ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Orhan ALTÜRK

KÜÇÜK ÖLÇEKLİ BASAMAK PATLATMALARINDA EKLEM SİSTEMLERİNİN PARÇA BOYUT DAĞILIMI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2017

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÜÇÜK ÖLÇEKLİ BASAMAK PATLATMALARINDA EKLEM SİSTEMLERİNİN PARÇA BOYUT DAĞILIMI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Orhan ALTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 02/05/2017 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/~~Oyçokluğu~~ ile Kabul Edilmiştir.

……	……	……
Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ	Prof. Dr. Suphi URAL	Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Esntitü Müdürü

Bu Çalışma Ç.Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FLY-2016-6848

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, Çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÜÇÜK ÖLÇEKLİ BASAMAK PATLATMALARINDA EKLEM SİSTEMLERİNİN PARÇA BOYUT DAĞILIMI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Orhan ALTÜRK

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
Yıl: 2017, Sayfa: 121
Jüri : Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
: Prof. Dr. Suphi URAL
: Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN

Bu çalışmanın amacı; çatlaklı yüzeyin, patlatma sonrası parça boyut dağılımı üzerindeki etkilerini belirlemek ve patlatma sonrası parça boyut dağılımının istenen şekillerde ayarlanabilmesini sağlamaktır. Bu amaçla çatlaksız referans bloğu ve farklı çatlak sistemlerinden oluşan bloklar üretilmiş ve bu bloklar Erzberg-Styria/Avusturya'da bulunan madende seçilen bir bölgede sıralı olarak patlatılmıştır.

Farklı çatlak sistemine ait bloklardan elde edilen parçalanmış kayaçlar, parça boyut dağılımını belirlemek amacıyla laboratuvar ortamında elek analizine tabi tutulmuştur. Çalışma sonunda tüm sonuçlar çatlak sistemi olmayan referans bloktan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Böylelikle istenilen parça-boyut dağılımında malzeme üretiminde çatlakların etkisi belirlenmiştir ve çalışmada çatlaklı yüzeylerde daha etkin patlatmaların oluştuğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basamak patlatması, Küçük ölçekli patlatma, Parça boyut dağılımı, Kayaç parçalanması

ABSTRACT

MSc THESIS

INFLUENCES of JOINT SYSTEMS on THE FRAGMENTATION in SMALL SCALE BENCH BLASTING

Orhan ALTÜRK

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
Year: 2017, Pages: 121
Jury : Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
: Prof. Dr. Suphi URAL
: Assoc. Prof. Dr. Yasin ERDOĞAN

The investigation of this research is to study how jointed bench effects the blast fragmentation distribution. With the aim of this research there has been jointed blocks and nonjointed (reference) blocks comparision. The blocks were blasted in order of each rows in Erzberg Mine-Styria/Austria.

The materials has been collected from each different types of blocks and they were carried to the laboratory for each block to do the sieving analysis. Finally all sieving analysis was compared to the analysis of the refence blocks. The result of this research will hopefully enable more efficient on blasting in jointed benches experiments to be developed, leading to better efficiency in blasting operations.

Key Words: Bench blasting, Small scale blasting, Partical size distribution, Rock fragmentation

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Bu tezde “Küçük Ölçekli Basamak Patlatmalarında Eklem Sistemlerinin Parça Boyut Dağılımı Üzerindeki Etkileri” konusu çalışılmıştır. Çalışma çatlakların patlatma sonrası parça boyut dağılımı üzerindeki etkilerini tahmin edebilmek amacıyla yapılmıştır. Patlatma deneyleri Montan Universitat’a (Avusturya/Eisenerz) ait Erzberg madeninde yapılmıştır.

Delme- Patlatma, madencilik ve kazı çalışmalarının ilk aşamalarından birisi olması ve bu çalışmanın veriminin daha sonraki aşamalarda yapılacak işlemlerin maliyetini ve hızını etkilemesi bakımından oldukça önem arz etmektedir. Delme-Patlatmanın başarısı ancak kaya, patlayıcı ve yükleyici makinelerin özellikleri ve patlatma sonucu istenen parça boyutunun göz önünde bulundurulması ile mümkün olabilmektedir.

Çalışmanın başarılı bir şekilde yapılabilmesi için, İsveç’te Lulea Teknik Üniversitesinde laboratuvar ortamında, farklı eklem sistemlerinde bloklar üretildi. Bu bloklar üretilirken tasarlanması planlanan her çatlak sistemi için (ES-1, ES-2, ES-3, ES-4) öncesinde kalıplar oluşturuldu ve 24 saatte prizlenecek harç kullanıldı. Blok üretimi esnasında kullanılan malzemeler ise; Portland çimentosu CEM II 42.5N, %25.62 oranında, Su, %12.64 oranında, Akışkanlaştırıcı olarak Glenium 361, %0.25 oranında, Köpük kesici (DCC-Entlüfter), %0.13 oranında, Magnetit tozu Ferroxon 618, %29.65 oranında ve Kuvars kumu ME 3 (0.1-0.5mm), %31.71 oranında harca karıştırılmıştır. Manyetit blok oluşturmaktaki asıl amaç gerçek kayaç simülasyonunun sağlanmaya çalışılmasıdır. Bu farklı eklem sistemine sahip blokların çalışma sonunda kıyaslanmanın düzgün yapılabilmesi için, ayrı ayrı şekilde ölçülüp, tartılıp ve hacimleri hesaplanmıştır. Delik yükseklikleri, genişlikleri ve P-S dalga hesaplarıyla beraber bloklar homojen şekilde dizayn edilmiştir. Bununla beraber çatlaksız fakat boyut ve özellik olarak çatlaklı bloklarla aynı olan referans blokları da üretildi. Bunun da amacı çalışmalar sonunda çatlaklı blokların sonuçları ile çatlaksız blokların sonuçlarının kıyasmlanmasının mümkün

kılınabilmesidir. Dizayn edilip kullanılan test alanı patlatma esnasında iş güvenliği açısından oldukça uygun bir bölgede seçilmiş olup aynı zamanda patlatma esnasında patlatılan materyallerinde uygun şekilde toplanabilmesi ve patlatmada istenilen basınç iletimini sağlamak adına blok boyutlarına uygun bir şekilde dizayn edilmiştir. Bloklar dizayn olarak 660 x 210 x 280 mm (Uzunluk x Yükseklik x Genişlik) boyutlarında 3 adet sıralı delik sistemine sahip ve her sırada 7 adet delik olacak şekilde tasarlanmıştır. Çatlaklı bloklar 4 adet eklem sistemiyle oluşturuldu ve bunlar patlatma sonrası kendi aralarında ve referans blokları ile kıyaslanmıştır. Gecikme aralıkları hepsinde aynı olup, 73 µs olacak şekilde ayarlandı ve patlatma için şarz 5 g/m lik kapsüllerle sağlanmıştır. Bloklar aynı şartlar altında her delik sırası için ayrı ayrı patlatılıp her patlatma sonrası materyaller dikkatli bir şekilde toplanmış ve laboratuvarda elek analizlerine tabi tutulmuştur. Elek analizi seçimi için birçok seçenek olmasına rağmen bu çalışmada el ile klasik eleme yöntemi tercih edilmiştir. Bunun da nedeni mekanik eleme tekniği veya buna benzer diğer tarzda eleme yöntemleri kullanılmış olsaydı ikincil bir kırılmaya sebebiyet verilebileceği öngörüldü bu yüzden her blok ayrı ayrı el ile elenerek ikincil kırılmanın önüne geçildi böylece çalışmanın asıl amacı olan parça boyut dağılımının saptanması için daha gerçekçi sonuçlar doğurmasına yardımcı olmuştur. Elek analizi sırasında kullanılan elek standardı İngiliz BS 410 standına aittir ve açıklıkları 125, 100, 80, 63, 50, 40, 31.5, 25, 20, 14, 12.5, 10, 6.3, 4, 2, 1, 0.5 ve 0.25 mm olacak şekilde elek analizi yapılmıştır. 6.3 mm altındaki boyutlarda el ile eleme ile beraber manyetik ayırma teknikleri kullanılara elek analizi çalışmaları yapılmıştır. Elek analizleri sonucu aynı zamanda blokların D_{30}, D_{50} ve D_{80} parça boyutları kıyaslanmış ve grafiklendirilmitir. Referans numuneler ile blokların D_{30}, D_{50} ve D_{80} kıyaslamaları yapılacak olursa her üç tip kıyaslamada da referans bloğu parça boyut dağılımı olarak en büyük tane boyut dağılımına sahip olduğu gözlenmiştir. Böylelikle çatlaklı blokların çatlaksız bloğa göre daha küçük tane boyut dağılımına sahip olduğu söylenebilir.

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve bana "Küçük Ölçekli Basamak Patlatmalarında Eklem Sistemlerinin Parça Boyut Dağılımı Üzerindeki Etkileri" konulu Yüksek lisans tezini veren yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana daima yol gösteren danışman hocalarım Sayın Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ ve Prof. Dr. Finn OUCHTERLONY'ye sonsuz teşekkürler.

Tezim süresince bana destek veren Sayın Prof. Dr. Özen KILIÇ, Arş. Gör. Esma EKİCİ KAHRAMAN, Peter SCHİEMEK, Radoslava İVANOVA, İlke Alp ÖZER, Jonas HYLDAHL, Gary WÖLFLER, Dr. Elçin ERKURT, Dr. M. Yavuz SUCU, Sedem ÇERÇİ, Montanuniversitat Laboratuar teknikerlerine ve Erzberg madeni çalışanlarına ne kadar teşekkür etsem azdır. Çukurova Üniversitesi ve Montanuniversitat'a destekleri, olanakları ve bütün yardımları için en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yinede ailemin desteği olmadan bu tezin bu aşamaya gelmesi mümkün olmayacaktı. Bu tezi bu aşamaya getirmemin asıl destekçileri onlar ve onlar için etmiş olduğum teşekkürler asla yeterli olmayacaktır.

Son olarak yüksek Lisans çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Zeynep ZAİMOĞLU'na teşekkürü borç bilir, maddi manevi her türlü desteği sağlayan arkadaşlarıma ve özel olarak Sekvan ALTÜRK ve Vanja DANİLOVİC'e teşekkürlerimi tüm kalbimle sunarım.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET III
TEŞEKKÜR V
İÇİNDEKİLER VI
ÇİZELGELER DİZİNİ X
ŞEKİLLER DİZİNİ XII
SİMGELER VE KISALTMALAR XVI
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 3
3. PATLATMA VE PARÇA BOYUT DAĞILIMI 11
3.1. Patlatma Hakkında Bilgi 11
3.1.1. Delik Delme 11
3.1.1.1. Delme İşleminde, Kayanın Mekanik Olarak Parçalanması 12
3.1.1.1.(1). Kayada Delerek İlerlemenin Mekaniği 12
3.1.1.2. Delik Delme Düzenleri 14
3.1.1.3. Delme İş Makinaları 15
3.1.1.4. Delici Makinanın Çalışma Prensipleri ve Ekipmanları 16
3.1.1.5. Açık İşletme, Taş Ocağı ve İnşaat İşlerinde Kullanılan Deliciler 16
3.1.2. Patlatma ve Parçalanma Mekanizması 17
3.1.3. Patlatma ile Kaya Kırılma Mekaniği 18
3.1.3.1. Detonasyon (Patlama) 19
3.1.3.2. Şok ya da Birim Deformasyon Dalgalarının Yayılması 20
3.1.3.3. Gaz Basıncının Yayılımı 22
3.1.3.4. Kütle Taşınması 24
3.1.4. Kayaların Patlatılıp Parçalanmasında Yansıma Kuramı 25

3.1.5. Patlatma İşleminde Kayaç Özelliklerinin Parçalanmaya Etkisi 27
3.1.5.1. Parçalanmayı Etkileyen Kayaç Öğeleri..... 28
3.1.6. Basamak (Kademe) Patlatmaları (Atımları)..... 29
3.1.6.1. Basamak Patlatma (Atımı) Tasarımında Etkili Parametreler . 32
3.1.7. Gevşetme Patlatmaları (Atımları) 35
3.1.8. Patlatma Düzeni 35
3.1.9. Yüzey Patlatma Performansının Değerlendirilmesi 35
3.1.9.1. Patlatma Geometrisi 39
3.1.9.2. Ateşleme Performansı 39
3.1.9.3. Detonasyon Performansı 39
3.1.9.4. Geri Çatlak 40
3.1.9.5. Yığın Parçalanma Derecesi 40
3.1.9.6. Patlatma Hasarı İncelemesi 41
3.2. Parça Boyut Dağılımı 41
3.2.1. Parça Boyut Dağılımı İle İlgili Çalışmalar..... 42
3.2.1.1. Kuz-Ram Modeli..... 42
3.2.1.2. Swebrec Denklemi ve KCO (Kuznetsoz-Cunningham-Oucterlony) Modeli 42
3.2.1.3. JKMRC Tarafından Geliştirilen Modeller 43
3.2.1.4. Chung ve Katsabanis'in Modeli (CK Modeli) 43
3.2.1.5. Larrson'un Denklemi 43
3.2.1.6. Saroblast Denklemi 45
3.2.2. Parça Boyutu Verimlilik Analizi..... 46
3.2.2.1. Elek Analizleri 47
3.2.2.2. Görsel-Gözlemsel Analizler..... 48
3.2.2.3. Fotoğraflama Tekniği..... 49
3.2.2.4. Geleneksel ve Yüksek Hızlı Fotogrametri 49
3.2.2.5. Patar (İkincil) Sayımı Yöntemi 50
3.2.2.6. Ekskavatör Yükleme Performansı..... 52

3.2.2.7. Primer (Birincil) Kırıcı Performansı 52
3.2.3. Patlatma Sonucu Parça Boyutunun Tahmin Edilmesi..... 53
3.2.4. Parçalanmanın Patlatma Sonrası Operasyonlara Etkisi..... 54
3.2.5. Patlatma Sonucunda İstenilen Boyutta Malzeme Elde Etmek İçin Yapılması Gerekenler..... 57
3.2.5.1. Patlatma Sonucunda İnce Malzeme Elde Etmek İçin Yapılması Gerekenler..... 57
3.2.5.2. Patlatma Sonucunda İri Malzeme Elde Etmek İçin Yapılması Gerekenler..... 59
3.3. Kayaçlarda Süreksizlik Yapıları..... 60
3.3.1 Süreksizlik Tanımı 60
3.3.2. Süreksizliklerin Fiziksel Parametreleri 62
3.3.2.1 Süreksizlik Türleri..... 64
3.3.2.2. Süreksizlik Aralığı..... 69
4. MATERYALVE METOT..... 73
4.1. Çalışma Sahası 74
4.2. Materyal 76
4.2.1. Bloklar Hakkında Genel Bilgi..... 77
4.2.2. Blokların İçeriği 83
4.2.3. Blok Boyutları..... 83
4.3. Metot 87
4.3.1. P ve S Dalgalarının Ölçümü..... 87
4.3.2. Patlatma sistemleri ve Gecikme Zamanları..... 88
4.3.3. Analizler Öncesi Hazırlık..... 89
4.3.4. Elek Analizleri 90
5. ARAŞTIRMA BULGULARI 93
5.1. Blokların P-S Dalgalarının Sonuçları..... 93
5.2. Blokların Elek Analizleri 94
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 109

KAYNAKLAR..... 113
ÖZGEÇMİŞ..... 121

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 3.1. Patlayıcı madde birim hacim ağırlık ve detonasyon ilişkisi 19
Çizelge 3.2. Tane boyut analiz yöntemleri 41
Çizelge 3.3. Süreksizlik türleri ve uluslarası simgeleri.....64
Çizelge 3.4. ISRM'nin süreksizlik aralığına bağlı kaya kütle tanımlamaları 71
Çizelge 3.5. Süreksizlik aralığına bağlı kaya kütle tanımlamaları.....72
Çizelge 3.6. Süreksizlik aralığı ve sıklığı sınıfları 72
Çizelge 4.1. Kullanılan blokların boyutları.....77
Çizelge 4.2. Magnetit beton bloğunun içeriği.....83
Çizelge 4.3. ES-1 Alfa bloğunun özellikleri.....84
Çizelge 4.4. ES-1 Beta bloğunun özellikleri.....84
Çizelge 4.5. ES-1 Gama bloğunun özellikleri.....84
Çizelge 4.6. ES-2 Beta bloğunun özellikleri.....85
Çizelge 4.7. ES-3 Alfa bloğunun özellikleri.....85
Çizelge 4.8. ES-3 Beta bloğunun özellikleri.....85
Çizelge 4.9. ES-4 Alfa bloğunun özellikleri.....86
Çizelge 4.10. ES-4 Beta bloğunun özellikleri.....86
Çizelge 4.11. Ref-1 bloğunun özellikleri.....86
Çizelge 4.12. Ref-2 bloğunun özellikleri.....87
Çizelge 4.13. Ref-3 bloğunun özellikleri.....87
Çizelge 4.14. Bloklar için gecikme aralıkları 89
Çizelge 5.1. P ve S dalgalarının sonuçları 93
Çizelge 5.2. Patlatmadan önce ve sonra boyut küçülme oranları (BKO) 104
Çizelge 5.3. Patlatmadan sonra boyut küçülme oranları (BKO).....104
Çizelge 5.4. Blokların D_{30}, D_{50} ve D_{80} değerleri.....105

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 3.1. Vurmalı delme işleminde kaya yenilmesi evreleri 13
Şekil 3.2. Dönmeli delme işleminde kaya yenilmesi evreleri 14
Şekil 3.3. Açık ocak patlatmalarında kullanılan çeşitli delik düzenleri 15
Şekil 3.4. Patlatma sonrasında delikte oluşan durum 18
Şekil 3.5. Detonasyon ile birim deformasyon dalgaları yayılması 20
Şekil 3.6. Sıkıştırıcı basınç dalgaları 21
Şekil 3.7. Çatlakların yayılımı 22
Şekil 3.8. Gaz basıncı etkisi 24
Şekil 3.9. Patlatma sonucunda kayaçta kavlak oluşumu 24
Şekil 3.10. Parçalanma mekanizması 25
Şekil 3.11. Patlatma kuşakları 25
Şekil 3.12. Yansıma kuramına göre çekme yenilmesi ile parçalanma 26
Şekil 3.13. Basamak patlatması (atımı) öncesi plan görünüşü 30
Şekil 3.14. Basamak patlatması (atımı) sonrası kesit görünüşü 31
Şekil 3.15. Basamak patlatması (atımı) plan görünüş 31
Şekil 3.16. Patlatma (atımı) tasarımı geometrik parametrelerinin basamaktaki görünümü 32
Şekil 3.17. Başarılı bir atımın başlıca göstergeleri 36
Şekil 3.18. Larsson'un blok boyutunu belirlemek için kullandığı nomogram 45
Şekil 3.19. Patlatma (atım) sonrası parça boyutu (yığının) görünümü 48
Şekil 3.20. Fotoğraflama tekniği ile parça boyut (yığın) analizi 49
Şekil 3.21. Örnek yığın boyut analizi 50
Şekil 3.22. Bir patlatma sonucunda ikincil patlatma gerekliliği 51
Şekil 3.23. Patlatma sonucunda oluşan büyük bir kaya bloğunda patar patlatması 51
Şekil 3.24. Patlatma kaynaklı parçalanmanın operasyonlar üzerindeki etkisi 57
Şekil 3.25. Değişik gecikme paternlerinden örnekler 59

Şekil 3.26. Bir patlatma aynasında gözlenen süreksizliklere örnek 61
Şekil 3.27. Kaya kütlelerinin tanımlanmasında süreksizliklerin esas alınan başlıca özellikleri 63
Şekil 3.28. Kıvrımlanma geçirmiş bir kayaçtaki klivaj düzlemleri 67
Şekil 3.29. Ölçüm hattı boyunca süreksizlik aralığının tayini 69
Şekil 3.30. Görünür (a) ve gerçek aralık (s) parametreleri arasındaki ilişki 70
Şekil 4.1. Çalışma kapsamında yapılan işlem aşamaları 73
Şekil 4.2. Maden ocağının haritadan görüntüsü 74
Şekil 4.3. Maden ocağının genel görüntüsü 74
Şekil 4.4. Patlatmaların yapıldığı test sahası 75
Şekil 4.5. Test alanına blok yerleştirme çalışmaları 76
Şekil 4.6. Referans bloğu üstten görünüm 77
Şekil 4.7. Referans bloğu önden görünüm 78
Şekil 4.8. Referans bloğu yandan görünüm 78
Şekil 4.9. ES-1 bloğu üstten görünüm 79
Şekil 4.10. ES-1 bloğu önden görünüm 80
Şekil 4.11. ES-1 bloğu yandan görünüm 80
Şekil 4.12. ES-2 bloğu üstten görünüm 81
Şekil 4.13. ES-3 bloğu üstten görünüm 81
Şekil 4.14. ES-4 bloğu üstten görünüm 82
Şekil 4.15. ES-4 bloğu önden görünüm 82
Şekil 4.16. ES-1 Alfa bloğuna patlatma öncesi yapılan şarj 88
Şekil 4.17. Patlatmalardan sonra ES-1 Alfa bloğu durumları 89
Şekil 5.1. ES-1 Alfa boyut dağılımı 95
Şekil 5.2. ES-1 Beta boyut dağılımı 96
Şekil 5.3. ES-1 Gama boyut dağılımı 96
Şekil 5.4. ES-2 Beta boyut dağılımı 97
Şekil 5.5. ES-3 Alfa boyut dağılımı 98
Şekil 5.6. ES-3 Beta boyut dağılımı 99

Şekil 5.7. ES-4 Alfa boyut dağılımı 100
Şekil 5.8. ES-4 Beta boyut dağılımı 101
Şekil 5.9. Referans-1 boyut dağılımı 102
Şekil 5.10. Referans-2 boyut dağılımı 102
Şekil 5.11. Referans-3 boyut dağılımı 103
Şekil 5.12. Blokların D_{30} değerleri 106
Şekil 5.13. Blokların D_{50} değerleri 107
Şekil 5.14. Blokların D_{80} değerleri 108

SİMGELER VE KISALTMALAR

ES-1 : Birinci tip eklem sistemi
ES-2 : İkinci tip eklem sistemi
ES-2 : Üçüncü tip eklem sistemi
ES-4 : Dördüncü tip eklem sistemi
Ref : Referans bloğu
B : Dilim kalınlığı
K : Basamak yüksekliği
V : Yük mesafesi
K_1 : Ayna yüksekliği
E : Delikler arası mesafe
L : Ölçüm hattı uzunluğu
N : Süreksizlik sayısı
D_{50} : %50 oranda kümilatif materyal geçişi
DL : %30 - %50 - %80 oranından daha küçük boyutta kümilatif materyal geçişi
DU : %30 - %50 - %80 oranından daha büyük boyutta kümilatif materyal geçişi
PL : DL değerinde kümilatif materyal geçişi
PU : DU değerinde kümilatif materyal geçişi
P_{50} : D_{50} değerinde kümilatif materyal geçişi (= %50)
BKO : Boyut küçülme oranı

1. GİRİŞ

Açık ocak madenciliği ve taş ocakçılığında kayanın kütle ve madde özelliklerine bağlı olarak, delme patlatma işlemi ile kaya kazısı uzun zamandır uygulanmakta olan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir taşocağının verimini ve ekonomisini etkileyen en güçlü ve etkili işlem patlatma ile kaya parçalanmasıdır. Patlatma işleminin temel bir işlem olması nedeni ile, patlatma ekonomisini etkileyen her parametre aynı zamanda bütün madencilik maliyetlerini de doğrudan etkilemektedir (Yılmaz, 2010 ve Özdemir, 2009).

Patlatma sonuçlarının arzu edilen ölçülerde olabilmesi için belli başlı parametrelerin patlatma üzerindeki etkisi tartışılmazdır. Optimum bir patlatma tasarımı yapabilmek için öncelikle patlatma olayında etkili olan parametreleri iyi bilmek gerekmektedir. Patlatma olayında etkili olan parametreleri, kontrol edilebilir ve kontrol edilemeyen parametreler olmak üzere iki grupta incelemek mümkündür. Maden sahasının jeolojisi, patlayıcı madde özellikleri ve patlatma geometrisinin uygun bir modelde tasarlanması gerekmektedir. Patlatma, kaya parçalanmasında en önemli etken olup denetleyemediğimiz değişken ise sahanın jeolojisidir. Patlatma tasarımı ve patlayıcı madde kullanım özelliklerinin değiştirilmesi ile uygun bir patlatma sonucu elde edilebilir. Patlatma tasarımında özgül şarj ve dilim kalınlığı parametrelerinin saha yapısına ve istenilen patlatma sonuçlarına uygun olarak dizayn edilmesi verimli bir patlatma sonucuna ulaşmamızı sağlar (Yılmaz, 2010).

Patlatma işlemini kontrollü bir şekilde yapabilmek ve bütün bunlarla birlikte de en yüksek verimi elde edebilmek öncelikli olarak patlatma işlemlerinde kullanılacak olan patlayıcı maddelere ait önemli özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bütün bunların yanı sıra, patlatma işleminin uygulanacağı sahada, kayaç patlatılabilirliğini etkileyen, kayaç ve formasyonuna ait olan özelliklerin tespit edilmesi gerekmektedir. Bütün bu veriler toplandıktan sonra patlatma

tasarımına geçilmelidir. Patlatma tasarımında ise; patlatma tasarımı yapılacak basamağa en uygun, parametrelerin ayrı ayrı tespit edilmesi gereklidir.

Delme patlatma işlemlerinin patlatma kısmında en verimli sonuçlara ulaşabilmek için jeolojik şartlar diğer bir deyişle kaya kütlesi özellikleri göz önüne alınarak iyi bir patlatma tasarımı gerçekleştirilmelidir. Özellikle süreksizliklerin patlatma verimini etkilediği, bazen bu süreksizliklerin patlatma sırasında oluşan enerjiyi azalttığı ve farklı yönlere doğru yönlendirdiği, kaya kütlesinin iri parçalar bırakacak şekilde parçalanmasına sebebiyet verdiği anlaşılmıştır. Bu şekilde daha az parçalanmalarda patarlama yapılması gerekebilir ki bu da ekstra maliyet demektir. Bu durumu göz önüne alarak patlatma tasarımından önce süreksizliklerin aralarında bulunan açıklık veya dolgu malzemesi, konumu, sıklığı gibi kayaca ait özellikler yerinde yapılan arazi ölçümleri ile belirlenmelidir.

Madencilik faaliyetlerinde ister yeraltı olsun ister yerüstü olsun her iki durumda da çalışılan birim kayaçlardır. Örneğin açık ocak basamak dizaynında oluşturulan şevlerin güvenliği, yapılacak olan basamak patlatmasının verimliliği gibi durumlar direkt olarak jeolojik yapı ile ilintilidir. Bu sebepten ötürü tüm mühendislik çalışmalarında kayacın oluştuğu mineraller kadar farklı yönlerde yerleşik bulunan süreksizlikler de göz önüne alınmalıdır.

Bu araştırma kapsamında önceden tasarlanan masif ve farklı çatlak sistemlerine sahip bloklar arazide belirlenen uygun bir alanda patlatılmış, patlatma sonrası tane boyut dağılımıyla süreksizlikler arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Öncelikle açık işletme tekniğinden ve patlatma teorisinden kısaca bahsedilmiş, daha sonra patlatma sonuçlarına etki eden ve patlatma tasarımı yaparken göz önüne alınması gereken kontrol edilebilir ve edilemez parametreler hakkında bilgiler verilmiştir. Bu bilgilerden sonra süreksizlikler konusuna değinilmiştir. Tez kapsamında gerçekleştirilen patlatma çalışmalarında patlatma sonrası tane boyut dağılımını saptamak için kullanılan elek analizi yöntemi anlatılmıştır. Tüm bu bilgilerden sonra; patlatılan bütün bloklar kendi aralarında kıyaslanarak, sonuç ve öneriler tartışılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Basamak patlatmaları boyut küçültme işleminde ilk aşama olarak ardından gelen diğer işlemlerin veriminide etkilediğinden, patlatmalarda boyut dağılımının denetlenebilmesi önem arz etmektedir. Basamak patlatmalarından boyut dağılımının tespiti kontrol edilen ve kontrol edilemeyen parametrelerin fazla olması sebebiyle oldukça güçtür.

Kayaç özellikleri açık ocak basamak patlatmalarında kontrol edilemeyen özelliklerdir. Patlatma performansı jeolojik yapıdan ve kayaç gerilmelerinden etkilenmektedir. Hemen hemen her madencilik uygulamalarında kayaçlar homojenlikten çok uzaktır. Eklem setleri, tabakalanma, dilinim vs. gibi zayıflık düzlemleri içermektedirler. Bunlar patlatma performansı açısından büyük rol oynamaktadırlar.

Atım sonrası parça boyut dağılımının kestirimi ve parçalanmanın iyileştirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiş çok sayıda çalışma mevcuttur. Halen başta Kanada, Avustralya ve Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere bu konuda çalışmalar devam etmektedir.

Obert ve Duvall (1950); yapmış oldukları çalışmada iki süreksizliğin arasının kapalı, boşluklu ya da dolgulu olmasına bağlı olarak bu süreksizlikler patlatma ile oluşan basınç dalgalarını farklı iletmekte olduğunu belirtmişlerdir.

Hansen (1968); yapmış olduğu çalışmasında kayaç özelliğini veren belirgin bir parametre yoktur. Kayaç parametresinin arazide deneme atımlarıyla belirlenmesi üzerine fikirler öne sürmüş ve bu şekilde bir çalışma yapmıştır.

Larsson-Svedefo (1973, 1974); yapmış oldukları çalışma teorik ağılıklı olup uygulamaya yönelik örnekleri çok fazla değildir. Geliştirdiği kayaç yapısı formülasyonu itibari ile parça boyutunu olduğundan iri kestirme eğilimindedir.

Kuz-Ram (1973, 1983, 1987); yapmış olduğu çalışmada kaya sabitinin belirlenmesinin zor ve kullanıcı yorumu gerektiğini belirtmişlerdir. Patlayıcı

enerjisinin hesaplanan ağırlıkça kuvvete yakın bir şekilde ortaya çıkması gerekmektedir şeklinde model ortaya koymuştur.

Fourney ve diğerleri (1983); laboratuar boyutunda yapmış olduğu çalışmasında parçalanma mekanizması ile çatlak takımları arasında ilinti kurmuştur. Homojen kayaya nazaran süreksizlik içeren kayalarda elde edilen ortalama tane boyutunun daha küçük olduğunu, yaklaşık 1,5 kat aza indirgendiğini öne sürmüştür.

Morhard ve diğerleri (1987); yapmış oldukları çalışmada kayaç içinde çatlakların olması durumunda kayacın blok yüzeylerinden koparak ayrılmasının söz konusu olduğu kanaatine varmışlardır. Bazı durumlarda patlatma kaynaklı geçici gerilme dalgalarının parçalanma üzerinde yüksek derecede etkili olduğunu ve bazen özellikle zayıf çatlaklı formasyonda, gaz basıncının parçalanma üzerinde daha etkili olmacağını gözlemlemişlerdir.

Kou ve Rustan (1993); yapmış oldukları çalışmada Saroblast denklemini ortaya koymuşlardır fakat kaya kütlesindeki süreksizlikleri göz önüne almayan bir çalışma sergilemiştir. Denklem empedans gibi kullanımı zor bir kayaç parametresi içermektedir.

Özkahraman (1994); özgül şarj üzerinde, süreksizlik yönelimlerinin etkili olduğunu ve özgül şarj değerlerinin; süreksizlik yönelimlerinin, aynaya paralel olduğu durumlarda minimum olduğunu ifade etmektedir.

Jimeno ve diğerleri (1995); yapmış oldukları çalışmada patlatılabilirlik üzerinde en yüksek etkisi olan kayaç parametrelerini; kayacın dayanımı, zayıflık düzlemleri arası mesafe, yönelim, sedimanter yataklanma tabakalarının kalınlığı, dalga iletim hızı, kayacın elastik özellikleri, çatlakların sıklığı ve çatlak dolgu malzemesinin tipi, kaya kütlesinin homojenliği ve yapısı vb. şeklinde tanımlamışlardır.

Jimeno ve diğerleri (1995); yapmış oldukları çalışmada parçalanma kavramıyla beraber, çoğu zaman yan yana yürüyen bir diğer kavram

patlatılabilirlik olduğunu belirtmişler ve patlatılabilirliği kayacın patlayıcı enerjisine karşı gösterdiği direnç olarak adlandırmışlardır.

Gupta (1996); yaptığı çalışmada özgül şarj denklemi belirlemiş ve bu denklemde kaya kütle durumlarını tanımlayan parametrelere yer vermiştir.

Bhandari (1997); yapmış olduğu çalışmada patlatma esnasında parçalar ötelenirken malzemenin birbirine çarpmasından dolayı ekstra bir parçalanma oluştuğunu vurgulamışlardır. Yaptığı araştırmada parçalanma üzerinde etkili olan kayaç parametrelerini; dayanım özellikleri, elastik özellikler, yoğunluk, dalga iletim hızı, porozite, yapısal süreksizlikler, tabakalanma özellikleri, yeraltı suyu ve nem içeriği olarak sıralamıştır.

Lu ve Latham (1998); patlatma işleminde bir boyut küçültme eylemi gerçekleştirildiğini ve yerinde blok boyut dağılımından, patlatma sonrası yığında, patlatılmış blok boyut dağılımına geçmişlerdir.

Hopler (1998); eklemli yapıların başlıca iki nedenden dolayı kötü parçalanmaya sebep olduklarına da değinmiştir. Patlatma sonucu oluşan basınç dalgalarının yarıda kesilmelerine sebep olurlar. Bu, çatlaklı formasyonların, düzgün olmayan kayaç parçalanması ve büyük boyutlu malzemenin ortaya çıkmasına neden olarak çelişkili bir duruma sebep olmaktadır. Eklemli yapılar patlayıcı enerjisinin kaya kütlesi içindeki yayılımını sınırlandırmaktadır. Eklemli yapılar patlayıcı enerjisinin hapsolmamasına neden olabilirler. Patlayıcı enerjisi kaya kütlesi içinde tutulamaz ise patlatma sonrası iri parçalar oluşacaktır. Aralıklı kayaç tabakaları veya kayaçlar arasındaki toprak dolgulu zayıflık düzlemleri gibi zonlarda hava şoku ya da gaz kaçışı meydana gelebilir. Gaz kaçışına sebep olan bu açıklıkların olduğu kısımlarda sıkılama malzemesi kullanılarak patlatmadan daha sağlıklı sonuçlar elde etmek mümkün olabileceğini belirtmiştir.

Ufalanma zonu modeli olarak bilinen Kanchibolta ve Djordevic (1999); tarafından yapılan modelde Kuz-Ram modelini referans alıp bunun bir uzantısı şeklinde çalışmalarına devam etmişlerdir. İnce boyutlu malzemenin kaynağının

yalnızca delik çevresindeki ufalanma zonu olduğu kabulüne dayanıp, ince boyutlu malzeme yalnızca 1 mm'nin altındaki malzemeyi içerdiğini belirtmişlerdir.

İki bileşenli model olarak bilinen modelde Djodevic (TCM, 1999); yapmış olduğu çalışmada parça boyutunu olağandan daha iri tahmin etme eğilimindedir. Parçalanma eğrisini oluşturmak için çok sayıda parametreye ihtiyaç vardır şeklinde sonuca varmışlardır.

Tek (1999); yapmış olduğu çalışmada patlayıcı türü ve delik düzeninin parça boyut dağılımı üzerinde etkili olduğunu belirtmiştir. Saha patlatma veri ve gözlemleri, patlatma uygulamalarının iyileştirilmesinde birçok parametreyi göz önünde bulundurarak hem verim artırmada hem de maliyet düşürmede faydalar sağlayan SABREX bilgisayar program sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Chung ve Katsabanis (2000); yapmış oldukları çalışmada çeşitli bilim adamları gibi Kuz-Ram modelini referans almışlar ve çalışmalarını deneysel atımlara dayanılarak geliştirmişlerdir. Henüz bu çalışmanın doğrulanması ve pratik olarak kullanıldığına dair örnek bulunmamaktadır.

Capehart ve Lilly (2002); patlatılabilirlik üzerinde etkisi olan kayaç parametrelerinin başta gelenlerini elastisite modülü, basınç dayanımı, çekme dayanımı, poisson oranı, bulk modülü, kaya materyalin basınç dalgalarını ve kesme dalgalarını iletim hızı, çatlak tokluğu, çatlaklar arası mesafe, çatlakların boyu ve yönelimi, çatlakların içindeki dolgu malzemesi, çatlak açıklığı, kesme direnci, basınç direnci şekilde sıralanmışlardır. Bu çalışma ile parçalanmanın pekçok kayaç özelliği ile ilişkili olduğunu belirlemişlerdir.

Zagreba (2003); yapmış olduğu çalışmada süreksizliklerin arasının kapalı olması dalgaların iletimini etkilemezken, kayaç yapısında boşluklu ya da dolgulu süreksizlik mevcutsa basınç dalgasını farklı yönlere yansıtmakta ve kuvvetini azaltmakta olduğunu belirtmiştir.

Kuznetsoz, Cunningham ve Ouchterlony (2005); yapmış oldukları çalışmada Kuz-Ram Modelinin modifikasyonu şeklinde bir model oluşturulmuş ve büyük bir yenilik içermemektedir. KCO'nun yapmış oldukları model

çalışmalarında Rosin-Rammler denklemi yerine Ouchterlony tarafından geliştirilen Swebrec denklemi kullanılmaktadır. Yeni bir modeldir; modelin kanıtlanması için belirli bir süreçte denenmesi gerekmektedir.

Ak (2006); yapmış olduğu çalışmada sahadaki süreksizlik ve tabakalanma yönelimi, patlatma kaynaklı sismik dalgaların hızlarını ve sönümlenme derecelerini önemli ölçüde etkileyebildiğini ortaya koymuştur. Patlatmaların yapıldığı işletme sahasının farklı yönlerinde bulunan yapıların patlatmanın etkilerinden korunabilmesi için, her yön için arazi parametrelerinin belirlenmesi ve her bir yön için elde edilen yayılım eşitliğinin o yönde bulunan yapı ya da yapıların korunmasında kullanılması gerekmediği yaklaşımını öne sürmüş, patlatmaların yapılacağı basamakta ölçülecek olan süreksizlik sıklığı parametrelerinin, parçacık hızı tahminlerinde çok daha net ve yüksek ilişkili sonuçlar vereceğini düşünmüştür.

