



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**BASAMAK PATLATMASINDA PARÇA BOYUT
DAĞILIMININ ARDIŞIK İŞLEM FAALİYETLERİNE
OLAN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Maden Yük.Müh. Kağan ÖZDEMİR
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Maden Mühendisliği Programı**

**Danışman
Prof.Dr. Ali KAHRİMAN
Yrd.Doç.Dr. N. İlgin KURŞUN**

Haziran, 2009

İSTANBUL


Bu çalışma 25/06/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Maden Mühendisliği programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi


Prof.Dr. Ali KAHRİMAN (Danışman)
Okan Üniversitesi


Prof.Dr. Nuh BİLGİN
İstanbul Teknik Üniversitesi


Prof.Dr. Şafak G. ÖZKAN
İstanbul Üniversitesi


Doç.Dr. Cengiz KUZU
İstanbul Teknik Üniversitesi


Doç.Dr. Ataç BAŞÇETİN
İstanbul Üniversitesi

Bu alışma, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin T-73/15122006 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı ve bana mühendis olmanın en önemli şartlarından birinin yaptığımız çalışmaların sonuçlarını çok yönlü olarak değerlendirmemiz gerektiğini öğreten çok değerli hocam Prof.Dr. Ali KAHRİMAN'a sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve katkılarından dolayı İkinci danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr. N.İlgin KURŞUN'a teşekkür ederim.

Bu tezi inceleyerek değerli önerilerde bulunan Jüri Üyeleri, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyeleri Sayın Prof.Dr. Şafak G. ÖZKAN ve Doç.Dr. Ataç BAŞÇETİN, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyeleri Prof.Dr. Nuh BİLGİN ve Doç.Dr. Cengiz KUZU'ya teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasınca her türlü ilgiyi eksik etmeyen ve çalışma motivasyonunda büyük katkısı olan hocam Sayın Yrd. Doç.Dr. Ümit ÖZER'e özel teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın değişik aşamalarında yaptıkları yoğun yardım ve desteklerinden dolayı çalışma arkadaşlarım, İ.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlileri Abdulkadir KARADOĞAN, Kenan ÇİNKU ve Gökhan AKKAYA'ya teşekkür ederim.

Arazi çalışmaları sırasındaki ilgi ve destekleri nedeniyle, çalışma yapılan tüm firmaların yetkililerine ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hayatımın her döneminde bana sonsuz destek olan Babama, Anneme ve Ablama ve tez çalışmalarım boyunca bana her türlü desteği ve fedakarlığı gösteren Julia Jane Caffrey'e sonsuz teşekkürü borç bilirim.

Haziran, 2009

Kağan ÖZDEMİR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	İ
İÇİNDEKİLER	İİ
ŞEKİL LİSTESİ.....	İX
TABLO LİSTESİ	XI
SEMBOL LİSTESİ	XII
ÖZET	XVI
SUMMARY	XVII
1. GİRİŞ	1
1.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI	1
2. GENEL KISIMLAR.....	4
2.1. DELME PATLATMA İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER	4
2.1.1. Delme ve Patlatmanın Önemi	5
2.1.2. Delme Patlatmanın Mühendislik İle İlgisi.....	8
2.1.3. Delme Patlatmanın İşletme Ekonomisine Etkileri.....	11
2.2. PATLATMA VE PARÇALANMA MEKANİZMASI.....	13
2.2.1. Detonasyon	14
2.2.2. Şok ve Basınç Dalgalarının Yayılımı.....	14
2.2.3. Gaz Basıncının Yayılması	16
2.2.4. Kaya Kütlelerinin Hareketi.....	17
2.3. PATLATMA SONUÇLARINI ETKİLEYEN VE TASARIMDA GÖZ ÖNÜNE ALINMASI GEREKEN ETKENLER.....	22
2.3.1. Kaya Birimlerinin Malzeme ve Kütle Özellikleri	22
2.3.2. Patlayıcı Maddenin Cinsi, Özellikleri ve Dağılımı.....	24
2.3.3. Patlatma Geometrisi	25
2.3.4. Özgül Şarjın Belirlenmesi İçin Önerilen Yöntemler	26
2.3.5. Dilim Kalınlığının Belirlenmesine Yönelik Yaklaşımlar	29

