.2 Yıkım Simülasyonu

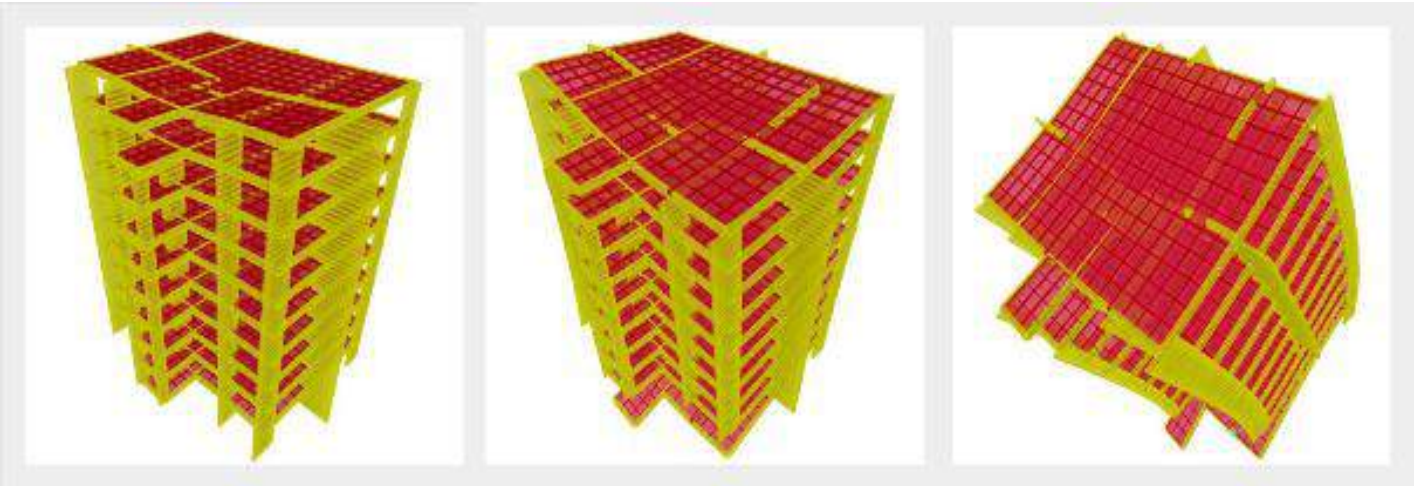
Nihai tasarımlar, Şekil 7 ve 8'de sunulan bina modelleri üzerinde test edilmiştir. Ateşleme süresince oluşacak yüklerin kolonların taşıma kapasitelerinin üzerine çıkacağı tespit edilmiş, yıkım tamamlandığında tüm kolonların yenileceği öngörülmüştür. Nihai tasarım parametreleri kullanılarak oluşturulan yıkım simülasyonları Şekil 10, 11, ve 12'de gösterilmiştir.



Şekil 10. 1 numaralı binanın yıkım simülasyonu (1. sn, 1,6. sn ve 2.5. sn)



Şekil 11. 2 ve 3 numaralı binaların yıkım simülasyonu (1. sn, 2. sn, 3. sn ve 4. sn)



Şekil 12. 4 numaralı binanın yıkım simülasyonu (1,1. sn, 2. sn ve 2,7. sn)

3.3 Güvenlik Önlemleri

Yıkım esnasında oluşması muhtemel çevresel etkilerin önlenmesi veya en aza indirilmesi yönünde yapılacak çalışmaların başında patlatma öncesi ve sonrasında patlatma alanını da içine alan "Güvenli (Yasak) Bölge"nin oluşturulması işlemi gelmektedir.

Güvenli bölgenin oluşturulmasının temel amacı patlatma sırasında yıkım olayını izlemesi muhtemel seyirci kitlesinin ve civarda ikamet eden insanların ve yapıların güvenliğini sağlamak ve patlatma kaynaklı muhtemel etkilerden izole etmektir. Güvenli (yasak) bölgenin kapsadığı alanlar dört ana grupta toplanırlar. Bunlar; plan alanı, tasarlanan devrilme alanı, tahmin edilen enkaz alanı ve tampon bölgedir.

Güvenli bölge üzerinde, yapının durumu, patlayıcı çeşidi ve miktarı, çevre yapıların varlığı ve konumu direk olarak etkilidir. Bunlara ilaveten çalışmayı izlemek için bölgede bulunan halkın güvenliği de göz önünde bulundurularak, oluşturulan güvenli bölgenin kısımları ve sınırı Şekil 13'te gösterilmiştir.

Şekil 13. Yıkımda Oluşturulan Güvenli Bölge

Münferit güvenlik önlemlerinin alınmasından önce, güvenli bölge içerisinde kalan alanın elektrik ve doğalgaz bağlantısı kesilmiş ve yapılar sigortalatılmıştır. Ayrıca, güvenli bölgenin dışında kalan havuzun üzeri branda ile kapatılmıştır.

Yıkımı planlanan binalar yerleşim yerinde bulunduğundan ötürü, taş savrulması önemli bir risk haline gelmiştir. Bu nedenle, binaların dışı kısımlarında kalan ve patlayıcı yerleştirilen kolonlar ilk önce tel örgü, ardından branda ile sarılmıştır. Binaların iç kısımlarında kalan kolonların ise sadece tel örgü ile sarılması yeterli görülmüştür. Ayrıca, her bir binanın duvarları yıkılmış olan katların çevreleri tel örgü ve branda ile sarılmıştır. Şekil 14'te güvenlik önlemleri alındıktan sonra binaların dıştan görünümü sunulmuştur.

Şekil 14. Güvenlik Önlemleri Alındıktan Sonra Binaların Dıştan Görünümü

4 YIKIM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yıkım sonunda yıkım sahasında yapılan kontrollerde binaların tahmin edilen enkaz alanı içerisinde yıkıldığı görülmüştür.

Şekil 15. Yıkım öncesinde ve yıkım anında binaların görüntüsü

1, 2 ve 3. Binalardaki kolonların Şekil 10 ve 11'de sunulan yıkım modelinde öngörüldüğü gibi yenildiği yıkım sonrası yerinde yapılan incelemelerle tespit edilmiştir. Parçalanma seviyesi, oluşan yığının ikincil kırma işlemine tabi tutulmadan yüklenip taşınabileceği düzeydedir. Ancak 4.binanın en üst katında bulunan kolonlardaki parçalanma seviyesi daha düşüktür. Bunun sebebi, çevresel riskleri azaltmak ve bloğa yaklaşık 10 metre uzaklıkta bulunan trafoya hasar vermemek için sadece 5 katta bulunan taşıyıcı elemanlara patlayıcı yerleştirilmesi ve binada mevcut olan malzeme kalitesinin diğer binalara nazaran daha yüksek dayanıma sahip olmasıdır.

Şekil 16. Sırasıyla 2, 3 Ve 4 Numaralı Binaların Yıkım Sonucu Oluşan Enkazlarını Görüntüsü

Yıkım sonunda, ilgili yerleşim biriminde gözle görülür düzeyde maddi ve manevi herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

4.1 Titreşim Kaydı

Yıkım kaynaklı titreşim ve hava şokunu ölçmek amacıyla 5 adet titreşim ölçer cihaz yasak bölge içerisinde bulunan risk noktalarına yerleştirilmiştir. Şekil 17'de ise binaların ve cihaz istasyon noktalarının uydu görüntüsü sunulmuştur.

Şekil 17. Binaların ve Cihaz İstasyon Noktalarının Uydu Görüntüsü

Çizelge 2'de titreşim ölçer cihazların kaydettiği maksimum parçacık hızı, frekans ve hava şoku değerleri sunulmuştur.

Çizelge 2. Titreşim Ölçer Cihaz Kayıtları

Titreşim Ölçer Cihaz	Maksimum Parçacık Hızı (mm/sn)	Frekans (Hz)	Hava Şoku (dB)
Instantel B10708	8,25	4,1	139,1
Instantel E10707	6,86	3,85	130,8
Instantel E10705	7,75	2,78	134,0
Instantel BE5724	5,59	5,39	127,9
Instantel E10706	Yeterli genlikte sismik dalga oluşmadığından kayıt alınamamıştır.		

Cihaz kayıtlarından anlaşılacağı üzere, yıkımda; kaydedilen olaylarda ortaya çıkan maksimum parçacık hızlarına karşılık gelen frekans değerlerinin dağılımları incelendiğinde, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın limitlerinin altında kaldığı görülmüştür.

5 SONUÇLAR

Ankara ili Sincan İlçesi Güneşevler Sitesi'nde bulunan 4 adet binanın genel planları incelenmiş, kolon duvar ve kiriş boyutları, çevredeki yapıların durumu ve mesafeleri göz önünde bulundurularak patlatma ön tasarımları yapılmış ve yıkım öncesinde, sırasında ve sonrasında söz konusu bölgede oluşabilecek çevresel etkilerin neler olduğu ve bu etkilerin azaltılabilmesi için yapılması gerekenler ortaya konmuştur. Bunların, doğrultusunda yıkım planlandığı gibi başarılı bir şekilde ve herhangi bir çevresel hasara sebebiyet vermeden tamamlanmıştır.

1, 2 ve 3. Binalardaki kolonların Şekil 10 ve 11'de sunulan yıkım modelinde öngörüldüğü gibi yenildiği yıkım sonrası yerinde yapılan incelemelerle tespit edilmiştir. Parçalanma seviyesi,

oluşan yığının ikincil kırma işlemine tabi tutulmadan yüklenip taşınabileceği düzeydedir. Ancak 4.binanın en üst katında bulunan kolonlardaki parçalanma seviyesi daha düşüktür. Bunun sebebi, çevresel riskleri azaltmak ve bloğa yaklaşık 10 metre uzaklıkta bulunan trafoya hasar vermemek için sadece 5 katta bulunan taşıyıcı elemanlara patlayıcı yerleştirilmesi ve binada mevcut olan malzeme kalitesinin diğer binalara nazaran daha yüksek dayanıma sahip olmasıdır.

Çevresel riskleri azaltmak ve bloğa yaklaşık 10 metre uzaklıkta bulunan trafoya hasar vermemek için sadece 5 katta bulunan taşıyıcı elemanlara patlayıcı yerleştirilmesi ve binada mevcut olan malzeme kalitesinin diğer binalarda bulunan malzeme kalitesinden daha yüksek olması, 4. binanın en üst katında bulunan yapı elemanları üzerinde yeterli deformasyonun oluşmasını engellemiştir.

Bu bilimsel çalışma kapsamında edinilen tecrübelerden yola çıkarak söylenebilecek öneriler aşağıdaki şekildedir;

- Kontrollü patlatma ile yıkılması planlanan binaların betonarme malzeme özelliklerinin belirlenmesi tasarım işinin ilk aşaması olmalıdır. Aksi takdirde, yapılan hesaplamalar ve öngörülen bina davranışı ile pratikteki bina davranışı aynı olmayabilir (Bkz, 4 numaralı Bina).
- Binanın statik durumu yıkım tasarımı yaparken dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlardan bir tanesidir. Bir binanın statik durumunu belirlemek, öngörülen bina davranışı ile pratikte meydana gelen bina davranışını örtüştürmekle beraber yıkım maliyeti üzerinde de etkisi mevcuttur.

KAYNAKLAR

Deprem Yönetmeliği, 1998, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Dowding, H.C., 1996, Construction Vibration, pp. 265-283, Prentice Hail, Upper Saddle River, NJ, U.K.

Extreme Explosions, 2010, Discovery Channel Belgesel Seti.

Gustaffson, R., 1981, Blasting Technique, Dynamit Noben Wien, Vienna, 327 s.

Jimeno, C.L., Jimeno, E.L., Curceda R.J.A, 1995, “Drilling and Blasting of Rocks”, A.A. Balkemo, Rotherdam, pp. 312-322.

Koca, O., 2006, “Patlayıcı Maddelerle Kontrollü Yapı Yıkımı”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Oloffson, S.O., 1980, Applied Explosives Technology for Construction and Mining, pp. 268-277.

Özer, Ü.; Karadoğan, A., 2012, “Patlatmali Yapi Yikim Tekniği, Binalarda Patlayıcı Kullanılarak Yıkım Tekniği”, İleri Yıkım Teknikleri Eğitimi, TMMOB.

Özyurt, M.C., 2013, “Patlayıcı Madde Kullanılarak Yapıların Kontrollü Yıkılması ve Verimliliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü.

Özyurt M.C., Özer Ü., Karadoğan A., "Edirne Kapıkule Gümrük Lojman Binalarının Kontrollü Patlatma Ile Yıkımı", VII. Delme-Patlatma Sempozyumu, ESKİŞEHİR, TÜRKİYE, 07-08 Kasım 2013, ss.21-33

Stevenston, A., 1972, Blasting Practice, Nobel’s Explosives Company Limited, Scotland, 284 p.

Şimşir, F. Ve Köse, H., 1996, Yapı Yıkımında Patlatma Uygulamaları, T.M.M.O.B. Madencilik Dergisi, Ankara , 3, 39-56.

TS500, 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS708, 2010, Çelik – Betonarme İçin – Donatı Çeliği, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

TS13633, 2014, Yapıların Tam ve Kısmi Yıkımı İçin Uygulama Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

Dönüş Hızının ve Baskı Miktarının Laboratuvar Ölçekli Delinebilirlik Üzerine Etkileri

Effects of Rotational Speed and Bit Load on Laboratory Scale Drillability

S. Yaşar, A. O. Yılmaz, M. Çapik
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET Kaya delme madenciliğin en önemli operasyonlarından biridir. Delinebilirlik ise delici matkabın kayacın içine nüfuz etme miktarına verilen isimdir. Delinebilirliği etkileyen parametreler kontrol edilebilen ve edilemeyen olarak iki başlık altında toplanabilir. Kontrol edilemeyen parametrelere kayacın ya da formasyonun özellikleri örnek olarak gösterilebilir. Kontrol edilebilen parametrelere örnek olarak ise makine ile ilgili değişkenler gösterilebilir. Dönüş hızı ve baskı miktarı döner delgi işleminin başarısını etkileyen en önemli makine parametrelerindendir. İki parametrede arttığı anda gerek sahada gerekse de laboratuvarda delinebilirliğin arttığı birçok çalışmada tespit edilmiştir. Ancak bazı çalışmalarda bunun aksine sonuçların da elde edildiği dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada vitrik tüf numunesi laboratuvar ortamında delme işlemine tabi tutulmuştur. Delme işlemi sırasında dönüş hızı ve baskı miktarı makine parametresi olarak kullanılmıştır. Kayaç parametreleri tek çeşit numune kullanılarak sabit tutulmuştur. Belirli bir süre içinde matkabın kayaç içine nüfuz etme miktarlarının farklı dönüş hızı ve baskı miktarlarına göre değişimi incelenmiştir. Delinebilirliğin baskı miktarının artması ile azaldığı, dönüş hızının artması ile arttığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar geçmiş çalışmalar ile irdelenmiştir.

ABSTRACT Rock drilling is one of the main operation of mining. Drillability is the ratio of the drilling bit's penetration rate into rock. Factors which are affecting drillability can be divided into two main groups of parameters; these parameters are controllable and uncontrollable parameters. Rock or formation's properties can be given as an example to uncontrollable parameters. Also machine parameters are regarded as controllable parameters of drillability. Rotational speed and bit load are important parameters affecting the drilling efficiency. It has been stated in various references that increase in both of them causes increase in penetration rates. However, in some references conflicting results stands out.

In this study, vitric tuff sample conducted to laboratory scale rock drilling tests. During drilling trials, rotational speed and bit load was used as machine parameters. Rock properties were applied as constant by using a sample of rock. Variation of penetration rate for different rotational speeds and bit loads were investigated. So, drillability was found to be decreased with increase in bit load and decrease in rotational speed. Results were compared with relevant literature.

1 GİRİŞ

Delik delme işlemi madenciliğin yanı sıra birçok farklı sektörde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu sektörler başlıca inşaat, petrol, enerji, tarım ve ormancılık ve askeri faaliyetlerdir (Ceylanoğlu vd. 1993). Delik delme madencilikte yeraltı ve yerüstü patlatmalı kazılarında, inşaat sektöründe tünel kazılarında ve petrol sektöründe arama sondajlarında kullanılmaktadır. Delme işlemi prensip olarak iki yöntemle yapılmaktadır. Bunlar darbeli ve döner delmedir. İki delme işlemi prensip olarak birbirinden farklıdır. Darbeli delmede prensip ezerek parça koparmaya dayanmaktadır. Döner delgide ise delme işlemi oyma ve kesme olayları tarafından kontrol edilmektedir (Rabia, 1985). Döner delme nispeten dayanımı daha düşük formasyonlarda kullanılırken, darbeli delme yöntemi daha yüksek dayanımlı formasyonlarda kullanılmaktadır. Ancak yöntem seçiminde tek kriter dayanım olmamaktadır, örneğin petrol aramalarında başvurulan derin sondajlarda her zaman döner sondaj yöntemi kullanılmaktadır. İki yöntem arasında ilerleme hızları bakımından büyük farklılıklar bulunmaktadır. Döner delmede ilerleme miktarları saniyede milimetre mertebesinde gerçekleşirken, darbeli delmede bu miktar saniyede santimetrelerle ifade edilmektedir (Wijk, 1991).

Ekonomik bir delme için az miktarda aşınma ile yüksek ilerleme hızı gereklidir (Pandey vd. 1991). Delinebilirliğin belirlenmesinde farklı araştırmacılar farklı yöntemlere başvurmuşlardır. Singh (1969) ilerleme miktarını delinebilirlik olarak kullanmıştır. Buna ek olarak Teale (1965), Miller (1972), Paithankar ve Mishra (1976) ve Rabia (1982) delinebilirliğin tayininde spesifik enerjiyi kullanmışlardır. İlerleme miktarı birçok makine ve formasyon özelliklerinden etkilenmektedir. Bu özellikler kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen özelikler ya da parametreler olarak iki gruba ayrılmaktadır. Kontrol edilemeyen parametrelere örnek olarak jeolojik özellikler gösterilebilir. Kontrol edilebilen özelliklere örnek olarak ise makinenin çalışma parametreleri verilebilir. Ancak bu parametreler içinde delinebilirliği etkileyen en önemli parametreler baskı miktarı, yanal baskı ve dönüş hızıdır (Gomah vd., 1983).

Bu parametrelerin kayaçların delinebilirliği üzerine etkilerinin araştırılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Kontrol edilemeyen parametrelerden ilerleme hızını etkileyen en önemli parametre kayacın dayanım özelikleridir. Birçok çalışmada delinen kayacın dayanımının artması ile ilerleme miktarının düştüğü belirlenmiştir (Protodyakonov, 1962; Fish, 1968; Paone vd., 1969; Clark, 1979; Pandey vd. 1991; Thuro ve Spaun, 1996; Kahraman, 1999; Bilgin ve Kahraman, 2003; Kahraman vd. 2003; Yaşar vd. 2011, Yaralı ve Soyer, 2013; Çapik vd., 2013). Buna ek olarak çalışmanın esas konusunu teşkil eden baskı miktarı ve dönüş hızı ile ilgili de birçok çalışma bulunmaktadır.

Gomah vd. (1983) 5 farklı numune üzerinde laboratuvar ortamında delme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada döner delme işleminde derinliğin artması ile ilerleme miktarının azalmasının nedenleri araştırılmıştır. Bu amaçla numunelere yanal basınç uygulanarak derinlik etkisi yaratılmaya çalışılmıştır ve sonuç olarak yanal basıncın artması ile ilerleme miktarının azaldığını tespit etmişlerdir. Rabia (1985), darbeli ve döner delme işlemlerinin genel prensiplerini açıkladığı çalışmasında iki delme türünü de etkileyen parametreleri incelemiştir ve sonuç olarak ilerleme hızının döner delmede baskı miktarı ve dönüş hızı ile birlikte arttığını bildirmiştir. Ayrıca delme işleminin verimliliğini gösteren spesifik enerji parametresini şu formül ile açıklamıştır;

$$SE = 2{,}35 * \frac{WOB \text{ x } RPM}{d \text{ x } ROP} \tag{1}$$

Burada; SE spesifik enerji, WOB baskı miktarı, RPM dönüş hızı, d delme çapı ve ROP ise ilerleme miktarıdır. Howarth ve Adamson (1988),altı farklı kayaç numunesini küçük boyutlu bir delici makine ile deneye tabi tutmuşlardır ve sonuç olarak baskı miktarının artması ile ilerleme miktarının lineer olmayan bir şekilde arttığını belirlemişlerdir. Pandey (1991) farklı kayaç numuneleri üzerinde farklı delme yöntemleriyle laboratuvar ortamında delme işlemine tabi tutmuşlardır ve farklı parametrelerin ilerleme hızı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak darbeli delme yönteminde baskı miktarının artması ile ilerleme miktarının azaldığı belirlenmiştir. Döner delme deneylerinde ise baskı miktarının ilerleme miktarını arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca dönüş hızının artması ile ilerleme hızının arttığı da belirlenmiştir.

Huang ve Wang (1997) diğer çalışmalarla paralel olarak, karot ilerleme hızının da baskı miktarının ve dönüş hızının artması ile arttığını belirlemişlerdir. Kahraman (1999) döner delmede ilerleme miktarının belirlenebilmesi için şu formülü önermiştir:

$$ROP = 1{,}05 * \frac{WOB^{0{,}824} \text{ x } RPM^{1{,}69}}{d^{2{,}321} \text{ x } \sigma_c^{0{,}61}} \quad (2)$$

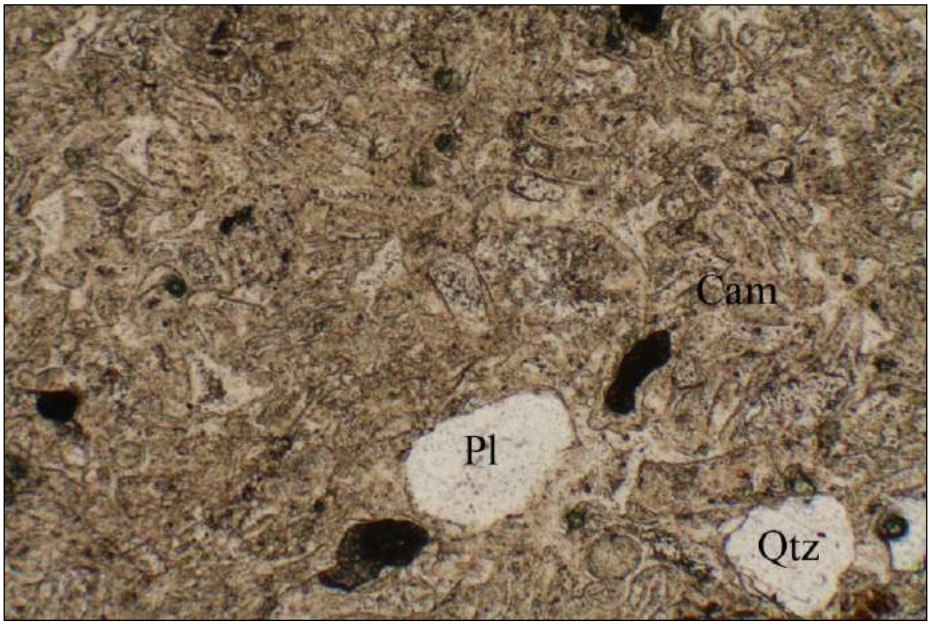
Burada; WOB baskı miktarı, RPM dönüş hızı, d delme çapı, ROP ilerleme miktarı ve σ_c ise tek eksenli basınç dayanımıdır. Rao vd. (2002) 6 farklı kayaç üzerinde döner delme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak ilerleme miktarının baskı miktarının artması ile arttığı belirlenmiştir. Yaşar vd. (2011) hazırlamış oldukları beton numunelerini döner delme deneylerine tabi tutmuşlardır. Sonuç olarak ilerleme hızı ile baskı miktarı arasında ikinci derecenden bir polinom ilişkisine ulaşılmıştır. Buraya kadar verilmiş olan çalışmaların sonuçlarının aksine Garnier ve van Lingen (1959) farklı işletimsel değişkenlerin ilerleme hızı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir ve sonuç olarak dönüş hızı ve baskı miktarının artması ile ilerleme miktarının azaldığını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada diğer çalışmalarla çelişen sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada vitrik tüf numunesi fiziko-mekanik ve petrografik özelliklerinin belirlenmesinin ardından laboratuvarda delme işlemine tabi tutulmuştur. Delme işleminde minyatür delme makinesi kullanılmıştır. Baskı miktarı olarak 20, 22, 24, 26, 28 ve 30 kg kullanılmıştır. Dönüş hızı ise 200, 250 ve 300 dev/dk olarak değiştirilmiştir. Sonuç olarak baskı miktarı ve dönüş hızı değişkenlerinin ilerleme hızına etkileri incelenmiştir.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Numune Özellikleri

Çalışmada vitrik tüf numunesi kullanılmıştır. Dayanımı nispeten düşük olan vitrik tüf numunesi yüksek oranda görünür poroziteye sahiptir. Öncelikle kayacın tanımlanabilmesi için ince kesitler hazırlanarak numunenin mineralojik ve petrografik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Örneğin % 20'si kristallerden % 80'ni ise camdan meydana gelmektedir. % 20'lik kesim köşeli taneli kuvars, plajiyoklas ve sanidin minerallerinden oluşmaktadır. Kuvars, plajiyoklas ve sanidin minerallerinin tane boyutları yaklaşık 0,01 mm ile 0,25 mm arasında değişmektedir (Yaşar vd. 2014). Numunenin mikroskop altındaki görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Vitrik tüf numunesinin mikroskop altındaki görüntüsü