Hafsaoui ve Talhi (2009); patlatma sonrası parça boyutuna süreksizlik yönleri ve patlayıcı maddelerin delik içindeki yerinin etkisini incelemek amacıyla, laboratuar boyutunda kireçtaşı özelliklerine uygun 18 farklı model oluşturmuşlardır. Bu modellere 6 farklı konumda süreksizlik yerleştirip, ateşleyiciyi de delik içinde 3 farklı konuma yerleştirmişlerdir. Her blokta tek delik olup dilim kalınlığını hepsinde sabit almışlardır. Patlatma işlemleri sonrası elde edilen 3 farklı grafikte aynı zamanda Kuz-Ram modeliyle de karşılaştırma yapmışlardır. Yapmış oldukları bu çalışmada ateşleyiciyi patlatma deliğinin ortasına yerleştirdiklerinde tüm süreksizlik yönlerinde en iyi parçalanmayı elde etmişler, D50 (ortalama tane boyutu) değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Patlatma işleminden önce parçalanma verimini arttırabilmek açısından kayacın çekme mukavemetine yönelik testlerin de yapılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Hüdaverdi (2010); yapmış olduğu çalışmada parçalanmanın incelenmesi ve tayini sırasında görüntü işleme yazılımlarının, verimliliği hesaplamada ve doğru sonuçlar oluşturma da oldukça etkileyici bir etken olduğunu savunmuştur. Kendisi de son 10 yılda bu sistemin patlatma sonrası parça boyut dağılımın hesabının yapılabilmesi ve takip edilebilmesi için oldukça efektif rol oynadığını öne

sürmüştür. Aynı zamanda görüntü işleme yazılımının halen gelişebilecek durumda olduğunu savunmakta özellikle gölgeler vs. söz konusu olduğunda yüksek miktarda elle düzeltmenin yapılması gerektiğini belirtmiştir. Yapmış olduğu çalışmada parça boyut dağılımı hesaplamasında değişkenlerin fazla olmasından dolayı ne kadar fazla parametre incelenirse sonuçların o oranda doğruluk kazandığını belirtmiş ve kendi çalışmasında çok değişkenli analiz yaklaşımının olumlu sonuçlandığını belirtmiştir. Bu anlamda özellikle kümleme analizi ve ayırma analizinin yetkin olduğunu öne sürmüştür. Yapmış olduğu çalışmada kümleme analizinin yararını şu şekilde açıklamıştır; atımları gruplandırma ve elde edilen farklı gruplar için özel yaklaşımların mümkün kılınabildiğini öne sürmüştür. Böylece istenilen gruplandırmanın yapılabilmesi doğru sonuçların önünü açtığını belirtmiştir.

Pekin (2010); yapmış olduğu çalışmada patlatma sonucu parçalanmanın birçok parametreye bağlı olduğunu belirtmiştir. İstenen parçalanma derecesini elde edebilmek için delme-patlatma tasarım parametrelerinin doğru belirlenmesi gerektiğini belirtmiştir. Yapılan atımlarda delik tırnak uzunluğunun yetersiz olduğu tüm atımlarda tabanda tırnak oluştuğu tespit edilmiş ve tırnak uzunluğunun arttırılması gerektiği belirtilmiştir.

Engin ve Apalak (2013); yapmış oldukları çalışmada tasarım parametrelerinin seçiminde genellikle istenen parça boyutunu sağlayacak en ekonomik tasarımın hedeflendiğini belirtmişlerdir. Kaya kütlesinin içerdiği süreksizlikler, kayacın yoğunluğu, basma ve çekme dayanımı gibi kayaç özellikleri patlatma tasarım parametrelerinin seçimini doğrudan etkilediğini belirtmişlerdir. Basamak patlatması uygulamalarında kayadaki süreksizliklerin parçalanmaya etkisinin belirlenmesi amacıyla ortalama süreksizlik aralığı ve ortalama parça boyutu değerleri arasındaki ilişki araştırılmış ve çok iyi bir ilişki tespit ettiklerini belirtmişlerdir. İstenen parça boyutunun elde edilebilmesi için öncelikle aynadaki süreksizlikler incelenmesi gerektiğini, daha sonra eğer çok masif süreksizlik aralığı çok fazla bir kaya kütlesi varsa delikler arası mesafe azaltılıp özgül şarj arttırılması ve böylece oluşacak parça boyutu istenen değere düşürülmesi gerektiği

belirtilmiştir. Benzer şekilde, eğer çalışılan aynada süreksizlikler çok sıksa, o zaman da delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı arttırılarak özgül şarj düşürülmeli böylece fazladan boyut küçültme ve maliyet artışının önüne geçilebileceğini belirtmişlerdir.

Öngen ve diğerleri (2013); yapmış oldukları çalışmada madencilik sektöründe süre alan bazı ölçüm yöntemlerine (ör: elek analizi) alternatif olarak görüntü analizi yönteminin uygulanabildiğini belirtmişlerdir. Özellikle patlatma ile üretim yapan ocaklarda devam eden ardışık işlemlerin (nakliye, kırma, öğütme vb.) verimliliği açısından, patlatma sonrası oluşan yığın tane boyut dağılımının belirlenmesi büyük önem taşımakta olduğunu belirtmişlerdir. Görüntü işleme ve analizi yönteminin patlatma sonrası oluşan yığının tane boyutunun belirlenmesinde ekonomik ve hızlı bir yöntem olduğunu belirlemişlerdir.

Engin ve diğerleri (2013); yapmış oldukları çalışmada patlatmadan sonra parça boyut dağılımının maliyete etkisinin oldukça fazla olduğunu belirtmişlerdir. Basamak patlatması uygulamalarında JKSimBlast programıyla yapılan patlatma sonrası ortalama parça boyutu tahminlerinin doğruluğunun tahmin edilmesi için, Splitdesktop programı ile belirlenen ortalama parça boyutu ile JKSimBlast programıyla tahmin edilen değerler karşılaştırılmıştır. Yapılan inclemeler sonrasında JKSimBlast programının gerçek değerlere çok yakın tahminlerde bulunduğu belirlenmiştir.

Kahraman ve Kılıç (2015); yapmış oldukları çalışmada yığının tane boyutunun maliyet açısından çok önemli olduğunu belirtmişlerdir. Aynadan alınan görüntüyle WipJoint yazılımı ile aynanın blok analizi yapılmış daha sonra WipFrag yazılımıyla da patlatma sonrası parça boyut analizleri yapmışlardır. Böylelikle patlatma verimini yorumlamışlardır.

Engin ve Maerz (2015); yapmış oldukları çalışmada maden üretiminde patlatma işlemindeki verimliliğin önemli bir kriteri patlatma sonrası sağlanan parçalanmanın derecesi olduğunu belirtmişlerdir. Yapmış oldukları çalışma kapsamında, öncelikle laboratuvar ölçekli yığın üzerinde LIDAR teknolojisi

kullanılarak tane boyut analizi yapılmış daha sonra bir taş ocağında, kırılmış agrega yığını ve patlatma sonrası oluşan yığın üzerinde parça boyut dağılımı analizi gerçekleştirilmiştir. Engin ve Maerz bu teknolojinin, madenlerde üretimin planlanması ve izlenmesinde, hacim hesaplamalarında, süreksizliklerin belirlenmesi ve analizinde, heyelanların izlenmesinde vb. uygulamalarda kullanımının yanında patlatma sonuçlarının değerlendirilmesi amacıyla parça boyut dağılımının belirlenmesinde de kullanılması daha verimli üretim yapılmasına imkan sağlayacağını belirtmişlerdir.

Kılıç (2015); yapmış olduğu çalışmada patlatma parametreleri seçiminde istenilen parça boyutunu sağlayacak en uygun tasarımın yapılması gerektiğini belirtmiştir. Patlatma öncesi ve sonrasında görüntüler alınarak WipJoint ve WipFrag yazılımlarının kullanılmasıyla parça boyut analizi yapmıştır.

Bilim ve diğerleri (2015); yapmış oldukları çalışmada kırmataş tesislerinde toplam maliyete etki eden unsurları delme-patlatma, yükleme-taşıma, kırma-eleme olarak belirlemişlerdir. Patlatma sonrası parça boyut dağılımınında iri parçaların bulunması maliyeti oldukça arttırdığı saptanmıştır.

Kuşkusuz parçalanma ile ilgili çalışmalar gelecekte devam edecektir. Literatürde parçalanma kestirimi ve patlatılabilirlik ile ilgili birçok model olmasına rağmen problemin tam anlamıyla aydınlatıldığını söylemek güçtür. Patlama kaynaklı parçalanma birçok parametrenin devrede olduğu önemli bir madencilik ve yer birimleri problemidir. Oluşturulan her yeni yaklaşım yeni bir söz söylemekte, ileriye doğru bir atım atmaktadır.

3. PATLATMA VE PARÇA BOYUT DAĞILIMI

3.1. Patlatma Hakkında Bilgi

3.1.1. Delik Delme

Bir kayayı parçalamak için o kayaya doğrudan ya da dolaylı olarak enerji uygulamak gerekir. Uygulanacak enerjinin düzeyi, kayanın özelliğine ve enerji verme biçimine bağlı olarak değişir. Kayaya verilen enerji yeni yüzey yaratılmasında, sürtünme ve esnek dalga dağılımı biçiminde kullanılır. En az enerji gerektiren parçalanma biçimi, tek eksenli çekme dayanımı yenilmesi biçiminde olan kırılmadır. Ancak, çevresel basıncın da varolduğu koşullarda, parçalanma için daha çok enerjiye gereksinme duyulduğu da bir gerçektir. Kaya-cihaz etkileşimi sürekli izlenip denetlenmelidir.

Kayaların birbirine göre kırılabilme kolaylığını anlamada bazı mekanik ve fiziksel özelliklerden ölçüt olarak yararlanılmaya çalışılmaktadır (Cummins, 1973). Bunlar kayanın tek eksenli çekme ve basma dayanımlarıdır. Göz önünde bulundurulması gereken bir nokta da kaya dayanımının yan basınç, gözenek sıvı basıncı, yük uygulama hızı ve ısı gibi çevresel koşullardan etkilendiğidir. Bazı araştırmacılar, kayanın fiziksel özelliklerinin, bunların genellikle daha kolay ve daha ucuz belirlenmesi gerekçesi ile, parçalanabilme kolaylığının kestirilmesinde ölçüt olarak kullanılabileceği kanaatindedirler. Ancak, parçalanabilirlik ile kayanın fiziksel özellikleri arasında ilişkiler bulunmakla birlikte, bu ilişki henüz tam ve kesin bir matematik bağıntı biçimine sokulabilmiş değildir. Bu yaklaşım, çok zayıf kayalarda ve kömür gibi deney örneği hazırlanma güçlüğü bulunan oluşumlarda uygulanmamaktadır. Parçalanabilirlik ölçütü olarak kullanılanlar daha çok yoğunluk, sertlik ve gözeneklilik gibi özelliklerdir. Araştırmacılardan bazıları ise, daha güvenilir deneysel kaya parçalanabilme kolaylığı yaklaşımları getirebilmek için, hem fiziksel hem de mekanik özelliklerin birlikte ele alınmasının daha sağlıklı olacağını söylemektedirler (Cummins, 1973).

3.1.1.1. Delme İşleminde, Kayanın Mekanik Olarak Parçalanması

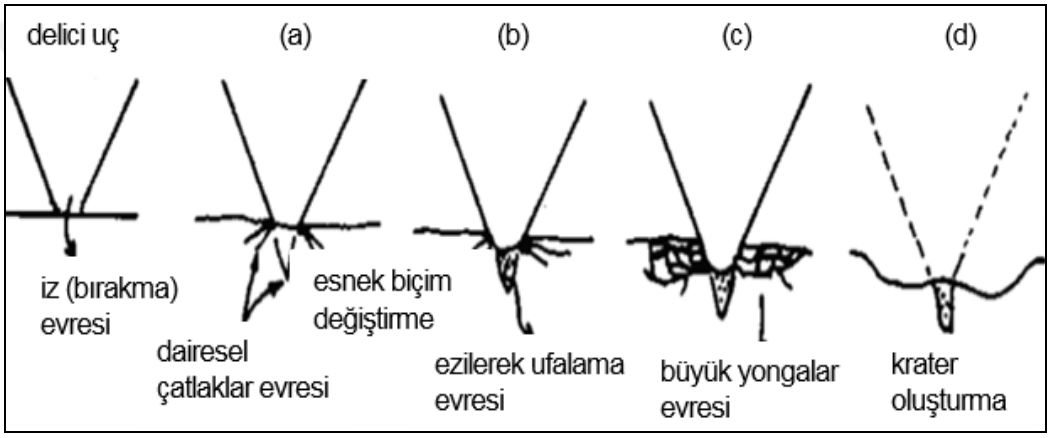
Patlatmaya yönelik delme işleminin amacı, kayaya mekanik enerji uygulayarak içine patlayıcı yük konabilecek bir boşluk yaratmaktır. Bu boşluk delici ucun baskı ile kaya içinde ilerlemesiyle açılır. Kaya içinde mekanik olarak ilerlemenin, vurmalı ve dönmeli olmak üzere iki ana yöntemi bulunmaktadır. Delme, çatlak yaratılması ve bu çatlaklardan kopartılan parçacıkların dışarı atılması olmak üzere iki evreden oluşur. Motorun ürettiği mekanik enerji, makinenin delme motoru yardımıyla delme borusu-delici uç dizisine iletilerek kaya, mekanik olarak parçalanıp ilerleme sağlanır. Delici uç ile tabana yapılan baskı, kaya basma dayanımını yener yenmez kaya delinmeye başlar. Kayanın, delici ucun içinde ilerlemesine karşı gösterdiği dirence, delme dayanımı adı verilmektedir. Bu, kayanın bilinen mekanik dayanım tanımından oldukça değişik bir kavramdır. Kayanın parçalanarak yenilmesine çatlama yenilmesi, esneklik sınırı dışına çıkarak biçim değiştirmesine de kırılma yenilmesi denilmektedir. Çeşitli bileşik gerilmeler etkisinde kayanın yenilme ölçütü bu şekilde tanımlanabilmektedir. Ancak, bu her iki yenilme türünün geçerli olmadığı durumlarda bulunabildiğinden bir genelleme yapmak yanlış olabilir.

3.1.1.1.(1). Kayada Delerek İlerlemenin Mekaniği

Bu konuda bugün elimizde bulunan bilgiler deneysel ve kuramsal model çalışmaları yardımıyla elde edilmiştir. Analitik tanımlar ise, mekanik ilkeler, esneklik ve plastiktik kuramları ve deneysel yöntemlerden yararlanılarak türetilmiş bulunmaktadır (Cummins, 1973). Model çalışmalarında ideal koşullar varsayılır ve analizi kolaylaştıracak varsayımlar yapılır. Gerek vurmalı, gerekse dönmeli kaya delme yönteminin her ikisinin de delici uç biçimi, uca yapılan baskı ve kayanın delmeye karşı gösterdiği tepki gibi ana öğeleri bulunmaktadır. Hernekadar, model çözümleme çalışmaları bu etmenler arasında bulunan gerçek bağıntıların kesin olarak belirlenmesini sağlamaya yetmemekteysede, yine de bu kuramsal çalışmalar

delici uç ilerleme mekanizmasının kavranmasına bir ölçüde yardımcı olmaktadır (Cummins, 1973).

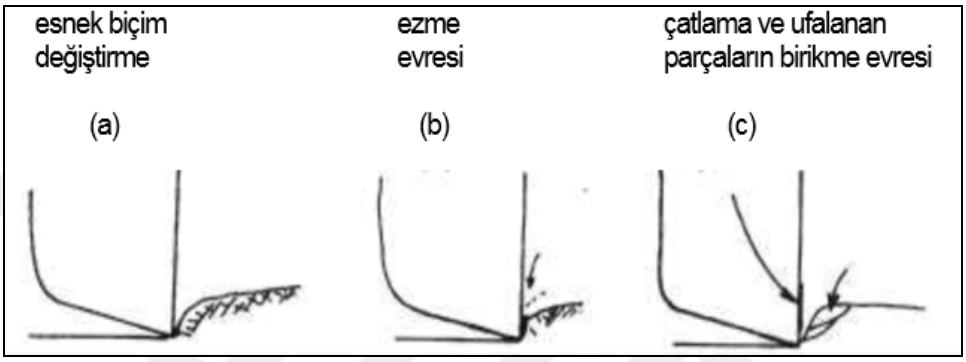
a. Vurmalı Delik Delme; Bu tür delmede, delici uç kayayı birbiri ardına vuruşlarla parçalayarak ilerler. Şekil 3.1 delici ucun her bir vuruşunda krater biçimli bir oyuk oluşturmasının evrelerini göstermektedir. Bu evreler aşağıda verilmiştir (Birtek, 1982).



Şekil 3.1. Vurmalı delme işleminde kaya yenilmesi evreleri (Birtek, 1982)

i. Yüzeyde çıkıntılar ezilir ve kaya esneyen biçim değiştirme evresindedir.
ii. Yüzey altında çekme gerilmesi çatlakları olduğu sanılan ana çatlaklar oluşur ve delici uç çevresindeki gerilme yığışmalarından aşağıya doğru yayılır.
iii. Delici uç çevresinde, ezilerek parçalanma başlar.
iv. İkincil çatlaklar yüzey boyunca ilerleyerek kesme gerilmesi yaratır, ve daha büyükçe parçalar ya da yongalar kopartır.
v. Kırılıp kopan parçacıklar, basınçlı hava ile yukarıya atılır ve "V" biçimli bir oyukoluşur. Delici uç, vurmalı delmede kırarak ve yonga çıkartarak kaya içinde ilerler.

b. Dönmeli Delik Delme; Bu yönteme dönerek kopartma egemen olup ilerleme, baskı ve tork ile sağlanır (Şekil 3.2). Bu yöntemde de kırma ve kopartma yoluyla delme sağlanır. Bu tür delmede kayanın yenilme evreleri aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 3.2. Dönmeli delme işleminde kaya yenilmesi evreleri (Birtek, N 1982)

i. Delici uç-kaya dokanağında kaya esnek biçim değiştirme evresindedir.
ii. Delici uca bitişik yüksek gerilme bölgesinde kaya parçalanır.
iii. Kesme çatlakları yüzey boyunca ilerleyerek yonga kopartır.
iv. Koparılan yongalar (kırıntılar) basınçlı hava ile dışarıya atılır.
v.

3.1.1.2. Delik Delme Düzenleri

Birçok delik delme düzeni vardır. Bunları kare, dikdörtgen ve şeşbeş düzenleri olarak sıralayabiliriz (Şekil 3.3).

A) Kare delik düzeni:

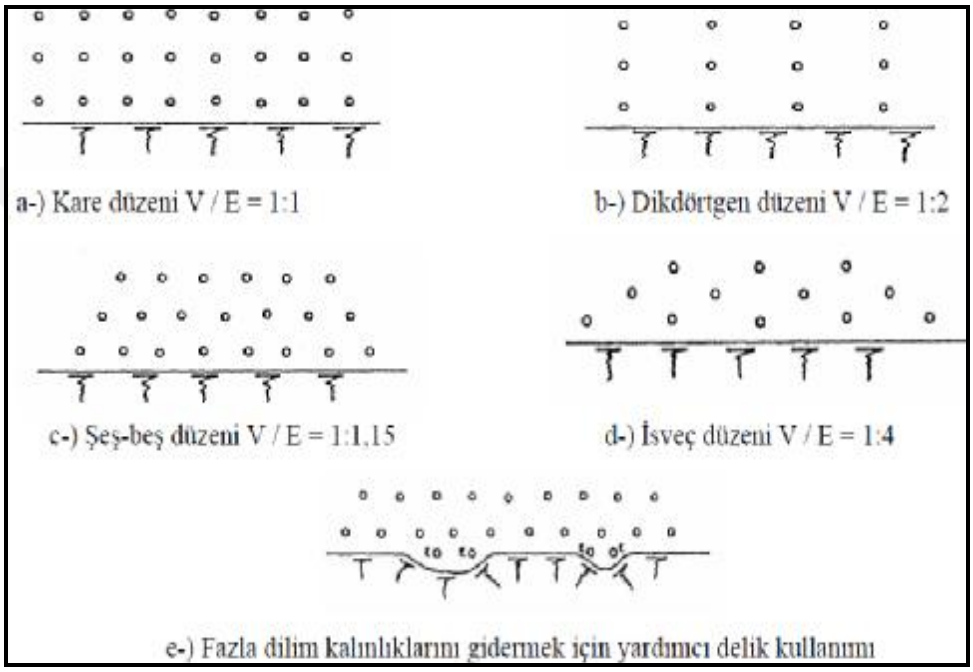
- Delikler arası mesafe her yönde eşittir.
- Delikler düzenli ve sıralıdır.

B) Dikdörtgen delik düzeni

- Delikler düzenli ve sıralıdır

C) Şeşbeş delik düzeni

- Sınırlar arası mesafeyle delikler arası mesafe arasında farklılıklar olabilir.
- Genellikle sınırlar arası mesafe delikler arası mesafeden küçüktür.
- Delikler kare ve dikdörtgen düzende olduğu gibi birbirinin ardı ardına değil birbirinin arasına gelecek şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.3. Açık ocak patlatmalarında kullanılan çeşitli delik düzenleri

3.1.1.3. Delme İş Makinaları

Taş ocakları ve açık işletmelerde patlatma deliği için kullanılan deliciler dik ve eğimli delik delebilecek şekilde dizayn edilmiştir. Delici makine üreticileri delik makinalarının mekanizasyonu ve otomasyonu koşusunda büyük çaba sarf etmektedirler. Modern delici makinalarda hızlı ve çok yönlü boom'la donatılmış, otomatik tij değiştirici, delik düzgünlüğü için açı göstergesi ve darbe esnasında takım, dizisinin sıkışmasını önleyen ekipmanlar kullanılmalıdır. Aynı zamanda delici operatörünün daha fazla iş yapmasını sağlamak üzere kabinde ses izolasyonu sağlanmış ve havalandırma ile kabin ortamının iyileştirilmesi sağlanmalıdır.

3.1.1.4. Delici Makinanın Çalışma Prensipleri ve Ekipmanları

Madencilik, taş ocağı ve inşaat islerinde, delicilerden beklenen, istenen pozisyonda, yeterli hızda delinmiş yüksek kaliteli patlatma delikleri elde etmektir. Bu ise patlayıcının optimum ve ekonomik şarjını sağlamaktadır.

Genellikle delme işlemi üç farklı metotta yapılmakta olup temel çalışma mekanizmaları bakımından farklılıkları bulunmaktadır. Bu metotlar;

- Üstten darbeli delik delme
- Delme dibinde darbeli (Dowft-The-Hole-DTH) efelik delme
- Döner delik delme

Bu metotlarınbaskı, dönme, mafsal adaptörü ve darbeli delicilerde (üstten darbeli ve DTH) dört bileşen mevcuttur. Döner delici metotta ise darbe bileşeni olmayıp, darbenin delmedeki görevi baskı kuvvetinin arttırılması ve dönme torku sayesinde yapılmaktadır (Yıldız ve Köse, 2003).

3.1.1.5. Açık İşletme, Taş Ocağı ve İnşaat İşlerinde Kullanılan Deliciler

Üstten Darbeli Deliciler dünya çapında, inşaat sektöründe, taş ocakları ve açık işletmelerde 22 mm çaptan 254 mm çapa kadar (7/8"-10") değişik patlayıcı delikleri delmede kullanılmaktadır. Bu deliciler makine boyutu ve mekanizasyon temelinde aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.

- Elle kullanılan deliciler (martapikör)
- Komando delici
- Traktör ve loder için deliciler
- Vagon delici
- Paletli delici

3.1.2. Patlatma ve Parçalanma Mekanizması

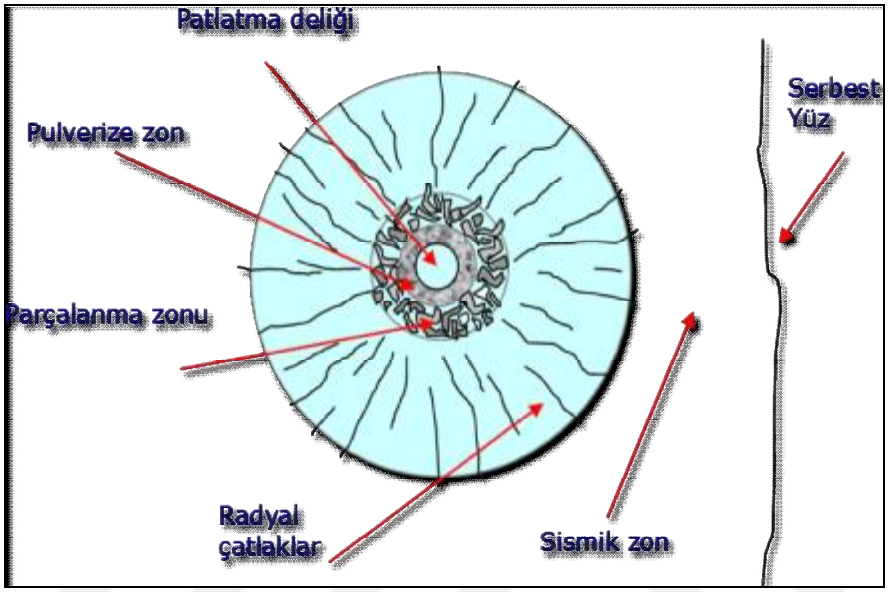
Açık yüzeye yapılan patlatmanın işlevi, madencilerce yıllar önce anlaşılmıştır. Madenciler, bu yolla kayanın kırılma ve parçalanmaya karşı direncinin daha kolay yenilebildiğini farketmişlerdir. Madenciler, patlayıcı özdek yükünün açık yüzeyden hangi derinlikte en büyük krater hacmi oluşturduğunu deneysel olarak belirlemeyi amaçlıyordu. Livingstone belirli kaya türleri için yaptığı krater denemeleri sonucu, o kayalar için geçerli olan kazı basamağı patlatma tasarımı yapmayı bir ölçüde başarabilmiştir. Ancak, patlatmada açık yüzeylerin işlevinin kuramsal açıklanması deneysel veri birikimlerinin bir sonucu olarak 1970'lerde yapılabilmiştir. Ayrıca, patlatma sonucu patlayıcı yükün yakın çevresinde oluşan parçalanma bölgeleri de bugün artık anlaşılmış ve açıklanmış bulunmaktadır.

Patlatmayı etkilediği bilinen kaya, delik doldurma ve patlayıcı öğelerinin etkilerinin belirlenmesi için çok sayıda araştırma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ancak istatistiksel olarak geçerli olabilmektedir. Çoğu kayaların çokyapılılık (heterojenlik) göstermeleri nedeniyle kesin sonuçlar elde edebilmek için daha çok sayıda araştırmaya gerek duyulmaktadır.

Patlayıcı madde bir delik içine yerleştirilip ateşlendiğinde çok kısa bir zaman içinde çok yüksek ısı ve basınçta, büyük miktarlarda gazların açığa çıkması ile sonuçlanan reaksiyonlar meydana gelir. Yüksek patlayıcıların önemli bir özelliği birim zamanda çok büyük miktarlarda enerji üretmesidir. Açığa çıkan gaz basıncı delik duvarlarında hareket eder ve böylece deliği bulunduğu ortamın daha ötesine genişletmek için deliği basınç ve gerilmelerin tesiri altında bırakır (Bhandari, 1997).

Patlayıcı maddelerin etkisi ile kaya yapılarının kırılma mekaniği üzerinde çok sayıda araştırma yapılmıştır. Burada amaçlanan, kayanın nasıl kırıldığını anlamak, buna uygun patlayıcı ve ateşleme ürünleri üretmek ve bunları doğru miktarda ve şekilde kullanmaktır. Kaya yapılarının patlatma ile kırılma ile kırılma

mekaniğini en iyi şekilde gösteren resim George B. Clark tarafından Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Patlatma sonrasında delikte oluşan durum (Clark, 1968)

Patlatma deliği boşluğunda bulunan patlayıcı madde detone olduğunda ani hacım genleşmesi ve sıcaklık yükselmesinin katkısı ile çok yüksek bir kuvvet oluşur. Bu kuvvet mikro saniyeler ile ifade edilen süre içerisinde kaya yapısına aktarılır. Bu nedenle patlatma deliğinin hemen çeperinde neredeyse kaya yapısının bir akışkan gibi davrandığı bir kırılma zonu oluşur. Buna "Pulverize zon" ismi verilmektedir. Buradaki kırılma "visko-plastik" kırılma olarak tanımlanmaktadır. Bu bölgede oluşan kırılma neredeyse mikronize boyutundadır (Clark, 1968).

3.1.3. Patlatma ile Kaya Kırılma Mekaniği

Kayaları gevşetmek ve/veya parçalamak amacıyla kullanılan patlayıcı maddelerin istenen sonucu yaratması onların kayanın belirli bir bölümüne aniden ve çok büyük miktarda enerji verebilme kabiliyetlerinden kaynaklanmaktadır.

Delikteki patlayıcı madde ateşlendiğinde bir saniyenin binde biri gibi çok kısa bir sürede olan hidrodinamik reaksiyon sonucu patlayıcı enerjisi, çok yüksek basınç ve sıcaklıktaki gaz şeklinde ortaya çıkmakta böylece deliği çevreleyen kayaya uygulanan çok büyük basınçlar kayanın kırılıp parçalanmasına yol açmaktadır (Bilgin ve Paşamehmetoğlu, 1986).

Deliğe konulan ve sıkılaması yapılan patlayıcı maddenin parçalanma ve ötelenmeye kadar geçen süredeki aşamalar 4 aşamada oluşur. Bu aşamalar;

- Detonasyon (Patlama)
- Şok ya da birim deformasyon dalgalarının yayılması
- Gaz basıncının yayılımı
- Kütle taşınmasıdır

3.1.3.1. Detonasyon (Patlama)

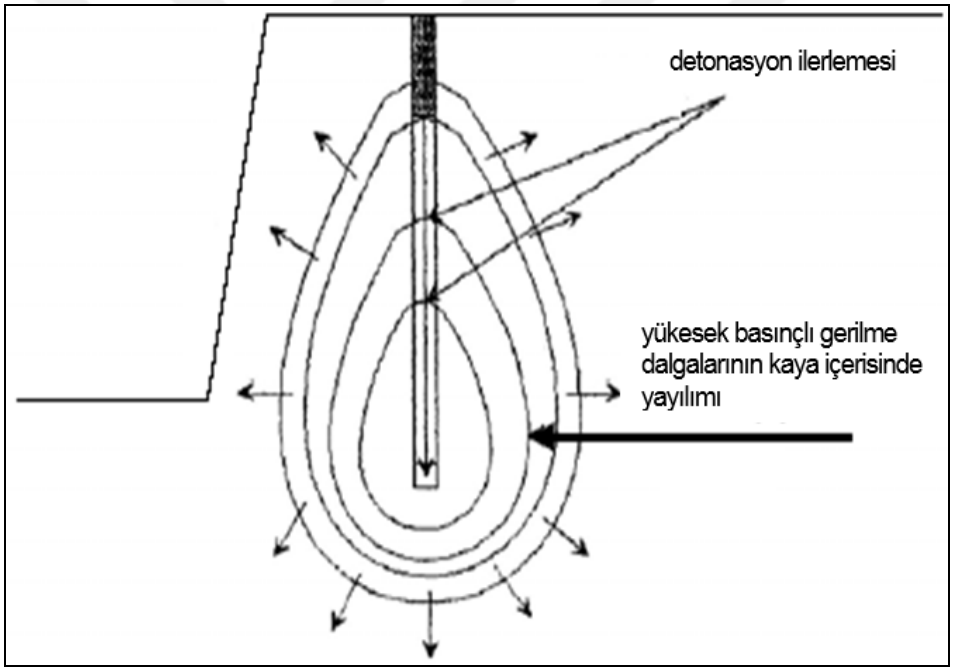
Kırılma işleminin başlangıcıdır. Fueloil ve oksitleyici kombinasyonlarını içeren bir patlayıcı karışım, detonasyondan hemen sonra yüksek basınç ve sıcaklıktaki gazlara dönüşmektedir. Detonasyondaki sıcaklık aralığı yaklaşık olarak 1650-3870°C (3000 7000°F) ve basınçlar ise 900-27500 MPa arasındadır (Atlas Powder, 1987). Çizelge 3.1'de bazı patlayıcıların detonasyon basınçları verilmiştir.

Çizelge 3.1. Patlayıcı madde birim hacim ağırlık ve detonasyon ilişkisi

Patlayıcı Madde	Birim Hacim Ağırlık (ton/m^3)	Detonasyon Hızı (m/sn)	Detonasyon Basıncı	
			(MPa)	(psi)
AN-FO	0.81	3657.6	2700	396900
Powermax 420	1.19	5791.2	10000	1470000
Hi-Prime	1.40	6096	13000	1911000
"G" Booster	1.60	7924.8	25100	3689700

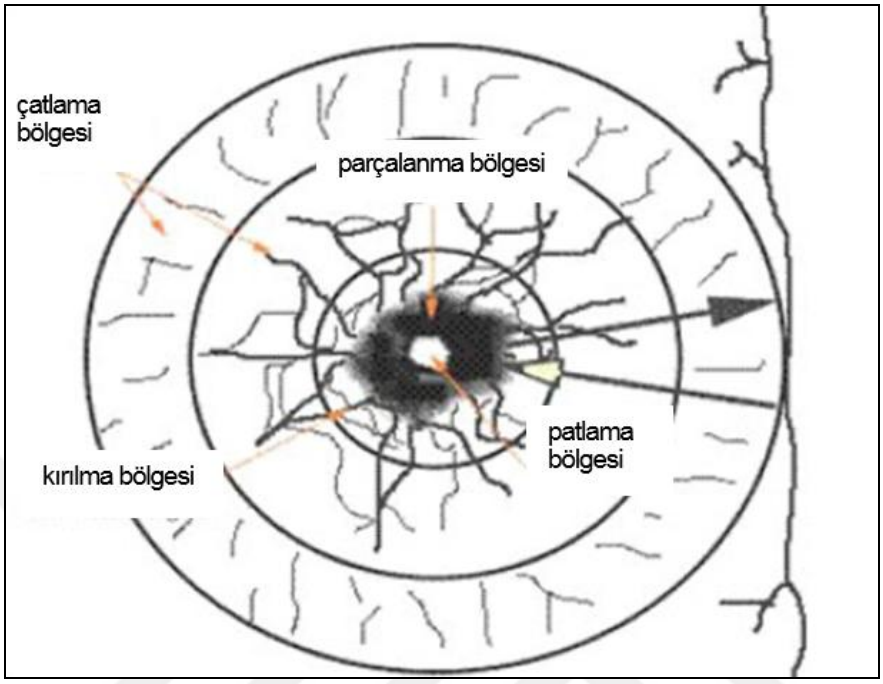
3.1.3.2. Şok ya da Birim Deformasyon Dalgalarının Yayılması

Detonasyonun hemen ardından şok ya da birim deformasyon dalgaları kaya kütlesi içerisinde yayılır. Detenasyon sonrası ortaya çıkan yüksek basınçlı gazlar delik cidarına çarparak basınç dalgalarının oluşmasına neden olur. Yayılımın geometrisi öncellikle şarjın biçimine bağlıdır. Şayet, şarj kısa ise oluşan yayılım küresel, şarj uzun ise yayılım silindirik şekilli olacaktır (Atlas Powder, 1987). Bununla birlikte basamak patlatmasında deliğe doldurulan patlayıcı madde delik tabanından ateşlendiğinde bu yayılım küresel ya da silindirik şekilli olmayacaktır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Detonasyon ile birim deformasyon dalgaları yayılması (Atlas Powder, 1987)

Sıkıştırıcı etki yapan basınç dalgaları, serbest bir yüzeyden yansıdığında, serbest yüzey ve patlatma deliği arasındaki kaya kütlelerinde çekme gerilmelerine sebep olur (Şekil 3.6).

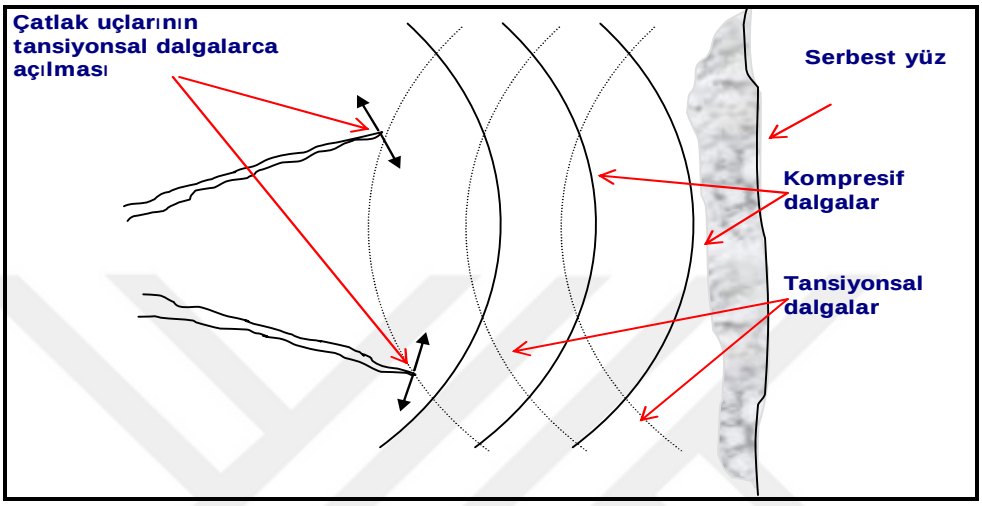


Şekil 3.6. Sıkıştırıcı basınç dalgaları (Atlas Powder, 1987)

Delik cidarındaki basınç anlık olarak tepe değerine ulaşacak ve daha sonra exponansiyel olarak bozulacaktır. Bu hızlı bozulma nedeniyle delik genişleyecek ve gaz soğuyacaktır. Boşluk genişlemesi çatlamalara, ufalanmalara ve/veya malzemenin yer değiştirmesine neden olmaktadır. Genellikle delik cidarında dalga enerjisi maksimum olduğundan basınç, makaslama ve çekme yenilmeleri sonucunda ufalanma bölgesi meydana gelmektedir (Atlas Powder, 1987).