2.3.6. Diğer Patlatma Tasarım Büyüklükleri	33
2.3.6.1. Delik Çapı Tahmini.....	33
2.3.6.2. Delik Eğiminin Belirlenmesi.....	34
2.3.6.3. Deliklerarası Mesafenin Belirlenmesi	34
2.3.6.4. Delik Taban Payının Belirlenmesi.....	35
2.3.6.5. Sıkılama Boyunun Belirlenmesi	36
2.3.6.6. Yemleme Yeri ve Miktarının Belirlenmesi.....	37
2.3.6.7. Gecikme Zamanının Belirlenmesi.....	38
2.3.6.8. Dip Şarj ve Kolon Şarj Boylarıyla Miktarlarının Belirlenmesi	38
2.3.6.9. Delik Hata Payının Belirlenmesi.....	40
2.4. PATLAYICI MADDELER, ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM	
ŞEKİLLERİ	40
2.4.1. Patlayıcı Maddelerin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi.....	40
2.4.2. Patlayıcı Maddelerin Özellikleri.....	44
2.4.2.1. Detonasyon Hızı.....	44
2.4.2.2. Kuvvet.....	44
2.4.2.3. Yoğunluk.....	45
2.4.2.4. Detonasyon Basıncı	46
2.4.2.5. Suya Dayanıklılık.....	46
2.4.2.6. Duman ve Gaz Karakteri.....	46
2.4.2.7. Duyarlılık.....	47
2.4.2.8. Detonasyon Stabilitesi.....	47
2.4.2.9. Çevre Sıcaklığına Tolerans.....	48
2.4.2.10. Raf Ömrü.....	48
2.4.2.11. Su Basıncına Dayanım	48
2.4.2.12. Ambalaj ve Kullanma Kolaylığı.....	49
2.4.2.13. Emniyet.....	49
2.4.2.14. Oksijen Balansı.....	49
2.4.3. Patlayıcı Madde Cinsleri	49
2.4.3.1. Ateşli Patlayıcılar.....	49
2.4.3.2. Yüksek Hassasiyetli Patlayıcılar.....	50
2.4.3.3. Patlayabilir Karışımlar	51
2.4.4. Ateşleme Yöntemleri.....	53

2.4.4.1. <i>Emniyetli Fital-Adi Kapsül</i>	54
2.4.4.2. <i>Elektrikli Kapsüller</i>	54
2.4.4.3. <i>İnfilaklı Fital ve Gecikme Röleleri</i>	55
2.4.4.4. <i>Patlayıcı Sıvanmış Şok Tüpü (NONEL)</i>	55
2.4.4.5. <i>Gaz Patlamalı Şok Tüpü (HERCUDET)</i>	56
2.5. PATLATMA PERFORMANS VE PARÇA BOYUT KONTROLÜ	56
2.5.1. <i>Patlatma Performans Kontrolü</i>	56
2.5.2. <i>Parça Boyutunun Tanımı ve Önemi</i>	59
2.5.3. <i>Parça Boyutunu Etkileyen Faktörler</i>	60
2.5.3.1. <i>Kayacın Nitelikleri</i>	60
2.5.3.2. <i>Delikler Arası Mesafe</i>	61
2.5.3.3. <i>Dilim Kalınlığı</i>	61
2.5.3.4. <i>Basamak Arınının Durumu</i>	61
2.5.3.5. <i>Basamak Yüksekliği</i>	61
2.5.3.6. <i>Sıkılamanın Etkisi</i>	61
2.5.3.7. <i>Basamaktaki Delik Düzeni</i>	61
2.5.3.8. <i>Delik Çapı</i>	62
2.5.3.9. <i>Patlayıcı Madde Miktarı</i>	62
2.5.3.10. <i>Patlayıcı Madde Nevi</i>	62
2.5.3.11. <i>Ateşleme Sırası</i>	62
2.5.4. <i>Parçalanmanın Kontrolü ve Optimizasyonu</i>	62
2.6. PATLATMA SONRASI PARÇA BOYUT DAĞILIMI TAHMİN MODELLERİ	63
2.6.1. <i>Kuz-Ram Modeli</i>	63
2.6.2. <i>Bond-Ram Modelleri</i>	65
2.6.2.1. <i>BRM</i>	66
2.6.3. <i>EBT Modeli</i>	66
2.6.4. <i>KCO Modeli</i>	67
2.6.5. <i>JKMRC Modeli</i>	68
2.6.5.1. <i>Çift Elemanlı Model-TCM</i>	68
2.6.5.2. <i>Kırılma Bölgesi Modeli</i>	70
2.7. PATLATMA SONRASI PARÇA BOYUT DAĞILIMI TAYİN METODLARI	72