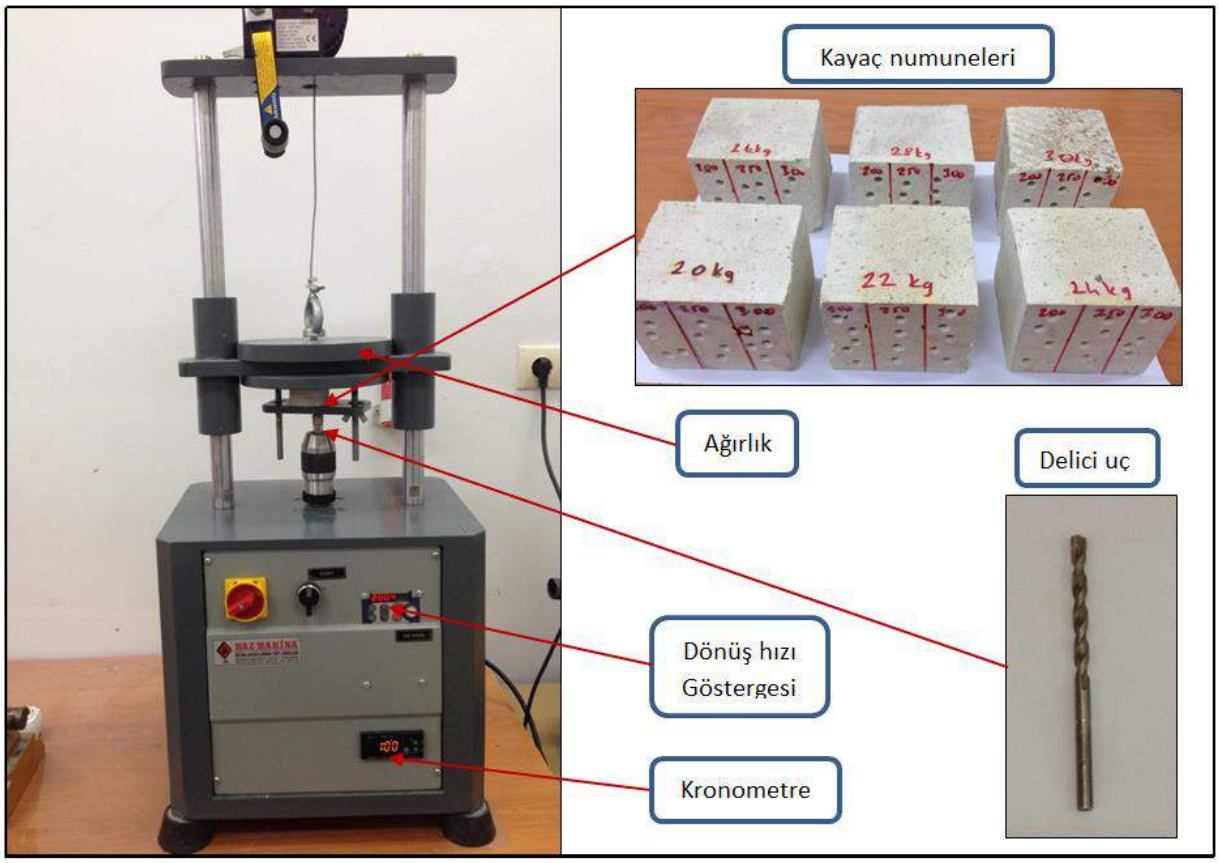
Görünür süreksizlikleri olmayan homojen bir numune üreticiden temin edilmiştir. Bu numune mermer kesme makinesinde ölçüleri yaklaşık olarak 7 cm x 7 cm x 7 cm olan küpler şeklinde kesilmiştir. Daha önce alınan karot numuneleri ile kayacın tek eksenli basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, görünür porozite, yoğunluk ve Schmidt sertliği değerleri belirlenmiştir. Numunenin fiziko-mekanik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Vitrik tüf numunesinin fiziko-mekanik özellikleri

Numune Adı	Tek Eksenli Basınç Dayanımı	Dolaylı Çekme Dayanımı	Görünür Porozite	Yoğunluk	Schmidt Sertliği (L Tipi)
Vitrik Tüf	63,91 MPa	8,73 MPa	% 19,68	1,83 g/cm^3	38

2.2 Delme Çalışmaları

Kayaçların delinmesinde Sievers delme deneyi için üretilen standart makine kullanılmıştır. Delici uç olarak ise tungsten karbid uçlu 6 mm çapında standart matkap ucu kullanılmıştır. Şekil 2'de minyatür deney düzeneği gösterilmiştir. Şekilde görülen ağırlık yardımı ile delme işlemindeki baskı miktarı ayarlanabilmektedir. Dönüş hızı ise göstergeden ayarlanabilmektedir. Baskı miktarları 20, 22, 24, 26, 28 ve 30 kg olarak uygulanmıştır. Dönüş hızı ise 200, 250 ve 300 dev/dk olarak kullanılmıştır. Her bir deney 4 kez tekrarlanmıştır ve delme miktarları dijital kumpaslar yardımı ile belirlenerek 4 değerin ortalaması alınmıştır. Her bir delme işlemi matkap ucundaki aşınmanın minimum olarak gerçekleşmesi amacıyla 30 saniye sürdürülmüştür. Her denemenin ardından matkap ucu takım bileme tezgâhında bilenmiştir. Delme işlemi sırasında delikten çıkan kayaç parçaları düşey delme yapıldığından dolayı yerçekiminin etkisiyle kendiliğinden delik dibinden uzaklaşmaktadır.



Şekil 2. Delme deney düzeneği

3 VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Delme deneylerinin tüm sonuçları Çizelge 2'de gösterilmiştir. Burada gösterilen ilerleme hızları dakikadaki delme hızıdır. Deneyler 30 saniye süresince gerçekleştirildiği için ilerleme hızları 1 saniyeye göre ayarlanmıştır. Buna ek olarak Rabia (1985) tarafından önerilen spesifik enerji değeri hesaplanarak Çizelgeda gösterilmiştir. Aynı çalışmada yazar baskı miktarı ile dönüş hızının çarpımını mekanik enerji (ME) olarak tanımlamıştır. Bu değerde hesaplanarak Çizelgeda gösterilmiştir.

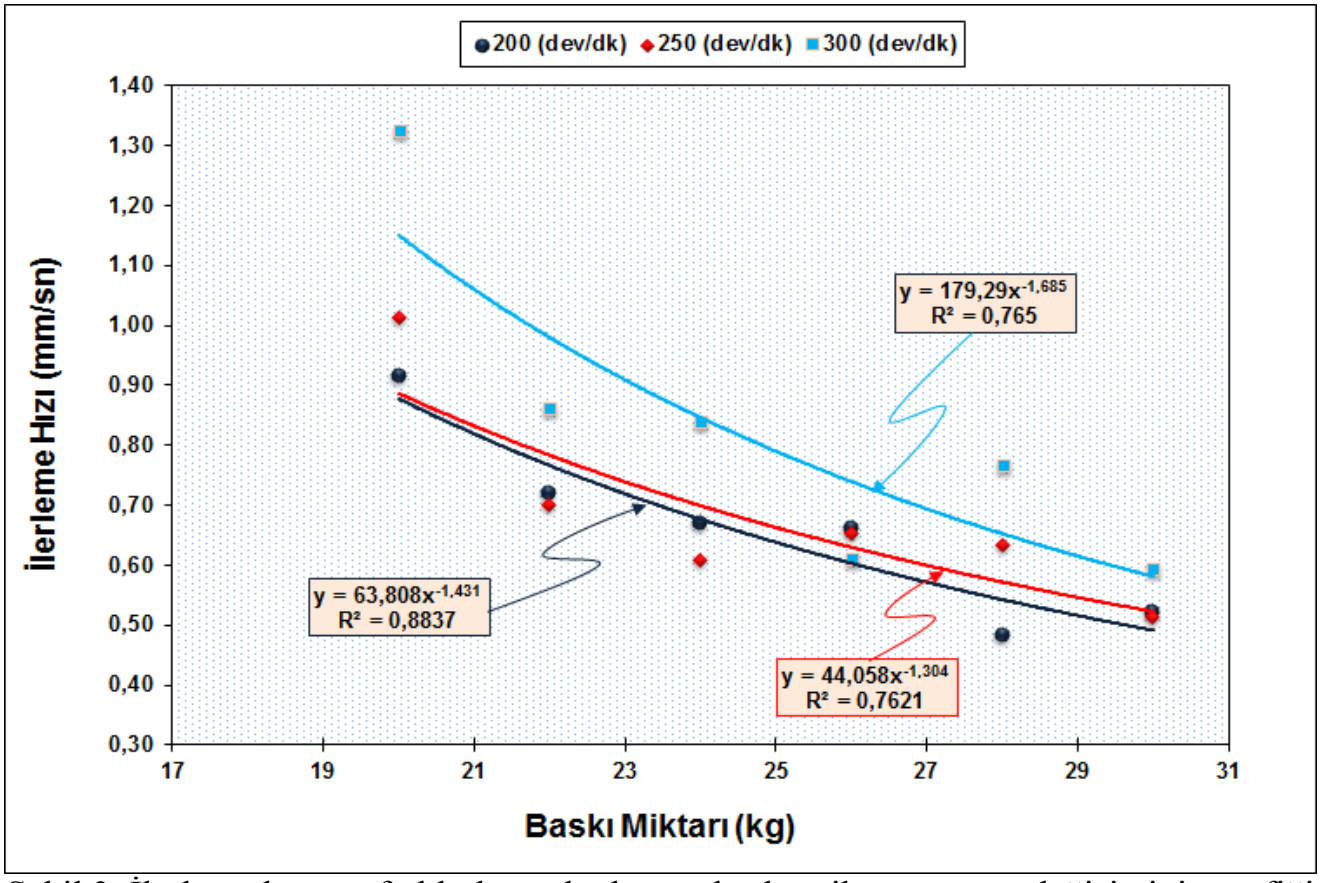
Delme deneylerinden elde edilen ilerleme hızları incelendiğinde bu değerin 0,48 mm/sn ile 1,33 mm/sn arasında gerçekleştiği görülmektedir. En düşük değer 200 dev/dk dönüş hızında ve 28 kg baskı kuvvetinde elde edilmiştir. En yüksek ilerleme hızı ise 300 dev/dk dönüş hızında ve 20 kg baskı kuvvetinde elde edilmiştir. Spesifik enerji değerleri ise 475,57 MJ/m^3 ile 1649,59 MJ/m^3 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Delme işleminin başarısını tayin eden tek değişkenin ilerleme hızı olduğu söylenemez. Giriş bölümünde de bahsedildiği gibi kimi araştırmacılar delinebilirliği ilerleme hızı ile, kimileri de spesifik enerji ile tanımlamaktadır. Burada iki kriterde birlikte değerlendirildiğinde genel geçer olarak dönüş hızı ile baskı miktarı için bir trend ortaya konulamamaktadır. Bunun sebebi ise delme işleminin göründüğünden daha kompleks bir olay olmasıdır. Bu çalışmada maksimum ilerleme hızı 300 dev/dk dönüş hızı ve 20 kg baskıda elde edilmiştir. Ancak spesifik enerjinin verimliliğin göstergesi (Teale, 1965) olduğu kabul edilirse en düşük spesifik enerji değeri yani en verimli delme işlemi 200 dev/dk dönüş hızı ve 20 kg baskıda gerçekleşmiştir. İki parametre farklı değerleri işaret etse de ilerleme hızında ve spesifik enerjideki artış miktarları incelendiğinde bu deney grubu için gerçekleştirilen en verimli delmenin 300 dev/dk dönüş hızı ve 20 kg baskıda elde edildiği açıkça görülmektedir. Çünkü 200 dev/dk hız ve 20 kg baskı için elde edilen spesifik enerji 300 dev/dk hız ve 20 kg baskıda yalnızca % 3 civarında artış göstermesine karşı ilerleme hızı % 44'e yakın artmıştır.

Çizelge 2. Delme deneylerinin sonuçları

Dönüş Hızı (dev/dk)	Baskı Miktarı (kg)	İlerleme Hızı (mm/sn)	Spesifik Enerji (MJ/m^3)	Mekanik Enerji (kg*dev/dk)
200	20	0,92	475,57	4000
	22	0,72	664,17	4400
	24	0,67	781,38	4800
	26	0,66	857,40	5200
	28	0,48	1263,15	5600
	30	0,52	1251,93	6000
250	20	1,01	537,88	5000
	22	0,70	855,13	5500
	24	0,61	1071,30	6000
	26	0,65	1082,97	6500
	28	0,63	1202,64	7000
	30	0,51	1592,66	7500
300	20	1,33	492,35	6000
	22	0,86	833,74	6600
	24	0,84	931,80	7200
	26	0,61	1389,27	7800
	28	0,77	1189,96	8400
	30	0,59	1649,59	9000

Şekil 2'de Çizelge 2'nin grafik haline getirilmiş hali verilmiştir. Değişen determinasyon katsayılarıyla da olsa genel eğilim baskı miktarının artması ile ilerleme hızının azaldığıdır. Bu sonuçlar geçmiş çalışmalar incelendiğinde araştırmacıların elde ettiği sonuçların bazılarıyla çelişmektedir. Örneğin Gomah vd. (1983), Howarth ve Adamson (1988), Pandey (1991), Huang ve Wang (1997), Kahraman (1999), Rao vd. (2002) ve Yaşar vd. (2011) çalışmalarında baskı miktarının artması ile ilerleme hızının arttığını ileri sürmüşlerdir. Ancak Garnier ve van Lingen (1959) çalışmalarında bunun tam tersi sonuçlara ulaşmış ve bu çalışmaya benzer sonuçlara ulaşmışlardır.

Birbiri ile çelişen bu sonuçların açıklanabilmesi için tüm çalışmaların kendi özelinde incelenmesi ve yorumlanması gerekmektedir. Pandey vd. (1991) çalışmasında darbeli ve döner delme yöntemlerinin ikisini de laboratuvar ortamında uygulamıştır. Değişkenlerin ilerleme hızı üzerindeki etkisi iki yöntem için farklı olarak gerçekleşmiştir. Darbeli delmede baskı miktarı artarken ilerleme hızı azalırken, döner delmede durum tam tersi olarak gerçekleşmiştir. Darbeli delmede baskının artması ile ilerleme hızının azalması durumunu yazar, fazla baskıdan dolayı ucun sıkışması ya da diğer bir ifade ile tork yetersizliği ile açıklamaktadır. Bu çalışmada kullanılan deney aleti ayarlanan dönüş hızı ile sabit olarak dönmektedir. Motor gücü sabit olarak seyretmektedir. Bu yüzden tork miktarı da sabit olduğu için delici matkap üzerindeki yük arttıkça makine zorlanmakta ve buna paralel olarak delme olayı zorlaşmaktadır. Bunun üstesinden gelmek için hız arttırılmaktadır ve Şekil 3 incelendiğinde bu müdahalenin de çoğunlukla faydalı olduğu görülmektedir. Dönüş hızı arttırıldıkça grafik yukarı yönde hareket etmektedir. Buna ek olarak hem matkap ucunun yapısından hem de delme deney aletinin kullanım biçiminden dolayı normal şartlar altında delinen malzeme delik içinden yerçekiminin etkisi ile tahliye edilmektedir. Ancak bu kırıntıların tahliye edilmesi için herhangi bir ilave sistem olmadığı için artan matkap yükü kırıntıların delik dibinde daha da sıkışmasına ve delme işleminin zorlaşmasına, bundan dolayı da ilerleme hızının düşmesine sebep olabilmektedir. Bu duruma Azar ve Samuel (2007) tarafından da değinilmiştir.



Şekil 3. İlerleme hızının farklı dönüş hızları ve baskı miktarına göre değişiminin grafiği

4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada vitrik tüf numunesi laboratuvar ortamında delme deneylerine tabi tutulmuştur. Baskı miktarı ve dönüş hızı değiştirilerek ilerleme hızındaki ve spesifik enerjideki değişimler incelenmiştir. Baskı miktarı 20, 22, 24, 26, 28 ve 30 kg olarak kullanılmıştır. Dönüş hızı ise 200, 250 ve 300 dev/dk olarak ayarlanmıştır. Sonuç olarak en verimli delme işlemi 300 dev/dk dönüş hızı ve 20 kg baskı miktarında elde edilmiştir. Genel eğilim olarak baskı miktarının artması ile ilerleme hızı azalmıştır. Buna ek olarak dönüş hızı ilerleme hızlarını yukarı seviyelere çekmiştir. Normal şartlar altında ilerleme hızı baskı miktarı ile artması beklenmektedir ancak deney makinesinin motor gücü yetersiz olduğu ve yeterince tork üretemediği için baskı miktarının artması ile matkap ucu sıkışmıştır. Bundan dolayı buradan çıkarılacak sonuç baskı miktarının artması ile ilerleme hızının artmasını sağlamak için delici ucu etkileyecek kuvvetleri karşılayarak üstesinden gelecek motor gücüne sahip makinelerin kullanılması gerekmektedir. Ayrıca delik dibinde kalması muhtemel olan kırıntılar da baskı miktarının ilerleme hızını düşürmesini açıklayabilmektedir. Bu çalışma bu dönüş hızı ve baskı parametrelerinin ilerleme hızları üzerindeki etkilerini inceleyen ön bir çalışmadır. Daha detaylı sonuçların elde edilmesi için öncelikle numune sayısının arttırılması ve kullanılan parametrelerin seviyelerinin arttırılması gerekebilir. Örneğin üç farklı hız yerine beş ya da daha fazla hız kullanılabilir. Buna ek olarak delici ucun ilerleme hızı üzerindeki etkisi de yadsınamaz bundan dolayı farklı uçlarında kullanılması çalışmaya farklı bir boyut kazandırabilir.

KAYNAKLAR

Azar, J. J. ve Samuel, G. B., 2007. *Drilling Engineering*, PennWell Books, 491 s.

Bilgin, N. ve Kahraman, S., 2003. Drillability prediction in rotary blast hole drilling, *18th International Mining Congress and Exhibition of Turkey*, s. 177-182, Antalya.

Ceylanoğlu, A., Kahriman, A., Demirci, A., 1993. Delme patlatmanın önemi, kullanıldığı alanlar ve maden mühendisliği ile ilgisi, *Delme ve Patlatma Sempozyumu*, s. 127-139, Ankara.

Clark., G. B., 1979. *Principles of rock drilling*. Colorado School of Mines, 91 s.

Çapik, M., Yılmaz, A. O., Yaşar, S., Yaralı, O., Çavuşoğlu, I., 2013. Kayaçların delinebilirlik ve aşındırıcılık özelliklerinin karşılaştırılması, *23rd International Mining Congress & Exhibition of Turkey*, s. 659–669, Antalya.

Fish, B. G., 1968. The basic variables in rotary drilling, *Mine & Quarry Engineering*, 27, s. 74-81.

Garnier, A. J., ve van Lingen, N. H., 1959. Phonemena Affecting Drilling Rates at Depth, *AIME Transections*, 216, s. 232-239.

Gomah, A. H., Hussein, M. Y., Imbaby, S. S., 1983. Relation between confining pressure and drillability of rocks, *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2, s. 239-251.

Howarth, D. F., ve Adamson, W. R., 1988. Performance characteristics of a small-scale rotary boring machine instrumented with large drag picks, *International Journal of Rock Mechanics and Geomechanics Abstracts*, 25, s. 25–33.

Huang, S. L. ve Wang, Z. W., 1997. The mechanics of diamond core drilling of rocks, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 34, s. 3–4.

Kahraman, S., 1999. Rotary and percussive drilling prediction using regression analysis, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 36, s. 981–989.

Kahraman, S., Bilgin, N., Feridunoglu, C., 2003. Dominant rock properties affecting the penetration rate of percussive drills, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 40, s. 711–723.

Miller, M., 1972. Normalisation of specific energy. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, s. 661–663.

Paithankar, A. G., Misra, G. B., 1976. A critical appraisal of the Protodyakonov index, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics Abstracts*, 13, s. 249–251.

Pandey, A. K., Jam, K., Singh, D. P., 1991. An investigation into rock drilling, *International Journal of Surface Mining and Reclamation*, s. 139–141.

Paone, J., Madson, D., Bruce, W. E., 1969. Drillability studies-laboratory percussive drilling, USBM RI 7300.

Protodyakonov, M. M., 1962. Mechanical properties and drillability of rocks, *5th Symposium on rock mechanics*, s. 103–118, Univ. Minnesota.

Rabia, H., 1982. Specific energy as a criterion for drill performance prediction, *International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 19, s. 39–42.

Rabia, H., 1985. A unified prediction model for percussive and rotary drilling, *Mining Science and Technology*, 2, s. 207–216.

Rao, K. U. M., Bhatnagar, A., Mısra, B., Laboratory investigations on rotary diamond drilling, *Geotechnical and Geological Engineering*, 20, s. 1-16.

Singh, D. P., 1969. Drillability and physical properties of rocks, *Rock mechanics symposium*, s. 29–34, University of Sydney.

Teale, R., 1965. The concept of specific energy in rock drilling, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 2, s. 57–73.

Thuro, K. ve Spaun, G., 1996. Drillability in Hard Rock Drill and Blast Tunnelling. Felsbau, 14, s. 1–11.

Wijk, G., 1991. Rotary drilling prediction, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 28, s. 35-42.

Yaralı, O. ve Soyer, E., 2013. Assessment of relationships between drilling rate index and mechanical properties of rocks, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 33, s. 46–53.

Yasar, E., Ranjith, P. G., Viete, D. R., 2011. An experimental investigation into the drilling and physico-mechanical properties of a rock-like brittle material, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 76, s. 185–93.

Yaşar, S., Çapik, M., Yılmaz, A. O., 2014. Schmidt sertliği ile kesilebilirlik parametreleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi, *Madencilik*, 53, s. 31–38.

Askeri Patlayıcılar ile Baca Yıkımı Uygulaması

Chimney Demolition Applications with Military Explosives

S. Bağdatlı, A. Çeltikçi
Okan Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü

H.C. Türe, S. Işıdı
Okan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Patlayıcı Mühendisliği Ana Bilim Dalı

ÖZET İstanbul İli Beykoz İlçesi sınırlarında bulunan Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'na ait askeri bölgede bulunan 20 m yüksekliğindeki bacanın yıkılması planlanmıştır. Bacanın, iş makineleri ile yıkımının riskli olacağı değerlendirilmiş olup söz konusu bacanın, askeri envanterde yer alan patlayıcı ve ekipmanlarla kontrollü olarak yıkılmasına karar verilmiştir. Askeri patlayıcılar ile gerçekleştirilen çalışmada 1.tip kama yöntemi kullanılmıştır.

ABSTRACT A chimney at a height of 20 m is scheduled to be demolished in Istanbul Beykoz district within the borders of military naval forces. It is considered to be at risk of destruction of the chimney with Machines, it was decided that a controlled demolition with explosives and equipment that included in the inventory of the Military.In this study it is performed with military explosives Type 1 washing method is used.

1 GİRİŞ

Birçok nesne ve canlıda olduğu gibi yapılarında ekonomik ve emniyetli kullanım ömürleri bulunmaktadır. Ömürlerini dolduran yapıların yıkımı için farklı metotlar yer almaktadır. Bunlar; kazma, balyoz vb. ilkel yöntemler olabildiği gibi ekskavatör, yıkım güllesi vb. mekanik araçlarla uygulanan yöntemlerde olabilmektedir. Bir diğer yıkım metodu ise, ilk olarak II.Dünya Savaşından sonra harap binaların yıkımında kullanılan ve geliştirilen patlatmalı yıkım metodudur(Koca, 2006). Metot, sonraki yıllarda daha da geliştirilerek özellikle; yüksek katlı ve/veya büyük binalar, köprüler, kuleler, bacalar, silo gibi insan gücüyle ve makinelerle yıkımı ekonomik ve güvenli olmayan yapılarda etkin olarak kullanılmıştır.

Bu bildiride; İstanbul İli Beykoz İlçesinde bulunan Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'na ait bölgede konuşlu, 20x3x1,40 m. boyutlarında ve et kalınlığı 40 cm olan betonarme bacanın makineli olarak yıkımının risk oluşturabileceği ve 400 metre çaplı alanda meskun mahal bulunmaması gerekçesi ile askeri patlayıcılar kullanılarak, kontrollü şekilde ve mühendislik yaklaşımlarından faydalanarak gerçekleştirilen yıkım çalışması aktarılmıştır.

2 PATLATMALI YIKIM

Patlatma ile yıkım metodu, alt katlarda mevcut olan taşıyıcı elemanların patlayıcı kullanılarak parçalanması ve bunun sonrasında, geri kalan taşıyıcı elemanların tesir altında kaldıkları eksenel ve/veya moment yükü altında dayanamayıp deformasyona uğramasıyla yapının çökmeye başlaması prensibine dayanır (Özyurt, 2013).

Patlatmalı kazı yıkılacak yapının boyutlarına göre ekonomik ve güvenli bir yöntem olarak adlandırılabilir. Özellikle, yüksek yapılarda ve yıkımı iş güvenliği açısından riskli olan durumlarda makineli veya insan gücüyle gerçekleştirilen kazılara nazaran avantajlıdır.