Çatlakların daha uzak mesafelere gitmesine yardım eden diğer bir olay da, serbest yüzeyden yansıyan şok dalgalarıdır. Patlatma ile birlikte, kayanın baskıya dayanımını yenerek ilerleyen patlama enerjisi, bir noktadan sonra kayanın baskıya dayanımını yenemez ve artık sismik enerji olarak yayılmaya devam eder. Bir serbest yüzeye ulaştığı zaman geri yansır. Bu basit bir fizik kuralıdır. Araştırmacılara göre yansımadan önce sismik dalgalar basma karakterde, yansıdıktan sonra ise tansiyonsal karakterdedirler. Tansiyonsal karakterde olan

sismik dalgalar çatlak uçlarına etki ederek daha da açılmalarına çalışırlar (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Çatlakların yayılımı (Erkoç, 2007)

Çatlakların serbest yüzeye ulaşmasına katkıda bulunan diğer bir olay da, bu kez serbest yüzeyin çatlaklara doğru yanaşmasıdır. Buna sebep olan olay, yine tansiyonsal karaktere dönüşen sismik dalgalardır. Kaya yapılarının çok bilinen ama pek üzerinde durulmayan bir özellikleri; basma dayanımlarının, tansiyonsal dayanımlarının 10 katı kadar olmasıdır. Sırf bu nedenle insanlık medeniyetinin başlangıcından beri taş yapılarda taş elemanları basma yük taşıyacak şekilde kullanılmışlardır. İşte bu özellik nedeni ile serbest yüzeyden yansıyan tansiyonsal sismik dalgaları serbest yüzeyden kapakçıklar, madenci dili ile kavlaklar koparmaya başlarlar. Doğal olarak bu olay, delik-serbest yüz mesafesini azaltacak, çatlakların serbest yüze ulaşmasını kolaylaştıracaktır.

3.1.3.3. Gaz Basıncının Yayılımı

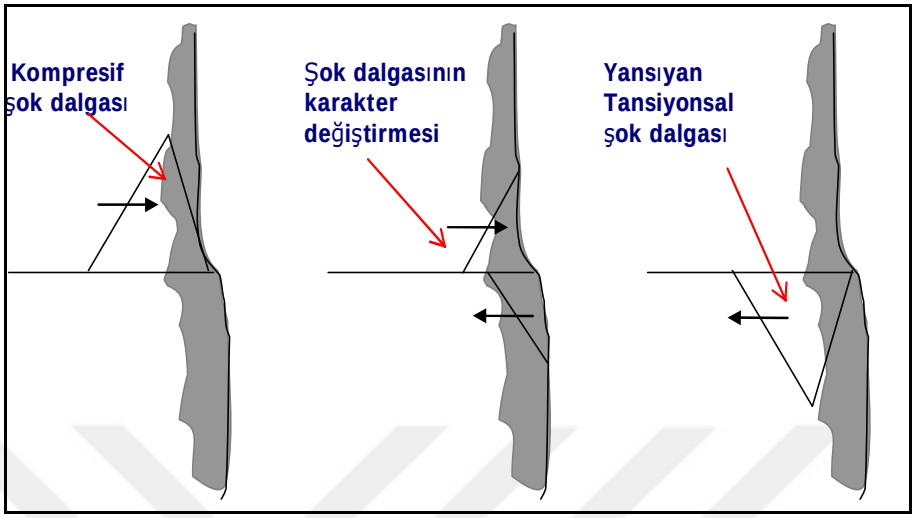
Birim deformasyon dalgasının yayılımı esnasında ve/veya sonrasında, delik etrafında arazi gerilmelerine dönüşen yüksek sıcaklıktaki gazların basıncı

süreksizlikler içerisine girerek radyal çatlakların ilerlemesine ve orijinal deliğin bozulmasına neden olmaktadır. Bu durumun parçalanmanın temel mekanizmasını oluşturduğu hususunda çeşitli tartışmalar vardır. Bazıları baştanbaşa kaya kütlesinin çatlak ağlarının tamamlandığına inanırken, diğerleri büyük çatlakların henüz başladığına inanmaktadır. Her ne olursa olsun, parçalanmış malzemenin yer değiştirmesini bu yüksek gaz basınçları sağlamaktadır.

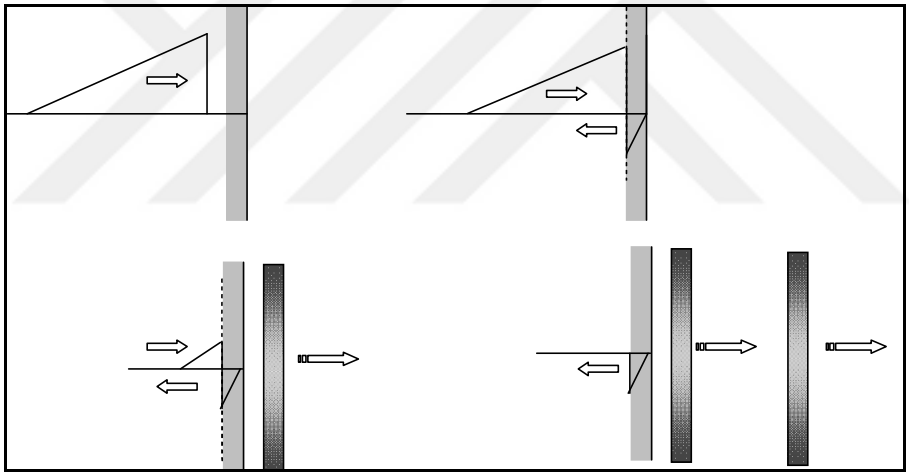
Kaya kütlesi içerisinde bu gazların hareket yönleri tam olarak bilinmese de direnci en düşük olan yolu izleyecekleri açıktır. Bu anlamda, gazlar öncelikle var olan çatlakların, eklemlerin, fayların ve süreksizliklerin ve buna ek olarak düşük kohezyonlu ya da temassız malzeme tabakaları içerisinde hareket edecektir. Şayet, bu süreksizlikler yüzeye kadar devam ediyor ise gazlar bu süreksizliklerden atmosfere çıkarak basınç düşecek, malzemenin parçalanması ve kırılmış malzemenin yer değiştirmesi azalacaktır.

Kaya kütlesi içerisinde gaz basıncının hapsedilme süresi patlayıcının cinsine, miktarına, malzeme cinsine, yapısına, çatlak ağlarına, sıkılama malzemesi cinsine, miktarına ve dilim kalınlığına bağlı olmaktadır. Hapsedilme süresi değişik malzeme, patlayıcı madde ve dilim kalınlıklarında 5-110 m/sn aralığında değişmektedir Genellikle dilim kalınlığının artırılması ve yüksek enerjili patlayıcı madde kullanımı ile gazın hapsedilme süresi artırılabilmektedir.

Kaya yapısı içinde yol alan sismik şok dalgalarının bir serbest yüzeye çarptığında karakter değiştirerek yansımaları ile açıklamaktadır. Patlatma deliğinin çeperinde ve civarında kaya yapılarının baskıya dayanımını yenerek kırılmalara neden olan enerji daha sonra sismik enerji olarak yoluna devam etmektedir. Bu şok dalgaları kompresif karakterdedir. Yansıma meydana geldiğinde tansiyonsal karaktere dönüşmektedirler (Şekil 3.8). Bu şekilde yansıyan ve tansiyonsal karaktere dönüşen şok dalgası, kaya yapısının tansiyonsal dayanımını yenerek kavlaklar oluşturmaya başlar (Şekil 3.9). Artık gücünü iyice kaybettikten sonra gerisin geriye kaya yapısı içinde elastik deformasyonlar yaparak sönümleninceye kadar yol alır.



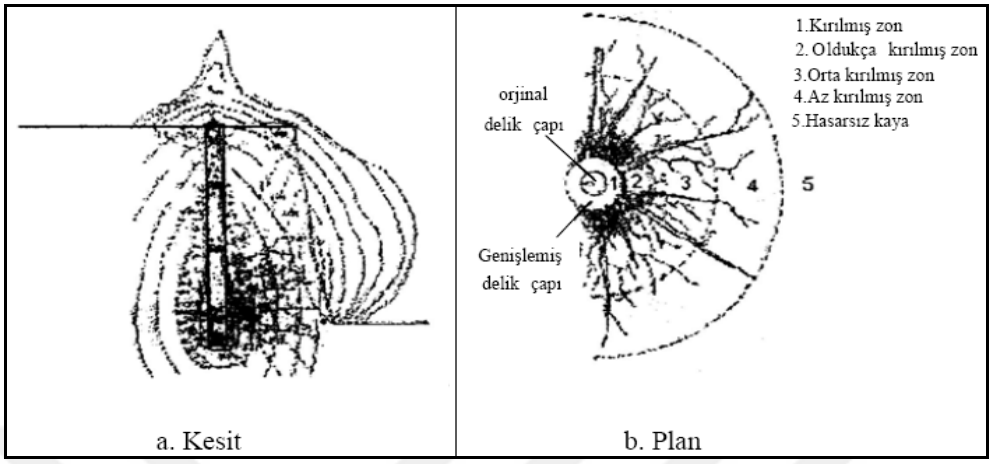
Şekil 3.8. Gaz basıncı etkisi (Erkoç, 2007)



Şekil 3.9. Patlatma sonucunda kayaçta kavlak oluşumu (Erkoç, 2007)

3.1.3.4. Kütle Taşınması

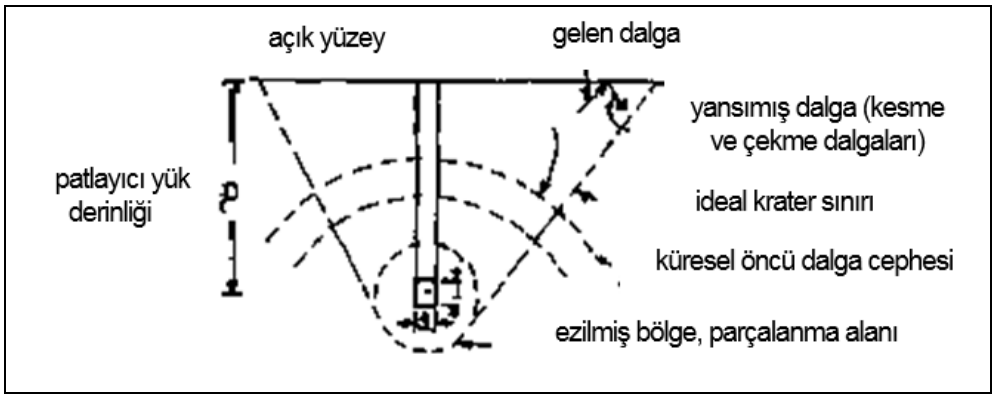
Parçalanma işleminde son aşama malzemenin hareketidir. Gaz basıncı ya da basınç ve çekme dalgalan sonucu temel parçalanma meydana gelmektedir. Parçalanan malzeme etki hızına bağlı olarak basamak tabanına düşmektedir. Kütle taşınmasında en önemli parametre delik önündeki malzeme miktarı olmaktadır. Değişik durumlara göre malzeme taşınmaları Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Parçalanma mekanizması (Erkoç, 2007)

3.1.4. Kayaların Patlatılıp Parçalanmasında Yansıma Kuramı

Bu alanda yapılan deneysel araştırmalar ile patlatmada, inanılanın tersine parçalanmanın ansal olarak oluşan gazların çevresindeki kayaları kırmasından değil, açık yüzeyden yansıyarak geri dönen çekme gerilmesi dalgalarınca gerçekleştirildiği kanıtlanmıştır. Ansal olarak etkiyen gaz, çevrede basma gerilmesi vuruşcukları (compressive stress pulse) yaratır (Şekil 3.11).

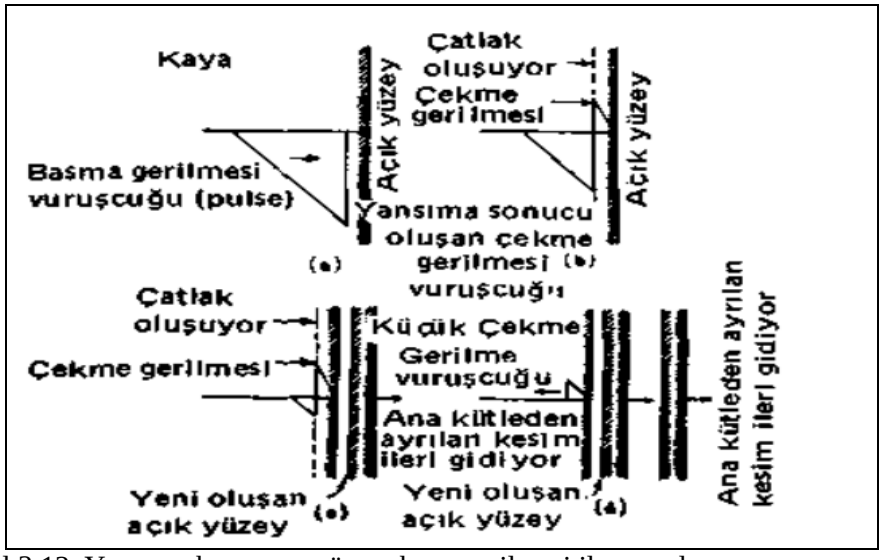


Şekil 3.11. Patlatma kuşakları (Lewis, 1964)

Bu vuruşcuklar patlatma yapılan noktadan dışa doğru dairesel olarak (radyal) ilerler. Basma gerilmesi vuruşcuğu kısa süreli bir basınç dalgası olup hızlı

yükselme, yavaş düşme süresi özelliği göstermesi ile tanınır. Patlama noktasının hemen çevresinde oluşan kırılma ve parçalanma bölgesi (alanı), sözü edilen vuruşcuklarm kayanın basma dayanımını yendiğini göstermektedir.

Bu alandan uzaklaştıkça vuruşcuğun şiddeti hızla düşer, çünkü dalga yayıldıkça enerjisi kaya tarafından yutulmaktadır. Öncü basınç dalgası, açık yüzeye ulaşıp buradan geriye yansıdığında çekme ve kesme dalgaları olmak üzere iki çeşit yansımış dalga ortaya çıkar. Yansıyarak ortaya çıkan çekme dalgası hızının daha yüksek olması nedeniyle, kayayı kesme dalgasindan daha önce etkiler. Kayanın çekmede, kesmeye göre 5-6 kat daha dayanıksız olduğu bilinmektedir. Bütün bunlar, kaya parçalanmasının asıl yansımış çekme gerilmesi (dalgası) vuruşcuğu tarafından gerçekleştirildiğini kanıtlamaktadır. Şekil 3.12, basma gerilmesi vuruşcuğu yansıması sonucu oluşan çekme gerilmesinin kayayı nasıl parçaladığını göstermektedir. Bu olgu, çekme çatlatması ile ayrılması, üçgen biçimli basma gerilmesinin yansıması evreleriyle Şekil 3.12'de açıklanmıştır. Bu şekilde: Yansıma kuramına göre çekme yenilmesi ile parçalanma görülmektedir. Basma gerilmesinin yansıma evreleri (Woodruff, 1966);



Şekil 3.12. Yansıma kuramına göre çekme yenilmesi ile parçalanma

a) Basınç vuruşcuğu açık yüzeye ulaşmazdan önce,
b) Yansıyan çekme dalgasının şiddeti kayanın çekme dayanımını yenecek düzeye ulaşarak çatlak düzlemi oluşturmaktadır.
c) Çatlak düzleminden ayrılarak kopan kısım ileri doğru gidiyor. Ayrılma düzlemi yeni bir açık yüzey işlevi görüyor ve basma dalgasının geri kalan bölümü bu yüzeyden yansıyarak, ikinci bir çatlak düzlemi oluşturuyor. Ayrılarak kopan kısım ileri doğru itilmektedir.
d) Bu ayrılarak kopma olgusu, gerilme dalgası sönünceye kadar yinelenip sürmektedir. İlk ulaşan basma gerilmesi dalgaları daha çok enerji taşıdığı için birbirini izleyen her ayrılma ve öteye itilme, bir öncekinden daha yavaş ve daha güçsüz olmaktadır. Gerçek koşullarda, küresel sayılabilen patlayıcı yüklerle yapılan deneysel atımlarda gözlenen parçalanma ve çatlak biçimleri, oluşan kraterlerin derinlik ve biçimi, kuramsal açıklamalarla uyum göstermektedir.

3.1.5. Patlatma İşleminde Kayaç Özelliklerinin Parçalanmaya Etkisi

Bir patlayıcı yükün patlatılmasıyla ortaya çıkan enerjinin, kayaya geçiş ve onu parçalaması mekaniği, karmaşıklığı nedeniyle henüz tam olarak anlaşılabilmiş ve çözülebilmiş değildir (Pfleider, 1972). Yapılan araştırmalar, parçalanmanın üç ana öğeler kümesince etkilendiğini göstermektedir. Bunlar patlayıcıya ilişkin öğeler, patlayıcı yükleme ve doldurma öğeleri, kaya öğeleridir. Patlayıcıya ilişkin öğeler: patlayıcının yoğunluğu, patlama hızı, patlama empedansı, patlama basıncı, gaz hacmi ve açığa çıkan enerji olarak sıralanmaktadır. Patlayıcının kendisi ile ilgili olan bu öğelerin, kaya parçalanmasını etkiledikleri bilinmektedir. Bu sayılanlar arasından patlama basıncı, patlayıcının kayayı parçalayabilme gücünü en iyi belirten öğe olduğu sanılmaktadır. Oluşan gaz hacminin de, zayıf ve doğal çatlaklı kayaların gevşetilmesinde ve parçalanmanın daha sonraki aşamalarında önemli olduğu sanılmaktadır. Patlayıcının patlatılması sonucu açığa çıkan enerjiye o patlayıcının gücü denilmektedir. Uzun süre patlayıcı gücü kavramı, patlayıcının

kayayı parçalama yeteneği ölçütü olarak kullanılmıştır. Ancak bu kavramın tek başına kaya parçalama düzeyini kestirmede yeterli olmadığı, gerek uygulama, gerekse deneysel çalışmalarda görülebilmektedir. Patlayıcı yükleme ve doldurmaya İlişkin öğelere; patlayıcı yükün çapı ve boyu, sıkılama dolgusu, patlayıcı yük ile delik yüzeyi arasındaki açıklık, yemleme türü, yemleme noktasının yeri olarak sıralanmaktadır. Bu öğeler, genellikle kaya parçalamasını, patlayıcının kendi özelliklerinden daha çok etkilemektedir. Gerçekten de, bazı patlayıcı türlerinde delik çapı patlayıcı yük ile delik arasındaki "fiziksel kavrama" patlayıcı yükü yemleme biçimi ve çeşidi kaya gevşetilmesini doğrudan etkilemektedir. Delik çapının patlayıcı yük çapına oranına fiziksel kavrama (sıkılık) denilmektedir. Deneysel çalışmalar fiziksel kavramanın patlayıcının iş görme yeteneğini önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

3.1.5.1. Parçalanmayı Etkileyen Kayaç Öğeleri

Yoğunluk, dalga yayılma hızı, basma ve çekme dayanımı, esneme özellikleri, özyapısal empedans, homojenlik, çatlak, boşluk, süreksizlik ve süreksizlik miktarı gibi öğelerdir.

Yoğunluk: Yoğunluk, kayanın parçalanabilme zorluğunun genel bir ölçütü olarak benimsenmektedir. Gerçekten de yüksek yoğunluklu kayaları parçalamanın, düşük yoğunluklara göre daha çok patlama basıncı gerektireceği açıktır.

Yayılma Hızı: Oluşan gerilme dalgalarının, kaya içinde yayılma hızının bilinmesi önemlidir. Kayanın dalgaları iletme yeteneği, patlama ile kayaya uygulanan gerilmenin dağılımını etkilemektedir. Öte yandan, dalganın ilerleme hızının, kayanın esneklik özelliklerinin bir ölçütü olduğu da bilinmektedir.

Özyapısal Empedans: Kaya yoğunluğu ile dalga iletme hızının çarpımına özyapısal empedans denilmektedir. Tanımlanan bu öğe, patlama dalgasının kayaya gerilme dalgası olarak geçişinin çözümlenmesinde yararlı olmaktadır.

Basma ve Çekme Dayanımı: Bu öğe, kayanın patlayıcı ile parçalanma kolaylığının belirlenip dizelenmeşinde işe yaramaktadır. Basma dayanımı/çekme

dayanımı oranının yüksekliği kayaların ortak bir özelliğidir. Bu oranın değeri, 10-100 arasında değişmektedir. Bunun nedeni, kayaların büyük çoğunluğunun çekmeye karşı çok dayanıksız olduğudur. Bu orana patlatılabilirlik katsayısı da denilmektedir. Çünkü, bu katsayının sayısal değeri ne kadar büyükse, kaya o kadar kolay parçalanabilmektedir. Diğer bir deyişle, katsayının büyük olması, kayanın çekmeye karşı o denli zayıf olduğunu, dolayısıyla yansıma kuramına göre daha kolay yenilebileceğini göstermektedir.

Esneklik: Kaya parçalanmasını etkileyen esneklik öğeleri, Young esneklik katsayısı ve Poisson oranıdır. Bu öğeler, kayanın parçalanma öncesi ve sonrasında biçim değişimine karşı gösterdiği direnmeyi göstermektedir.

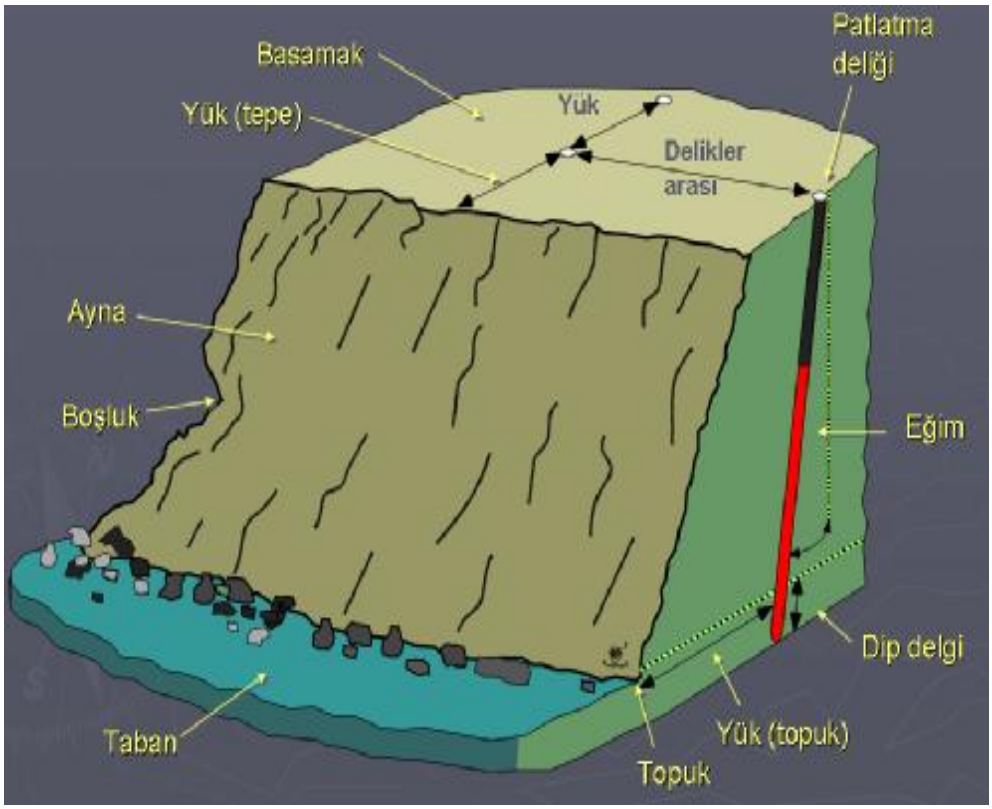
Homojenlik: Kayanın diğer önemli bir özelliği de değişken yapı göstermesidir. Kaya genellikle, mühendislikte kullanılan gereçler gibi eşyapılı (homojen) ve eşyönlü (izotropik) değildir. Kaya özellikleri, yer ve yöne göre değişiklik gösterir. Bu da kuşkusuz, parçalanmayı etkilemektedir, örneğin, eşyapılılığı (homojenliği) zayıf kayalarda çok değişken parçalanma beklenmelidir. Kayaların çoğunlukla çokyapılılık (heterojenlik) göstermesi nedeniyle, kaya patlama deneyleri kütleyi istatistiksel olarak temsil edecek biçimde gerçekleştirilmelidir.

Yapısal: Bunlar, katmanlaşma yüzeyleri, eklemler, yerkırıklar (faylar) gibi büyük süreksizliklerdir. Bu süreksizliklerin doğası, boyutu ve sayısı kaya kütlesinin parçalanmasını doğrudan etkiler. Patlatma tasarımı ve delik düzenleri bu yapısal etmenler gözönüne alınarak yapılmalıdır. Genel bir kural olarak patlayıcı yükler, süreksizlikler dışarıda bırakılacak biçimde sağlam bloklar içine yerleştirilmelidir.

3.1.6. Basamak (Kademe) Patlatmaları (Atımları)

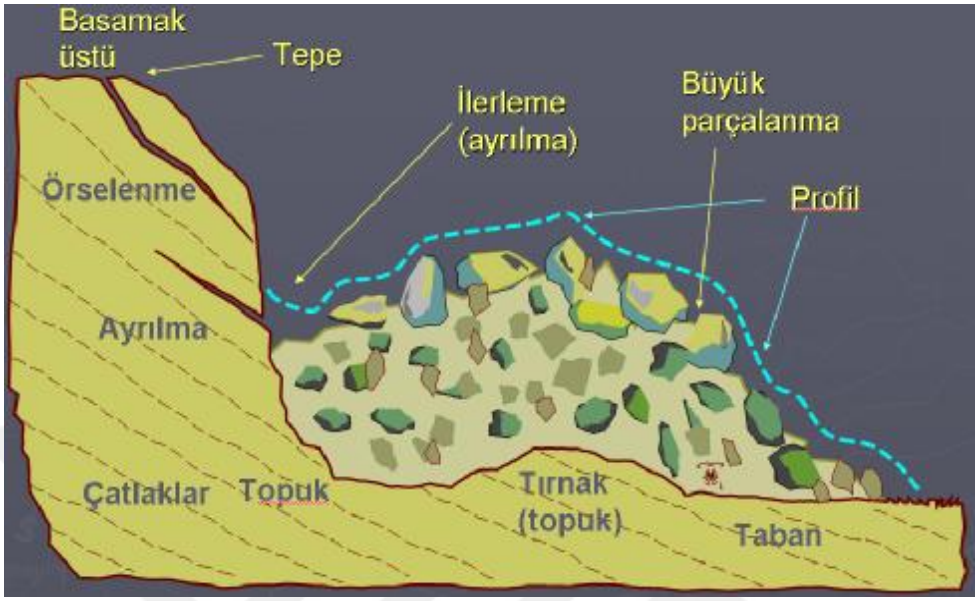
Basamak patlamasında temel prensip; bir veya birkaç sıradan oluşan delikler topluluğunun ateşlenerek serbest yüzeye doğru iletilmeleri bu suretle parçalanma olayını gerçekleştirmektir (Yılmaz, 2002). Açık maden işletmelerinde

kazı sırasında oluşturulan ayrı kotlardaki her kademeye basamak, burada yapılan atımlara da basamak patlatması denilmektedir. Her basamağın bir üst bir de alt kotu olup, bunların farklı basamak yüksekliğini belirlemektedir. Basamak alanı kayanın sağlamlığına ve yapısına (fay, eklem, tabakalanma vb.) ve delik eğimine bağlı olarak dik ve ya 90^0'den az meyilli şev oluşturur. Bu şev basamağı oluşturan kayanın parçalanmasına özendiren ve parçalanmış kayanın ileri fırlatılabilmesine imkân veren bir serbest yüzey olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.13'de basamak patlatması (atımı) öncesi plan görünüşü verilmiştir.

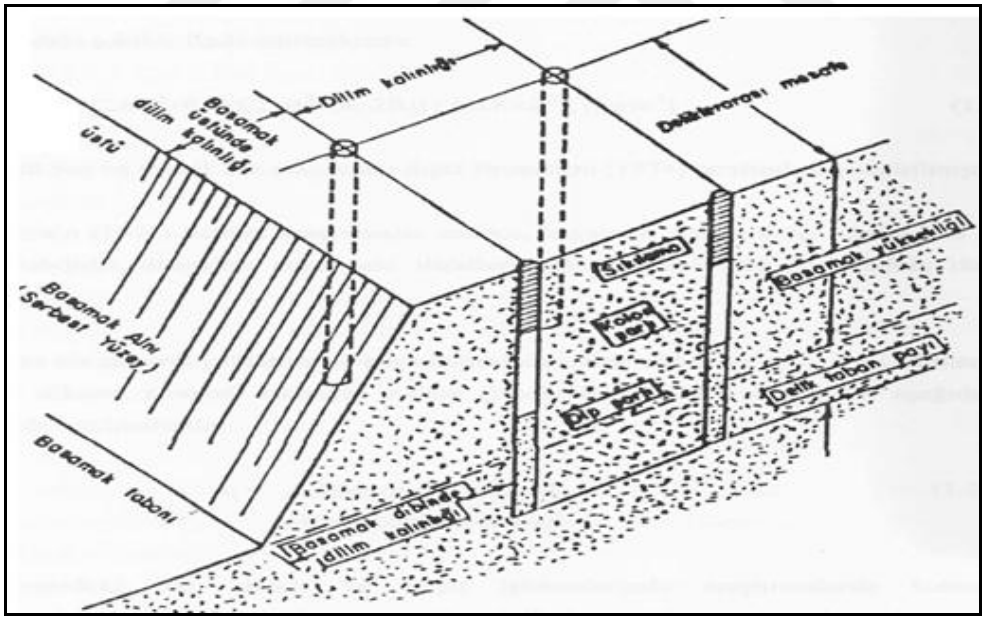


Şekil 3.13. Basamak patlatması (atımı) öncesi plan görünüşü (Orica-Nitro, 2009)

Şekil 3.14'te basamak patlatması (atımı) sonrası kesit görünüşü, şekil 3.15'te basamak patlatması (atımı) plan görünüşü verilmiştir.

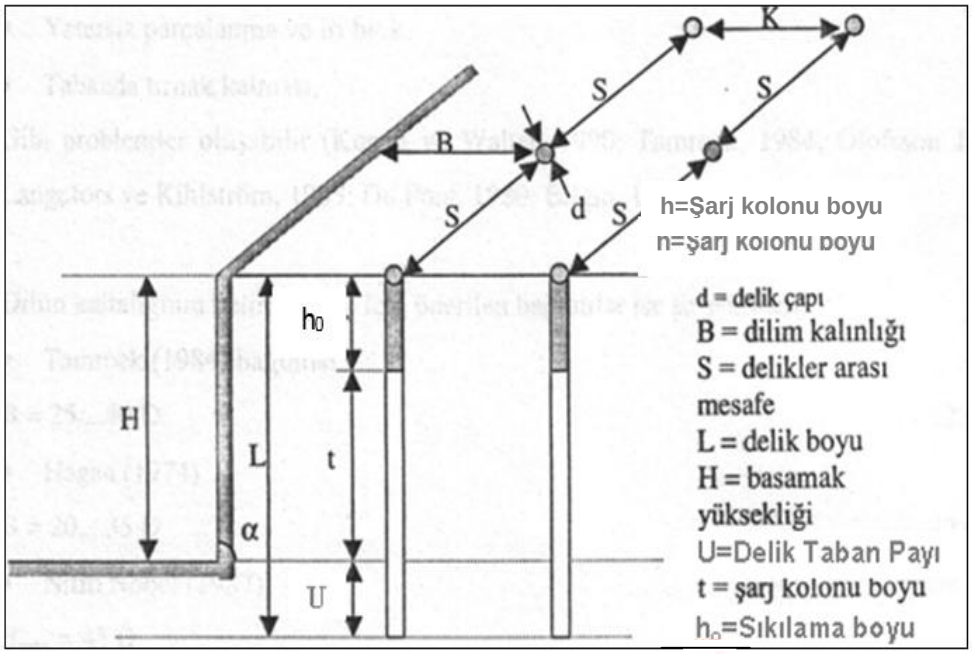


Şekil 3.14. Basamak patlatması (atımı) sonrası kesit görünüşü (Orica-Nitro, 2009)



Şekil 3.15. Basamak patlatması (atımı) plan görünüş (Orica-Nitro, 2009)

Patlatma tasarımı geometrik parametrelerinin basamaktaki görünümü ise şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Patlatma (atımı) tasarımı geometrik parametrelerinin basamaktaki görünümü (Özer, 2001)

3.1.6.1. Basamak Patlatma (Atımı) Tasarımında Etkili Parametreler

Açık ocak işletmeciliğinde, birbirini izleyen delme-patlatma, kazı-yükleme, nakliye, kır (özellikle birincil kırma) ve/veya tumba gibi faaliyetlerin tümünü birden dikkate alır kaydıyla, ekonomik ve emniyetli bir patlatmanın gerçekleşmesi, ancak güvenilir bir patlat taşanım ile mümkün olabilmektedir.

İyi ve güvenilir bir patlatma tasarımından kastedil yükleyici ekipmanın verimliliği ve/veya müteakip kullanım açısından arzu edilen parçalan: derecesinde, yeterince kabarmış, kısmen ötelenmiş, gevşek bir yığının elde edilmesine izin veren ve yersarsıntısı, hava şoku, fırlayan kaya gibi çevresel sorunları olmayan ya da en çekilmiş bir patlatmanın sonuçlarını önceden tahmin etmektir.

Öte yandan doğrudan ve riperleme ile yapılabilecek kaya kazısının, ancak belirli değerlere kadar olan dayanımları mümkün olabildiği bilinmektedir. Bu nedenle delme ve patlatma, çoğu işletmede, üretim sürecinin ilk işlemini

oluşturmaktadır. Genel olarak daha fazla delik delmek ve/veya daha fazla patlayıcı madde kullanmak, delme ve patlatmanın maliyetini arttırırken, daha homojen ve daha küçük parça boyutunda bir yığın oluşturulması ihtimalini artıracaktır. Ancak şekilde elde edilen bir yığınla ilgili olarak, müteakip işlemlerin maliyetlerinde belirgin azalma söz konusu olabilecektir. Bununla birlikte, yalnızca kullanılan patlayıcı madde enerjisi arttırılabilirse, delik delme ve patlatma işleminde ek bir maliyete gerek kalmaksızın istenen parçalanma elde edilebilecektir. Bu çerçevede, patlatma tasarımında; iki temel son yanıt aranmaktadır (Kahriman, 2004).

Delme-Patlatma, kaya kütlesini kontrollü bir şekilde parçalayarak ana kütleden ayırma işlemidir. Bu nedenle delme patlatma işi Cevher Hazırlama tesisi için büyük miktarda iyi parçalanmış kaya kütlesi ve geride kalan şevde, şev stabilitesini bozmayacak bir delik geometrisi ile dizayn edilmelidir.

Yani iyi parçalanmış, kolay yüklenebilir gevşeklikte bir yığın elde etmek ve bu işlem sırasında çalışanlara, makinalara ve çevreye zarar vermeyecek veya zora kaçınılmazsa en az zararı verecek bir patlatma dizaynının yapılması gerekir. Bu ise bazı etkenlere bağlıdır. Bunlar;

A. Doğal Faktörler

- Jeoloji
- Malzeme sertlik ve özellikleri
- Yapısal süreksizlikler
- Kayanın patlatılabilirliği
- Kayanın patlamaya karşı direnci
- Hava durumu

B. Kontrol Edilebilir Faktörler

- Dilim kalınlığı (B)
- Delikler arası mesafe (S)

- Basamak (ayna) yüksekliği (L) ve delik boyu (H)
- Sıkılama boyu (h_o) ve malzemesi
- Delik eğimi
- Delik taban (tırnak) payı (dip delgi) (U)
- Delik çapı (d)
- Delik yeri
- Şarj miktarı ve dağılımı
- Yemleme
- Ateşleme sırası, yönü ve gecikme süreleri
- Atım grubu şekli ve boyutu

C. Teknik Parametreler

- Detenasyon hızı
- Detonasyon basıncı (gücü)
- Birim hacim (özgül) ağırlık
- Detenasyon ısısı ve gaz verimi
- Patlatma ısısı ve gaz hacmi
- Suya karşı dayanıklılık
- Patlayıcı madde seçimi

D. Ekonomik Parametreler

- Delik çapı
- Dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe
- Delik taban payı
- Patlayıcı madde cinsi, türleri ve miktarı
- Ateşleme sistemi, gecikme zamanı ve ateşleme düzeni

3.1.7. Gevşetme Patlatmaları (Atımları)

Gevşetme patlatması günümüzde uygulama alanı bulan yüzey patlatmasından (açık işletme patlatması) farklı bir patlatma sistemi değildir. Bu patlatma sistemindeki amaç, izleyen işlemler için örtü tabakası veya cevherin gevşetilmesidir. Bu patlatma sisteminde de önceki bölümlerde bahsi yapılan patlatma tasarımları aynen uygulanır. Patlatma tasarımının en can alıcı noktası, bir kaya kütlesini gevşetebilmek için deliğe konacak patlayıcı miktarını saptamaktır. Patlayıcı miktarını doğru saptamak ise patlayıcı birim miktarının, kg/m^3, bilinmesini gerektirir. Ne var ki, belirli bir kaya kütlesi için gereken en uygun patlayıcı yük miktarını seçmek için yararlanılabilecek çok az sayıda bağıntı ve kural bulunmaktadır. Bunu belirlemenin en kolay yolu gerçek işletme koşullarında yapılan atımların gözlenip izlenmesidir. Ancak bu yöntem de, bu atımların etkinliğinin tartılabileceği sağlam bir ölçüt ve başlangıç noktası olmadan çok masraflı olabilir (Kılıç ve diğ., 2010).