2.7.1. Görsel-Gözlemsel Analizler	72
2.7.2. Fotoğraflama Tekniği.....	72
2.7.3. Geleneksel ve Yüksek Hızlı Fotogrametri	73
2.7.4. Patar Sayımı Yöntemi	73
2.7.5. İkincil Atımlarda Patlayıcı Tüketimi.....	73
2.7.6. Ekskavatörün Yükleme Performansı.....	74
2.7.7. Primer Kırıcı Performansı.....	74
2.7.8. Elek Analizleri.....	74
2.7.9. Üç-Nokta Metodu.....	74
2.7.10. Parça-Numune Metodu	75
2.7.11. Görüntü İşleme Metodu	75
2.8. DİJİTAL GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİ İLE PARÇA BOYUT ANALİZİ	75
2.8.1. Tarihi ve Gelişimi.....	76
2.8.2. Kaydedilen İlerlemeler	76
2.8.3. Dijital Görüntü İşleme Yönteminin Adımları.....	77
2.8.4. Uygulama Alanları.....	78
2.8.5. Dijital Görüntüler	79
2.8.5.1. Görüntü Parametreleri	79
2.8.5.2. Görüntü Uzaysal Çözünürlüğü	79
2.8.6. Yöntemin sınırları.....	80
2.8.7. Sistemin Tatbiki İçin Muhtelif Konfigürasyonlar	81
2.8.8. Ölçümlemenin Geçerliliği.....	82
2.9. PATLATMA SONRASI ARDIŞIK MADENCİLİK İŞLEMLERİ	82
2.9.1. Yükleme	83
2.9.1.1. Yükleyicilerin Yapısı ve Verimi	84
2.9.1.2. Yükleyicilerin Verimini Etkileyen Etkenler.....	86
2.9.1.3. Yükleyici Çeşitleri	86
2.9.1.3.1. Paletli Yükleyiciler.....	87
2.9.1.3.2. Lastik Tekerlekli Yükleyiciler.....	87
2.9.1.4. Yükleyici Seçiminde Gözönünde Tutulması Gereken Etkenler.....	89
2.10. EKSKAVATÖRLER.....	90
2.10.1. Ekskavatörün Kullanım Alanları.....	90

2.10.2. Ekskavatör Çeşitleri	90
2.10.2.1. Hidrolik Ekskavatörler	91
2.10.2.1.1. Hidrolik ekskavatörlerin Seçimi.....	92
2.10.2.1.2. Hidrolik Ekskavatörlerin Yapısı, Verimi ve Çalışma Boyutları.....	93
2.10.2.1.3. Ekskavatör Çalışma Prensibi	95
2.10.3. Ekskavatör Hesapları.....	96
2.10.4. Ekskavatör Verimliliği ve Performansı	98
2.10.4.1. Dönme Faktörü.....	99
2.10.4.2. Kepçe Dolma Faktörü.....	99
2.10.4.3. Periyot Süresi	99
2.10.4.4. Çalışma Süresi Faktörü.....	99
2.10.4.5. Kabarma Faktörü	100
2.10.4.6. Genel Verimlilik Faktörü	100
2.10.4.7. Operatör Faktörü.....	100
2.10.5. Ekskavatör ile Yükleme Faaliyeti	101
2.10.5.1. Ekskavatör Yükleme Verimliliğini Etkileyen Faktörler.....	101
2.10.5.2. Ekskavatöre Etki Eden Kuvvetler.....	102
2.11. ÇENELİ KIRICILAR VE BİRİNCİL KIRMA İŞLEMİ	103
2.11.1. Çeneli Kırıcı Tipleri.....	104
2.11.1.1. Blake Tipi Çeneli Kırıcılar.....	105
2.11.1.2. Çarpmalı Çeneli Kırıcılar	106
2.11.2. Çeneli Kırıcıların Kısımları ve Çalışma Parametreleri	106
2.11.2.1. Kırıcı Gövdesi.....	107
2.11.2.2. Hareketli Çene	108
2.11.2.3. Yan Astar Plakaları.....	108
2.11.2.4. Eksantrik Mili	108
2.11.2.5. Yataklama Grubu.....	108
2.11.2.6. Emniyet Plakası Yuvaları	108
2.11.2.7. Volan	108
2.11.2.8. Kırıcı Çıkış Ayarı	109
2.11.3. Kırma İşlemi.....	110
2.11.3.1. Çeneli Kırıcılarda Kırma Zonu	112