3 YÖNTEM

3.1 Patlatmalı Yıkım Yöntemi Seçimi

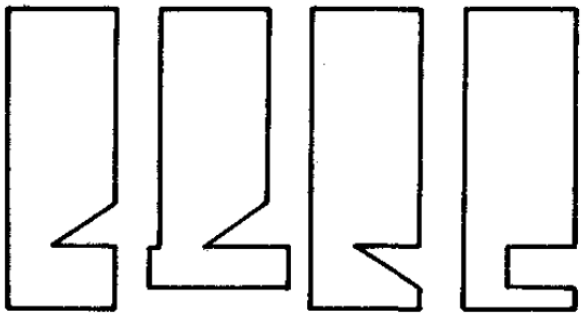
Bahse konu bacanın yıkımında, baca tipi yapılarda en iyi sonucu veren, kama yöntemi uygulanarak yapının bir yöne devrilmesi veya olduğu yere çöktürülmesi hedeflenmiştir. Yapı yıkımında uygulanan en ekonomik ve basit yöntem yapının yana yatarak devrilmesidir. Yıkılacak yapının çevresinde yapının devrilmesi için yeterli büyüklükte boş bir alan varsa kama yöntemini tercih etmek akıllıca olacaktır. Yapının yanında bulunan boş alan yapının devrilmesi sonucu oluşacak enkazın üzerine yayılabileceği kadar büyük olmalıdır. Bu alan üzerinde ve altında zarar görebilecek bir nesne olmamalıdır. Bütün şartlar uygun olduktan sonra sıra yapının yana yatarak devrilmesini sağlamaya gelir. Bunun için bir dizi hesaplama yapılması gerekir. Yapının belli bir yöne devrilmesi büyük önem taşımaktadır. Rijit bir yapının devrilmesi, yapı ağırlık merkezinin izdüşümünün yapı alanının dışına çıkması ile mümkün olmaktadır. Patlatma sonrası yapı ağırlık merkezi izdüşümü yapı alanı dışına çıkmazsa, yapı yan yatabilir fakat devrilmez. Burada en önemli nokta yapı ağırlık merkezinin yerinin ve yapının temel özelliklerinin belirlenmesidir. Ağırlık merkezinin koordinatları, yapılacak hesaplamalarda kullanılacağı için hassas hesaplamalar sonucu bulunmalıdır. Yapının devrilmesi yani ağırlık merkezinin yeterince yer değiştirmesi, patlatma düzleminin hemen altında planlanan kama şekilli bir parçanın patlatılarak, o noktada bir devrilme boşluğu yaratılmasıyla sağlanır. Örme duvarlardan oluşan yapılar, patlatmadan hemen sonra henüz yana yatarken yerçekimi nedeniyle parçalanırken, betonarme yapılar devrilirken dahi rijitliğini korumakta ve ancak yere çarptıklarında parçalanmaktadırlar. Özellikle bu tür yapılarda patlatmanın başarısı açısından kama geometrisinin çok iyi hesaplanması gerekmektedir.

Burada yapılacak kama geometrisi hesaplarında şu kabuller yapılmaktadır;

- Yapı, prizmatik bir şekle sahiptir, yani dış duvarlar düşeydir.
- Patlatma düzleminin üzerinde yer alan yapı bölümünün ağırlık merkezi bellidir ve kamanın kütlesi ihmal edilmektedir.
- Patlatma sonrasında yapı, kama ekseninin oluşturduğu bir doğru çevresinde dönmektedir.
- Dönme hareketi yapının eğilme mukavemetinden etkilenmez, yani patlatma düzleminde yapının tamamen koptuğu düşünülmektedir.
- Dönme hareketi "sonsuz yavaş" şekilde gelişmektedir, yani hareket eden yapının atalet momentiyle bir engelin aşılması söz konusu değildir.
- Kama boşluğu, patlama sonucu oluşan moloz veya patlamayan temel demirleri tarafından daraltılmamaktadır(Oehm, 1992).

Şekil 1.' de yapı ve patlatma tekniğine konu olabilecek dört temel yapı ve kama tipi görülmektedir.

Bu kapsamda bu projede genelde en sık kullanılan kama tipi olan, 1. Tip Kama yöntemi kullanılması esas alınmıştır. Patlatılacak kama patlatma düzleminden yukarı doğru dikdörtgen şeklinde açılmaktadır. Devrilen yapı, temelin dış kısmına doğru herhangi bir engel olmadan yatar. Bu kama şeklinde, zemin seviyesinden veya bir çalışma platformundan belli yükseklikte devrilme yarıkları açılır. Oluşturulması düşünülen kama alanı içindeki taşıyıcı elemanlarda patlatma delikleri açılır ve doldurulur. Yapı devrilirken kamanın üst kenarı, patlatma düzlemine ve patlatma düzlemi altındaki yapının dış kenarına çarpar. Bu sırada yapının ağırlık merkezinin izdüşümü yapı alanının dışına taşmış ise devrilme koşulu gerçekleşir ve yapı hareketine devam ederek yıkılır (Özer & Karadoğan, 2012)(Oehm, 1992).



Şekil 1. Dört Temel Kama Tipi (Soldan sağa: 1. Tip, 2. Tip, 3. Tip, 4. Tip)(Oehm, 1992).

3.2 Kullanılan Patlayıcı Türleri

Uygulama esnasında; C4 (M112) tahrip kalıbı, 60 derece konik açılı M2A3 (Composition B ve Pantelit) şekilli şarj, infilaklı fitil ve elektrikli kapsül kullanılmıştır.

3.2.1 C4 bileşiği(plastik tahrip maddesi)

% 91 RDX ve % 9 plastik madde ihtiva eden bir patlayıcı maddedir. C4 bileşiği tahrip imla hakkı olarak C3 bileşiğinin yerini alacağı gibi paralama hakkı olarak ta kullanılır. C3 bileşiğinden daha kırıcı ve daha geniş bir sıcaklık derecesi spektrumunda (-57 °C'den +77 °C'ye kadar) şekil verilebilir olup, daha dayanıklı ve sualtı tahriplerinde kullanıldığında su aşındırmasının daha az olabileceği bir bileşiktir. Ele ve elbiseye bulaşmaz (U.S Army Explosives, 2007).

3.2.2Elektrikli kapsül

Elektrikli kapsüller, elektrikli ateşleme sisteminin yegâne parçasıdır. Elektrikli kapsüller, prensipte içine iki iletken kablo ile bağlı bir elektrikli kibrit başı yerleştirilmiş özel tahrip kapsülünden oluşur. İletken iki kablonun ucu akım kaynağına bağlıdır.Verilen akım, kablodan ve kibrit başının direnç telinden geçer. Akım direnç telini kızdırır ve üzerindeki eczayı yakar. Bu yanma kapsül içerisindeki primer ve ana patlayıcıya kadar devam ederek patlatma gerçekleşir(U.S Army Explosives, 2007).

3.2.3İnfilaklı fitil

İnfilaklı fitil, esas olarak ortada PETN çekirdek, etrafında kopmaya karşı dayanıklılık vermek üzere yerleştirilen tekstil bir katman ve dışta bir naylon kaplamadan oluşmaktadır. İnfilaklı fitiller, her türlü kapsül ile ateşlenebilir(U.S Army Explosives, 2007).

3.2.4Patlayıcı madde miktarının hesaplanması

Çalışma kapsamında; yıkılması planlanan baca üzerinde, patlayıcı şarjı için delik delme ekipmanı olmaması nedeniyle, yüzeysel şarj yapılması planlanmıştır. Hilti yardımı ile oluşturulan boşluklara yerleştirilecek patlayıcı miktarının belirlenmesinde Thomas'ın 1985 yılında yapmış olduğu çalışmalarından belirtilen ve yüzey şarjı için uygun bir yaklaşım olan, yıkılacak hacim ve malzeme özelliklerine göre belirlenen aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (1).

$$L = V \times q \qquad (1)$$

Burada;

L=Kullanılacak patlayıcı miktarı (kg) (TNT cinsinden)

V= Patlatılacak hacim (m^3)

q= Özgül patlayıcı miktarı (kg/m^3)

Patlayıcı ile parçalanacak kısmın boyutları: 3m x 1,4 m x 0,6 m

Patlatılacak kısmın hacmi: 2,52 m^3 olarak hesaplanmıştır.

Özgül patlayıcı miktarının belirlenmesinde, literatürde yer alan, Çizelge 1.'de verilen değerlerden faydalanılmıştır.

Çizelge 1.Basamak Metodu Şaft Kazısı Parametreleri(Army, 1992)

Malzeme	DelikBoyu (ft)	q (lb/ft^3)	q (kg/m^3)
Toprak	Tümdeğerler	0.07	1,21
Zayıfduvar	5 ft (1,5 m)'den az	0.32	5,13
Toprak yapılar	5 ft (1,5 m)'den fazla	0.29	4,65
Sağlamduvar	1 ft (0,3 m)'den az	0.88	14,1
Beton Blok	1 ft (0,3 m)'den büyük, 3 ft (0,9 m)'den küçük	0.48	7,69
YoğunBeton	1 ft (0,3 m)'den az	1.14	18,26
BirinciSınıfDuvar	1 ft (0,3 m)'den büyük, 3 ft (0,9 m)'den küçük	0.62	9,93
Betonarme	1 ft (0,3 m)'den az	1.76	28,19
Betonarme	1 ft (0,3 m)'den büyük, 3 ft (0,9 m)'den küçük	0.96	15,38
Betonarme	3 ft (0,9 m)'den büyük, 5 ft (1,5 m)'den küçük	0.8	12,81
Betonarme	5 ft (1,5 m)'den büyük, 7 ft (2,1 m)'den küçük	0.63	10,09
Betonarme	7 ft (2,1 m)'den büyük	0.54	8,65

Baca üzerinde açılan boşluklar ve yapı malzemesi dikkate alındığında en uygun değer 7,69 kg/m^3 (0.48 lb/ft^3) olarak alınmıştır. Bu değerlere göre;

L=V.q= 2,52 m^3 x 7,69 kg/m^3 = 19,38 kg (TNT)

Elde edilen 19,38 kg lık değer TNT cinsinden hesaplanmıştır. Çalışmada; bacanın betonla dolu orta kısmını zayıflatmak maksadıyla askeri literatürde M2A3 olarak geçen, 15 lb. (6,8 kg) patlayıcı içeren (Composition B ve Pantelit) 60 derece konik açılı 2 adet şekilli şarj kullanılması planlanmıştır. M2A3'ün etkisinin TNT cinsinden karşılığı 1,16 olarak bilinmektedir(U.S Army Explosives, 2007). Buna göre;

2 adet M2A3: 2 x 6,8 kg = 13,6 kg

TNT cinsinden ise; 13,6 kg x 1,16 = 15,78 kg elde edilmiştir.

Hesaplanan toplam patlayıcı miktarından, kullanılan M2A3 miktarının TNT cinsinden miktarı çıkarılırsa;

19,38 kg – 15,78 kg = 3,6 kg daha patlayıcıya ihtiyaç vardır (TNT cinsinden)

Eksik kalan patlayıcı, C-4 (M-112) cinsi patlayıcı ile tamamlanması düşünülmüştür. C-4'ün etkisinin TNT cinsinden karşılığı 1,37 olarak bilinmektedir(U.S Army Explosives, 2007). Buna göre;

İhtiyaç duyulan TNT cinsinden patlayıcı miktarı olan 3,6 kg'lık değer, C-4 cinsine çevrilecek olursa;

3,6 kg / 1,37 = 2.62 kg olarak hesaplanmıştır.

Özet olarak; 13,6 kg M2A3 ve 2,62 kg C-4 (M-112) patlayıcı madde kullanılmıştır. TNT cinsinden kullanılan toplam patlayıcı miktarı ise 19,38 kg dır.

3.3 Kamanın Oluşturulması ve Patlayıcının Yerleştirilmesi

İcra edilen faaliyette delik delmek için teknik cihaz bulunmadığı için bacanın 4 metre yüksekliğindeki kısmına hilti yardımıyla, kullanılacak C4 (M112) plastik patlayıcı zinciri

genişliği ve yüksekliğinde "Birinci Tip Kama" yöntemine uygun şekilde (kama şeklinde) bir hat açılmıştır. Kamanın oluşturuluşu Şekil 2.de gösterilmiştir.

Askeri literatürde M-112 Tahrip Kalıbı ismi verilen C4 patlayıcısı, infilaklı fitil yardımıyla bacanın iki yanı ve ön kısmında açılan kanallara uygun şekilde 3 ayrı düzenek hazırlanmıştır. Düzeneklerin ucundaki infilaklı fitiller uzatılarak birleştirilecektir (Şekil 3).

Şekil 2. Birinci Tip Kama Oluşturuluşu.

Şekil 3. Oluşturulan Boşluklara Yerleştirilen Patlayıcı Düzenekler.

Bacanın içi betonla dolu orta kısmını zayıflatmak maksadıyla ise askeri literatürde M2A3 olarak geçen ve 6,8 kg(15 lb.) patlayıcı içeren (Composition B ve Pantelit) 60 derece konik açılı 2 adet şekilli şarj; hazır bulunan pencerelerden yapının iç orta kısmına birbirini makaslayacak şekilde yerleştirilmiş ve infilaklı fitilleri diğer 3 hattan gelecek olan infilaklı fitil uçlarıyla birleştirilmek üzere uzatılmıştır (Şekil 4.).

Şekil 4. Düzeneklerin Açılan Boşluklara Yerleştirilmesi.

3.4 Sıkılama ve Parça Fırlamasına Karşı Yapılan Uygulamalar

Çivi çakma tabancasıyla açılan kanal üzerine çakılan tahtalar ile patlayıcılar; tuğla ve kaya parçaları ile enerji kaçışı engellenecek şekilde sıkılanmıştır. Müteakiben yine çivi çakma tabancasıyla kanal ve tahtalar üzerine sac ve halıfleks çakılarak parça tesirini minimuma indirmek hedeflenmiştir (Şekil 5.).

Yıkım esnasında oluşabilecek toza karşılık, teknik ekipmanın yetersiz olması ve çevrede tozdan etkilenecek yerleşim birimlerinin uzak noktalarda yer alması sebebiyle bir önlem alınmamıştır.

Son olarak uzatılan infilaklı fitil uçları birbiri ile irtibatlaşmış, uçlarına elektrikli kapsül koşulmuş ve ateşleme kablosu 300 metre uzatılarak manyeto ile sutre gerisinden ateşleme gerçekleşmiştir. Gerekli emniyet tedbirleri (400 metre yarıçaptaki yollar trafiğe kapatılmış, bölgede patlatma yapılacağına dair anons yapılmış, ambulans ve itfaiye bölgede hazır bulundurulmuştur) alındıktan sonra infilaklı fitil ile birbirine bağlı bulunan patlayıcı zinciri ve şekilli şarjlar infilaklı fitil ucuna elektrikli kapsül irtibatlanıp ateşleme kablosu 300 metre uzatılarak manyeto ile sutre gerisinden ateşlenerek baca başarılı şekilde ve çevreye zarar vermeden yıkılmıştır.

Şekil 5. Sıkılama ve Parça Fırlamasına Karşı Yapılan Uygulamalar

Şekil 5. 6. Patlama Anı

4 SONUÇLAR

Patlatmalı yapı yıkımı, II. Dünya Savaşından itibaren, özellikle büyük ve/veya yüksek yapıların yıkımında tercih edilen bir yöntem olmuştur. Uygulamaların hızlı, ekonomik (yapı büyüklüğüne göre) ve güvenli (uzman personeller vasıtasıyla icra edildiğinde) olması patlatmalı yapı yıkımını cazip kılmaktadır. Patlatmalı yapı yıkımı sadece yapının tahrip edilmesi olarak düşünülmemelidir. Yapı istenilen şekilde ve doğrultuda, uygulamacının kontrolünde yıkılması önem arz etmektedir.

Bu çalışmada; İstanbul İli Beykoz İlçesinde yer alan Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'na ait askeri bölge içerisinde yer alan, 20 metre yüksekliğindeki bacanın makineli yıkımı iş güvenliği açısından riskli bulunarak kontrollü yapı yıkımı metotları ile yıkılmasına karar verilmiştir. Uygulamada, askeri envanterde bulunan patlayıcı malzeme ve ekipmanlardan faydalanılmıştır. Kontrollü yapı yıkım teknikleri incelendiğinde, baca yıkımına en uygun yöntemin kama yöntemi olduğu belirlenmiş ve birinci kama tipi olarak adlandırılan yöntem tercih edilmiştir. Mevcut bacanın boyutlarına göre, kama yöntemi uygulama parametreleri belirlenerek uygulama gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak söz konusu baca istenilen yöne yatırılmak suretiyle başarıyla yıkılmıştır (Şekil 7.).

Gerçekleştirilen yıkım sonucunda; çevrede herhangi bir tahribata neden olunmamış, baca istenilen doğrultuda güvenli bir şekilde yıkılmıştır.

Ayrıca bu uygulama, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı bünyesinde, askeri patlayıcı kullanılarak gerçekleştirilen ilk yapı yıkımı olmuştur.

Şekil 7. Yıkılan Baca.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışma kapsamında verdiği desteklerden ve yardımlardan ötürü Prof. Dr. Ali KAHRİMAN'a, Yrd.Doç.Dr. Abdulkadir KARADOĞAN'a ve Türk Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'nın en seçkin birliklerinden biri olan Sualtı Savunma Grup Komutanlığı'nın, başta komutanı olmak üzere, yılmadan ve bıkmadan verilen görevi kusursuzca yerine getiren güzide ve kahraman personeline teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Army, H. D. (1992). *Explosives and Demolitions Manual, FM 5-250.* Washington, DC,: Headquarters Department of the Army.

Koca, O. (2006). *Patlayıcı Maddelerle Kontrollü Yapı Yıkımı.* İstanbul: İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü .

Oehm, W. (1992, 1). Kinematische Bedingungen beim Sprengen starrer Bauwerke. *Nobel Hefte*, s. 16-25.

Özer, Ü., & Karadoğan, A. (2012). Patlatmali Yapi Yikim Tekniği, Binalarda Patlayıcı Kullanılarak Yıkım Tekniği. İleri Yıkım Teknikleri Eğitimi.

Özyurt, M. C. (2013). *Patlayıcı Madde Kullanılarak Yapıların Kontrollü Yıkılması ve Verimliliğinin İncelenmesi.* İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Thomas, K. (1985). Formeln zur Lademengenberechnung fur das Sprengen von Bauwerken und Bauwerkteilen. Dortmund: Nobel Hefte.

U.S Army Explosives. (2007).

Plastik Sulu Sıkılama Kartuşlarının Yeraltı Patlatmalarında Toz Bastırma Etkisinin Araştırılması

The Investigation of Plastic Water Stemming Cartridges Effect on Dust Suppression in Underground Mine Blasting

M. G. Özdoğan, T. Depci
İnönü Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Malatya

A. Yücel
Tokgün İnş. San. Tic. Ltd Şti., Malatya

ÖZET Yeraltı maden ocaklarında en önemli problemlerden biri patlatma sonra oluşan tozdur. Yeraltı maden ocağında çalışanlar boyutları 0,5 - 5 mikron arasında olan toza uzun süreli maruz kaldığında pnömokonyoz adı verilen meslek hastalığına yakalanmaktadır. Pnömokonyoz hastalığına sebep olabilecek toza maruziyeti azaltmak için yeraltında alınacak en önemli tedbir etkin bir havalandırma sisteminin kullanılmasıdır. Son zamanlarda maden ocağındaki toz konsantrasyonunu azaltmak için havalandırmayla birlikte sulu sıkılama kartuş kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada Sivas-Divriği'nde bulunan yeraltı manyetit ocağında sulu sıkılama kartuşlu ve kartuşsuz patlatmalar yapılmış, ortamdaki toz ölçümleri alınmış ve sulu sıkılama kartuşlarının pnömokonyoz hastalığına neden olan tozları bastırma etkisi araştırılmıştır.

ABSTRACT The dust occurred after a blast in underground mine is one of the important factors. If underground miners are exposured to the dust sized 0,5 – 5 micron, they catch occupational disease that named as pneumoconiosis. In underground mine, the most important measure to be taken in order to reduce the exposure to the dust that may cause pneumoconiosis is using an effective ventilating system. Recently, the usage of ventilating system with plastic water stemming cartridges has begun to reduce the dust concentration. In this study, blasts with and without plastic water stemming cartridges were done and environmental dust measures were taken in underground magnetite mine in Sivas – Divriği. By doing so, the reducing effect of plastic water stemming cartridges on the dust that has adverse effects on human health.

1 GİRİŞ

Yeraltı madenciliğinde hazırlık ve üretim çalışmalarında patlatma faaliyeti kendine geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Etkin bir patlatma ile yükleme ve nakliye masraflarında büyük miktarda azalma olacaktır. Ancak yeraltı patlatmalarında dar bir alanda çalışma yapılması birçok soruna sebep olmaktadır. Bu sorunlardan en önemlilerinden biri toz problemidir. Bu sorunun üstesinden gelmek için göz önüne alınması gereken parametrelerden biri de sıkılama malzemesinin seçimidir. Özözen A. (1996) çalışmasında TKİ Soma Eynez yeraltı maden ocağındaki patlatmalarda sıkılama malzemesi olarak plastik sulu sıkılama kartuşlarını kullanmış ve bu kartuşların kömür ocağı atmosferine, patlatma performansına ve parça boyut dağılımına olan etkisi incelenmiştir. Bu çalışmaya göre sıkılama kartuşlarıyla yapılan patlatmalar sonucunda çamurlu sıkılamaya göre parça boyutunun daha homojen ve düzenli;

ocak atmosferinde toz ve zararlı gaz konsantrasyonun daha az olduğu ve bu şekildeki patlatmaların daha ekonomik olduğu belirtilmiştir.

Zhen-Dong Cui (2010) çalışmasında Çin'deki Tieshanping tünelinde su çantaları ile patlatma uygulamasının etkinliği incelenmiştir. Bu çalışmaya göre geleneksel kil sıkılamalarına ek olarak polietilen plastik su çantalarına su doldurularak sıkılama yapılmıştır. Su çantaları ile patlatma uygulaması sonucunda kaya parçalanması artmakta, toz miktarı azaltmakta, yaklaşık %27 oranında patlayıcı miktarından tasarruf sağlamakta olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada ise sulu sıkılama kartuşlarının yeraltı patlatmalarından sonra ortaya çıkan tozu bastırma etkinliği araştırılmıştır.

2 SIKILAMA İŞLEMİNİN PATLATMA FAALİYETİNDEKİ ETKİSİ

Sıkılama, patlatma deliğinin serbest yüzeye sınır olan kısmının patlayıcı olmayan bir madde ile tıkanarak, patlayıcıdan elde edilen enerjinin, tıkama başarısına bağlı olarak, daha yüksek verimlilik oranıyla, kayacın kırılmasına yönlendirilmesi işlemidir. İyi sıkılamanın en önemli faydası kayacın daha iyi kırılmasıdır. Ancak iyi sıkılama, aynı zamanda daha iyi öteleme de sağlar. Dolayısıyla, yükleme ve taşıma daha kolay ve ekonomik olarak yapılabilir (Cevizci H., 2010). Sıkılama, patlatma faaliyetlerinde patlayıcı gazları mümkün olduğu kadar tutar. Yeraltı maden ocaklarında sıkılama, hava şokunu, sıcak patlayıcı gazları ve toz konsantrasyonunu azaltır, daha iyi parça boyut dağılımı sağlar (Kopp,1987). Sıkılamanın etkin bir şekilde yapılmadığı atımlar sonucunda ise; yüksek oranlarda solunabilir toz konsantrasyonları, zararlı patlatma gazları oluşumu, yetersiz patlatma performansı, ateşlenmemiş patlayıcı kartuşların delikten çıkması ve buna bağlı olarak delik ağzı çevresindeki şok dalgasının yoğunluğunun azalması gibi olumsuz durumlarla karşılaşılacaktır (Özözen vd.,1996).

Patlatma işleminde kritik öneme sahip olan sıkılama malzemesinin; kuru olması, delik kesitini tamamen doldurabilmesi, patlayıcı üzerinde olumsuz etki yaratmaması ve patlayıcı ile atmosfer arasında iyi bir hava geçirmezliği sağlaması gerekmektedir.

Bir sıkılama malzemesinin sahip olması gereken özellikleri sıralayacak olursak;

• Sıkılama malzemesi yüklemesi kolay ve güvenli olmalı, kolay sıkışabilmeli, deliğin tüm alanını doldurmalı ve herhangi bir hata durumunda kolaylıkla yerinden çıkarılabilmelidir.

• Sıkılama maddesinde insan sağlığı olumsuz etkisi olan silisyum % 1'den fazla olmamalı ve silisik asit bulunmamalıdır.

• Patlayıcı üzerinde negatif bir etki yaratmamalı, yerleştirilirken ateşleme kablolarını yıpratmamalı ve ateşleme sırasında kıvılcım oluşturmamalıdır (Landwehr,1960).

Sulu sıkılama ile ilgili ilk çalışma 1953 yılında Belçika'da yapılmıştır. Bu uygulamadan sonra benzer sıkılama uygulamaları Almanya ve İngiltere'de yapılmıştır (Wood,1962). Daha sonra yapılan araştırmalar sonucunda gözlenen avantajlarından dolayı yeraltı patlatmalarında kullanımı dünya genelinde artmıştır.

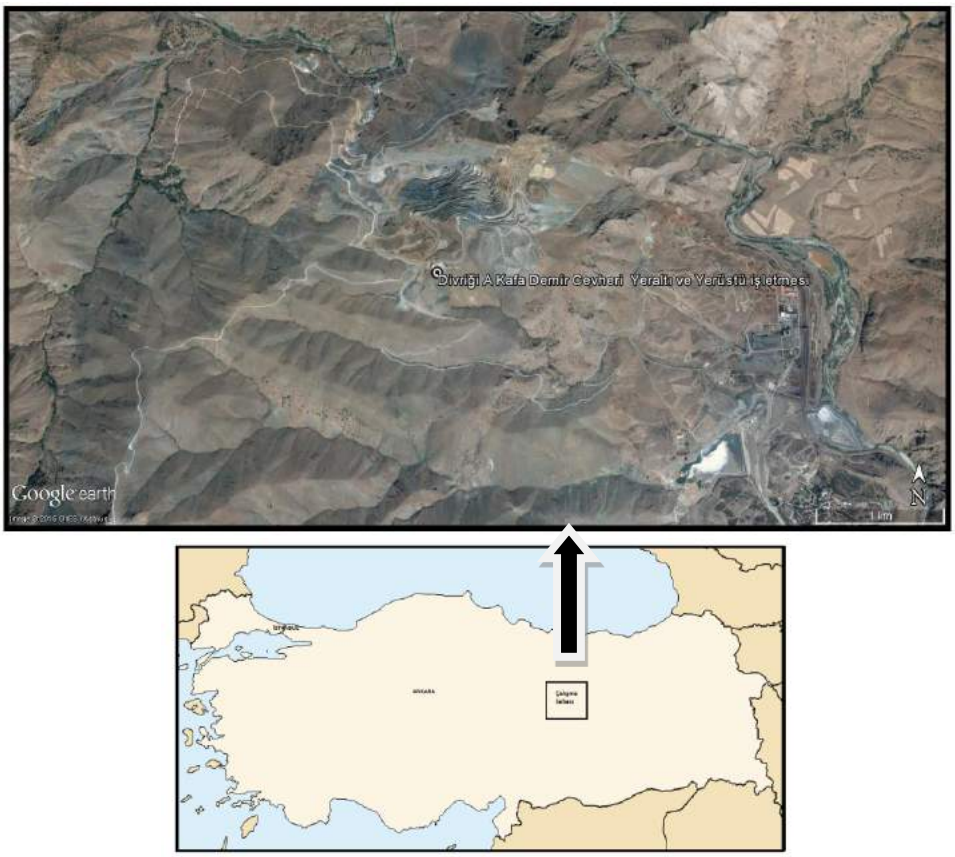
Suyun sıkıştırılamaz bir malzeme olmasından dolayı patlatmayla ortaya çıkan basınç her yöne eşit olarak dağılacaktır. Durgun su hızlı bir şekilde hareket ettirilemez ve patlayıcının infilak etmesiyle suyun üzerinde hızlı ve ani bir kuvvet uygulanması durumunda bile delikten çıkma, fırlama ihtimali oldukça düşüktür (Wood,1962).