3.1.8. Patlatma Düzeni

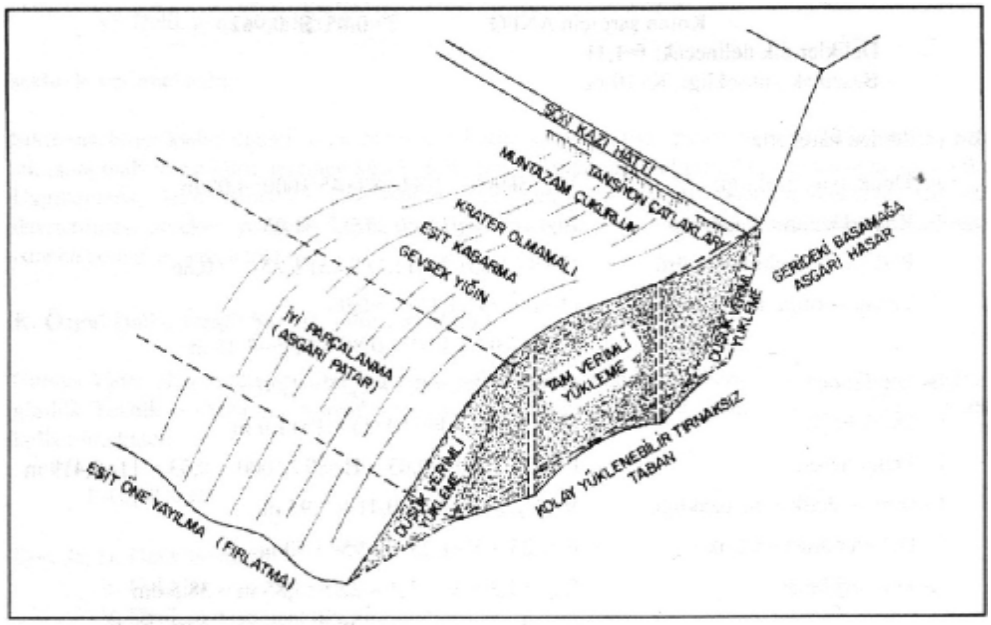
Delme ve patlatma operasyonu, maliyet optimizasyonu için çok önemlidir. Optimum dizayn, gerekli tane boyutu, yumuşak kolay kazıtabilir ve düzgün pasa geometrisi düzgün taban ve şev, taş fırlaması ve vibrasyonu kontrolü sağlaması açısından önemlidir. Hatalı bir delme patlatma düzeni, delme ve patlayıcı maliyetinin yanı sıra, yükleme, nakliye ve hatta kırma maliyetlerinin de yükselmesine, aynı zamanda iş gücü kaybım neden olmaktadır.

3.1.9. Yüzey Patlatma Performansının Değerlendirilmesi

Patlatma sonrasında, tozlar yatıştıktan ve patlama sonucu ortaya çıkan zehirli gazlar dağıldıktan sonra patlatma bölgesi mutlaka incelenmelidir. Bu inceleme patlatma etkinliğinin değerlendirilmesi, böylece varsa hataların bulunması ve bir sonra yapılacak patlatmada bunların giderilmesi, ayrıca

patlamaksızın kalmış lağım var ise bunların tespiti ve gerekli önlemler alınarak güvenliğin sağlanması için zorunludur.

Patlatma etkinliğinin değerlendirilmesi öncelikle yığın şekli ve geometrisi, ortalama parça boyutunun saptanması, büyük parçaların (patar veya takoz) olup olmadığı, varsa yüzdesi vb. incelenerek yapılabilir. Bu konuda yapılması gerekenler Hoek ve Bray'ın (1991) ve Bilgin'in (1986) önerilerinden de yararlanılarak aşağıda sırayla verilmiş ve Şekil 3.17'de açıklanmıştır.



Şekil 3.17. Başarılı bir atımın başlıca göstergeleri (Hoek ve Bray, 1991)

1. Parçalanmış malzeme eşit olarak ve yeterince ileri yayılmalı ve aşırı ötelenmiş kütle veya münferit bloklar görülmemelidir.
2. Etkin bir yükleme ve yüksek kepçe doluluk yüzdesi için yığındaki en iri parçanın boyutu, ekskavatör veya yükleyici kepçesinin kısa boyutunun üçte birinden büyük olmamalıdır. Bunun üst sınır olduğu, yüksek kepçe doluluk faktörü için daha küçük boyutun tercih edilmesi gereği ortadadır.

3. Parçalanma homojen olmalı ve patar atımı gerektiren büyük parçaların sayısı en az sayıda bulunmalıdır.
4. Yığın gevşek ve kolay kazılabilir olmalıdır. Diğer bir deyişle ekskavatör kazı işinden çok yükleme işi yapmalıdır. Bu amaçla zaman tutularak (kronometraj) kepçe döngü zamanının tespiti ve birbirleriyle karşılaştırılması yararlı olur.
5. Öte yandan yığın yüksekliği ekskavatörün kepçesini, kepçenin kaldırılabileceği en fazla yüksekliğe kaldırmasına kadar tümüyle ve bir kerede doldurmasına imkan vermelidir. Bununla birlikte yığının etek ve arka bölümlerinde bir miktar düşük verimli yükleme bölgesi olması kaçınılmaz olup. Bunlar en az düzeyde olmalıdır.
6. Parçalanmış yığın eşit olarak kabarmış gözükmelidir.
7. Yığın üzerinde ağızdan püskürmenin göstergesi olan kraterler (çukurlar), patlamamış lağımın işareti olan düz ve bozulmamış yüzeyler ile tepecikler görülmemelidir.
8. Yığının arka tarafında parçalanmış malzemenin yeterince ileri atıldığının göstergesi olan muntazam bir çukurluk gözlenmelidir.
9. Son kazı hattı net ve belirgin olmalıdır. Bunların önünde genellikle tansiyon çatlakları görülür.
10. Son kazı hattının gerisindeki basamakta asgari hasar (geri çatlatma) ve en az sayıda çatlak gözlenmelidir.
11. Tabanda kazı işini güçleştiren tırnaklar (parçalanmamış kısımlar) kalmamalıdır.

Genel olarak yeni bir patlayıcı maddenin, ateşleme yönteminin veya kazı yöntemlerinin test çalışmalarının başlangıç aşamalarında, işin iyi planlanması, basan için pek çok gerekli operasyonlardan sadece bir tanesidir. Yöntem üretim ölçeğinde nihai olarak deneneceği vakit, arazi işlemlerinin farklı adımların da izlenmesi gerekmektedir. Arazideki uygulama çalışmaları sırasında, pek çok şey

yanlış sonuçlanabilir. Bazı şeyler kötü çalışırsa ortaya çıkan sonuçlardan doğru değerlendirmeler yapmak son derece güçtür. Göz önünde tutulması gereken pek çok sayıda parametre söz konusu olması dolayısıyla olmakta ve kötü bir patlatmanın etkilerini gidermek üzere, değiştirilebilecek olan parametreyi tanımlamakta emin olmak zorunluluğu vardır. Bu nedenle, bir deneme çalışmasının başlangıç aşamasında, bir patlatma performans kontrol öğesiyle birleştirilmesi önerilmektedir. Patlatma performans kontrolü aşağıdaki parametreleri kapsamalıdır.

Patlatma Performans Kontrolünde Etkili Paramaetreler:

1-Patlatma Geometrisi

- Şarj lokasyonu
- Serbest yüzey lokasyonları
- Delik pozisyonu
- Kaya yapısı

2-Ateşleme Performansı

- Gecikme zamanı kontrolü
- Detonasyon

3-Detonasyon Performansı

- Detonasyon hızı
- Maksimum parçacık
- Basınç ölçümleri

4-Geri Çatlak

- Haritalama (inceleme)
- Serbest yüzey

5-Parçalanma Derecesi

- Elek analizi
- Yığın fotoğrafı
- Yığın yükleme miktarı
- Askıda kalan blok, tırnak
- Blok sayımı

6-Patlatma Hasarı

- Karotlu delme
- Delik içi kamera
- Elektensometre
- Delik simetrisi
- Yeraltı suyu değişimi
- Geçirgenlik testleri
- PPV ölçümleri

3.1.9.1. Patlatma Geometrisi

Patlatma geometrisi, şarjın ve serbest yüzeylerin tam olarak pozisyonlarının bilinmesini içermektedir. Delik içi inceleme ile her hangi bir derinlikte, serbest yüzeye göre kaya yapısı ve delik pozisyonları öğrenilebilir. Bu suretle optimum bir kırma işlemi için her bir şarjı pozisyonlama askıdaki ve hesaplama imkanını artırır. Bu aynı zamanda, cevher seyrelmesini önlemek amacıyla askıdaki zayıf kaya yapısında hasar meydana getirmemek için, bu bölgeye yakın delik şarjının ayarlanması imkanını da verir. Dataların dikkatlice elde edildiğini ve gelecekteki atım işlemleri arasında mukayese yapmak açısından daha daha güvenli olacaktır.

3.1.9.2. Ateşleme Performansı

Ateşleme performansı, atım grubu yakınına yerleştirilen uygun araçlarla (ivme ölçer titreşim ölçer v.s) yer sarsıntısı veya detonasyon hızı ölçümleriyle kontrol edilebilir. Sonuçlar, eğer herhangi bir deformasyon dalgasının başlaması yakın iki yemleme noktası arasında ortaya çıkmış ise özellikle ateşleme zamanı ve gecikme aralığının belirlenmesine yönelik soruların yanıtlanmasında kullanılabilir.

3.1.9.3. Detonasyon Performansı

Detonasyon performansı, detonasyon hızı ölçer veya akselerometre ile ölçülebilir. Titreşim ölçümleri yapıldığı zaman, dalga şekli ve sinyal genliği, tüm patlayıcının uygun bir şekilde işlev görüp görmediğinin analizi konusunda

yardımcı olabilir. İki delik arasında oluşan çatlaklardan gaz geçişi veya zemin hareketiyle şarjın (sağırlaşması veya şok dalgasının duyarsızlaşması, komşu şarjları da etkileyebilir. Şarjlarda nem kontrolü ve laboratuvar verileriyle mukayese AN-FO tipi patlayıcılar için düşük detonasyon performansım açıklamada yardımcı olabilir. Mikrocam balon hassasiyetli patlayıcılar özellikle delikler arasında herhangi bir çatlak sistemi söz konusu ise, komşu deliklerdeki dinamik yükleme nedeniyle duyarlılıklarını yitirebilirler, su dolu deliklerde basınç ölçümü bu etkiyi yorumlamakta kullanılabilir.

3.1.9.4. Geri Çatlak

Her atım sonunda, geri çatlak performansı da kontrol edilmelidir. Bu bilgi; kaya yapısının dayanımı ve oryantasyonunun açıklanması, suretiyle detonasyon performans verileri ile birlikte kullanıldığında bir sonraki atımı daha ileri düzeyde optimize etmek için, patlatma tasarımlarında ani değişiklikler yapma olanağı verecektir.

3.1.9.5. Yığın Parçalanma Derecesi

Yığın parçalanma; derecesi mümkün olduğunca her atımdan sonra gözlemlenmelidir. Bütün madencilik yöntemleri, hızlı parçalanma derecesi incelemesine izin vermemektedir. Ancak, iyi bir planlama koordinasyonuyla, söz konusu faaliyeti gerçekleştirmek olanak dahiline alınabilir. Boyut dağılımı ve parçalanmış kayanın yığın şekli deneme atımlarının değerlendirilmesin de ilave bilgiler sunacaktır. Parçalanma derecesi etüdü, en doğru ve en iyi olarak elek„ analizleriyle olabilmektedir.

Bununla birlikte bu yöntem çok pahalı ve emek yoğundur. Yığın fotoğrafları veya çerce şeklindeki referans ızgaralar kullanmak suretiyle de parçalanma derecesi hakkında belin bilgiler elde etmek söz konusu olabilmektedir. Yığın yükleme zamanı ve iri blok sayımı diğer yararlı parametrelerdir. Günümüzde geliştirilen gerçek zamanlı görüntüleme teknikle bir kamyon

üzerindeki veya bir konveyör üzerinde akmakta olan kırılmış kaya malzemesinin parça boyut dağılımının sürekli bir şekilde kaydedilmesine izin vermektedir.

3.1.9.6. Patlatma Hasarı İncelemesi

Patlatma hasarı gözlemleri (özellikle madencilik alanı üzerindeki ve çevresinde zeminlerde) seçilen lineer şarj konsantrasyonlarının ve patlatma tasarımının optimum ve amaçlara uygun olup olmadığının değerlendirilmesinde esastır.

3.2. Parça Boyut Dağılımı

Parça boyut analizi, cevher hazırlamanın her adımında kullanılan bir yöntemdir. Özellikle serbestleşmenin saptanmasında, kırma, öğütme, sınıflandırma ve susuzlandırma gibi birim işlemlerin tasarımında, performans analizinde veya prosesin kontrol ve anlaşılmasında başvurulan ana araçlardan biridir. Tane irilik dağılımının tayininde birkaç yöntem kullanılmaktadır (Çizelge 3.2). Bu yöntemler vasıtasıyla farklı fiziksel teknikler kullanarak bir tanenin boyutları belirlenmektedir.

Çizelge 3.2. Tane boyut analiz yöntemleri

Yöntem	Tane Boyutu (µm)
Eleme (Kuru ve Yaş)	100000-10 µm
Elütrasyon	5 µm'e kadar
Sedimantasyon	300-0.01 µm
Elektriksel Direnç	800-30 µm
Mikroskop	0.001 µm'e kadar
Miktoelek	10 µm'e kadar
Lazer Işını Saçınımı	-0.02 µm'e kadar

3.2.1. Parça Boyut Dağılımı İle İlgili Çalışmalar

3.2.1.1. Kuz-Ram Modeli

Kuz-Ram modeli ortalama parça boyutunu veren bir denkleme, kayaç yapısını belirleyen bir yaklaşıma ve parça boyut dağılım eğrisinin çizilmesinde yararlanılan Rosin−Rammler denklemine dayanır. Günümüzde en sık başvurulan ve güvenilirliğini kanıtlamış olan yaklaşım olarak nitelendirilebilir (Kuzu ve Hüdaverdi, 2006). Kuz-Ram modelinin temelini oluşturan Kuznetsov denklemi, 1973 yılında V.M. Kuznetsov tarafından 'Fizikotekhnicheskie Problemy Razrabotki Poleznykh Iskopaemykh' adlı dergide Rusça yayınlanan bir makale ile ortaya konmuştur.

Ortalama parça boyutunu veren Kuznetsov denklemi şu şekilde ifade edilir:

$$X_{50} = A\left(V_0/Q_e\right)^{0.8} \times Q_e^{0.167} \times \left(115/E\right)^{0.633} \quad (3.1)$$

Burada,

X_{50}: Ortalama parça boyutu (cm)

A: Kaya faktörü (1−13)

Q_e: Delik içindeki patlayıcının miktarı (kg)

V_o: Delik başına kayaç hacmi: BxSxH

B: Dilim kalınlığı (m)

S: Delikler arası mesafe (m)

H: Basamak yüksekliği (m)

E: Patlayıcının karşılaştırmalı ağırlıkça kuvvetidir (ANFO = 100)

3.2.1.2. Swebrec Denklemi ve KCO (Kuznetsoz-Cunningham-Oucterlony) Modeli

Kuz-Ram modelinde parçalanma eğrisini elde etmek için Rosin-Rammler eşitliği kullanılmaktadır. Swebrec'in (İsveç Patlatma Araştırmaları Merkezi)

araştırmacıları Rosin-Rammler denkleminin parçalanma eğrisini doğru tanımlamadığını öne sürmektedirler. Daha evvel SveBeFo adıyla var olan İsveç Kaya Mühendisliği Araştırma Kurumu'nun gerçekleştirdiği araştırmalardan yararlanarak parçalanma eğrisini yeniden tanımlamışlardır. Bu çalışma Avrupa Birliği tarafından finanse edilen 'Less Fines Production in Aggregate and Industrial Minerals Industry' projesi kapsamında ortaya konmuştur. Araştırmaya göre birçok dağılım Rosin-Rammler'den iki noktada sapmaktadır.

3.2.1.3. JKMRC Tarafından Geliştirilen Modeller

Kuz-Ram modelinin ince boyutlu malzeme miktarını başarıyla kestiremediği düşüncesinden yola çıkan Avustralya'da yerleşik, Julius Kruttschnitt Mineral Research Center (JKMRC) adlı araştırma kurumu, Kuz-Ram modelini modifiye ederek iki yeni model ortaya koymuştur. Bunlardan birincisi 'Ufalanma Zonu Modeli' (CZM), diğeri ise 'İki Bileşenli Model' (TCM)'dir.

3.2.1.4. Chung ve Katsabanis'in Modeli (CK Modeli)

Chung ve Katsabanis (2000) literatürde yer alan atımlardan yararlanarak Kuz-Ram modelinin modifikasyonu şeklinde yorumlanabilecek yeni bağıntılar ortaya koymuşlardır. Kuznetsov denklemi belirli bir kayaç tipi ve patlayıcı için, özgül şarj ve delik başına düşen patlayıcı miktarını kullanarak ortalama parça boyutunu hesaplamaktadır. Önemlerine rağmen patlayıcının kayaç içinde dağılımı ve zamanlama yani gecikme aralığı modelde kullanılmamaktadır.

3.2.1.5. Larrson'un Denklemi

Larsson 1973 yılında ortalama parça boyutunu veren bir formül geliştirilmiştir. Buradaki K_{50} malzemenin %50'sinin geçtiği kare elek açıklığıdır.

$$K_{50} = S \times e^{(0.58 \times lnB - 0.145 \times ln\left(\frac{S}{B}\right) - 1.18 \times ln\left(\frac{\sigma_c}{c}\right) - 0.82} \quad (3.2)$$

Burada;

B: Dilim kalınlığı (m)

S/B: Delikler arası mesafe / Dilim kalınlığı oranı

C_e: Özgül şarj (kg/m^3)

c: Kaya sabiti

S: Patlatılabilirlik, olarak tanımlanmaktadır.

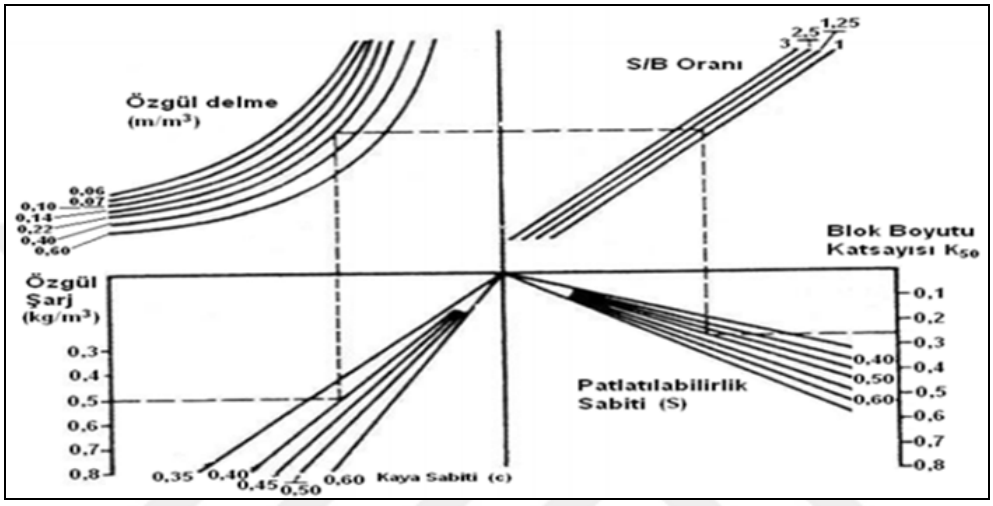
Kaya sabiti değeri kayacı parçalamak için gerekli olan jelatin dinamitin özgül şarj değeri olarak tanımlanmaktadır. Bu değerin 0,3-0,5 kg/m^3 arasında değiştiği belirtilmektedir. Görüldüğü üzere kaya sabiti olarak Langefors'la aynı değer 29 kullanılmıştır. Kaya sabiti değeri, kayacın patlamaya karşı direncini, sertliğini, sıkılığını ortaya koyan bir değerdir. Dikkat edilmesi gereken Langefors'un da Larsson'un da bu değeri jelatin dinamiti göz önüne alarak önermiş olduğudur (Jimeno ve diğ., 1995).

Burada patlatılabilirlik (S) kayacın homojen veya heterojen bir yapı içinde olup olmadığı, süreksizliklerin durumu göz önüne alınarak hesaplanır. Çok çatlaklı kayaçta S=60, çatlaklı kayaçta S=55, ince çatlaklı (hair cracks) normal kayaçda S=0,50 göreli olarak homojen kayada S=0,45 homojen kayaçda 0,40 değerini almaktadır.

Patlatılabilirlik için gerekli katsayılar hesaplanırken, patlayıcı mühendisinin yorumu yine ön plana çıkmaktadır. Çok çatlaklı kayaç, çatlaklı kayaç, normal kayaç nitelemeleri kullanıcı yorumuna açıktır. Ayrıca patlatma dizaynının iki önemli parametresi, basamak yüksekliği ve sıkılama bağıntıda yer almamaktadır. SVEDEFO (İsveç Patlatma Araştırmaları Kurumu) formülün içine sıkılama ve delik boyu değerlerini de katarak formülü geliştirmiştir (Jimeno ve diğ, 1995).

$$K = S \times [1 + 4{,}67(r/L)^{2{,}5}] \times e^{0{,}29\ln B^2 \sqrt{\frac{S}{1{,}25}} - 1{,}18\ln(\frac{C_e}{c})^{-0{,}82}} \qquad (3.3)$$

Burada, T sıkılama mesafesini (m), L delik boyunu (m) göstermektedir (Jimeno ve diğ, 1995). Larsson'un bu çalışması SVEDEFO'nun katkısıyla bir nomogram olarakta ifade edilmeye çalışılmıştır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Larsson'un blok boyutunu belirlemek için kullandığı nomogram (Jimeno ve diğ, 1995)

3.2.1.6. Saroblast Denklemi

Kou ve Rustan (1993) arazide yaptıkları ölçmelere ve literatür çalışmalarına dayanarak bir model geliştirmiştir. Bu model Saroblast bilgisayar yazılımının da temelini oluşturmaktadır.

$$X_{50} = \frac{0{,}01}{B^{0{,}8}} \times \frac{(pc^{0{,}8}) \times (BS^{0{,}8})}{n^{0{,}7} \times D^{0{,}4} \times q} \qquad (3.4)$$

X_{50}: Ortalama parça boyutu (cm)

B: Dilim kalınlığı (m)

S: Delikler arası mesafe (m)

D: Patlayıcının detonasyon hızı (m/s)

Q: Özgül şarj (kg/m^3)

n: Ltot/H (sıkılama etkisi için)

L_{tot}: Şarj yüksekliği, H= Delik boyu

ρc: Empedans

Modeldeki kayaç faktörü empedanstır. Empedans kayaç yoğunluğu ve kayacın 'P' dalgası iletme kapasitesi ile ilgili bir kayaç özelliğidir. Bu parametrenin bulunması, tespiti nispeten güçtür. Bu durum modelin kullanımını güçleştirmektedir (Ouchterlony, 2003).

3.2.2. Parça Boyutu Verimlilik Analizi

Patlatma (atım) sonrası parça boyutunun istenilen verimlilikte olup olmadığını tespit edilmesi büyük bir önem taşımaktadır. Bunu belirlemek amacıyla birçok yöntem geliştirilmiştir.

Büyük ölçekli çalışmalarda, parçalanmanın, sayısal olarak tahmini oldukça zor bir işlem, Tam ve gerçekçi bir parça boyutu tahmin metodu; tüm yığının elek analizine tabi tutulması üretim ölçeğinde, bu işlem hiç de pratik ve ekonomik olmayan uygulanamayacak yöntemdir. Elemeye yakın sonuç verebilecek güvenilir elemenin boyut tespitinin başka kantitatif analiz metodu da henüz bilinmemektedir. Herhangi bir nümerik tahmini malzemenin parça boyut dağılımını tespit etmek patlatma optimizasyonu ve değerlendirilmesi açısından bir ileri aşama sayılmaktadır. Çok yaygın, olarak uygulana gelmekte olan başlı parça boyut analizi yaklaşımları bulunmaktadır.

Bu yaklaşımlar;

- Elek analizleri
- Görsel-gözlemsel analizler
- Fotoğraflama tekniği
- Geleneksel ve yüksek hızlı fotogrametri

- Patar sayımı yöntemi
- İkincil patlatmalardaki (atımlardaki) patlayıcı madde tüketimi
- Ekskavatör yükleme performansı
- Primer (birincil) kırıcı performansı

3.2.2.1. Elek Analizleri

Bu yöntem, en doğru ve güvenilir sayısal boyut dağılımı analizi tekniğidir. Tüm yığının komple elenmesini gerektirir. Büyük atımlarda uygulanması teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilir değildir. Ancak küçük çaplı çalışmalar için düşünebilir. Tane boyut analizleri genellikle 38 mikrona kadar olan iri boyutlarda standart laboratuvar elekleri kullanılarak yapılmaktadır. Bunun nedeni yöntemin çok basit ve az masraflı oluşu, ayrıca malzemenin fraksiyonlarına rahatlıkla ayrılabilmesidir. Ayrıca geniş bir tane boyutu aralığında kullanılmaya imkan vermesi nedeniyle endüstride kullanım yeri bulan ve en yaygın bir şekilde kullanılan yöntemdir. Laboratuarda boyut dağılımını belirlemek amacıyla numune elek açıklıkları birbirinden farklı olan bir dizi standart elekten geçirilir. Eleme işlemine en büyük delik açıklıklı elekten başlanarak gittikçe daha küçük delik açıklıklı eleklerle devam edilir. Bu işlem otomatik veya elle yapılabildiği gibi kuru veya yaş olarak ta gerçekleştirilebilir. (Saklara ve diğ, 2000)

- **Elle Eleme:** 0,038 mm'den iri taneler için uygulanabilir. Bu tür elemede elekler teker teker kullanılır. Eleme işlemine en iri elekten başlanır.
- **Otomatik Eleme:** Genellikle (6 mm - 0,038 mm) arasındaki tane boyutlarına uygulanır. Çoğunlukla altı elekten oluşan bir elek dizisi kullanılır ve eleme zinciri 5 ile 20 dakika tutularak ROTAP adı verilen otomatik eleme cihazına takılır.
- **Kuru Eleme:** Taneler arası topaklanma ve yapışmanın olmadığı numunelere uygulanır. Özellikle killi malzemelerde kuru eleme işleminin

çok dikkatli uygulanması gerekir. Fraksiyonlara ait ağırlıklar kullanılarak elek analiz çizelgesi hazırlanır.

- **Yaş Eleme:** Genellikle kuru elemenin güç olduğu killi, yapışkan ve çok küçük boyutlu malzemelerin elenmesinde kullanılır. Eleme işleminde en düşük fraksiyondaki (-0.106 mm) ürünü elde etmek amacıyla filtre kâğıdı kullanılır. Eleme işleminden sonra elde edilen malzemeler $+105^0$C'deki etüvde sabit ağırlığa gelene kadar kurutulur. Fraksiyonlara ait ağırlıklar kullanılarak elek analiz çizelgesi hazırlanır. Eleme işlemlerinde İngiliz Standarları (BS) ve Amerikan Standartlarına (ASTM) göre elekler kullanılabilmektedir.

3.2.2.2. Görsel-Gözlemsel Analizler

Uygulamanın kolaylığı nedeniyle en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde oluşan yığın, atımın hemen sonrasında uzman tarafından gözlenmekte ve sübjektif bir tahininde bulunulmaktadır. Genel olarak yığın üst yüzeyi çoğu zaman yanıltıcı olabileceğinden bu teknik güvenilir değildir. Şekil 3.19'daki resimde patlatma sonrası genel görünüm verilmektedir.



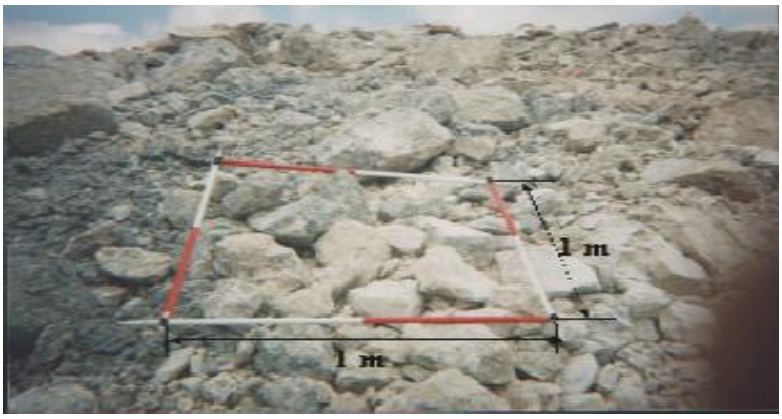
Şekil 3.19. Patlatma (atım) sonrası parça boyutu (yığının) görünümü

3.2.2.3. Fotoğraflama Tekniği

Bu teknikle değişik analiz metotları kullanılarak yığın boyut dağılımı değerlendirilmektedir. Araştırmacılar patlatılan yığının %15'ini veya daha azının fotoğrafını çekerek bir ızgara ile analiz etmişlerdir. Sonuçlan, ortalama boyut dağılımından %9,6'lık bir sapma göstermiştir. Teknikteki daha ileri aşama, üç boyutlu tahmin amacıyla fotoğraf görüntü alanının içine ölçekli hedefler koymak olmuştur. Daha sonra yığının yeniden ortaya çıkan her bir kısmının fotoğraflarını kullanmayı kabul edilmiştir. Tüm bu bahsedilen fotoğraf esaslı yöntemler zaman kaybedici ve parçalanmanın doğasını sayısal olarak ifade etmede yeterince başarılı olamamıştır. Yüksek hızlı dijital kamera (fotoğraflama tekniği) kullanımıyla, parça boyut dağılımının zamanla değişim ortaya konulmuştur.

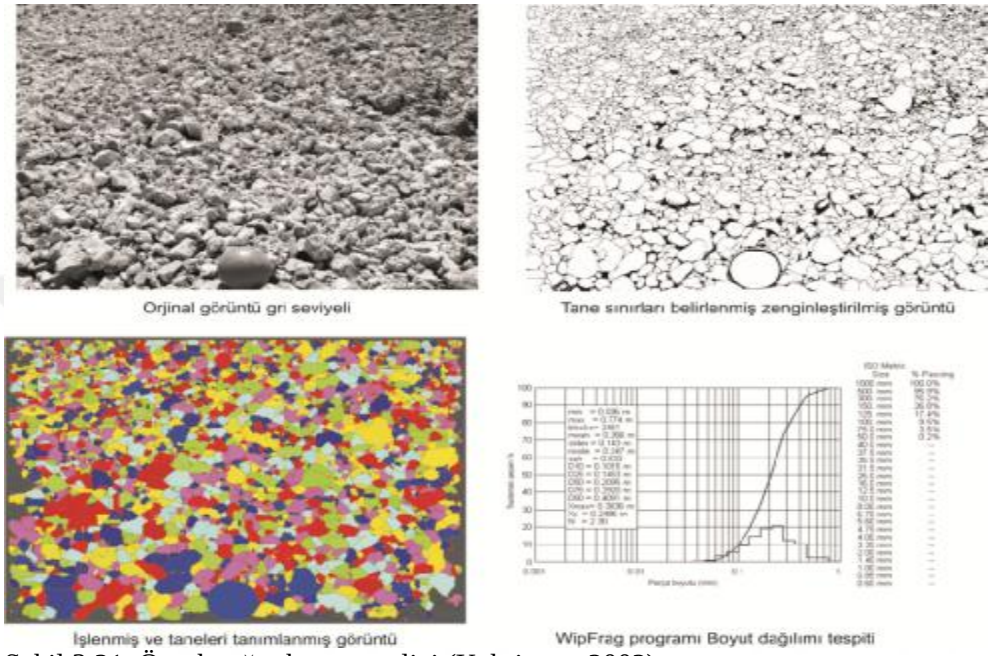
3.2.2.4. Geleneksel ve Yüksek Hızlı Fotogrametri

Bu yöntem, fotoğraf tekniğinden daha doğru ve güvenilir bir yöntemdir. Üç boyutlu ölçüm olanağı sağlamakta ve bu nedenle belirli münferit parçalar için hacim hesaplaması imkanı vermektedir. Bununla birlikte, bu tekniğin asıl kullanım alanı topoğrafik ölçme ve jeolojik yapı ve süreksizliklerin haritalanmasıdır (Kahriman, 2002). Şekil 3.20 de fotoğraflama tekniği ile parça boyut analizi gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Fotoğraflama tekniği ile parça boyut (yığın) analizi (Kılıç ve diğ., 2010)

Şekil 3.21'deki resimde bilgisayar yardımıyla geleneksel ve yüksek hızlı fotogrametri tekniği kullanılarak elde edilen görüntü işleme tekniği verilmektedir.



Şekil 3.21. Örnek yığın boyut analizi (Kahriman, 2002)

3.2.2.5. Patar (İkincil) Sayımı Yöntemi

Yüzey patlatmaları sırasında özellikle başarısız patlatmalar (atımlar) sonucunda büyük blok şeklinde kaya parçaları, elde edilmekte, tırnak kalmakta ve bunların kepçe ile yüklenmesi, taşınması ve kırılması sırasında bir takım problemler yaşanmaktadır. Bu nedenle bu tür büyük blokların ikincil bir patlatma (patar atımı) ile küçültülmesi gerekmektedir. Bu şekilde ikincil bir patlatma (atım) ile büyük blokları küçültme işlemine patar patlatması (atımı) adı verilmektedir. Patar (ikincil) patlatmasında (atımında) dinamit kullanılmaktadır. Şekil 3.22'de bir patlatma sonrası gerekli olan patar (ikincil) patlatma gerekliği görülürken, Şekil 3.23'deki resimde ise patar patlatmalarına (atım) ait resim verilmektedir. Bu resimden de görüldüğü gibi bu tür patlatmalar (atımlar) ya büyük blok kalması ya

da büyük tırmak kalması durumunda yapılmaktadır. Patlatmada dinamit kullanılmaktadır.



Şekil 3.22. Bir patlatma sonucunda ikincil patlatma gerekliliği (Erkoç, 2007)



Şekil 3.23. Patlatma sonucunda oluşan büyük bir kaya bloğunda patar patlatması

Patlatılmış lastik tekerlekli yükleyici kepçesine sığmayan malzeme patar (iri blok) olarak adlandırılır. Bu iri blokların eni, boyu ve kalınlığı gibi boyutları ölçülür. Patlatılan yerinde kayanın toplam miktarına oranına göre bir patar indeksi hazırlanmıştır. Bu metot, parça boyutlarının üst limitleri değerlendirilirken güvenilir bir özelliktir. Ekskavatör yada yükleyicilerle yüklenemeyen iri parçalar (patarlar) ortaya çıktığında bunları parçalamak için ya tekrar delik delmek suretiyle ikincil bir atım yapılması, yada hidrolik çekiçlerin bu amaçla kullanımı gerekmektedir. Her iki durumda da patlayıcı yada enerji tüketimi söz konusudur. Patarlar için kullanılan patlayıcının toplam kaya kütlesine oranını ifade eden bir indeks geliştirilerek, bir işletmedeki nihai tasarım için, atım grupları arasında yapılacak optimizasyon çalışmalarında mukayese aracı olarak kullanılabilir.

3.2.2.6. Ekskavatör Yükleme Performansı

Parça boyut dağılım tahmin yöntemlerinde; iyi parçalanmış bir yığının yükleme performansının daha iyi olacağı varsayılmaktadır. Herhangi bir iri parçalı ya da yükleme performansını etkileyebilecek yığın; zaman esaslı kronometraj kayıtlarıyla rahatlıkla belirlenebilir. Bu metot da bir yandan kepçe yükleme; periyotları kaydedilirken, prosesteki kamyon yokluğu mekanik arızalar, yükleyici çevresinin düzensizliği gibi istenmeyen zaman kayıpları giderilmelidir. Bu yöntem, bir kaya birimi için en uygun patlatma koşullarını oluşturmak amacıyla rahatlıkla uygulanabilir.

3.2.2.7. Primer (Birincil) Kırıcı Performansı

Primer kırıcıların ocakta kullanıldığı durumlarda kırıcıların belirli güç tüketimleri çene, çene astarlarının aşınması, saatlik kırıcı performansı gibi unsurlar, atımlarda elde edilen belirli boyut dağılımına haiz yığınlarla ilişkilendirilerek değerlendirilebilir. Küçük çaplı üretim faaliyetlerinde kullanılabilir. Patlatma optimizasyon çalışmalarında gereğinden iri ya da gereğinden ince parçalarla beslenen kırıcıların performans değerleri düşecektir.

3.2.3. Patlatma Sonucu Parça Boyutunun Tahmin Edilmesi

Bir patlatma da parçalanma, en önemli kavramlardan birisidir. Madencilikte boyut küçültme patlatma ile başlar ve kırma ve öğütme devreleri ile devam eder. Kırma ve öğütme tesislerinin verimliliği yığının boyut dağılımı ile doğrudan ilişkilidir. Ayrıca yükleme ve taşıma işleminin de verimliliği parçalanmaya bağlıdır. Patlatmalı kaya kazısı sırasında yapılan patlatma çalışmalarında mühendislerin en çok merak ettiği konulardan bir tanesi de "parçalanma boyutu", diğer bir deyişle "tane boyu dağılımı" olmuştur. Çünkü parçalanma boyutu;

- En önce yükleyici makineler açısından, bir yandan yükleme kolaylığı, diğer yandan kepçe dolma faktörünü etkilemektedir. Yükleyicinin alamayacağı kadar büyük bloklar ikincil kırma ile küçültülmelidir. Bu işlem hem zaman, hem de para kaybı demektir.
- Nakliye kamyonlarının optimum verimde yüklenebilmesini etkilemektedir.
- Eğer varsa, kırma eleme tesisinin verimini etkilemektedir. İri tane boyu dağılımı kırıcı tesisin saatlik kapasitesinin düşmesine yol açar. Öte yandan, agrega tesislerinde çok ince tane boyu dağılımı yüksek by-pass malzemesi demektir.
- Kömür madenciliğinde iri tane boyu dağılımı arzulanır. İnce tane boyu dağılımı düşük fiyatlı ürün demektir.
- Eğer kazı kaya dolgu amacı ile yapılıyor ise, dolgu teknik şartnamesinin gerektirdiği tane boyu dağılımını elde etmek gerekmektedir.
- Başta deniz dolgusu olmak üzere, bazı dolgu işlemlerinde iri blok arzu edilmektedir. Bu amaçla iri blok elde etmeye yönelik patlatmalar yapılması gerekebilmektedir.
- Bu örnekler çoğaltılabilir. Patlatma ile elde edilen pasa içerisinde tane boyu dağılımını üç ayrı parametre tayin etmektedir.