2.11.3.2. Çeneli Kırıcılarda Kavrama Açısı	112
2.11.4. Çeneli Kırıcı Seçimi	113
2.11.4.1. Kaya Sınıflaması	114
2.11.4.2. Basınç Dayanımı	115
2.11.5. Çeneli Kırıcı Performans Tahmini.....	116
2.11.5.1. Ürün Boyutu Modellemesi.....	117
2.11.5.2. Güç Kullanımının Modellenmesi	121
2.11.6. Çeneli Kırıcıların Kapasiteleri	122
2.11.6.1. Kapasite Tahmini.....	124
2.12. PATLATMA SONRASI ARDIŞIK İŞLEM FAALİYETLERİ İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	124
2.12.1. Kanchibotla'nın Araştırması	125
2.12.2. Furstenau'nun Araştırması	125
2.12.3. McCarter'ın Araştırması	126
2.12.4. Nielsen'in Araştırması.....	126
2.12.5. Mertz'in Araştırması.....	127
2.12.6. MacKenzie'nin Araştırması.....	128
2.12.7. Eloranta'nın Araştırması	128
2.12.8. Kojovic'in Araştırması	129
2.12.9. Revnivitsev'in Araştırması.....	130
2.12.10. Kahrıman'ın Araştırması.....	130
3. MALZEME VE YÖNTEM	132
3.1. SPLIT DESKTOP DİJİTAL GÖRÜNTÜ İŞLEME SİSTEMİ.....	132
4. BULGULAR	138
4.1. EKSKAVATÖR PERFORMANS ÖLÇÜMLERİ VE ELDE EDİLEN SONUÇLAR	139
4.1.1. Çalışma Sahası ile İlgili Bilgiler.....	139
4.1.2. Akdağlar Taş Ocağında Yapılan Saha Çalışmaları	141
4.1.3. Ölçüm Verilerinin Analizi ve Sonuçlar.....	145
4.2. ÇENELİ KIRICI PERFORMANS ÖLÇÜMLERİ VE ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	149
4.2.1. Çalışma Sahası İle İlgili Bilgiler	149
4.2.1.1. Bölgenin Jeolojij ve Petrografik Yapısı	150

4.2.2. Haktaş Taş Ocağında Yapılan Saha Çalışmaları	152
4.2.2.1. Kırıcı Performans Ölçümleri.....	157
4.3. KUZ-RAM ve JKMRC PARÇALANMA TAHMİN MODELLERİNİN OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI.....	169
4.4. AÇIK OCAK PATLATMA-ARDIŞIK İŞLEM FAALİYETLERİ OPTİMİZASYON MODELİ	173
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	176
KAYNAKLAR	180
EKLER	185
ÖZGEÇMİŞ	188

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	: Delme-patlatmayı esas alan kazı işleminin genel planlaması	5
Şekil 2.2	: Kaya parçalanmasında patlatma ve ardışık işlem maliyetleri arasındaki ilişki	6
Şekil 2.3	: Delme ve patlatmanın üretim sürecindeki yeri ve önemi	7
Şekil 2.4	: Endüstriyel gelişim ve üretim sürecinde çeşitli işgücü kaynaklarının fonksiyonları	9
Şekil 2.5	: Patlatma tasarımında izlenecek yöntem	10
Şekil 2.6	: Blok boyutuna etki eden faktörler	11
Şekil 2.7	: Toplam maliyet ve optimum nokta	13
Şekil 2.8	: Kayaç içerisinde basınç yayılma şekli	15
Şekil 2.9	: Parçalanma mekanizması	16
Şekil 2.10	: Sonsuz kaya ortamı içindeki bir patlatma deliği çevresinde parçalanma olayı	18
Şekil 2.11	: Gaz basıncının yarattığı etki	19
Şekil 2.12	: Gaz basıncı ile çatlak oluşumu	20
Şekil 2.13	: Patlama ile birlikte dalga yayılımı	21
Şekil 2.14	: Basamak patlatması terimleri	26
Şekil 2.15	: Dijital görüntü örneği	79
Şekil 2.16	: Paletli bir yükleyici ve çalışma boyutları	85
Şekil 2.17	: Bir traktör yükleyici-kanal kazıcı makinada çalışma boyutları	88
Şekil 2.18	: Hidrolik ekskavatörün yapısı	94
Şekil 2.19	: Ekskavatör çalışma prensibi	96
Şekil 2.20	: Kepçe doldurma (FB) ve itme (FS) kuvvetlerinin şematik görünümü	102
Şekil 2.21	: Çeneli kırıcının kısımları	107
Şekil 2.22	: Çeneli kırıcı boyutlarının şematik görünümü	109
Şekil 2.23	: Bölgesel basınç altındaki parçanın gerilim dağılımı	111
Şekil 2.24	: Çeneli kırıcıda kırma ve sınıflandırma	111
Şekil 2.25	: Çeneli kırıcıların kırma zonu ve çenelerin kırma pozisyonları	112
Şekil 2.26	: ÇKK'ye göre ürün parça boyut dağılımı	114
Şekil 2.27	: Üç farklı kayanın basınç – dayanım grafiği	116
Şekil 2.28	: Sınıflandırma ve kırma işleminin akım şeması	117
Şekil 2.29	: Whiten kırıcı modeli	118
Şekil 2.30	: Whiten sınıflandırma fonksiyonu	119
Şekil 2.31	: Çeşitli çeneli kırıcıların çıkış ağız açıklıklarına bağlı saatlik üretimleri	123
Şekil 2.32	: Çıkış ağız açıklığına bağlı ürün boyut dağılımı	123
Şekil 2.33	: Özgül şarj miktarına karşılık elektriktüketimi	125
Şekil 2.34	: Özgül şarj miktarına göre toplam maliyetler	126
Şekil 2.35	: Deney numunesi	127
Şekil 2.36	: Kaya sertliğine karşı özgül şarj	127