Sulu sıkılama kartuşlarıyla sıkılamanın avantajları; diğer sıkılama yöntemlerine göre çok daha kısa süre de yapılması, işçilik masraflarının en aza indirilmesi ve en önemlisi işçi sağlığı açısından zararlı gaz ve tozu bastırılmış bir çalışma ortamı sunmasındır. Ayrıca yeraltı kömür

işletmelerinde grizunun ateş alma ihtimalini aza indirmekte ve kömür tozu miktarını azalttığı için kömür tozu patlamalarını engellemektedir.

3 ÇALIŞMA SAHASININ TANITIMI

Çalışma sahası Sivas ili Divriği ilçesinin 11 km güneybatısında bulunmaktadır. Yeraltı ve yerüstü işletme yöntemleriyle üretim yapılmaktadır. Çalışma alanın yer bulduru haritası Şekil 1'de gösterilmektedir.

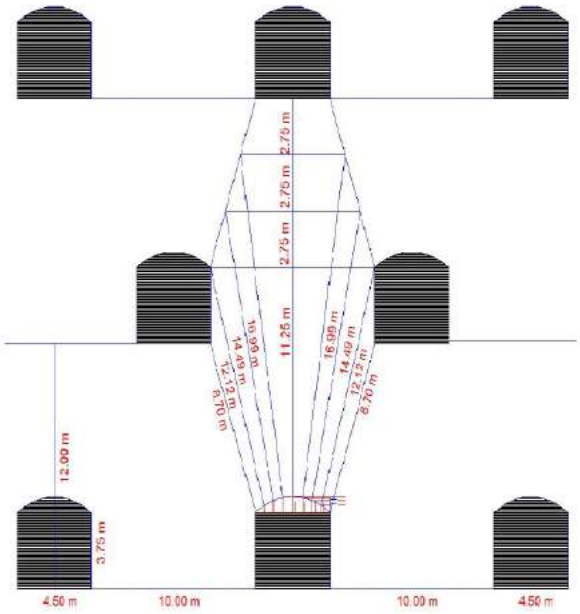


Şekil 1. Çalışma sahasının yer bulduru haritası

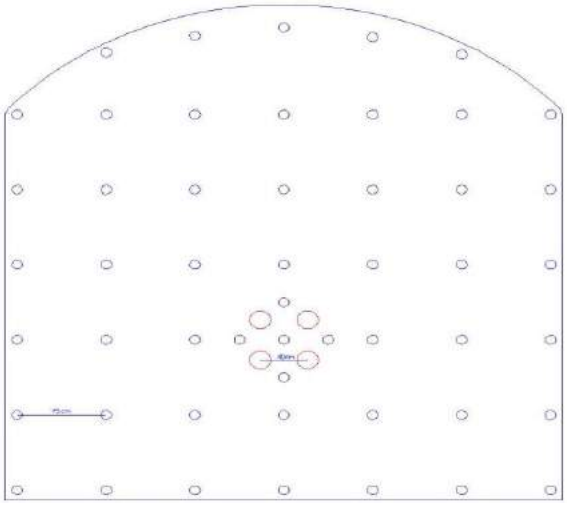
3.1 Yeraltı Maden İşletmesindeki Patlatma Faaliyetleri

Ölçümün yapıldığı alanda Ekinbaşı, A kafa ve Cürek yeraltı işletmeleri bulunmaktadır. Ocaklarda ara katlı göçertme yöntemi ile üretim yapılmaktadır. Bu yönteme göre 12 metrelik aralıklar ile üretim katları hazırlanarak, 4,5 x 4,5 m^2 kesitinde hazırlık galerileri ve bu galeriler arasında 10 metrelik emniyet topuğu oluşturulup, her üretim katı doğu ve batı olmak üzere iki ayrı pano halinde çalıştırılmaktadır. Patlatma tekniği dikkate alınarak her iki kat arasında arakat yapılarak, arakatların hazırlık galerileri, anakat hazırlık galerilerine göre şeş beş düzende çalışmaktadır. Mevcut tavan patlatma paterni Şekil 2, hazırlık galerileri için patlatma paterni ise Şekil 3'de gösterilmektedir.

Hazırlık katlarında ilerleme için yapılan delme işlemlerinde Atlas Copco Bomer 282 kullanılırken, tavan göçertme yöntemi ile üretim yapılırken Atlas Copco H1254 model Simba delme makinası kullanılmaktadır.



Şekil 2. Tavan patlatma paterni



Şekil 3. Hazırlık galerisi patlatma paterni

Yeraltı işletmesinde hazırlık galerilerinde paralel orta kesme sistemiyle, 4 m boyunda ortalama 51 adet patlatma deliği ve 4 adet çürütme deliği delinmektedir. Patlatma delikleri arasındaki mesafe 75 cm, çürütme delikleri arasındaki mesafe ise 40 cm olarak hesaplanmıştır. Patlatma deliklerinin çapı 45 mm, çürütme delikleri ise 89 mm'dir. Patlatma da kullanılan anfo ve dinamitin özellikleri Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Kullanılan anfo ve dinamite ait özellikler

Teknik Özellikler	Anfo	Dinamit
İdeal infilak hızı	4797 m/sn	6200-6400 m/sn
Enerji	3810 kj/kg	3706 kj/kg
İnfilak Isısı	3059 K°	2583 K°
Gaz hacmi	987 lt/kg	952 lt/kg
Yoğunluk	0,8 g/cm^3	1,18- 1,20 g/cm^3
Suya dayanım	Yok	Mükemmel

4 METOD

Çalışmada 4 adet kartuşlu, 4 adet kartuşsuz olmak üzere toplam 8 adet patlatma hazırlık galerilerinde yapılmış olup ölçümler Trunkey Dustmate (Şekil 4) CEN/TS 16013-3 fotometre cihazı kullanılarak ortamdaki 0,5-20 μm arasındaki partiküllerin konsantrasyonu mg/m^3 olarak ölçülmüştür.

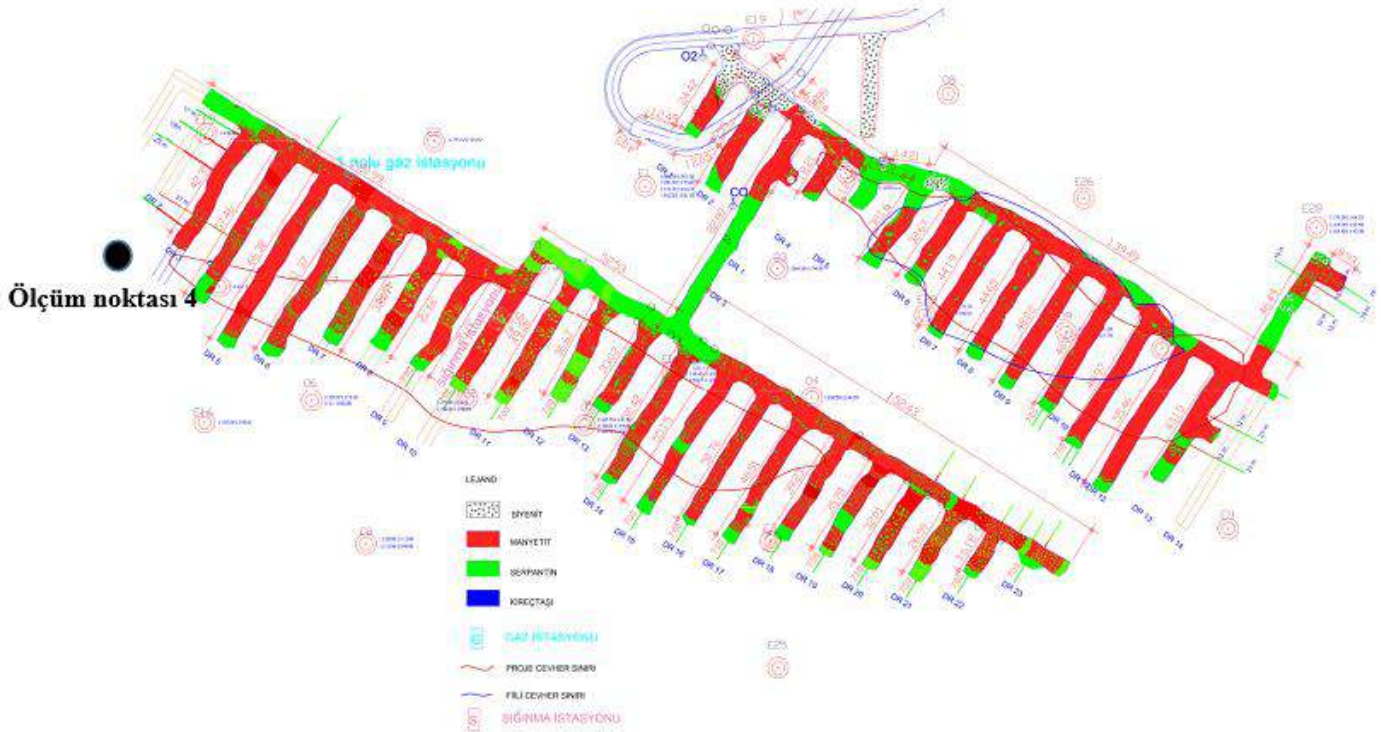
Şekil 4. Kullanılan toz ölçüm cihazı

Ayna delme işlemi tamamlandıktan sonra her bir patlatma deliğine 500 gr ağırlığında dinamit, gecikmeli kapsül ve 4,5-5 bar basınçta kuru anfo deliğin (3/4‘ünü dolduracak şekilde) şarjlanır. Kalan 1/4‘üne de sulu sıkılama kartuşu yerleştirilir. Patlatmada kullanılan kartuşlar 38 mm çapında ve 435 ml su alım hacmine sahiptir (Şekil 5).

Şekil 5. Patlatmalarda kullanılan sulu sıkılama kartuşu

Çalışmalar Ekinbaşı yeraltı işletmesinde 1134 kotundaki (Şekil 6a ve 6b) baca 16, baca 17, baca 22 ve 1146 kotundaki baca 3’te aynalarda yapılmıştır. Patlatma yapılıp 5 dakikalık bekleme süresinden sonra havalandırma sistemi çalıştırılmadan aynaya 20-25 metre uzaklıktan 2 dakikalık ölçümler alınmıştır. Ölçüm sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

Şekil 6a. 1134 kotundaki çalışma alanları



Şekil 6b. 1146 kotundaki çalışma alanları

Çizelge 2. Toz Ölçüm Sonuçları

Baca Numarası	Kartuşlu Patlatmada Çıkan Toz Miktarı (mg/m3)	Kartuşsuz Patlatmada Çıkan Toz Miktarı (mg/m3)	Toz Azalma Yüzdesi
Baca 17 (1134 m)	10,31	12,36	19,8
Baca 16 (1134m)	10,5	13,30	26,6
Baca 22 (1134m)	9,37	11,25	20
Baca 3 (1146m)	10,05	11,9	18,4

5 SONUÇLAR

Yapılan ölçümler sonucunda sulu sıkılama kartuşu ile yapılan patlatmalarda kartuşsuz yapılan patlatmalara göre ortamdaki toz konsantrasyonunun % 18,4 ile % 26,6 daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Sulu sıkılama kartuşlarının tozu bastırmasıyla havalandırma işlemi daha kısa sürede tamamlanarak zamandan tasarruf sağlanırken, üfleyici fanın çalışma süresini azalttığı için uzun süreli periyotta çalışma masraflarını da azaltacaktır. Bu çalışma sonucunda yeraltı patlatma uygulamalarında sulu sıkılama kartuşlarının pnönomokonyoz hastalığına neden olacak tozlara karşı maruziyeti azalttığı ve işçi sağlığı açısından faydalı olduğu görülmüştür.

6 TEŞEKKÜR

Bu araştırma sırasında, gerek arazi çalışmalarında gerekse diğer faaliyetlerde her türlü yardımda bulunan başta Medet Aydın olmak üzere, proje müdürü Şirzat Karataş'a, işletme müdürü Ali Kemal Çulha'ya ve tecrübelerini bizimle paylaşan maden mühendisi Emrah Doğan'a teşekkür ederiz.

Bu çalışma 2014/49 numaralı İnönü Üniversitesi Güdümlü Projesi kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Cevizci, H., 2010, Açık Ocak Patlatmalarinda Sıkılama Parametresinin Patlatma Verimliliğine Etkisi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, s. 98, Isparta

Cui Z.-D., 2010, Effect Of Water–Silt Composite Blasting On The Stability Of Rocks Surrounding A Tunnel, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* , Volume 47, Issue 6, p. 1034–1037.

Kopp, J.W., 1987, Stemming Ejection and Burden Movements of Small Borehole Blasts, *Bureau of Mines Report of Investigations 9080*, p. 15.

Landwehr, M. 1960, Über die Anwendung von Wasse als Besatz und Erfahrungen in Schieb Technischer, Sicherheitlicher und Gesunheitlicher Hinsicth mit der Verwendung von Wasserbesatzpatronen bei der Schie Barbeit im Bergbau, Nobel Hefte , March.

Özözen, A., Ünver , B., Karaaslan R., Mamurekli, D., 1996, Sıkılamanın Yeraltı Patlatma İşlemlerinde İş Güvenliği, İşçi Sağlığı ve Patlatma Ekonomisi Açısından İncelenmesi, *2. Delme ve Patlatma Sempozyumu*, s. 53-62, Ankara.

Özözen, A., 1996, Plastik Sulu Sıkılama Kartuşlarının Patlatma Verimine, Ocak Atmosferine ve Patlatma Ekonomisine Olan Etkilerinin İncelenmesi, *Hacettepe Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 134, Ankara.

Yeraltı Metal Madenciliğinde Yapılan Patlatma Faaliyetlerinde Oluşan Risklerin Hata Türü Etki Analizi (HTEA) ile Sınıflandırılması

Classification of Blasting Operations Risks in the Underground Metal Mining by Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

A.K. Eyüboğlu
Maltepe Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, İstanbul

M.K. Özfırat
Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET Madencilik faaliyetleri iş kazalarının sıklıkla yaşandığı, belirli ve belirsiz birçok tehlike unsurunu bünyesinde barındıran iş kollarından biridir. Can ve mal kaybına sebebiyet verecek bu tehlike unsurlarından biri de patlatma faaliyetleridir. Ciddi kayıplara sebebiyet verecek bu tür tehlike unsurlarının bertarafı için risk analizi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, olasılık ve şiddet parametrelerinin yanı sıra tehlikeli faaliyetlerden kaynaklı ortaya çıkan riskleri daha detaylı değerlendirme ve önlem alma imkanı sağlayan farkedilebilirlik parametresine sahip HTEA (Hata Türü Etki Analizi) yöntemi ile metal madenlerinde yapılan patlatma faaliyetlerindeki risk faktörleri incelenmiştir. Çalışmanın sonunda saptanan risk faktörleri için gerekli önlemler alınarak risk kontrol değerlendirme sonrası hesaplanan RÖS (Risk Öncelik Sayısı) değerlerinde ciddi düşüşler görülmüştür.

ABSTRACT The great numbers of accidents occur in the mines because of mining activities contain many hazard risk in itself. Blasting activities are one of the most significant hazards in mining sector. In order to avoid these hazards that cause serious losses, risk analysis is seen as significant. In this study, risk factors in blasting activities performed in metal mines are analyzed by probability and severity parameters as well as FMEA (Failure Mode Effect Analysis) having noticeability parameters that provide a more detailed assessment and prevention opportunity for the risks created by hazardous activities. Necessary precautions were taken for the identified risk factors determined at the end of study and as a result there has been a serious decline in the value of RPN (Risk Priority Number) calculated after risk control assessment.

1. GİRİŞ

Türkiye'de SGK istatistiklerine bakıldığında 1940-2015 yılları arasında maden kazalarında toplam dört binden fazla maden işçisi hayatını kaybetmiş ve yüz binden fazla maden işçisi ise yaralanmıştır. Tüm sektörlerde yaşanan ölümlü iş kazalarının yaklaşık % 9'unu madencilik sektöründe yaşanan kazaları oluşturmaktadır. Maden ocaklarında yaşanan iş kazalarının büyük bir kısmı yeraltı maden ocaklarında meydana gelmektedir.

Cevher ve kaya kazısının kolayca yapılabilmesi yapılan patlatma faaliyetlerinde yaşanan iş kazaları sonucunda ölümler, yaralanmalar ve maddi hasarlar meydana gelmektedir. Patlatma

faaliyetlerinde geçmiş yıllarda yaşanmış kaza verilerine bakılarak ve olası meydana gelebilecek kazaların tahminleri yapılarak kapsamlı bir risk analizi yapılmalı ve güvenlik tedbirleri alınmalıdır. Ülkemizde otomotiv, sağlık, savunma, ulaştırma, tekstil ve imalat sektörlerinde kullanılan HTEA (Hata Türü Etki Analizi) yöntemi bu çalışmada risk unsurları en fazla olan sektörlerden biri olan yeraltı madenciliği hususunda değerlendirilmiştir. Farkedilebilirlik parametresi de dikkate alınarak yapılan hata türleri etkileri analizi, yeraltı metal madeni ocaklarında yapılan patlatma faaliyetlerinden doğabilecek iş kazalarını önlemede etkin bir şekilde kullanılabilir.

2.PATLATMA FAALİYETLERİNDEKİ RİSK FAKTÖRLERİ

Patlatma faaliyetleri belirli ve belirsiz birçok risk unsurunu bünyesinde barındırır. Yeraltındaki zor çalışma şartlarıyla birlikte patlatma faaliyetlerindeki risk ve tehlike unsurları beraber göz önünde bulundurulduğunda, olası bir tehlike anında tehlikeyi bertaraf etmek oldukça zordur. Patlatma faaliyetleri sonucunda meydana gelen kazaların tamamen ortadan kaldırılması ya da asgari boyutlara indirilmesi için kapsamlı bir risk analizi yapılmalıdır. Bu sebeple olası patlatma faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan ve çıkması muhtemel risk faktörleri iyi tespit edilmelidir. Yeraltı metal madenciliğinde yapılan patlatma faaliyetlerinde aşağıda belirtilmiş tehlike kaynaklarının kapsamlı analizi, belirli ve belirsiz tehlikelerin saptanmasını kolaylıkla sağlayacaktır.

- Statik Elektrik
- Yangın
- Kontrolsüz Patlama
- Yüksekte Çalışma
- Basınç
- El ile Taşıma
- El Aleti ile Çalışma
- Tehlikeli Maddeler
- Patlayıcı Madde ile Temas
- Yetersiz Aydınlatma
- Gürültü
- Egzoz Gazları
- Tekrarlanan Hareketler
- Fırlayan Kaya ve Malzeme Parçaları
- Zehirli Gazların Salınımı
- Personel Hataları
- Patlamamış Lağımlar
- Toz
- Havalandırma
- Nakliye Araçları

3.HATA TÜRÜ ETKİ ANALİZİ YÖNTEMİ (HTEA)

Hata Türleri Etkileri Analizi (HTEA) ordu, otomotiv, uzay ve bilgisayar endüstrisinde donanım ve sistemden kaynaklanan hataların saptanması, değerlendirilmesi ve önlenmesi uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca HTEA; QS 9000, ISO/TS 16949, ISO 9001:2000, OHSAS 18001 ve TS 18001 ve diğer kalite yönetim sistemlerinde bir zorunluluk haline gelmiştir (Durhan, 2006; Kahraman ve Demirer, 2010).

HTEA risk analizi metodu ile sistemdeki sorunlar, ilgili birimde çalışan kişilerin de yorumları göz önünde tutulup saptanarak sistemdeki her bir bölüme uygulanır ve sorunlar çözümlenir. Ayrıca farkedilebilirlik parametresi kullanılarak mevcut çalışma sisteminde aksamalara sebebiyet verecek durumlar herhangi bir sorun olmadan önce tahmin edilip önlemleri alınarak güvenli ve sorunsuz bir çalışma ortamı sağlanır. HTEA risk analizi yönteminde mevcut risk faktörü farkedilebilirlik, olasılık ve şiddet parametreleri ile değerlendirilir. Hata Türü Etki ve Analizi şu basamaklardan oluşmaktadır:

1-Tehlikelerin saptanması
2-Hataların etkilerinin, sebeplerinin ve mevcut kontrollerin saptanması
3-Olasılık, ağırlık, saptama ve RÖS değerlerinin saptanması (Çizelge 1-2-3)
4-RÖS değerlerine göre hataların sıralanarak önlemlerin belirlenmesi (Çizelge 4)
5-Öngörülen önlemlerin hayata geçirilmesinin ardından RÖS değerlerinin yeniden hesaplanması

Çizelge 1. Hatanın ortaya çıkma olasılığı ve derecesi (Özkılıç, 2005; Kahraman ve Demirer, 2010).

Hatanın Oluşma Olasılığı	Hatanın Olasılığı	Derece
Çok yüksek: Kaçınılmaz hata	1/2 ’den fazla	10
	1/3	9
Yüksek: Tekrar tekrar hata	1/8	8
	1/20	7
Orta: Ara sıra olan hata	1/80	6
	1/400	5
Düşük: Nispeten az olan hata	1/2000	4
	1/15000	3
Pek az: Olası olmayan hata	1/150000	2
	1/150000’den düşük	1

Hatanın meydana gelme olasılığı, hatanın meydana gelmesi durumunda vereceği şiddet ve bu hatanın farkedilebilirlik değerleri 1 ile 10 değerleri arasında ölçeklendirilerek Risk Öncelik Sayısı (RÖS) değeri hesaplanır (Çizelge 1, 2, 3). Olasılık (O), şiddet (Ş) ve farkedilebilirlik (F) değerlerinin çarpımıyla ortaya çıkan RÖS (Risk Öncelik Sayısı) değeri sonra Çizelge 4’e göre değerlendirilerek tehlikeleri bertaraf etme işlemlerine başlanır.

RÖS = O (olasılık) × Ş (şiddet) × F (fark edilebilirlik)
O: Her bir zarar türünün oluşma olasılık değeri,
Ş: Zararın ne kadar önemli olduğunun değeri, şiddeti,
F: Zarar meydana getirecek durumun keşfedilmesinin zorluk derecelendirilmesi,
RÖS: Risk öncelik sayısı.

Çizelge 2. Şiddetin etkisinin sınıflandırılması (Özkılıç, 2005; Wang vd., 2009; Kahraman ve Demirer, 2010)

Etki	Şiddetin etkisi	Derece
Uyarısız Gelen Yüksek Tehlike	Felakete yol açabilecek etkiye sahip ve uyarısız gelen potansiyel hata	10
Uyarısız Gelen Tehlike	Yüksek hasara ve toplu ölümlere yol açabilecek etkiye sahip ve uyarısız gelen potansiyel hata	9
Çok Yüksek	Sistemin tamamen hasar görmesini sağlayan yıkıcı etkiye sahip ağır yaralanmalara, 3. derece yanık, akut ölüm vb. etkiye sahip hata türü	8
Yüksek	Ekipmanın tamamen hasar görmesine neden olan ve ölüme, zehirlenme, 3. derece yanık, akut ölüm vb. etkiye sahip hata türü	7
Orta	Sistemin performansını etkileyen, uzuv ve organ kaybı, ağır yaralanma, kanser vb. yol açan hata	6
Düşük	Kırık, kalıcı küçük is görmezlik, 2. derece yanık, beyin sarsıntısı vb. etkiye sahip olan hata	5
Çok Düşük	İncinme, küçük kesik ve sıyrıklar, ezilmeler vb. hafif yaralanmalar ile kısa süreli rahatsızlıklara neden olan hata	4
Küçük	Sistemin çalışmasını yavaşlatan hata	3
Çok Küçük	Sistemin çalışmasında kargaşaya yol açan hata	2
Yok	Etki yok	1

Çizelge 3. Farkedilebilirlik ve dereceleri (Özkılıç, 2005; Wang vd., 2009; Kahraman ve Demirer, 2010)

Farkedilebilirlik	Farkedilebilirlik Olasılığı	Derece
Fark edilmez	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği mümkün değil	10
Çok az	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği çok uzak	9
Az	Potansiyel hatanın nedeninin saptanabilirliği uzak	8
Çok Düşük	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği çok düşük	7
Düşük	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği düşük	6
Orta	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği orta	5
Yüksek Ortalama	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği yüksek ortalama	4
Yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği yüksek	3
Çok Yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği çok yüksek	2
Hemen hemen kesin	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği hemen hemen kesin	1

Çizelge 4. Risk öncelik sayısı (RÖS) değerlendirmesi (Özkılıç, 2005; Wang vd., 2009; Kahraman ve Demirer, 2010).

RÖS Değeri	ÖNLEM
RÖS<40	Önlem almaya gerek yok.
40≤RÖS≤100	Önlem alınabilir.
RÖS>100	Önlem alınması gereklidir.

4. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmada ülkemizde bulunan metal madenlerinde yapılan patlatma faaliyetleri esnasında yaşanan kaza ve ramak kala istatistikleri göz önünde bulundurularak belirsiz ve belirli tehlikelerin önlenmesi için oluşturulmuş bir HTEA (Hata Türü ve Etkileri Analizi) sunulacaktır.

Yeraltı metal madenlerinde uygulanan patlatma faaliyetlerinde ortaya çıkan ve çıkması muhtemel risk faktörlerinin azaltılması ve önlenmesine yönelik HTEA risk analizi çalışması çizelgeler halinde gösterilmiştir (Çizelge 5, 6, 7, 8, 9). Çizelge 4 göz önünde bulundurularak olasılık, şiddet ve farkedilebilirlik parametrelerinin çarpımları sonucu ortaya çıkan kırktan büyük RÖS (Risk öncelik Sayısı) değerleri ile bu risk faktörlerine ilişkin önlem alınması sonrasında hesaplanan yeni RÖS (Risk Öncelik Sayısı) değerleri karşılaştırılmış ve HTEA analizinin kazaları önlemede ne derece etkili bir risk analizi metodu olduğu gösterilmiştir.

Çizelge 5. Patlayıcı Maddenin (Amonyum Nitrat) vücut ile temas etmesi

TEHLİKE	**RİSK**	**Ş**	**O**	**F**	**RÖS**	**PLANLANAN ÖNLEM**	**Risk Kontrol Değerlendirmesi**			
							Ş	**O**	**F**	**RÖS**
Göz ile temas	Göz yanmaları ve gözde kalıcı hasar	6	4	5	120	Göze temasını önlemek için çalışanlara, kimyasal maddeden koruyucu özelliğe sahip gözlükler verilmelidir. Göz ile temas etmesi halinde gözler bol su ile yakınmalı, göz kapakları 15 dakika açık tutulmalı ve derhal doktora başvurulmalıdır.	3	2	3	18
Deri ile temas	Sıcak çözeltinin deriye temasında ısıl yanıklar	5	6	3	90	KKD olarak çalışanlara işe uygun eldiven ve iş kıyafeti temin edilmelidir. Amonyum nitrata maruz kalan bölge bol suyla yıkanmalı ve kimyasal madde bulaşmış olan kıyafetlerin ciltle teması engellenip çıkarılmalıdır. Tıbbi müdahale için doktora başvurulmalıdır.	3	4	2	24
Yutma	Yüksek miktarlarda yutulması sonucu mide ve bağırsak sorunları	6	4	6	144	Bu hususta patlayıcı maddenin ambalajında çalışanı uyarıcı etiketleme olmalıdır. Amonyum nitratı yutma halinde kişiye temiz su veya süt verilmelidir. Kişi kesinlikle kusturulmamalıdır. Yüksek miktarlarda yutma olmuşsa ağız su ile çalkalanarak derhal doktora başvurulmalıdır.	3	2	3	18
Solunum	Burun, boğaz ve üst solunum sisteminde tahriş	6	7	6	252	Solunum yollarını korumak için olası duman ve gaz tehlikesinden dolayı P2 tipi gaz maskesi kullanılmalıdır. Amonyum nitrat solumuş kişi hemen temiz havaya çıkarılmalıdır. Ilık bir havada kişi dinlendirilmelidir. Eğer şahsın kalbi durmuşsa kalp masajı yapıp derhal acil doktora başvurulmalıdır.	3	3	2	18

Çizelge 6. Patlayıcı maddenin galeri ve tavana şarj edilmesi

TEHLİKE	RİSK	Ş	O	F	RÖS	PLANLANAN ÖNLEM	Risk Kontrol Değerlendirmesi			
							Ş	O	F	RÖS
Kontrolsüz patlamanın olması	Yaralanma, ölüm, maddi hasar	9	4	6	216	Patlayıcı şarjı, ehliyetli ateşçiler tarafından yapılmalıdır. Elektriksiz kapsül kullanılmalıdır. Ateşleme bölgesine ateşçi harici personel sokulmamalıdır. Anfo şarj makinası ve hortumu antistatik özellikte seçilmelidir. Ateşçilerin yanlarında ateş kaynağı bulundurmamalı ve antistatik elbise giyinmelidirler. Patlayıcıların raf ömürlerinin geçirilmemesine, taşıma ve şarj sırasında gerekli dikkat gösterilmesine önem verilmelidir.	4	2	3	24
Yüksekte çalışma	Düşme, yaralanma, ölüm	7	5	5	175	Loder kepçesinde yapılan dolumda emniyet kemeri kullandırılmalıdır. Mümkünse platform araçlar kullanılmalıdır. Kullanılan merdiven standartlara uygun olmalıdır.	3	2	3	18
Yetersiz havalandırma	Solunum güçlüğü, gaz sıkışması, ölüm, stres	7	4	6	168	Ocaklarda doğal havalandırmanın yetersiz kalacağı göz önünde bulundurularak mutlaka mekanik havalandırma tertibatı tesis edilmelidir. Ocaktaki havalandırma sistemini desteklemek amacıyla jeneratör bulunmalıdır. Hasarlı vantüpler tamir edilmelidir.	4	3	3	36
Yetersiz aydınlatmada çalışma	Düşme, yaralanma, maddi hasar, stres	6	5	4	120	Aydınlatma tertibatı, kapalı ortamda rahatça çalışmayı sağlayacak ışık şiddetinde olmalıdır. Hasarlı aydınlatma ekipmanları değiştirilmeli veya tamir edilmelidir.	3	2	2	12

Çizelge 7. Şarj edilmiş lağımların patlatılması

TEHLİKE	**RİSK**	**Ş**	**O**	**F**	**RÖS**	**PLANLANAN ÖNLEM**	**Risk Kontrol Değerlendirmesi**			
							Ş	**O**	**F**	**RÖS**
Gürültü	İşitme kaybı, stres	5	6	4	120	İşe uygun KKD temin edilmelidir.	3	3	3	27
Toz	Solunum hastalıkları	6	7	6	252	KKD temin edilmelidir. Personel, havalandırma sağlanmadan aynaya çalışmak için girmemelidir. Tozu kaynağından emip çöktüren kapalı bir sistem kurulmalıdır. Tozla mücadele birimi kurulmalıdır.	3	3	4	24
Basınç	Yaralanma, ölüm	8	6	6	288	Patlatmadan kaynaklanan şok basıncın etkisinde kalınmaması için patlatma emniyetli bir mesafede yapılmalıdır.	4	3	3	36
Gaz	Zehirlenme, solunum hastalıkları, ölüm	7	6	5	210	Havalandırma sağlanmadan patlatma bölgesine çalışmak için girilmemelidir. Doğal ve mekanik havalandırmanın sorunsuz bir şekilde çalışması sağlanmalıdır.	3	3	3	27
Kaya parçası fırlaması	Maddi hasar, yaralanma, ölüm	7	6	7	294	Patlatma sırasında ateşçiler ve diğer personel sağlam yapıda veya tahkimatla güçlendirilmiş yerlerde beklemelidir. Tavan ve galeri cidarlarının kavlak kontrolleri rutin olarak yapılmalıdır.	4	3	3	36
Yetersiz aydınlatmada çalışma	Düşme, yaralanma, ölüm, maddi hasar, stres	6	5	4	120	Galeri aydınlatmaları haricinde her çalışanın baretine takılabilir baş lambası bulunmalıdır. Galeri aydınlatma sayısı ve büyüklükleri artırılmalıdır.	3	2	2	12

Çizelge 8. Patlamayan Lağımlara Müdahale

TEHLİKE	RİSK	Ş	O	F	RÖS	PLANLANAN ÖNLEM	Risk Kontrol Değerlendirmesi			
							Ş	O	F	RÖS
Kontrolsüz patlamanın olması	Yaralanma, ölüm, maddi hasar	9	4	6	216	Patlamamış, patlayıcı madde bulunan lağım olduğunda, bir nezaretçinin sorumluluğu altında, o lağımı delen kişi tarafından, patlamamış lağım deliğinin 30 cm yanında ona paralel yeni bir delik delinip doldurularak ateşlenmelidir. Müdahale sırasında antistatik malzeme kullanılmalıdır. Devre ölçümlerinde kullanılan cihazın akım miktarına göre ölçüm yapılmalıdır. Ateşçi eğitimi almamış ve yeterli tecrübeye sahip olmayan personelin müdahale etmesine izin verilmemelidir.	4	2	3	24
Toz	Solunum ve göz rahatsızlıkları	6	7	6	252	İşin niteliğine uygun KKD temin edilmelidir.	3	3	4	24
Yetersiz havalandırma	Zehirlenme, boğulma, stres	7	4	6	168	Doğal ve mekanik tüm havalandırma sistemlerinin periyodik kontrolleri eksiksiz ve zamanında yapılmalıdır. Her iki havalandırma sistemindeki var olan aksaklıklar derhal giderilmelidir.	4	3	3	36
Yetersiz aydınlatma	Düşme, yaralanma, ölüm, maddi hasar, stres	6	5	4	120	Patlamamış lağıma müdahale esnasında ortam aydınlatması yeterli ışık şiddetinde olmalı ve çalışanların baş lambaları bulunmalıdır.	3	2	2	12

.

Çizelge 9. Patlayıcı maddelerin koltuk ambarına indirilmesi ve sevk edilmesi

TEHLİKE	**RİSK**	**Ş**	**O**	**F**	**RÖS**	**PLANLANAN ÖNLEM**	**Risk Kontrol Değerlendirmesi**			
							Ş	**O**	**F**	**RÖS**
Kontrolsüz patlama	Yaralanma, ölüm	9	4	6	216	Kapsül ve dinamitler ayrı ayrı taşınmalı ve istiflenmelidir. Patlayıcı deposuna girerken statik elektrik yükü nötralizör yardımıyla boşaltılmalıdır, patlayıcı kolileri bırakılırken hassas davranılmalıdır, patlayıcılar raf ömürlerine göre seçilerek alınmalıdır.	4	2	3	24
El ile taşıma	Eklem rahatsızlıkları burkulma, ezilme, sıkışma	4	6	5	120	Çalışanlara el ile taşıma konusunda gerekli eğitimler işe başlamadan önce verilmelidir. Bu hususta talimatnameler hazırlanmalıdır.	3	3	2	18
Tekrarlanan hareketler	Eklem rahatsızlıkları stres, yaralanma	4	8	5	160	Uzun süreli çalışmadan kaçınılmalıdır. Bu işte çalışanların dinlenme sürelerine özellikle dikkat edilmelidir. Vardiya sayısı artırılmalıdır.	2	4	2	16
Yetersiz aydınlatmada çalışma	Düşme, yaralanma, ölüm, maddi hasar, stres	6	5	4	120	Patlayıcı maddenin nakliyesi işlerinde ortam aydınlatması yeterli ışık şiddetinde olmalı ve çalışanların baş lambaları bulunmalıdır.	3	2	2	12
Kapalı ve dar bir ortamda çalışma	Gaz sıkışması, havasız kalma, stres	4	10	2	80	Mekanik ve doğal havalandırma sistemlerinin kusursuz çalışması sağlanmalıdır. Havalandırma sisteminde var olan aksaklıklar ve arızalar derhal giderilmelidir. Gaz algılayıcı sensörler kullanılmalı ve gaz algılayıcı sensörler sık sık kontrol edilmelidir.	3	4	2	24

5. SONUÇ

HTEA (Hata Türleri ve Etkileri Analizi) potansiyel riskleri tahmin ederek hataları önlemeye veya ortadan kaldırmaya yönelik etkin bir risk analizi yöntemidir. HTEA, sistem içerisindeki tüm aşamalarda oluşması muhtemel risklerin analizini ve değerlendirmesini yaparak bu hataları sürekli olarak azaltmayı amaçlayan bir risk değerlendirme metodolojisidir.

Bu çalışmada, birçok tehlike unsurunu bünyesinde barındıran yeraltı metal madenlerinde yapılan patlatma faaliyetleri, HTEA (Hata Türleri ve Etkileri Analizi) risk yöntemi metodolojisi ile değerlendirilmiş ve patlatma faaliyetlerindeki olası tehlikelerin bertaraf yöntemleri gösterilmiştir.

Yeraltı metal madenlerinde yapılan patlatma faaliyetlerindeki tehlike unsurlarının RÖS (Risk Öncelik Sayısı) değerlerine bakıldığında şarj işlemi tamamlanmış lağımları patlatma faaliyetleri en fazla tehlike unsurunu bünyesinde barındıran parametredir. Bu parametreyi takiben ise patlamayan lağımlara müdahale, patlayıcı maddelerin koltuk ambarına indirilmesi ve sevk edilmesi, patlayıcı maddenin galeri ve tavana şarj edilmesi, patlayıcı maddenin (amonyum nitrat) vücut ile temas etmesi parametreleri sırasıyla yeraltı metal madenlerinde yapılan patlatma faaliyetlerindeki başlıca tehlike unsurlarıdır. Bu tehlike unsurları için planlanmış önlemlerin uygulandığı varsayılıp mevcut riskler tekrar gözden geçirildiğinde RÖS değerlerinde ciddi düşüşler olduğu ve HTEA risk analiz yönteminin yeraltı metal madenlerindeki patlatma faaliyetlerinde de riskleri bertaraf etmek için kullanılabilecek etkili bir risk analiz yöntemi olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

Çarıkçı N., 2010, Yeraltı ve yerüstü maden işletmelerinde iş sağlığı ve güvenliği rehberi, ÇSGB yayınları, Ankara.

Kahraman, Ö., Demirer, A., 2010, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 7, No: 1, 53-68.

Karakoç, A., 2015, % 90'lık Amonyum Nitrat Çözeltisi (Anç) Güvenlik Bilgi Formu, Form no: 230-4, Kütahya Azot Özfırat, M.K.2013, Yeraltı Madeninde Nakliyatta Oluşan Risklerin Hata Türü Etki Analizi (HTEA) Yöntemiyle Sınıflanması, Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, s.291-294.

Mızrak özfırat, p., 2014, Bulanık Önceliklendirme Metodu ve Hata Türü Ve Etkileri Analizini Birleştiren Yeni Bir Risk Analizi Yöntemi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Vol 29, No 4, 755-768.

Özkılıç, Ö., 2005, İş Sağlığı ve Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri, TİSK Yayınları, ,Ankara.

Wang, Y.M., Chin, K.-S., Poon, G., Yang, J., 2009, Risk Evaluation In Failure Mode and Effect Analysis Using Fuzzy Weighted Geometric Mean, Expert System With Applications, Volume 36, 1-13.

Betonarme Köprülerin Patlayıcı Kullanılarak Yıkımı

Demolition of Reinforced Concrete Bridges by Using Explosives

M.C. Özyurt, Ü. Özer, A. Karadoğan, Ü. Kalaycı
İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul

U. Tutar, C. Erdoğan
Egenitro Patlayıcı Madde Tic. Ltd. Şti, İzmir

ÖZET Bu çalışmada, O4 otoyolu üzerinde Gebze mevkiindeki km: 46+320 ve km: 47+520 de bulunan betonarme köprülerin kontrollü patlatma ile yıkım aşamaları açıklanmıştır. İlk safhada köprülerin şekli, konumu ve durumu, betonarme malzeme özellikleri ile komşu yapılar dikkate alınarak yıkılma şekilleri ve patlatma tasarımları belirlenmiştir. Daha sonra oluşturulan bilgisayar modeli üzerinde patlatma tasarımı uygulanarak köprü davranışı ve yıkılma şekli simüle edilmiştir. Oluşturulan tasarım simülasyon modeliyle birlikte değerlendirilmiş ve köprülerin planlanan şekilde yıkılacağı ve beklenen ölçüde parçalanmanın oluşacağı öngörülmüştür.

Çalışma sonucunda, gerçekleştirilen yıkımın öngörülen şekilde gerçekleşip amacına hizmet ettiği, oluşan enkazın istenilen sürede kaldırılarak yolun tekrar trafiği açıldığı ve hiçbir çevresel hasarın oluşmadığı gözlenmiştir. Ayrıca çalışmada yıkımın teknik sonuçları incelenmiş, karşılaşılan problemlerin nedenleri ve çözüm önerileri bu irdelenmiştir.

ABSTRACT In this study, the controlled demolition of reinforced concrete bridges on O4 highway Km: 46+320 and Km:47+520 in Gebze is explained. In the first phase, considering the bridge plans, locations, states, material parameters and environmental factors, demolition designs and firing sequences for each bridges were determined. Afterwards the determined firing sequence is performed on the model, generated by using a simulation software. Based on the comparative results, it is noted that the buildings would be demolished as planned and the expected degree of fragmentation would be occurred.

At the end of the study, the demolition was completed, the bridges behaved as expected. Debris removal work was done in the specified period, the highway was opened for drivers. Otherwise, the technical results of the demolition are examined and the reasons and solutions of this results were discussed.

1 GİRİŞ

Ülkemizde, kentsel dönüşüm kapsamında yıkılması söz konusu olan milyonlarca yapı bulunmaktadır. Bu yapıların klasik yöntemlerle yıkımının uzun sürede gerçekleşmesi sonucu çevreye verilen rahatsızlık, yüksek maliyet ve emniyetsiz çalışma şartlarını beraberinde getirmektedir. Bu yüzden daha pratik yöntemlerin arayışına gidilmiştir. Bunun sonucunda, ülkemizde henüz uygulanmaya başlayan ve Ekim 2014'te yürürlüğe giren "Yapıların Tam ve Kısmi Yıkımı İçin Uygulama Kuralları" TS13633 standardında belirtilen kontrollü patlatma ile yapı yıkımı gündeme gelmiştir.

Patlayıcılarla köprü yıkımı birçok avantaj sağlamaktadır. Yoğun trafik akışı olan bölgelerde hızlı ve güvenli çalışma ihtyiacı patlayıcı ile yıkımı öne çıkarmaktadır. Ayrıca nehirlerin üstünde de yıkımın en kısa sürede yapılıp enkazın kaldırılması istenir. Patlayıcı ile yıkım bu şartları sağlamaktadır (Özer ve Karadoğan, 2012).

1.1 Betonarme Köprülerin Kontrollü Patlatma ile Yıkılması

Betonarme köprüler günümüz karayollarında sıkça kullanılan köprü türüdür. Bu tip köprülerde yük taşıyan kısımlar genellikle köprü hacminin büyük bir kısmını oluşturmaktadır (Özyurt, 2013).

Yıkımın kritik bölgeleri ayaklar ve kemerlerdir. Köprü birden fazla kemerden inşa edilmişse tüm kemerlerin aynı anda patlatılması tavisye edilir. Böylece bütün kemerler aynı şekilde zarar görüp çatlarlar ve kolay kırılırlar. Gecikmeli patlatma yapıldığı takdirde; yanlış hesaplanmış bir detay, yıkımı olumsuz yönde etkileyebilir. Köprünün ayakları ise, iyi hesaplanmış şarj miktarları kullanılarak parçalanmalıdır (Jimeno ve diğ., 1995; Özer ve Karadoğan, 2012).

Köprü yıkımında genel olarak yüksek hassasiyetli dinamitler, T.N.T. v RDX ile PETN içerikli plastik patlayıcılar kullanılmaktadır. Yüksek hassasiyetli dinamitler genellikle beton veya betonarme malzemede kullanılırken, lineer şekilli plastik patlayıcılar çelik malzemelerin yıkımında kullanılırlar. Beton veya betonarme malzemede patlayıcılar yapı elemanında delinen deliklere yerleştirilirken, çelik yapılarda patlayıcı yapı elemanının yüzeyine yerleştirilir (Koca, 2006; Extreme Explosions, 2010).

Sıkılama için kâğıt, kum, balçık, toprak ve sıva kullanılabilir. Yüzeysel patlayıcıların sıkılanmasında kum torbaları veya kontrplak ve dayanıklı kumaşlar birlikte kullanılır. Yüzeysel patlatmalarda şarjın nesne ile sıkı temas etmesi, şarjın da üzerinde sıkılama olması patlama etkisini artırır (Oloffson, 1980; Özer ve Karadoğan, 2012).

Köprü yıkımlarında da diğer tüm yıkımlarda olduğu gibi gerekli güvenlik sağlanmalıdır. Patlatma kaynaklı çevresel etkilere minimize etmek adına gerekli önlemler alınmalıdır. Özellikle trafik, geçici bir süre durdurulmalı ve patlama sonu gerekli kontroller yapıldıktan sonra açılmalıdır (Jimeno ve diğ., 1995; Özer ve Karadoğan, 2012, Özyurt, 2013).

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, O4 otoyolu üzerinde Gebze mevkiindeki km: 46+320 VE km: 47+520'de bulunan iki betonarme köprünün kontrollü patlatma ile yıkılmasıdır.

Bu amaç doğrultusunda, köprülerin projeleri incelenmiş, yerinde röleve yapılarak köprülerin projesine uygunluğu irdelenmiştir. Köprülerin üç boyutlu modeli, sonlu elemanlar prensibini baz alarak analiz yapan bir inşaat mühendisliği yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Köprü özellikleri

(köprü geometrisi, betonarme malzeme özellikleri) ile çevresel faktörler göz önünde bulundurularak yıkım tasarımı yapılmıştır. Nihai tasarımlar, köprü modeli üzerinde test edilmiştir. Saha çalışmaları sonunda köprüler yıkıma hazır hale getirilmiştir. Güvenlik çalışmalarının tamamlanmasıyla yıkım gerçekleştirilmiştir. Yıkım tamamlandığında oluşan enkaz yığını incelenmiş, elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.

2 KÖPRÜLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER

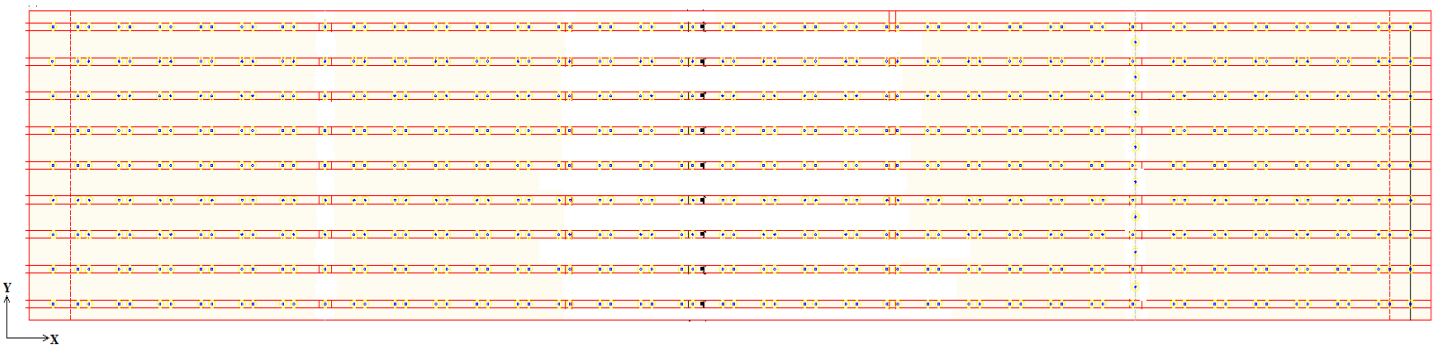
Köprüler; İzmit İli, Gebze İlçesi sınırları içerisinde ve O4 Otoyolu üzerinde (km: 46+320 ve 47+520) bulunmaktadır (Şekil 1).

(a) (b)

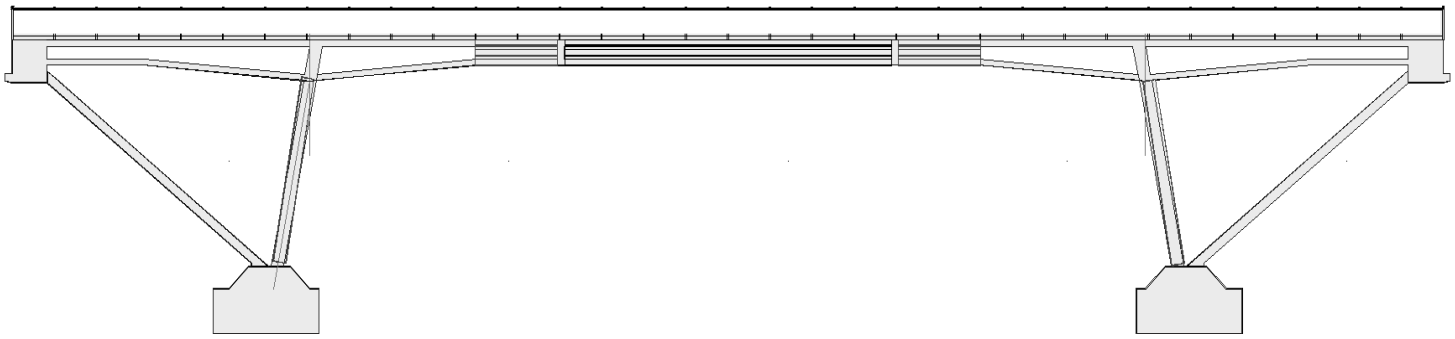
Şekil 1. (a) “Köprü 2” (KM 46+320), (b) “Köprü 1” (KM: 47+520).

Özel bir patlatma şirketinin köprülerle ilgili üniversite ekibine sunmuş olduğu bilgi ve belgeler detaylı olarak incelenmiştir. 2 adet köprünün her birinde; yaklaşık 0,8-1 m aralıklı 9 adet kiriş (25 cm x 80 cm x 10 m) ve 8 adet taşıyıcı ayak (45cm x 80 x 5,5 m) bulunduğu anlaşılmıştır (Şekil 2 ve 3). Köprülerde, beton içerisine sık aralıklarla yerleştirilmiş donatı çeliği ile betonarme malzemeyi çevreleyen çelik halatlar mevcuttur. Bu da, köprünün moment kuvvetine karşı gösterdiği direncin çok yüksek olmasına neden olmaktadır.

Köprülerin deprem performansı; taşıyıcı sistem geometrisi, yapı elemanlarının enkesit boyutları ile malzeme karakteristik özellikleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Buna göre; köprülerin DBYBHY-2007’e göre can güvenliği performans seviyesinde olduğu anlaşılmıştır.