- Kaya yapısı, özellikle kaya yapısı içerisindeki süreksizlik sistemleri.
- Patlayıcı madde, patlayıcının kırma ve öteleme özellikleri.
- Dolum teknikleri, sıkılama boyu, yemleme noktaları, gecikme patterni.

Patlatma sonrası boyut dağılımını önceden kestirebilmek yapılacak olan patlatma tasarımının başarısını artıracak ve deneme atımı sayısını azaltacaktır. Patlatma sonrası yığın boyut dağılımının belirlenebilmesi için geliştirilen yöntemler doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki grupta incelenebilir. Yığının elek analizi yöntemiyle boyut dağılımının saptanması doğrudan bir yöntemdir. En gerçekçi yöntem olmasına rağmen hem oldukça pahalı hem de zaman alıcı olması açısından pratik bir yöntem değildir. Bu sakıncalarından dolayı dolaylı (gözlemsel, ampirik ve sayısal) yöntemler geliştirilmiştir.

Gözlemsel yöntem yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Patlatma sonrasında mühendis, parçalanma ve diğer patlatma sonuçlan hakkında sübjektif bir değerlendirme yapar. Bu yöntem, parça boyut dağılımı hakkında bilgi vermediğinden bilimsel bir yöntem değildir (Jimeno ve diğ., 1995).

Ampirik parçalanma modelleri boyut dağılımının belirlenmesinde patlatma parametrelerini göz önünde bulundurur. Bu eşitlikler arasında Larsson eşitliği, Svedefo formülü, KUZ-RAM modeli sayılabilir (Jimeno ve diğ., 1995).

3.2.4. Parçalanmanın Patlatma Sonrası Operasyonlara Etkisi

Patlatma sonuçlarının kendinden sonra gelen prosesler üzerinde etkin olduğunu birçok araştırmacı açıkça ortaya koymuştur. Bugün özellikle parçalanma konusunda çalışmalarını yoğunlaştıran Avustralya'daki Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre (JKMRC) kurumu 'Madenden Değirmene' patlatma kavramını ortaya atmıştır (Eloranta, 1995, Kanchibotla ve diğ, 1999, Kanchibolta, 2000). Madenden değirmene patlatma kavramı 'patlatmanın kendinden sonra gelen prosesler üzerinde etkili olduğunun farkında olmak ve tekil operasyonlar yerine tüm madenin karlılığını artırmak için patlatma tasarımını iyileştirmek' anlamına

gelmektedir. Parçalanma verimliliğini artırmanın sağlayacağı avantajlar çok çeşitlidir. Belli başlıları şu şekilde sıralanabilir:

- Yığını kolay kazılabilir hale getirerek kepçe yükleme verimini artırmak, kamyon ve kepçe dolma faktörlerini yükseltmek.
- Üniform uygun boyutta malzeme besleyerek kırıcılardan saatlik geçen malzeme miktarını artırmak.
- Kırma ve öğütme dahil olmak üzere, patlatmayı izleyen proseslerde enerji tasarrufu sağlamak.
- Değirmenden geçen malzeme miktarını artırmak, ton başına işlenmiş cevher için enerji tüketimini düşürmek
- Patlatma kaynaklı hasarı sınırlandırmak, cevherle yantaşın karışmasını engellemek.
- Kırma, öğütme, yükleme ve nakliyatta aşınma problemini engellemek.
- Daha küçük ekipmanlar kullanma imkanını elde etmek. Daha küçük yükleyici, kamyon, kırıcı kullanarak ilk yatırım maliyetini düşürmek (Ouchterlony, 2003).

Parçalanma verimliliğindeki artışın kendinden sonra gelen prosesler üzerindeki etkisini belirtmek için ABD Minnesota eyaletindeki Mesabi Havzası'ndan örnek verilebilir. Bir çok yayında belirtilen bu örnek proje Mesabi Havzası'ndaki takonit (hematit ve manyetit) demir cevheri madeninde gerçekleştirilmiştir (Eloranta 1995, Hustrulid, 1999, Eloranta ve diğ, 2007). Demir madeninde yapılan çalışmada özellikle üç nokta üzerinde durulmuştur: Patlatmada ortaya konan toplam enerji, enerji dağılımı ve enerji kullanımı. Burada deliklerin çevresinde parçalanmanın iyi olduğu, deliklerden yani enerji kaynağından uzaklaştıkça parçalanmanın kötüleştiği görülmüştür. Enerji dağılımının basamakların üst kotlarında yani sıkılama çevresinde kötüleştiği tespit edilmiştir.

Parçalanmayı iyileştirmek için üretim deliklerinin arasına sıkılma mesafesi uzunluğunda uydu delikler delinerek patlayıcıyla doldurulmuştur. Enerji kullanımını en üst seviyeye çıkarmak için de, uygun sıkılama malzemesi kullanılmış ve uygun delikler arası gecikme uygulanmıştır. Araştırmacılar parçalanmanın geliştirilmesi için delme ve patlatmanın bir sistem olarak ele alınması gerektiğini belirtmektedirler. Bütün patlatma parametreleri bir arada dengelenmedikçe; parametrelere teker teker müdahale etmenin parçalanmayı iyileştiremeyeceğini savunmaktadırlar. Demir madeninde 1986-1994 yılları arasında gerçekleştirilen iyileştirme tüm proseslerde şu gelişmeleri sağlamıştır (Eloranta ve diğ., 2007).

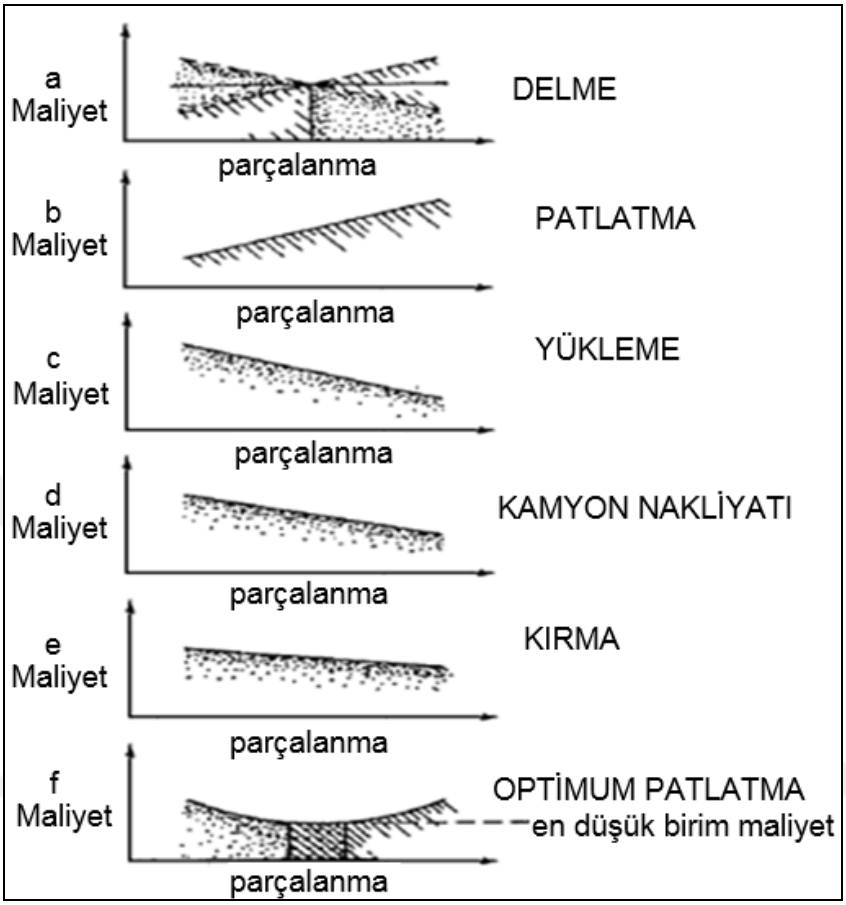
Delme ve patlatma: Ton başına %28 maliyet düşüşü. Cevher yükleme: Aynı ekipmanla yükleme verimliliğinde %29 artış, ton başına maliyette %33 düşüş.

Cevher nakliyatı: Ton başına maliyette %48 azalma. Birincil kırma: Kırıcı verimliliğinde %34 artış (kırılan malzeme/saat).

İkincil kırma: Kırıcı verimliliğinde %22 artış (kırılan malzeme/saat), ton başına elektrik maliyetinde %41 düşüş.

İnce öğütme: Genel öğütme maliyetinde %42 düşüş.

Parçalanmanın patlatma operasyonlarının maliyetine etkisi Şekil 3.24'deki temel grafikte görülmektedir. Patlatma operasyonunda patlatma tasarım parametrelerinin tamamen doğru uygulandığı varsayılırsa; parçalanmayı iyileştirme yönünde hareket edildiği zaman birim patlatma maliyeti artacaktır. Bununla beraber yükleme, nakliyat ve kırma operasyonlarında maliyet düşüşü sağlanmaktadır. Burada madendeki tüm operasyonlar göz önüne alınarak maliyetin minimum olduğu bir parçalanma noktası vardır. Bu nokta tespit edilmelidir.



Şekil 3.24. Patlatma kaynaklı parçalanmanın operasyonlar üzerindeki etkisi (Mckenzie, 1967)

3.2.5. Patlatma Sonucunda İstenilen Boyutta Malzeme Elde Etmek İçin Yapılması Gerekenler

Patlatma sonucunda istenilen parça boyutunda malzeme elde etmek patlatma verimini ve maliyetini etkileyen en önemli parametredir.

3.2.5.1. Patlatma Sonucunda İnce Malzeme Elde Etmek İçin Yapılması Gerekenler

İnce (ufak) malzeme elde etmek için şu önlemler önerilmektedir (Erkoç, 2007);

1. **Küçük çaplı patlatma deliği kullanımı:** Akla ilk gelen önlem budur. Mantık olarak küçük çaplı delikler daha dar pattern isteyecek, dar patternde ise patlayıcı madde kaya yapısı içinde daha iyi dağıtılmış olacağı için daha iyi kırılma elde edilecektir. Son zamanlarda gözlenen gelişmeler, uygun ateşleme sistemleri kullanıldığında delik çapının ince malzeme elde etmede ikinci derecede önemi olduğunu göstermiştir.
2. **Uygun patlayıcı seçimi:** Patlayıcı maddeler sayfamızda açıkladığımız esaslara göre uygun "Kırma enerjisi" ve uygun "Öteleme enerjisi" olan patlayıcılar seçilmelidir.
3. **Sıkılama boyunun azaltılması:** Yukarıda bu konunun açıklaması yapılmıştır. İri bloklar büyük bir oranda sıkılama bölgesinden düşmektedir. Sıkılama boyu kısaltılarak iri blok yüzdesi azaltılabilir. Bunu yaparken taş savrulması riskinin artacağı göz önünde tutulmalıdır.
4. **Basamak yüksekliğinin kontrolü:** Gereğinden yüksek basamaklar serbest aynadaki tansiyonsal zonları arttıracak, serbest iri blok oluşmasına neden olacaktır. Gereğinden kısa basamaklar ise patlatmanın mekaniğini bozacaktır. Önerimiz;
5. $2.5XV \leq K_1 \geq 4XV$ oranına bağlı kalmaktır. Burada V: Yük mesafesi, K_1: Ayna yüksekliği olarak kullanılmıştır. Çok sıralı pattern kullanılması: Çok sıralı pattern kullanılırsa, uygun gecikmeli ateşleme sistemi kullanmak koşulu ile "iç öğütmeye" bağlı olarak daha ince malzeme elde edildiği bilinmektedir.
6. **Yük ve aralık mesafesi:** Genel bir kabul olarak delikler arası mesafe, yük mesafesinin 1.25 katı olarak alınmaktadır. İsveç'te yürütülen çalışmalar bu oranın artmasının daha ince malzeme elde etmede fayda sağladığını göstermiştir. İsveçli araştırmacılara göre E/V oranının büyümesi daha ince malzeme elde edilmesine yardımcı olmaktadır.
7. **Doğru gecikme patterni kullanılması:** Gecikme patterninin de tane boyu dağılımında etkili olduğu bilinmektedir. Gecikme patterni lineer olarak

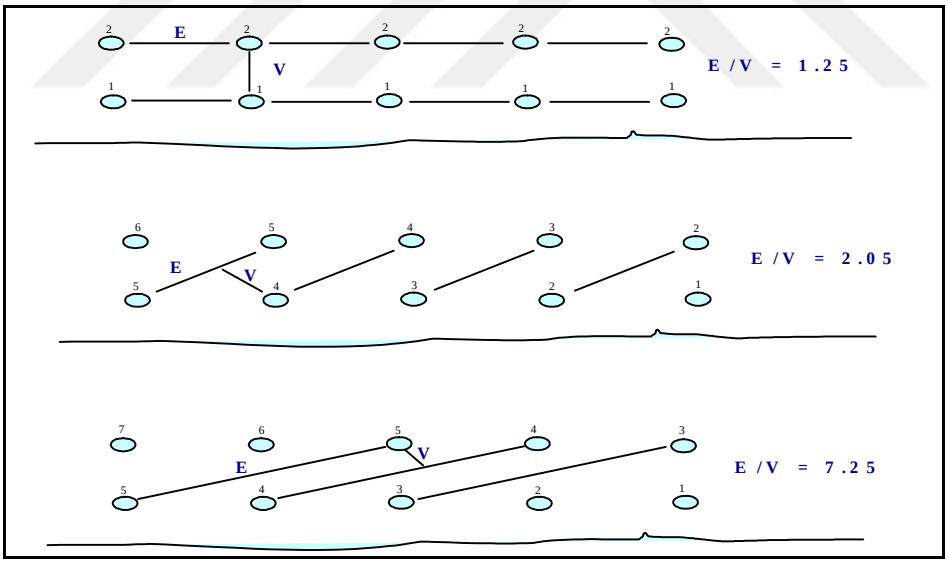
tasarlanırsa malzeme irileşmekte, pattern diagonal olarak verilirse incelmektedir.

8. **Yemleme noktası:** Kişisel deneyimlerimize göre sıkılamanın hemen altında bir yemleme noktasının bulunması, özellikle sıkılama bölgesinden gelen iri blokları önlemektedir.

3.2.5.2. Patlatma Sonucunda İri Malzeme Elde Etmek İçin Yapılması Gerekenler

Yapılan işin gereği bazen de iri malzemeye gerek duyulur. Bunu yapabilmek için yukarıdaki önerilerimizin tersi yapılması gerekmektedir. Bunun için (Erkoç, 2007);

- Delikler arası mesafe ve yük mesafesi oranını düşürecek (örneğin E/V=0.5) şekilde delik geometrisi (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Değişik gecikme paternlerinden örnekler (Erkoç, 2007)

- Büyük delik çapına geçilmelidir.

- Detonasyon hızı ve yoğunluğu düşük patlayıcı madde kullanılmalıdır.
- Sıkılama boyu arttırılmalıdır.
- Basamak yüksekliği arttırılmalıdır.
- Gecikme kullanmadan, tek sıra atımlar yapılmalıdır.
- Yemleme noktasının delik dibinde olmasına dikkat edilmelidir. İnfilaklı fitil ile yapılan atımlar iyi sonuç vermemektedir.

3.3. Kayaçlarda Süreksizlik Yapıları

Süreksizlik terimi kayanın, fiziksel etkiler altındaki değişimini ifade eder. Bunlar; stratifikasyon, şistozite, kırıklar, yarıklar ve gerilme çatlakları olarak adlandırılırlar. Bu jeolojik özellikler kayacın yaşamış olduğu jeolojik tarihle ilintilidir. Bu süreksizlikler, alterasyon ve dolgu malzemesi ile kapatılmış, doldurulmuş olabilirler. Tüm bu özellikler, delme sisteminin performansını etkilediği gibi patlatma olayını da etkilemektedir ve bu durumda madencilik operasyonlarının maliyetine yansımaktadır. Süreksizlik yüzeylerinin patlatma olayını etkilemeleri; patlatma ile açığa çıkan şok dalgalarının bu yüzeylerdeki davranışı ile de ilgilidir.

3.3.1 Süreksizlik Tanımı

Kaya kütlelerinde çok düşük çekilme dayanımına sahip olan ya da olmayan tabakalanma düzlemi, eklem, fay, çatlak, makaslama zonu, dilinim, şistozite vb. zayıflık düzlemlerini içeren genel kavrama süreksizlik denir. Bu kavram süreksizliğin yaşı, geometrisi ve kökeni gibi hususları içermez. Kaya kütlelerinin deformasyon, dayanım, geçirgenlik vb. gibi özellikleri, dolayısıyla kaya mühendisliği uygulamaları süreksizliklerin özellikleri, konumları ve yönelimleri ile önemli derecede etkilenmektedir. Süreksizliklerin üç boyutlu karmaşık yapısı, süreksizlik ağı veya kaya yapısı olarak adlandırılır. Şekil 3.26'da patlatma aynasında gözlenen süreksizliklere örnek verilmiştir.



Şekil 3.26. Bir patlatma aynasında gözlenen süreksizliklere örnek

Herhangi bir süreksizlik içermeyen kaya malzemesinin dayanım ve deformasyon parametreleri göreceli olarak daha basit ve ucuz tekniklerle tayin edilebilirken, süreksizliklerin sayısındaki ve sıklıklarındaki artışa koşut olarak, ileri derecede eklemli kaya kütlelerini temsil edebilecek nitelikte ve boyutta örnek alımı hemen hemen olanaksız hale gelmektedir. Pek çok sert magmatik ve metamorfik kaya, belirli bir gerilme düzeyinin aşılması koşulunda dayanımlarında ani bir azalma sonucu kırılganlaşıp yenilirler. Zayıf sedimanter kayalarsa, belirli bir gerilme düzeyine erişildiğinde daha sünümlü bir davranış biçimi sergileyerek yenilirler. İleri derece eklemli kaya kütleleri düşük gerilme düzeylerinde oldukça sünümlü olup, kaya kütlesini oluşturan parçalar yüksek gerilmeler altında kırılmaya başlar. Farklı yönelimlerde gelişmiş çok sayıdaki süreksizlik tarafından bölünmüş kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon özellikleri hem süreksizliklerin hem de kaya malzemesinin özellikleri tarafından denetlenmektedir.

Zaman içinde uygulamadaki pratikliğini arttırmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bieniawski (1989) tarafından geliştirilen kaya kütlesi sınıflama sistemi RMR den elde edilen RMR sınıflama puanını da uzun süre önemli bir girdi parametresi kabul eden bu ölçütte kaya kütlesi özelliklerinin diğer bir ifade ile süreksizliklerin ayrıntılı bir şekilde tanımlanmasına büyük önem verilmiştir.

Süreksizliklerin özellikleri aşağıdaki amaçlara yönelik olarak tayin edilir;

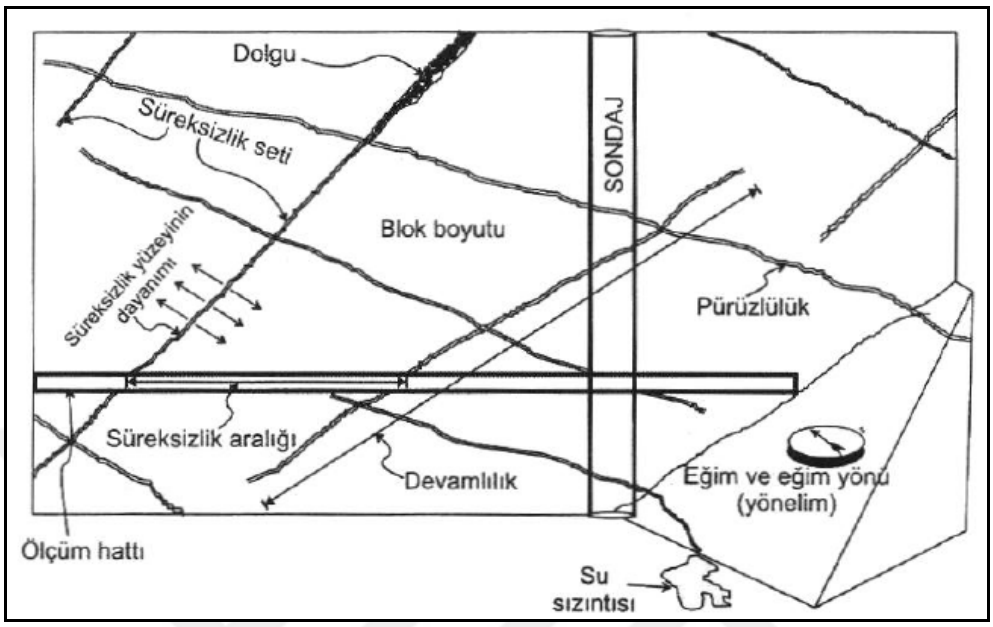
- Jeolojik yapının ortaya konulması.
- Kaya kütlelerinin mühendislik sınıflandırması.
- Kaya kütlelerinin duraylılığı (şev duraylılığı veya yer altı açıklıklarının tavanlarında oluşan blokların duraylılığı), deformasyonu, sıvı iletimi, patlatma ve destek tasarımı gibi uygulamalarda kullanılan kinematik, analitik, sayısal veya ampirik yöntemler için veri sağlanması.

Süreksizlik yapılarının belirlenmesinde dikkat edilecek noktaları şöyle sıralamak mümkündür.

- Eğim açıları
- Süreksizlik yoğunluğu (metre başına kaç adet süreksizlik olduğu)
- Eğim yönleri
- Doğrultuları
- Süreksizlik yüzeylerinin özellikleri (dolgu şekli, pürüzlülüğü, su geliri)

3.3.2. Süreksizliklerin Fiziksel Parametreleri

Süreksizlik özellikleri mostrada veya sondaj karotlarında değişik ölçüm tekniklerinden yararlanılarak elde edilir ve/veya tanımlanır. Şekil 3.27'de kaya kütlelerinin tanımlanmasında süreksizliklerin esas alınan başlıca özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.27. Kaya kütlelerinin tanımlanmasında süreksizliklerin esas alınan başlıca özellikleri (Hudson, 1989)

Kaya kütlelerini ve süreksizlikleri tanımlamak için on tane parametre seçilmiştir ve bu fiziksel parametreler aşağıdaki gibidir (ISRM, 1981).

a: Süreksizliğin türü
b: Süreksizlik aralığı
c: Süreksizlik devamlılığı
d: Süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü ve dalgalılığı
e: Süreksizlik yüzeyinin açıklığı
f: Dolgu malzemesinin özellikleri
g: Süreksizlik yüzeyinin dayanımı ve bozunmanın derecesi
h: Süreksizlik yüzeyindeki su içeriği
i: Süreksizliğin yönelimi ve süreksizlik takımı sayısı
j: Blok boyutu

3.3.2.1 Süreksizlik Türleri

Süreksizlik türleri kaydedilirken, her süreksizlik türü için Çizelge 3.3'de verilen uluslararası standartlara uygun kısaltılmış simgeler kullanılır.

Çizelge 3.3. Süreksizlik türleri ve uluslarası simgeleri (Ulusay, 1994).

Süreksizliğin türü	Simgesi	SüreksizliğinTürü	Simgesi
Eklem	J	Folasyon (yapraklanma)	Fo
Tabakalanma	B	Laminasyon	L
Fay Zonu	FZ	Makaslama Yüzeyi	SP
Fay	F	Gerilim Çatlağı	TC
Klivaj (Dilinim)	C	Fisür	F
Şistozite	S	Damar	V

- **Dokanak:** İki farklı litolojik birim arasındaki sınır olup, bu sınır uyumlu ya da uyumsuz veya geçişli olabilen bir süreksizlik yüzeyidir.
- **Tabaka Düzlemi:** Sedimanter kayaların oluşumu sırasında tane boyutu ve yönelimi, minerolojik bileşim, renk ve sertlik gibi faktörlerdeki değişime bağlı gelişen bir yüzeydir. Diğer bir deyişle tabakalanma, sedimanter kayaçların düzlemlere ayrılması veya katmanlaşması anlamına gelmektedir. Tabakalanma her zaman ayrık bir süreksizlik yüzeyi olmayabilir ve bazı durumlarda kaya malzemesi içinde hafif bir renk değişimi şeklinde de gözlenebilir. Tabaka düzlemleri arasındaki uzaklık birkaç mm den (laminasyon) metre (çok kalın tabaka) boyutuna kadar değişebilir. Sedimanların minerolojisindeki değişimler tabakalanma yüzeyleri arasında ince kil seviyelerinin oluşumuna veya sıvama şeklindeki yüzey kaplamalarına neden olabilir. Bu durum kil dolgulu fay ve eklem yüzeylerindekine benzer mühendislik sorunlarına yol açabilir.

Tabakalanma, kendi içinde az ya da çok paralel durumda bölünme eğilimi gösteren magmatik ve metamorfik kayaçlarda da oluşabilir. Tabakalar arasında fazla boşluk olmadığında patlayıcının enerjisi tabakalar arasından kaçamayacağından ve kapalı olduğunda, arzu edilen parçalanma boyutuna ulaşılabilmesinden dolayı katmanlaşma, patlatmaya genellikle yardımcı olmaktadır. Ayrıca katmanlaşma, istenilen tavan veya şev profilinin başarılmasında patlatma uzmanına yardımcı olmaktadır (Hopler, 1998).

- **Fay ve Makaslanma Zonu:** Yüzeyi boyunca birkaç cm den km uzunluğa kadar göreceli bir yer değiştirmenin meydana geldiği makaslanma yenilmesine maruz kalmış yüzeylerdir (Ulusay ve Sönmez, 2002). Fay tektonik hareketler sırasında gelişen makaslama gerilmesinin kaya kütlesindeki bir düzlemin makaslanma dayanımını aşması sonucu meydana gelen bir kırık şeklinde de tanımlanabilir. Fay kırığının yüzeyleri arasında parçalanmış kaya parçalarının oluşturduğu fay breşi, çok ince taneli malzemeyle temsil edilen fay dolgusu, kil vb. zayıf malzemeler de yer alabilir. Faylar çoğu kez bir düzlem olmaktan çok, birbirine paralel veya yarı paralel konumlu gruplar halinde gelişebilirler ve bunlar fay zonu veya makaslanma zonu şeklinde adlandırılır.

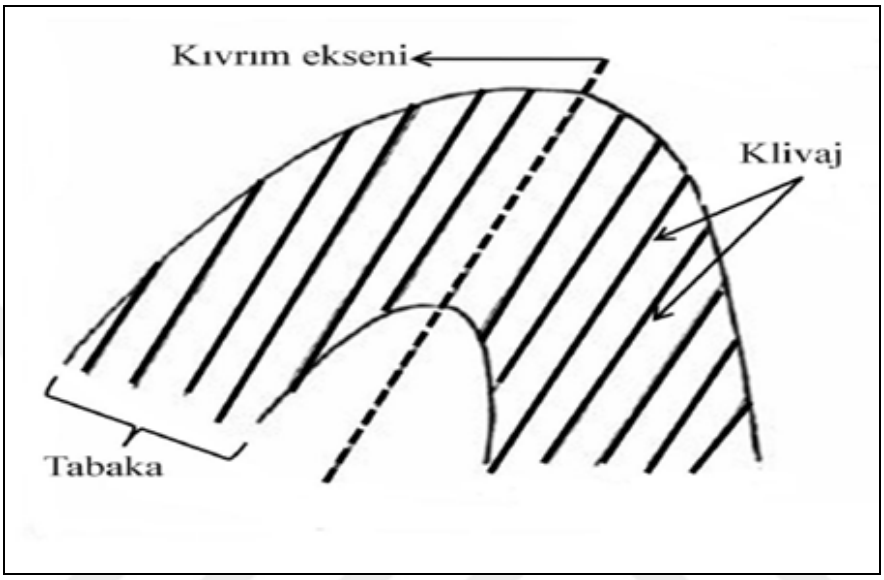
Faylar da eklemler gibi, delici ucun ve tijlerin sapmasına sebep olduğundan delik delme performansını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Faylar aynı zamanda son delik sırasının gerisinde de gereğinden fazla parçalanmaya sebep olabilir. Fay zonu içindeki malzeme zayıf çimentolu ise bir patlatma sırasında patlayıcı enerjisinin hapsedilmeden kaçmasına neden olmaktadır. Bu da patlatmayı olumsuz yönde etkilemektedir (Hopler, 1998).

- **Eklem:** Yüzeyi boyunca herhangi bir yer değiştirmenin olmadığı doğal kırıklara eklem adı verilir. Kırık yüzeyleri örtü yükünün kalkması

(gerilmenin boşalması, patlatma vb.) nedenlerle birbirlerinden bir miktar uzaklaşmış olmakla birlikte, aralarında gözle görülür bir hareket söz konusu değildir. Yerkabuğunda bir km derinliğe kadar kaya kütlelerinde gözle görülebilen eklemler; birkaç mm den metrelerce uzunlukta açık, dolgulu veya kapalı (sıkı) olabilirler. Genellikle düzlemsel yüzeyli, yarı paralel gruplar veya takımlar halinde gelişirler ve bu eklemlere sistematik eklemler adı verilir. Düzensiz geometriye sahip ve birbirine paralel olmayanlar ise sistematik olmayan eklemler adını alır. Eklem aralıkları tabakalanmada olduğu gibi, sonradan yapılacak patlatmaların parça boyutlarının iyi bir tahmincisidir. Eklem, balçık veya kil gibi ince taneli malzemeler içerebilir. Eklemler açık olduğunda, kayaç kütlesi içinde patlayıcı enerjisini çoğunlukla hapsedici özelliktedir (Hopler, 1998).

- **Dilinim (Klivaj):** İnce taneli kayaçlarda, sıkıştırıcı kuvvete dik yönde oluşmuş, sık aralıklı, birbirine paralel yönde gelişmiş zayıflık düzlemleridir (Ulusay ve Sönmez, 2002). Dilinim, deformasyon geçirmiş tortul veya metamorfik kayaçlardaki mineral veya tanelerin, belirli yönlerde sıralanması ile oluşturduğu düzlemsel yapılardır. Klivaj düzlemleri arasında açıklık çok azdır. Genellikle tabakalı kayaçlarda basınç etkisiyle kayacın yeniden kristalleşmesi sonucu gelişmiş ikincil bir yapı olarak da tanımlanır. Klivaj, tabakalaşma ve şistoziteye paralel olabileceği gibi aralarında belirli bir açı da bulunabilir (Şekil 3.28). Klivaj düzlemleri kayacın fiziksel özelliklerine bağlı olarak gelişir. Bu nedenle de her ayrı kayaç birimi içerisindeki klivaj düzlemleri diğerlerinden farklı şekiller gösterebilir. Klivajların oluşumunda metamorfizmanın ve suyun etkisi büyüktür. Genel olarak, killi kayaçlarda ve şistlerde klivaj düzlemleri son derece belirgin iken, kumtaşı ve kireçtaşlarında daha seyrek aralıklı veya belirsiz bir gelişim gösterir. Klivajlar, içerisinde yer aldığı malzemenin içsel sürtünme açısına bağlı olarak, kumtaşlarında tabakalanmaya hemen hemen dik aralıklı çatlaklar şeklinde, şeylerde ise tabakalanmayı verev

kesen çatlaklar şeklinde görünürler (Hopler, 1998; Karaman ve Kibici, 1999).



Şekil 3.28. Kıvrımlanma geçirmiş bir kayaçtaki klivaj düzlemleri (Karaman, 2001)

Makaslama yüzeylerini oluşturan bu yüzeyler boyunca kayma söz konusu olabilir. Spencer 1969 ile Whitten ve Brooks 1972 başlıca iki tür dilinim tanımlamışlardır;

Kırık dilinimi; Minerallerin birbirine paralel yönde bir dizilim göstermedikleri çimentolaşmış veya kaynaşmış paralel süreksizlikler şeklinde tanımlanır. Oluşum mekanizmasında litolojinin ve gerilme koşullarının makaslama açılma ve sıkıştırma süreçlerine neden olduğunu ve bunlarında sağlam kayada ince dilimler halinde çok yakın aralıklı süreksizliklerin gelişmesine neden olduğunu belirtmiştir.

Akma dilinimi; Yeniden kristalleşme ve mika gibi yapraksı minerallerin birbirine paralel şekilde yönlenmelerine bağlı olarak bir foliasyon yapısının oluşumuyla gelişmektedir. Genellikle ince taneli kayaların yüksek sıcaklık veya basınç altında başkalaşıma uğramış olmalarıyla yakından ilgilidir. Dilinim özellikle

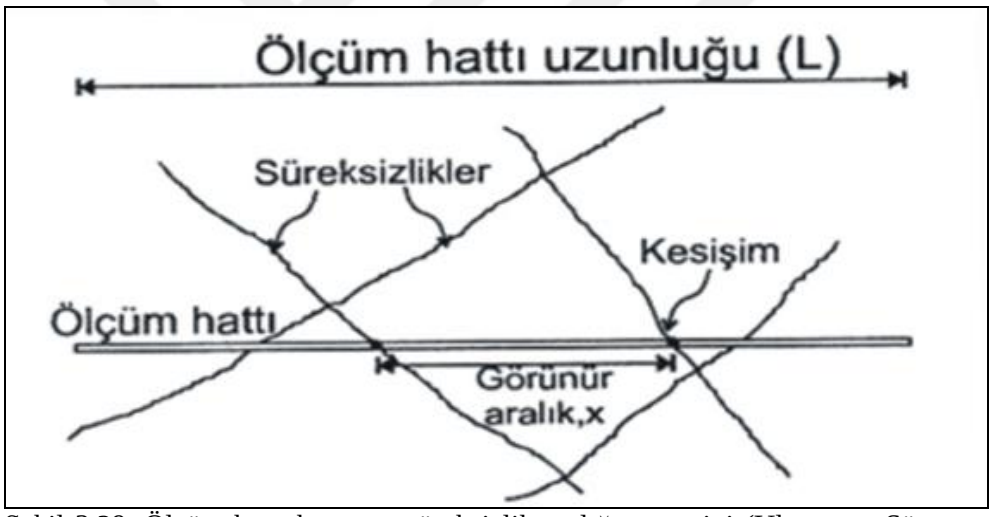
sleyt, fillit ve şist gibi kayalarda gözlenmekle birlikte dilinim düzlemlerinin çoğu önemli derecede çekilme dayanımına sahip olduklarından süreksizlik ağı kapsamında değerlendirilmez. Bununla birlikte dilinim, bu tür kayaların deformabilite ve dayanım özelliklerinde önemli düzeyde bir yönserliğe neden olmaktadır.

- **Fisür:** Gözle görülüp görülemeyecek kadar küçük, kıl gibi çatlaklar fisür olarak tanımlanır. Çapları ve uzunlukları milimetre ya da mikron cinsindendir.
- **Foliasyon (Yapraklanma):** Yüksek basınç veya yüksek sıcaklık altında farklılaşma veya minerallerin tercihli yönelimi nedeniyle ortaya çıkan metamorfik kökenli zayıflık yüzeyleridirler. Bir metamorfik kayaç içinde düzlemsel olan şistozite, klivaj ve bantlaşma da foliasyon kapsamına girer. Levhasal minerallerin (mika, klorit gibi) veya merceksel minerallerin (kuvartz, feldispat gibi) birbirlerine paralel olarak dizilmeleriyle meydana gelir. Foliasyon genel bir isimdir. Şistozite bir tür foliasyon olup yassı ve elipsoidal tanelerin birbirine en büyük gerilmeye dik yönde dizilmesiyle oluşur. Pelitik (ince taneli) kayaçlarda gelişir. Şistozite düzlemleri tabakalanmaya paralel olabileceği gibi verev olarak ta gelişebilir (Dirik, 2006). Metamorfik kayaçlarda gelişen foliasyon, magmatik ve sedimanter kayaçların tersine sonradan oluşur. Metamorfik kayaçlardaki minerallerin veya yapıların birbirine paralel (veya çoğunlukla paralel) olarak dizilmesi ile oluşan yapılara da lineasyon adı verilir. Genel anlamda, metamorfik kayaçlardaki her türlü çizgisel paralelliğe lineasyon, buna karşın her türlü düzlemselliğe de foliasyon adı verilir.
- **Damar:** Çevre kayasından farklı özellikteki bir malzeme tarafından doldurulmuş kırıktır. Genel olarak ince dolgulu düzlemler için kullanılır ve yüzeyleri ayrık olmadığından zayıf bir süreksizlik olarak değerlendirilmez.

3.3.2.2. Süreksizlik Aralığı

Kaya kütlelerinde komşu konumlu iki süreksizlik veya birbirine paralel eklemlerden oluşan süreksizlik takımındaki iki süreksizliğin arasındaki uzaklık süreksizlik aralığı olarak adlandırılır. Süreksizlik aralığı düşükse yeraltı açıklıklarının duraylılığının sağlanması güçleşir. Eklem takımlarının birbirine çok yakın olduğu kaya kütlelerinin kohezyonu, bloklar arası kilitlenmenin yetersiz olması nedeni ile geniş aralıklı olanlara göre daha düşüktür. Bunların etkisi bireysel süreksizliklerin devamlılığına bağlıdır.

Süreksizlik aralığı veya bunun tersi olan süreksizlik sıklığı parametresi; süreksizlik yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır (Şekil 3.29).