Şekil 2.37	: Parçalanma derecesi ve ardışık işlem maliyetleri arasındaki ilişki ...	128
Şekil 2.38	: Toplam maliyetler-özlül şarj karşılaştırması	128
Şekil 2.39	: Patlayıcı madde maliyeti ve ardışık işlem toplam maliyeti ilişkisi ...	129
Şekil 2.40	: Toplam maliyetlere karşı özlül şarj miktarı.....	129
Şekil 3.1	: Resmin programa ilk aktarılışı	134
Şekil 3.2	: Görüntünün ölçeklendirilmesi	134
Şekil 3.3	: Parçacıkların program tarafından tespit edilmesi	135
Şekil 3.4	: Program sınırları belirledikten sonra oluşan görüntü	135
Şekil 3.5	: İşlenmiş resim.....	136
Şekil 3.6	: Parça boyut dağılım analiz sonucunun alınması	136
Şekil 4.1	: Akdağlar Taşocağı'nın Google Earth'ten alınan uydu görüntüsü.....	140
Şekil 4.2	: 12m'lik sulu deliklerin kesit görünüşleri	141
Şekil 4.3-a	: Patlatma sonrası yığın üzerinden alınan örnek görüntüler	143
Şekil 4.3-b	: Görüntülerin Split-Desktop yazılımı ile işlenmiş hali	143
Şekil 4.3-c	: Patlatma sonrası yığının elde edilen kümülatif parça boyut dağılımı	143
Şekil 4.4	: CAT 330C ekskavatör için ortalama parça boyutu ile kazı süresi arasındaki ilişki.....	146
Şekil 4.5	: Ölçülen ve hesaplanan kepçe dolun süreleri arasındaki ilişki.....	149
Şekil 4.6	: Haktaş Taşocağı'nın Google Earth'ten alınan uydu görüntüsü.....	150
Şekil 4.7	: Haktaş Taşocağında yapılan patlatmalardaki delik içi şarj sistemi ...	153
Şekil 4.8-a	: Patlatma sonrası yığın üzerinden alınan örnek görüntü	154
Şekil 4.8-b	: Görüntünün Split-Desktop yazılımı ile işlenmiş hali	155
Şekil 4.8-c	: Patlatma sonrası yığının elde edilen kümülatif parça boyut dağılımı	156
Şekil 4.9	: Kamyon üzerinden alınan görüntü ve işlenmiş hali	157
Şekil 4.10	: NACE marka kırıcılara ait ÇKK'ya göre kırma kapasiteleri	158
Şekil 4.11	: Kırıcı kırma kapasitesi ile P_{20} arasındaki ilişki	159
Şekil 4.12	: Kırıcı kırma kapasitesi ile P_{50} arasındaki ilişki	160
Şekil 4.13	: Kırıcı kırma kapasitesi ile P_{80} arasındaki ilişki	161
Şekil 4.14	: Kırıcı kırma kapasitesi ile P_{Top} arasındaki ilişki.....	162
Şekil 4.15	: Kırıcı enerji tüketim miktarı ile P_{20} arasındaki ilişki	164
Şekil 4.16	: Kırıcı enerji tüketim miktarı ile P_{50} arasındaki ilişki	165
Şekil 4.17	: Kırıcı enerji tüketim miktarı ile P_{80} arasındaki ilişki	166
Şekil 4.18	: Kırıcı enerji tüketim miktarı ile P_{Top} arasındaki ilişki.....	167
Şekil 4.19	: Kırıcıda ton başına harcanan süre ile enerji arasındaki ilişki.....	168
Şekil 4.20	: Birinci atıma ait delik geometrisi ve patlayıcı enerji dağılımı	170
Şekil 4.21	: Birinci atıma ait parçalanma sonuçları.....	171
Şekil 4.22	: İkinci atıma ait parçalanma sonuçları.....	171
Şekil 4.23	: Patlatma-Ardışık İşlem Faaliyetleri Optimizasyon Modeli akım şeması	174

