

**AÇIK OCAK MADENLERDEKİ PATLATMA
OPERASYONLARINDA ÇİFT YEMLEME KULLANIMININ,
İNFİLAK HIZI, TANE BOYUTU VE FRAGMENTASYONA
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DOUBLE
PRIMER EXPLOSIVE USAGE ON VELOCITY OF
DETONATION, GRAIN SIZE AND FRAGMENTATION IN
OPEN PIT MINE BLASTING OPERATIONS**

MUHAMMET HÜSNÜ ÇELİK

DR. ÖĞR. ÜYESİ EMRE YILMAZKAYA

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Sınav Yönetmeliğinin
MADEN MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2023

Sevgili eşim Özge için...

ÖZET

AÇIK OCAK MADENLERDEKİ PATLATMA OPERASYONLARINDA ÇİFT YEMLEME KULLANIMININ, İNFİLAK HIZI, TANE BOYUTU VE FRAGMENTASYONA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Muhammet Hüsnü Çelik

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Emre YILMAZKAYA

Haziran 2023, 71 sayfa

Madencilikte yapılan delme ve patlatma operasyonları işletme verimliliğine ve maliyetlere doğrudan etki edebilen açık ocak madenciliğinde önemli süreçlerden bir tanesidir. Bu tez çalışmasında, 2 farklı açık ocak işletmesinde delme-patlatma operasyonlarında çift yemleme uygulamasının farklı kullanımlarının tane boyutu üzerine etkileri araştırılmıştır. Çift yemleme kullanımının patlatma sürecine etkisini değerlendirmek amacıyla deneysel çalışmalar ve analizler gerçekleştirilmiştir. Deneyler, açık ocak işletmelerinde iki farklı sahada toplam 5 patlatma ile gerçekleştirilmiştir. İlk sahadaki patlatmalarda, tek yemleme ve çift yemleme kullanılarak gerçekleştirilen atımların delik içi infilak hızı (VOD) ölçümleri ve tane boyutu analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, çift yemleme yapılan patlatmalarda daha düşük tane boyutu, birbirine yakın ölçülerde parçalanma yapısı ve daha verimli kazı-yükleme performansı olduğunu göstermiştir. İkinci sahadaki patlatmalarda ise ara sıkılama ile çift yemleme kullanımını optimize etmek için gecikme düzeni ve yük hafifletmesi kavramları

üzerinde durulmuştur. Sadece ateşleme tasarımı değiştirilerek gecikme düzeninin tane boyutu üzerinde etkisi ve doğru gecikme düzeniyle yük hafifletmesinin kazı-yükleme performansını iyileştireceği ortaya konulmuştur. Çalışma kapsamında çift yemleme kullanımının infilak hızını artırdığı, detonasyon basıncını yükselttiği, tane boyutunu küçülttüğü ve kazı-yükleme verimliliğini artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca, gecikme düzeninin tane boyutu üzerindeki etkisi ve doğru gecikme düzeniyle yük hafifletmesinin kazı-yükleme performansını iyileştireceği gösterilmiştir. Özellikle uzun deliklerde çift yemleme kullanımının ve gecikme düzeni optimizasyonunun patlatma verimi için oldukça önemli parametreler olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: patlatma, infilak hızı, tane boyutu, fragmentasyon, açık ocak, çift yemleme, yük hafifletmesi, optimizasyon

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DOUBLE PRIMER EXPLOSIVE USAGE ON VELOCITY OF DETONATION, GRAIN SIZE AND FRAGMENTATION IN OPEN PIT MINE BLASTING OPERATIONS

Muhammet Hüsnü Çelik

**Master of Science, Department of Mining Engineering
Supervisor: Assist. Prof. Emre YILMAZKAYA**

June 2023, 71 pages

Drilling and blasting operations in mining are essential processes that directly impact the operational efficiency and costs in open-pit mining. This thesis study investigates the effects of double priming applications in drilling and blasting operations on particle size in two different open-pit mines. Experimental studies and analyses were conducted to evaluate the influence of double priming on the blasting process. The experiments were carried out with a total of 5 blasts in two different areas of the open-pit mines. In the first site blasts, measurements of in-hole detonation velocity (VOD) and particle size analysis were conducted for blasts performed with single priming and double priming. The results obtained indicate that blasts with double priming exhibit lower particle size, homogeneous fragmentation, and improved excavation-loading performance. In the second site blasts, emphasis was placed on optimizing the utilization of double priming through delay pattern and burden relief concepts. It was demonstrated that modifying the firing design to adjust the delay pattern and implementing proper burden relief can enhance excavation-loading performance by affecting particle

size. The study revealed that the use of double priming increases detonation velocity, raises detonation pressure, reduces particle size, and improves excavation-loading efficiency. Furthermore, the impact of delay sequencing on particle size and the improvement of excavation-loading performance through proper delay sequencing and burden relief were demonstrated. Specifically, for long holes, the use of double priming and optimization of delay sequencing were identified as significant parameters for achieving efficient blasting results.

Keywords: blasting, velocity of detonation, particle size, fragmentation, open pit, double priming, burden relief, optimization

TEŞEKKÜR

Lisans eğitimim ardından baŐlayıp tamamlamıŐ olduğum lisansüstü eğitimim boyunca hiğbir zaman desteklerini esirgemeyen, sabırla her zaman yanımda duran ve gúven veren değerli danıŐmanım Dr. Öğr. Üyesi Emre YILMAZKAYA'ya,

Patlayıcı sektörü hakkında bilgi ve birikim sahibi olmamı sağlayan gerek tez çalıŐmalarım gerek profesyonel iş hayattımda hiğbir desteği esirgemeyen, baŐta teknik servis müdürü Özgün Görkem İLİK olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarım ve değerli büyüklerime, KAPEKS ailesine,

Her zaman yanımda olup desteklerini esirgemeyen değerli annem ve babama,

Sonsuz TeŐekkürler...

Muhammet H. ÇELİK
Haziran 2023, Ankara

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER.....	viii
TABLOLAR.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1.GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	1
1.2. Literatürdeki Çalışmalar	2
1.3. Tezin Bölümleri	6
2.GENEL BİLGİLER.....	7
2.1.Patlayıcı Madde ve Ateşleme Sistemleri.....	8
2.1.1.Patlayıcı Maddeler	10
2.1.2.Patlayıcı Çeşitleri	10
2.1.3.Ateşleme Sistemleri	13
2.2.Patlatma ve Kaya Parçalanma Mekanikliği	16
2.2.1.Patlatma	16
2.2.2.Kaya Parçalanma Mekanikliği	17
2.3.Açık Ocak Patlatma Tasarımı	21
2.3.1.Olofsson Yöntemi	21
2.3.2. Patlatma Parametreleri	26
2.4. Yemleme ve Detonasyon Süreci.....	27

3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
3.1.Çalışmada İzlenen Yöntem.....	30
3.2.Çalışma Yapılan Sahalar Hakkında Genel Bilgiler.....	32
3.2.1.Saha – 1 Genel Bilgileri.....	32
3.2.2.Saha – 2 Genel Bilgileri.....	34
3.3.İnfilak Hızı Ölçümü.....	35
3.4. Tane Boyutu Analizi.....	37
3.4.1. Saha 1-1 – Tek Yemleme Uygulaması.....	38
3.4.2. Saha 1-2 – Çift Yemleme Uygulaması.....	39
3.4.3. Saha – 2’de Yapılan Çalışmalar.....	42
4.BULGULAR.....	44
4.1.Patlatma Parametrelerinin Bilgisayar Yazılımı ile Değerlendirilmesi.....	44
4.1.1.Saha – 1.....	44
4.1.2. Saha – 2.....	48
4.2.Delik İçi İnfilak Hızı (VOD) Ölçüm Sonuçları.....	53
4.2.1. Saha 1 – Tek Yemleme VOD Ölçüm Sonucu.....	53
4.2.2. Saha 1 – Çift Yemleme VOD Ölçüm Sonucu.....	54
4.3.Tane Boyutu Analizleri.....	55
4.3.1. Saha 1’de Tek Yemleyici ile Yapılan Patlatmanın Analizleri.....	55
4.3.2. Saha 1’de Çift Yemleme ile Yapılan Patlatmanın Analizleri.....	58
4.3.3. Saha 2’de Yapılan Patlatmaların Analizleri.....	61
5.BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	63
5.1. Saha 1’den Elde Edilen Bulgular.....	63
5.2. Saha 2’den Elde Edilen Bulgular.....	65
6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	68
7.KAYNAKÇA.....	70

ŞEKİLLER

Şekil 2.1.Kaya Parçalanmasında Patlatma Maliyeti ve İşletme Maliyetleri Arasındaki İlişki [15]	7
Şekil 2.2.Patlayıcının Tarihi [16]	8
Şekil 2.3.Nitrogliserin bazlı dinamit [16]	10
Şekil 2.4.Yemlemeye duyarlı emülsiyon patlayıcı (I) ve kapsüle duyarlı emülsiyon patlayıcı (II) [17]	11
Şekil 2.5.Yemlemeye duyarlı dökme emülsiyon şarj kamyonu (Bulk) [16]	11
Şekil 2.6.Kapeks ANFO 25kg [17]	12
Şekil 2.7.Elektrikli kapsül, nonel kapsül ve elektronik kapsül gecikme elemanları [16]	13
Şekil 2.8.Nonel kapsül [16]	14
Şekil 2.9.İnfilaklı fitil [17]	15
Şekil 2.10.Elektronik ateşleme sistemleri ve uzaktan bağlantı elemanları [19]...	16
Şekil 2.11.Patlayıcı-kayaç etkileşimi [20]	17
Şekil 2.12.Şok dalgalarının dışarı doğru yayılması [20]	19
Şekil 2.13.Gazların çatlakların içine girerek kayaç hareketini sağlaması [20].....	19
Şekil 2.14.Delik içi infilak mekanizması [20]	20
Şekil 2.15.62° eğimli bir delikte uzunluk hesabı [21]	24
Şekil 2.16.Uygun ve yetersiz yemleyici kullanımı sonucu oluşan zonlar [24].....	29
Şekil 3.1.Çalışmada izlenen yöntem	30
Şekil 3.2.Saha 1 uydu görüntüsü (İşaretli 1.ve 2. patlatma bölgeleri).....	32
Şekil 3.3.Niğde bölgesi jeolojisi [25]	33
Şekil 3.4.Kastamonu Hanönü jeolojik yapısı [26]	34
Şekil 3.5.Microtrap VOD (İnfilak Hızı) ölçüm cihazı	35
Şekil 3.6.Direnç kablosu (prob) (solda), cihaz bağlantı anten kablosu (ortada), anten kablosu-prob bağlantısı (sağda)	35
Şekil 3.7.Dinamit-prob bağlantısı (solda), delik içine yerleştirilmiş hali (sağda)...	36
Şekil 3.8.Sahaya yerleştirilen cihazın kayda hazır hale getirilmesi(solda) ve aktif cihaz (sağda)	36

Şekil 3.9.İkinci yemleyicinin yerleştirilmesi (solda) ve şarjlanmış ölçüme hazır delik (sağda)	37
Şekil 3.10.Saha 1 - 1. patlatma sonrası – Tek yemleme.....	38
Şekil 3.11.Saha 1 – 1. patlatma 1. analiz görseli.....	39
Şekil 3.12.Saha 1 – 1. patlatma 2. analiz görseli.....	39
Şekil 3.13.Saha1 – 1. patlatma 3. analiz görseli.....	39
Şekil 3.14.Çift yemleme yapılan patlatma sonrası.....	40
Şekil 3.15.Saha 1 – 2. patlatma 1. analiz görseli.....	40
Şekil 3.16.Saha 1 – 2. patlatma 2. analiz görseli.....	41
Şekil 3.17.Saha 1 – 2. patlatma 3. analiz görseli.....	41
Şekil 3.18.Saha 2, 520-2 patlatma öncesi.....	42
Şekil 3.19. 520-1. numaralı grup patlatma Analiz görseli.....	43
Şekil 3.20. 520-2 numaralı patlatma analiz görseli.....	43
Şekil 3.21. 520-3 numaralı grup patlatma analiz görseli.....	43
Şekil 4.1.Saha 1'deki ilk patlatma (üstte) ve ikinci patlatma (altta) ateşleme düzenleri.....	45
Şekil 4.2.Tek yemleme yapılan deliklerin delik içi patlayıcı şarjları.....	45
Şekil 4.3.Çift yemleme yapılan deliklerin delik içi patlayıcı şarjları.....	46
Şekil 4.4.Saha 1 patlatmaların özgül şarj dağılımları (ilk patlatma üstte, ikinci patlatma altta).....	46
Şekil 4.5.Patlatmaların yük hafifletmesi (ms/m) dağılımları (ilk patlatma üstte, ikinci patlatma altta).....	47
Şekil 4.6. 520-1 Ateşleme Tasarımı.....	48
Şekil 4.7. 520-1 Özgül Şarj(kg/m ³) dağılımı.....	49
Şekil 4.8. 520-1 Yük hafifletmesi (ms/m) dağılımı.....	49
Şekil 4.9. 520-2 Ateşleme Tasarımı.....	50
Şekil 4.10. 520-2 Özgül Şarj (kg/m ³) dağılımı.....	50
Şekil 4.11. 520-2 Yük hafifletmesi (ms/m) dağılımı.....	51
Şekil 4.12. 520-3 Ateşleme Tasarımı.....	51
Şekil 4.13. 520-3 Özgül Şarj (kg/m ³) dağılımı.....	52
Şekil 4.14. 520-3 Yük hafifletmesi (ms/m) dağılımı.....	52
Şekil 4. 15.Saha 1 tek yemleyici ile yapılan patlatma VOD ölçüm grafiği.....	53
Şekil 4.16.Saha 1 çift yemleyici kullanılarak yapılan patlatma VOD ölçüm grafiği.....	54

Şekil 4.17.Saha 1-1 ilk analiz grafiği.....	55
Şekil 4.18.Saha 1-1 ikinci analiz grafiği.....	56
Şekil 4.19.Saha 1-1 üçüncü analiz grafiği.....	56
Şekil 4.20.Saha 1-1 ortak analiz grafiği.....	57
Şekil 4.21.Saha 1-2 ilk analiz grafiği.....	58
Şekil 4.22.Saha 1-2 ikinci analiz grafiği.....	59
Şekil 4.23.Saha 1-2 üçüncü analiz grafiği.....	59
Şekil 4.24.Saha 1-2 ortak analiz grafiği.....	60
Şekil 4.25.Saha 2 520-1 analiz grafiği.....	61
Şekil 4.26.Saha 2 520-2 analiz grafiği.....	61
Şekil 4.27.Saha 2 520-3 analiz grafiği.....	62
Şekil 5.1.Saha 1’de yapılan patlatmalar sonrası yığınların ortak analizlerinin tane boyutu karşılaştırma grafiği.....	64
Şekil 5.2. 520-1 numaralı patlatma sonrası sıkışık yığın formu.....	65
Şekil 5.3. 520-3 numaralı patlatma sonrası gevşek yığın formu.....	66
Şekil 5.4.Saha 2’de yapılan patlatmalar sonrası yığınların tane boyutu karşılaştırma grafiği	67
Şekil 5.5. 520-1, 520-2, 520-3 için yük hafifletmeleri değişimleri	67

TABLolar

Tablo 2.1. Patlayıcıların farklı delik çaplarındaki şarj yoğunlukları (kg/m) [21]..	22
Tablo 2.2. Farklı eğimlerdeki delikler için R1 düzeltme faktörleri [21].....	23
Tablo 2.3. Farklı kaya sabitleri (özgül şarj) için R2 düzeltme faktörleri [21].....	23
Tablo 2.4. Farklı eğimlerdeki delikler için “k” düzeltme faktörleri [21].....	24
Tablo 3.1. Patlatmalarda kullanılan patlayıcıların teknik özellikleri	31
Tablo 4.1. Saha delik bilgileri	44
Tablo 4.2. Saha 2 delik bilgileri	48
Tablo 5.1. Saha 1’de patlatma sonucu oluşan yığınların P20-P50-P80 tane boyutu değerleri	64
Tablo 5. 2. Saha 2’de yapılan patlatmalar sonrası yığınlarının hesaplanan tane boyutu ve yük hafifletmesi dağılımları	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

mm	Milimetre
cm	Santimetre
m	Metre
ms	Milisaniye
sn	Saniye
kg	Kilogram
m ³	Metreküp
cm ³	Santimetreküp
⁰ K	Kelvin
P ₀	Detonasyon basıncı (kbar)
VOD	İnfilak Hızı (m/s)
R ₁	Delik eğimi düzeltme faktörü
R ₂	Kaya düzeltme faktörü (m)
K	Basamak yüksekliği (m)
B	Yük mesafesi (m)
D	Delik çapı (mm)
B _{max}	Azami yük (delik-ayna) mesafesi
H	Delik uzunluğu (m)
U	Dip delgi uzunluğu (m)
Q	Özgül şarj yoğunluğu (kg/m ³)

1.GİRİŞ

Açık ocak madenlerinde delme-patlatma operasyonları, üretimin ilk aşaması ve maliyetlere doğrudan etki edebilecek önemli bir süreçtir. Enerji kaçağının olmadığı ideal koşullarda, bir patlayıcı kolonunu ateşlemek için sadece tek bir yemleyiciye ihtiyaç duyulur, kolonun uzunluğu önemli değildir. Bu durumda, yemleyici patlayıcıya doğru bir enerji transferi gerçekleştirilerek detonasyonu başlatır ve bu detonasyon tüm kolon boyunca sürer. Enerji kaybının olmaması, yemleyici tarafından gönderilen enerjinin kolonun sonuna kadar etkili bir şekilde iletilmesini sağlar. Bu nedenle, tek bir yemleyici kullanarak patlayıcı kolonunu ateşlemek mümkün olur. Özellikle 10 metrenin üzerindeki uzun deliklerde çift yemleme kullanımı, atım sonuçlarını olumsuz etkileyebilecek faktörlerin azaltılmasına yardımcı olan kabul edilmiş bir yöntemdir. Bu yöntem, ikincil yemleme ile delik boyunca daha iyi enerji transferi sağlayarak patlayıcının alternatif bir yolla ateşlenmesini sağlar ve atım kesmesi riskini azaltır. Yetersiz sıkılama, aşırı sıkılama malzemesi veya yetersiz yemleyici dağılımı gibi etkenler, istenmeyen parçalanma ve istenmeyen tane boyutu dağılımına yol açabilir. Ancak, çift yemleme yöntemi kullanarak bu olumsuz faktörlerin etkileri azaltılabilir. İkincil yemleyici kullanımı, enerji iletimini iyileştirerek daha verimli bir parçalanma sağlar ve büyük tanelerin oluşumunu engeller. Çift yemleme kullanılarak uzun deliklerde patlatma daha güvenilir ve istikrarlı hale getirilir. Ayrıca, uzun deliklerde ikinci yemleyiciyi güçlendirici (booster) olarak ara sıkılama olmadan kullanmak, parçalanmayı artırır ve tane boyutunu düşürmede olumlu etkilere sahiptir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, açık ocak madenlerde çift yemleme kullanımında ikinci yemleyicinin güçlendirici (booster) etkilerini incelemek, çift yemlemenin infilak hızı ve tane boyutu üzerindeki etkilerini ortaya koymaktır. Ayrıca ara sıkılama ile çift yemleme yapılan uygulamalarda doğru gecikme düzeni ile tane boyutu açısından optimize edilmiş bir patlatma yöntemi sunarak sektöre katkıda bulunmaktır.

Çalışmanın ilk aşamasında, Niğde ili Hıdırlık mevkiinde bulunan bir kalsit ocağı işletmesinde aynı formasyon ve parametrelere sahip yaklaşık 14 metre uzunluktaki deliklerde, tek yemleme ve çift yemleme yöntemleriyle iki ayrı patlatma gerçekleştirilmiştir. Patlatmalarda delik içi infilak hızı ölçümleri alınmış ve patlatma sonrası sahadan görseller alınarak tane boyutu analizleri yapılmıştır. Patlatma sırasında delik içi infilak hızı ölçümleri için MREL firmasına ait Microtrap VOD/Data Recorder kullanılmış ve veriler, bilgisayar ortamında Data Acquisition Suite programıyla analiz edilmiştir. Patlatma sonrası ölçeklendirme çubukları ile alınan fotoğraflar Split-Desktop dijital görüntü işleme programıyla analiz edilerek yığının tane boyutu dağılımı belirlenmiştir.

İkinci aşamada ise Kastamonu ili Hanönü ilçesinde bulunan bir bakır ocağı dekapaj çalışmasında ara sıkılama ile çift yemleme yapılan 10 metre uzunluğundaki deliklerde gecikme düzenleri değiştirilerek bir optimizasyon çalışması yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında mevcut durum analizi sonrası gecikme düzenleri değiştirilerek üç ayrı patlatma gerçekleştirilmiş ve patlatma sonrası tane boyutu analizleri yapılmıştır. Kastamonu'daki patlatmalarda da aynı şekilde patlatma sonrası ölçeklendirme çubukları ile alınan fotoğraflar kullanılarak Split-Desktop dijital görüntü işleme programıyla analizler yapılmış ve yığının tane boyutu dağılımı belirlenmiştir. Sahalardaki parametrelere göre, özgül şarj dağılımları ve yük hafifletmeleri (burden relief ms/m) O-Pit Blast programı kullanılarak modellenmiş ve analiz edilmiştir.

1.2. Literatürdeki Çalışmalar

Literatürde açık ocak madenlerdeki patlatma operasyonlarında tane boyutu, infilak hızı ve fragmentasyonu etkileyen parametreler üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Özellikle bu parametrelerin işletme maliyetlerine etkileri konusunda çok sayıda çalışma mevcuttur. Konu ile alakalı yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Sümer, Öktem ve Frandberg [1], taş ocağı işletmelerinde patlatma yöntemiyle tane boyut dağılımının kontrolünü araştırmışlardır. Bu çalışmada, delik çapı, düzeni ve patlayıcı birimi gibi değişkenlerin manipülasyonu ile istenen tane dağılımının elde edilmesi hedeflenmiştir. Örnek olarak, Irak'taki Bekhme

Barajı'nda kalkerli sahada yapılan hafriyat, Libya Musurata'daki dolomitik kalker ocakları ve İsveç'teki granit ocakları incelenmiştir. Çalışmada optimizasyon için bazı gruplarda ara sıkılama ile çift yemleme kullanımı yapılmış olup bu çalışmalar, titreşim ve taş savrulması limitlerine göre kontrollü patlatma ile nakliye ve kırma-eleme işlemlerini göz önüne alarak maliyet optimizasyonunu açıklamaktadır.

Kılıç vd. [2], Afşin-Elbistan Linyitleri Kışlaköy Açık İşletmesi'nde gerçekleştirilen gevşetme patlatmalarının optimizasyon çalışmasını yapmışlardır. Ayrıca, patlatmalardan sonra döner kepçeli ekskavatörün verimindeki değişim değerlendirilmiştir. Patlatmalarda ara sıkılama ile çift yemleyici kullanılmıştır. Gevşetme patlatmalarının sonucunda döner kepçeli ekskavatörün kapasitesinde gözle görülür bir artış tespit edilmiştir. Ortalama olarak döner kepçeli ekskavatör kapasitelerinin en az 25% ila 30% oranında arttığı belirlenmiştir.

Bilgin ve Esen [3], farklı patlayıcıların performansını, farklı kaya koşullarında yerinde ölçülen infilak hızı (VOD) kullanarak değerlendirmiştir. Test sonuçları, bu patlayıcıların etkililiklerinin sıkıştırma derecesiyle olumlu bir şekilde ilişkili olduğunu göstermiştir. Verilen patlayıcı bileşimi ve patlayıcı delik çapı sabit tutulduğunda, sıkıştırma düzeyi arttıkça patlayıcıların infilak hızı (VOD) değerleri de artmıştır.

Bartley [4], Weaverland' da bulunan bir kalker sahasında gerçekleştirilen patlatmalarında; 3 patlatmada elektriksiz ateşleme sistemi, 6 patlatmada ise elektronik ateşleme sistemi tercih edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, elektronik ateşleme sistemi ile gerçekleştirilen patlatmalarda kaya parçalanmasında 32%'lik bir artış, kazı süresinde 25% azalma ve kırıcı maliyetlerinde 6-10% azalma gözlenmiştir. Titreşimler üzerinde elektronik ateşleme sistemlerinin net bir faydasını gösteren kesin bir sonuca ise ulaşamamış, ancak frekans değişiklikleri gözlenmiştir.

Bilgin ve Esen [5] çalışmalarında, patlayıcı türünün parçalanma üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Lafarge Yibitau Lalahan Taşocağı'nda ANFO ve BARANFO 50 patlayıcılarıyla gerçekleştirilen iki patlama testi incelenmiştir. Her iki testte aynı koşullar altında yapılmış olup, sadece patlayıcı madde farklılığı vardır. Testlerin sonuçlarına göre, BARANFO 50'nin kullanılması daha ince parçalanma

sağlamıştır. Bu sonuçlar, patlayıcı seçiminin sadece maliyetle değil, parçalanma etkisiyle de değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, Split-Desktop gibi doğruluğu kanıtlanmış yazılımların kullanılmasıyla parçalanma değerlendirmesinin daha doğru bir şekilde yapılabileceği vurgulanmıştır.

Onederra ve Esen [6], patlamaların sonuçları üzerinde olumlu bir etkisi olduğu kabul edilen gecikme zamanlamasının optimize edilmesini incelemiştir. Minimum tepki süresi (T_{min}) kavramı, uygun zamanlama kombinasyonlarını seçmek için önemli bir parametre olarak tanımlanmaktadır. Çalışmada, T_{min} 'in hesaplanması için bir metodoloji sunulmuş ve model, yüksek hızlı film/video verileri kullanılarak geliştirilmiştir. Ayrıca, yük hafifletme analizi kavramı da ele alınmıştır ve bu analiz, gecikme sürelerinin seçiminde yardımcı olmak için kullanılan bir araç olarak değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları, uygun hafifletmenin parçalanma, malzeme yığılı özelliği ve geri tepme gibi patlama sonuçları üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Özdemir [7] Split-Desktop dijital görüntü işleme yazılımını kullanarak bir işletmede parça boyutu analizi yapmayı ve patlatma verimliliği üzerine bir analiz gerçekleştirmeyi amaçlamıştır. Bu çalışmada, madencilik sektöründe delme ve patlatma yöntemlerinin kullanıldığı durumlarda parçalanma derecesi ve parça boyut dağılımının önemi incelenmiştir. Yapılan çalışmada, Split-Desktop dijital görüntü işleme yazılımını kullanarak bir işletmede parça boyutu analizi yapmayı ve patlatma verimliliği üzerine bir analiz gerçekleştirmiştir.