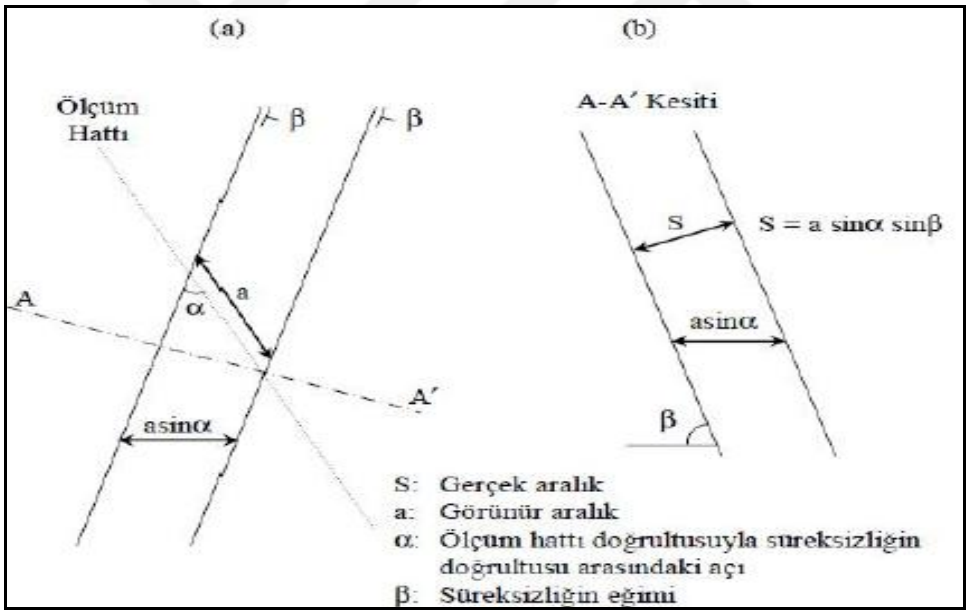
Şekil 3.29. Ölçüm hattı boyunca süreksizlik aralığının tayini (Ulusay ve Sönmez, 2002)

Aynı zamanda kaya kütlesinin geçirgenliğini ve kayaç malzemesinin oluşturduğu blokların boyutlarını da etkilemektedir. Bu sebeple kayaç kütlelerinin en önemli özelliklerinden birisidir. Bazı istisnai durumlarda, süreksizlik aralığının birbirine çok yakın olması kaya kırılma modunun düzlemselden dairesele ve hatta akma şekline dönüşmesine neden olabilir. Süreksizliklerin birbirine çok yakın olması durumunda, kayanın kırılması küçük kaya parçalarının yuvarlanması veya

dönmesi ile olabileceğinden, süreksizlik yönelimi çok önemli değildir (Akyol, 2002).

Bireysel süreksizliklerin aralığı ve bunlarla birlikte bulunan eklem takımları, kaya kütlelerinin su sızdırma ve permeabilite özelliklerini doğrudan etkiler. Eğer eklem açıklığı ile karşılaştırılırsa, herhangi bir eklem takımının hidrolik iletkenliği, genellikle açıklık ile ters orantılıdır.

Süreksizlik aralığı, mostra yüzeyi üzerinde belirli bir yönde serilen şerit metre boyunca şerit metreyi kesen süreksizlikler kaydedilerek süreksizlik aralığı ölçümü yapılabilir. Bunun yanı sıra sondaj karotlarından da tayin edilebilir. Ancak uygulamalarda şerit metre her zaman süreksizlik setlerine dik yönde serilemediğinden, iki tür açıklık ölçülebilmektedir (Şekil 3.30).



Şekil 3.30. Görünür (a) ve gerçek aralık (s) parametreleri arasındaki ilişki

a. Görünür açıklık (Şerit metre veya sondaj ekseni boyunca karşılaşılan süreksizlikler arasındaki uzaklık; a mesafesi)

b. Gerçek aralık (Birbirine paralel yönde gelişmiş süreksizliklerin oluşturduğu bir süreksizlik setine ait iki süreksizlik düzlemi arasındaki dik mesafe; s mesafesi)

Bir süreksizlik setinde birbirine tam paralel olan süreksizlikler çok ender olarak görüldüğü için, gerçek aralık parametresi ölçüm hattının yöneliminden veya ölçümün yapıldığı mostranın, ya da aynanın konumundan etkilenmektedir. Bu nedenle, uygulamada daha yaygın şekilde tercih edilmektedir.

Arazide alınan ölçümler sonucunda ortalama süreksizlik aralığı (x) ve süreksizlik sıklığı (bir metredeki süreksizlik sayısı, λ) aşağıdaki ifadelerden belirlenir.

$$x = \frac{L}{N} \tag{3.5}$$

$$\lambda = \frac{N}{L} \tag{3.6}$$

Burada; L ölçüm hattının uzunluğu, N ise ölçüm hattını kesen süreksizliklerin sayısıdır. Kayaç kütleleri için süreksizlik aralığı parametresinin tanımlanması amacıyla ISRM (ISRM, 1981) tarafından önerilen ve çizelge 3.4' te ISRM'nin süreksizlik aralığına bağlı kaya kütle tanımlamaları verilmiştir.

Çizelge 3.4. ISRM'nin süreksizlik aralığına bağlı kaya kütle tanımlamaları (ISRM, 1981).

Aralık (mm)	Tanımlama
<20	Çok dar aralıklı
20-60	Dar aralıklı
60-200	Yakın aralıklı
200-600	Orta derece aralıklı
600-2000	Geniş aralıklı
2000-6000	Çok geniş aralıklı
>6000	İleri derecede geniş aralıklı

Çizelge 3.5. Süreksizlik aralığına bağlı kaya kütle tanımlamaları (Deere & Miller, 1966).

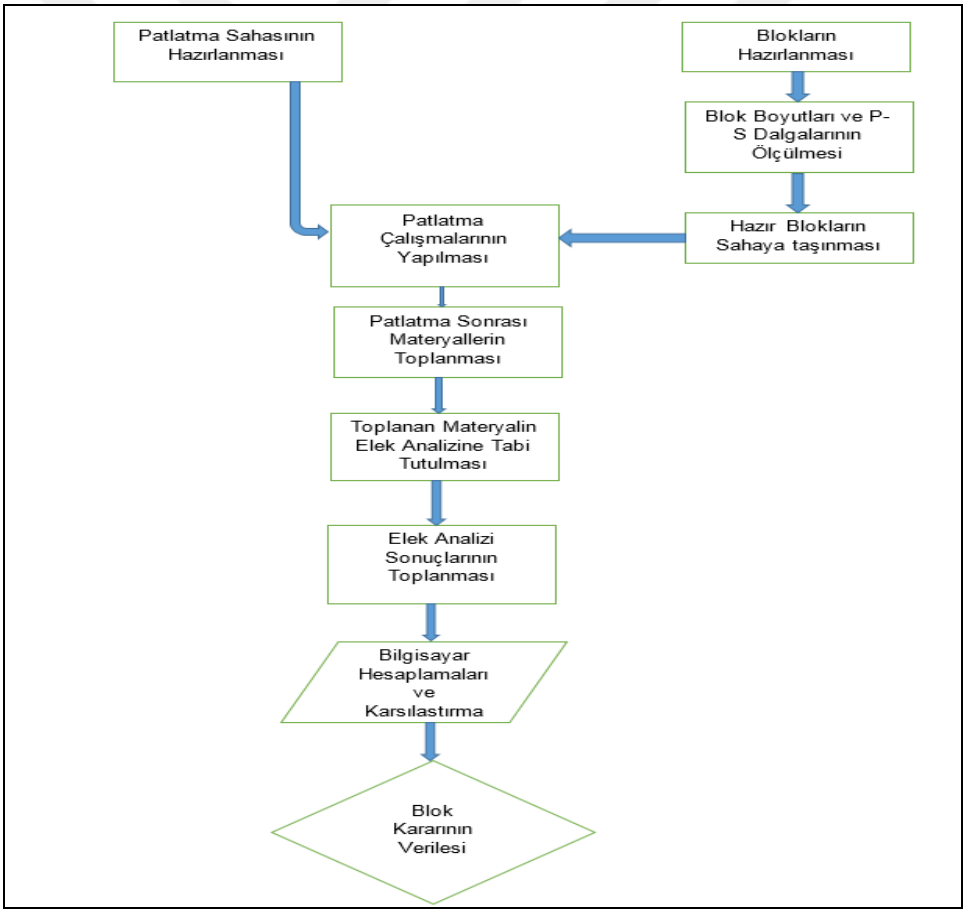
Tanım	Süreksizlik Düzlemleri Arasındaki Mesafe	Kaya Kütlesi Kalitesi
Çok Geniş	>3m	Kompak, sağlam
Geniş	1 m – 3 m	Masif
Orta	0,3 m – 1 m	Bloklu
Dar	50 mm – 300 mm	Kırıklı
Çok Dar	<300mm	Ezilmiş ve Dağılmış

Çizelge 3.6. Süreksizlik aralığı ve sıklığı sınıfları (Golder Associates, 1979)

Sınıflama	Ortalama Süreksizlik Aralığı (m)	Ortalama Süreksizlik Sıklığı λ (m^{-1})
Masif	x>3	<1
Az çatlaklı – kırıklı	0,3 < x < 1	1 – 3
Kırıklı – Çatlaklı	0,1 < x < 0,3	3 – 10
Çok Çatlaklı – Kırıklı	0,02 < x < 0,1	10 – 50
Parçalanmış	x < 0,02	>50

4. MATERYALVE METOT

Her blok sıralı şekilde patlatılmıştır. Her sıralı patlatmadan sonra bloklardan meydana gelen parçacıklar her sıra için ayrı bir şekilde toplanıp elek analizlerinin yapılması için toplanır. Her sıra patlatıldıktan sonra bir sonraki patlatmaya hazırlık amacıyla alan uygun bir biçimde temizlenir ve sonraki blok uygun şekilde patlatma alanına yerleştirilir böylece bir sonraki blok patlatması içinde hazırlıklar tamamlanmış olur. Çalışma kapsamında yapılan işlemler şematik olarak Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Çalışma kapsamında yapılan işlem aşamaları

4.1. Çalışma Sahası

Montanuniversitat Leoben (MUL) araştırma kapsamındaki küçük ölçekli patlatma alanı Erzberg demir madeni olarak belirlenmiştir. Erzberg demir madeni Eisenerz şehrine bağlı Montanuniversitat'a yaklaşık 30 km mesafededir. Harita konumu olarak maden ocağının yeri Şekil 4.2'de verilmiştir. Erzberg maden ocağının genel görüntüsü de Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.2. Maden ocağının haritadan görüntüsü


Şekil 4.3. Maden ocağının genel görüntüsü

Bu çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için blokların patlatılacağı alan 2011 yılında tasarlanmıştır ve bu tasarım iş güvenliği anlamında ve patlatmanın yapılabilirliği anlamında bütün detaylar göz önünde bulundurularak yapılmıştır (Mayerhofer. 2011).

Bu alanın oluşturulmasının genel amaçları ise şu şekildedir:

- Patlatma esnasında oluşan dalgaları tam verimli bir şekilde iletebilecek ve patlatma sonrası açığa çıkan parçaların fazla savrulmamasını sağlamak amacıyla oluşturulmuştur. Buna ek olarak bloğun konulduğu yer ile yapının arasındaki boşluk doldurulup iletimi artırmak amaçlanmaktadır. Bu sıkıştırma işleminden sonra oluşan dalgaların %70'i etrafa iletilmektedir.
- Sıralı şekilde patlatmanın yapılmasını mümkün kılıp burdaki açığa çıkan materyali laboratuvarda maksimum şekilde kullanmak hedeflenmektedir.
- Güvenliği sağlamak amacıyla oluşturulmuştur.
- Her patlatma aşamasında önüne ve üzerine plastik muşambalar ve dayanıklı örtüler konulumuştur. Burdaki amaç ise hem kaya fırlamasını engellemek hem de açığa çıkan materyalin toplanabilmesini sağlamak şeklindedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Patlatmaların yapıldığı test sahası (Schimek, 2015)

Patlatmanın yapıldığı test sahasında da görüldüğü gibi hazırlanan bloğun tam olarak sığacağı parametrelerde oluşturulmuş şekildedir. Test edilecek blok yanlardan ve arka taraftan stabil olarak kalabilmesini sağlamak ve patlatma esnasında dalga iletiminin istenilen yayılımını sağlamak amacıyla harç dökülerek konulduğu yere sabitlenmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Test alanına blok yerleştirme çalışmaları

4.2. Materyal

Bu tez çalışmasında ki asıl amaç; laboratuvar ortamında küçük ölçekli çatlak sistemli ve çatlaksız bloklar dizayn edilip, üretilip ve arazide aynı patlatma parametreleri ile patlatılarak oluşturulan yapay çatlakların, patlatma sonrası oluşan yığının parça boyut dağılımı üzerindeki etkisini incelemektir ve çatlak sistemi ile arasındaki ilişkiyi karşılaştırmaktır. Patlatma sonrasında elek analizleri yapılarak patlatma verimini, parça boyu analizleri ve blokların kendi aralarında kıyaslanarak çatlaklı yapıların etkilerini inceleme şeklindedir. Burada öncelikli asıl soru ise, belirlenmiş belli boyutlardaki küçük ölçekli, çatlaklı bloklarda parçalanma etkisini ölçmenin mümkün olup olmadığı üzerinde çalışılmaktadır.

4.2.1. Bloklar Hakkında Genel Bilgi

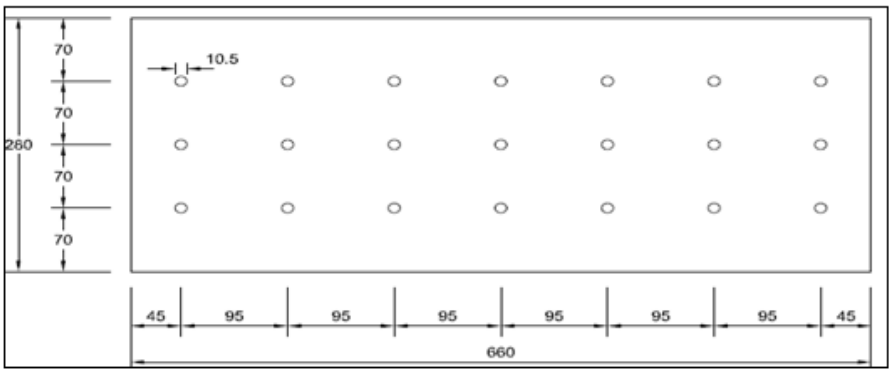
Manyetit bloklar boyut olarak uzunluk (660 mm), genişlik (280 mm), yükseklik (210 mm) şeklinde hazırlanmıştır (Hyldahl, 2015). Hazırlanan bloklarda delikler arası mesafe 70 mm ve delik boyu 95mm şeklindedir (Çizelge 4.1). Bir blokta 3 adet delik sırası bulunup her sıra da toplam 7 adet delik vardır. Toplamda bir blokta 21 adet delik mevcuttur. Delik çapı 10.5 mm olup çaplar beton blok için harcı dökülmeden plastik borular aracılığı ile ayarlanmıştır.

Çizelge 4.1. Kullanılan blokların boyutları

Uzunluk (L)	660 mm
Genişlik (W)	280 mm
Yükseklik (H)	210 mm

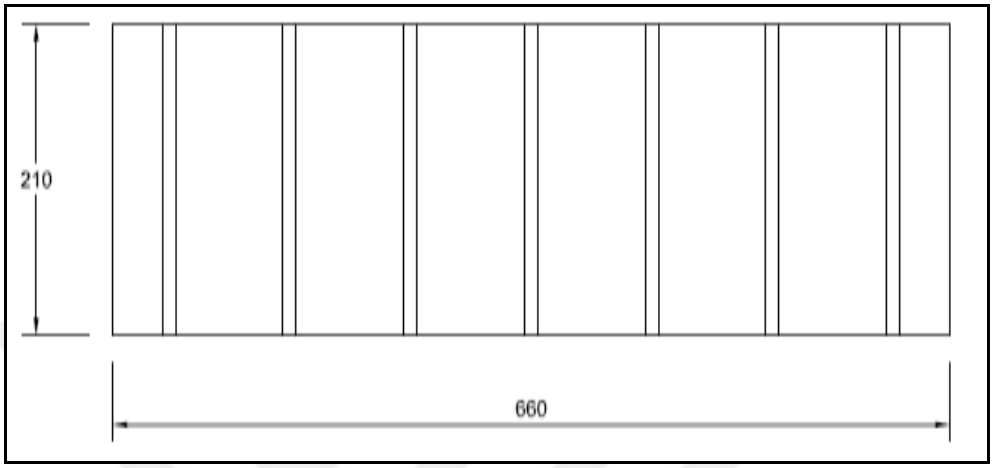
Bu projede kullanılan blokların dizayn boyutlarının aynısı 660×280×210 mm (L×W×H), önceki yıllarda yapılan boyutlarla aynı şekildedir (Johansson & Ouchterlony, 2012).

- **Referans Blokları:** Bu bloklar diğer çatlaklı blokların karşılaştırılması amacıyla dizayn edilmiş olup herhangi bir çatlak sistemine sahip değildirler. Şekil 4.6'da referans bloğunun üstten görünü verilmiştir.

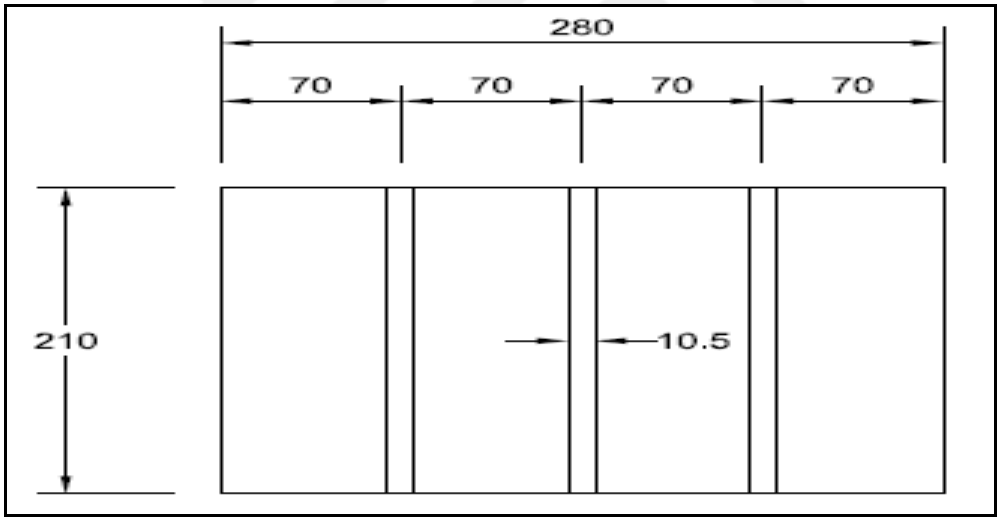


Şekil 4.6. Referans bloğu üstten görünüm

Şekil 4.7 ve şekil 4.8'de önden ve yandan görünümleri gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Referans bloğu önden görünüm



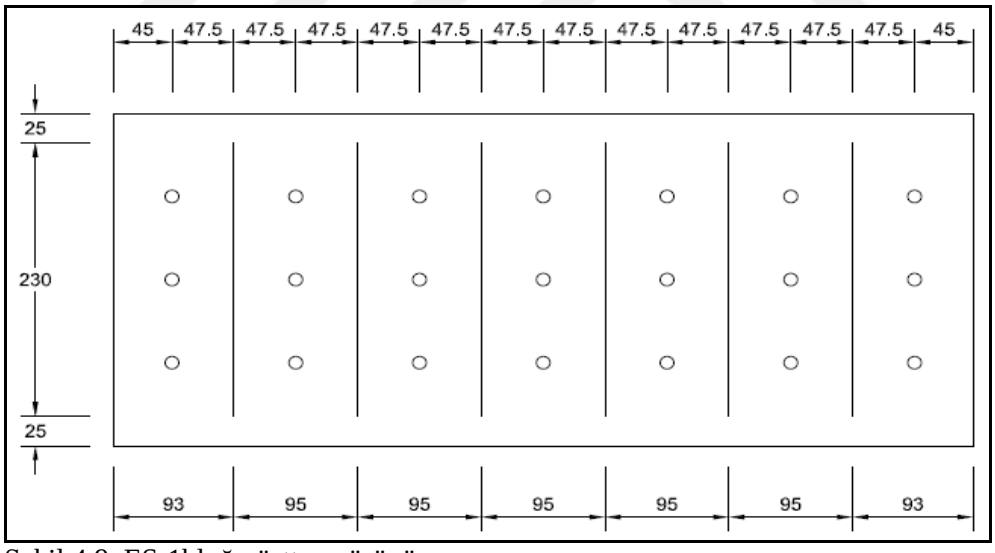
Şekil 4.8. Referans bloğu yandan görünüm

Çatlak sistemleri ise 4 şekilde oluşturulmuştur. Bunların hepsi oluşturulurken blokların oluşturulacağı yere ince plastik yapraklar yerleştirilip harç ondan sonra dökülmüştür. Bu plastik yaprakların kalınlığı 0.2 mm'dir. Harç döküldükten 1 saat 40 dakika sonra plastik yapraklar yerlerinden çıkarılıp, bunların

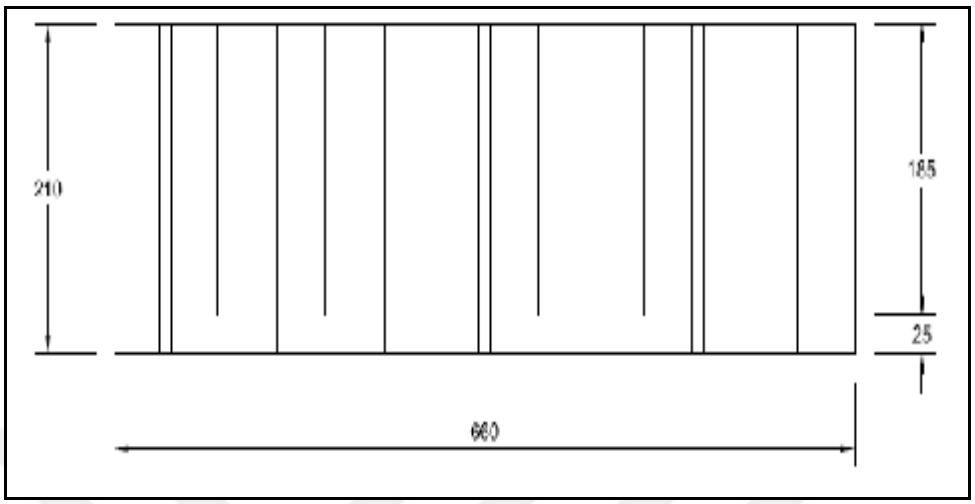
yerlerinden harca zarar vermemesi ve kolay bir şekilde yerinden çıkabilmesi için öncesinde harç içerisinde kalacak olan kısım gres yağı ile kaygan hale getirilmiştir.

Referans blokları çatlaksız olarak ayarlanmıştır, bunların dışında 4 tip çatlaklı blok üretilmiştir. ES-1, ES-2, ES-3, ES-4 şeklinde isimlendirilmiş olarak üretildi. Her çatlak sisteminden ve referans bloklarından ikişer adet olmak üzere toplam 10 adet blok üretilmiştir.

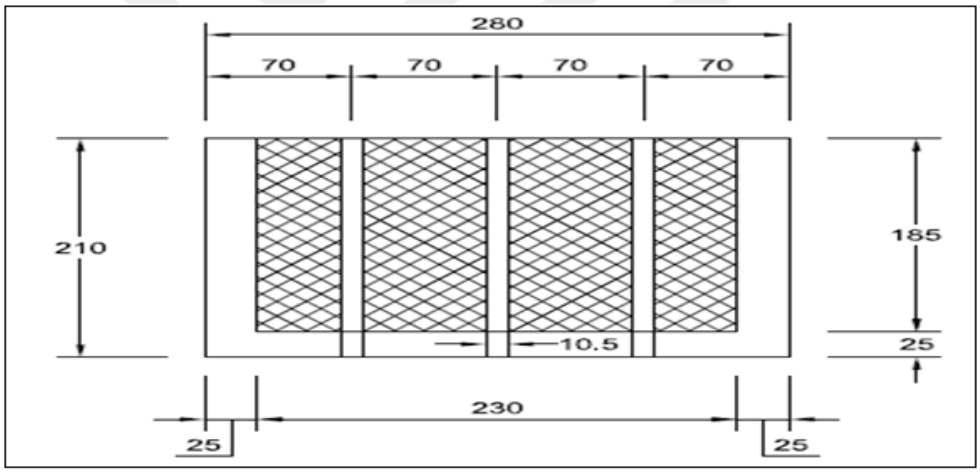
- **Eklem Sistemi 1 (ES-1) Blokları:** Çalışmalarda ES-1 şeklinde adlandırılmış bloklardır. Dikey olarak oluşturulmuş çatlaklardan oluşur. Yüzeye 0^0 (sıfır derece) ve tabana ise 90^0 (doksan derece) olacak şekilde ayarlanmıştır. Deliklere mesafeler eşit boyutta olup 95 mm'dir. Bu en basit olan çatlak sistemidir. Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve şekil 4.11'de bloğun üstten, önden ve yandan görünümleri gösterilmiştir.



Şekil 4.9. ES-1bloğu üstten görünüm



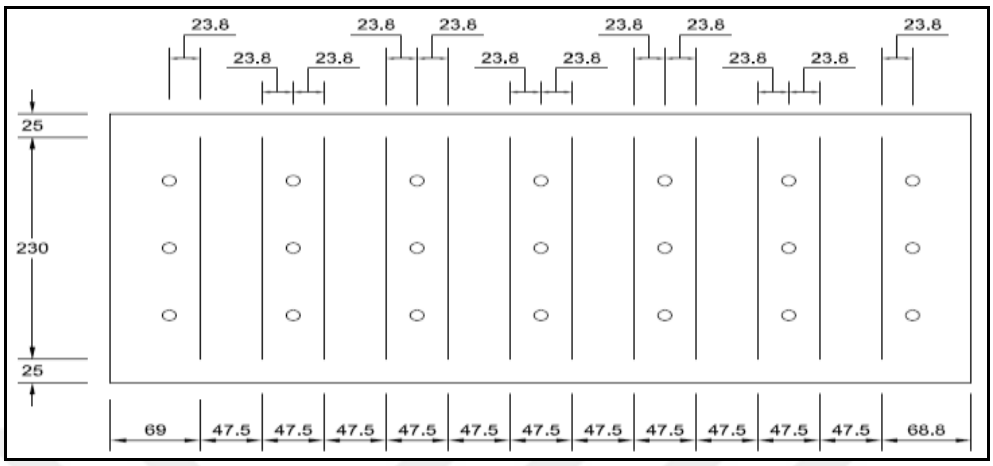
Şekil 4.10. ES-1 bloğu önden görünüm



Şekil 4.11. ES-1 bloğu yandan görünüm

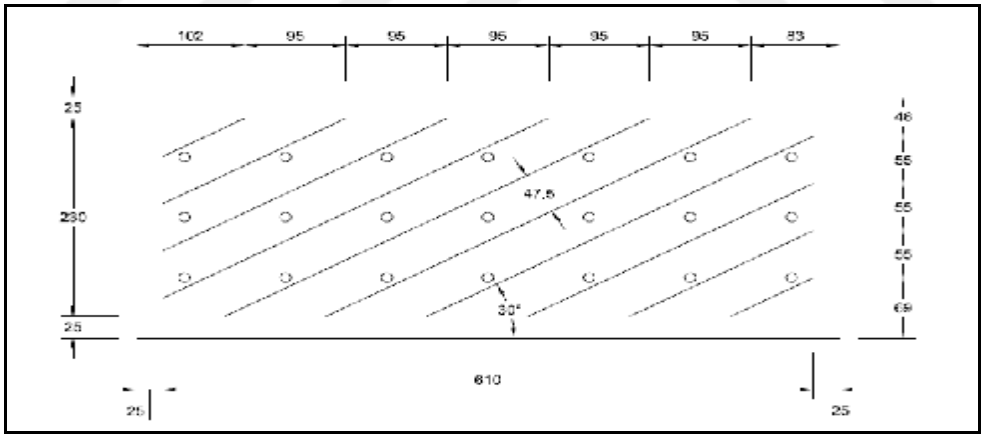
- **Eklem Sistemi 2 (ES-2) Blokları:** Bu bloklar ES-2 olarak adlandırılan bloklardır. Çatlaklar bu sistemde de dikey olarak oluşturulmuş olup ES-1'den tek farkı bu sefer çatlakların deliklere olan mesafesi 47.5 mm şeklindedir.

  ES-2 bloğunun üstten görünümü Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Bu blokta çatlaklar ve delikler arasındaki mesafe herbiri için 23.8 mm dir.



Şekil 4.12. ES-2 bloğu üstten görünüm

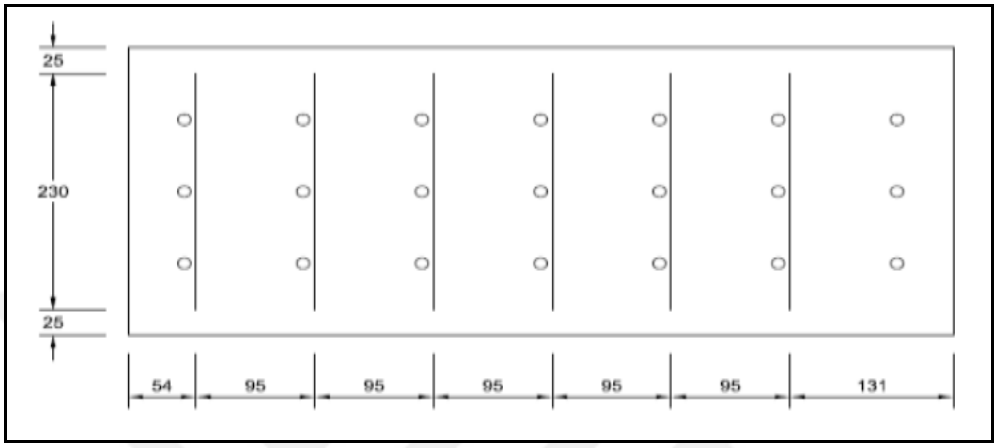
Ø **Eklem Sistemi 3 (ES-3) Blokları**: Bu bloklar ES-3 olarak adlandırılan bloklarıdır. Çatlaklar blok tabanını 30^0 lik açıyla kesecek şekilde dikey olarak yerleştirilmiş olup çatlakların deliklere mesafesi 47.5 mm'dir. Şekil 4.13'te üstten görünümü verilmiştir.



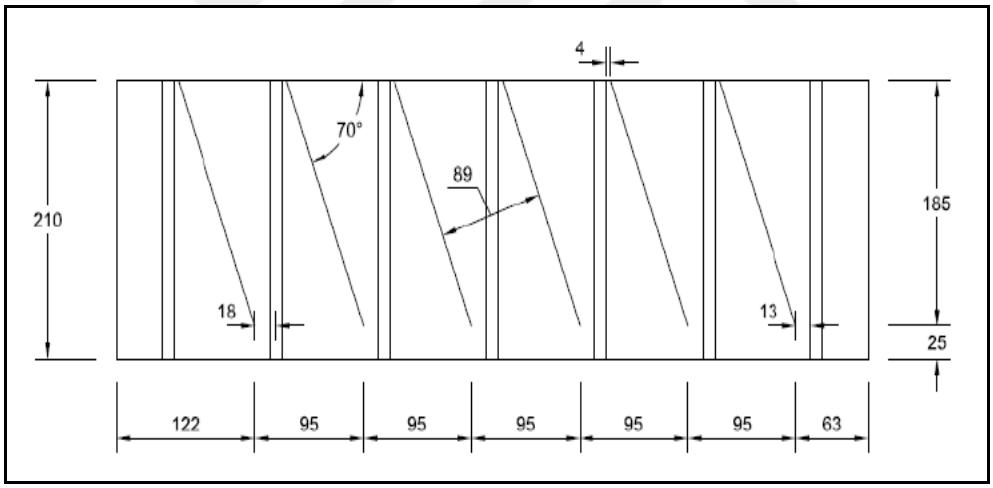
Şekil 4.13. ES-3 bloğu üstten görünüm

Ø **Eklem Sistemi 4 (ES-4) Blokları:** Bu bloklar ES-4 olarak adlandırılan bloklarıdır. Çatlaklar blok tabanını 70^0 lik açıyla kesecek şekilde 90^0 açıyla yerleştirilmiş ve çatlaklar kendi aralarındaki mesafesi 89 mm (95 ×

cos(20))'dir. Üstten ve önden görünümü Şekil 4.14 ve şekil 4.15 te gösterilmiştir.



Şekil 4.14. ES-4 bloğu üstten görünüm



Şekil 4.15. ES-4 bloğu önden görünüm

Bu blokların tamamı İsveç/Lulio Üniversitesinde ortak çalışma ile hazırlanmıştır ve bloklar hazırlandıktan sonra Avusturya/MontanUniversitat'a getirilmiştir.

4.2.2. Blokların İçeriği

Gerçek kayaç simülasyonu sağlayabilmek için örnek materyal olarak magnetit beton bloğu tercih edilmiştir. Verilen karışım tasarımına göre blokların içeriği Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Magnetit beton bloğunun içeriği (Schimek, 2012**)**

İçindekiler	**Miktar (%)**
Portlant Çimentosu CEM II 42.5N	25.62
Su	12.64
Akışkanlaştırıcı (Glenium 361)	0.25
Köpük Kesici (DCC-Entlüfter)	0.13
Magnetit Tozu Ferroxon 618	29.65
Kuvars Kumu ME 3 (0.1-0.5 mm)	31.71

Blok oluşturma işlemi İsveç'te Lulea Teknik Üniversitesi'nde (LTU) oluşturulmuştur. Üretilen bu magnetit bloklar Montan Universitat Leoben'de (MUL) kullanıldı. Patlatma ve sonraki karşılaştırma çalışmaları burada yapılacağı için daha kolay ve uygulanabilir bir tercih olmuştur. Magentit blok, patlatma sonrası için materyal toplandıktan sonra dışardan karışan materyallerden ve manyetik olmayan yabancı cisimlerden ayıklanması yapısı gereği oldukça kolaydır ve uygun bir tercihtir.

4.2.3. Blok Boyutları

Blok boyutlarından emin olmak adına saha çalışmalarına geçilmeden önce her blok için ayrı ayrı (L×W×H) boyut ölçümleri yapılmıştır. Ölçülen blokların değerleri Çizelge 4.3-4.13'te verilmiştir. Bu yapılan ölçümlerin ortalama değerleri ile hacim hesaplaması yapılmıştır. Hacim hesaplamaları yapılırken delik hacimleri ve ağırlıkları hesaba katılmamıştır çünkü hesaplama sırasında ki etkileri oldukça az miktardadır (%0.5-%0.1).

Çizelge 4.3. ES-1 Alfa bloğunun özellikleri

ES-1 Alfa				Ortalama (mm)
L (mm)	665	664	665	665
H (mm)	210	211	211	211
W (mm)	282	282	282	282
Ağırlık (kg)	94			
Yoğunluk (kg/m^3)	2380			
Max tane boyutu (mm)	210			
Ort. tane boyutu (mm)	132			

Çizelge 4.4. ES-1 Beta bloğunun özellikleri

ES-1 Beta				Ortalama (mm)
L (mm)	664	664	664	664
H (mm)	214	214	214	214
W (mm)	281	281	281	281
Ağırlık (kg)	94			
Yoğunluk (kg/m^3)	2353			
Max tane boyutu (mm)	210			
Ort. tane boyutu (mm)	132			

Çizelge 4.5. ES-1 Gama bloğunun özellikleri

ES-1 Gamma				Ortalama (mm)
L (mm)	660	660	660	660
H (mm)	210	212	210	210
W (mm)	282	281	284	282
Ağırlık (kg)	94.50			
Yoğunluk (kg/m^3)	2408			
Max tane boyutu (mm)	210			
Ort. tane boyutu (mm)	132			

Çizelge 4.6. ES-2 Beta bloğunun özellikleri

ES-2 Beta				Ortalama (mm)
L (mm)	660	660	660	660
H (mm)	214	212	210	212
W (mm)	280	280	280	280
Ağırlık (kg)	94.7			
Yoğunluk (kg/m3)	2415			
Max tane boyutu (mm)	210			
Ort. tane boyutu (mm)	116			

Çizelge 4.7. ES-3 Alfa bloğunun özellikleri

ES-3 Alfa				Ortalama (mm)
L (mm)	660	660	660	660
H (mm)	210	210	210	210
W (mm)	280	280	280	280
Ağırlık (kg)	98.4			
Yoğunluk (kg/m3)	2537			
Max tane boyutu (mm)	210			
Ort. tane boyutu (mm)	132			

Çizelge 4.8. ES-3 Beta bloğunun özellikleri

ES-3 Beta				Ortalama (mm)
L (mm)	663	663	664	663
H (mm)	212	211	210	211
W (mm)	280	280	281	280
Ağırlık (kg)	96.5			
Yoğunluk (kg/m3)	2462			
Max tane boyutu (mm)	210			
Ort. tane boyutu (mm)	132			

Çizelge 4.9. ES-4 Alfa bloğunun özellikleri

ES-4 Alfa				Ortalama (mm)
L (mm)	660	660	660	660
H (mm)	202	200	200	200
W (mm)	280	280	280	280
Ağırlık (kg)	90.2			
Yoğunluk (kg/m3)	2436			
Max tane boyutu (mm)	223			
Ort. tane boyutu (mm)	136			

Çizelge 4.10. ES-4 Beta bloğunun özellikleri

ES-4 Beta				Ortalama (mm)
L (mm)	663	663	663	663
H (mm)	209	209	209	209
W (mm)	280	280	280	280
Ağırlık (kg)	93.5			
Yoğunluk (kg/m3)	2412			
Max tane boyutu (mm)	223			
Ort. tane boyutu (mm)	136			

Çizelge 4.11. Ref-1 bloğunun özellikleri

Ref-1				Ortalama (mm)
L (mm)	663	664	661	663
H (mm)	214	214	214	214
W (mm)	282	282	282	282
Ağırlık (kg)	94.1			
Yoğunluk (kg/m3)	2353			
Max tane boyutu (mm)	660			

Çizelge 4.12. Ref-2 bloğunun özellikleri

Ref-2				Ortalama (mm)
L (mm)	663	663	663	663
H (mm)	212	212	205	209
W (mm)	282	282	282	282
Ağırlık (kg)	95.2			
Yoğunluk (kg/m3)	2428			
Max tane boyutu (mm)	660			

Çizelge 4.13. Ref-3 bloğunun özellikleri

Ref-3				Ortalama (mm)
L (mm)	660	660	660	660
H (mm)	208	208	210	209
W (mm)	284	282	283	283
Ağırlık (kg)	94.5			
Yoğunluk (kg/m^3)	2424			
Max tane boyutu (mm)	660			

4.3. Metot

Çatlaklı blokların basamak yüzü dayanımına ve kayaç parçalanması üzerindeki etkilerinin tahmin edilmesi için takip edilen belli başlı ana basamaklar aşağıda ayrıntılı birşekilde başlıklar halinde ele alınmıştır.