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	: Bazı patlayıcı maddelerin detonasyon basınçları	14
Tablo 2.2	: Detonasyon hızının çapa bağlı değişimi	44
Tablo 2.3	: Bazı patlayıcıların suya dayanıklılığı	46
Tablo 2.4	: Gaz miktarına göre duman sınıflaması	47
Tablo 2.5	: Bazı patlayıcı maddelerin kritik çapları	48
Tablo 2.6	: Başlıca ateşleyici patlayıcılar	50
Tablo 2.7	: ANFO' nun delik çapına bağlı olarak patlama hızı ve metre başına şarj miktarı	52
Tablo 2.8	: Patlatma parametrelerinin n üzerindeki etkisi	65
Tablo 2.9	: Kazı derinliği faktörü	94
Tablo 2.10	: Dönüş açısı faktörü	94
Tablo 2.11	: Kazı faktörü	94
Tablo 2.12	: İş verimi faktörü	95
Tablo 2.13	: İşletme Faktörü	97
Tablo 2.14	: Kazı derinliği faktörü	97
Tablo 2.15	: Swing açısı ile ilgili faktörler	97
Tablo 2.16	: Doldurma faktörü	97
Tablo 2.17	: Dönme faktörü	99
Tablo 2.18	: Kepçe dolma faktörü	99
Tablo 2.19	: Kabarma faktörü	100
Tablo 2.20	: Genel verimlilik faktörü	100
Tablo 2.21	: Basma Dayanımına Bağlı Sertlik Sınıflandırması	115
Tablo 2.22	: Bilim adamlarının çalışmalarından çıkan özet sonuçlar	131
Tablo 4.1	: Ocak çalışma sistemi	140
Tablo 4.2	: Akdağlar taşocağının mineralojik-petrografik özellikleri	141
Tablo 4.3	: Kaya mekaniği deney sonuçları	140
Tablo 4.4	: Patlatma tasarım parametreleri değerleri	142
Tablo 4.5	: Ekskavatör çevrim süresi örnek kronometraj çalışması	145
Tablo 4.6	: Değişik marka ekskavatörler için ölçülen ve hesaplanan kepçe dolma süreleri	148
Tablo 4.7	: Tek eksenli basma dayanımı deney sonuçları	151
Tablo 4.8	: Nokta yükleme dayanımı deneyi sonuçları	151
Tablo 4.9	: Uygulanan patlatma tasarım parametreleri	153
Tablo 4.10	: Sahada kullanılan çeneli kırıcılarla ilgili bilgiler	157
Tablo 4.11	: Performans ölçümlerinden örnek değerler	158
Tablo 4.12	: Farklı P ₅₀ değerlerine karşılık K07 çeneli kırıcı tahmini kapasite değerleri	161
Tablo 4.13	: Farklı P ₈₀ değerlerine karşılık K07 çeneli kırıcı tahmini kapasite değerleri	162
Tablo 4.14	: Farklı P _{Top} değerlerine karşılık K07 çeneli kırıcı tahmini kapasite değerleri	163

Tablo 4.15	: Birinci deneme atımına ait girdi parametreleri.....	169
------------	---	-----

SEMBOL LİSTESİ

X_{av}	: malzemenin ortalama boyutu (cm)
A	: patlatılabilirlik indeksi
K	: özgül şarj (kg patlayıcı / m ³ kaya)
Qe	: şarj miktarı (kg)
E	: patlayıcı gücü (% ANFO)
Y	: X boyutundan küçük olan malzeme oranı (%)
X	: malzeme boyutu (m)
Xc	: karakteristik boyut (m)
n	: üniformite
N	: üniformite üssü
B	: dilim kalınlığı (m)
D	: delik çapı (mm)
S	: delikler arası mesafe (m)
Z	: delme hatasının standart sapması (m)
Lb	: dip şarj uzunluğu (m)
Lt	: üst şarj uzunluğu (m)
H	: basamak yüksekliği (m)
P	: patlatma patern faktörü
E	: efektif rölatif ağırlık gücü (%)
VODe	: efektif (saha) detonasyon hızı (m/s)
VODn	: nominal (maksimum) detonasyon hızı (m/s)
RWS	: ANFO'ya göre ağırlık gücü (%)
A	: patlatılabilirlik indeksi
RMD	: kaya kütle belirteci
JF	: eklem faktörü
RDI	: kaya yoğunluk indeksi, $RDI = 25(rr - 2)$
HF	: sertlik faktörü
Xi	: yerinde blok boyutu (m)
JF	: eklem faktörü
JFs	: eklem aralık faktörü
Jfo	: eklem yayılım faktörü
dr	: rölatif dalım yönü (derece)
JDD	: eklem dalım yönü (derece)
FFDD	: serbest yüzey dalım yönü (derece)
ρ_r	: kaya özgül ağırlığı
Y	: young modülü (GPa)
UCS	: tek eksenli basma dayanımı (MPa)
K	: özgül şarj (kg / m ³)
B	: dilim kalınlığı (m)
S	: delikler arası mesafe (m)