Uyar vd. [8], bir taş ocağındaki kırma işleminin verimliliği ve ekonomisi üzerindeki etkileri incelemek için ilk olarak, jeolojik analizler yapılarak ocağın basamaklarının jeolojik yapıyla uyumlu olup olmadığı belirlemiştir. Ayrıca, yer altı radarı (GPR) kullanılarak kırık bölgeler, pürüzlü alanlar ve hava şartlarından etkilenen bölgeler tespit edilmiştir. İkinci olarak, patlatma operasyonları için kontrol edilebilir parametreler dikkate alınmıştır. Patlayıcı türü, miktarı, ateşleme sistemi ve geometrik desen gibi faktörler, istenen parçalanmayı elde etmek ve çevresel etkileri minimize etmek amacıyla incelenmiştir. Çalışmada, jeolojik yapıların dikkate alınması sayesinde daha etkili bir parçalanma ile işletme verimliliğini arttırıldığı gözlemlenmiştir. Yer altı radarı gibi jeofizik yöntemlerin, çatlaklı yapıları ve süreksizlikleri tespit etmeye olanak sağlayarak patlatma tasarımında optimizasyona imkân verdiği tespit edilmiştir.

Düzgün [9], Kumtor Altın Madeni'nde yaptığı araştırmada, patlayıcı türü, sıkılama ve patlatma deliği çapının infilak hızı (VOD) üzerindeki etkisini incelemiştir. Yapılan yerinde infilak hızı (VOD) ölçümleri sonucunda patlayıcı türünün infilak hızını etkilediği, yoğunluğu artan patlayıcıların infilak hızı da arttığı görülmüştür. Patlayıcı karışımlarında bileşenlerin boyutu azaldıkça infilak hızı artmaktadır. Daha yüksek infilak hızı daha iyi bir infilak basıncı anlamına geldiğinden, daha yüksek sıkıştırma derecesine sahip olan zeminlere dökme emülsiyon kullanılması önerilmektedir.

Derya ve diğerleri [10], patlatma uygulamalarında verimliliği artırmak için doğru patlayıcı seçiminin ve kullanımının önemi vurgulanmaktadır. Çalışmada, duyarsızlaşma ve etkileşim yoluyla patlama gibi patlayıcı bozulmalarının temel sebepleri açıklanmaktadır. Çalışma, patlayıcıların bozulmaları üzerinde etkileyen faktörleri ele alır. Bu faktörler arasında delik sapmaları, uyumsuz patlayıcı çapı kullanımı, kayaç yapısı, yanlış patlatma tasarımı, gecikme süreleri gibi pek çok etken yer almaktadır. Patlayıcı performansları için delik içi infilak hızı (VOD) ölçümleri yapılmıştır.

Jamnia [11], tane boyutu odaklı patlatma tasarımlarının yerüstü madencilik faaliyetlerinde verimliliği artırabileceğini belirtmiştir. Çalışmasında, yerüstü madencilik faaliyetlerinde yaygın olarak kullanılan mekanik kazı yöntemlerinde tane boyutunun önemini araştırmaktadır. JKSimBlast yazılımı kullanılarak farklı kaya türleri ve patlatma parametreleri üzerinde deneyler yapılmış ve tane boyutunun patlatma sonuçları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen verilere dayanarak, tane boyutunu kontrol etmek ve patlatma tasarımlarını optimize etmek için grafikler ve nomogramlar geliştirilmiştir. Bu tasarım araçları, patlatma mühendislerinin doğru tane boyutunu elde etmelerine ve deneme yanılma sayısını azaltmalarına yardımcı olmayı hedeflemektedir.

Esen [12], modelleme ve ölçüm araçlarını taş ocaklarında patlatma sonuçlarının denetlenmesi ve iyileştirilmesi için sunmuştur. Patlatma optimizasyonu çalışmalarının delme ve patlama maliyetlerinde %7-22 oranında azalma sağladığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, primer kırıcı debisinde %10-30 arasında artış ve güç tüketiminde azalma elde edilmiştir. Çalışmaya göre parçalanma modellemesi, ocaklar için iyileştirilmiş parçalanma stratejileri sunarak önemli faydalar sağlamaktadır. Çalışmada, madencilik ekipmanı ve personel için güvenli

patlama dışlama bölgelerinin belirlenmesi için bir taş savrulması modeli sunulmuştur.

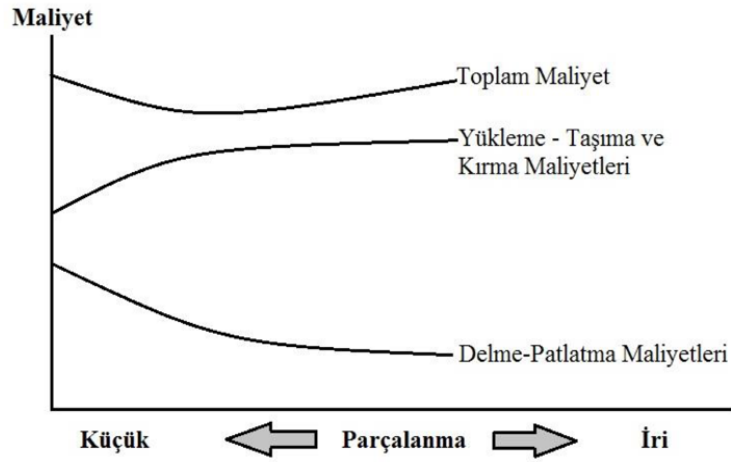
Kırmızı [13], çalışmasında Türkiye'de elektronik ateşleme sistemlerinin kullanımının teşvik edilmesi ve avantajlarının vurgulanmasını amaçlamıştır. İki farklı polimetalik madende elektronik ateşleme sistemleri kullanılarak patlatmalar gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler elektriksiz ateşleme sistemleriyle yapılan patlatmalara karşı karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, elektronik ateşleme sistemlerinin cevher pasa ayrımı, patlayıcı enerjisinin kontrolü, hava şokunda azalma, fazla kırma ve gerilme çatlaklarında azalma, yük hafifletmesi gibi konularda elektriksiz ateşleme sistemlerine göre üstünlük sağladığı görülmüştür. Ayrıca, elektronik ateşleme sistemleri ile yapılan patlatmalarda hava şokunun azalması ve titreşim kontrolü sayesinde şehir içi patlatmalarda halkın rahatsızlığının azaldığı ve yapıların zarar görmesinin önüne geçildiği belirlenmiştir.

1.3. Tezin Bölümleri

Yapılan tez çalışması 6 bölümden oluşmaktadır. 1. bölümde çalışmanın amacı ve literatürden bahsedilmiş, 2. bölümde madencilikte patlatmanın önemi ve genel terminolojiden bahsedilmiştir. 3. bölümde çalışmanın yapıldığı saha bilgileri ve kullanılan yöntemler ayrıntılı olarak anlatılmıştır. 4. bölümde saha çalışmalarından elde edilen bulgular incelenmiş ve 5. bölümde saha çalışmalarında elde edilen bulguların değerlendirilmesi yapılmıştır. 6. bölümde elde edilen bulgulara göre sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

2.GENEL BİLGİLER

Patlatma, madencilik ve inşaat sektörlerindeki kazı ve zenginleştirme işlerinde maliyetleri doğrudan etkileyen kritik bir adımdır (Şekil 2.1). Kaya parçalanma derecesi ve yığının şekli, sonraki yükleme ve taşıma aşamalarının yanı sıra tesis ve kırıcı performansını da doğrudan etkiler. Planlı delme ve patlatma tasarımları, patlatmadan sonra parça boyutunu ve yığın şeklini kontrol eder, büyük blok oluşumunu azaltarak, düzgün bir yüzey oluşumunu sağlar ve kaya kazısının güvenliğini artırır [14].

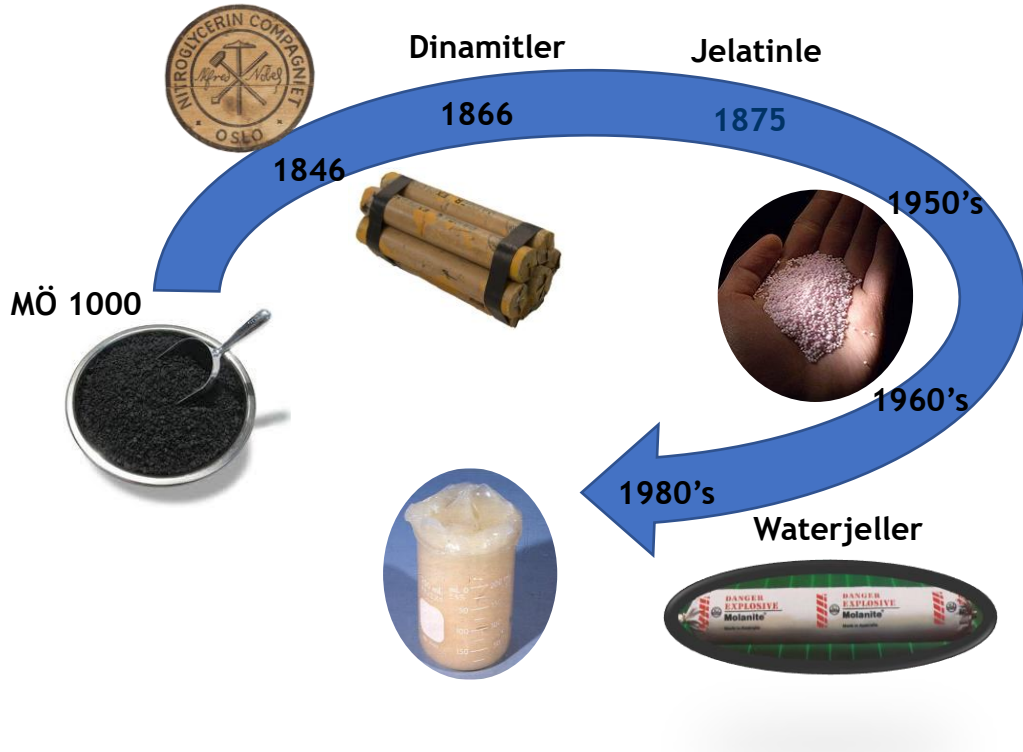


Şekil 2.1. Kaya Parçalanmasında Patlatma Maliyeti ve İşletme Maliyetleri Arasındaki İlişki [15]

Başarılı madencilik operasyonları için doğru patlatma tasarımları vazgeçilmezdir. Uygun olmayan veya yanlış patlatma tasarımları, maden güvenliği ve ekonomisi üzerinde olumsuz etkiler yaratır. Kontrolsüz delme-patlatma işlemleri, yerüstünde yapılan kazı çalışmalarında şev duraylılığını tehdit edebilir, hava şoku, taş fırlaması ve titreşim sorununa neden olabilir. İstenmeyen tane boyutu, blok alma, tırnak-topuk kalması gibi problemler yakıt tüketimi, ekstra kırıcı kullanımı, tesis işletme giderleri gibi ocak maliyetlerini artırır ve işletme ekonomisini olumsuz etkiler.

2.1. Patlayıcı Madde ve Ateşleme Sistemleri

Patlayıcı, uygun şekilde tetiklendiğinde yüksek sıcaklık ve basınçta hızlı ve şiddetli bir şekilde enerjik gazlara dönüştürülen kimyasal bir bileşiktir. Patlayıcılar, büyük miktarlarda kimyasal enerji içeren maddeler olduğu için enerjetik malzemeler olarak adlandırılır. Bu enerji, infilak işlemi yoluyla serbest bırakılır. İnfilak, bir şok dalgasının hızla ilerletilmesi ve arkasındaki kimyasal reaksiyon tarafından desteklenmesiyle gerçekleşen hızlı bir ekzotermik reaksiyondur [16]. Patlayıcı maddelerin tarihsel gelişimi Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Patlayıcının Tarihi [16]

Maden ve inşaat sektörlerinde patlayıcı kullanımı tarihi oldukça eskidir. 1627 yılına kadar uzanan bu süreçte, patlayıcı olarak kara barut kullanılmıştır. Ancak, 1845 yılında Alfred Nobel tarafından nitrogliserin keşfedilmiştir ve 1866'da nitrogliserin bazlı jelatinit dinamiti bulunmuştur. Jelatinit, sıcak nitrogliserin veya nitrogliserin ile %7 - %8 nitroselüloz karıştırılarak üretilen jel benzeri bir kitledir. Bu karışım saf nitrogliserinden daha stabil olduğundan güvenli bir şekilde taşınabilir. Görece güvenli olması ve yüksek enerjisi nedeniyle yıkım işlerinde yaygın bir şekilde kullanılmıştır.

Diatomit toprağı (kieselguhr) gibi emici malzemeler kullanarak nitrogliserini daha stabil hale getiren dinamit, birim hacim başına daha az patlayıcı enerjiye sahiptir, çünkü hacminin bir kısmı patlayıcı olmayan maddeye ayrılmıştır. Nitroselüloz zaten yüksek bir patlayıcıdır, bu nedenle nitrogliserini etkinliğinden ödün vermeden stabilize eder. Jelatinit, karabaruttan çok daha güçlü olan nitrogliserin bazlı dinamitlerin patlayıcı endüstrisinde karabarutun yerini almasını sağlamış ve 1950'li yılların başlarına kadar da kullanımı devam etmiştir. 1950'lerin ortalarında, amonyum nitrat ve fuel-oil karışımından oluşan ANFO, nitrogliserin bazlı patlayıcıların yerini almıştır. ANFO'nun ucuz olması, hazırlanmasının kolay olması ve nitrogliserin bazlı patlayıcılara göre daha güvenli olması buradaki en önemli etkenlerdir. 1960-70 yılları arasında, su bazlı patlayıcılar da kullanılmaya başlanarak sonrasında 1970'lerin sonunda bulunan emülsiyon bazlı patlayıcılar, sulu ortamlarda da verimli bir şekilde kullanılabilmesi nedeniyle patlayıcı endüstrisinde önemli bir yere sahip olmuştur. Günümüzde ANFO ve emülsiyon içerikli patlayıcılar ile patlatma operasyonları yapılmaktadır.

Patlatma için uygun patlayıcı tayini yapılırken verimlilik ve stabilite en önemli faktörlerdir. Farklı tipte patlayıcıların verimliliğini kıyaslayabilmek için önemli olan teknik özellikler şunlardır:

- İnfilak Hızı (m/s),
- İnfilak Enerjisi (kj/kg),
- Özgül Gaz hacmi (lt/kg),
- İnfilak Sıcaklığı,
- Yoğunluk (g/cm^3),
- Hassasiyet

İnfilak hızı, patlayıcının delik boyunca geçen infilak dalgasının, metre/saniye cinsinden hızıdır. İnfilak hızını etkileyen birçok faktör vardır, bunlar ürün tipi, çapı, sıkılama, sıcaklık gibi faktörlerdir. Günümüzde kullanılan ticari patlayıcıların infilak hızı yaklaşık 1500 ila 7000 m/s arasında değişir ve infilak hızlarına göre iki türe ayırabiliriz:

- Düşük Patlayıcılar (1500-2500 m/s)
- Yüksek Patlayıcılar (2500-7000 m/s)

2.1.1.Patlayıcı Maddeler

Düşük patlayıcılar, en eski geliştirilen patlayıcılardır. Bu tip patlayıcılara örnek olarak kara barut, av barutu, cephane barutu ve piroteknik elemanlar (kapsüllerde kullanılanlar) verilebilir. Hızlı bir yanma şeklinde gerçekleşen patlamaya neden olurlar ve reaksiyon hızı ses hızından düşüktür.

Yüksek patlayıcılar, 1500-8000 m/s arasında infilak eden, yüksek basınç, sıcaklık ve gaz ürünleri veren patlayıcılardır. Bu tür patlayıcılar birinci ve ikinci tip yüksek patlayıcı olarak ikiye ayrılır. Birinci tip yüksek patlayıcılar, zayıf mekanik şok, kıvılcım, alev gibi uyarıcılara hassastırlar ve kurşun azid, Tetrazene, kurşun styphnate gibi patlayıcılar ateşleme elemanlarında kullanılırlar. İkinci tip yüksek patlayıcılar ise infilakın başlaması için şok dalgasının oluşması gerektiğinden, normalde birinci tip bir patlayıcının infilakı başlatması gerekir. Askeri patlayıcılardan TNT, RDX, PETN ve ticari patlayıcılardan nitrogliserin, emülsiyon, waternel, ANFO örnek verilebilir. Bazı patlayıcı karışımları ve emülsiyon bazlı patlayıcılar, infilak için başka bir yüksek patlayıcıya ihtiyaç duyarlar [16].

2.1.2.Patlayıcı Çeşitleri

Nitrogliserin bazlı dinamit, 92-94% nitrogliserin içeren ve 8-6% nitroselüloz ile jelatinleştirilmiş bir karışımdır (Şekil 2.3). Bazı dinamit türleri değişik oranlarda nitroselüloz, nitrogliserin, dinitrotoluen veya amonyum nitrat içerebilir. Ancak, nitrogliserin bazlı dinamitler bazı yan etkilerinden dolayı günümüzde pek kullanılmamaktadır. Depolama koşulları çok önemlidir, çünkü uygun koşullarda depolanmayan veya depo ömrü geçen dinamitler nitrogliserinini kusabilir. Serbest kalan nitrogliserin, çok küçük bir darbeye karşı bile hassastır. Ayrıca, nitrogliserin bazlı dinamitler şiddetli baş ağrısı yapabilir. Bu nedenlerle, günümüzde emülsiyon patlayıcılar ve harç patlayıcılar daha yaygın olarak tercih edilmektedir.



Şekil 2.3. Nitrogliserin bazlı dinamit [16]

Emülsiyon bazlı patlayıcılar, amonyum nitrat ve yakıtın yüksek konsantrasyondaki çözeltisinin emülsiyon haline getirilmesi şeklinde üretilen patlayıcılardır. Bu patlayıcıların özellikleri arasında suya dayanıklı olmaları, kartuş halinde kullanılabilmesi ve kapsüle duyarlı veya yemlemeye duyarlı biçimlerde üretilmesi (Şekil 2.4), direkt olarak deliğe pompalanabilmeleri (bulk) (Şekil 2.5) yer alır. Ayrıca emülsiyon bazlı patlayıcılar, nitrogliserin bazlı dinamitlerin aksine daha güvenli depolanabilirler ve çevre dostudur. Bu nedenlerle günümüzde emülsiyon patlayıcılar daha güvenli ve çevre dostu patlayıcılar olarak tercih edilmektedir.



Şekil 2.4. Yemlemeye duyarlı emülsiyon patlayıcı (I) ve kapsüle duyarlı emülsiyon patlayıcı (II) [17]



Şekil 2.5. Yemlemeye duyarlı dökme emülsiyon şarj kamyonu (Bulk) [16]

ANFO, amonyum nitrat ve fuel oil karışımı olarak bilinen en yaygın kullanılan patlayıcı maddedir (Şekil 2.6). Patlatmada reaksiyon için oksijen kaynağı olarak kullanılır. ANFO üretiminde 94.5% oranında AN ile 5.5% oranında fuel oil kullanılır. Amonyum Nitrat, nitrik asit ve amonyak arasındaki bir reaksiyon sonucu elde edilen bir organik tuzdur. ANFO, diğer patlayıcı maddelere göre daha yaygın olarak kullanılır, çünkü ham maddeleri kolayca bulunabilir, ucuzdur, hazırlaması ve kullanması kolaydır. Depolama ve taşıma açısından da daha güvenlidir.



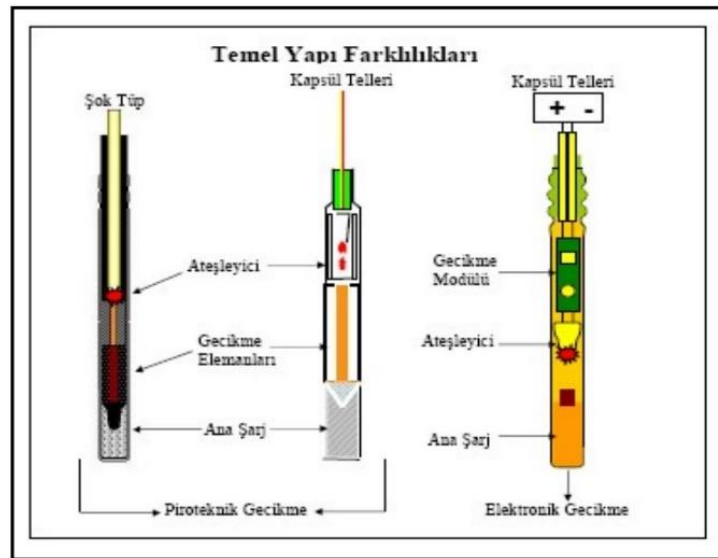
Şekil 2.6. Kapeks ANFO 25kg [17]

ANFO'nun etkili bir patlayıcı olarak kullanılabilmesi için, homojen bir fuel oil karışımına, optimum infilak hızına sahip yoğunluğa ve keseksiz, akıcı granüllere ihtiyaç vardır. Amonyum nitratın fiziksel ve kimyasal özellikleri, fuel oil oranı ve dağılımı ANFO'nun patlama verimini önemli ölçüde etkiler. Ayrıca, yemleyici cinsi ve boyutu, ANFO'nun patlama deliklerinde suyla temas etmesi ve doldurulma şekli de patlama verimini etkiler. ANFO suya dirençli değildir, bu nedenle patlama deliklerindeki su, ANFO'nun özelliklerini bozarak patlatma performansını olumsuz etkileyebilir. Kapsüle duyarlı olmayan ANFO, infilak için yüksek güçlü bir patlayıcıya ihtiyaç duyar.

2.1.3.Ateşleme Sistemleri

Patlayıcıların doğru şekilde patlatılması için, uygun bir ateşleme sistemi seçmek önemlidir. Ateşleme sistemleri elektrikli, elektriksiz ve elektronik olmak üzere üç grupta incelenir (Şekil 2.7).

Elektrikli ateşleme sistemleri, bir elektrik kaynağı kullanarak patlayıcıyı ateşler. Elektriksiz ateşleme sistemleri ise, bir fitil veya mekanik bir sistem kullanarak patlayıcıyı ateşler. Son yıllarda, yurtdışında daha yaygın olan ancak ülkemizde de kullanılmaya başlanmış elektronik kapsüller de oldukça önemli bir ateşleme sistemidir. Elektronik kapsüller, dijital teknoloji sayesinde daha doğru ve hassas patlatmalar yapılmasına olanak tanır, iş güvenliği açısından da en güvenli ateşleme sistemidir. Bu nedenle, elektronik kapsüller yakın gelecekte patlayıcı endüstrisinde daha da yaygınlaşarak önemli bir yer edinecektir.



Şekil 2.7. Elektrikli kapsül, nonel kapsül ve elektronik kapsül gecikme elemanları [16]

2.1.3.1.Elektrikli Ateşleme Sistemleri

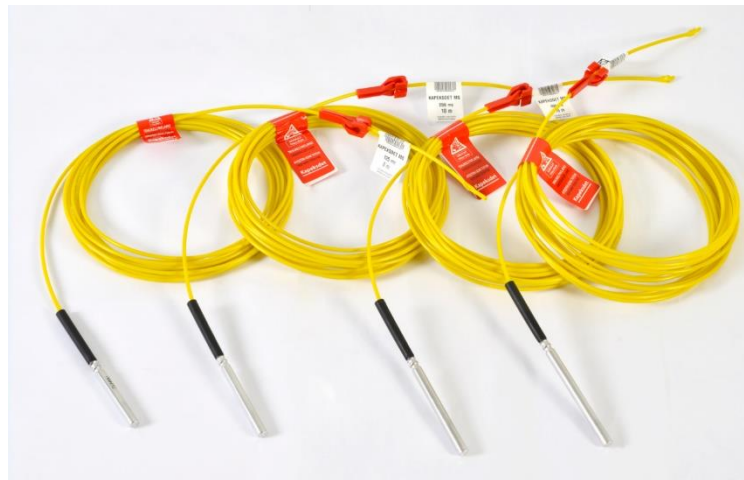
Elektrikli kapsüller, adi tahrip kapsülleri ile karşılaştırıldığında zamanlama konusunda daha hassas sonuçlar elde edilmesini sağlar. Gecikmeli elektrikli kapsüller, patlayıcıların istenilen zamanda ve belirli bir süre aralığında patlatılmasına imkân verir. Ancak, kapsüllerin doğru şekilde seçilmesi ve kullanılması önemlidir. Elektrikli kapsüllerin elektriksiz dirençleri dikkate alınmalı ve manyetik alan cihazlarından veya atmosferik şartlardan etkilenme ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, kapsüllerin omaj grupları da aynı olmalıdır.

Tüm bu faktörler göz önünde bulundurulduğunda, doğru şekilde seçilmiş ve kullanılmış elektrikli kapsüller, güvenli ve etkin patlatmaların gerçekleştirilmesine yardımcı olur. Günümüzde elektrikli kapsüller sadece ilk ateşleme için kullanılmakta olup, yerini elektriksiz (nonel) kapsüllere bırakmıştır.

2.1.3.2. Elektriksiz Ateşleme Sistemleri

Elektriksiz ateşleme sistemlerinden biri olan emniyetli fitil-adi kapsül ikilisi, zamanlama aksaklıklarından dolayı tehlike arz edebileceği için artık kullanılmamaktadır. Bunun yerine infilaklı fitil ve non-elektrik kapsüller (nonel) gibi diğer elektriksiz ateşleme sistemleri kullanılmaktadır.

Nonel kapsüller, düşük enerji tipli iletim hattı olan ve tüpün iç kısmı reaktif bir toz ile kaplanmış elektriksiz bir ateşleme sistemidir (Şekil 2.8). Ateşleme, uygun kalite ve çaptaki plastik tüpün iç duvarında bulunan ve infilak hızı yüksek askeri bir patlayıcı olan HMX ile gerçekleşir. HMX, sadece başka bir kapsülün şokuna duyarlıdır ve ateşleme, ince bir plastik tüp içerisinde yol alan alevle sağlanır. Non-el tüplerinin şok dalgası hızı yaklaşık 2100m/s'dir ve deliğin içine konan kapsüller, patlatmanın riske girmemesi için 500ms gecikme ile üretilir. Gecikme aralıkları, yeraltı uygulamalarında patlatılacak kısma boş ve serbest yüzey sağlamak için yeterli uzunluktadır. Boş deliğe en yakın deliğin patlatılması ve parçalanmış kısmın fırlatılmasından hemen sonra takip eden deliğin ateşlenmesi yapılmalıdır. Günümüzde en yaygın kullanılan yöntem olup, delik içi ve yüzey bağlantılarında genellikle nonel kapsüller kullanılmaktadır [16].