4.3.1. P ve S Dalgalarının Ölçümü

P dalgası, kayıtçılara ilk ulaşan deprem dalgasıdır. Hızı kabuğun yapısına göre 1.5 ile 8 km/sn arasında değişir. Tanecik hareketleri yayılma doğrultusundadır, boyuna dalga şeklindedir.

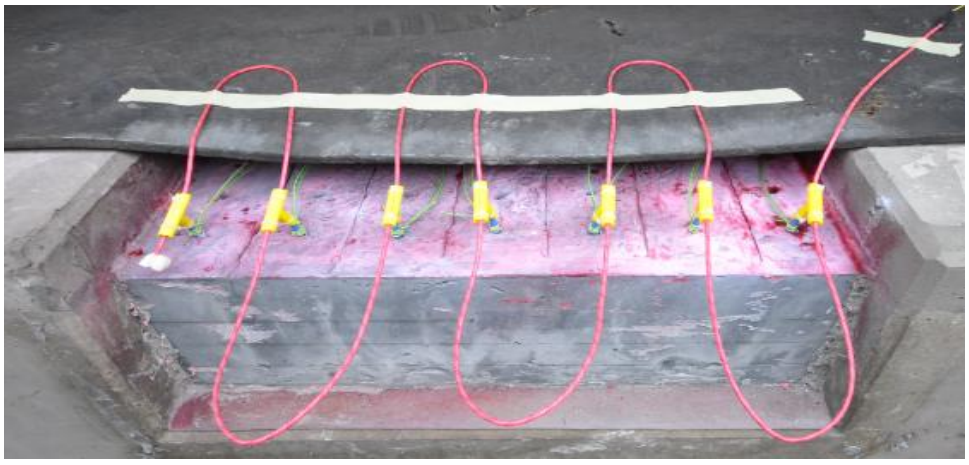
S dalgası, kayıtçılara ikincil olarak ulaşan deprem dalgasıdır. Hızı P dalgası hızının %60'ı ile %70'i arasında değişir. Tanecik hareketleri yayılma doğrultusuna dik ya da çaprazdır, enine dalga şeklindedir.

Blokların boyut ölçümlerinden sonraki aşama P ve S dalgalarının hesaplanması işlemidir. Sismik dalgaların ölçümü için bilgisayara bağlı ve sadece sismik ölçüm tekniğine dayalı özel bir ekipman kullanıldı. Bu cihaz objelere sinyaller gönderir ve bu sırada iki adet prop kullanılır birisi sinyalleri verirken diğeri alıcı görevi görmektedir.

Ölçümün yapılabilmesi için ilk olarak proplar dalga verimini istenilen düzeyde verici prop aracılığı ile blok içerisinden göndermesi ve alıcı ile de bu dalgaların okunabilmesi için prop uçları uygun şekilde jel sıvı ile kaplanır. Bloklar için ölçüm sırasında, probun konulduğu yüzeyin pürüzsüz ve dalga iletimini engellemeyecek şekilde olmasına dikkat edilir ve alıcı-verici proplar simetrik olarak konulur bu işlem iki yönlü yapılır, buradaki asıl amaç her iki yönlü ölçümün kıyaslanarak en doğru sonucu saptamak istenmesidir.

4.3.2. Patlatma sistemleri ve Gecikme Zamanları

Dizayn edilen bütün bloklar her sıra başına toplam 7 adet delikten oluşmaktadır. Toplamda 3 sıra ve 21 delikten oluşan bloklarda ki çalışma amacı çatlaklı bloklarda patlatma sonucu parça boyut dağılımı analizi olduğundan olduğundan dolayı planlanan gecikme aralıkları aynı tutulmuş ve 73 (μs) olarak ayarlanmıştır. Şekil 4.16'da sarj edilen bir blok gösterilmiştir.



Şekil 4.16. ES-1 Alfa bloğuna patlatma öncesi yapılan şarj

Şekil 4.17'de sıraların patlatılması sonucu blokların durumu gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Patlatmalardan sonra ES-1 Alfa bloğu durumları

4.3.3. Analizler Öncesi Hazırlık

Patlatma esnasında gecikme sırası delikler için en üstten en alta doğru şekilde olup bloklarda ise sağdan sola doğru şekildedir. Patlatma için Austin Powder şirketinin PETN infilaklı fitilleri kullanılmış olup, herbiri ayrı olarak 20 g/m dir. Bu kapsüller için detonasyon hızları 7500 m/s şeklindedir. PETN için relatif patlayıcı gücü ANFO ya kıyasla 1.43 katı kadardır. Bu projede PETN kapsüllerinin kullanılma nedenlerinden en önemlisi, 11 mm'lik delik çaplarından küçük yerlerde bile verimli bir şekilde kullanılabilir olmasıdır. Ateşleyici olarak elektrikli tip ateşleyiciler kullanılmıştır. Bloklar için Çizelge 4.14'te gecikme aralıkları verilmiştir. ES-2 Alfa projede yanlış dizayndan dolayı kullanılmamıştır.

Çizelge 4.14. Bloklar için gecikme aralıkları

Örnekler	Gecikme Aralıkları (µs)		
	Sıra 1	Sıra 2	Sıra 3
ES-1 Alfa	73.0	73.0	73.2
ES-1 Beta	72.4	72.6	72.5
ES-1 Gama	73.0	72.7	73.3
ES-2 Beta	73.0	72.7	73.3
ES-3 Alfa	73.1	72.4	72.83
ES-3 Beta	73.1	73.5	73.0
ES-4 Alfa	72.0	72.7	72.6
ES-4 Beta	73.1	72.9	73.0
Referans 1	72.3	73.1	72.7
Referans 2	73.0	73.3	72.4
Referans 3	73.0	73.0	73.0

4.3.4. Elek Analizleri

Tane boyu analizi, cevher hazırlamanın veya cevher hazırlamadan önce tane boyutunu istenen aralıklarda tayin etmek için kullanılan bir yöntemdir. Özellikle serbestleşmenin saptanmasında, kırma, öğütme, sınıflandırma ve susuzlandırma gibi birim işlemlerin tasarımında, performans analizinde veya prosesin kontrol ve anlaşılmasında başvurulan ana araçlardan biridir. Tane irilik dağılımının tayininde birkaç yöntem kullanılmaktadır.

- Elütrasyon
- Sedimantasyon
- Elektriksel Direnç
- Mikroskop
- Mikroelek
- Lazer Işını Saçınımı
- Eleme (yaş ve kuru)

Bu yöntemler vasıtasıyla farklı fiziksel teknikler kullanarak bir tanenin boyutları belirlenmektedir. Elek açıklığı 125, 100, 80, 63, 50, 40, 31.5, 25, 20, 14, 12.5, 10, 6.3, 4, 2, 1, 0.5 ve 0.25 mm elekler kullanılarak elek analizi yapılmaktadır. Kulanılan elek standardı da İngiliz BS 410 standardıdır.

Elek altından çıkan bütün matertyaller ayrı ayrı torbalarda tartılarak kayıt altına alınmıştır. Bu datalar sonraki aşamalarda D_{30}, D_{50} ve D_{80} değerlerini hesaplamada kullanılmıştır. Bütün materyal değerleri elde edildikten sonra, kümilatif olarak yüzdesel değerde elekten geçen materyaller için grafik üzerinde D_{30}, D_{50} ve D_{80} değerleri aşağıdaki formülden hesaplandıktan sonra her blok ve blokların kendi içerisindeki patlatma sıralarına göre grafikler elde edilmiştir.

$$D_{50} = D_L + \frac{D_U - D_L}{P_U - P_L} . (P_{50} - P_L) \quad (4.1)$$

D_{50}: %50 oranda kümilatif materyal geçişi

DL: %30-%50-%80 oranından daha küçük boyutta kümilatif materyal geçişi

DU: %30-%50-%80 oranından daha büyük boyutta kümilatif materyal geçişi

PL: DL değerinde kümilatif materyal geçişi

PU: DU değerinde kümilatif materyal geçişi

P_{50}: D_{50} değerinde kümilatif materyal geçişi (= %50)

Hem bloklar arasında hemde her bloğun delik sıralarının atımları arasında verim kıyaslaması yapabilmek için boyut küçülme oranları hesaplanmıştır. Boyut küçülme oranlarıda aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanmıştır;

$$BKO = \frac{\text{önceki delik sırası}}{\text{sonraki delik sırası}} \quad (4.2)$$

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Blokların P-S Dalgalarının Sonuçları

Sonraki aşama olarak program tarafından çizilmiş olan grafik üzerinden en iyi sonucu seçip excel ortamına alarak aşağıdaki Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi her bloğun P ve S dalga ölçümleri hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1. P ve S dalgalarının sonuçları

Blok İsimleri		P- Dalgaları mm/sn	S-Dalgaları mm/sn	Blok İsimleri		P- Dalgaları mm/sn	S-Dalgaları mm/sn
ES1 Alfa	L	3408	1995	ES3 Beta	L	3143	2149
	H	3068	2012		H	3176	2099
	W	3073	1968		W	3164	2147
ES1 Beta	L	3012	1917	ES4 Alfa	L	3313	2205
	H	2823	1846		H	3098	2177
	W	2791	1959		W	3154	2221
ES1 Gama	L	3266	2139	ES4 Beta	L	3326	2169
	H	3367	2099		H	3354	2204
	W	3290	2057		W	3587	2173
ES2 Alfa	L	3171	2396	Ref1	L	3625	2520
	H	3075	2076		H	3445	2289
	W	3071	2063		W	3586	2288
ES2 Beta	L	3423	2139	Ref2	L	3680	2496
	H	3367	2099		H	3475	2344
	W	3290	2057		W	3670	2249
ES3 Alfa	L	3421	2237	Ref3	L	3764	2465
	H	3306	2189		H	3442	2293
	W	3407	2189		W	3710	2299

P ve S dalgalarının ölçüm amacı çatlaklı olan formasyonlardaki dalga hızları ile çatlaklı olmayan formasyonlarda ki dalga hızlarının kıyaslanabilmesini sağlamak amaçlı yapılmıştır. Çizelge 5.1'de görüldüğü üzere Referans olarak adlandırılan çatlaksız bloklardaki P ve S dalga hızları, çatlaklı olan ES-1, ES-2, ES-3 ve ES-4 bloklarına göre daha büyük değerlere sahip olup. Amaçlanan ölçümü destekler niteliktedir.

5.2. Blokların Elek Analizleri

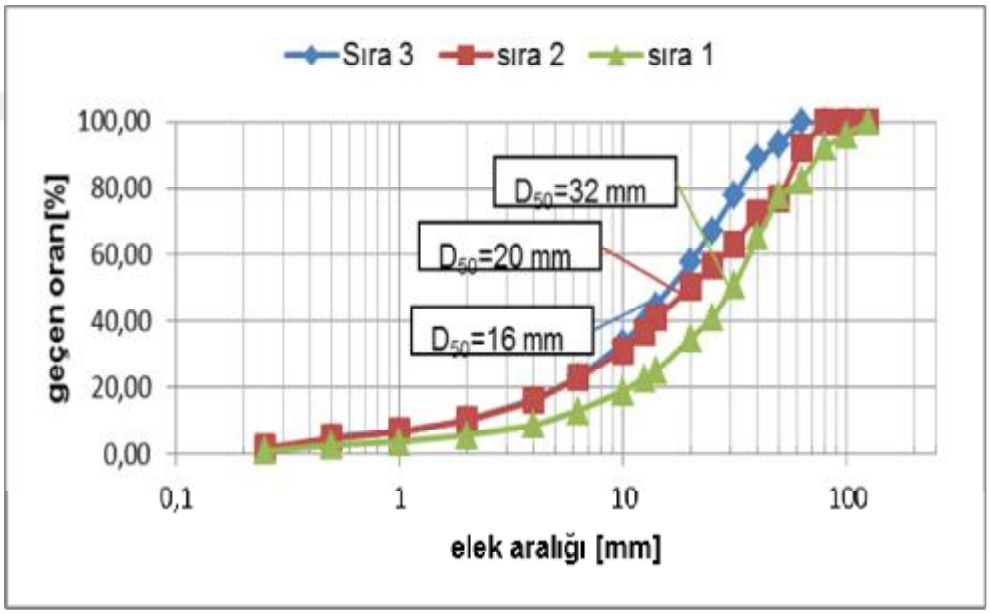
Her sıra patlatmasından sonra parçalanmış materyaller ayrı bir şekilde toplanıp her sıra için ayrı kovalarda laboratuvara getirilmiştir. Elek analizleri Montanuniversitat/Avusturya Maden Mühendisliğinin cevher zenginleştirme bölümünde yapılmıştır. Elek analizleri her bir blok için yapılan patlatmalardan elde edilen materyaller patlatma sıralarına göre ayrı şekilde analiz edilip bunun sonucu olarak boyut dağılımlarına göre elenip ayrı bir şekilde muhafaza edilip ve bunun sonucunda bir D değeri elde edilmiştir. Bu işlem her blok ve bloğun ayrı ayrı sıraları için yapılmıştır. Elek analizi çalışması iki aşama halinde yapılmıştır, birincisi 125 mm - 14 mm arasında ki materyaller için ve ikinci aşama olarakta 14 mm - 0.25 mm aralığındaki materyaller için yapılmıştır. Elek analizi çalışması bilinçli olarak ikincil bir kırılmaya neden olmasın diye manuel/el ile yapılmış olup mekanik eleme sistemi kullanılmamıştır. Eleklerin elek açıklığı 125, 100, 80, 63, 50, 40, 31.5, 25, 20, 14, 12.5, 10, 6.3, 4, 2, 1, 0.5 ve 0.25 mm şeklindedir.

İlk yapılan eleme çalışması (125-14 mm) bittikten sonra, <14 mm olan bütün matertaller bir kova içerisinde toplanıp tartıldıktan sonar eğer ağırlığı >3 kg ise kova içindeki material ikiye bölünüp ikinci elek analizine, <3 kg şeklinde ise material olduğu gibi ikinci elek analizi çalışması için hazırlanmıştır.

Çalışmalar yapılırken büyük boyutlu materyalde ki yabancı malzemeler el ile ayrılıp atılır daha küçük partiküllerde ise manyetki ayırıcı ile materyalden yabancı malzemeler uzaklaştırılmıştır.

Dağılım eğrileri incelendiğinde bazı eğrilerin %100 oranına erişmediği gözlenmektedir. Bu bazı materyallerin hiçbir elekten geçmediğinin göstergesidir. Bilindiği gibi bu grafikler elek altında kalan materyallerin dağılımı şeklinde olduğundan dolayı.

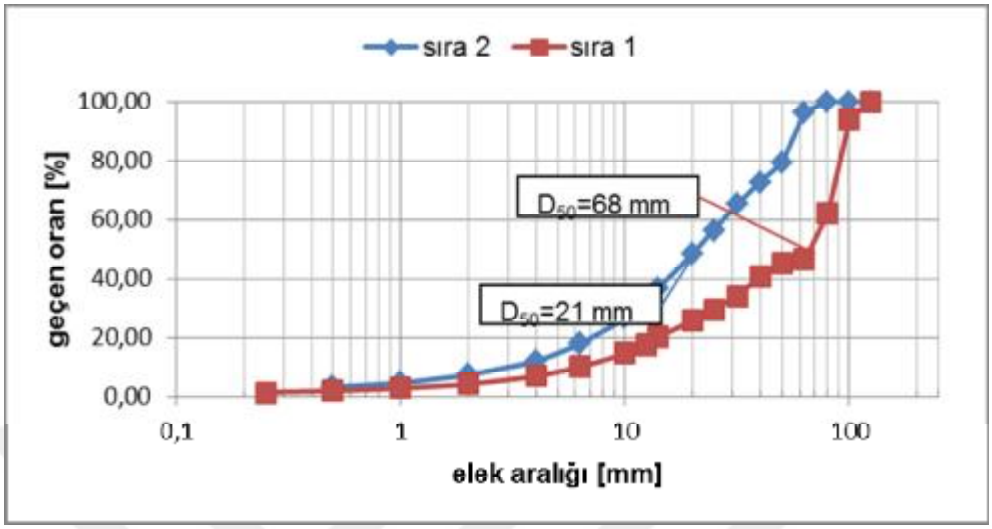
Aşağıdaki şekillerde blokların elek boyutuna göre her üç delik sırası için dağılım şekilleri gösterilmiştir (Şekil 5.1-5.11).



Şekil 5.1. ES-1 Alfa tane boyut dağılımı

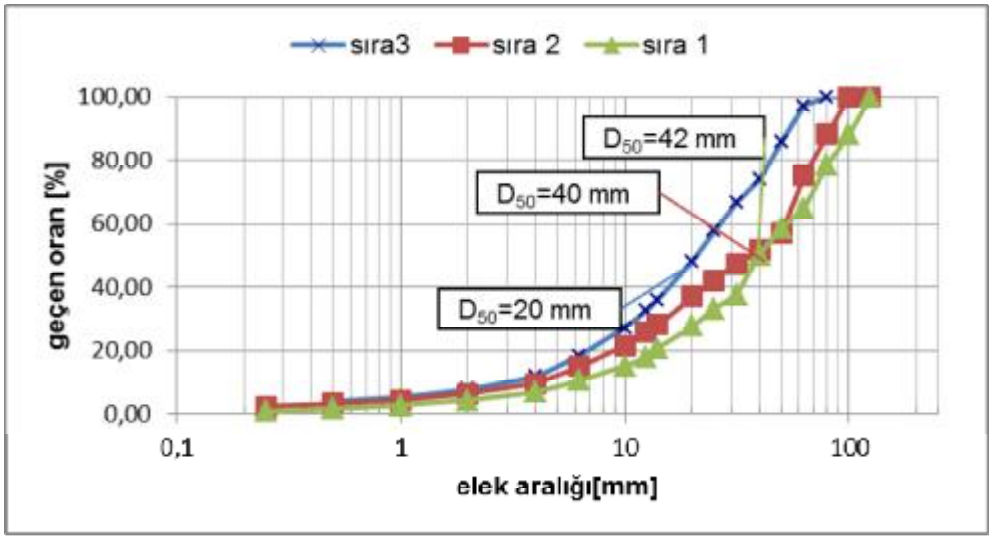
ES-1 Alfa bloğunda patlatmadan önce ortalama D_{50} değeri 132 mm olarak hesaplanmıştı. Patlatmadan öncesini ve sonrasını hesaplayacak olursak her sıra arasında boyut küçülme oranı 1. patlatma sırasında 4.1 kat, 2. patlatma sırasında 6.6 kat ve 3. patlatma sırasında 8.25 kat küçülmüştür.

Patlatma sonrası sıraların ortalama tane boyutlarının (D_{50}) kendi aralarındaki oranları ise şu şekilde değişmektedir; 2. patlatma sırası 1. patlatma sırasına nazaran 1.6 kat ve 3. patlatma sırası 2. Patlatma sırasına nazaran 1.25 kat daha fazla küçülmüştür.



Şekil 5.2. ES-1 Beta tane boyut dağılımı

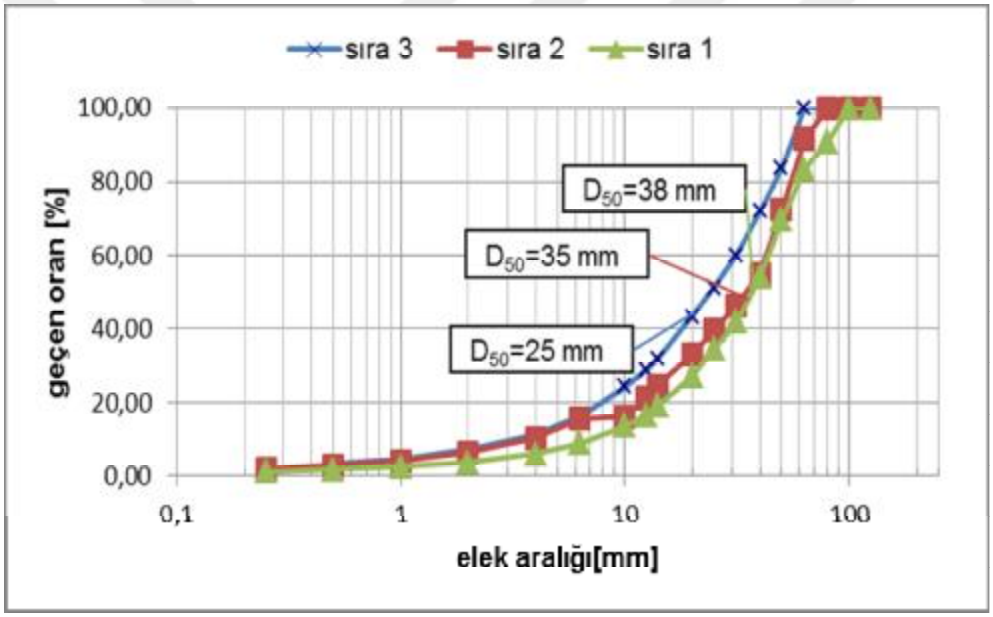
ES-1 Beta bloğu planlanan boyutlarda tasarlanırken hatalı üretildiği için patlatılmasına ragmen hesaplamalara katılmamıştır ve grafiktende bloğun tane boyut dağılımının aynı eklem sistemlerine sahip diğer bloklardan farklı olduğu net bir şekilde görülebilir.



Şekil 5.3. ES-1 Gama tane boyut dağılımı

ES-1 Gama bloğunda patlatmadan önce ortalama D_{50} değeri 132 mm olarak hesaplanmıştı.

Patlatmadan öncesini ve sonrasını hesaplayacak olursak her sıra arasında boyut küçülme oranı 1. patlatma sırasında 3.14 kat, 2. patlatma sırasında 3.3 kat ve 3. patlatma sırasında 6.6 kat küçülmüştür. Patlatma sonrası sıraların ortalama tane boyutlarının (D_{50}) kendi aralarındaki oranları ise şu şekilde değişmektedir; 2. patlatma sırası 1. patlatma sırasına nazaran 1.05 kat ve 3. patlatma sırası 2. Patlatma sırasına nazaran 1.5 kat daha fazla küçülmüştür.

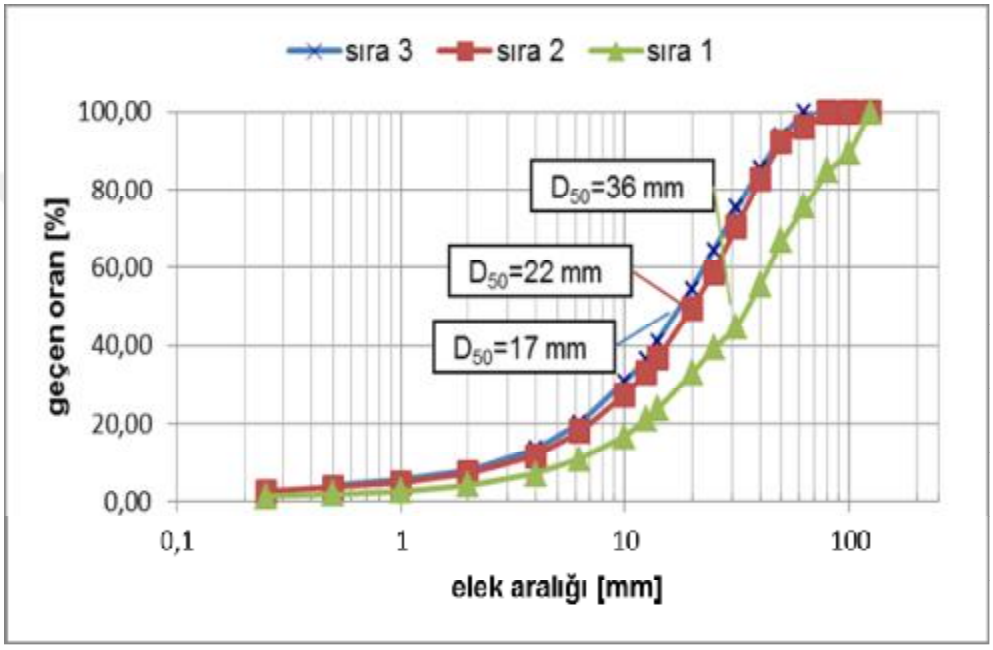


Şekil 5.4. ES-2 Beta tane boyut dağılımı

ES-2 Beta bloğunda patlatmadan önce ortalama D_{50} değeri 116 mm olarak hesaplanmıştı.

Patlatmadan öncesini ve sonrasını hesaplayacak olursak her sıra arasında boyut küçülme oranı 1. patlatma sırasında 3.05 kat, 2. patlatma sırasında 3.32 kat ve 3. patlatma sırasında 4.64 kat küçülmüştür.

Patlatma sonrası sıraların ortalama tane boyutlarının (D_{50}) kendi aralarındaki oranları ise şu şekilde değişmektedir; 2. patlatma sırası 1. patlatma sırasına nazaran 1.08 kat ve 3. patlatma sırası 2. patlatma sırasına nazaran 1.4 şeklindedir.

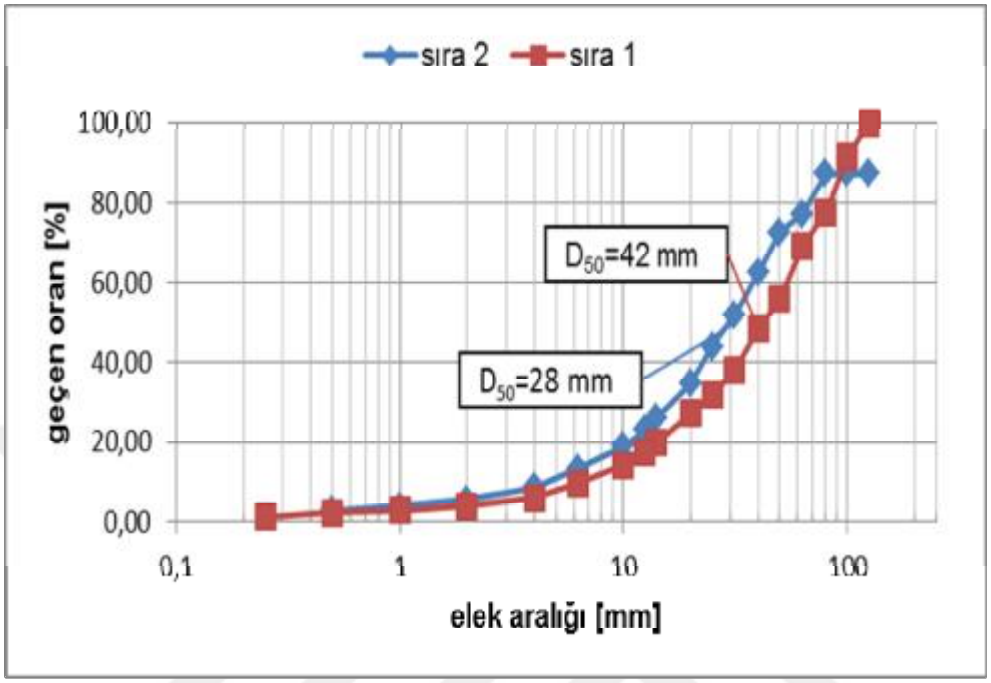


Şekil 5.5. ES-3 Alfa tane boyut dağılımı

ES-3 Alfa bloğunda patlatmadan önce ortalama D_{50} değeri 132 mm olarak hesaplanmıştı.

Patlatmadan öncesini ve sonrasını hesaplayacak olursak her sıra arasında boyut küçülme oranı 1. patlatma sırasında 3.66 kat, 2. patlatma sırasında 6 kat ve 3. patlatma sırasında 7.77 kat küçülmüştür.

Patlatma sonrası sıraların ortalama tane boyutlarının (D_{50}) kendi aralarındaki oranları ise şu şekilde değişmektedir; 2. patlatma sırası 1. patlatma sırasına nazaran 1.64 kat ve 3. patlatma sırası 2. patlatma sırasına nazaran 1.29 kat şeklindedir.

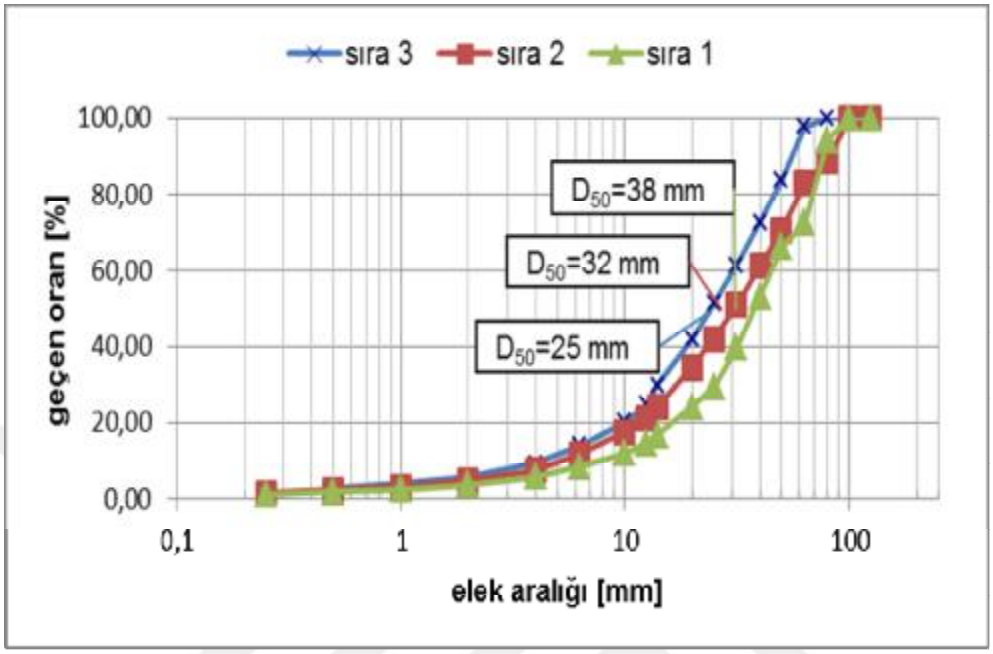


Şekil 5.6. ES-3 Beta tane boyut dağılımı

ES-3 Beta bloğunda patlatmadan önce ortalama D_{50} değeri 132 mm olarak hesaplanmıştı.

Patlatmadan öncesini ve sonrasını hesaplayacak olursak her sıra arasında boyut küçülme oranı 1. patlatma sırasında 3.14 kat, 2. patlatma sırasında 4.71 kat küçülmüştür ve 3. patlatma yapılamamıştır bunun nedeni ise, 2. sıra patlatılırken son delik sırasının çökmesi ile sonuçlanmıştır.

Patlatma sonrası sıraların ortalama tane boyutlarının (D_{50}) kendi aralarındaki oranları ise şu şekilde değişmektedir; 2. patlatma sırası 1. patlatma sırasına nazaran 1.5 kat şeklindedir.

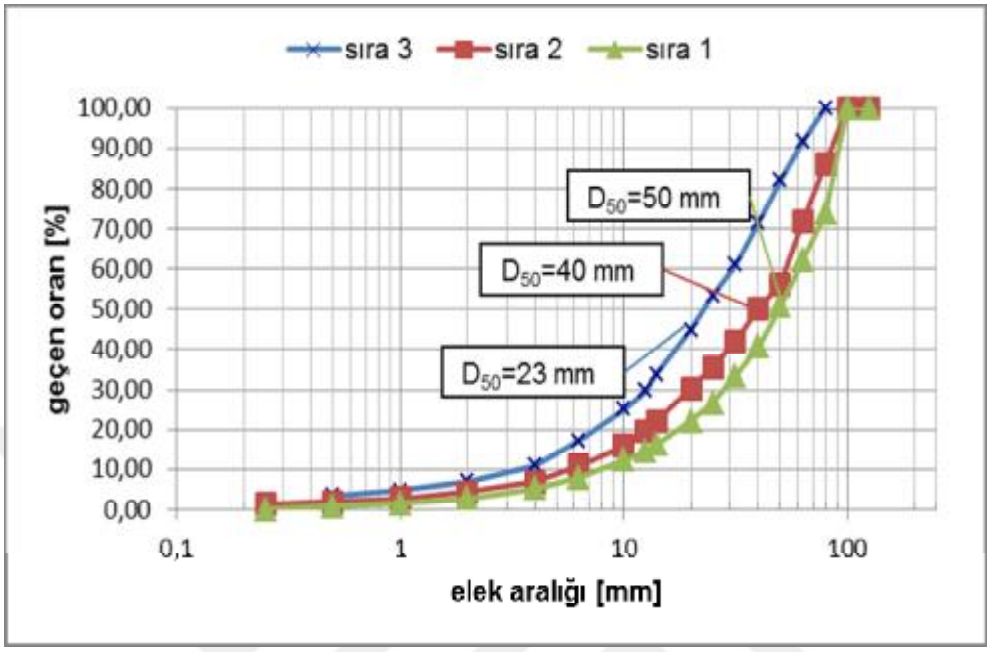


Şekil 5.7. ES-4 Alfa tane boyut dağılımı

ES-4 Alfa bloğunda patlatmadan önce ortalama D_{50} değeri 136 mm olarak hesaplanmıştı.

Patlatmadan öncesini ve sonrasını hesaplayacak olursak her sıra arasında boyut küçülme oranı 1. patlatma sırasında 3.58 kat, 2. patlatma sırasında 4.25 kat ve 3. patlatma sırasında 5.44 kat küçülmüştür.

Patlatma sonrası sıraların ortalama tane boyutlarının (D_{50}) kendi aralarındaki oranları ise şu şekilde değişmektedir; 2. patlatma sırası 1. patlatma sırasına nazaran 1.19 kat ve 3. patlatma sırası 2. patlatma sırasına nazaran 1.28 kat şeklindedir.

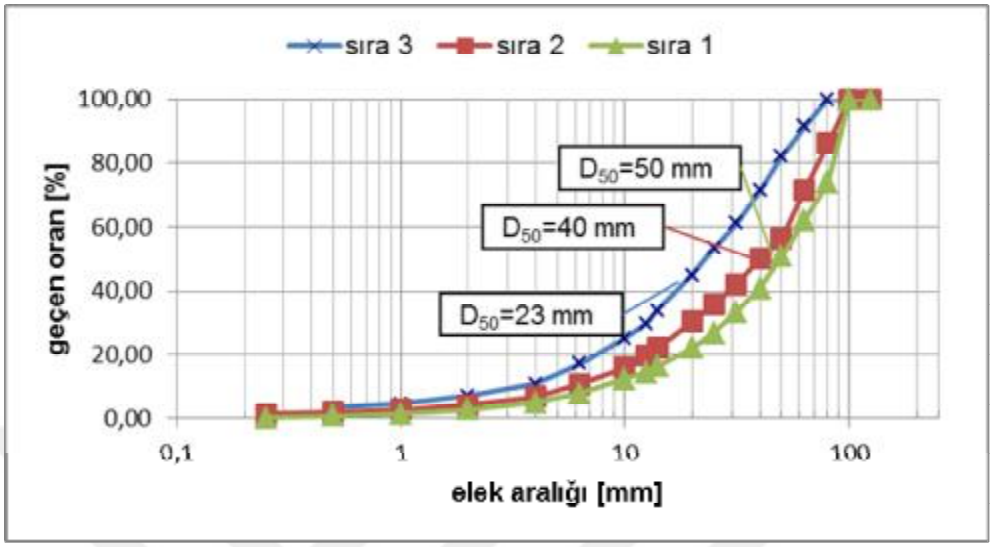


Şekil 5.8. ES-4 Beta tane boyut dağılımı

ES-4 Beta bloğunda patlatmadan önce ortalama D_{50} değeri 136 mm olarak hesaplanmıştı.

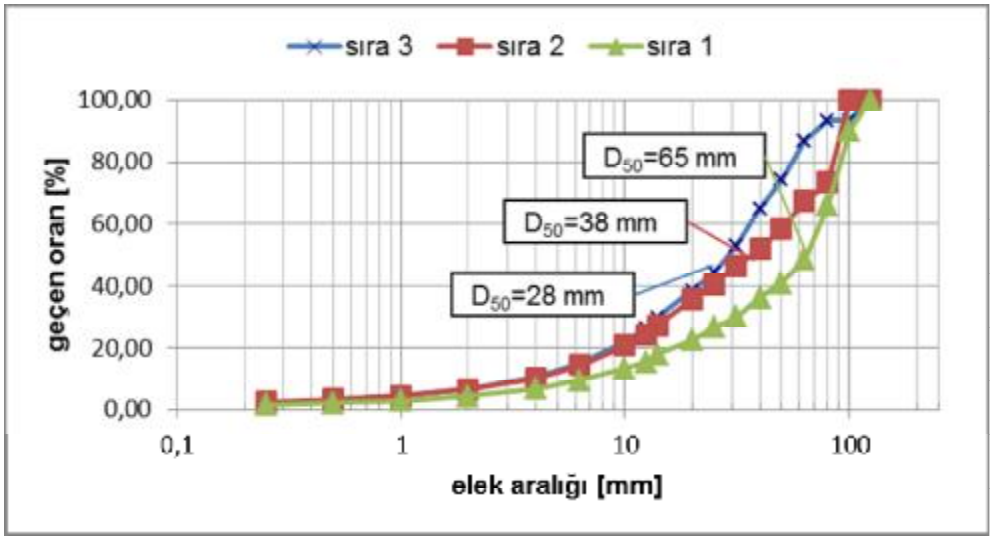
Patlatmadan öncesini ve sonrasını hesaplayacak olursak her sıra arasında boyut küçülme oranı 1. patlatma sırasında 2.72 kat, 2. patlatma sırasında 3.4 kat ve 3. patlatma sırasında 5.91 kat küçülmüştür.