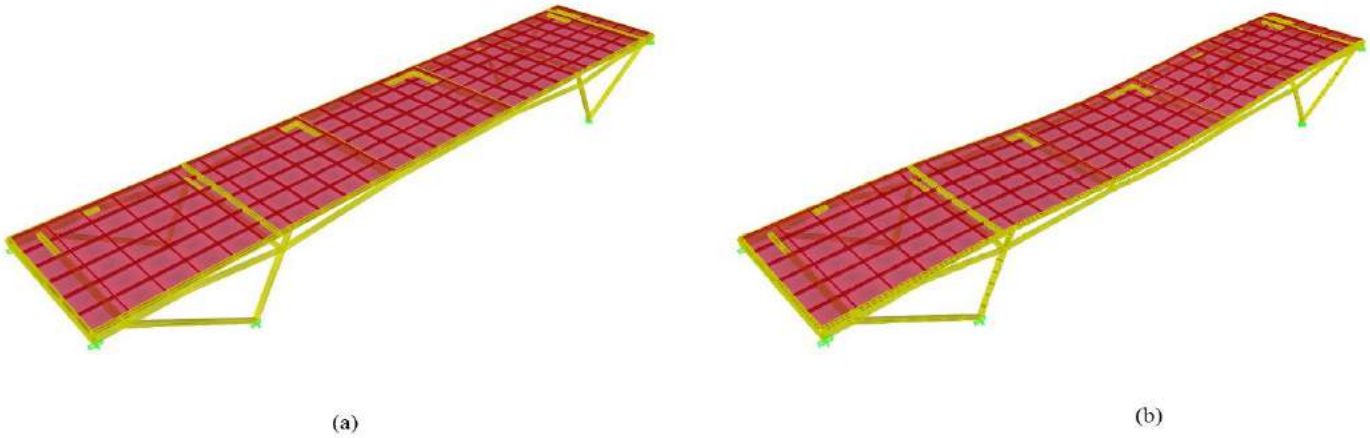


Şekil 2. Köprülerin Plan Görünümü



Şekil 3. Köprülerin Y Ekseninden Görünümü

Köprüler, sonlu elemanlar yöntemini baz alarak hesaplama yapan bir simülasyon yazılımında modellenmiş, ölü yük altındaki davranışları incelenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. (a) Köprünün üç boyutlu modeli, (b) Köprünün ölü yükler altındaki davranışı.

Şekil 4'te görüldüğü üzere; köprünün iç kısımlarında deplasmanlar görülmektedir. Bunun nedeni köprünün mesnet noktalarının köprünün uç kısımlarda olmasıdır.

3 YIKIM TASARIMI

Köprülerin betonarme malzeme özellikleri, taşıyıcı sistem geometrisi, çevre yapıların konumu ve mesafeleri ile risk durumları göz önünde bulundurularak, yıkım şekline karar verilmiştir.

Literatürde (Jimeno ve diğ., 1996; Özer ve Karadoğan, 2012; Özyurt, 2013), köprü yıkımlarında tüm patlayıcıların aynı anda patlatılmasını tavsiye etmektedir. Ancak, köprülerin konumu ve köprü mesnetlerinin risk noktalarına olan mesafesi göz önünde bulundurulduğunda bu tekniğin uygulanması ile oluşacak titreşim ve gürültünün yerleşim birimlerine hasar meydana getireceği öngörülmüştür. Bu nedenle, gecikmeli patlatma uygulanmıştır.

Gecikmeli patlatma sonucu taşıyıcı elemanlar üzerinde oluşacak moment kuvveti, köprünün eşik değerinin çok altında olması otojen kırılmaya imkan vermemektedir.

Yıkım sonucu, ikincil kırma işlemine gerek görülmeyecek bir moloz yığını açığa çıkması için şarj miktarı yüksek tutulmalıdır. Ancak bu durum çevresel riskleri arttıracaktır. Bu nedenle; betonarme malzemenin deforme olması amaçlanmıştır.

Köprülerin yenilmesi için gereken patlayıcı madde miktarını hesaplamak için Thomas'ın geliştirdiği hacme bağlı şarj miktarı hesabı (Eşitlik 1) kullanılmıştır. Tecrübe katsayısı (q), literatürdeki benzer çalışmalar incelenerek tespit edilmiştir.

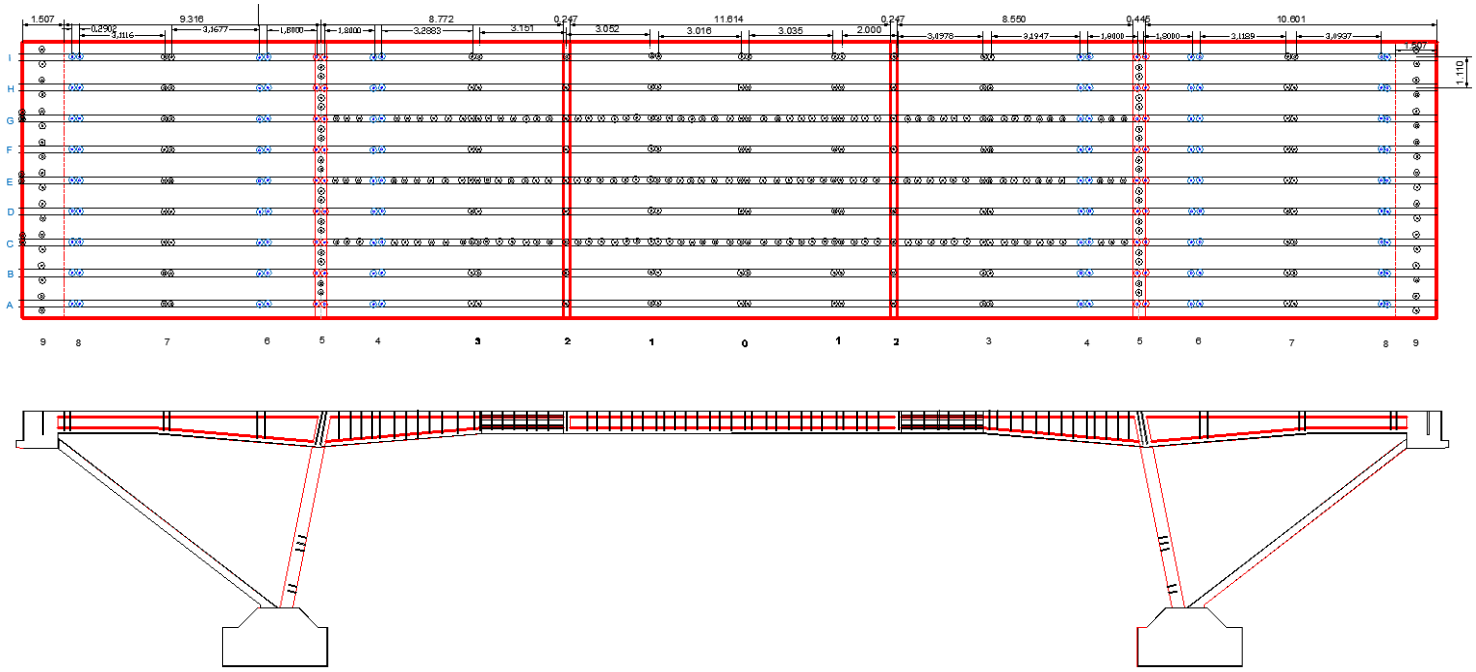
$$L = V*q \tag{1}$$

Burada;
L: Şarj miktarı (kg) ,
V: Taşıyıcı elemanın hacmi (m^3),
q: Tecrübe katsayısı

Köprülerin kontrollü patlatma ile yıkım tasarımına ait parametreler Çizelge 1'de, delik geometrisi Şekil 5'te verilmiştir.

Çizelge 1. Köprülerin kontrollü patlatma ile yıkım tasarımı parametreleri

Tasarım Parametreleri	Birim	Değer	Tasarım Parametreleri	Birim	Değer
Kolon (Köprü Ayağı) Sayısı	Adet	8	Kirişlerdeki Toplam Delik Sayısı	Adet	509
Patlayıcı Konulacak Kolon Sayısı	Adet	8	Köprüdeki Toplam Delik Sayısı	Adet	589
Bir Kolondaki Delik Sayısı	Adet	10	Toplam Patlayıcı Miktarı	Kg	125
Kolonlardaki Toplam Delik Sayısı	Adet	80	Toplam Kapsül Miktarı	Adet	2500
Köprü Kiriş Sayısı	Adet	9	İnfilaklı Fitil	Metre	500
Patlayıcı Konulacak Kiriş Sayısı	Adet	9	Kirişlerdeki Toplam Delik Sayısı	Adet	509



Şekil 5. Köprülerdeki Patlatma Geometrisi Plan ve Kesit Görünümü

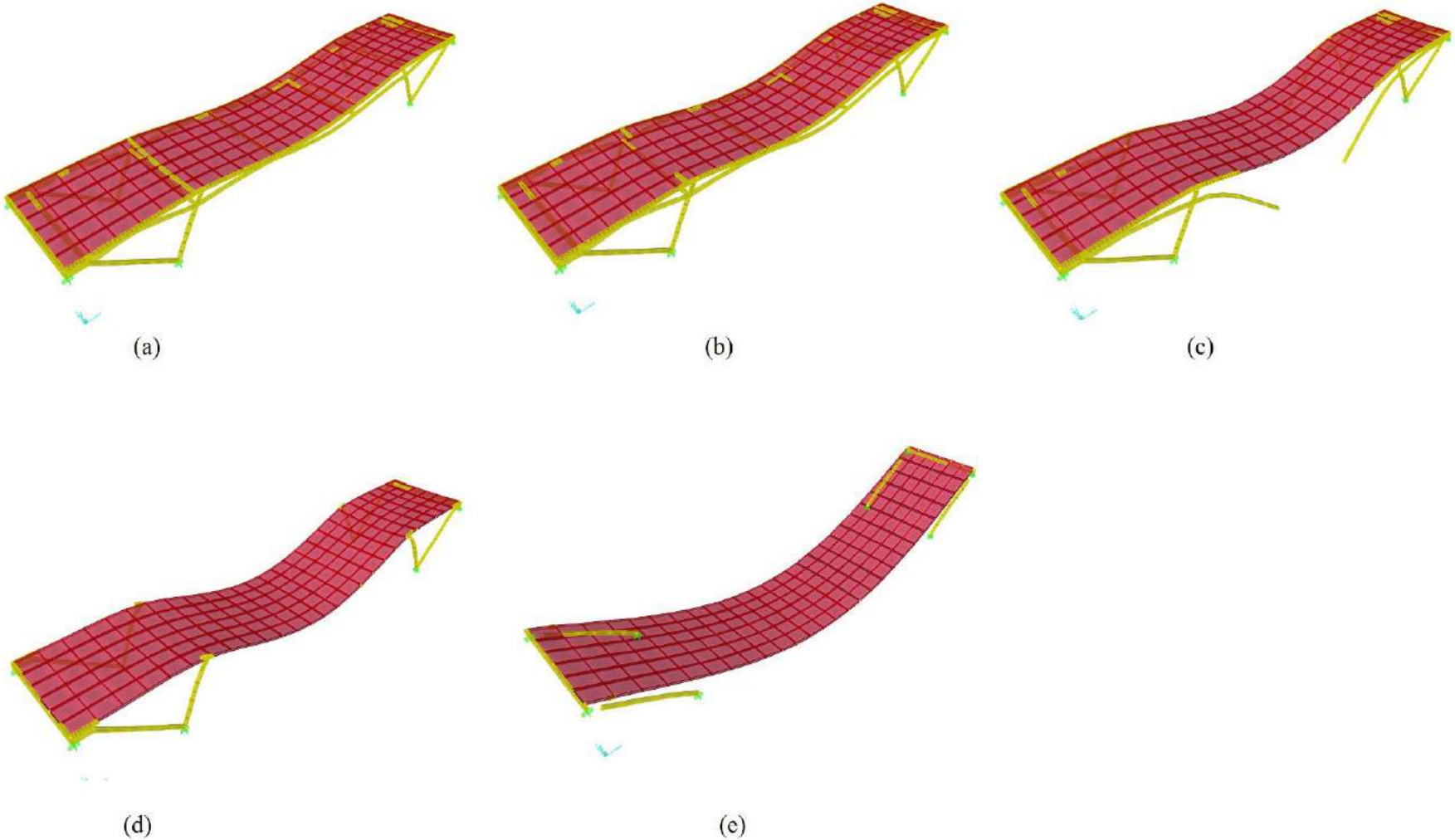
Nihai tasarımlar, simülasyon yazılımı kullanılarak oluşturulan üç boyutlu model üzerinde test edilmiştir (Şekil 6).

4 GÜVENLİK ÖNLEMLERİ

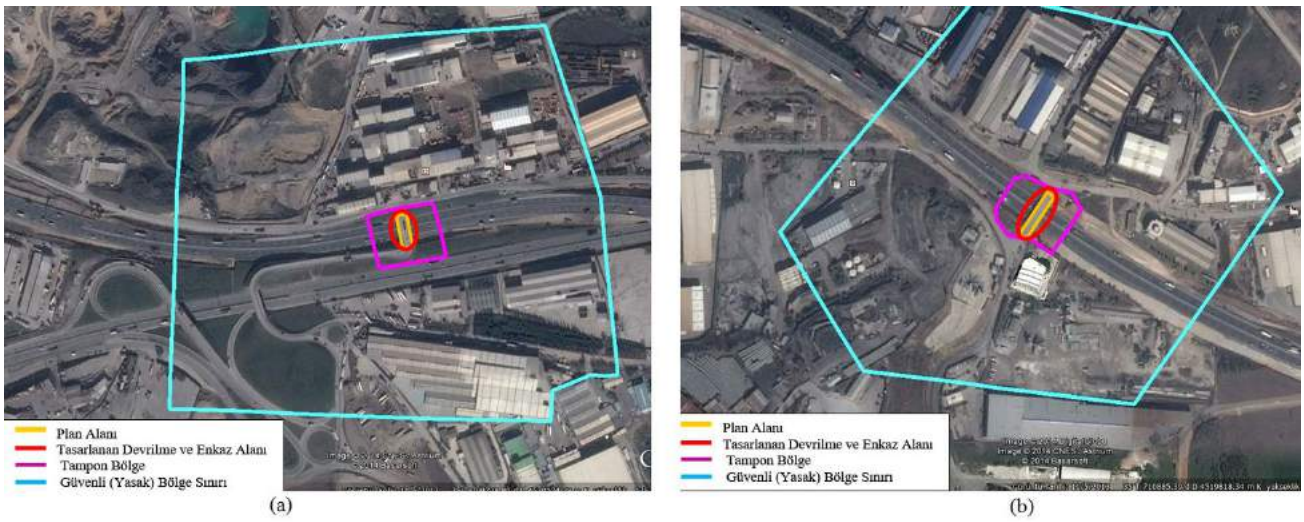
Yıkım esnasında oluşması muhtemel çevresel etkilerin önlenmesi veya en aza indirilmesi yönünde yapılacak çalışmaların başında patlatma öncesi ve sonrasında patlatma alanını da içine alan "Güvenli (yasak) bölge'nin" oluşturulması işlemi gelmektedir.

Güvenli bölgenin oluşturulmasının temel amacı patlatma sırasında yıkım olayını izlemesi muhtemel seyirci kitlesinin ve civarda ikamet eden insanların ve yapıların güvenliğini sağlamak ve patlatma kaynaklı muhtemel etkilerden izole etmektir.

Güvenli bölge üzerinde, yapının durumu, patlayıcı çeşidi ve miktarı, çevre yapıların varlığı ve konumu direk olarak etkilidir. Bunlara ilaveten çalışmayı izlemek için bölgede bulunan halkın güvenliği de göz önünde bulundurularak, oluşturulan güvenli bölgenin kısımları ve sınırı Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Yıkım Simulasyonu, (a) t =0,4. sn (b) t =0,8. sn (c) t =1,2. sn (d) t =1,6 sn (e) t =2. Sn



Şekil 7. (a) "Köprü 2"nin Çevresinde Oluşturulması Gereken Güvenli Bölgenin Kısımları ve Sınırı, (b) "Köprü 1"in Tipi Köprü Çevresinde Oluşturulması Gereken Güvenli Bölgenin Kısımları ve Sınırı.

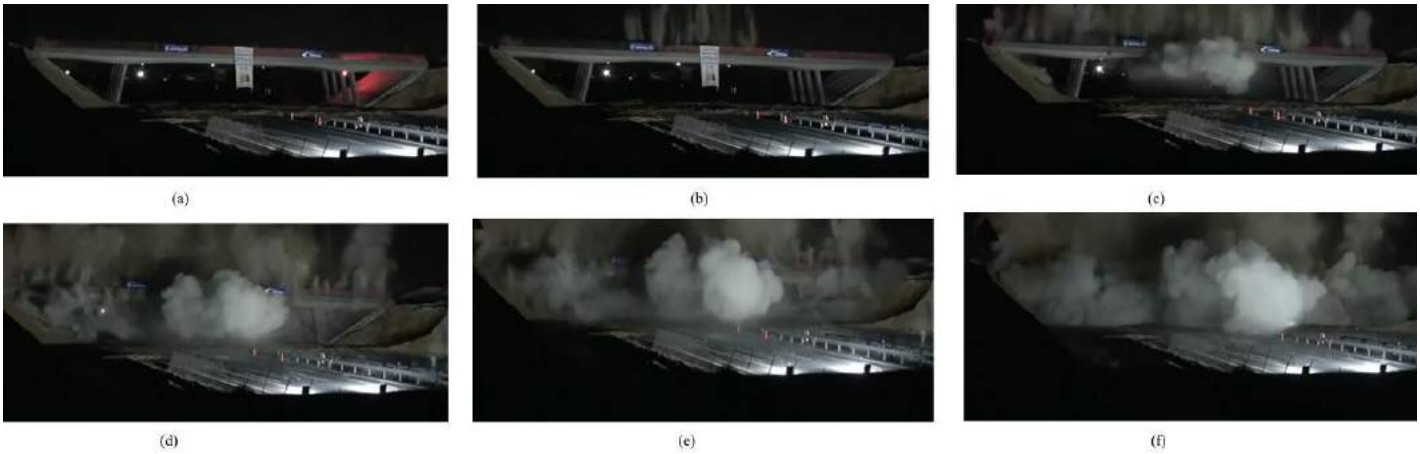
Kontrollü yapı yıkımlarında meydana gelebilecek çevresel etkilerden bir diğeri de taş savrulmasıdır. Yıkımı planlanan köprülerin çevresinde yerleşim birimleri bulunduğundan ötürü, patlayıcı yerleştirilecek kolon ve kiriş gibi yapı elemanlarının üzerinde koruma malzemelerinin kullanılması sağlanmıştır.

Yıkımdan birkaç saat önce otoban trafiğe kapatılmış, güvenli bölge içerisine yaya ve taşıt sokulmamıştır.

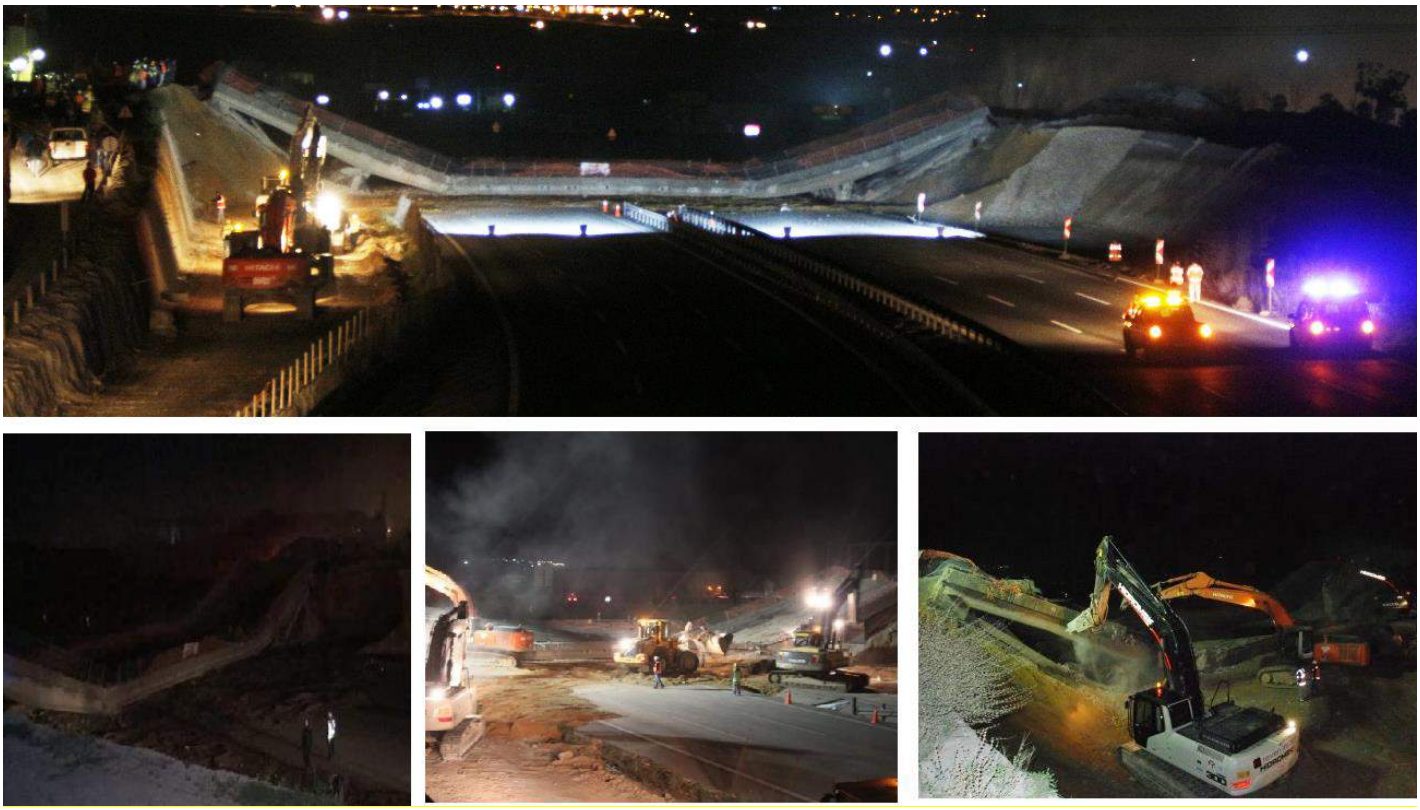
5 YIKIM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Köprüler, Şekil 6'da sunulan yıkım simülasyonunda görüldüğü gibi yıkılmıştır (Şekil 8). Yıkım tamamlandığında yerinde yapılan incelemelerde; köprü mesnetlerinin zeminden ayrıldığı, istenilen enkaz alanı içerisinde yıkıldığı görülmüştür.

Beton malzemesinin deforme olup parçalandığı tespit edilmiş, ancak beton donatından sıyrılamadığı için enkaz nihai halinde bir bütün olarak kalmıştır (Şekil 9). Bu durum öngörüldüğünden, kırıcı makineler hazır bekletilmiş, yıkım sonucu oluşan enkazı yükleme ve taşımaya hazır hale getirmiştir. Enkaz, istenilen süre zarfından kaldırılmış, otoban trafiğe açılmıştır.



Şekil 8. Yıkım öncesinde ve yıkım anında binaların görüntüsü



Şekil 9. Yıkım sonucu oluşan enkazlar

Yıkım sonunda, ilgili yerleşim biriminde gözle görülür düzeyde maddi ve manevi herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

6 SONUÇLAR

Bu çalışma da, O4 otoyolu üzerinde Gebze mevkiindeki km: 46+320 ve km: 47+520'de bulunan iki betonarme köprü kontrollü patlatma ile yıkılmıştır.

Proje aşamasında; köprünün yapısal özellikleri ve çevresel faktörler göz önünde bulundurulmuş, ve ikincil kırma işlemini gerektirmeyen bir enkaz yığınının ortaya çıkartılamayacağı öngörülmüştür. Bunun sebepleri aşağıda belirtilmiştir;

Literatürde; köprü yıkımları için tüm patlayıcıların aynı anda patlatılması tavsiye edilmektedir. Ancak, köprülerin etrafında yerleşim birimlerinin bulunması ve köprü mesnetlerinin bu yerleşim birimlerine yakın olması gecikmeli patlatmayı kaçınılmaz kılmıştır.

Köprülerin çekme dayanımı, donatı yapısı ve çelik halatlardan ötürü oldukça yüksektir. Bu nedenle, ateşleme süresince artan moment kuvvetine karşı köprünün yenilmesi güçtür. Bu durum, otojen kırılma ihtimalini ortadan kaldırmıştır.

Otojen kırılma ihtimalinin ortadan kalkması ile beraber köprülerin patlayıcı maddenin etkisi ile parçalaması gerektiği anlaşılmıştır. Ancak, Köprüdeki donatı ve çelik halatların yenilmesi için kullanılması gereken patlayıcı madde miktarı, çevresel riskleri arttırmaktadır.

Yukarıda belirtilen bilgiler ışığında, köprünün deforme olması ve kırıcı makineler ile rahat bir şekilde molozlarına ayrılması amaçlanmıştır. Uygun patlatma tasarımları yapılarak köprülerin üzerinde uygulanmıştır.

Şekil 6'da sunulan yıkım simulasyonunda öngörüldüğü gibi köprü mesnetleri zeminden ayrılmış ve köprü enkaz alanı içinde yıkılmıştır. Beton malzemesinin deforme olup parçalandığı

tespit edilmiş, ancak beton donatından sıyrılamadığı için enkazın nihai halinde bir bütün olarak kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum öngörüldüğünden, kırıcı makineler hazır bekletilmiş ve yıkım sonucu oluşan enkaz, yükleme ve taşımaya hazır hale getirmiştir. Enkaz yığını istenilen süre zarfında kaldırılmış, otoban tekrar trafiğe açılmıştır.