Şekil 2.8. Nonel kapsül [16]

İnfilaklı fitil, içinde PETN (penta eritroltetra nitrat) bulunan bir ateşleme sistemidir. İnfilaklı fitilin merkezinde PETN çekirdek, etrafında kopmaya karşı dayanıklılık sağlamak için tekstil bir katman ve en dışta naylon bir kaplama bulunur (Şekil 2.9). Bu fitiller, içerdikleri patlayıcı madde miktarına göre sınıflandırılır ve en yaygın kullanılanlar 8 ve 10 gram patlayıcı maddeye sahiptir. İnfilaklı fitillerin şok dalgası yayılma hızı 6500-7000 m/s'dir. İnfilaklı fitiller sulu ortamda kullanılırken, fitilin ıslanması patlamaya engel olmaz. Ancak, infilakın başlayacağı noktanın kuru olması gerekmektedir. Yani, sulu bir deliğe indirilen fitilin üst bağlantı noktaları kuru olmalıdır. İnfilaklı fitilin bağlantı noktaları önemlidir ve infilakın devamlılığı için, düğüm yapılması veya plastik bağlantı elemanları kullanılmalıdır. Düğümlerin düzgün olması ve her türlü bağlantının birbirinden 30 cm uzaklıkta olması gerekmektedir. Düğümlerin uzantıları kıvrılmamalı ve ana hatların üzerine düşmemelidir. Ayrıca, ana hatlar birbiri üzerinden atlatılmamalıdır [20].



Şekil 2.9. İnfilaklı fitil [17]

2.1.3.3. Elektronik Ateşleme Sistemleri

Elektronik ateşleme sistemleri, bir çipin kapsüle yerleştirilmesiyle gecikmenin kullanıcı tarafından belirlenmesini sağlayan sistemlerdir (Şekil 2.10). Bu sistemler, elektronik kapsül, bağlantı elemanları ve kontrol ve ateşleme ekipmanlarından oluşur. Elektronik kapsüllerde, patlayıcı madde ile programlanabilir gecikme çipinin bir kombinasyonu kullanılır. Planlayıcı cihaz ile her bir kapsül için ayrı ayrı gecikme süresi belirlenir ve patlatma enerjisi kontrol edilir. Planlayıcıdaki veriler ateşleyici cihaza aktarılır ve sahada bırakılan alıcı cihaz ile kablosuz bir şekilde uzaktan (3 km uzaklığa kadar) ateşleyici cihaz kullanılarak patlatma yapılır. Kapsüllere 0 ile 40.000 milisaniye arasında 1 milisaniye aralıklarla gecikme süresi verilebilir, kapsüllerde sapma yoktur.

Ayrıca iş güvenliği açısından en güvenli yöntem olup henüz ülkemizde çok yaygın olmamakla birlikte kullanımı yaygınlaşmaktadır.



Şekil 2.10. Elektronik ateşleme sistemleri ve uzaktan bağlantı elemanları [19]

2.2. Patlatma ve Kaya Parçalanma Mekaniği

2.2.1. Patlatma

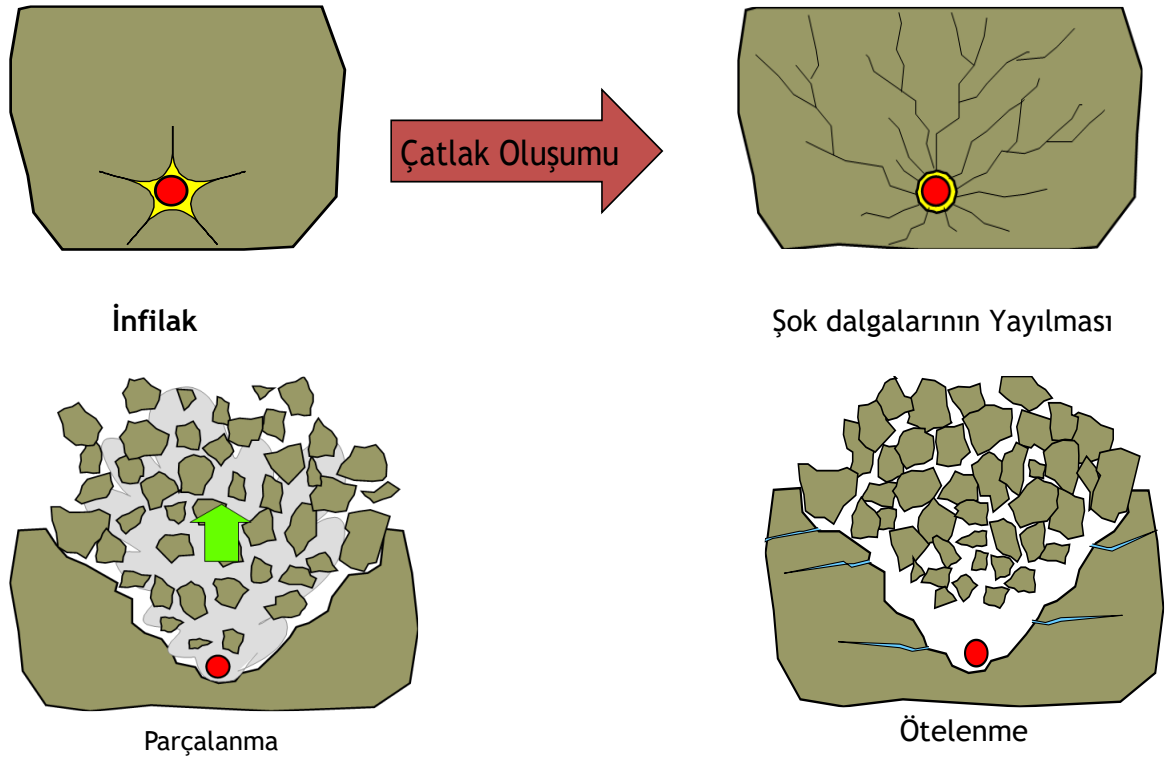
Patlatma işlemi, kayaları gevşetmek veya parçalamak amacıyla yapılan bir işlemdir. Bu işlem patlayıcı madde kullanarak, kayanın belirli bir bölgesine aniden ve büyük bir enerji yüklemesi yaparak gerçekleştirilir. Böylece yüksek basınç ve sıcaklıkta açığa çıkan enerji, kayanın kırılarak ötelenmesine neden olur. Delikteki patlayıcı madde ateşlendiğinde, çok kısa bir sürede meydana gelen reaksiyona "infilak" denir. Patlatma, patlayıcı madde ve ateşleme sistemleri ile hazırlanan patlatma deliklerinin şarj edilerek ateşlenmesi sonucu ortaya çıkan enerji sayesinde kayanın parçalanarak ötelenmesi olayını kapsar. Patlatma işleminin kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen parametreleri arasında ayırım yapmak, patlatmanın verimliliğini artırmak ve çevresel problemleri minimize etmek için önemlidir [14].

Kontrol edilebilen parametreler arasında delik çapı ve geometrisi, delik sayısı, basamak yüksekliği, delik derinliği, delik-ayna mesafesi, delikler arası mesafe, sıkılama mesafesi, atım yönü, patlayıcı madde tipi ve miktarı, ateşleme sistemi bulunur. Bu parametreler, patlatmanın hedeflenen sonuçlarına doğrudan etki ederler ve optimum performans ile minimum çevresel olumsuzluk arasındaki dengeyi sağlamak için dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir.

Kontrol edilemeyen parametreler arasında kayaç yapısı ve jeolojisi, sahanın coğrafik ve fiziksel koşulları, bölgenin meteorolojik durumu ve yeraltı su seviyesi gibi faktörler yer alır. Bu faktörler, patlatma işleminin başarısı ve çevresel etkileri üzerinde önemli bir rol oynarlar, ancak doğrudan kontrol edilemezler. Bu nedenle, patlatma işlemi öncesinde bu faktörlerin dikkatlice değerlendirilmesi ve uygun önlemlerin alınması gerekir. Sonuç olarak, patlatma işlemi öncesinde kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen parametrelerin dikkatlice analiz edilmesi, patlatmanın verimliliğini artırmak ve çevresel etkileri minimize etmek için çok önemlidir [22].

2.2.2.Kaya Parçalanma Mekanizması

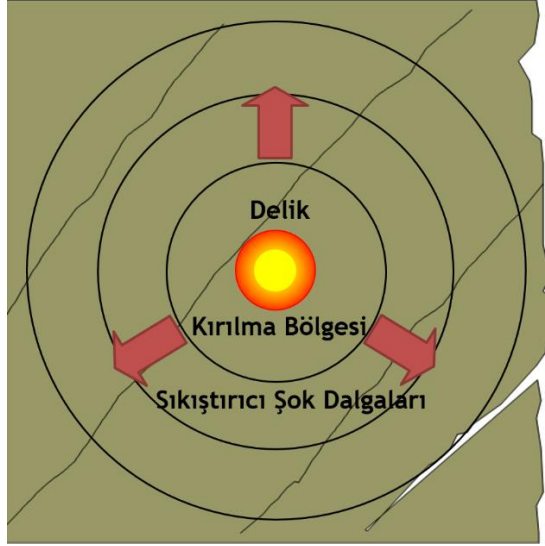
Kaya parçalanma mekanizmasını iyi bilmek, patlatmanın optimum performansla gerçekleşmesi için oldukça önemlidir. Patlatma işleminde amaçlanan tane boyutu dağılımını sağlamak, yeterince gevşek ve kolay kazılabilir yığınlar oluşturmak, verimli bir patlatma yapmak ve çevresel etkileri kontrol altına almak için kaya parçalanma mekanizmasını anlamak önemlidir. Kaya parçalanma mekanizması, infilak, şok dalgalarının yayılması, gaz basıncının yayılması ve kütle taşınması olmak üzere dört aşamada incelenebilir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11.Patlayıcı-kayaç etkileşimi [20]

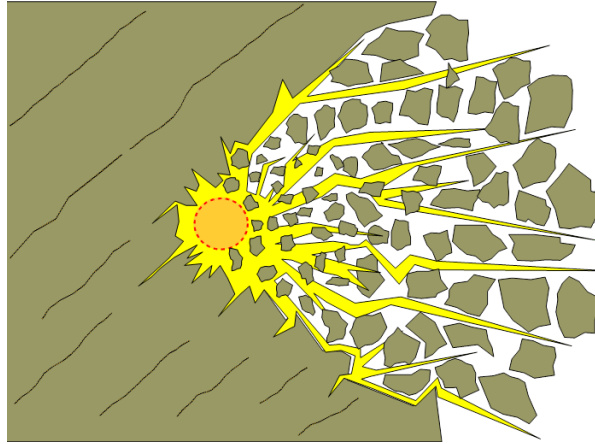
İnfilak aşaması, patlayıcının 1500-7000 m/s infilak hızıyla çok hızlı bir kimyasal reaksiyonla infilak etmesiyle başlar. Uygun şekilde yemlenmiş silindir şekilli patlayıcı bulunduğu kolon boyunca basınç arttırarak ilerleyen bir ideal infilak dalgası oluşturur. İnfilak basıncı çok kısa sürede 0.5-50 GPa arasında yükselirken sıcaklık ise 3000-4000 °K civarına çıkar. Kararlı kimyasal reaksiyon, şok önündeki birincil reaksiyon bölgesinde meydana gelir ve kararsız bölge daha geride, şokun ilerleme yönüne zıt yönde genişleyen gazların akışının yarattığı bir bölgedir. Kararlı ve kararsız bölgeleri ayıran sınır, Chapman-Jouget (C-J) düzlemi olarak adlandırılır. İdeal infilak koşullarında kimyasal reaksiyonun bu düzlemde tamamlandığı kabul edilir ve bütün termodinamik özellikler, basınç, hız, sıcaklık, iç enerji, oluşum ısı ve yoğunluk bu düzlemde hesaplanır [21].

Şok dalgaları, iki bileşen olan basınç ve teğet bileşenlerinden oluşur. Yarıçap yönündeki bileşen, kayanın dinamik basınç dayanımından çok daha yüksek bir değere sahiptir ve deliğe yakın kesimlerde kayayı aşırı derecede kırar. Bu yüksek basınç gerilmesi, dalga delikten uzaklaştıkça kayanın dayanım değeri altına düşer ve kırılma bölgesini sınırlandırır. Teğet bileşen ise çekme gerilmesi olarak etki eder ve kayanın dinamik çekme dayanımından daha büyük bir değere sahiptir. Deliği çevreleyen kaya çekme gerilmesi altında yenildikçe, yarıçap yönünde çatlaklar oluşur. Teğet gerilmenin genliği kayanın dinamik çekme dayanımı altına düştüğünde çatlama durur. Her iki bileşenin enerjisi düştüğünde, yakında bir serbest yüzey yoksa kaya içinde elastik bir dalga olarak ilerler. Yakında serbest yüzeyler varsa, çatlak sistemleri artarak gelişir. Serbest yüzeye ulaşan bir basınç gerilmesi dalgası, bu yüzeyden yansiyarak bir çekme gerilmesi dalgasına dönüşür. Yansıyan dalga geri gelirken, kaya dilimlenir ve dalga tamamen sönmüne kadar dilimlenme devam eder (Şekil 2.12).



Şekil 2.12.Şok dalgalarının dışarı doğru yayılması [20]

Patlamada amonyum nitratin yanması sonucu açığa çıkan gazların, deliğin duvarlarını ve etrafındaki kayaları sıkıştırmasıyla gazlar, çatlaklara doluşarak kama etkisi yaratır ve çatlakları genişletir. Serbest yüzeyde oluşan dilimlenmeler sonucu ayna-delik arası mesafe azalınca, yüksek basınçlı gazlar kaya kütesini öterler (Şekil 2.13).



Şekil 2.13.Gazların çatlakların içine girerek kayaç hareketini sağlaması [20]

Özetle patlatma ile kaya parçalama işleminde, patlatmada iki mekanizma kullanılır. İlk olarak, şok enerjisi kayada ani ve büyük bir kırma etkisi yaratarak ilk kırma işlemi gerçekleştirir. İkincisi, infilak sonucu oluşan gazların yarattığı gaz enerjisi çatlakları genişleterek parçalanma ve kütle ötelenmesi işini gerçekleştirir. Yüksek infilak hızlı patlayıcı maddeler, şok enerjisi ve gaz enerjisi üretirken, düşük hızda infilak eden patlayıcılar daha uzun süreli ve düşük genlikli bir basınç dalgası oluşturur.

Şok enerjisi kayada ani ve büyük bir kırma etkisi yarattığı için, ilk kırma işlemini gerçekleştirirken, gaz enerjisi ise asıl parçalanma işini yapan enerjidir. Yüksek infilak hızlı patlayıcı maddelerin CJ (Chapman-Jouguet) düzlemi çok yakın olduğu için, infilakın başlamasıyla çok şiddetli kırma tesiri yaratırlar ve gaz ürünler hızlı açığa çıkarlar. Bu sebeple şok önü ile CJ düzlemi arasındaki mesafe çok kısadır ve çok yüksek genlikli fakat kısa süreli basınç oluşur (Şekil 2.14). Bu durum, sert ve sağlam kayalar için istenen bir durumdur. Düşük hızda infilak eden patlayıcılar daha uzun süreli basınç dalgaları oluşturur ve gaz hacmi daha büyük olduğundan kaya kütlelerinin daha iyi ötelenmesini sağlar. Bu parçalanması kolay olan yumuşak kayalar ile çok çatlaklı kaya kütleleri için istenen bir durumdur. Örneğin, tortul kayalar gibi iyi gelişmiş tabakalanma düzlemleri, eklem ve çatlak içeren kaya kütleleri veya ayrılmış zayıf cevherlerde iyi parçalanma elde edilebilir. Patlayıcının kimyasal bileşimi, delik geometrisi, infilak hızı ve ateşleme yönü gibi faktörler, patlatmanın şok ve gaz enerjisi üretme şeklini değiştirebilir [20].



Şekil 2.14. Delik içi infilak mekanizması [20]

2.3.Açık Ocak Patlatma Tasarımı

Basamak patlatmaları için literatürde farklı eşitlikler mevcuttur (Hagan (1974), Langefors ve Kihlstrom (1979), Tamrock (1984), Atlas Powder Co. (1987), Nitro Nobel (1987), Konya ve Walter (1990), Olofsson (1997)). Bu formüllerin çoğu, tasarım hesaplamalarına delik çapı seçimi ile başlar. Genel parametreler, delik çapı (d), delikler arası mesafe (s), şarj (q) ve sıkılma uzunluğu (h₀). Bu parametreler, kaya tipi, işletme koşulları ve hedeflenen kırılma şekline göre ayarlanır. Başlangıçta kullanılan formüller, daha sonra yapılan patlatmaların sonuçlarına göre revize edilerek en uygun tasarım elde edilir. Ülkemizde T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ÇED İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, *Patlatma Tasarımları ve Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkiler Kılavuzu*'nda (2018) patlayıcı madde ihtiyaç raporu hazırlanması için Olofsson yöntemini baz almaktadır.

2.3.1.Olofsson Yöntemi

Patlatma tasarımı, öncelikle saha stabilite analizlerine göre uygulanabilecek basamak yüksekliği ve delik çapının belirlenmesi ile başlar. Saha uygulamalarından elde edilen tecrübeler, basamak yüksekliği (K), yük mesafesi (B) ve delik çapı (d) arasında bir belirli orantılar olduğunu göstermiştir.

Yük mesafesi, delik çapının minimum 22 katı, maksimum 45 katı olacak şekilde 25-40 delik çapına bağlı olarak belirlenir (B= 25-40d).

Delik çapı inç biriminde verilmişse, yük mesafesinin metre cinsinden delik çapına eşit olduğu söylenebilir. (B(m)=d(inç)).

Yük mesafesi, basamak yüksekliğinin 1/5'i ile 2/5'i arasında olmalıdır.

Olofsson, Langefors ve Kihlström yaklaşımını temel alarak basit formüller geliştirmiştir. Bu formüller, patlayıcı cinsine ve enerjisine bağlı olarak seçilen delik çapında patlayıcının dolum yoğunluğunun karekökü ile çarpım katsayısı olarak ifade edilir. Bu eşitlikler aşağıda verilmiştir ve azami yük (delik-ayna) mesafesi (B_{max}) hesaplamalarında kullanılmaktadır [21]. B_{max} hesabı Eşitlik 2.1'de verilmiştir.

$$\begin{aligned} B_{\max} &= 1.47 \sqrt{I_b} \text{ Dynamex M} \\ B_{\max} &= 1.45 \sqrt{I_b} \text{ Emulite 150} \\ B_{\max} &= 1.36 \sqrt{I_b} \text{ ANFO} \end{aligned} \quad (2.1)$$

İsveç'te üretilmiş "Dynamex M" dinamiti, nitro-gliserin içerir ve ülkemizde "jelatin" dinamitine benzer bir patlayıcı madde olan MKE tarafından üretilir. "Emulite 150", ülkemizde de üretilen yemlemeye duyarlı emülsiyon patlayıcı türüdür. "ANFO" dünya genelinde standart bir dökme patlayıcı karışımıdır ve yemlemeye duyarlı bir patlayıcıdır. Bu nedenle, belirtilen eşitlikler ülkemizde üretilen patlayıcı maddeler için de geçerlidir.

"Dynamex M", genellikle yeraltı maden galerileri, tüneller ve 50 mm'den daha küçük delikler gibi yeraltı maden patlatmalarında asıl patlayıcı madde olarak kullanılmaktadır. Açık ocak madenlerde ise sadece yemleyici olarak kullanılır. Aynı şekilde, yeraltı patlatmalarında kullanılan kapsüle duyarlı emülsiyon patlayıcılar, açık ocaklarda yemleme olarak kullanılabilir.

Ancak, dünya genelinde olduğu gibi, açık ocak madenlerde yemlemeye duyarlı patlayıcı madde olarak kuru deliklerde ANFO kullanılırken, sulu deliklerde emülsiyon patlayıcılar kullanılır. Olofsson tarafından bahsedilen patlayıcı maddelerin farklı delik çaplarındaki şarj yoğunlukları Tablo 2.1'de verilmiştir [21].

Tablo 2.1. Patlayıcıların farklı delik çaplarındaki şarj yoğunlukları (kg/m) [21]

Delik Çapı (mm)	51	64	76	89	102	127	152
ANFO, kg/m	1.6	2.6	3.6	5.0	6.5	10.1	14.5
Emulite 150 (plastik kartuş kesilip deliğe bırakılan), kg/m	2.3	3.7	5.0	7.1	9.3	-	-
Dökme emülite, kg/m	2.3	3.9	5.3	7.5	9.9	15.3	21.9
Dynamex M (havalı şarj makinası veya ROBOT ile deliğe doldurulan), kg/m	2.6	4.0	5.3	7.8	10.2	-	-

Olofsson verdiği eşitliklere göre eğer ANFO yoğunluğu biliniyor ise,

$l_b(\text{kg/m}) = [(\pi \times r^2) \times d_{\text{ANFO}}] / 1000$ formülü ile delik çapına göre şarj yoğunluğu hesaplanabilir. Örneğin Kapeks firmasının ürettiği ANFO'nun yoğunluğu $0,82\text{g/cm}^3$ olup 89mm çapında bir delik için;

$$l_b = [3,14 \times (89/2)^2 \times 0,82] / 1000 = 5,09 \text{ kg/m bulunur.}$$

Azami yük mesafesi:

$$B_{\text{max}} = 1,36 \times \sqrt{5,09} = 1,36 \times 2,23 = 3,07 \text{ m bulunur.}$$

Olofsson'un patlatma tasarım yöntemine göre, patlatma deliklerinin eğimli delinmesi ve 3/1 eğimli olması gerektiği kabul edilmiştir. Birim hacimdeki kayayı parçalamak için gereken minimum patlayıcı miktarını kaya sabiti (özgül şarj) olarak adlandırmaktadır. Basamak yüksekliği (K), verimli bir patlatma için azami yük mesafesinin 2 katına eşit veya 2 katından büyük olmalıdır. ($K \geq 2 \times B_{max}$). [21] Farklı eğimli delikler ve farklı kaya sabitleri için R_1 ve R_2 düzeltme faktörleri Tablo 2.2. ve Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.2. Farklı eğimlerdeki delikler için R_1 düzeltme faktörleri [21]

Eğim ve Düzeltme Faktörü	Dik Delik	10:1	5:1	3:1	2:1	1:1
R_1	0.95	0.96	0.98	1.00	1.03	1.10

Tablo 2.3. Farklı kaya sabitleri (özgül şarj) için R_2 düzeltme faktörleri [21]

c	0.3	0.4	0.5
R_2	1.15	1.00	0.90

R_1 ve R_2 düzeltme faktörlerinin azami yük mesafesini hesaplamak için kullanılacak eşitlikleri aşağıdaki gibi verilmiştir.

Dynamex M için $B_{max} = 1.47 \sqrt{l_b \times R_1 \times R_2}$ (m)

Emulite 150 için $B_{max} = 1.45 \sqrt{l_b \times R_1 \times R_2}$ (m)

ANFO için $B_{max} = 1.36 \sqrt{l_b \times R_1 \times R_2}$ (m)

Yukarıdaki formüllerde:

l_b = Dolum (şarj) yoğunluğu, kg/m

R_1 = Delik eğiminin 3:1'den farklı olması halinde düzeltme faktörü

R_2 = Kaya katsayısının 0,4'den farklı olması halinde düzeltme faktörü

Kullanılacak patlayıcı maddenin türüne göre verilen formül ile azami yük mesafesi (B_{max}) hesaplanır. Basamak patlatması için dip delgi;

$U=0,3 \times B_{max}$ olarak belirlenir. Uygulamalarda dip delginin, basamak yüksekliğinin 10%'u kadar olması gerektiği saptanmıştır.

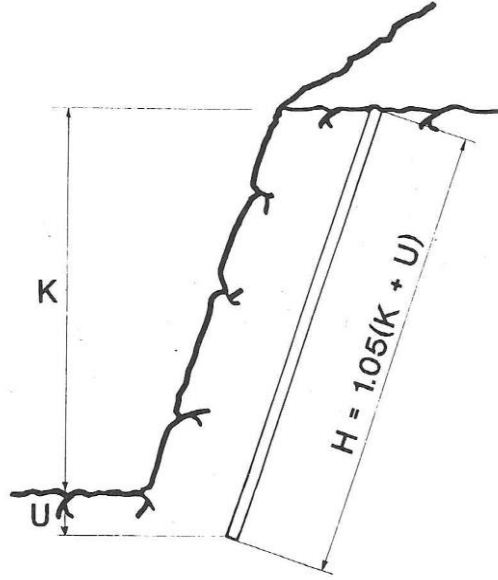
Delik uzunluğu (H), deliğin dik (düşey) delinmesi durumunda basamak yüksekliği (K) ile dip delgi (U) toplamına eşittir.

Eğimli delikler için ise delik uzunluğu hesabında K+U toplamının bir katsayı (k) ile çarpılması gerekir. Delik eğimine bağlı olarak "k" katsayıları Tablo 2.4'te sunulmuştur.

Tablo 2.4. Farklı eğimlerdeki delikler için "k" düzeltme faktörleri [21]

Eğim ve Açısı	Dik (90°)	10/1 (84°)	5/1 (79°)	4/1 (76°)	3/1 (62°)	2/1 (63°)	1/1 (45°)
k	1.0	1.005	1.02	1.03	1.05	1.12	1.41

Örnek olarak, °62 Eğimli bir delikte uzunluk hesabı Şekil 2.15'te verilmiştir.