H	: basamak yüksekliği (m)
Q _e	: şarj miktarı (kg)
r	: delik yarıçapı (m)
L	: şarj uzunluğu (m)
ρ _e	: patlayıcı özgül ağırlığı
q	: özgül şarj, (kg/m ³)
C _o	: kaya patlatma katsayısı, (kg/m ³)
K	: basamak yüksekliği, (m)
n	: delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı oranı
B	: dilim kalınlığı, (m)
f	: delik eğim faktörü
Φ+i	: etkin içsel sürtünme açısı, (derece)
σ _b	: kayanın tek eksenli basma dayanımı, (MPa)
σ _ç	: kayanın indirekt çekme dayanımı, (MPa)
φ	: kayanın içsel sürtünme açısı, (derece)
c	: kohezyon, (MPa)
DD	: darbe dayanımı, (kg.m / m ³ . 10 ⁻⁵)
d _r	: kayanın yoğunluğu, (kN/m ³)
I	: empedans, ((MN-m) / (m ³ -sn))
V _p	: sismik (P-dalga) hız, (m/sn)
RQI	: kaya kalite indeksi, (Mpa-dak/m)
E _d	: dinamik elastisite modülü, (MPa)
Q _{er}	: referans patlayıcı maddenin ısı enerjisi, (kJ/kg)
d	: delik çapı, (mm)
lb	: şarj yoğunluğu, (kg/m)
R ₁	: delik eğimi düzeltme faktörü
R ₂	: kaya düzeltme faktörü
d _e	: patlayıcı maddenin çapı, (inç)
SG _e	: patlayıcı maddenin özgül ağırlığı
SG _r	: kayanın özgül ağırlığı
P	: patlayıcı maddenin delik içindeki yoğunluğu, (kg/dm ³)
s	: patlayıcı maddenin ağırlıkça kudreti
F	: Atım güçlük katsayısı
S	: delikler arası mesafe, (m)
E	: delik hata payı, (m)
Q _b	: dip şarj miktarı, (kg)
Q _p	: kolon şarj miktarı, (kg)
K	: basamak yüksekliği, (m)
K _{tp}	: teknik şarj faktörü
K _r	: kaya faktörü
P _p	: delikteki patlama basıncı, (MPa)
σ _ç	: kayanın çekme dayanımı, (MPa)
P _d	: detonasyon basıncı, (MPa)
σ _{ç,d}	: kayanın dinamik çekme dayanımı, (MPa)
σ _{ç min}	: minimum çekme gerilmesi, (MPa)
σ _{ç max}	: maksimum çekme gerilmesi, (MPa)
α	: süreksizlik düzleminin aynaya göre olan açısı, (derece)
η	: enerji iletim verimi

μ	: kırılma enerjisi ile maksimum basınç deformasyon enerjisi arasındaki
oran	
Q_e	: patlayıcı ısı enerjisi, (kJ/kg)
Q_{er}	: referans patlayıcının ısı enerjisi, (kJ/kg)
θ	: kırılma açısı, (derece)
E_d	: dinamik elastik modülü, (GPa)
σ_b	: kayanın tek eksenli basma dayanımı, (MPa)

ÖZET

BASAMAK PATLATMASINDA PARÇA BOYUT DAĞILIMININ ARDIŞIK İŞLEM FAALİYETLERİNE OLAN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Madencilik çalışmalarında, kazılan malzemenin madde ve kütle özelliklerine bağlı olarak, kazı metodu olarak delme ve patlatmanın kaçınılmaz olduğu durumlarda, patlatma sonrası elde edilen yığının parçalanma derecesinin ve parça boyut dağılımının, kazı sonrası takip eden yükleme, nakliye, kırma, öğütme vb. diğer madencilik işlemlerinin performansında ve toplam maliyetler üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Bu amaçla patlatmalı kazı metodunda sahaya ve çalışılan kaya birimine ait patlatma tasarımı yapılırken patlatma sonrası hedeflenen ortalama parça boyutunun yakalanması işletmeler açısından zaman, iş gücü, enerji, patlayıcı madde tüketimi ve toplam maliyet konularında optimizasyonu sağlamak için çok büyük bir önem arz etmektedir.

Bu konuyla ilgili Türkiye’de ve diğer ülkelerde yapılan çalışmalar sonucu, patlatma sonrası elde edilen uygun olmayan parça boyutunun işletmelerde enerji, patlayıcı madde tüketimi, iş gücü ve toplam maliyetler açısından genel olarak %12 ile %40 arası oranda kayıplara sebep olduğu saptanmıştır. Bu oran büyük çaplı üretimlerin yapıldığı madencilik sektörünün ülkemiz ekonomisine kazandırdığı katma değer azalmasına ve yüksek maliyetlerle maden üretimine yol açmaktadır. Bunun sonucunda ise ülkemizde üretilen madenlerin uluslar arası piyasada rekabet edebilme yetenekleri azalmaktadır.