Yıkım sonunda, ilgili yerleşim biriminde gözle görülür düzeyde maddi ve manevi herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

Bu çalışma, Türkiye'de uygulama bakımından pek çok ilki barındırmakla birlikte akademik olarak analiz yapılan ilk köprü yıkım tasarımı olma özelliği taşımaktadır.

KAYNAKLAR

Deprem Yönetmeliği, 1998, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Dowding, H.C., 1996, Construction Vibration, pp. 265-283, Prentice Hail, Upper Saddle River, NJ, U.K.

Extreme Explosions, 2010, Discovery Channel Belgesel Seti.

Gustaffson, R., 1981, Blasting Technique, Dynamit Noben Wien, Vienna, 327 s.

Jimeno, C.L., Jimeno, E.L., Curceda R.J.A, 1995, "Drilling and Blasting of Rocks", A.A. Balkemo, Rotherdam, pp. 312-322.

Koca, O., 2006, "Patlayıcı Maddelerle Kontrollü Yapı Yıkımı", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Oloffson, S.O., 1980, Applied Explosives Technology for Construction and Mining, pp. 268-277.

Özer, Ü.; Karadoğan, A., 2012, "Patlatmali Yapi Yikim Tekniği, Binalarda Patlayıcı Kullanılarak Yıkım Tekniği", İleri Yıkım Teknikleri Eğitimi, TMMOB.

Özyurt, M.C., 2013, "Patlayıcı Madde Kullanılarak Yapıların Kontrollü Yıkılması ve Verimliliğinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü.

Özyurt M.C., Özer Ü., Karadoğan A., "Edirne Kapıkule Gümrük Lojman Binalarının Kontrollü Patlatma Ile Yıkımı", VII. Delme-Patlatma Sempozyumu, ESKİŞEHİR, TÜRKİYE, 07-08 Kasım 2013, ss.21-33

Stevenston, A., 1972, Blasting Practice, Nobel's Explosives Company Limited, Scotland, 284 p.

Şimşir, F. Ve Köse, H., 1996, Yapı Yıkımında Patlatma Uygulamaları, T.M.M.O.B. Madencilik Dergisi, Ankara , 3, 39-56.

TS13633, 2014, Yapıların Tam ve Kısmi Yıkımı İçin Uygulama Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Patlatmalı Kazı Çalışmaları Sonucu Oluşan Çevresel Titreşimlerin Ölçümü ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Evaluation of Vibration Measurement and Results of Blasting Induced Environmental Vibration

D. Karakuş, G. Konak, A.H. Onur, T. Öngen, G. Turan

Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET : Patlatmalı kazı çalışmaları günümüzde kayaç kazısında yaygın olarak kullanılmaktadır. Patlatmalı kazı çalışmalarında patlayıcı enerjisi büyük oranda kayacı kırmak-parçalamak için kullanılırken bir kısım enerji kaya kütlesi içerisinde yayılarak çevresel titreşime neden olmaktadır. Oluşan çevresel titreşim seviyesi 1930'lu yıllarda ölçülerek karakterize edilmeye başlamış ve devam eden süreçte çevresel titreşimin yayılma modelleri oluşturulmuştur. Ancak çevresel titreşim seviyesi patlatma tasarım büyüklükleri, titreşimin yayıldığı ortamın jeolojik yapısı gibi belirsizlik içeren değişkenler tarafından denetlenmektedir. Diğer taraftan yapılacak patlatmalarda oluşacak titreşim seviyelerinin önceden tahmin edilmesi projelerde talep edilmektedir. Bu çerçevede genel olarak tanımlanmış iki farklı tahmin modeli yaklaşımı çevresel titreşim tahmininde ön plana çıkmaktadır. Bunlardan birincisi ikili regresyon analizi modeli ikincisi ise yapay sinir ağları ve bulanık mantık gibi esnek hesaplama yöntemleridir. Bu çalışmada çevresel titreşimin ölçüm cihazlarının çalışma prensipleri, saha çalışmaları temel ilkeleri ve tahmin modelleri gelişim aşamaları tartışılmıştır. Ayrıca 2002-2015 yılları arasında 28 farklı bölgede 176 adet patlatma grubundan alınan 358 titreşim kaydı sonuçlarının istatistik değerlendirmesi sunulmuştur.

ABSTRACT : Nowadays, blasting operations are commonly used in rock excavation. While in a large part of the explosive energy is used to break or fragment rocks, a part of the this energy spread in the rock mass and is caused environmental vibrations at excavation works with blasting. Environmental vibration level has been measured and has begun to be characterized in the 1930's. There have been a number of studies for propagation modeling of environmental vibration in the ongoing process. But environmental vibration levels have been controlled by variables such as blast design parameters and geological structure. On the other hand, prediction of blast induced vibration levels is important before blasting. Within this scope, two different approaches come to the forefront. The first of these is binary regression analysis model, latter is computing methods such as artificial neural networks and fuzzy logic. Operation principles of environmental vibration measuring devices, the basic principles of field works and dthe evelopment of blast induced vibration levels prediction models were discussed in this study. Also, statistical analysis of 358 vibration recording results which were measured in 176 blasting sets located 28 different area between the years 2002-2015 is presented.

1. GİRİŞ

Modern patlayıcı kimyasının 1860'lı yıllarda Alfred Nobel tarafından ticari ürün haline getirilmesinden sonra kaya kütlesi kazılmasında yeni bir dönem başlamış, büyük boyutlu kaya kütlelerinin mekanik kazıya kıyasla çok kısa sürede kazılması-yerinden kaldırılması imkanına kavuşulmuştur. Bu tarihten itibaren günümüze kadar hem patlayıcı kimyası teknolojisi hem de patlayıcıların kaya kütlesi kazısında kullanımı ileri mühendislik hizmeti olarak sürekli gelişmiştir. Genel olarak patlatmalı kazı, kaya kütlesi içerisinde açılan sistematik deliklere yerleştirilen patlayıcı maddelerin serbest yüzeyler gözetilerek sıralı ateşlenmesi sonucu kaya kütlesinin kırılması, parçalanması esasına dayanmaktadır. Patlatmalı kazı çalışmalarıyla kaya kütlesi kırılması-parçalanması kontrol edilebilen tasarım parametreleri ve kontrol edilemeyen jeolojik faktörler tarafından denetlenmektedir.

Diğer taraftan kazı amacıyla yerleştirilen patlayıcı maddelerin ateşlenmesi sonucu oluşan patlayıcı enerjisinin büyük bir bölümü kayacı parçalamak-kırmak için kullanılırken, bir kısım enerji ise farklı kayaç malzemeleri, süreksizlikler ve bazı durumlarda su içeren kaya kütlesi içerisinde yayılmakta ve çevresel titreşime neden olmaktadır. 1930'lu yıllarda zayıf akım ve sensör teknolojisinin geliştirilmesine paralel olarak ölçülebilmeye başlanan çevresel titreşimle ilgili tartışmalar sürekli gündemdedir. Tartışmaların güncel olmasının nedeni oluşan titreşim seviyesinin belirlenen veya belirlenemeyen çok fazla değişken tarafından denetlenmesidir. Temel olarak sınıflandığında patlatma sonucu oluşan titreşim seviyesi patlayıcı miktarı, patlatma aynasından olan mesafe, patlatma tasarımı ve titreşimin yayıldığı ortamın jeolojik yapısından etkilenmektedir. Bu değişkenler içerisinde belirsizliklerin oluşmasının temel nedeni titreşimin yayıldığı kaya kütlesinin jeolojik yapısını genelleştirilecek bir yaklaşımın olmamasıdır. Diğer taraftan patlamalı kazı çalışmaları sonucu oluşan titreşim seviyelerinin çevredeki yerleşim birimlerine ve diğer yapılara etkisinin ortaya konulması gerekmektedir. Konuyla ilgili tarihsel sürece bakıldığına titreşim seviyelerinin 1930 larda ölçülmesiyle ikili regresyon analizleri kullanılarak (bileşke partikül hızı-ölçekli mesafe ilişkisi) sonuca yönelik yaklaşımlar gerçekleştirilmiştir. Devam eden süreçte bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte çok değişkenli sayısal analizler, esnek hesaplama yöntemleri (bulanık mantık, yapay ve zeki ağlar vb) kullanılmış ve sayısı oldukça fazla bilimsel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmaların hemen hemen tamamının ortak amacı ise patlatma sonucu oluşan titreşim seviyesi ölçümlerinin analiz edilerek oluşacak titreşim seviyelerinin doğru tahmin edilmesine yöneliktir. Yapılmış akademik çalışmaların hepsinin çevresel titreşimin oluşmasında belirleyici olan parametreler ve kullanılan tahmin modelinin doğruluğu açısından ortaya koymak mümkün değildir. Ancak konunun anlaşılmasını kolaylaştırmak ve uygulayıcıya yön göstermek amacıyla bu çalışmada genel bir değerlendirme yapılmıştır.

Bu çerçevede sunulan çalışmada jeolojik özellikleri birbirinden farklı 23 değişik bölgede 2002-2015 yılları arasında 176 patlatma grubu atımından alınmış 358 adet titreşim ölçümü değerlendirilmiştir. Elde edilen titreşim ölçüm sonuçlarıyla ilgili herhangi bir tahmin modeli analizi gerçekleştirilmemiş sadece ortalama değerler verilmiştir.

2. ÇEVRESEL TİTREŞİM ÖLÇÜM METODOLOJİSİ

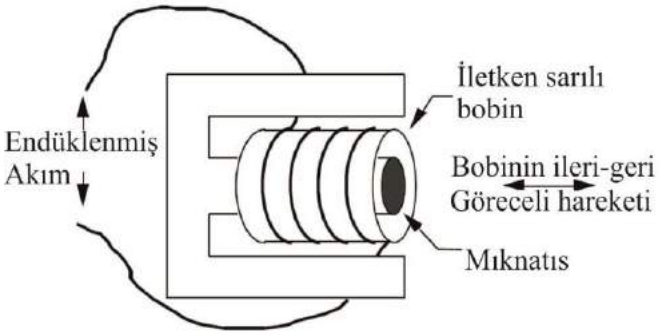
Patlatmalar sonucu oluşan titreşim seviyesi ölçümünün amacı genel olarak iki şekilde sınıflandırılabilir. Bunlardan birincisi bir bölgede gerçekleştirilen patlatma sonucu oluşan titreşimin bu bölgeden belirli mesafede bulunan yapıya etkisinin belirlenmesi amacıyla

yapılan titreşim ölçümüdür. Burada yapının zemininde veya yapının içerisinde titreşim seviyesi ölçümü gerçekleştirilir ve yapının bu titreşim yükü altında göstereceği davranış analiz edilir. Titreşim seviyesi ölçümü yapılmasının ikinci nedeni ise bir bölgede yapılacak patlatmalar sonucu oluşacak titreşim seviyelerinin modellenmesi amacıyla farklı mesafelerde çoklu titreşim ölçümleri yapılmasıdır. Burada amaç patlatma yapılacak bölge ile titreşimden etkilenmesi düşünülen yapı arasındaki katı ortamda titreşimin yayılmasını karakterize etmektedir. Belirleyici olan ve karakterize edilmesi için ölçüm yapılmasını zorunlu kılan ise ortamın jeolojik yapısındaki değişkenliktir.

2.1. Titreşim Ölçümü Cihazlarının Çalışma Prensibi ve Sonuçların Üretilmesi

Patlatma kaynaklı titreşimler zamana bağlı üç boyutlu fiziksel bir hareket olması nedeniyle ölçüm cihazları bu fiziksel hareketi ölçmeye yönelik olarak tasarlanmışlardır. Ölçülen ana parametre fiziksel hareketin kütle hızıdır. Hareketin diğer parametreleri olan yer değiştirme ve ivme ölçülen kütle hız değerinin fonksiyonu olarak matematiksel işlemlerle elde edilir. Yapay bir kaynaktan yayılan anlık enerjinin neden olduğu titreşim bir noktadan geçerken zamana bağlı değişim gösterir. Bu nedenle oluşan titreşim sadece kütle hızı, yer değiştirmesi ve ivmesi ile değil aynı zamanda zamana bağlı değişimin ifadesi olan frekansı ile de karakterize edilir. Bu çerçevede titreşim ölçüm cihazları ile kütle hızı ölçülür, hareketin diğer bileşenleri olan frekans, yer değiştirme ve ivme değerleri için kütle hızı değişiminden sayısal analizler gerçekleştirilir.

Patlatma kaynaklı titreşimin hareket hızı transduser ile ölçülür. Transduserler iletken sarılı bir bobin içerisinde hareket serbestliği olan mıknatıslardır. Lenz yasasına göre iletken sarılı bir bobin içerisinde bir mıknatıs ileri geri hareket ettirilirse hareket hızına bağlı olarak seviyesi ve yönü değişen elektrik akımı elde edilir. Elde edilen akım iletken sarılı bobin ve bobinin içerisinde hareket eden mıknatısının birbirine göre göreceli hızıdır. Şekil 1'de kütle hızı ölçüm prensibi verilmektedir. (Instantel, Minimate Plus, Operator Manual)



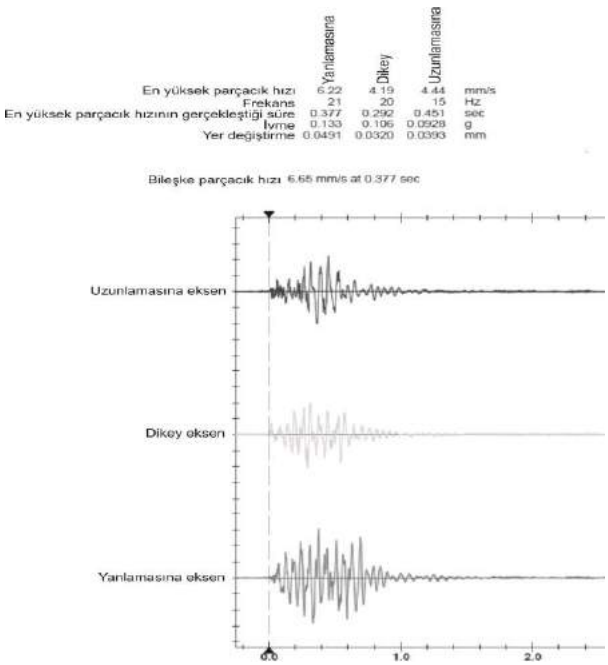
Şekil 1. Kütle hızı ölçüm cihazlarında kullanılan transduserin çalışma prensibi (Instantel, Minimate Plus, Operator Manual)

Şekil 1'de verilen prensiple iletken sarılı bobinin ve bobin içerisinde hareket eden mıknatısın birbirlerine göre göreceli hareketi sonucu elde edilen voltaj değişiminin hız değeriyle kalibre edilmesi sonucu bir yönde hareket hızı ölçülebilmiş olur. Titreşimin karakterize edilebilmesi için uzunlamasına, yanlamasına ve dikey olmak üzere üç yönde yerleştirilmiş tranduserin aynı anda ölçüm alması gerekmektedir. Tek bir nokta üzerinde üç farklı yönde hareket hızını

ölçmek için birleştirilmiş transduserlara jeofon ismi verilmektedir. Şekil 2'de bir firma tarafından üretilmiş jeofonon görüntüsü verilmektedir.

Şekil 2. Bir firma tarafından üretilmiş jeofonun görüntüsü

Şekil 2'de verilen jeofon kullanılarak elde edilen tipik bir patlatma sonucu oluşan titreşim seviyesi ölçüm raporu Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3. Tipik bir patlatma kaydı

Şekil 3'de eksenlerdeki parçacık hızı değerleri ayrı ayrı sayısal olarak ifade edilmektedir. Örnek olarak yanlamasına ekseni değerlendirecek olursak yaklaşık 1,5 saniye boyunca yanlamasına eksende ileri geri hareket hızı en yüksek 6,22 mm/sn olarak 0,377.saniyede gerçekleşmiştir. Aynı eksendeki 21 Hz frekans değeri ise en yüksek hızın gerçekleştiği andaki sıfır noktasından geçiş süresinden üretilmektedir. Cihazların frekans değeri oluşturma prensibi Şekil 4'de verilmektedir.

Şekil 4. Kütle hızı ölçüm cihazlarında frekans değeri oluşturma prensibi (Instantel, Minimate Plus, Operator Manual).

Eksenlerdeki ivme değeri ise hızın değişiminin fonksiyonu olarak türev işlemi ile elde edilir. Benzer şekilde yer değiştirme değeri de kütle hızının integralinin alınmasıyla elde edilir. İvme (a) değeri fonksiyonu Eşitlik 1'de yer değiştirme (s) fonksiyonu Eşitlik 2'de verilmektedir. (Instantel, Minimate Plus, Operator Manual)

$$a = \frac{dV}{dT} \approx \frac{\Delta V}{\Delta T} \qquad (1)$$

$$s = \int V dt \approx \sum (V \Delta t) \qquad (2)$$

Patlatma kaynaklı titreşim seviyesi ölçüm cihazlarından elde edilen ve en yaygın olarak kullanılan sayısal değer bileşke parçacık hızı değeridir. Bileşke parçacık hızı değeri herhangi bir eksendeki en yüksek parçacık hızı değerinin oluştuğu andaki diğer eksenlerdeki hızların bileşke değerinden üretilmektedir. Örnek olarak Şekil 3'de verilen tipik patlatma kaydında en yüksek parçacık hızı yanlamasına eksende 6,22 mm/sn olarak 0,377. saniyede gerçekleşmiştir. Bu kayıt için bileşke parçacık hızı değeri 0,377. saniyede diğer eksenlerdeki parçacık hızlarının bileşkesinden üretilmektedir. Hesaplamada kullanılan fonksiyon Eşitlik 3'de verilmiştir.

$$PVS = \sqrt{T^2 + V^2 + L^2} \qquad (3)$$

Burada;T: Yanlamasına eksen parçacık hızı
V : Dikey eksen parçacık hızı
L : Uzunlamasına eksen parçacık hızı

Patlatmalar sonucu oluşan çevresel titreşim seviyesi ölçümü sonucu bileşke parçacık hızı değeri ile ifade edilmektedir. Bu şekilde bir patlatmaya ait tek bir titreşim seviyesi sayısal olarak ifade edilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus her eksende en yüksek parçacık hızlarının bileşkesi değil bir eksende en yüksek parçacık hızının gerçekleştiği anda diğer eksenlerdeki parçacık hızlarının dikkate alınmasıdır.

2.2 Patlatma Kaynaklı Çevresel Titreşimlerin Saha Ölçümü Planlaması

Patlatma kaynaklı çevresel titreşim ölçümlerinde öncelikle patlatma yapılacak bölge ve patlatma sonucu oluşacak çevresel titreşimden etkilenmesi öngörülen bölgenin konumları belirlenir. Bu bölgeler arasında jeofonların konumu için iki yaklaşım göz önünde bulundurulabilir. Birincisi sabit gecikme başına düşen patlayıcı miktarında değişen mesafelere konumlandırılan jeofonlar, ikincisi ise sabit mesafede değişen gecikme başına düşen patlayıcı miktarları gözetilerek konumlandırılan jeofonlardır. Genel olarak gecikme başına düşen patlayıcı miktarlarının değiştirilmesi uygulamada pratik olmaması nedeniyle değişen mesafelerde konumlandırılan jeofonlar ile titreşim kayıtları alınır. Jeofon konumlarının seçiminde aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır.

- Gecikme başına düşen patlayıcı miktarı gözetilerek titreşim kaydı alınabilecek en yakın ve en uzak mesafe belirlenmeye çalışılmalıdır. Herhangi bir titreşim kaydı alınmaması çevresel titreşimden etkilenilmemesi açısından anlamlı olmakla birlikte ölçüm

sonuçlarının değerlendirilmesi aşamasında ilgili kayıtın sayısal değeri olmaması nedeniyle işlevsel değildir.

- Titreşim ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesine yönelik olarak jeofon konumları patlatma bölgesinden itibaren sistematik mesafelerle arttırılmalıdır. Ancak belirgin süreksizliklerin yakınında konumlandırılan jefonlarla yapılan titreşim ölçümleri yanıltıcı olabilmektedir. Örneğin bir basamağın şev üstüne yakın konumlandırılmış jeofonla gerçekleştirilen titreşim ölçümünde yanıltıcı sonuçlar elde edilebilmektedir.
- Benzer şekilde ana kütleyi temsil etmeyen yapay dolgu veya killi malzeme üzerine konumlandırılan jeofonlar ile gerçekleştirilen titreşim ölçümlerinde yanıltıcı sonuçlar oluşabilmektedir.
- Patlatma kaynaklı çevresel titreşim ölçümlerinde jeofon zemine tam olarak sabitlenerek zeminle birlikte hareket etmesi sağlanmalıdır.
- Patlatma kaynaklı çevresel titreşim ölçümleri saha çalışmalarında patlatmaya ait tasarım parametrelerinin (delik çapı, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, delik boyu, deliklere şarj edilen patlayıcı miktarı, sıkılama boyu vb.) kaydedilmesi gerekmektedir. Ayrıca patlatma deliklerinin konumu ve jeofonun konumun belirlenmelidir.

Çevresel titreşim saha çalışmaları sonucunda patlatma yapılan bölge ile çevresel titreşimden etkilenmesi düşünülen bölge arasındaki arazinin titreşim yayılma özellikleri ortaya konulması amaçlanmaktadır. Ölçümler genel istatistik değerlendirme yapacak sayıda olmalıdır. Homojen ve değişken olmayan jeolojik yapılarda en az 30 titreşim ölçümü kabul edilebilir. Mesafeyle ilişkilendirilmesinde zorlanılan değişken jeolojik yapılarda ise titreşim yayılma karakterizasyonu için çok daha fazla sayılarda titreşim ölçümleri yapılır.

3. TİTREŞİM ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Çevresel titreşim ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi konusuyla ilgili oldukça fazla akademik çalışma yapılmıştır. Değerlendirmelerin ve akademik çalışmaların hemen hemen tamamının amacı patlatma sonucu oluşan çevresel titreşim seviyesinin hangi mesafede ne kadar oluşacağını ortaya koymaktır. Bu çerçevede titreşim ölçümleriyle elde edilen sayısal veriler farklı yaklaşımlar içeren fonksiyonlar kullanılarak analiz edilmiştir. Burada temel olarak iki yaklaşım söz konusu olmuştur. Birincisi patlamalar sonucu oluşan çevresel titreşim seviyesinin tahmininde ampirik değerlendirmenin yapıldığı yaklaşımdır. Bu yaklaşım çevresel titreşim seviyesinin oluşmasında fazla sayıdaki değişkeninin belirleyici olduğu, bütün değişkenleri içeren elasto-dinamik eşitliğin ifade edilemeyeceği, yeterli sayıda gözlem atımları sonucunda elde edilen sayısal veriler arasında ikili ilişkiyle güvenilir sonuçlara ulaşılacağını öngörüsüne dayanmaktadır. Bu yaklaşımda çevresel titreşim için belirleyici değerin bileşke parçacık hızı olduğu (PVS) kabul edilir ve bileşke parçacık hızı seviyesi tahmini için gecikme başına düşen patlayıcı miktarı ile patlatma bölgesinden olan mesafeye bağlı ampirik fonksiyonlar kullanılmaktadır. Diğer bir anlatımla, gecikme başına düşen patlayıcı miktarı ve mesafe ile bileşke parçacık hızı değerleri tahmin modelleri oluşturulmuştur. Bileşke parçacık hızı tahminine yönelik ampirik formüllerden yaygın olarak kullanılanları Çizelge 1'de verilmektedir. Çizelge 1’de sunulan ampirik yaklaşım fonksiyonları incelendiğinde bileşke parçacık hızının tahmininde ana değişkenler gecikme başına düşen patlayıcı miktarı ve patlatma noktasından olan mesafedir. Oysa çevresel titreşim

seviyesi değişiminde etken olan parametreler sadece gecikme başına düşen patlayıcı miktarı ve patlatma şev aynasına olan mesafe değildir.

Çizelge 1. Bileşke parçacık hızı tahminine yönelik çeşitli ampirik yaklaşımlar

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

PVS: Bileşke parçacık hızı (mm/s)
R : Mesafe (m)
W: Gecikme başına düşen (anlık) maksimum patlayıcı miktarı (kg)
B: Dilim kalınlığı(m)
K, n, β, α : Saha sabitleri

İnceleme yapılan bölgenin jeolojik yapısı, süreksizliklerin konumu, uygulanan patlatma paterni (delikler arası mesafe, gecikme süreleri, dilim kalınlığı vb) gibi parametrelerde göz önünde bulundurulmalıdır. Söz konusu parametrelerden jeolojik yapıyla ilgili olanlar yaklaşım modellerinde ölçekli mesafe-bileşke parçacık hızı ilişkisinin regresyon analizi ile elde edilen fonksiyonların deneysel katsayılarıyla bulunurlar.

Çizelge 1' de verilen çalışmalar patlatma sonucu oluşacak titreşim seviyelerinin tahmini amacını taşımaktadır. Yöntem olarak öncelikle tahmin fonksiyonunun oluşturulması gereklidir. Bunun için bilinen gecikme başına düşen patlayıcı miktarlarda bilinen mesafelerde jeofonlarla bileşke parçacık hızı değerleri ölçülür ve ölçekli mesafe-bileşke parçacık hızı değişimi oluşturulur. Oluşturulan ölçekli mesafe-bileşke parçacık hızı değişimi üzerinde regresyon analizleri ile ikili ilişkinin katsayıları sayısal olarak belirlenir. Sayısal analiz çalışmalarında, yaklaşım eğrilerinin güvenilirliği, güven aralığı sınırları ile denetlenmektedir. Gerçek ölçüm verileri ile oluşturulmuş yaklaşım eğrilerinin doğruluğu hakkında değerlendirme yapılmasını sağlayan güven aralığı sınırları, gerçek ölçüm verilerinin normal dağılım grafiğinden istatistik analizler yardımıyla elde edilebilmektedir. Bunun anlamı, katsayıları belirlenmiş bir bölgede çevresel titreşim seviyesi ampirik modeller kullanılarak yüzdesel ihtimaller ile tahmin edilebilir.