Şekil 2.15. 62° eğimli bir delikte uzunluk hesabı [21]

H=K+U 90° delik,

62° bir delik için,

H = k(K + U) formülü ile hesaplanır.

$$H = 1.05x(K+U) \quad (2.2)$$

Delik yerleri, tercihen sprej boya ile boyanmış işaret taşları veya kazıkları ile işaretlenmeli ve ölçülerek belirlenmelidir. İyi bir patlatma için, deliklerin doğru yerde, uygun eğimde ve tasarımda öngörülen yük mesafesi ve delikler arası

mesafeleri sağlanacak şekilde düzenli bir şekilde delinmelidir. Ancak delik ağzının işaretlenen yerden sapması mümkündür. Jeolojik sebepler veya operatör hataları nedeniyle deliklerin istenen doğrultuda tam bir doğru çizgi oluşturacak biçimde delinemediği durumlar "delik sapması" olarak adlandırılır. Bu hataların telafi edilmesi için "delme hatası (E)" hesaplaması yapılmalı ve bu hatanın azami yük mesafesinden düşülmesi gerekmektedir. Olofsson tarafından önerilen "delme hatası" formülü aşağıda verilmiştir [21].

Delme hatası aşağıdakilerden oluşur:

- **Delik ağzı (matkap konumlandırma hatası) = d (mm)**
- **Delik sapma hatası = 0.03 m/m**

$$E = \frac{d}{1000} + 0.03 \times H \quad (\text{m})$$

Yük Mesafesi: $B = B_{\max} - E$

$$\text{Delikler Arası Mesafe (S)} = 1,25 \times B \quad (2.3)$$

Olofsson, patlatma deliklerinin delik çapının 8-10%'u kadar mm boyut aralığında kırmataş kullanılarak ve yeterli uzunlukta sıkılanması önermektedir. Bu sayede patlayıcı maddelerin enerjisinin doğru şekilde kayaya ilemesine ve iyi bir parçalanma sağlanması, taş savrulması ve hava şoku oluşumlarının önlenmesi hedeflenmektedir. Uygulamada sıkılama uzunluğu (h_0) yük mesafesine eşit olacak şekilde kabul edilir.

Kayanın daha serbest ve kolay parçalanabilir olduğu basamak orta ve üst bölümlerinde kolon şarj yoğunluğunun düşük, dip bölümlerinde ise yüzde elli (veya %40-%60 $\times l_b$) olduğu önerilmektedir. Kolon şarj yoğunluğu, şarj yüksekliği, şarj miktarı ve toplam şarj miktarı eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

Kolon şarj yoğunluğu: $l_c = \% 40-60 \times l_b$

Kolon şarj uzunluğu: $h_c = H - h_b - h_0$

Kolon şarjı miktarı: $Q_c = l_c \times h_c$

Toplam şarj miktarı: $Q_{\text{top}} = Q_b + Q_c$

Olofsson birim hacimdeki kayayı parçalamak için gerekli minimum patlayıcı miktarını kaya sabiti (özgül şarj) olarak adlandırmaktadır.

$$\text{Özgül şarj (kg/m}^3\text{): } q = Q_{\text{top}} / B \times S \times K \quad (2.4)$$

Özgül şarj yoğunluğu arttıkça patlatmada maliyet artacaktır ve istenilenden daha düşük tane boyutuna yol açabilir, patlatma verimliliğini düşürebilir. Düşük özgül şarjda da aynı şekilde patlatma verimliliği olumsuz etkilenip patar denilen büyük boyutlu taşların oluşmasına yol açabilir, yüklemeyi olumsuz etkileyip maliyetleri artırabilir. Bu yüzden kayaç için ideal özgül şarjın doğru hesaplanarak uygulanması çok önemlidir.

2.3.2. Patlatma Parametreleri

Patlatmanın kontrol edilebilir parametreleri genel olarak delik geometrisi (delik çapı, delikler arası mesafe, delik uzunluğu, sıkılama), ateşleme tasarımı başlıkları altında incelenebilir. Kontrol edilemeyen parametreleri ise sahanın jeolojik yapısı ve süreksizlikler olarak özetlenebilir.

2.3.2.1. Delik Geometrisi

Delikler, kare, dikdörtgen ve şeşbeş düzenlerinde delinebilir. Kare düzeninde, delikler arasındaki kare boşluklarının dört deliğin etki alanını paylaşmasıyla parçalanma derecesi artırılabilir. İsveç düzeni ise, formasyonun patlamaya karşı direnci basamak aynasına dik ve paralel yönlere göre değişiyorsa tercih edilebilir. Ayna çizgisi düzensiz olduğunda, normal düzene ek yardımcı deliklerin kullanılması faydalı olabilir. Ülkemizde yaygın olarak şeşbeş düzen kullanılmaktadır. Delik geometrisini belirlemek için önce basmak yüksekliği, dip delgi, kolon şarj miktarı, delik uzunluğu gibi faktörlerin belirlenmesi gerekmektedir. Kayacın tipine göre deliklerin etkileşimini ve deliğin etki alanını artırıp azaltmak için delikler arası mesafe ve delik düzeni değiştirilebilir.

Patlatma için hazırlanan deliklerde sıkılama işlemi doğru yapılmazsa, yani patlayıcı madde yeterince sıkıştırılmazsa, patlama sırasında oluşan yüksek basınçlı gazlar çatlaklardan erken kaçabilir ve bu sırada bazı kayalar kütteden ayrılarak uzaklara savrulabilir. Bu olaya taş savrulması denir. Taş savrulmasının önüne geçmek için, delik içindeki sıkılama mesafesinin en az dilim kalınlığı kadar olması gerekmektedir.

Uygun ap ve boyuttaki deliklerde, patlayıcı maddenin kaya içinde homojen olarak dağılması sağlanmalıdır. Sıkılama malzemesi olarak tercihen kırmataş kullanılmalıdır. Literatürde sıkılama malzemesi olarak delik çapının 8-10%'u boyutta kırmataş kullanımı önerilmiştir [14].

2.3.2.2. Ateşleme Tasarımı

Delikler doldurulup sıkılandıktan sonra ateşleme bağlantıları yapılır. Ateşleme gecikmeli olarak gerçekleştirilir ve milisaniye cinsinden verilen bir gecikme süresi kullanılarak her sıra için yeterli serbest yüzey oluşturulması amaçlanır. Ayrıca, delikler arası ve sıralar arasındaki uygun gecikmelerin belirlenmesiyle, patlatmadan kaynaklanan titreşimler de azaltılabilir. Gecikme düzeni tane boyutu ve patlatma sonrası kazı-yükleme performansını doğrudan etkileyen bir faktördür. Doğru gecikme düzeni patlatmanın verimini artırmaktadır. Açık ocak patlatmaları için üretilen delikler arası yüzey gecikmeleri, elektriksiz (non-el) kapsüllerde 17-25-42-67 ms olarak standart üretilmektedir. Elektronik kapsüllerde ise kapsül içerisinde bulunan ip sayesinde kapsüllere istenilen milisaniye verilebilmektedir.

2.4. Yemleme ve Detonasyon Süreci

Yemleyici, bir kapsül veya infilaklı fitilden aldığı ateşlemeyi detonasyon şekilde kendisiyle aynı ya da daha az hassasiyette olan bir başka patlayıcıya aktararak ateşlenmesini sağlayan patlayıcıya denir. Yemleme mekanizması harekete geçtiğinde, yemleyici tarafından yayılan şok dalgaları küresel bir şekilde yayılır. Bu yanal yönlerde doğru yayılan şok dalgaları delik duvarına çarpar ve geri yansır. Geri yansıyan şok dalgaları, ileri yönde ilerleyen şok dalgalarını yakalayarak basıncı artırır ve detonasyonun sabit bir hızda devam etmesini sağlar. Bu sayede patlayıcı kalıcı hale gelir ve kolon boyunca (ideal koşullarda) belirli bir hızda ilerler.

İvmelenme mesafesi (run-up distance) olarak adlandırılan mesafe, patlayıcının kalıcı hale gelmesi için kat ettiği mesafeyi ifade eder ve ivmelenme süresi (run-up time) bu mesafeyi kat etmek için geçen zamanı ifade eder. Uygun bir yemleme durumunda, genellikle ivmelenme mesafesi delik çapının 2 ila 4 katı kadar olur, çünkü patlayıcı bu süre içinde kalıcı hızına ulaşmak için enerji harcar. Patlayıcının

hassasiyeti ve çapı kritik sınırlara yaklaştıkça, ivmelenme bölgesi delik çapının 10 katına kadar sürebilir [21].

Detonasyon basıncı, şok önündeki basınç olarak adlandırılır ve patlayıcının patlayıcı kolunu boyunca istikrarlı bir şekilde ilerlemesinde önemli bir rol oynar. Yemleyici tarafından ana yüke doğru iletilen şok dalgaları, basıncın artmasına ve reaksiyonun başlamasına yol açar. Ana yükün içinde, şok önüne yakın bir bölgede ortaya çıkan enerji, basıncın yükselmesine ve bu şekilde şok önünün desteklenmesine katkıda bulunur. Yüksek detonasyon basıncı, yüksek detonasyon hızını ve dolayısıyla yüksek şok enerjisini ifade eder.

Pratik olarak, detonasyon basıncı Eşitlik 2.5 kullanılarak hesaplanabilir [23].

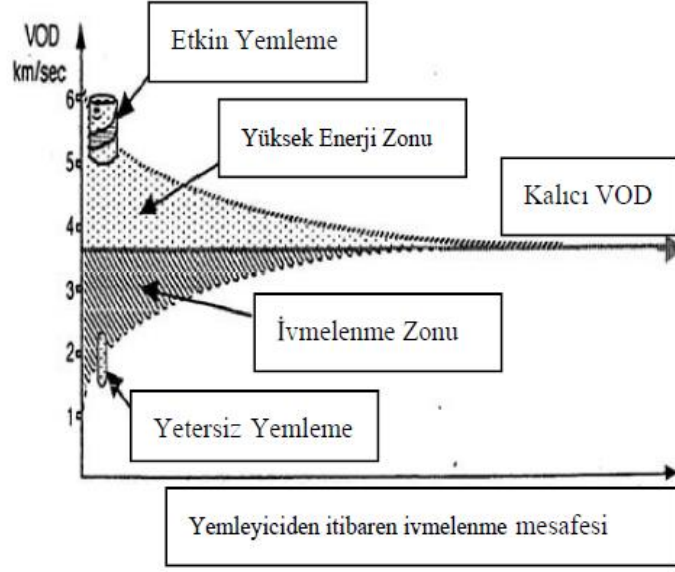
$$P_0 = 2.5 \times d \times 10^{-6} \times VOD^2 \quad (2.5)$$

P_0 = detonasyon basıncı (kbar),

D = patlayıcı yoğunluğu (g/cm^3)

VOD = detonasyon hızı (m/s).

Yemleyici olarak kullanılacak patlayıcının en az 100 kbar detonasyon basıncına sahip olması önerilir. Yüksek basınca sahip bir yemleyici kullanıldığında, ivmelenme zonu kısalmaya ve yüksek enerji bölgesi oluşur. Bu bölgede yüksek enerji açığa çıkar, bu da topuk olasılığını azaltır ve güvenli olmayan koşullar (delik dibinde anfonun nemden etkilenmesi, yemleyicinin çamura gömülmesi vb.) için daha güvenilir bir yemleme sağlar. Ancak, uygun olmayan özelliklere sahip, düşük detonasyon basıncına sahip yemleme koşullarında ivmelenme zonu uzar ve düşük enerji çıkışı (daha düşük VOD) elde edilir. Bu durumda, seyrelme, hassasiyetin azalması gibi uygun olmayan koşullar ve topuk kalması gibi risklerin artması dezavantaj oluşturur (Şekil 2.16) [23].



Şekil 2.16. Uygun ve yetersiz yemleyici kullanımı sonucu oluşan zonlar [24]

Enerji kaçağının olmadığı ideal koşullarda, bir patlayıcı kolonunu ateşlemek için sadece tek bir yemleyiciye ihtiyaç duyulur, kolonun uzunluğu önemli değildir. Bu durumda, yemleyici patlayıcıya doğru bir enerji transferi gerçekleştirerek detonasyonu başlatır ve bu detonasyon tüm kolon boyunca sürer. Enerji kaybının olmaması, yemleyici tarafından gönderilen enerjinin kolonun sonuna kadar etkili bir şekilde iletilmesini sağlar. Bu nedenle, tek bir yemleyici kullanarak patlayıcı kolonunu ateşlemek mümkün olur. Uzun deliklerde, atım kesmesini önlemek için çift yemleme kullanmak genel olarak kabul edilen bir yöntemdir. Bu yöntemde, bir yemleme deliğinin dibine yerleştirilirken diğer yemleme deliğinin üst kısmına yerleştirilir. Birden çok yemleme kullanmak, atım sonuçlarının kritik olduğu durumlarda gereklidir ve standart olarak önerilen aralık 8-10 metreden fazla olmamalıdır. İkincil yemlemenin maliyeti, her bir delik için harcanan paraya ve atım kesmesi veya kötü atım sonucu riskine göre genellikle daha düşüktür. Bu yöntem, atım sonuçlarını olumsuz etkileyebilecek faktörlerin azaltılmasına yardımcı olur. İkincil yemleme, ana yemleyicinin başarısız olması durumunda alternatif bir yolla patlayıcının ateşlenmesini sağlar. Ayrıca, delik boyunca daha iyi enerji transferi sağlar ve atım kesmesi riskini azaltır. Ancak, çift yemleme yöntemi her zaman kullanılması gereken bir yöntem değildir. Delik uzunluğu ve diğer faktörlere bağlı olarak, tek bir yemleme yeterli olabilir. Uzun deliklerde çift yemleme kullanmak, atım sonuçlarının daha güvenilir ve istikrarlı olmasını sağlar [23].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.Çalışmada İzlenen Yöntem

Bu tez çalışması kapsamında, ilk olarak Niğde ili Hıdırlık mevkiinde bulunan bir kalsit ocağı işletmesinde aynı formasyon ve parametrelere göre deliklerde biri tek yemleme, biri çift yemleme olmak üzere patlatmalar yapılmış ve patlatmalarda delik içi infilak hızı ölçümleri alınarak patlatma sonrası tane boyutu analizleri yapılmıştır. İkinci olarak ise Kastamonu ili Hanönü ilçesinde bulunan bir bakır ocağı dekapaj çalışmasında çift yemleme yapılan deliklerde gecikme düzenleri değiştirilerek bir optimizasyon çalışması yapılmıştır. Yapılan patlatmalarda mevcut durum analizi sonrası optimizasyon çalışması ile gecikme düzenleri değiştirilerek üç patlatmanın tane boyutu analizleri yapılmıştır. Bu tez çalışmasında izlenen yöntem Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Çalışmada izlenen yöntem

Niğde’de kalsit ocağında yapılan patlatmalarda delik içi infilak hızı ölçümü MREL firmasına ait “Microtrap VOD/Data Recorder” cihazı ile yapılmış ve bilgisayar ortamında “Data Acquisition Suite” yazılımı ile veriler analiz edilmiştir. Sahadan patlatma öncesi ve sonrası fotoğraflar alınmış ve patlatma sonrası ölçeklendirme çubukları ile alınan fotoğraflar kullanılarak Split-Desktop dijital görüntü işleme programı ile analiz edilmiş ve yığının tane boyutu dağılımı saptanmıştır. Kastamonu’da bakır ocağında yapılan patlatmalarda ise yine aynı şekilde patlatma sonrası ölçeklendirme çubukları ile alınan fotoğraflar Split-Desktop dijital görüntü işleme programı ile analiz edilmiş ve yığının tane boyutu dağılımı saptanmıştır.

Çalışmada ayrıca sahalardaki patlatma parametreleri kullanılarak O-Pit Blast programı üzerinden delik geometrileri, özgül şarj dağılımları ve ateşleme tasarımları modellenmiştir. O-Pitblast, kaya patlatma operasyonlarının planlanması, kontrolü ve optimize edilmesi için tasarlanmış bir PC Windows tabanlı uygulama yazılımıdır. O-Pitblast tarafından geliştirilen uygulama, patlatma mühendislerinin patlatmalarını optimize etmek, kontrol etmek, maliyetleri azaltmak ve güvenliği artırmak için ihtiyaç duydukları tüm özellikleri sağlamayı amaçlar. Kullanıcının topografi ve kaya özellikleri gibi arazi özelliklerini içe aktarmasına ve her bir operasyon için en iyi patlatmayı tasarlamasına olanak tanır.

Saha 1’de kapsüle duyarlı patlayıcı (dinamit) olarak Kapeks Nova80 kullanılırken Saha 2’de Kapeks Nova70 kullanılmıştır. Her iki sahada da yemlemeye duyarlı patlayıcı olarak Kapeks ANFO kullanılmıştır. Patlatmalarda kullanılan patlayıcı maddelerin teknik özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Patlatmalarda kullanılan patlayıcıların teknik özellikleri

Ürün Adı	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	İdeal infilak Hızı (m/s)	Enerji (kj/kg)	İnfilak Sıcaklığı (°K)
Kapeks ANFO	0,8	4796	3810	3059
Kapeks Nova80	1,16-1,18	5800-6000	3408	2381
Kapeks Nova70	1,18-1,20	6200-6400	3668	2522

3.2. Çalışma Yapılan Sahalar Hakkında Genel Bilgiler

Çalışmalar Niğde ve Kastamonu'da bulunan iki farklı jeolojik formasyonda gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Saha – 1 Genel Bilgileri

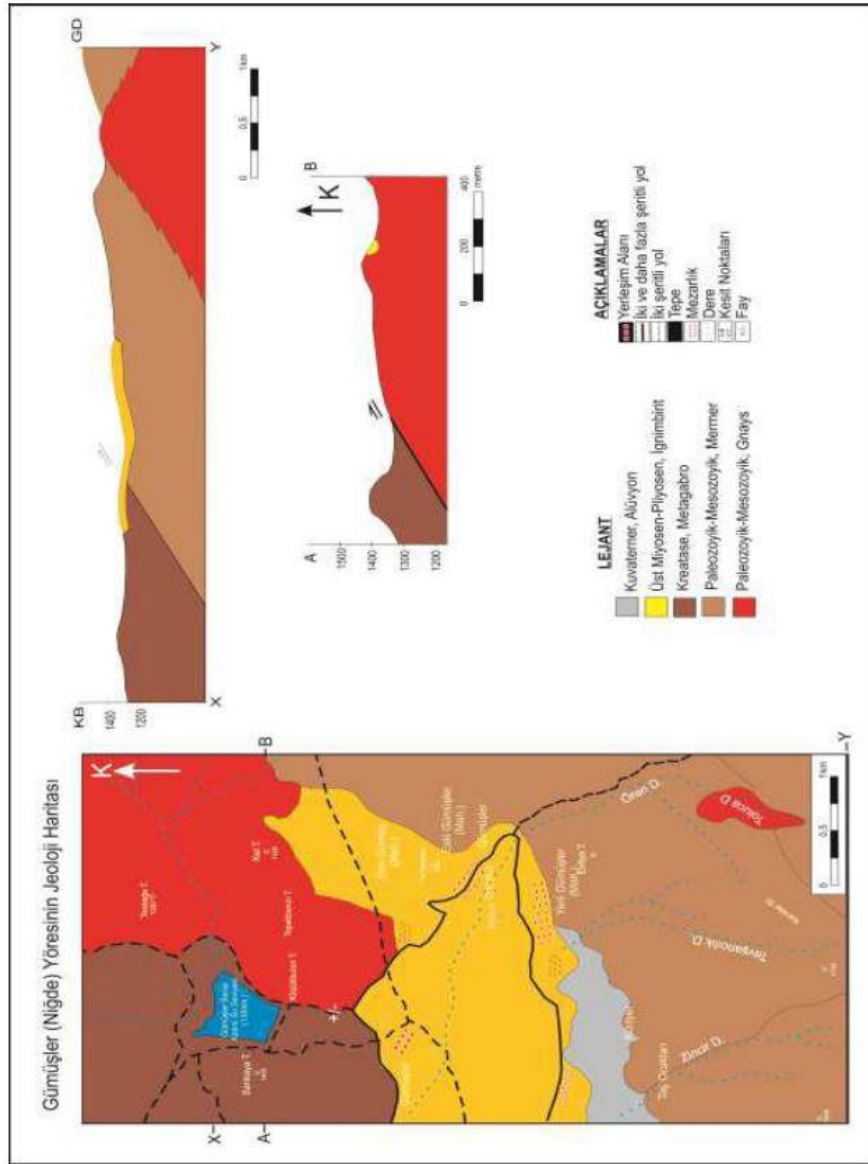
Niğde ili Hıdırlık mevkiinde bulunan sahada kalsit üretimi yapılmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Saha 1 uydu görüntüsü (İşaretili 1.ve 2. patlatma bölgeleri)

Kalsit, kimyasal formülü CaCO_3 olan kristalize bir kalsiyum karbonat mineralidir. Bu mineral saydam, beyaz, sarı, kahverengimsi yeşil ve mavimsi renk tonlarına sahip olabilir. Kalsitin sertlik derecesi 3 olup özgül ağırlığı 2.71'dir. Seyreltilmiş ve soğuk hidroklorik asit (tuz ruhu) ile tepkimeye girer ve şiddetli bir köpürme sonrası bileşenlerine ayrılır, bıçak ile çizilebilir. CO_2 içeren sularla temas ederek $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ bileşimini oluşturur.

Kalsit nadiren magmatik kayalardan, özellikle pegmatitlerden, doğal olarak bulunur. Genellikle ikincil bir mineral olarak ortaya çıkar ve doğada yaygın olarak bulunur. Karbonatlı sedimenter kayaların (örneğin kireçtaşları) ve mermerlerin temel bileşenlerindedir. Özellikle Niğde ilinde (Şekil 3.3) çıkarılan kalsit madeni, parlak yapısı nedeniyle ticari açıdan yüksek değer taşır [25].



Şekil 3.3. Niğde bölgesi jeolojisi [25]

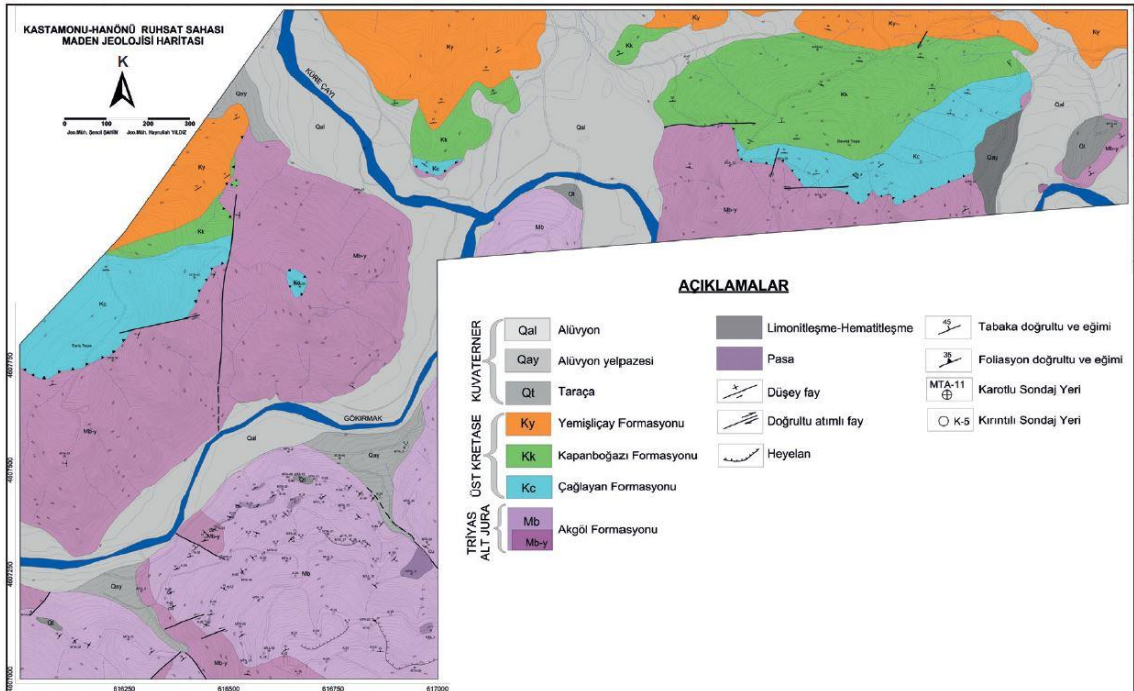
Çalışılan sahada iki formasyonda kalsit bulunmaktadır. İlk formasyon daha çatlaklı yapıda olup karstik boşluklar bulunmaktadır ve daha zayıftır. İkinci formasyon ise daha sağlam yapıdadır ve çatlaklı yapı daha azdır. Patlatmalar daha az çatlaklı yapıda olan formasyonda yapılmıştır.

Saha 1 'de yapılan ilk patlatmada iki sıradan oluşan toplam 38 delik mevcuttur. Delik çapları 89mm olup uzunlukları 13,80m olması planlanmıştır (ortalama +-20 cm delgi hatası mevcuttur). Delikler arası mesafe 3m ve yük mesafesi 3m'dir. Patlatmada delik başı 0,5 kg Kapeks Nova80 dinamit ve 50kg Kapeks ANFO kullanılmıştır. 25/500 ms Kapeksdet Dual kapsül ve sıralar arası 42 ms Kapeksdet SD kapsül kullanılmıştır.

Patlatmanın son deliğinden delik içi VOD ölçümü (infilak hızı) alınmıştır ve patlatma sonrası 3 ayrı noktadan tane boyutu için ölçeklendirme çubukları ile görseller alınmıştır. Yapılan ikinci patlatmada ise yine aynı formasyon ve paternde 25 delik ile patlatma yapılmış olup uygulanan ölçüm yöntemleri aynıdır.

3.2.2. Saha – 2 Genel Bilgileri

Kastamonu ili Hanönü ilçesinde bulunan sahada (Şekil 3.4) bakır cevheri çıkarılmaktadır. Bölgede, yeşil şist fasiyesinde metamorfize olmuş volkanik-subvolkanik ve çökel birimlerinden oluşan Akgöl formasyonu geniş alanlarda yüzeylenmektedir. Bu birim içinde dissemine-masif piritlerle birlikte Cu (bakır) cevherleşmeleri gözlenmektedir. Akgöl formasyonu içinde Cozoğlu Bakır Yatağı ve Sepetçioğlu (Hanönü) Bakır Yatağı olarak bilinen önemli yataklar bulunmaktadır. MTA Genel Müdürlüğü Maden Etüt ve Arama Dairesi'nin 2013 yılı çalışmaları sonucunda, Hanönü Bakır Yatağı yakınında Gökırmak ve Devrettepe adlı iki ayrı sektörde cevherleşmeler tespit edilmiştir [26].