Patlatma sonrası sıraların ortalama tane boyutlarının (D_{50}) kendi aralarındaki oranları ise şu şekilde değişmektedir; 2. patlatma sırası 1. patlatma sırasına nazaran 1.25 kat ve 3. patlatma sırası 2. patlatma sırasına nazaran 1.74 kat şeklindedir.



Şekil 5.9. Referans-1 tane boyut dağılımı

Ref-1 bloğu planlanan boyutlarda tasarlanırken hatalı üretildiği için patlatılmasına ragmen hesaplamalara katılmamıştır ve grafiktende bloğun tane boyut dağılımının aynı yapıya sahip diğer bloklardan farklı olduğu net bir şekilde görülebilir.

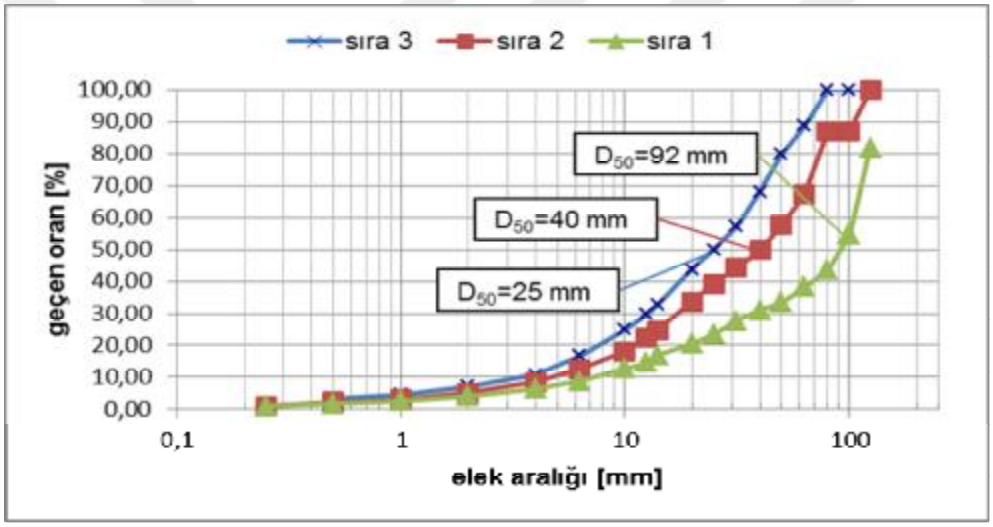


Şekil 5.10. Referans-2 tane boyut dağılımı

Ref-2 bloğunda patlatmadan önce ortalama D_{50} değeri 660 mm olarak hesaplanmıştı. Patlatmadan öncesini ve sonrasını hesaplayacak olursak her sıra arasında boyut küçülme oranı 1. patlatma sırasında 10.15 kat, 2. patlatma sırasında 17.37 kat ve 3. patlatma sırasında 23.57 kat küçülmüştür.

Patlatma sonrası sıraların ortalama tane boyutlarının (D_{50}) kendi aralarındaki oranları ise şu şekilde değişmektedir;

2. patlatma sırası 1. patlatma sırasına nazaran 1.71 kat ve 2. patlatma sırası 1. patlatma sırasına nazaran 1.36 kat şeklindedir.



Şekil 5.11. Referans-3 tane boyut dağılımı

Ref-3 bloğunda patlatmadan önce ortalama D_{50} değeri 660 mm olarak hesaplanmıştı. Patlatmadan öncesini ve sonrasını hesaplayacak olursak her sıra arasında boyut küçülme oranı 1. patlatma sırasında 7.17 kat, 2. patlatma sırasında 16.5 kat ve 3. patlatma sırasında 26.4 kat küçülmüştür.

Patlatma sonrası sıraların ortalama tane boyutlarının (D_{50}) kendi aralarındaki oranları ise şu şekilde değişmektedir; 2. patlatma sırası 1. patlatma sırasına nazaran 2.3 kat ve 3. patlatma sırası 2. patlatma sırasına nazaran 1.6 kat şeklindedir.

Çizelge 5.2'de patlatmadan önce ve patlatmadan sonra ortalama tane boyut değerlerine göre boyut küçültme oranları belirtilmiştir. Çizelge 5.3'te ise delik sıralarının kendi aralarında boyut küçülme oranları belirtilmiştir.

Çizelge 5.2. Patlatmadan önce ve sonra boyut küçülme oranları (BKO)

Bloklar	Patlatmadan önce (D_{50})	Patlatmadan sonra					
		1.Sıra (D_{50})	BKO	2.Sıra (D_{50})	BKO	3.Sıra (D_{50})	BKO
ES-1 Alfa	132	32	4.13	20	6.6	16	8.25
ES-1 Gama	132	42	3.14	40	3.3	20	6.6
ES-2 Beta	116	38	3.05	35	3.31	25	4.64
ES-3 Alfa	132	36	3.67	22	6	17	7.76
ES-3 Beta	132	42	3.14	28	7.71	-	-
ES-4 Alfa	136	38	3.57	32	4.25	25	5.44
ES-4 Beta	136	50	2.72	40	3.4	23	5.91
Referans-2	660	65	10.1	38	17.3	28	23.5
Referans-3	660	92	7.17	40	16.5	25	26.4

Çizelge 5.3. Patlatmadan sonra boyut küçülme oranları (BKO)

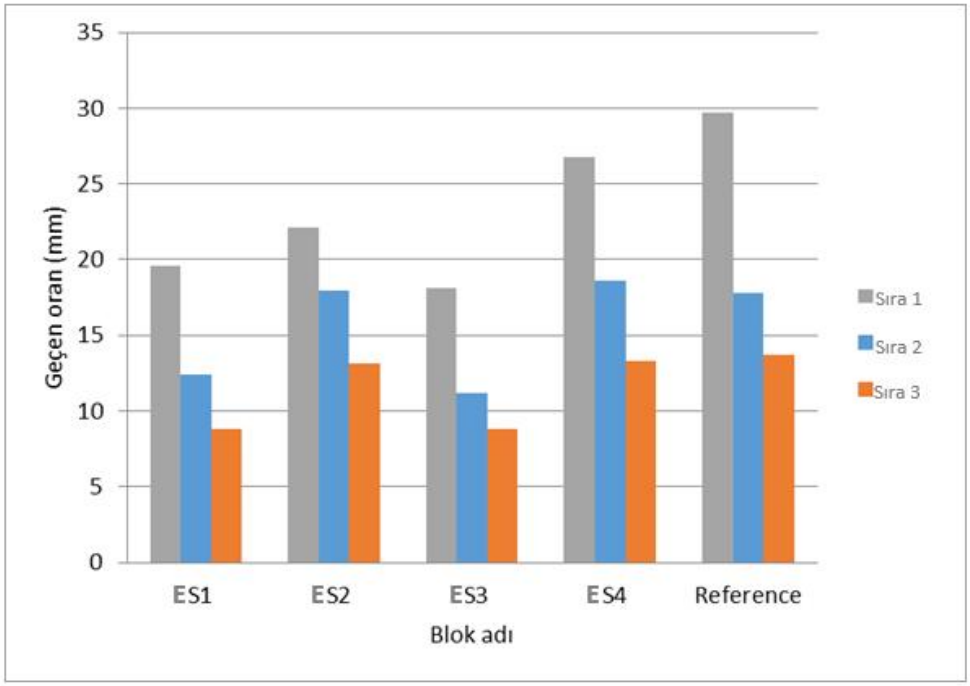
Bloklar	1.Sıra (D_{50})	2.Sıra (D_{50})	3.Sıra (D_{50})	BKO-1	BKO-2	Atım tarihleri
ES-1 Alfa	32	20	16	1.60	1.25	28.05.2015
ES-1 Gama	42	40	20	1.05	2.00	18.06.2015
ES-2 Beta	38	35	25	1.09	1.40	22.06.2015
ES-3 Alfa	36	22	17	1.64	1.29	11.06.2015
ES-3 Beta	42	28	-	1.50		01.07.2015
ES-4 Alfa	38	32	25	1.19	1.28	25.06.2015
ES-4 Beta	50	40	23	1.25	1.74	03.07.2015
Referans-2	65	38	28	1.71	1.36	12.05.2015
Referans-3	92	40	25	2.30	1.60	29.06.2015

Çizelge 5.4'e göre çatlaklı blokların parça boyut dağılımı, çatlaksız olan bloklara (referans) kıyasla daha iyi sonuçlar oluşturduğu söylenebilir.

Çizelge 5.4. Blokların D_{30}, D_{50} ve D_{80} değerleri

ES-1 Alfa	**Sıra 1**	**Sıra 2**	**Sıra 3**	**ES-4 Alfa**	**Sıra 1**	**Sıra 2**	**Sıra 3**
D_{30}	17.17	09.57	08.80	D_{30}	25.47	17.39	14.02
D_{50}	30.86	19.89	16.43	D_{50}	38.04	30.86	24.34
D_{80}	56.83	52.83	33.09	D_{80}	68.90	60.04	46.69
ES-1 Beta	**Sıra 1**	**Sıra 2**	**Sıra 3**	**ES-4 Beta**	**Sıra 1**	**Sıra 2**	**Sıra 3**
D_{30}	25.71	11.34	-	D_{30}	28.13	19.83	12.62
D_{50}	66.79	21.05	-	D_{50}	49.22	39.86	23.03
D_{80}	91.24	50.53	-	D_{80}	84.70	72.81	48.05
ES-1 Gama	**Sıra 1**	**Sıra 2**	**Sıra 3**	**Referans 1**	**Sıra 1**	**Sıra 2**	**Sıra 3**
D_{30}	22.01	15.02	08.80	D_{30}	20.56	19.87	14.40
D_{50}	39.87	36.35	20.83	D_{50}	48.85	54.10	30.25
D_{80}	83.07	69.50	47.22	D_{80}	90.87	124.55	57.18
ES-2 Beta	**Sıra 1**	**Sıra 2**	**Sıra 3**	**Referans 2**	**Sıra 1**	**Sıra 2**	**Sıra 3**
D_{30}	22.01	17.98	13.16	D_{30}	31.06	15.89	14.01
D_{50}	37.25	35.14	24.31	D_{50}	64.46	36.98	29.29
D_{80}	59.78	55.20	46.81	D_{80}	91.66	85.03	56.09
ES-3 Alfa	**Sıra 1**	**Sıra 2**	**Sıra 3**	**Referans 3**	**Sıra 1**	**Sıra 2**	**Sıra 3**
D_{30}	18.10	11.18	08.80	D_{30}	37.48	17.57	12.64
D_{50}	35.64	20.23	18.02	D_{50}	91.70	40.33	25.02
D_{80}	70.94	38.17	35.53	D_{80}	123.31	73.99	50.38
ES-3 Beta	**Sıra 1**	**Sıra 2**	**Sıra 3**				
D_{30}	23.02	16.76	-				
D_{50}	42.23	29.98	-				
D_{80}	83.48	67.85	-				

Elek analizinin çıktıları çatlaklı kayaçların parça boyut dağılımı üzerindeki etkilerini hesaplama da oldukça büyük bir öneme sahiptir. D_{30}, D_{50}, ve D_{80} değerlerinin her çatlak yapısı için yüzdesel dağılım oranları Şekil 5.12-Şekil 5.14'te verilmiştir.

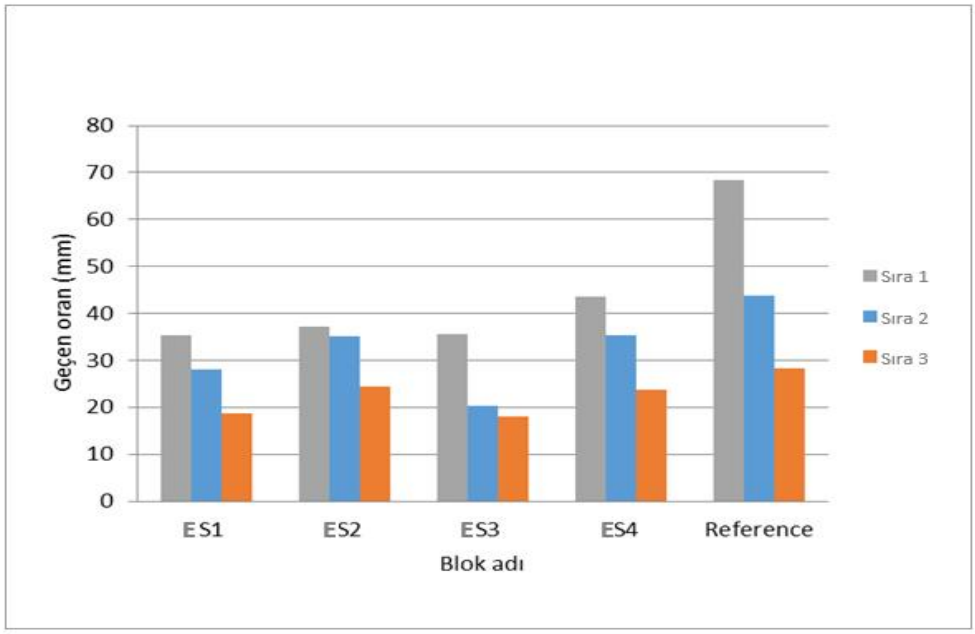


Şekil 5.12. Blokların D_{30} değerleri

D_{30} değerlerinin elek analizleri sonucu kıyaslandığı zaman parça boyut dağılımı olarak ES-4 çatlak yapısı hariç diğer bütün çatlaklı boyutların her halükarda daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

Referans blokları delik sıraları baz alınarak kıyaslandığı zaman oldukça farklılık göstermektedir.

Delik sıraları arasındaki değişkenlik çatlaklı bloklarda ise daha az oranda sapmalar şeklinde kendini göstermektedir. D_{30} değerleri içinde en iyi sonucu ES-3 çatlaklı yapısı göstermektedir.



Şekil 5.13. Blokların D_{50} değerleri

D_{50} değerleri D_{30} değerlerinde olduğu gibi benzer sonuçlar göstermektedir. Referans bloğunun materyal büyüklüğü diğer çatlaklı boyutlara kıyasla oldukça daha büyük olduğu görülmektedir.

Özetle patlatma sonrası çatlaklı blokların parça boyut dağılımının daha iyi olacağı söylenebilir.

D_{30} ve D_{50} de olduğu gibi referans bloğu için D_{80} değerleri oldukça kaba materyallere sahip olduğu görülmektedir hatta D_{30} ve D_{50} ye kıyasla en kaba materyallere sahip olduğu söylenebilir.

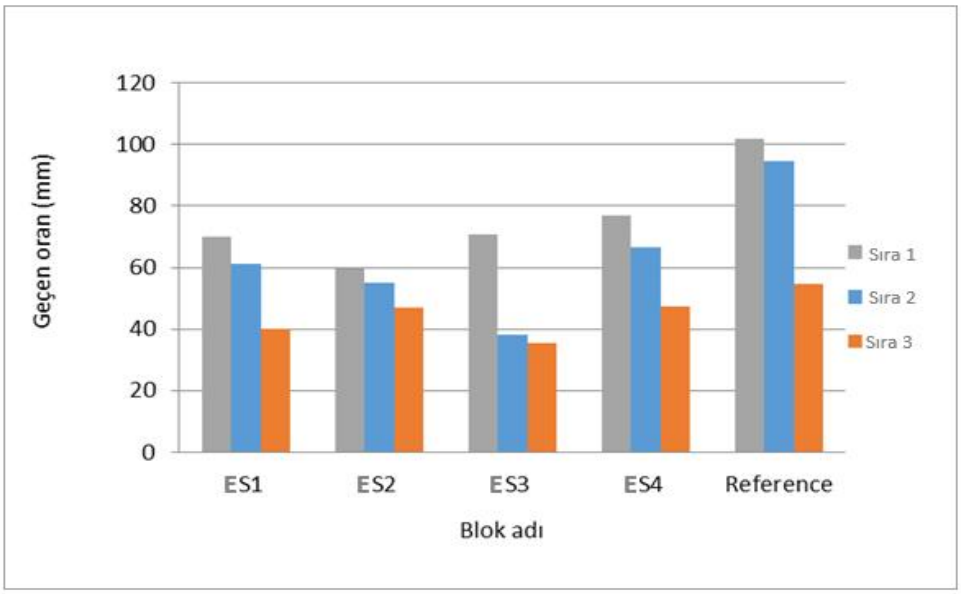
Blokların içerisinde çatlakların varoluşu patlatma sonrası parçalanmayı arttırır nitelikte etki etmektedir. Elek analizlerini sonuçlandırmak için, çatlaklı blokların parça boyut dağılımını özetlemek gerekirse;

D_{30} için ES-3 < ES-1 < ES-2 < ES4 < Referans (ES-3 en küçük parça boyut dağılımına sahiptir).

D_{50} için ES-3 < ES-1 < ES-2 < ES-4 < Referans

D_{80} için ES-3 < ES-1 ≈ ES-2 < ES-4 < Referans

Sonuçların güvenilirliğini arttırmak amacıyla daha fazla örneğin üzerinde patlatma çalışmaları yapılabilir.



Şekil 5.14. Blokların D_{80} değerleri

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada elde edilen bulgulara göre, Referans bloklarının hem P dalga değerleri hemde S dalga değerleri öteki eklem sistemlerine sahip bloklarla kıyaslandığında daha büyük çıkmaktadır. Bununda nedeni olarak masif yapıya sahip referans bloğunun dalga iletim hızları çatlak olmadığı için diğer bloklara göre daha hızlı dalga iletimine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Eklem sistemine sahip blokların kendi aralarında P-S dalga yayılma hızları kıyaslandığında ise her eklem takımı için birbirine yakın değerlerde elde edilmiştir. ES-1 için ortalama P değeri 3122 mm/sn, S değeri ise 2000 mm/sn şeklindedir. ES-2 için ise P değeri 3230 mm/sn iken S değeri 2140 mm/sn şeklindedir. ES-3 bloğunda P ve S değerleri 3270 mm/sn ve 2170 mm/sn şeklindedir. ES-4 bloğunda P değeri 3305 mm/sn iken S değeri 2190 mm/sn dir. Son olarak Referans bloğunda bu ortalama değerler P için 3600 mm/sn ve S için ise 2360 mm/sn şeklindedir.

Bloklar patlatılmadan önce her blok için ortalama tane boyutu şu şekildedir; ES-1 için 132 mm, ES-2 için 116 mm, ES-3 için 132 mm, ES-4 için 136 mm ve Referans bloğu içinde masif olduğundan dolayı hem maksimum hemde ortalama boyutu 660 mm şeklinde hesaplanmıştır.

Boyut küçülme oranları ES-1'de 1. sıra için öteki eklem sistemlerine nazaran daha iyi sonuç vermiştir. ES-1 serbest yüzeylere dik ya da paralel olduğunda parça boyut dağılımını daha olumlu yönde etkilemektedir denilebilir. Bu sonuç aynı zamanda ES-1 ve ES-4 kıyaslaması içinde ifade edilebilir. Her iki eklem sisteminde de çatlakların birbirine olan mesafeleri 95 mm olmasına karşın ES-4 bloğunda çatlaklar tabana 70° lik açıyla oluşturulmuştur. Böylece serbest yüzeye paralel olan ES-1 bloğu çatlaklar arası mesafesi aynı olmasına karşın ES-4 bloğundan daha iyi boyut küçülme oranlarına sahiptir. ES-1'de 2. sıra için ise yine diğer eklem sistemlerine nazaran daha iyi sonuç vermesine karşın ES-3 eklem sistemine sahip bloklarda boyut küçülme oranı değerlerine yakın sonuçlar

oluşmuştur. Bunun ilk patlatmanın tesiriyle ikinci sırada oluşan ilave çatlaklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

3. patlatma sırası kıyaslanmak istendiğinde ES-1 bloğunun BKO değeri diğer eklem sistemine sahip bloklara nazaran en iyi sonuç verdiği gözlemlenmektedir.

Aynı eklem sistemine sahip olmasına karşın çatlaklar arasındaki mesafenin etkisini gözlemlemek için oluşturulan ES-1 ve ES-2 bloklarının BKO değerleri kıyaslandığında; ES-1 bloğunun diğerine oranla daha küçük oranda parça boyut dağılımına sahip olduğu gözlemlenmektedir. Buradan eklem sistemlerinin sıklığının parça boyut dağılımı üzerinde lineer bir etkiye sahip olmadığı sonucu çıkarılabilir.

Masif olarak oluşturulan Referans bloklarının BKO değerlerine bakıldığında 1. sıra, 2.sıra ve 3. sıra atımlarında eklem sistemine sahip bloklara nazaran daha yüksek oranda BKO'ya sahip olmakla birlikte tane boyutu en büyük olan bloklarda yine bu Referans bloklarla yapılan patlatmalardan elde edilmiştir.

Patlatmadan sonra her patlatma sırası kendi arasında kıyaslandığında ise, ES-1 Alfa'nın BKO değeri küçülürken aynı eklem sistemine sahip ES-1 Gama'nın BKO değeri artmıştır. Benzer sonuç Referans blokları içinde çıkmıştır. Bunun nedeni olarak ise ES-1 Gama'nın ES-1 Alfa'dan 1 ay sonra ve Ref-3'ün Ref'2 den yaklaşık olarak 1.5 ay sonra patlatılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Testlerden elde edilen sonuçların saha uygulamalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması uygun olacaktır.

Özgül şarjın 2. ve 3. sıra patlatmalarında azaltılabileceği düşünülmektedir ancak saha patlatmalarıyla deneylerden elde ettiğimiz bu sonucun kontrol edilmesi gerekmektedir.

Çatlaklar arası mesafe aynı olmasına karşın serbest yüzeye paralel ve aynaya dik olan formasyonlarda saha koşullarında etkilerinin incelenmesi ileriye dönük patlatma çalışmalarında yol gösterici olabileceği düşünülmektedir.

Eklem sistemlerinin birbirine olan mesafesi azaldıkça parça boyut dağılımı aynı oranda azalma göstermemektedir. Bu görüşümüzün saha çalışmalarıyla incelenmesi önerilir.

Bu çalışma için üretilen bloklarda kıyas noktası olarak seçilen tek farklılık eklem takımları olup bu eklem takımlarının hem kendi aralarındaki parça boyut dağılımı etkisi ve farklarını ölçmek hemde çatlaksız olarak üretilen referans bloğuyla karşılaştırmak şeklindedir. Sonuç olarak masif olarak üretilen Referans bloğunun BKO oranı diğer eklem sistemlerine sahip bloklara nazaran daha iyi olmasına karşın yine de parça boyut dağılımı en büyük ortalama tane boyutuna sahip blok olduğu gözlemlenmiştir. Böylece çalışmanın asıl amacı olan aynı özgül şarjda eklem sistemli formasyonların masif formasyonlara nazaran parça boyut dağılımnın daha düşük olduğu saptanmıştır.

KAYNAKLAR

Ak, H., 2006. Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarının Yönsel Değişiminin Araştırılması. Doktora Tezi. Eskişehir Osman Gazi Üniv. F.B.E. Maden Müh. Bölümü

Akyol, E., 2002. Kaya Mekaniği-I Ders Notları. Denizli: Pamukkale Üniversitesi Müh. Fak.

Atlas Powder Company, 1987. Explosives and Rock Blasting. Dallas, Texas, USA: Filed Technical Operations, Subsidiary of the Tyler Corporation.

Bhandari, S., 1997. Engineering rock blasting operations. A.A. Balkema Publishers, Brookfeid, ISBN 90-5410 658 1. Rotterdam. 374.

Bieniawski, Z.T., 1989. Engineering Rock Mass Classification. New York: Mc Graw Hill.

Bilgin, H, A., 1999. İnfilak kuram, Barutsan Dergisi, 1999/3, Sayfa 4-12

Bilgin, H., Aydın, P., 1986. Açık İşletmelerde Patlatma Sorunları ve Tasarım, TKİ Gn. Md. ve ODTÜ, Ankara, 102 sayfa.

Bilim, N, Çelik, A, Kekeç, B., 2015. Kırmataş İşletmelerinde Delme-Patlatma İşleminin Toplam Maliyete Olan Etkisinin Belirlenmesi, 8. Delme-Patlatma Sempozyumu, s. 259-266.

Birtek, N., 1982. "Rock Mechanics Approach to the Comminution of Rocks", Yayınlanmamış Dönem Makalesi, ODTÜ, Ankara.

Capehart, E. and Lilly, P., 2002. A review of general considerations for assessing rock mass blastability and fragmentation, Fragblast, Vol. 6, No: 2, pp. 151−168.

Chung, S. H. and Katsabanis, P. D., 2000. Fragmentation prediction using improved engineering formulae, Fragblast, Vol. 4, pp. 198–207.

Clark, G. B., Hartman, H. L., & Soderberg, A., 1968. Surface mining.

Cummins, G., 1973. SME Mining Engineering Handbook, Volume 1, AIME Publication, New York, USA.

Deere, D.U. and Miller, R.P., 1966. Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock. Tech. Rept. New Mexico: Air Force Weapons Ltd. Kirtland Air Force Base, AFWL-TR-65-116.

Dirik, K., 2006. "Yapısal Jeoloji Ders Notları". Ankara: Hacettepe Üniversitesi Müh. Fak.

Djordevic, N., 1999. Two−component model of blast fragmentation, 6th International Syposium on Rock Fragmentation by Blasting, SAIMM, Johannesburg, pp. 213−219.

Eloranta, J., 1995. Selection of powder factor in large diameter blastholes, EXPLO 95 Conference, AusIMM, Brisbane, Sep., pp. 25−28.

Eloranta, J., Palangio, T. T., Palangio, C. and Workman, L., 2007. Size matters on the Mesabi Range, Proc. Of 33rd Conference on Explosives and Blasting Technique, Nashville, USA.

Engin İ. C, Maerz N., 2015. Açık Ocak Patlatma Sonuçlarının Değerlendirilmesinde Yersel Lazer Tarayıcıların (LIDAR) Kullanımı, 8. Delme-Patlatma Sempozyumu, İstanbul, s.151-160.

Engin İ. C., Apalak A., 2013. Bir Kalker Ocağında Süreksizlik Sıklığı ve Blok Boyutunun Patlatma Sonrası Parçalanmaya Etkisinin İncelenmesi, 7. Delme-Patlatma Sempozyumu, Eskişehir, s.1-8.

Engin İ. C., Gökkaya M., Yonar S., 2013. JKSimBlast Programı Yardımıyla Bir Taş Ocağında Patlatma Sonrası Parça Boyut Dağılımının Tahmini, 7. Delme-Patlatma Sempozyumu, Eskişehir, S.135-144

Erkoç, Ş., 2007. Nanobilim ve Nanoteknoloji, O.D.T.Ü. Bilim ve Toplum Kitapları Dizisi, Ankara.

Fourney, L. W., Barker, B. D., ve Holloway, C. D., 1983. Fragmentation in Jointed Rock Material. Proceedings, First International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Lulea, Sweden, 505-531.

Golder Hoek and Associates., 1979. Instriction Manual: Geotechnical Data Collection. UNDP Training Project, Contract No: Con. 97/78.

Gupta, R. N., 1996. A method to assess charge factor based on rock mass blastability in surface mine, Proceedings of National Seminar on Drilling and Blasting, MINTECH Publications, Bhubaneswar, India, s. 42−46.

Gustafsson, T., 1973. Swedish Blasting Technique, Journal of Barutsan, no. 3, Ankara.

Hafsaoui, A. and Talhi, K., 2009. Influence of Joint Direction and Position of Explosive Charge on Fragmentation. The Arabian Journal for Science and Engineering, 34 (2A)

Hansen, D. W., 1968. Drilling and blasting techniques for Morrow Point Power Plant, Proceedings Ninth Symposium of Rock Mechanics, Golden, Colorado, s. 347−360.

Hoek, E., Bray, J.W., 1991. Rock Slope Engineering. New York: Elsevier Science Publishing.

Hopler, R. B. 1998. Blaster's Handbook. International Society of Explosives Engineers (17th ed.), Cleveland, Ohio, USA: ISBN: 1-892396-00-9

Hudson, J. A. 1989. Rock Mechanics Principles in Rock Engineering Practice. England: Butterworth-Heinemann Ltd.

Hustrulid, W., 1999. Blasting Principles for Open Pit Mining - General Design Concepts, Theoretical Foundations, A.A. Balkema, Roterdam.

Hüdaverdi, T., 2010. Parçalanmanın İyileştirilmesine Yönelik Patlatma Tasarımlarının Araştırılması, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, s. 15-36.

Hyldahl, J., 2015. Effects of jointing on fragmentation. Civil Engineering, Luleå University of Technology.

I.S.R.M., 1981. Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring. London: E.T. Brown (ed), Pergamon Pres.

Jimeno, C. L., Jimeno, E. L. and Carcedo, F. J. A., 1995. Drilling and Blasting of Rocks, A. A. Balkema, Brookfield Publication, Rotterdam.

Johansson, D., Ouchterlony, F., 2012. Shock wave interactions in rock blasting, the use of short delays to improve fragmentation in model-scale, Rock Mechanics Rock Engineering vol. 46, no 1, pp 1-18.

Kahraman E., Kılıç A.M., 2015. Ceyhan Yılankale Bölgesi Kalker İşletmesinin Patlatma Parametrelerinin İncelenmesi ve Patlatma Sonrası Parça Boyut Dağılımının Belirlenmesi, 8. Delme-Patlatma Sempozyumu, İstanbul, S.383-390.

Kahriman A., 2002. Analysis of ground vibrations caused by bench blasting at Can Open-pit Lignite Mine in Turkey. Environmental Geology (2002) 41:653–661

Kahriman, A., 2004. Analysis of parameters of ground vibrations produced from bench blasting at A Limestone Quarry, Soil Dynamics and Eartquake Engineering, 24, Elsevier, London, U.K, pp. 887-892.

Kanchibotla, S. S., 2000. Mine to mill blasting to maximise the profitability of mineral industry operations, Proc. 27th ISEE Conference, Anahiem, USA.

Kanchibotla, S. S., Valery, W. and Morell, S., 1999. Modelling fines in blast fragmentation and its impact on crushing and grinding, Explo 1999, Aus IMM, Carton, Australia, Nov., pp. 137−144.

Karaman, M. E, Kibici, Y., 1999. Temel Jeoloji Prensipleri. Ankara: ISBN 97594970-1-8.

Karaman, M. E., 2001. Yapısal Jeoloji ve Uygulamaları. (İkinci baskı). Ankara Devran Matbaası.

Kılıç A. M., 2015. Gaziantep-Şehit Kamil-Karpuzkaya Bölgesi Kalker İşletmesinin Patlatma Parametrelerinin İncelenmesi ve Patlatma Sonrası Parça Boyut Dağılımının Belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(2), ss. 217-226.

Kılıç A.M., Alabaş V., Yıldız D., Tozkoparan L., 2010. "Afşin Elbistan Linyitleri Kışlaköy Açık İşletmesi, Gevşetme Patlatma Uygulamaları", Türkiye 17. Kömür Kongresi, Bildiriler Kitabı, Zonguldak, Türkiye, 2-4 Haziran, ss.265-274

Koç, Ş., 2007. Nanobilim ve Nanoteknoloji, O.D.T.Ü. Bilim ve Toplum Kitapları Dizisi, Ankara.

Kou, S., and Rustan, A., 1993. Computerized design and result prediction of bench blasting, Fourth International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, 5-8 July, Vienna, pp. 263–271.

Kuznetsov, V.M. 1973. The Mean Diameter of The Fragments Formed by Blasting Rock. Soviet Mining Science, 9(2), 144-148.

Kuzu, C, Hüdaverdi, T., 2006. Patlatma ile Kaya Kırmada KUZ-RAM Modelinin Değerlendirilmesi, IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 1−2 Aralık, İstanbul, s. 347−355.

Larsson, B., 1974. Report on Case Studies of Blasting with High and Low Benches – Fragmentation from Production Blasts, Swedish Rock Blasting Committe, Discussion Meeting BK-74, pp. 247-273. In Swedish.

Latham, J. P., and Lu, P., 1999. Development of an assessment system for the blastability of rock masses, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, Vol. 36, No. 1, pp. 41−55.

Lewis, R. S, Clark, G. B., 1964. Elements of Mining, John Wiley and Sons, Inc. Publication, 1964, New York, USA

Mayerhofer, E., 2011. Development of a blasting area and blasting tests with concrete blocks in half scale to research different fragmentation phonomena, Master Thesis, University of Leoben, Chair of Mining Engineering and Mineral Economics, Austria.

Mckenzie, A. S., 1967. Optimum blasting, Proceedings of the 28th Minnesota Mining Symposium, Duluth, USA, pp. 181−188.

Morhard, R. C., Chiappetta, R. F. and Borg, D. G., 1987. Explosives and Rock Blasting, Atlas Powder Co., Dallas, Texas.

Obert, L. ve Duvall, W. I. 1950. Generation and Agitation of Strain Waves in Rock Part I. USBM, RI 4583.

Orica-Nitro, 2009. Delme- Patlatma Sempozyumu Çukurova Üniversitesi.

Ouchterlony, F., 2003. Influence of blasting on the size distribution and properties of muckpile fragments, a state of the art rewiev, Report of Investigation, Lulea University of Technology, Sweden.

Ouchterlony, F., 2005a. The Swebrec function: linking fragmentation by blasting and crushing, Trans. Inst. Min. Metall. A, Vol. 114, pp. 29−44.

Ouchterlony, F., 2005b. What does the fragment size distribution of blasted rock look like?, EFEE Brighton Conference Proceedings, pp. 189−199

Öngen, T, Karakuş, D, Konak G, Onur, A. H, Tosun, A., 2013. Patlatma Sonucu Oluşan Yığın Boyut Dağılımının Görüntü İşleme Yöntemleriyle Analizi ve Uygulama Şartlarının Değerlendirilmesi, 7. Delme-Patlatma Sempozyumu, Eskişehir, S.91-104.

Özdemir, K., 2009. Basamak Patlatmasında Parça Boyut Dağılımının Ardışık İşlem Faaliyetlerine Olan Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özer, Ü., 2001. Patlatma Kinematiğinin Araştırılması ve Patlatma Simıılasyonıt. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana.

Özkahraman, H. T., 1994. Critical Evaluation of Blast Design Parameters for Discontinuous Rocks by Blasting. Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara:

Paşamehmetoğlu, A. G., Bilgin, H.A., ve diğerleri, 1986. TKİ Dekapaj İhale Panoları için Makina Parkı Seçimi, Maliyet Analizi ve Birim Maliyetin (TL/m3) Saptanması, Ara rapor, Ankara, Yayımlanmamış.

Pekin, A., 2010. Ercan Taş Ocağı Delme-Patlatma Sisteminin İncelenmesi, BAÜ FBE Dergisi Cilt:12, Sayı:1, s.31-45

Pfeider, E. P., Clark, G. B., Hartman, H. L., & Soderberg, A., 1968. Surface mining.

Pfleider, E. P., 1972. Surface Mining, AIME Publication, New York, USA.

Rosin, P, Rammler, E., 1933. The Laws Governing The Fineness Of Powdered Coal J Inst Fuel, (7), 29-36.

Saklara, S., Bayraktara, İ., Öner, M., 2000. İnce Tane Boyu Analizinde Kullanılan Yöntemler, Madencilik Dergisi, Cilt-volume 39, Sayı 2.

Schimek, P., 2012. Experimental blast fragmentation research in model – scale bench blast, Research report under preparation, Montanuniversitat Leoben, Chair of Mining Engineering and Mineral Economics, Austria.

Schimek, P., 2015. Improvement of Fragmentation by Blasting, Chair of Mining Engineering, Montanuniversität Leoben, Austria.

Spencer, E. W., 1969. Introduction to the Structure of the Earth. Mc Graw-Hill, NewYork.

Tek A., 1999. Açık Ocak Delme-Patlatma İşlemlerinde Maliyet Azaltılması, 2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, ISBN B.16.0. KGM0.63.00.03/606.1, İstanbul.

Ulusay, R., 1994. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, ISBN975-395-107-8.

Ulusay, R., Sönmez, H., 2002. Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri. Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 60.

Whitten, D. G. A., Brooks, J. R. V., 1972. A Dictionary of Geology. Penguin, Harmodsworth.

Woodruff, S. D., 1966. Methods of Working Coal and Metal Mines, Volume 3, Pergamon Press, New York, USA.

Yıılmaz, P., 2010. Basamak Ayna Profilinin Patlatma Performansına Etkilerinin Araştırılması; Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yıldız, R, Köse, H., 2003. "Açik Isletmelerde Delik Delme Metotlari Ve Delici Makinalar", Kümas AS, Kütahya.

Yılmaz, A. O., Demir, C., Kaya, R., Tatarhan, A., 2002. Doğu Karadeniz Bölgesinde Bulunan Taşocaklarmı İncelenmesi, VI. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Konya 10-11.

Zagreba, V., 2003. Fragm: A Blasting Fragmentation Model of Rocks. Master of Science in Mining Engineering. West Virginia University.

ÖZGEÇMİŞ

02/09/1990 yılında Şırnak'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini Şırnak'ta tamamladı. Lise öğrenimini Mersin'de tamamladı. 2009 yılında Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümüne başladı. 2010 yılında Çevre Mühendisliği Bölümünde Çiftanadal programına başladı. 2013 yılında Maden Mühendisliğinden bölüm birincisi olarak mezun oldu ve 2014 yılında da Çevre Mühendisliği Bölümünü tamamladı. 2014 yılında Maden Mühendisliği ve Çevre Mühendisliği bölümlerinde Yüksek lisans eğitimlerine başladı. 2014-2015 yılları arasında Montanuniversitat/Leoben/Avusturya'da Yüksek Lisans proje çalışmasını orada tamamladı. Şu anda halen her iki bölümde yüksek lisans eğitimine devam etmekte ve İSKEN Enerji A.Ş'de mühendis olarak çalışmaktadır.