Saha ölçümlerine dayalı ikili regresyon analizleriyle üretilen ampirik yaklaşımlar kullanılarak yapılan bileşke parçacık hızı tahminlerinde kabul edilebilir sınırların dışında hatalar olabileceği çeşitli araştırmacılar tarafından rapor edilmiş ve alternatif olarak esnek hesaplama yöntemleri önerilmiştir. Bu araştırmacılar özellikle bileşke parçacık hızının

tahmininde kontrol edilebilir ve kontrol edilemeyen değişkenlerin katsayılar ile ifade edilmesini eksiklik olarak öne sürmüşlerdir (Singh and Singh, 2005, Ghasemi *et al.*, 2013, Khandelwa and Singh, 2009; Hudaverdi, 2012). Bu çerçevede titreşim ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde regresyon analizinden farklı alternatif tahmin modelleri gündeme gelmiştir. Bunlardan yapay sinir ağları (YSA) ve bulanık mantık (BM) modelleri ile gerçekleştirilen tahmin analizlerinin daha doğru sonuç ürettiği ve korelasyon katsayılarının yüksek olduğu son dönemde yapılmış akademik incelemelerde vurgulanmaktadır. Çizelge 2'de konuyla ilgili yapılmış bazı araştırmalarda kullanılan esnek hesaplama yöntemi, kullanılan girdi parametresi ve korelasyon katsayıları verilmektedir.

Çizelge 2. Esnek hesaplama yöntemleriyle bileşke parçacık hızının tahminine yönelik yapılmış çalışmalar

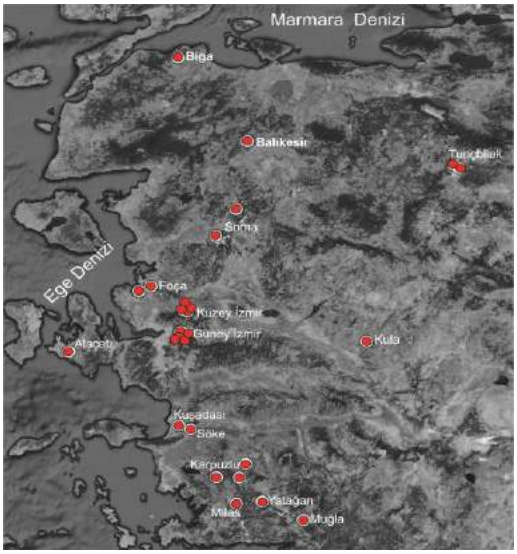
Kaynak	Kullanılan Yöntem	Girdi Parametreleri	Veri Sayısı	Korelasyon katsayısı
Khandelwal and Singh, (2009)	Yapay Sinir Ağları	Gecikme başına düşen patlayıcı miktarı, Patlatma şev aynasına olan mesafe Patlatılabilirlik indeksi, Dilim kalınlığı Delikler arası mesafe, Delik boyu, Detonasyon hızı, P-dalgası hızı, Young modülü, Poisson oranı	154	R^2=0,98
Monjezi *et al.*, (2010)	Yapay Sinir Ağları	Gecikme başına düşen patlayıcı miktarı, Patlatma şev aynasına olan mesafe Dilim kalınlığı –delikler arası mesafe oranı Delik sırası sayısı Tek eksenli basınç dayanımı Sıra gecikmesi	269	R^2=0,98
Monjezi *et al.*, (2011)	Yapay Sinir Ağları	Gecikme başına düşen patlayıcı miktarı, Patlatma şev aynasına olan mesafe Delik boyu, Sıkılama boyu	182	R^2=0,98
Khandelwal *et al.*, (2011)	Yapay Sinir Ağları	Gecikme başına düşen patlayıcı miktarı, Patlatma şev aynasına olan mesafe	130	R^2=0,92
Mohamed, (2011)	Yapay Sinir Ağları Bulanık Mantık	Gecikme başına düşen patlayıcı miktarı, Patlatma şev aynasına olan mesafe	162	R^2_{YSA}=0,94 R^2_{BM}=0,90
Fisne *et al.*, (2011)	Yapay Sinir Ağları	Gecikme başına düşen patlayıcı miktarı, Patlatma şev aynasına olan mesafe	33	R^2=0,92
Ghasemi *et al.*, (2013)	Bulanık Mantık	Gecikme başına düşen patlayıcı miktarı, Patlatma şev aynasına olan mesafe Dilim kalınlığı Delikler arası mesafe Sıkılama boyu Delik sırası sayısı Toplam Şarj miktarı	120	R^2=0,95
Monjezi *et al.*, (2013a)	Yapay Sinir Ağları	Gecikme başına düşen patlayıcı miktarı, Patlatma şev aynasına olan mesafe	20	R^2=0,93
S. Ghoraba ve ark. (2014)	Yapay Sinir Ağları	Gecikme başına düşen patlayıcı miktarı, Patlatma şev aynasına olan mesafe Dilim kalınlığı –delikler arası mesafe oranı Delik boyu Sıkılama boyu	115	R^2=0,98

Çizelge 2 de verildiği gibi esnek hesaplama yöntemleriyle bileşke parçacık hızının tahminine yönelik analizlerde yüksek korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Ancak girdi parametreleri dikkate alındığında çalışmaların büyük çoğunluğunda titreşimin yayıldığı jeolojik ortamı temsilen sayısal parametre kullanılmamıştır. Ampirik yaklaşım modellerinde olduğu gibi gecikme başına düşen patlayıcı miktarı ve patlatma şev aynasından uzaklık ortak girdi

parametresi olarak alınmış, bu değişkenlere ek olarak patlatma tasarım parametrelerinden bir veya bir kaçı girdi parametresi olarak kullanılmıştır.

4. ÇEVRESEL TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİ SAHA ÇALIŞMALARI

Patlatma kaynaklı çevresel titreşimlerin ölçümü kapsamında 2002-2015 yılları arasında 28 farklı bölgede gerçekleştirilmiş 176 adet patlatmadan 358 titreşim ölçümü burada değerlendirilmiştir. Titreşim ölçümleri yapılan bölgeler Şekil 5'de verilmektedir.



Şekil 5. Çevresel titreşim ölçümü yapılarak raporlanmış 28 farklı bölgenin konumları

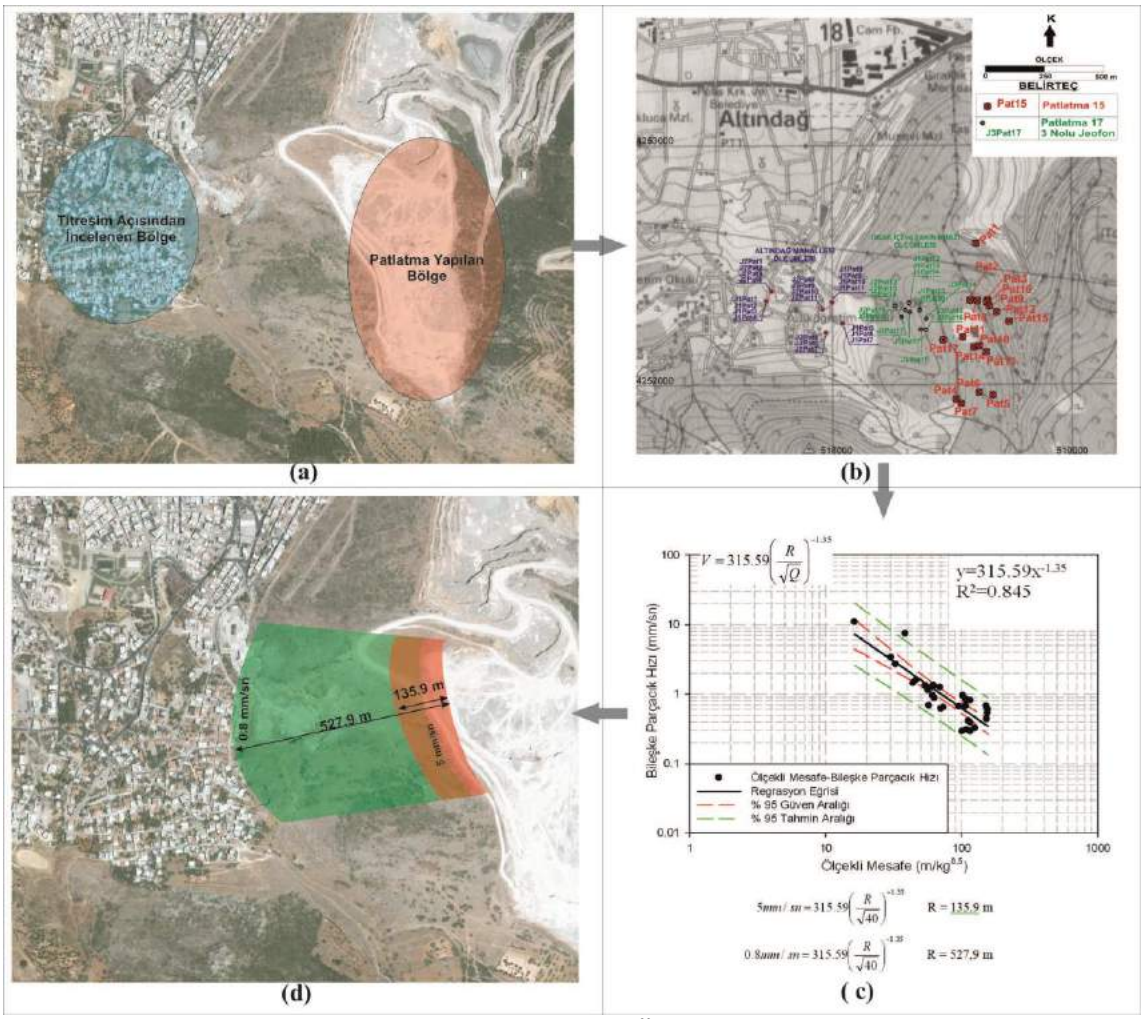
Bu bölgelerin tamamında titreşim ölçümleri patlatmalı kazı çalışmalarının neden olduğu çevresel titreşimin yerleşim birimlerine veya mühendislik yapılarına (baraj, su kuyusu, yeraltı imalatı vb) etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Patlatmalı kazı çalışmaları yapılan bölge ile bu bölgeden etkilenmesi düşünülen bölge arasında arazi üzerinde değişen mesafelerde jeolojik yapı gözetilerek seçilen noktalardan titreşim ölçümleri alınmıştır. Ölçümler sırasında patlatma tasarımı parametreleri, patlatma konumu ve jeofonların konumu detaylı olarak kaydedilmiştir. Elde edilen titreşim ölçümleri yukarıda verilen ampirik yaklaşımlarda özetlenen yöntemle analiz edilmiştir. Buna göre gecikme başına düşen patlayıcı miktarı ve patlatma şev aynasına olan mesafenin orantılandığı ölçekli mesafe-bileşke parçacık hızı değişimi grafiği oluşturulmuştur. Bu değişim grafiği üzerinde üstel regresyon analizi yöntemi kullanılarak Eşitlik 4'deki genel olarak verilmiş çevresel titreşim tahmin fonksiyonun katsayıları her bir bölge için elde edilmiştir.

$$PVS = K\left(\frac{R}{\sqrt{W}}\right)^{-\beta} \qquad (4)$$

PVS : Bileşke parçacık hızı (mm/s)
R : Mesafe (m)
W : Gecikme başına düşen (anlık) maksimum patlayıcı miktarı (kg)
K, β, : Saha sabitleri

Saha çalışmalarında izlenen metodolojinin anlaşılması amacıyla burada örnek bir saha çalışması detaylandırılmıştır. Örnek olarak İzmir ilinin güneyinde çimento hammaddesi sağlayan bir kalker ocağı ele alınmıştır. Hammadde ocağının kapladığı alanın uzun ekseni

kuzey –güney yönünde ilerlemekte ve batı kenarından yaklaşık 350-750 m arasında değişen mesafede Bornova Altındağ Mahallesine ait yerleşim birimleri bulunmaktadır. Yerleşim birimleri yönünde 17 adet patlatmadan çift titreşim ölçüm cihazı kullanılarak ölçümler alınmıştır. Ölçümlerde cihazlardan birisi binaların zemininde oluşturulan noktalarda diğeri ise hammadde ocağı ile yerleşim birimleri arasındaki arazide farklı mesafelerdeki noktalarda oluşturulmuştur. Toplam 32 adet titreşim ölçümünden 22 adeti yerleşim birimi içinde binaların zemininde gerçekleştirilmiştir. Yerleşim birimlerinde alınan titreşim ölçümleri 0,29 mm/sn ile 0,95 mm/sn arasında değişen bileşke parçacık hızları, buna karşılık 3,5 ile 34 Hz arasında frekans değerleri ölçülmüştür. Hammadde ocağı ile yerleşim birimleri arasındaki arazinin titreşim yayılma karakteristiği Eşitlik 4'de verilen ampirik yaklaşımla analiz edilmiş ve katsayılar tespit edilmiştir. Elde edilen katsayılar kullanılarak patlatmalar sonucu oluşacak çevresel titreşim seviyesinin farklı değerleri için tahminler gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar aşamalı olarak Şekil 6'da verilmiştir (D. Karakuş ve ark., 2010).



Şekil 6. Çevresel titreşim saha çalışması aşamaları-Örnek (D. Karakuş ve ark., 2010).

4.1. Çevresel Titreşim Ölçüm Sonuçları İstatistik Analizi

Burada uygulayıcıya yön göstermesi açısında 28 farklı bölgede gerçekleştirilmiş 176 adet patlatmadan kaydedilmiş 358 adet titreşim ölçümü sonuçları genel olarak değerlendirilmiştir. Ölçümlerin hepsinde Instantel Firmasına ait Blastmate titreşim ölçüm cihazı kullanılmış ve çıktıları aynı firmanın Blastware yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Ölçümlerin hemen

hemen hepsi neojen birimlerde en fazla ise kireçtaşı ocaklarında gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde her bir patlatma için patlatma tasarım büyüklükleri (dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, delik çapı, delik boyu, delik sayısı, kullanılan gecikme aralığı, şarj kolonu yüksekliği, sıra sayısı) kaydedilmiştir. Ayrıca kullanılan gecikme sistemi dikkate alınarak gecikme başına düşen patlayıcı miktarı ve patlatma şev aynasına olan uzaklık ana değişkenler olması nedeniyle hassas olarak belirlenmiştir. 176 adet patlatma grubuna ait tasarım büyüklükleri ortalama, en küçük ve en büyük değerler Çizelge 3'de, patlatmalardan alınmış 358 adet titreşim kaydı sonuçları ortalama, en küçük ve en büyük değerleri Çizelge 4'de verilmektedir.

Çizelge 3. 176 adet patlatma grubu ortalama, en küçük, en büyük tasarım değerleri

Değişken	Ortalama	En Küçük	En Büyük
Dilim kalınlığı	**2,5 m**	1,2 m	4,5 m
Delikler arası mesafe	**3,3 m**	1,8 m	5,0 m
Delik çapı	**97* mm**	76 mm	165 mm
Delik boyu	**11,5m**	5 m	21 m
Şarj kolonu yüksekliği	**8,1 m**	1,8 m	16 m
Sıkılama boyu	**3,2 m**	1,5 m	5,1 m
Patlatma grubundaki delik sayısı	**14 adet**	4 adet	90 adet

* Delik çapı değeri sayısal ortalamadır. 176 adet patlatma grubunun 97 adetinde delik çapı 89 mm'dir.

Çizelge 4. 358 adet çevresel titreşim ölçümü ortalama, en küçük ve en büyük değerleri

Değişken	Ortalama	En Küçük	En Büyük
Gecikme başına patlayıcı miktarı	**58 kg**	10 kg	720 kg
Şev aynasından olan mesafe	**305 m**	44 m	1086 m
Yanlamasına eksen parçacık hızı	**2,63 mm/sn**	0,10 mm/sn	22,2 mm/sn
Dikey eksen parçacık hızı	**2,14 mm/sn**	0,12 mm/sn	17,9 mm/sn
Uzunlamasına eksen parçacık hızı	**2,95 mm/sn**	0,14 mm/sn	21,9 mm/sn
Yanlamasına eksen frekans	**24 Hz**	33,4 Hz	100 Hz
Dikey eksen frekans	**22 Hz**	4,0 Hz	100 Hz
Uzunlamasına eksen frekans	**23 Hz**	1,73 Hz	100 Hz
Bileşke parçacık hızı	**3,80 mm/sn**	0,14 mm/sn	31,3 mm/sn
Ölçekli Mesafe	**46,3 m/kg^{0,5}**	8,0 m/kg^{0,5}	184,1 m/kg^{0,5}

Daha öncede belirtildiği gibi çevresel titreşim ölçümleri farklı bölgelerde, farklı jeolojik yapılarda ve birbirlerine göre farklı kurgulanmış patlatma noktası – jeofon konumlarında gerçekleştirilmiştir. Örneğin bir patlatma bölgesinde incelenen bölge patlatma şev aynasının ayna arkasındayken bir başka bölgede şev aynası önünde gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde bir bölgede patlatma bölgesi incelenen bölgeden üst kotlardayken bir başka bölgede alt kotlarda olmuştur. Diğer taraftan patlatma şev aynasının önünün dolu olması (kapalı ayna) veya dilim kalınlığı değişimi gibi çevresel titreşim seviyesinin oluşmasında önemli etkiler göz

ardı edilmiştir. Bu nedenle titreşim ölçümleri sonuçlarının ampirik yaklaşımlarla veya esnek hesaplama yöntemleriyle analizi burada yapılmamıştır.

Genel olarak çevresel titreşim seviyesi için ölçümler patlatmalı kazı çalışmalarının belirli bir zamanında gerçekleştirilmekte ve tahmin analizleri bu belirli zamanda elde edilen gözlem verileriyle gerçekleştirilmektedir. Aynı patlatma bölgesi için kazı çalışmalarının ilerlediği aşamalarda geliştirilen ampirik tahmin modellerinin katsayılarında değişimler gözlenmiştir. Benzer şekilde kazı çalışmalarının ilerlediği bazı durumlarda kazı aynasının jeolojik yapısı değişmektedir. Bu durumda ampirik tahmin modelleri katsayılarındaki değişimin ortaya konulması için tekrar yeterli sayıda gözlem ölçümleri yapılmalıdır. Belirli zaman aralığında yapılmış titreşim ölçümüne dayalı ampirik yaklaşımlarla ilgili bir diğer olumsuz durum ise patlatma parametrelerinde madencilik tekniği ve ekonomik analize dayalı değişiklikler yapılması durumudur. Bu durumda da yeni tasarım şartlarında çevresel titreşim ölçümleri tekrarlanmalı ve ampirik yaklaşım modellerinin katsayıları güncellenmelidir.

Yukarıda genel olarak sayılan nedenlerden dolayı patlatmalı kazı çalışmalarından etkilenmesi riskli herhangi bir alan tanımlandıysa gerekli altyapı sağlanarak sabit istasyonlardan sürekli gözlem ölçümleri alınmalı ve sonuçları analiz edilmelidir.

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Patlatmalı kazı çalışmaları sonucu oluşan çevresel titreşim seviyesinin ölçümü, sonuçlarının değerlendirilmesinin tartışıldığı bu çalışmada öncelikle çevresel titreşimi karakterize eden büyüklüklerin nasıl ve hangi prensiplerle ölçüldüğü tanıtılmıştır. Çevresel titreşim ölçümü saha çalışmaları genel çerçevede değerlendirilmiş ve ilkeleri ortaya konulmuştur. Çevresel titreşim ölçüm sonuçlarının analizi için kullanılan yöntemlerinin gelişimi ele alınarak gelinen noktada önerilen tahmin modellerinin kullanımı tartışılmıştır. Ayrıca 2002-2015 yılları arasında 28 farklı bölgede 176 adet patlatma grubundan alınmış 358 adet titreşim kaydıyla ortalama sayısal değerler ortaya konulmuştur. Bu çerçevede elde edilen sonuç ve tartışmalar aşağıda verilmektedir.

1. Patlatmalar sonucu oluşan çevresel titreşimin ölçüm cihazlarının çalışma prensibi ve elde edilen titreşim karakterizasyon parametreleri yeterli görülmektedir.
2. Çevresel titreşim ölçümleri saha çalışmaları uygulayıcılar tarafından farklı pratikleştirilmiş olsa da hataların minimize edilmesine yönelik genel ilkeler bildiri içerisinde verilmiştir.
3. Çevresel titreşim ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesine yönelik süregelen bir tartışma devam etmektedir. Tartışmanın odak noktası patlatmalı kazı çalışmalarının neden olduğu çevresel titreşimin yüksek doğrulukla tahmin modeli seçiminde farklılıklar olmasıdır. Bir taraftan gözlem titreşim ölçümleriyle oluşturulan ikili regresyon analizlerine dayalı ampirik tahmin modelleri önerilmekteyken diğer taraftan ampirik tahmin modellerinde bir çok değişken etkisinin katsayılar ile ifade edildiği bunun bir eksiklik olduğu ve yerine yapay sinir ağları, bulanık mantık gibi esnek hesaplama analiz yöntemlerinin önerildiği yaklaşımlar mevcuttur.
4. Patlatmalı kazı çalışmaları sonucu oluşan çevresel titreşim, patlatma tasarım parametreleri (dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, delik boyu, delik çapı, sıkılama boyu, şarj yüksekliği, gecikme aralığı, gruptaki sıra sayısı, sıralar arası gecikme aralığı), patlatılacak şev aynasının süreksizlik özellikleri ve çevresel titreşimin yayıldığı ortamın jeolojik yapısı

(süreksizlik durumu, süreksizlik aralığı, süreksizlik sıklığı, sismik hız karekteri, su durumu, katmanlanma durumu vb) tarafından denetlenmektedir. Gecikme başına düşen patlayıcı miktarı ortama yayılan ve titreşime neden olan enerjinin miktarını, patlatma şev aynasından uzaklaştıkça artan mesafe de çevresel titreşimin seviyesini denetlemektedir. Bu çerçevede yukarıda sayılan değişkenlerden herhangi birini veya bir kaçını ihmal eden tahmin modeli tartışmaya açık olacaktır. Diğer taraftan patlatmalı kazı çalışmalarının herhangi bir anında veya başlangıcında yapılan gözlem ölçümleriyle oluşturulan tahmin modelleri patlatmalı kazı çalışmaları riskli bölgeye doğru ilerledikçe veya geriledikçe önemli oranda değişebilir. Bu nedenle problem sistematik olarak patlatmalı kazı çalışmaları yapılacak bir bölge ve patlatmalı kazı çalışmaları sonucu oluşacak çevresel titreşimden etkilenmesi riskli olan bir başka bölge varlığı olarak tanımlandığında yazarlar çevresel titreşimden etkilenmesi muhtemel riskli bölgelerde sabit titreşim seviyesi ölçüm cihazlarıyla sürekli ölçüm yapılmasını önermektedir.

KAYNAKLAR

Ambraseys NR, Hendron AJ. (1968). Dynamic Behaviour of Rock Masses. Rock Mechanics in Engineering Practices. London: Wiley.

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.

Fişne, A., Kuzu, C., Hüdaverdi, T., 2011. Prediction of environmental impacts of quarry blasting operation using fuzzy logic. Environ. Monit. Assess., 174:461-470.

Ghasemi, E., Ataei, M., Hashemolhosseini, H., (2013). Development of a fuzzy model for predicting ground vibration caused by rock blasting in surface mining. J. Vib. Control., 19:755-770.

Hüdaverdi T., (2012). Application of multivariate analysis for prediction of blast-induced ground vibrations. Soil. Dyn. Earthq. Eng., 43:300-308.

Instantel, Minimate Plus, Operator Manual, 716U0101-Rev-15.

Khandelwal, M., Singh, T.N., (2009). Prediction of blast-induced ground vibration using artificial neural network. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci., 46:1214-1222

Karakuş, D. Konak, G., Onur, A.H., Tosun, A., (2010) Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Çevresel Etkisini Düzenleyen Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliğinin Tartışılması, 6. Delme Patlatma Sempozyumu Bildiriler Kitabı,245-255

Khandelwal, M., Kumar, D.L., Yellishetty, M., 2011. Application of soft computing to predict blast-induced ground vibration. Eng. Comput., 27:117-125

Mohamed, M.T., 2011. Performance of fuzzy logic and artificial neural network in prediction of ground and air vibrations. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci., 48(5):845-851.

Ghoraba S., Monjezi M., TALEBI N., M. R. Moghaddam4, D. Jahed Armaghani, 2014. Prediction of ground vibration caused by blasting operations through a neural network approach: a case study of Gol-E-Gohar Iron Mine, Iran. J Zhejiang Univ-Sci A (Appl Phys & Eng)

Monjezi M., Ahmadi M., Sheikhan A., Bahrami M., Salimi A.R., (2010). Predicting Blast-Induced Ground Vibration Using Various Types of Neural Networks., Soil. Dyn. Earthq. Eng., 30: 1233-1236.

Monjezi, M., Ghafuri kalajahi, M., Bahrami, A., 2011. Prediction of Blastinduced Ground Vibration Artifical Neural Networks., Tunnel. Undergr. Sp. Technol Using. 26:46-50.

Monjezi, M., Hasanipanah, M., Khandelwal, M., 2013a. Evaluation and prediction of blast-induced ground vibration at Shur River Dam, Iran, by artificial neural network. Neural. Comput. Appl., 22:1637-1643.

Öngen T., Karakuş D., Gönen A., Turan G. (2015). Hammadde Ocaklarında Patlatmalı Kazı Çalışmaları Sonucu Oluşan Çevresel Titreşimlerin İki Farklı Tahmin Modeli ile Değerlendirilmesi-Örnek Çalışma, 9. Uluslararası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 14-15 Mayıs, Bildiriler Kitabı, 623-636. İzmir, Türkiye.

Roy P. R., (2013). A Comprehensive Assesment of Ground Vibrations and Structural Damage Caused by Blasting. Rock Fragmentation by Blasting., Fragblast 10.,433-441.

Singh, T.N., Singh, V., (2005). An intelligent approach to prediction and control ground vibration in mines. Geotech. Geol. Eng., 23:249-262.