Şekil 3.4.Kastamonu Hanönü jeolojik yapısı [26]

Çalışmada sahanın 520 m kotunda yapılan üç patlatmada farklı gecikme düzenleri kullanılarak patlatma sonrası tane boyutu analizi için veriler toplanmıştır. 520-1, 520-2 ve 520-3 şeklinde adlandırılan patlatmalarda formasyon aynı olup genel olarak yeşil şisttir.

3.3.İnfilak Hızı Ölçümü

Saha 1’de yapılan iki patlatmada delik içi infilak hızı ölçümü için MREL firmasına ait “Microtrap VOD/Data Recorder” ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Microtrap VOD (İnfilak Hızı) ölçüm cihazı



Şekil 3.6. Direnç kablosu (prob) (solda), cihaz bağlantı anten kablosu (ortada), anten kablosu-prob bağlantısı (sağda)

Ölçüm yapılabilmesi için gerekli direnç kablosu (Şekil 3.6) patlatma yapılacak grubun son deliğinde, delik içine giden ucu kısa devre yapılarak kapsüle duyarlı dinamite bağlanarak delik içine yerleştirilmiştir (Şekil 3.7). Ardından anten kablosu-prob bağlantısı yapılarak cihaz kayda hazır halde 30 metre uzaklıktaki güvenli bir alana yerleştirilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.7. Dinamit-prob bağlantısı (solda), delik içine yerleştirilmiş hali (sağda)



Şekil 3.8. Sahaya yerleştirilen cihazın kayda hazır hale getirilmesi(solda) ve aktif cihaz (sağda)

Patlatma sonrası saha kontrolü yapıldıktan sonra cihaz sahadan alınarak, bilgisayar ortamında MREL firmasına ait "Data Acquisition Suite" programı ile ölçüm verilerinin analizi yapılmıştır. Çift yemleme yapılan patlatmada ise yapılanlara ek olarak, deliğin içerisine 7. metrede ikinci dinamit yerleştirilmiş olup yapılan işlem aynıdır. Çift yemleme yapılan delikte ölçüm deliği dışındaki deliklerde ikinci dinamit kapsül bağlantısı yapılarak yerleştirilmiş olup, sadece ölçüm yapılan delikte ikinci kapsülde yaşanabilecek gecikmede sapma olması ihtimaline karşı (ilk yemleyiciden erken patlaması gibi) ölçüm alamama gibi bir durum yaşanmaması adına önlem olarak ikinci dinamit kapsül bağlanmadan yerleştirilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. İkinci yemleyicinin yerleştirilmesi (solda) ve şarjlanmış ölçüme hazır delik (sağda)

3.4. Tane Boyutu Analizi

Patlatma sonrası ölçeklendirme çubukları ile fotoğraflar alınarak Split-Desktop dijital görüntü işleme programı ile analizi yapılmış ve yığının tane boyutu dağılımı belirlenmiştir. Saha 1'de yapılan patlatmalarda üç ayrı noktadan tane boyutunu belirlemek için görsel alınarak analizleri yapılmıştır. Saha 2'de ise optimizasyon için yapılan üç patlatmadan tane boyutu analizleri için görseller alınmış ve çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Analiz için sahadan alınan fotoğraflarda kullanılan ölçeklendirme çubuklarının uzunlukları 1 metre olup iki çubuk arasındaki mesafe yine 1 metre olacak şekilde yerleştirilmişlerdir.

Saha 1'de 89 mm çapta delik başına 50 kg ANFO kullanılmıştır. Gecikme düzeni; delik içi 500 ms, delikler arası 25 ms ve sıralar arası 42ms olarak alınmıştır.

Saha 2'de ise 102mm çapta delik başına 37,5 kg ANFO kullanılmıştır. Gecikme düzeni 520-1 numaralı grupta delik içi ilk yemleyici 500 ms ikinci yemleyici 400 ms, delikler arası ve sıralar arası 17 ms olarak gerçekleştirilmiştir. 520-2 numaralı grupta delikler arası ve sıralar arası 25 ms, 520-3 numaralı grupta ise delikler arası 25 ms sıralar arası 42 ms kullanılmıştır.

3.4.1. Saha 1-1 – Tek Yemleme Uygulaması

Saha 1’de yapılan ilk patlatmada (Şekil 3.10) 13,80 m uzunlukta ve 89 mm çapta, iki sırada toplam 38 delik mevcuttur. Delik başı 50 kg ANFO ve 0,5 kg dinamit kullanılmış olup tek yemleme yapılmıştır. Delik içi 500 ms, delikler arası 25 ms, sıralar arası 42ms gecikme kullanılmıştır. Delikler arası mesafe 3 m ve yük mesafesi 3 m olacak şekilde delik düzeni yapılmıştır. Şekil 3.11, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’te patlatma sonrası alınan analiz görselleri verilmiştir.



Şekil 3.10. Saha 1 - 1. patlatma sonrası – Tek yemleme



Şekil 3.11. Saha 1 – 1. patlatma 1. analiz görseli



Şekil 3.12. Saha 1 – 1. patlatma 2. analiz görseli



Şekil 3.13. Saha1 – 1. patlatma 3. analiz görseli

3.4.2. Saha 1-2 – Çift Yemleme Uygulaması

Saha 1’de yapılan ikinci patlatmada (Şekil 3.14) 13,80 m uzunlukta ve 89 mm çapta, iki sırada toplam 25 delik mevcuttur. Delik başı 50 kg ANFO ve 0,5 kg dinamit kullanılmış olup tek yemleme yapılmıştır. Delik içi 500 ms, delikler arası 25 ms, sıralar arası 42 ms gecikme kullanılmıştır.

İkinci yemlemede 500 ms delik içi gecikme verilmiştir ancak yüzey bağlantısı yapılırken kolonun altında bulunan yemleyiciden 25 ms önce patlayacak şekilde bağlantı yapılmıştır. Delikler arası mesafe 3 m ve yük mesafesi 3 m olacak şekilde delik düzeni mevcuttur. Şekil 3.15, Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de patlatma sonrası alınan analiz görselleri verilmiştir.



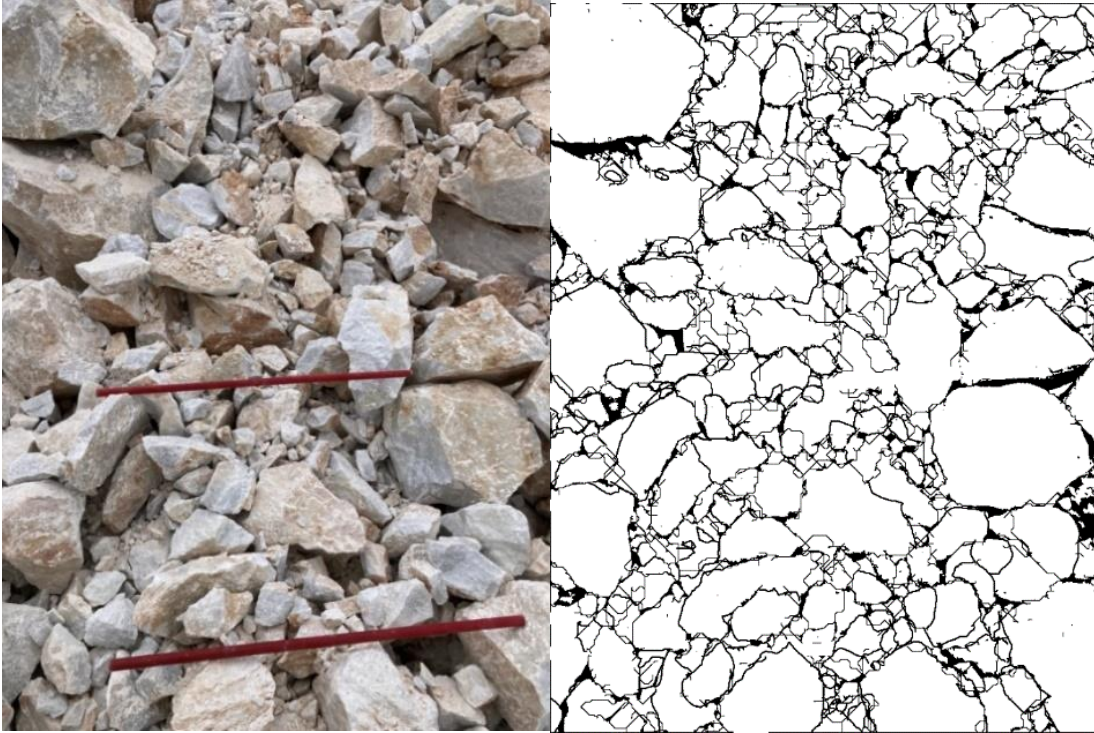
Şekil 3.14. Çift yemleme yapılan patlatma sonrası



Şekil 3.15. Saha 1 – 2. patlatma 1. analiz görseli



Şekil 3.16.Saha 1 – 2. patlatma 2. analiz görseli



Şekil 3.17.Saha 1 – 2. patlatma 3. analiz görseli

3.4.3. Saha – 2’de Yapılan Çalışmalar

Saha 2’de çift yemleme kullanılarak 102 mm çapta, 10 metre uzunluğunda deliklerde patlatmalar yapılmıştır (Şekil 3.17). Deliklerde 37,5 kg ANFO kullanılmış olup, 4 metre şarj sonrası 1metre ara sıkılama yapıldığında ikinci yemleyici yerleştirilip delik 2 metre daha şarjlanarak 3 metre sıkılama uzunluğu bırakılmıştır. 520-1 numaralı patlatmada 4 sırada toplam 43 delik, 520-2 numaralı patlatmada 5 sırada toplam 81 delik, 520-3 numaralı patlatmada ise 4 sırada toplam 92 delik patlatılmıştır. Patlatmalar aynı formasyonda yapılmış olup aralarında değişen tek parametre gecikme düzenidir. Şekil 3.18, Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de patlatma sonrası alınan analiz görselleri verilmiştir.



Şekil 3.18. Saha 2, 520-2 patlatma öncesi



Şekil 3.19. 520-1. numaralı grup patlatma Analiz görseli



Şekil 3.20. 520-2 numaralı patlatma analiz görseli



Şekil 3.21. 520-3 numaralı grup patlatma analiz görseli

4.BULGULAR

Sahalarda yapılan çalışmalar sonrasında elde edilen verilerin değerlendirilmesi için bilgisayar yazılımları kullanılmıştır.

4.1.Patlatma Parametrelerinin Bilgisayar Yazılımı ile Değerlendirilmesi

Niğde ve Kastamonu'da ocaklarda yapılan toplam 5 patlatmanın verileri toplanmış ve patlatma sonrasında O-Pitblast programı kullanılarak patlatmaların modellemeleri yapılmıştır. Saha 1'de yapılan patlatmalarda iki patlatmanın da parametreleri olabildiğince sabit tutularak ikinci yemlemenin etkisi, Saha 2'de yapılan patlatmalarda ise ara sıkılama ile çift yemleme kullanımında gecikme düzeninin etkisi araştırılmıştır.

4.1.1.Saha – 1

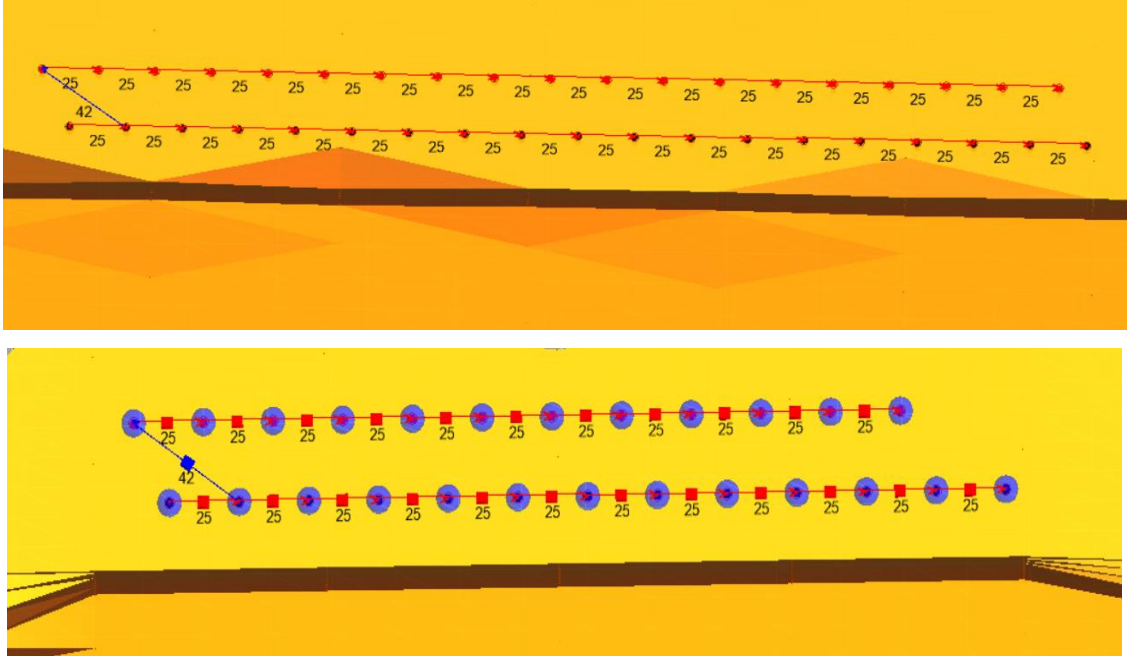
Sahada yapılan patlatmaların genel delik bilgileri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Saha delik bilgileri

Grup Adı		Saha 1-1	Saha 1-2
Delik Çapı	mm	89	89
Yük Mesafesi	m	3	3
Delikler Arası Mesafe	m	3	3
Delik Uzunluğu	m	13,80	13,80
Sıra Sayısı	adet	2	2
Özgül Şarj	(kg/m ³)	0,41	0,41

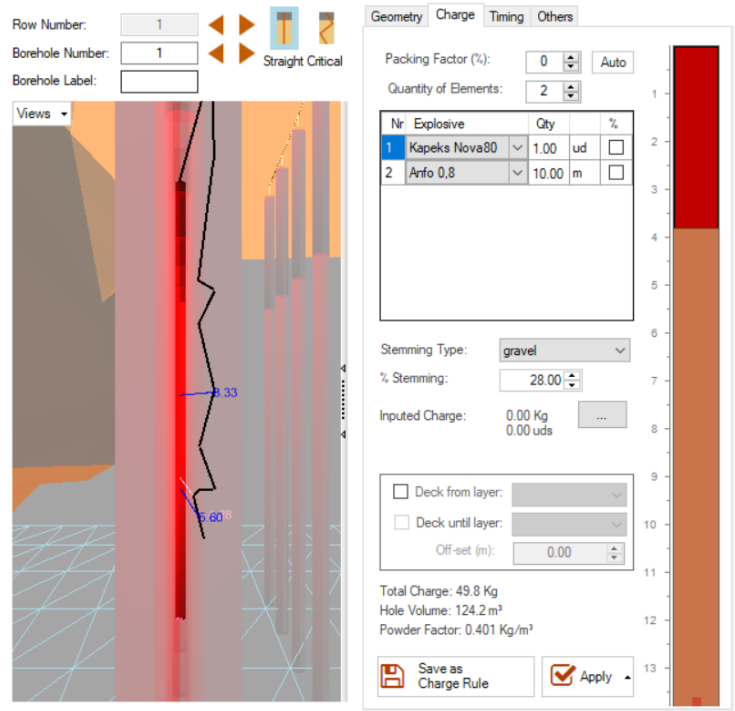
+/- 10 cm delgi hatası mevcuttur.

Saha 1'de yapılan patlatmalarda ateşleme tasarımı ve delik geometrisi iki patlatmada da aynı olacak şekilde planlanmıştır. İlk patlatma tek yemleme ikinci patlatma çift yemleme kullanılarak yapıldığından aradaki farkı görebilmek için diğer parametreler sabit tutulmuştur. İlk patlatmada toplam 38 delik, ikinci patlatmada 25 delik patlatılmıştır. Saha 1'deki patlatmaların ateşleme düzenleri Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

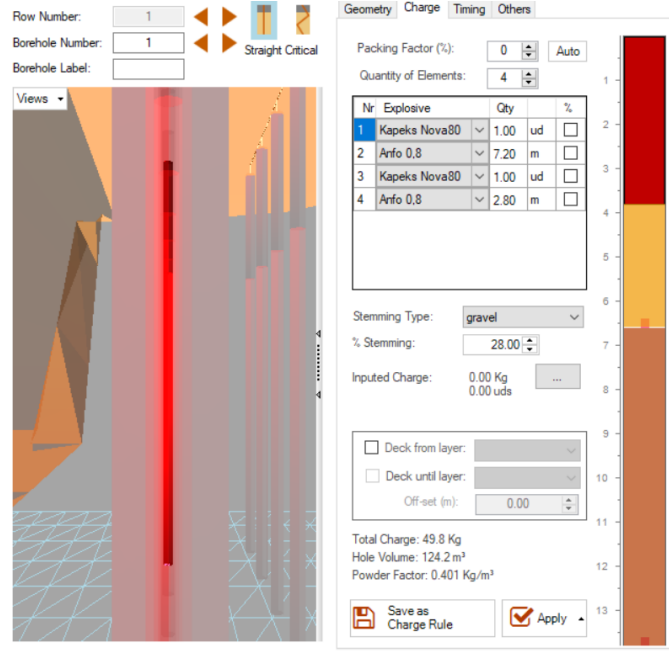


Şekil 4.1. Saha 1'deki ilk patlatma (üstte) ve ikinci patlatma (altta) ateşleme düzenleri

Tek yemleme yapılan delikte patlatma sonrası 7. metreden sonra infilak hızında bir miktar düşüş gözlenmiştir. Bu nedenle sonraki patlatmada ikinci yemleyici 7. metreden sonra ara sıkılama olmadan yerleştirilmiştir (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3).

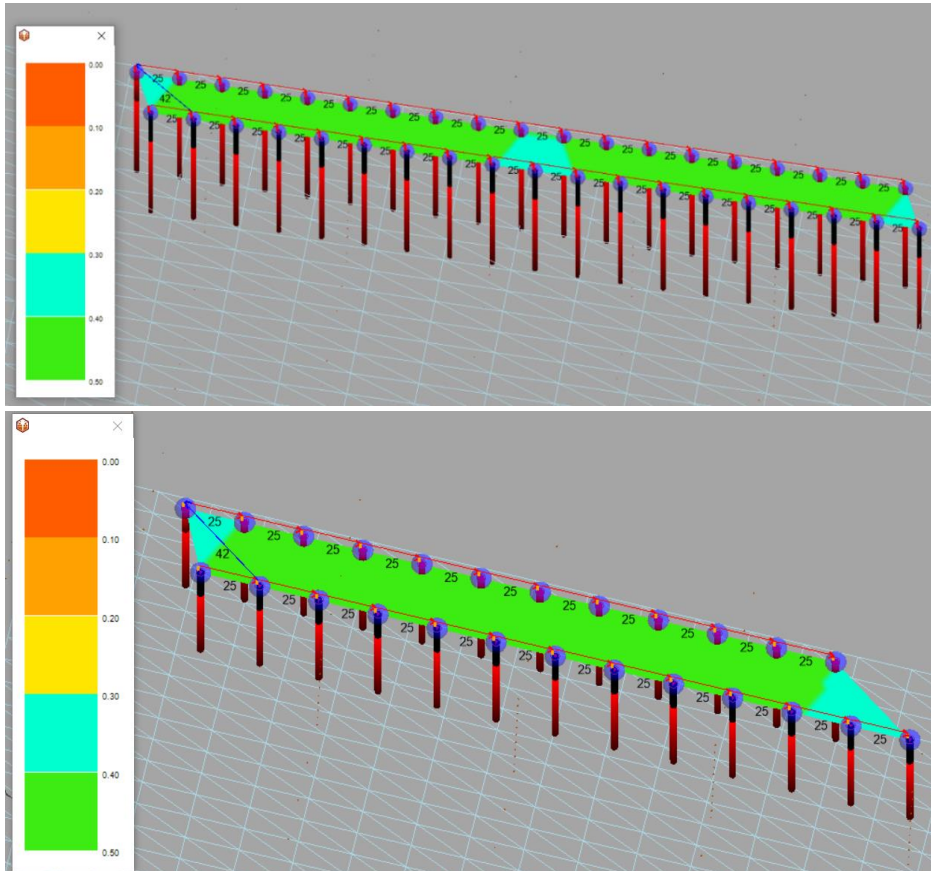


Şekil 4.2. Tek yemleme yapılan deliklerin delik içi patlayıcı şarjları



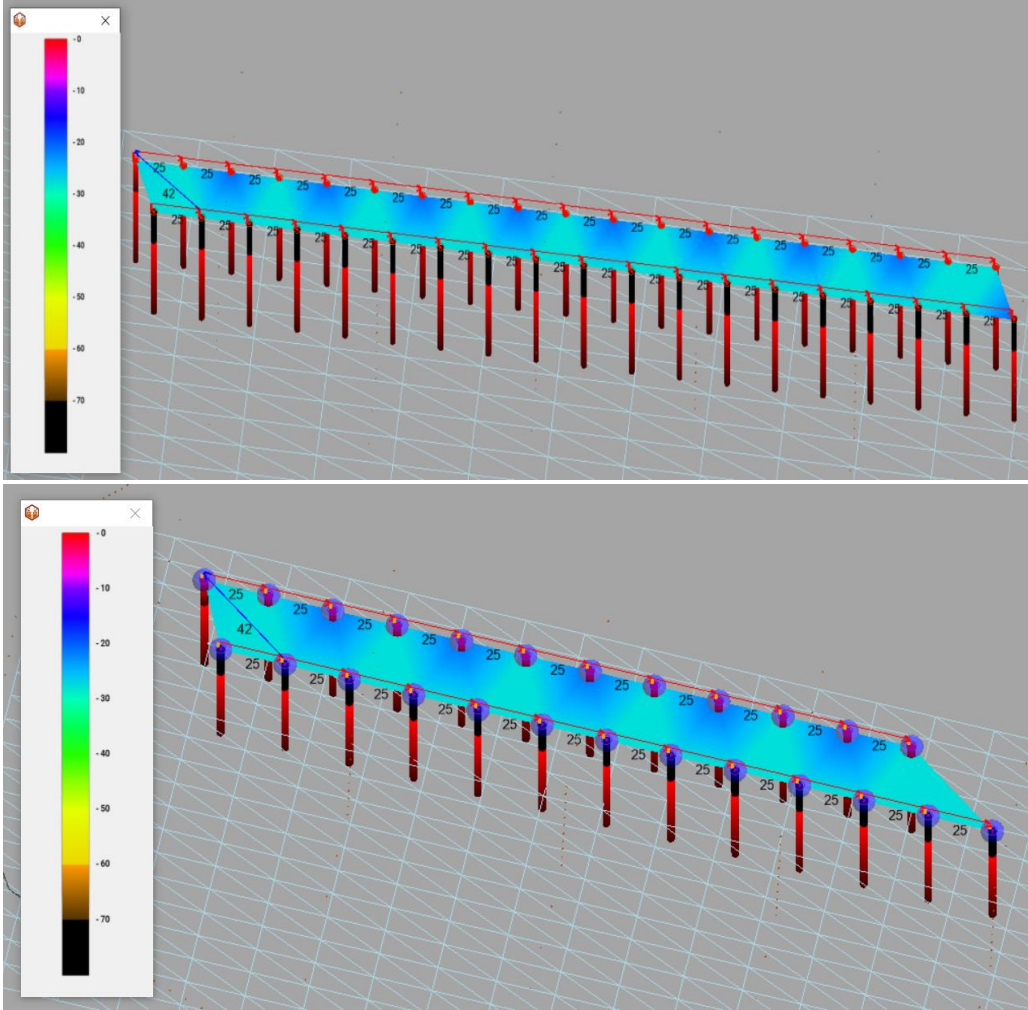
Şekil 4.3.Çift yemleme yapılan deliklerin delik içi patlayıcı şarjları

Patlatmalarda tasarlanan özgül şarj dağılımı $0,39 \text{ kg/m}^3$ olup sahada uygulama sonrası O-Pitblast üzerinden yapılan modelde her iki patlatmada da $0,41 \text{ kg/m}^3$ olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4.Saha 1 patlatmaların özgül şarj dağılımları (ilk patlatma üstte, ikinci patlatma altta)

Her iki patlatmada da ortalama yük hafifletmesi dağılımları 27 ms/m olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.5). Dekapaj işlerinde formasyon 30 ms/m'nin altında iken sıra sayısı arttıkça yığın formunda sıkışma gözlemlenmekte ve yükleme performansı düşmektedir. Saha 1'de patlatılan malzeme kalsit olduğundan yükleme performansını etkileyecek bir sıkışma formu beklenmemektedir.



Şekil 4.5. Patlatmaların yük hafifletmesi (ms/m) dağılımları (ilk patlatma üstte, ikinci patlatma altta)

Saha 1'de yapılan patlatmalarda iki patlatmanın da delik çapı, delik uzunlukları, delikler arası mesafe, sıralar arası mesafe, kolon şarjı ve sıkılama uzunluğu gibi parametreleri sabit tutulmuştur. Patlatma öncesi ve sonrası aldığımız verileri inceldiğimizde tasarlanan ile gerçekleşen parametreler birbiriyle örtüşmekte olup uygulama amacına ulaşmıştır.

4.1.2. Saha – 2

Sahada yapılan patlatmaların delik bilgileri Tablo 4.2’de verilmiştir.

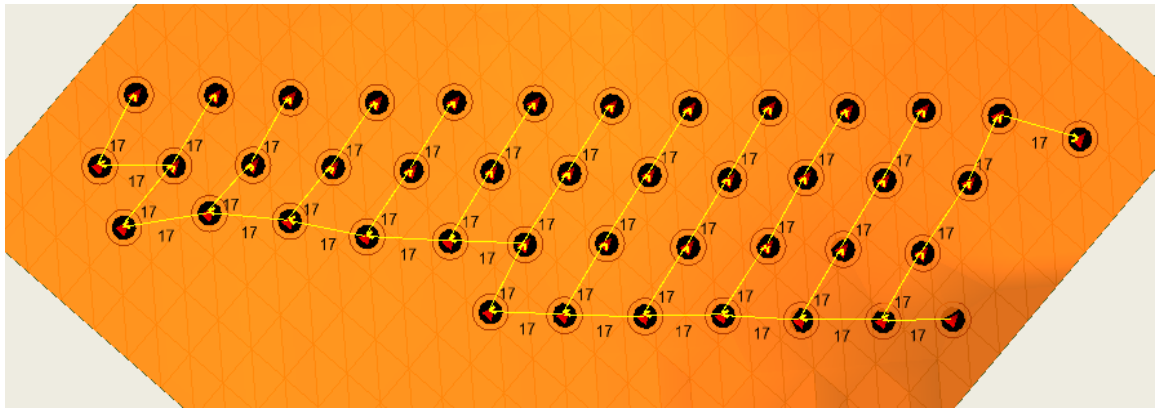
Tablo 4.2. Saha 2 delik bilgileri

Grup Adı		520-1	520-2	520-3
Delik Çapı	mm	102	102	102
Yük Mesafesi	m	3,05	3,10	2,95
Delikler Arası Mesafe	m	3,50	3,50	3,50
Delik Uzunluğu	m	10,60	10,60	10,60
Sıra Sayısı	adet	4	5	4
Özgül Şarj	(kg/m ³)	0,35	0,37	0,37
Gecikme Düzeni	ms	17-17	25-25	25-42

+/- 10cm delgi hatası mevcuttur.

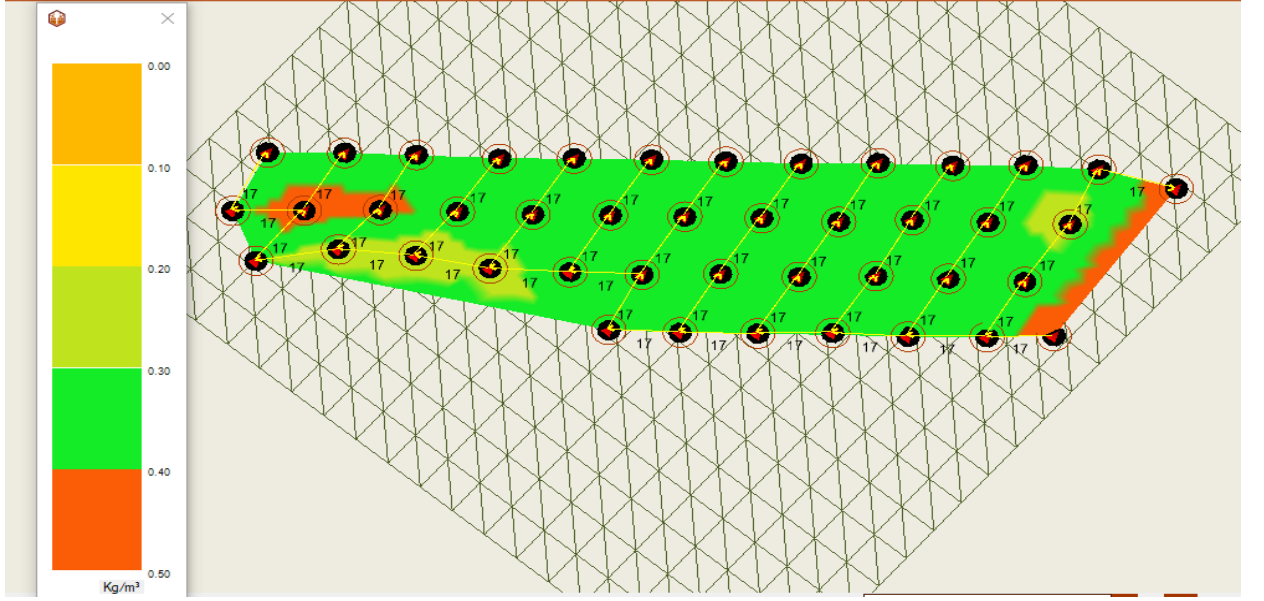
520-1 numaralı grupta yapılan patlatma öncesi kontrolde alınan ölçümler doğrultusunda, hedeflenen delgi ile gerçekleşen delgi arasında sapmalar tespit edilmiştir. Delik boylarında herhangi bir problem ile karşılaşmamak ile birlikte (ihmal edilebilir ölçüde) delikler arası ve sıralar arası mesafelerde yer yer tolere edilebilir değerlerin üzerinde sapmalar gözlenmiştir.

520-1 numaralı grubun ateşleme tasarımında delikler arası ve sıralar arası gecikmeler 17ms olarak verilmiştir (Şekil 4.6). Delik içi gecikmeler ise dipte bulunan ilk yemleyicide 500ms, ara sıkılama sonrası yerleştirilen ikinci yemleyicide 400ms olarak kullanılmıştır.



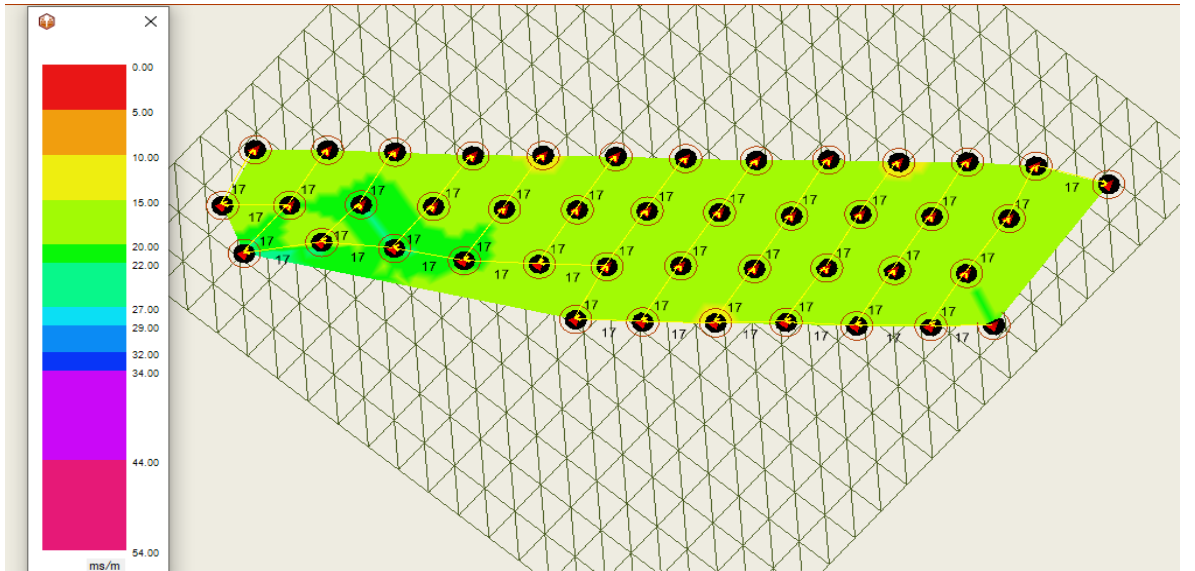
Şekil 4.6. 520-1 numaralı grupta ateşleme tasarımı

Patlatmada tasarlanan özgül şarj $0,34 \text{ kg/m}^3$ olup sahadaki uygulamaya baktığımızda ortalama özgül şarj $0,35 \text{ kg/m}^3$ olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. 520-1 numaralı grupta özgül şarj (kg/m^3) dağılımı

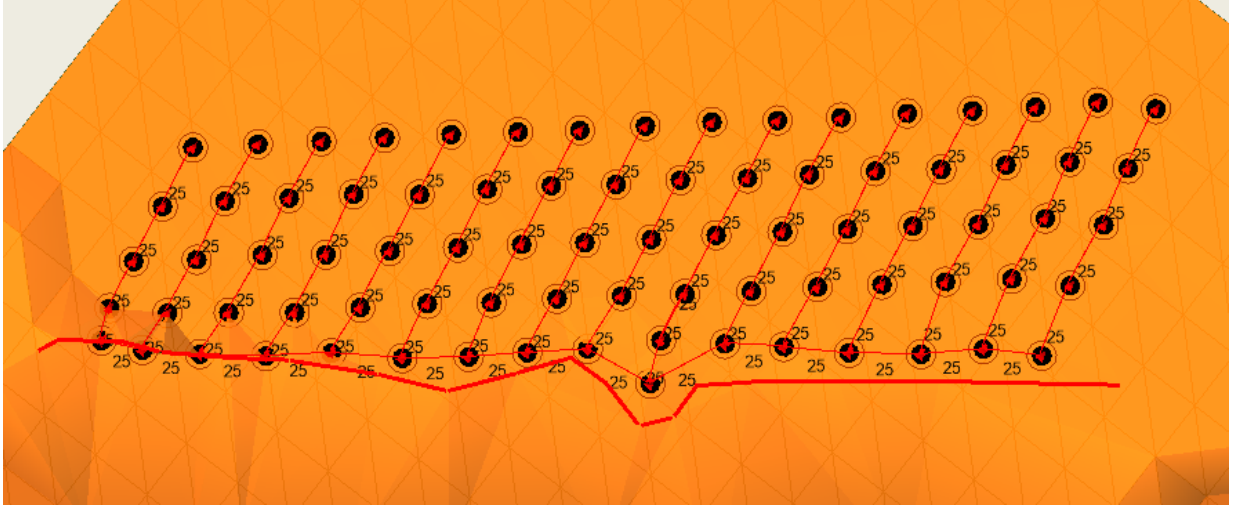
520-1 numaralı grupta yük hafifletmesi dağılımı ortalama 17 ms/m olarak tespit edilmiş olup 30 ms/m 'nin altında sıra sayısı arttıkça yığın formunda sıkışma gözlemlenmekte ve yükleme performansını düşürmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. 520-1 numaralı grupta yük hafifletmesi (ms/m) dağılımı

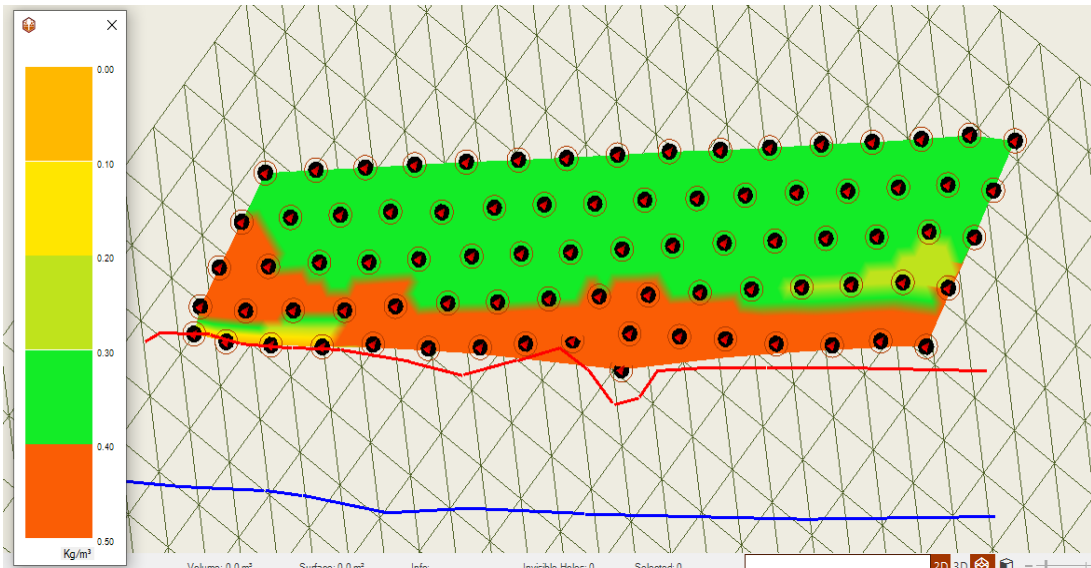
520-2 numaralı grupta yapılan patlatma öncesi kontrolde alınan ölçümler doğrultusunda, hedeflenen delgi ile gerçekleşen delgi arasında ± 10 cm tolerans aralığı içerisinde sapma tespit edilmiştir.

520-2 numaralı grupta delikler arası ve sıralar arası gecikmeler 25 ms olarak belirlenmiş (Şekil 4.9) ve şarjın dip kısmında 500ms, ara sıkılama sonrası yerleştirilen ikinci yemleyicide ise 400 ms gecikme kullanılmıştır.



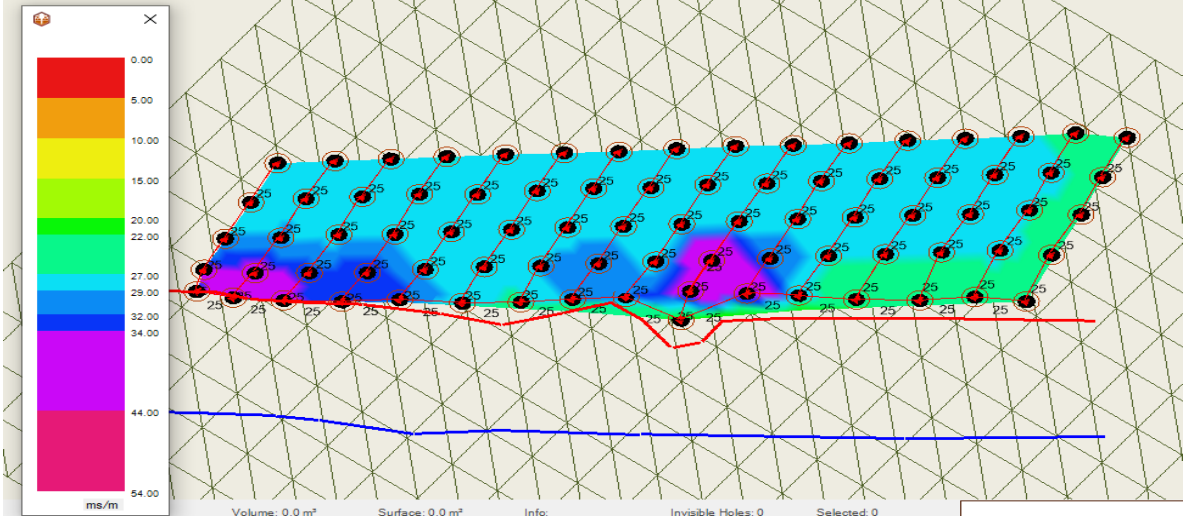
Şekil 4.9. 520-2 numaralı grupta ateşleme tasarımı

Tasarlanan özgül şarj $0,34 \text{ kg/m}^3$ iken özellikle ön kısımda yer alan yardımcı delik ve ilk sıradaki delgi hataları göz önüne alındığında genel olarak özgül şarj dağılımı istenilene yakın olup, ortalama özgül şarj dağılımı $0,37 \text{ kg/m}^3$ olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. 520-2 numaralı grupta özgül şarj (kg/m^3) dağılımı

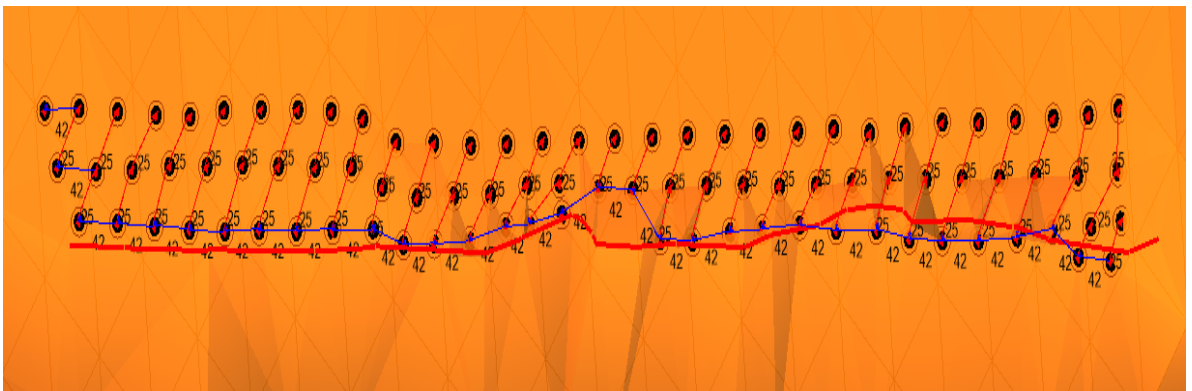
520-2 numaralı grupta yük hafifletmesi dağılımı ortalama 28ms/m olarak tespit edilmiş olup 30ms/m'nin altındadır (Şekil 4.11). İstenilen seviyelere yakın olmakla birlikte yine sıra sayısı arttıkça yığın formunda sıkışma gözlemlenmekte ve yükleme performansı istenilen seviyede olmamaktadır.



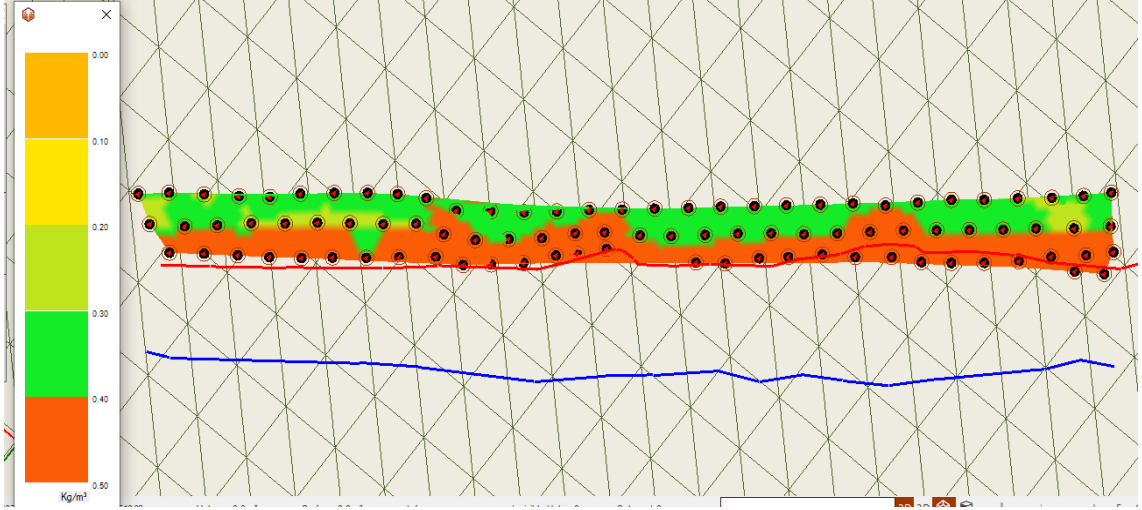
Şekil 4.11. 520-2 numaralı grupta yük hafifletmesi (ms/m) dağılımı

520-3 numaralı grupta yapılan patlatma öncesi kontrolde alınan ölçümler doğrultusunda, genel olarak +10cm tolerans aralığı içerisinde sapmalar tespit edilmiştir.

520-3 numaralı grupta delikler arası gecikme 25ms, sıralar arası gecikme ise 42ms olarak verilmiş olup (Şekil 4.12) delik içi gecikmeler dipte bulunan yemleyicide 500ms ara sıkılama sonrası ikinci yemleyicide 400ms olarak verilmiştir. Patlatmada tasarlanan özgül şarj 0,34 kg/m³ olup uygulamada ortalama özgül şarj dağılımı 0,37 kg/m³ olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.13).

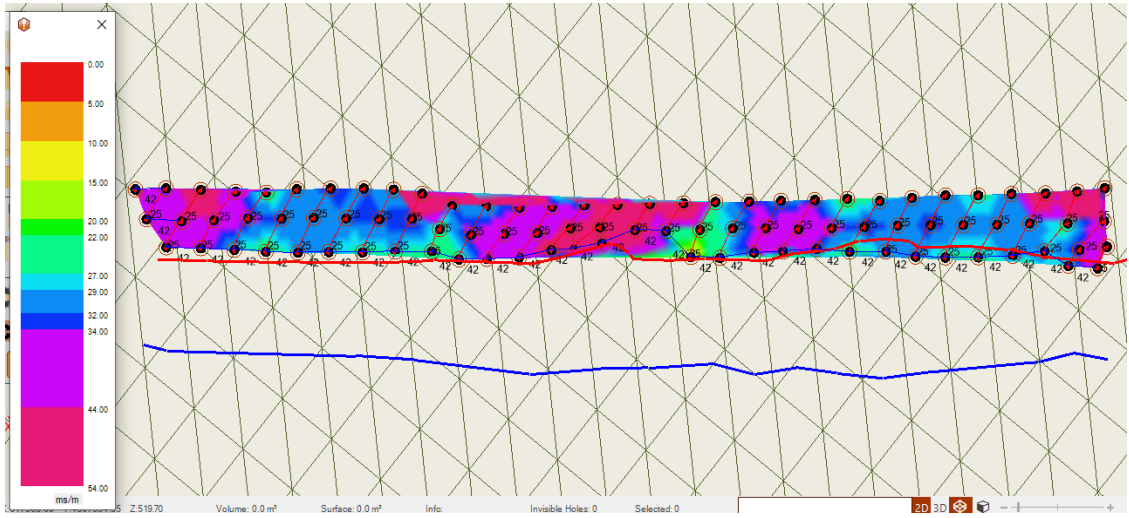


Şekil 4.12. 520-3 numaralı grupta ateşleme tasarımı



Şekil 4.13. 520-3 numaralı grupta özgül şarj (kg/m^3) dağılımı

520-3 numaralı grupta yük hafifletmesi dağılımı ortalama 39 ms/m olarak tespit olup 30ms/m'nin üstündedir (Şekil 4.14). 30ms/m ve üstünde yığın hareket kabiliyeti kazandığından daha gevşek bir form kazanmaktadır. Bu da yükleme performansını artırmaktadır.



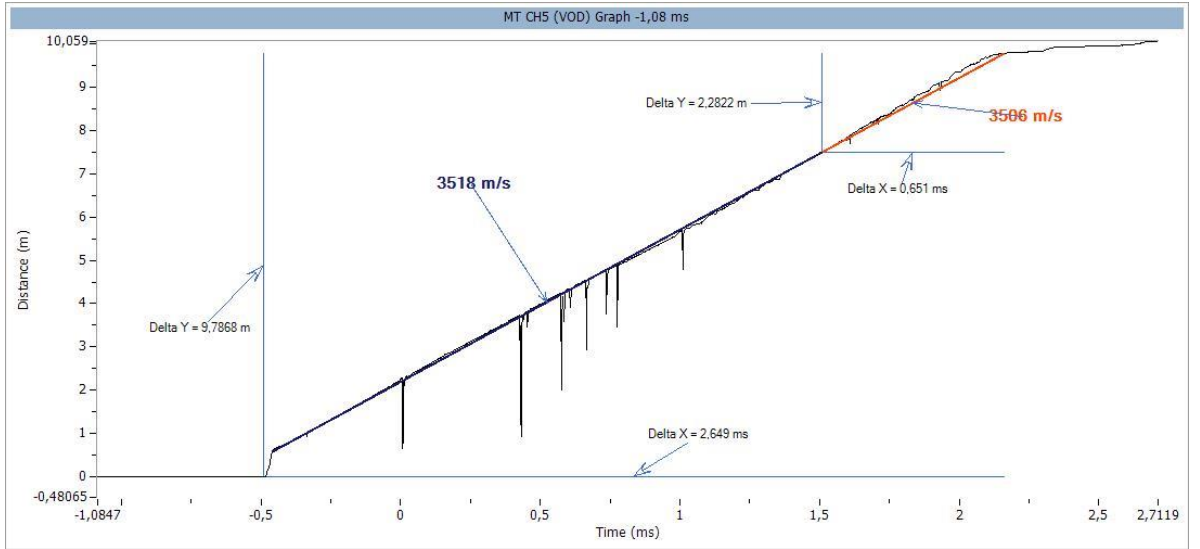
Şekil 4.14. 520-3 numaralı grupta yük hafifletmesi (ms/m) dağılımı

4.2. Delik İçi İnfilak Hızı (VOD) Ölçüm Sonuçları

Sahada 1’de yapılan patlatmalar sonrası alınan ölçümler Data Acquisition Suite yazılımı kullanılarak incelenmiştir.

4.2.1. Saha 1 – Tek Yemleme VOD Ölçüm Sonucu

Saha 1’de tek yemleyici kullanılarak yapılan, ilk patlatmanın infilak hızı ölçüm grafiği Şekil 4.15’te verilmiştir.

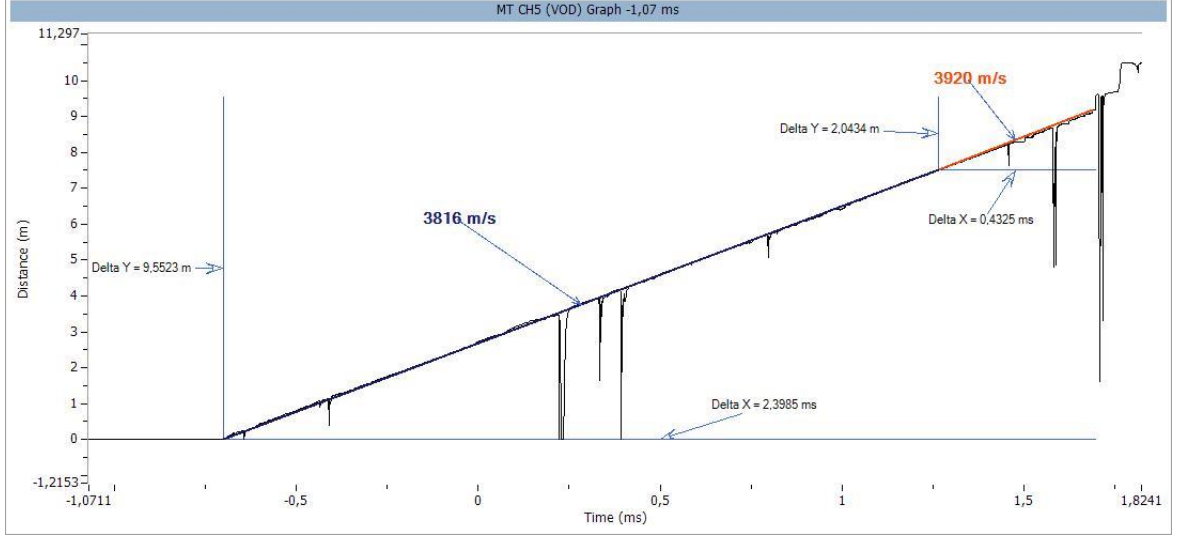


Şekil 4.15. Saha 1’de tek yemleyici ile yapılan patlatma VOD ölçüm grafiği

Şekil 4.15 incelendiğinde 10 metrelik kolon şarjı boyunca infilak hızında ciddi bir değişimin gözlenmediği ancak 7,5 metreden sonra 0,03%’lik ihmal edilebilir bir düşüş görülmektedir. Elde edilen verilere göre, patlatma süresi toplam kolon boyunca yaklaşık olarak 2,5-2,71 ms sürmüştür. İlk 1,5 ms sürede ortalama infilak hızı 3518 m/s olarak belirlenirken, son 0,651 ms içerisinde 3506 m/s seviyesine düştüğü tespit edilmiştir.

4.2.2. Saha 1 – Çift Yemleme VOD Ölçüm Sonucu

Saha 2’de çift yemleme kullanılarak yapılan, ikinci patlatmanın infilak hızı ölçüm grafiği Şekil 4.16’da verilmiştir.



Şekil 4.16. Saha 1 çift yemleyici kullanılarak yapılan patlatma VOD ölçüm grafiği

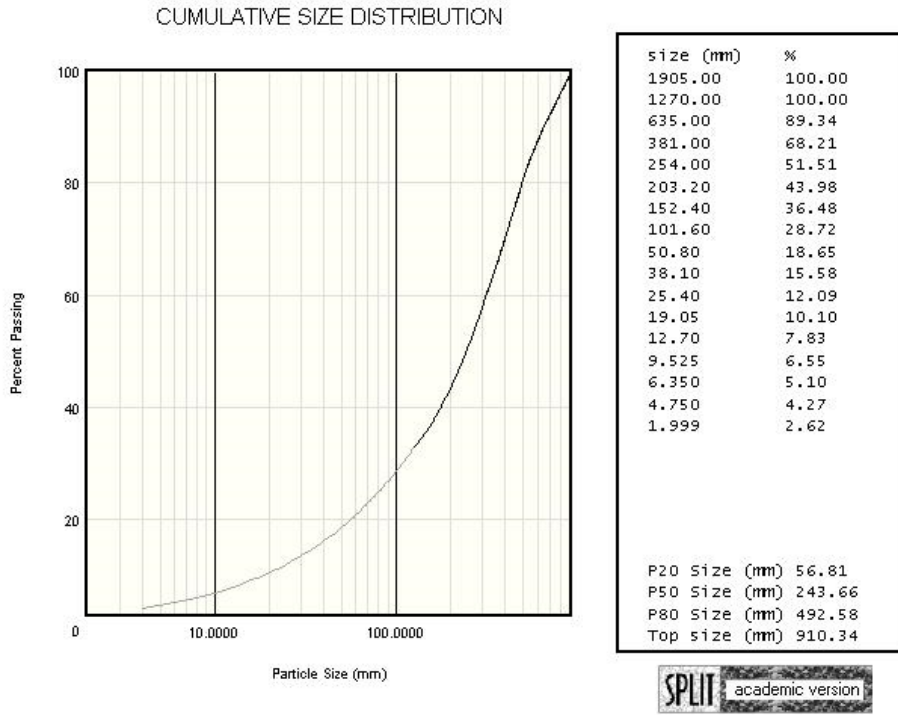
Şekil 4.16 incelendiğinde 10 metrelik kolon şarjının 7,5 metresine yerleştirilen ikinci yemleyicinin infilak hızında 2,7%’lik bir artışa yol açtığı görülmektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda, toplam kolon boyunca gerçekleştirilen patlatmanın süresi 1,5-1,824 ms aralığında olduğu tespit edilmiştir. Tek yemleme yapılan patlatmaya kıyasla, bu sürenin daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir. İlk 1,25 ms içerisinde 3816 m/s olarak ölçülen infilak hızının, son 0,4325 ms içerisinde 3920 m/s seviyesine yükseldiği tespit edilmiştir.

4.3.Tane Boyutu Analizleri

Saha 1’de her patlatma için patlatma sonrası yığından ölçeklendirme çubukları ile üç farklı fotoğraf kullanılarak tane boyutu analizleri yapılmış olup, analizler sonunda üç analizin verileri kullanılarak ortak grafikler oluşturulmuştur. Saha 2’de her patlatma sonrası yığından tek fotoğraf kullanılarak tane boyutu analizleri yapılmıştır.

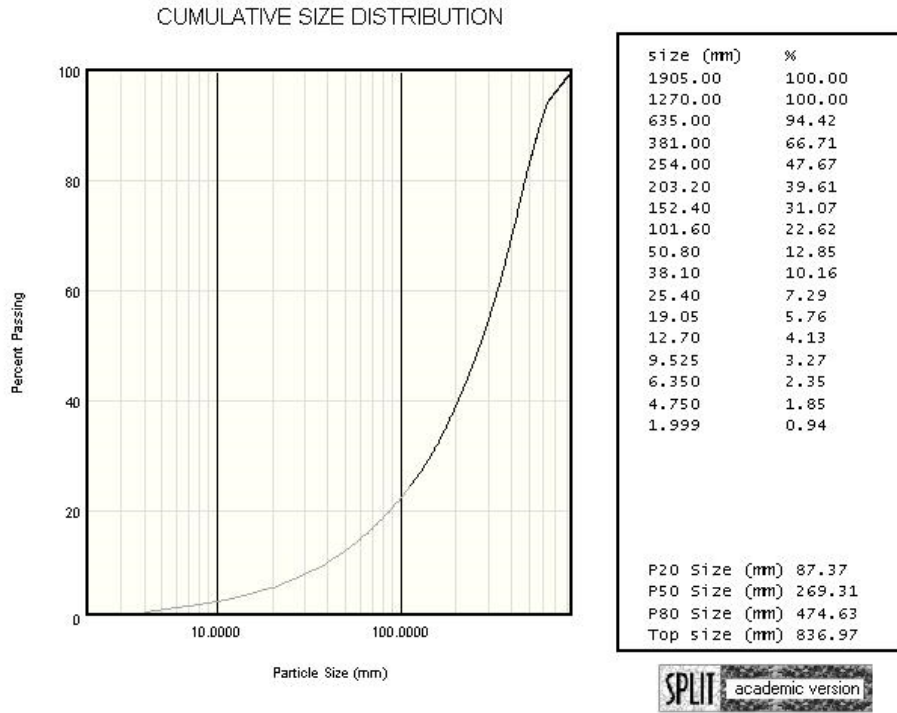
4.3.1. Saha 1’de Tek Yemleyici ile Yapılan Patlatmanın Analizleri

Saha 1’de yapılan patlatmada oluşan yığının tane boyu analizi grafikleri Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da, ortak analiz grafiği ise Şekil 4.20’de verilmiştir.



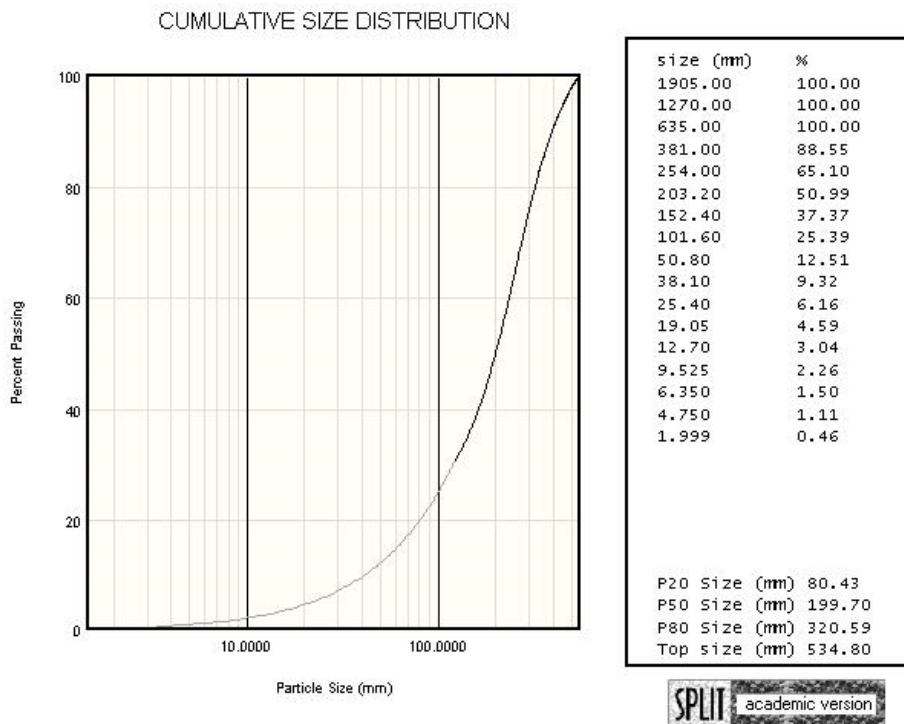
Şekil 4.17. Saha 1-1 ilk analiz grafiği

İlk analiz görselinin grafiği (Şekil 4.17) incelendiğinde 910.34 mm’ye kadar patar diyebileceğimiz boyutta tane boyutu gözlenmekle beraber yığın 80%’i 492.58 mm altında, 50%’si 243.66 mm altında ve 20%’lik kısmı 56.81 mm altında bir yığın yapısı görülmektedir.



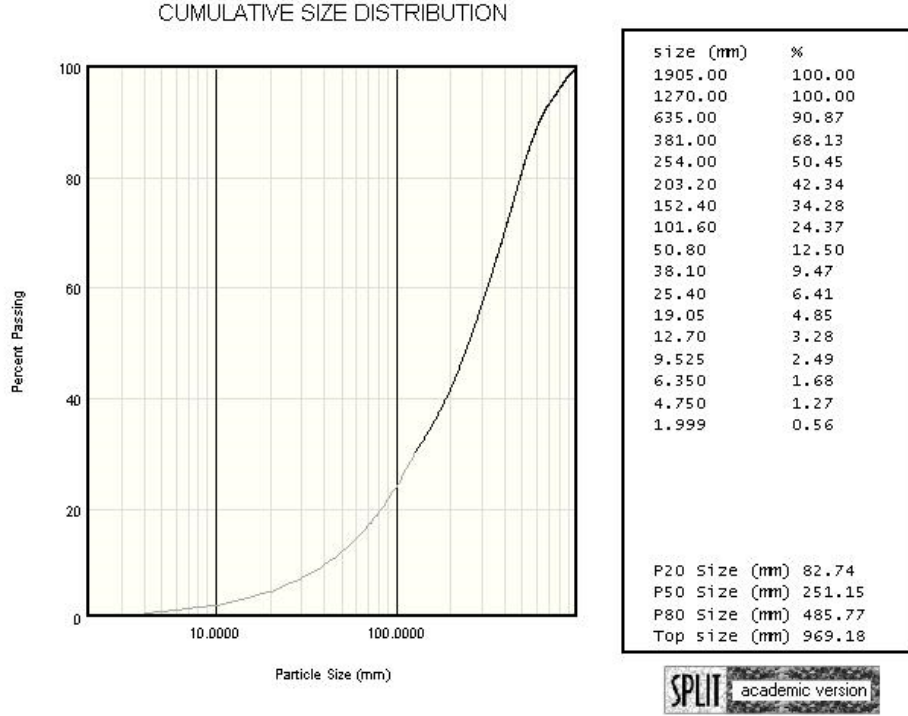
Şekil 4.18. Saha 1-1 ikinci analiz grafiği

İkinci analiz görselinin grafiği (Şekil 4.18) incelendiğinde 836.63 mm'ye kadar yine patar diyebileceğimiz boyutta tane boyutu gözlenmekle beraber yığının 80%'i 474.63 mm altında, 50%'si 269.31 mm altında ve 20%'lik kısmı 87.17 mm altında bir yığın yapısı görülmektedir.



Şekil 4.19. Saha 1-1 üçüncü analiz grafiği

Şekil 4.19 incelendiğinde en büyük tane boyutu 534.80mm olarak gözlenmekle beraber yığının 80%'i 320.59 mm altında, 50%'si 199.70 mm altında ve 20%'lik kısmı ise 80.43 mm altında bir yığın yapısı görülmektedir.

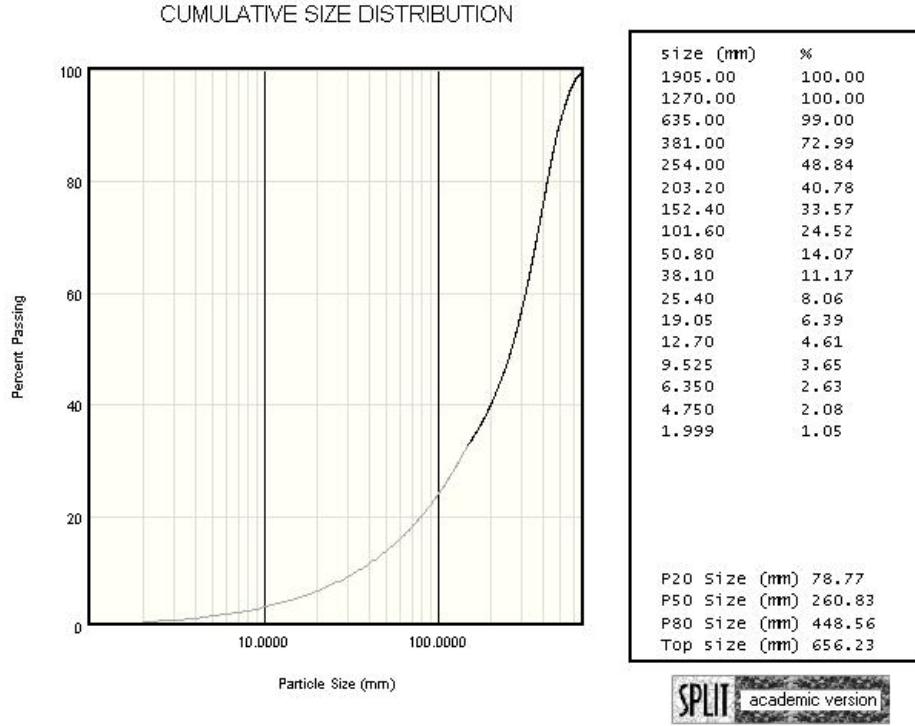


Şekil 4.20. Saha 1-1 ortak analiz grafiği

İlk patlatmada analiz için kullandığımız üç ayrı görseli birlikte kullanarak oluşturduğumuz ortak grafikte (Şekil 4.20), yığının tane boyunun 80%'inin 485.77 mm altında, 50%'sinin 251.15 mm altında, 20%'sinin ise 82.74 mm altında olduğu görülmektedir. Analiz edilen veriler, patlatma sonrası oluşan yığının tane boyutu ve parçalanma yapısı açısından birbirine yakın ölçülerde olmadığını göstermektedir. Yığında patar denilebilecek boyutta tane boyutu oluşması kırıcı kullanımına ihtiyaç duyulacağını göstermektedir. Bu durum, kazı ve yükleme maliyetlerinin artacağını ortaya koymaktadır.

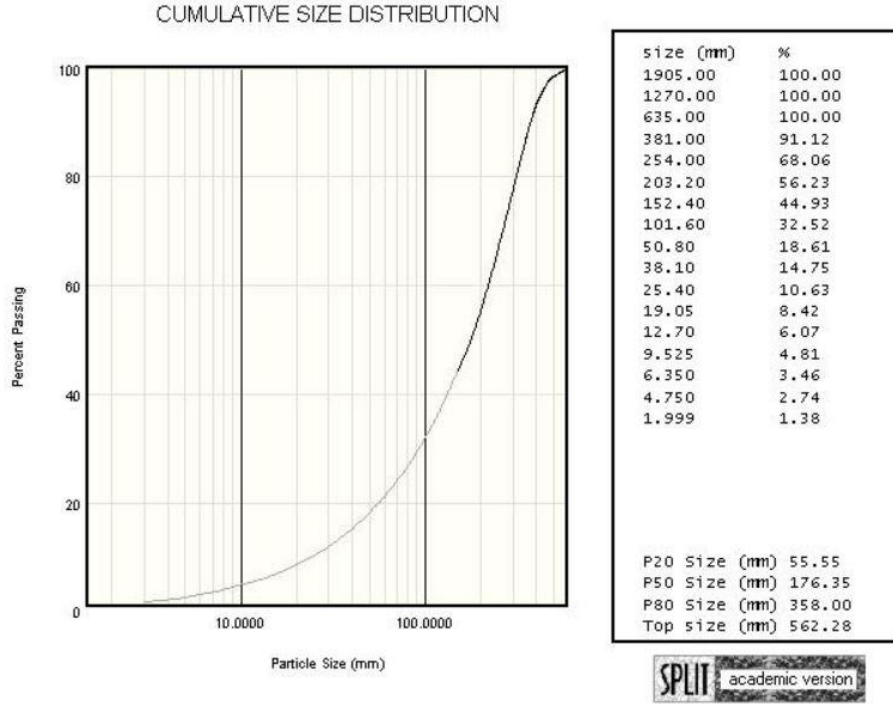
4.3.2. Saha 1’de Çift Yemleme ile Yapılan Patlatmanın Analizleri

Saha 1’de çift yemleme kullanılarak yapılan patlatmada oluşan yığının tane boyu ilk analiz grafiği Şekil 4.21’de, ikincisi Şekil 4.22’de; üçüncüsü Şekil 4.23’de; ortak analiz grafiği ise Şekil 4.24’de verilmiştir.



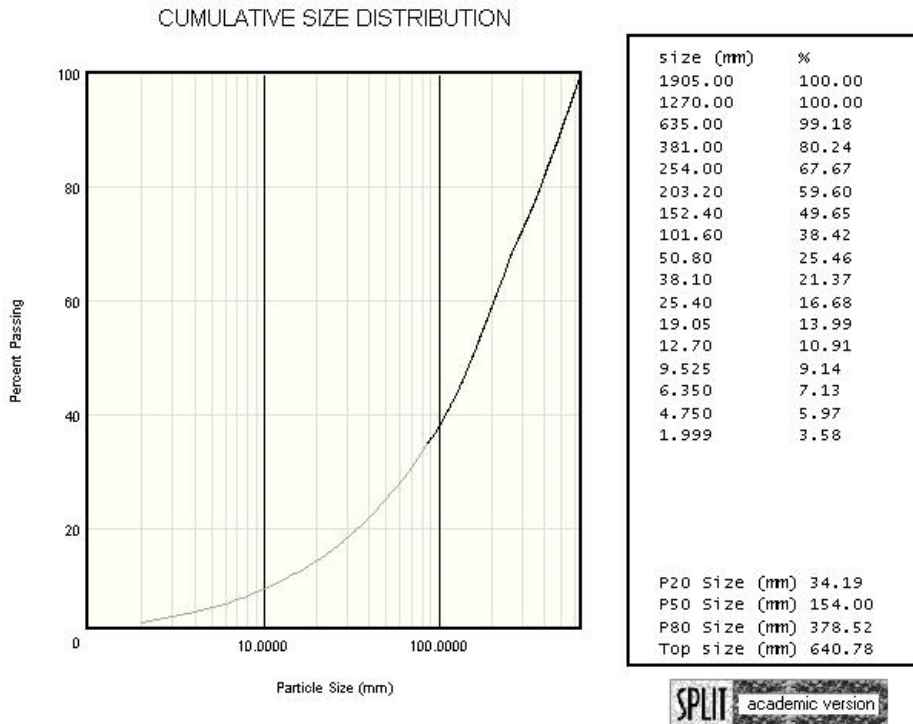
Şekil 4.21. Saha 1-2 ilk analiz grafiği

İkinci patlatmada ilk analiz görselinin grafiği (Şekil 4.21) incelendiğinde en büyük tane boyutu 656.23 mm olarak gözlenmektedir. Bununla birlikte, tane boyutu olarak yığının 80%'inin 448.56 mm altında, 50%'sinin 260.83 mm altında ve 20%'lik kısmının ise 78.77 mm altında olduğu görülmektedir.



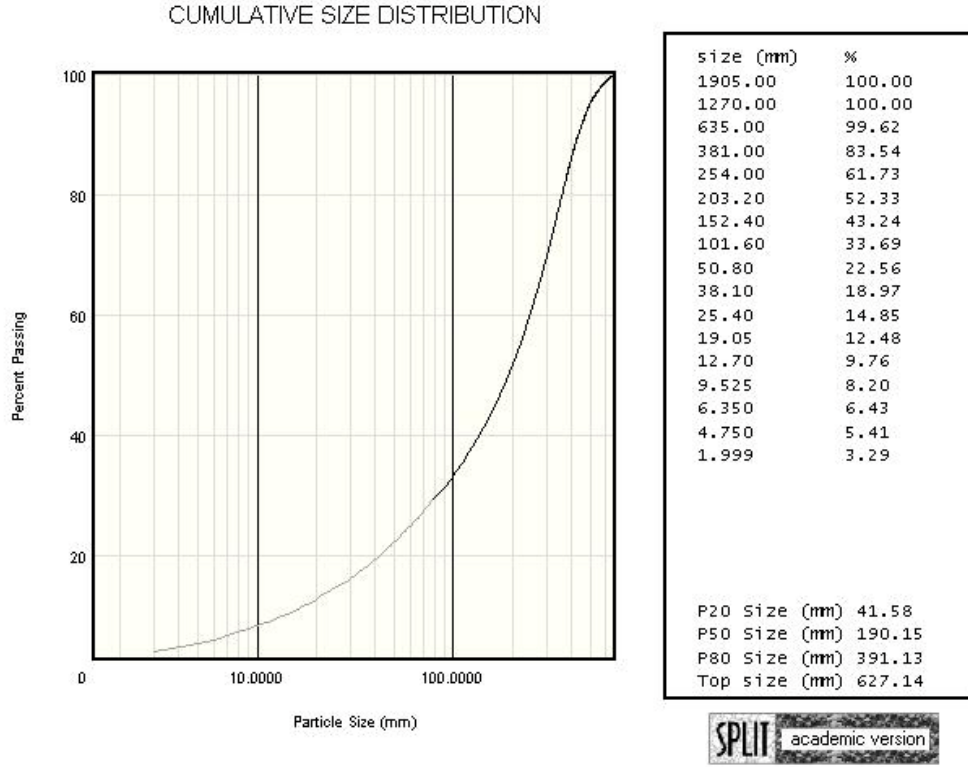
Şekil 4.22. Saha 1-2 ikinci analiz grafiği

İkinci patlatma ikinci analiz görselinin grafiği (Şekil 4.22) incelendiğinde en büyük tane boyutu 562.28 mm olarak görülmekte, yığının 80%'inin 358.00 mm altında, 50%'sinin 176.35 mm altında ve 20%'lik kısmının ise 55.55 mm altında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.23. Saha 1-2 üçüncü analiz grafiği

İkinci patlatma üçüncü analiz görselinin grafiği (Şekil 4.23) incelendiğinde en büyük tane boyutu 562.28 mm olarak görülmektedir. Yığının 80%'inin 311.44 mm altında, 50%'sinin 176.35 mm altında ve 20%'lik kısmının ise 55.55 mm altında tane boyutunda olduğu görülmektedir.

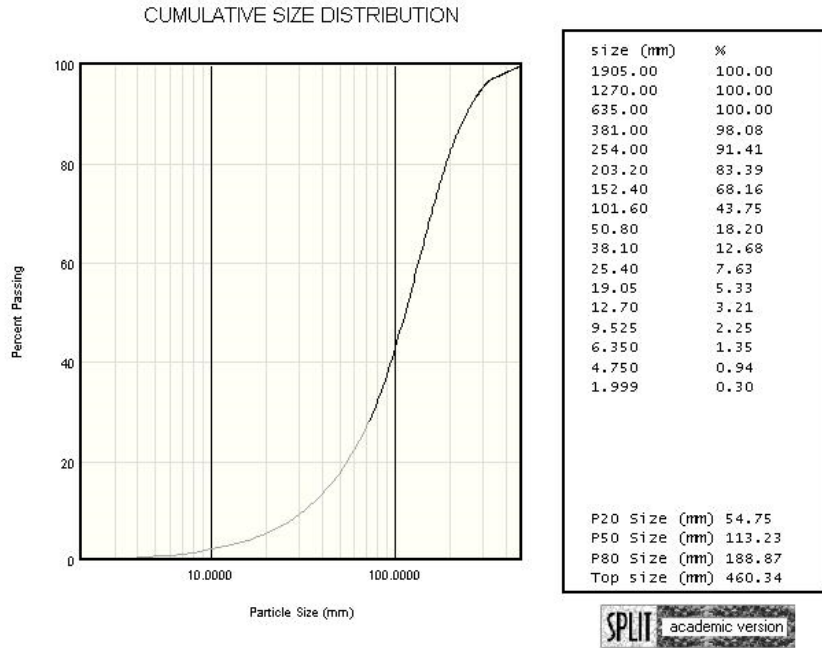


Şekil 4.24. Saha 1-2 ortak analiz grafiği

İkinci patlatmada analiz için kullandığımız üç ayrı görseli birlikte kullanarak oluşturulan ortak grafik (Şekil 4.24) incelendiğinde ise, yığının 80%'inin 391.13 mm altında, 50%'si 190.15 mm altında, 20%'si ise 41.58 mm altında olduğu gözlenmiştir. Analiz edilen veriler sonrası, yığında patar denilebilecek boyutta taşlar olmadığı görülmüştür. Patlatma sonrası ortaya çıkan yapının tek yemleme yapılan patlatmaya kıyasla tane boyutu, homojenite ve parçalanma yapısı olarak daha verimli olduğu tespit edilmiştir. Özellikle sahada yapılan gözlemler sonrası çift yemleme yapılan patlatmada ilk gözle görülür fark kayanın parçalanma şekli, şevin kesilerek yığının daha düzgün ve kolay yüklenebilir formda olmasıdır. Bu durum, kazı ve yükleme maliyetlerinin ilk patlatmaya kıyasla daha düşük olacağını ortaya koymaktadır.

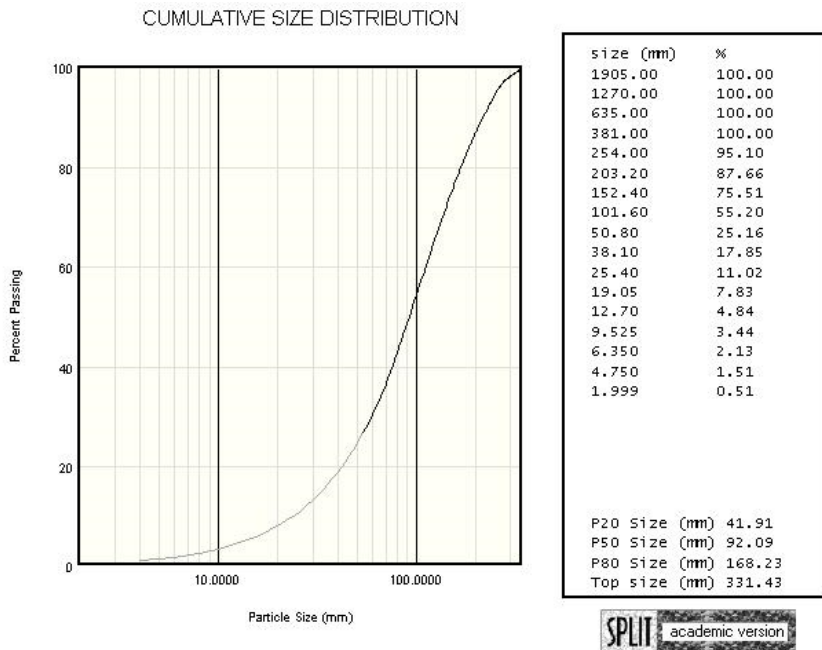
4.3.3. Saha 2’de Yapılan Patlatmaların Analizleri

Saha 2’de yapılan patlatmalarda oluşan yığınların tane boyu analiz grafikleri Şekil 4.25, Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de verilmiştir.



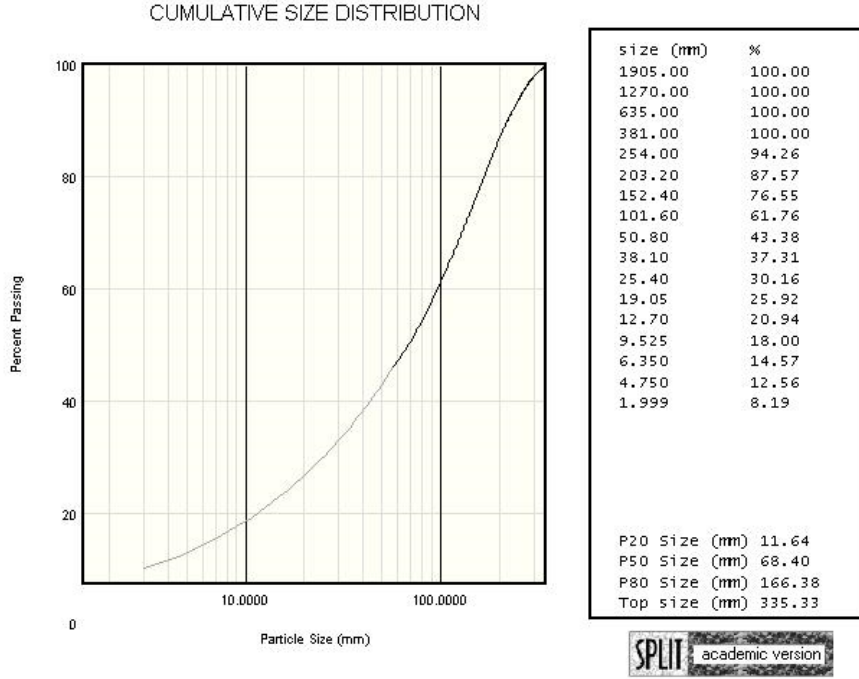
Şekil 4.25. Saha 2 520-1 numaralı patlatmanın analiz grafiği

Saha 2 520-1 numaralı patlatmanın analiz görselinin grafiğini (Şekil 4.25) incelendiğinde en büyük tane boyutu 460.34 mm olarak gözlenmekle beraber yığının 80%'i 188.87 mm altında, 50%'si 117.23 mm altında ve 20%'lik kısmı 54.75 mm altında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.26. Saha 2 520-2 numaralı patlatmanın analiz grafiği

Saha 2'de 520-2 numaralı patlatmanın analiz görselinin grafiği (Şekil 4.26) incelendiğinde en büyük tane boyutu 331.43 mm olarak gözlenmekle beraber yığının 80%'i 168.23 mm altında, 50%'si 92.09 mm altında ve 20%'lik kısmı 41.91 mm altında olup daha düşük tane boyutu görülmektedir.



Şekil 4.27. Saha 2 520-3 numaralı patlatmanın analiz grafiği

Saha 2'de 520-3 numaralı patlatmanın analiz görselinin grafiği incelendiğinde (Şekil 4.27) en büyük tane boyutu 335.33 mm olarak gözlenmekle beraber yığının 80%'i 166.38 mm altında, 50%'si 68.40 mm altında ve 20%'lik kısmı 11.64 mm altında olup daha düşük tane boyutu görülmektedir.

5. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada iki farklı sahada toplam 5 adet patlatma yapılmıştır. İlk sahada genel olarak 10 metreden uzun deliklerde kabul gören çift yemleme kullanımının infilak hızı ve tane boyutuna etkileri ile ikinci yemleyicinin güçlendirici (booster) olarak kullanımının patlatmaya etkileri incelenmiştir. İkinci sahada yapılan patlatmalarda ise ara sıkılama ile çift yemleme kullanımında gecikmenin tane boyutu ve kazı/yükleme üzerine etkileri incelenmiştir.

5.1. Saha 1'den Elde Edilen Bulgular

Çalışmanın bu aşamasında Saha 1'de yapılan patlatmalarda aynı formasyonda patlatma parametreleri sabit tutularak deliklerde tek yemleme ve çift yemleme kullanılmış, delik içi infilak hızı ölçümleri ve tane boyutu analizleri sonuçları incelenmiştir. Sahada yapılan ikinci patlatmada ikinci yemleyici delik içerisinde 7,20 metreye yerleştirilerek infilak hızını güçlendirici bir etki beklenmiştir. İlk patlatma sonrası tane boyutu homojen bir şekilde dağılmadığı için iki patlatmada da sahadan 3 ayrı görsel alınarak tane boyutu analizleri yapılmıştır.

Öncelikle delik içi infilak hızları karşılaştırıldığında tek yemleme kullanılarak yapılan patlatmada, 7,20 metreye kadar 3518 m/s olan infilak hızı 3506 m/s ölçülerek 0,3% oranda ihmal edilebilir ölçüde bir düşüş görülmektedir.

Çift yemleme kullanılarak yapılan ikinci patlatmada ise delik içerisinde 7,20 metreye kadar 3816 m/s olan infilak hızı sonrasında 3920 m/s ölçülerek 2,7% oranda bir artış görülmüştür.

İnfilak hızında meydana gelen yaklaşık 3%'lük bu fark detonasyon basıncı açısından Eşitlik 5.1'deki formül kullanılarak hesaplanabilir.

$$P_0 = 2.5 \times d \times 10^{-6} \times VOD^2 \quad (5.1)$$

Buna göre;

$$P_{2-1} = 2,5 \times 10^{-6} \times 3816^2 = 36,404 \text{ kbar}$$

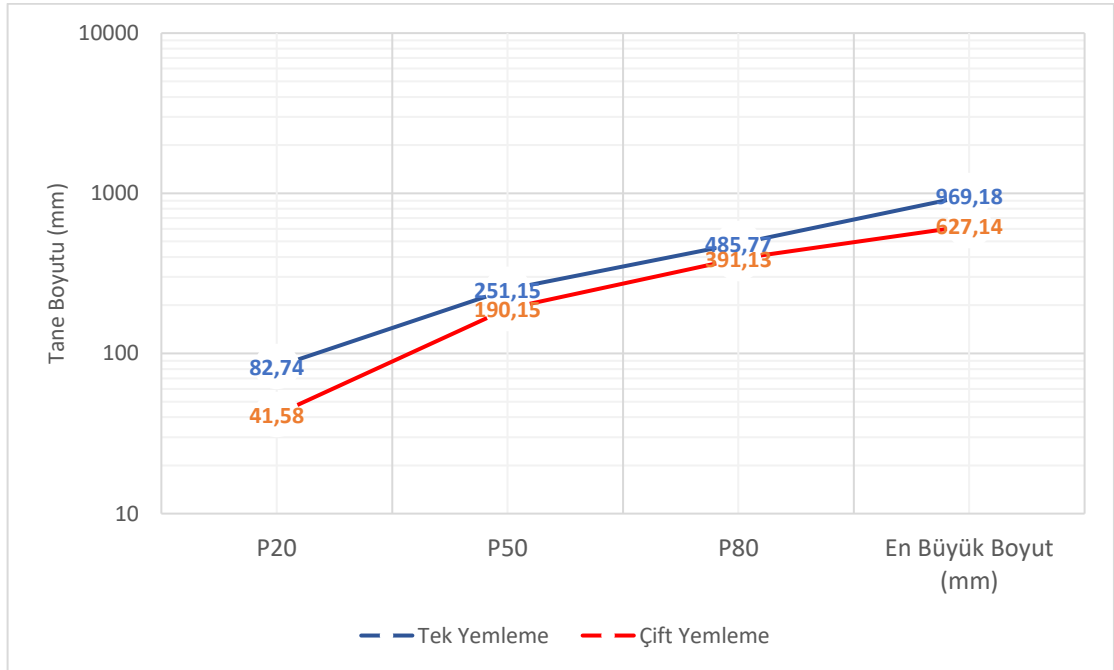
$$P_{2-2} = 2,5 \times 10^{-6} \times 3920^2 = 38,416 \text{ kbar}$$

Bulunan bu iki değer karşılaştırıldığında detonasyon basıncında ikinci yemleyicinin etkisiyle 5,5% oranda bir artış olduğu görülmektedir. Bu artışın parçalanmaya etkisi sahada gözlemlendiğinde, ilk patlatmaya göre ikinci patlatmada basamak şevinin net bir şekilde kesildiği ve parçalanmanın tane boyutu açısından daha homojen bir yapıda olduğu tespit edilmiştir.

Saha-1'deki patlatmalarda oluşan yığınların ortalama tane boyu dağılımları Tablo 5.1'de; tane boyutu değerlerinin karşılaştırma grafiği şekil 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Saha 1'de patlatma sonucu oluşan yığınların P20-P50-P80 tane boyutu değerleri

Tane Boyutu Dağılımı	1. PATLATMA				2. PATLATMA			
	1	2	3	Ortak Analiz	1	2	3	Ortak Analiz
P20 (mm)	56,81	87,37	80,43	82,74	78,77	55,55	34,19	41,58
P50 (mm)	243,66	269,31	199,7	251,15	260,83	176,35	154,00	190,15
P80 (mm)	492,58	474,63	320,59	485,77	448,56	358,00	378,52	391,13
En Büyük Boyut (mm)	910,34	836,97	534,8	969,18	656,23	562,28	640,78	627,14



şekil 5.1. Saha 1'de yapılan patlatmalar sonrası yığınların ortak analizlerinin tane boyutu karşılaştırma grafiği

Tablo 5.1'deki tane boyutu verileri incelendiğinde tek yemleyici ile yapılan ilk patlatmanın P80 verileri 320,59 mm ile 492,58 mm arasında değiştiği ve homojen olmayan bir yığın formunda olduğu görülmektedir. Çift yemleme kullanılarak yapılan ikinci patlatmada ise ilkinde göre daha homojen bir yapı ve daha düşük tane boyutu görülmektedir. İki patlatmanın da ortak analizlerinin P80 verilerini kıyasladığımızda, tane boyutunda 24% oranda bir fark görülmektedir. Özellikle uzun deliklerde çift yemleme kullanımının tane boyutunda verimi artıracadığı Saha 1'de yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir.

5.2. Saha 2'den Elde Edilen Bulgular

Saha 2'de 102 mm çapta 10 metre uzunluğundaki deliklerde patlatmalar yapılmıştır. Gecikme düzeni 520-1 numaralı grupta delik içi ilk yemleyici 500 ms ikinci yemleyici 400 ms, delikler arası ve sıralar arası 17 ms olarak gerçekleştirilmiştir. 520-2 numaralı grupta delikler arası ve sıralar arası 25 ms, 520-3 numaralı grupta ise delikler arası 25 ms sıralar arası 42 ms kullanılmıştır. Delik geometrisinde görünen sapmalar dolayısıyla özgül şarj dağılımında ihmal edilebilecek ölçüde değişiklikler grlmştir.

520-1 numaralı patlatmada 17 ms delikler arası ve sıralar arası gecikme düzeni, delik geometrisi ve bağlantı düzenine göre 17 ms/m yük hafifletmesi oluşmasına sebebiyet vermekte ve patlatma sonrası yığın formunun sıkışık olup yükleme performansını düşürdüğü gözlemlenmiştir (şekil 5.2).



şekil 5.2. 520-1 numaralı patlatma sonrası sıkışık yığın formu

Gevşek bir yığın formu için literatürde 30-35 ms/m yük hafifletmesi tavsiye edilmektedir [21]. Bu seviyelere ulaşabilmek için delikler arası 25 ms, sıralar arası 42 ms ve delik içinde 500 ms, ara sıkılama için ise 400 ms kullanılmasının kazı yüklemde daha verimi artırdığı sahada gözlemlenmiştir. (Şekil 5.3). Saha-2'deki patlatmalarda oluşan yığınların ortalama tane boyları Tablo 5.2'de; bu tane boyu değerlerinin ve yük hafifletmesi değerlerinin karşılaştırması ise Şekil 5.4'de; 520-1, 520-2, 520-3 patlatmaları için Yük Hafifletmeleri Değişimleri ise Şekil 5.5'te verilmiştir.

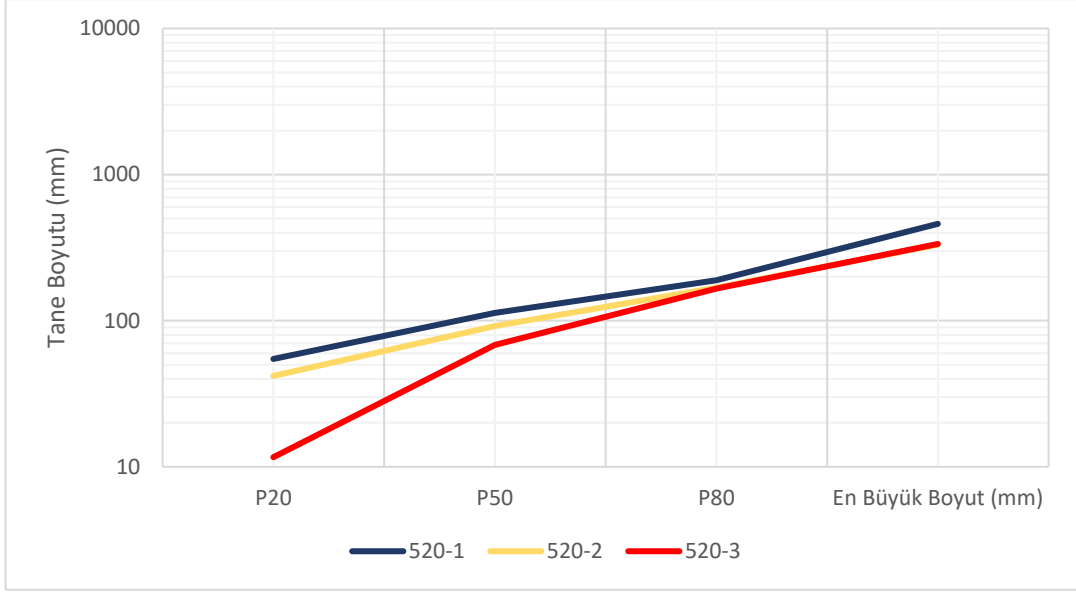


Şekil 5.3. 520-3 numaralı patlatma sonrası gevşek yığın formu

Tablo 5.2. Saha 2'de yapılan patlatmalar sonrası yığınlarının hesaplanan tane boyutu ve yük hafifletmesi dağılımları

Tane Boyu	520-1	520-2	520-3
P20 (mm)	54,75	41,91	11,64
P50 (mm)	113,23	92,09	68,4
P80 (mm)	188,87	168,23	166,38
En Büyük Boyut (mm)	460,34	331,43	335,33

	520-1	520-2	520-3
Yük Hafifletmesi (ms/m)	17	28	39



Şekil 5.4. Saha 2’de yapılan patlatmalar sonrası yığınların tane boyutu karşılaştırma grafiği



Şekil 5.5. 520-1, 520-2, 520-3 için yük hafifletmeleri değişimleri

Tane boyutu verileri incelendiğinde (Tablo 5.2) delikler arası ve sıralar arası 17 ms gecikme düzeni ile yapılan 520-1 numaralı patlatmada diğer iki patlatmaya göre daha yüksek tane boyutu olduğu tespit edilmiştir. Delikler arası ve sıralar arası 25 ms gecikme düzeni ile patlatılan 520-2 numaralı patlatmada 520-1 numaralı patlatmaya göre daha düşük tane boyutu görülmektedir. Delikler arası 25 ms sıralar arası 42 ms gecikme düzeni ile patlatılan 520-3 numaralı grubun sonuçları incelendiğinde, P80 verisi tane boyutu 520-2 numaralı gruba yakın olmakla birlikte P50 ve P20 verilerinin daha düşük olduğu görülmektedir. P80 verileri incelendiğinde 520-1 ile 520-3 patlatmaları arasında 13,5% oranda tane boyutunda küçülme olduğu tespit edilmiştir ve yük hafifletmesinin 39 ms/m ile istenilen değer aralığına ulaştığı görülmektedir.

6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen verilerin analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, tezin amacına ulaşma derecesi, verilerin analizi, sonuçların sektöre ve literatüre katkısı ele alınmaktadır.

Saha 1'de yapılan patlatmalarda öncelikle delik içi infilak hızları karşılaştırıldığında tek yemleme kullanılarak yapılan patlatmada 7,20 metreye kadar 3518 m/s olan infilak hızı 3506 m/s ölçülerek 0,3% oranda bir düşüş tespit edilmiştir. Çift yemleme kullanılarak yapılan ikinci patlatmada ise delik içerisinde 7,20 metreye kadar 3816 m/s olan infilak hızı sonrasında 3920 m/s ölçülerek 2,7% oranda bir artış tespit edilmiştir.

Detonasyon basıncında ikinci yemleyicinin etkisiyle 5,5% oranda bir artış tespit edilmiştir. İkinci yemleyicinin detonasyon basıncını artırarak şok etkisini arttırdığını, tane boyutu ve fragmentasyonda kazı-yükleme verimini artıracak ölçüde değişim gösterdiği tespit edilmiştir.

Saha 1 'de yapılan patlatmaların tane boyutu verileri incelendiğinde, çift yemleyici kullanılan patlatmada daha küçük tane boyutu olduğu ve yığının daha tane boyutu açısından homojen bir yapıda olduğu tespit edilmiştir. İki patlatmanın da ortak analizlerinin P80 verilerini karşılaştırıldığında, tane boyutunda 24% oranda küçülme tespit edilmiştir.

Saha 2'de yapılan patlatmalarda çift yemlemenin ara sıkılama ile birlikte kullanımını optimize hale getirmek için yük hafifletmesi kavramı üzerinde durulmuş ve yığının tane boyutu dağılımının 30 ms/m yük hafifletmesi değerinin üzerinde olacağı şekilde bir gecikme düzeni tespit edilmiştir. İstenilen yük hafifletmesi değeri 520-3 numaralı grupta, delikler arası 25ms sıralar arası 42ms gecikme düzeni ile sağlanmış olup, 39ms/m yük hafifletmesi tespit edilmiştir.

Saha 2'nin tane boyutu verileri incelendiğinde P80 verilerinde 520-1 ile 520-3 patlatmaları arasında 13,5% oranda tane boyutunun küçüldüğü tespit edilmiştir. Yığına hareket kabiliyeti kazandıracak formda bir tane boyutu dağılımı elde edilmiştir.

Saha 1'den alınan delik içi infilak hızı ölçümlerinde, ANFO'nun kararlılık hızı ilk patlatmada 3500 m/s'lerde iken çift yemleme ile yapılan patlatmada 3800m/s'lere kadar yükselmiştir. Ancak aynı formasyonda aynı patlayıcı maddeler kullanıldığı halde, bunun patlayıcıdan veya delik içerisindeki herhangi bir çatlaklı yapıdan kaynaklı olup olmadığının tam olarak anlaşılabilmesi için ikiden fazla patlatma yapılarak ölçüm yapılması gerekmektedir.

Çift yemleme kullanılan patlatmalarda enerjinin daha iyi iletildiği ve patlatmanın çevresel etkileri açısından olumlu etkileri olduğu öngörülse de bu çalışmada patlatmanın çevresel etkileri ele alınmamıştır. Enerjinin kayaç ile etkileşimine olumlu etkileri infilak hızındaki artış ve tane boyutundaki düşüş ile görülmektedir. Ancak bu tarz çalışmalarda sismik ölçümler yapılarak veri alınmasının daha kapsamlı sonuçlar vereceği kabul edilmiştir.

Ara sıkılama ile çift yemleme yapılan uygulamalarda yük hafifletmesi kavramını doğru gecikme düzeninin tayini için kullanarak, gecikme düzeninin tane boyutu ve yığın formu üzerine etkileri incelenmiştir. Sonuçların kazı yükleme verimini arttıracığı görülmektedir. Ancak maliyet konusu bu tez çalışması kapsamında ele alınmamıştır.

Sonuç olarak iki farklı sahada çift yemlemenin farklı kullanımları incelenerek yapılan bu tez çalışmasında, uzun deliklerde çift yemleme kullanımının ve gecikme düzeni optimizasyonunun patlatma verimi için oldukça önemli parametreler olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, çift yemleme yapılan patlatmalarda daha yüksek infilak hızı, daha düşük tane boyutu ve tane boyutu açısından daha homojen bir parçalanma yapısı olduğunu göstermiştir.

7. KAYNAKLAR

- [1] T. Sümer, Ü. E. Öktem, L. Frandberg, Açık işletmelerde Kontrollü Patlatma Teknikleriyle Maliyet Optimizasyonu. Bilimsel Madencilik Dergisi, 31(2), **(1992)** 13-28.
- [2] A. M. Kılıç, V. Alabaş, D. Yıldız, L. Ş. Tozkoparan, Afşin–Elbistan Linyitleri Kışlaköy Açık İşletmesi Gevşetme Patlatma Uygulamaları, **(2010)**.
- [3] S. Esen, H. A. Bilgin, Ideal Detonation Behavior of Commercial Explosives and Development of an Explosive/Rock Interaction Model. Diss. Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, **(1996)**.
- [4] D. A. Bartley, Field applications and quantification of electronic detonator technology. In ISEE, INT. CONF. ON EXPLOSIVES & BLASTING TECHNIQUE. **(2001)**.
- [5] S. Esen, H. A. Bilgin, T. Bobo, Effect of explosive on fragmentation. In The 4th Drilling and Blasting Symposium, Ankara, Turkey (Vol. 6372) **(2000)**.
- [6] I. Onederra, S. Esen, Selection of inter-hole and inter-row timing for surface blasting—an approach based on burden relief analysis. In: Proceedings of the 2nd world conference on explosives and blasting technique, Prague. **(2003)** 10-12.
- [7] K. Özdemir, Dijital Görüntü İşleme Tekniği ile Patlatma Verimlilik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul **(2004)**.
- [8] G.G. Uyar, S. Kadioglu, E. Ulugergerli, The usage of ground penetrating radar (GPR) in designing blast pattern. ROCK MECHANICS AND ROCK ENGINEERING, vol.39, **(2006)** 281-290.
- [9] Ö. Düzgün, Assessment of velocity of detonation at kumtor open pit gold mine, Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara **(2011)**.
- [10] Derya, M., Kılıç, Ü., & Alabaş, V. Patlayıcının Duyarsızlaşma ve Et İleşim Yolu ile Bozulması Explosives Malfunction from Sympathetic Detonation to Shock Desensitization, **(2015)**.
- [11] O. Jamnia, Basamak Patlatmaları için Tasarım Nomogramlarının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **(2015)**.
- [12] S. Esen, Effective fragmentation and flyrock control strategies at quarries. Int. J. Econ. Environ. Geol. Vol, 8(1), **(2017)** 20-28.

- [13] O. N. Kırmızı, Elektronik ve Elektriksiz Ateşleme Sistemlerinin Patlatma Verimliliği ve Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **(2021)**.
- [14] G.G. Uyar, Madencilik ve Alt Yapı Sektörlerindeki Delme-Patlatma Olayının Mekanizması, Yöntemleri ve Çevresel Etkileri Ders Notu, Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara, **(2018)**.
- [15] D. J. Wyllie, & C. W. Mah, Rock slope engineering – civil and mining, 4th edition, Inst. Min. Met., Londra, **(2004)** 247.
- [16] Ö.G. İlik, Ö. Düzgün, Patlayıcı Tarihi ve Özellikleri, Kapeks Mühendis Eğitim Notları, Kapeks Kimya Sanayi A.Ş. Ankara, **(2022)**.
- [17] Kapeks Kimya Sanayi A.Ş., Patlayıcı Madde Ürün Kataloğu, Ankara, **(2023)**.
- [18] V. Alabaş, M. Derya, Ü. Kılıç, M. Us, Elektronik Ateşleme Sistemlerinin Gelişimi ve Türkiye'deki Örnek Uygulamalar, Ankara, **(2009)**.
- [19] Enaex, Davetronic Ürün Kataloğu, Santiago, Şili, **(2023)**.
- [20] Ö.G. İlik, Ö. Düzgün, Patlayıcı Kayaç Etkileşimi, Kapeks Mühendis Eğitim Notları, Kapeks Kimya Sanayi A.Ş., Ankara, **(2022)**.
- [21] S. Olofsson, Applied Explosives Technology for Construction and Mining, Sweden, **(1997)** 13-18, 59-66, 96-107.
- [22] M. Erdil, Gecikmenin Önemi ve Gecikme Seçimi, İleri Seviye Delme-Patlatma Eğitimi - Eğitim Notları, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, **(2019)** 113-115.
- [23] Ü. Kılıç, Yemleme İlkeleri, İleri Seviye Delme-Patlatma Eğitimi - Eğitim Notları, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, **(2019)** 97-102.
- [24] Ü. Kılıç, M. Derya, Yemleyicilerin Çalışma Mekanizması ve Önemi, Orica-Nitro Patlayıcı Mad. San. ve Tic. A.Ş. Ankara, **(2004)**.
- [25] M. Korkanç, T. Şener, B. Doğan, T. Başkara Gümüşler-Aktaş (Niğde) Bölgesinin Genel Jeolojisi ve Yapı Malzemesi Potansiyeli, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 6, Sayı 1, Niğde, **(2017)** 132-139.
- [26] C. Dönmez, K. Günay, H. Yıldız, Ş. Şahin, Gökırmak ve Devrettepe - Hanönü (Kastamonu) Cu Cevherleşmesi, Maden Tetkik ve Arama Dergisi. 16., Ankara, **(2013)** 127-136.