Bu araştırmanın amacı, patlatma sonrası oluşan yığının parça boyut dağılımının ardışık madencilik işlemlerine olan etkilerinin araştırılmasıdır. Böylece delme patlatma işleminden öğütmeye kadar olan işlemler zinciri daha iyi kontrol edilebilecek ve patlatma tasarımı yükleme ve birincil kırma işlemlerinin en verimli şekilde sürdürülmesi sağlanacaktır.

Çalışma kapsamında saha çalışmalarının yapılması için seçilen taşocaklarında, ekskavatör ve çeneli kırıcı performan ölçümleri farklı parça boyut dağılımları için ölçülmüştür. Ayrıca Kuz-Ram ve JKMRC parçalanma tahmin modellerinin patlatma optimizasyonunda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu patlatma sonrası parça boyut dağılımının ekskavatör ve çeneli kırıcı performansına olan etkileri tespit edilmiştir.

Ayrıca elde edilen bulgular kullanılarak, parça boyut dağılımına bağlı açık ocak patlatma-ardışık işlemler üretim optimizasyon modeli oluşturulmuştur.

SUMMARY

INVESTIGATING THE EFFECTS OF PARTICLE SIZE DISTRIBUTION ON BENCH BLASTING TO CONSECUTIVE MINING ACTIVITIES

In the condition that drilling and blasting technique is inevitable depending on the rock mass and material characteristics on mining activities, the fragmentation rate and particle size distribution of the muckpile obtained after blasting has important influences on the performance of subsequent mining activities such as loading, hauling, crushing, grinding etc. and the total costs of that mine. Therefore catching the average particle size target after blasting while designing a blast design suitable for that site and rock properties has a great importance for achieving optimization on time, labor, energy, explosive consumption and total cost.

The studies held in Turkey and other countries have found out that undesired particle size causes losses between 12% and 40% on energy, explosive consumption, labor and total costs on mines. This losses in mining sector where large scale productions are made cause decreases on supplementary value to our country's economy and mine production with high costs. Consequently the rivalry capability in globe market of mines produced in Turkey decreases.

The objective of this study is to investigate the effects of particle size distribution of blasted rock to consecutive mining activities. Therefore, chain of mining processes starting from drilling and blasting and continue to grinding, would be well controlled and the consecutive mining activities would be run efficiently.

Within the scope of the study, the performance analysis of excavator and jaw crusher were carried out for different particle size distribution levels on study fields. In addition, JKMRC and Kuz-Ram fragmentation prediction models were investigated in order to understand if they can be used for blast optimisation practices. As result of this research, the relationships of particle size distribution with excavator and jaw crusher performance were determined.

1.GİRİŞ

1.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Delme ve patlatma yöntemi ile kazı işlemi, teknik ve ekonomik açıdan makineli kazı yönteminin uygun olmadığı durumlarda açık ve yeraltı ocaklarında, tünel, otoyol, baraj vb gibi kazı çalışmalarında kullanılan bir yöntemdir. Böyle bir durumda patlatma çalışması kısaca, uygun yerlere, yeterli çapta ve uzunlukta deliklerin bir delici makine ile delinmesi, bu deliklerin yeterli miktarda patlayıcı madde ile şarj edilmesi ve deliklerdeki patlayıcının ateşlenmesinden ibarettir diyebiliriz. Bu işlem bu açıdan basit bir işlem gibi görünse de yapılan çalışmanın içinde onlarca ayarlanması gereken parametre olduğu unutulmamalıdır. Açık ocak işletmelerinde patlatma sonrası elde edilen malzeme genellikle bir yükleyici makine ile kamyonlara yüklenmekte ve ürünün kullanım alanına göre işlenmek üzere, ocaktan cevher hazırlama ve zenginleştirme tesisine taşınmaktadır. Tipik bir taşocağında taşınan malzeme birinci kırma işleminin yapıldığı bir çeneli kırıcıya dökülmekte ve daha sonra istenen parça boyutlarında ürün veya ürünler almak için ikincil kırma bölümlerine aktarılmaktadır. Patlatma sonrası yapılan tüm bu işlemlere patlatma sonrası ardışık işlemler denilmektedir. Patlatma sonrası elde edilen sonuçlar yükleme, taşıma ve kırma faaliyetlerinin performansı üzerinde hem kapasitenin doğru kullanımı yönünde hem de maliyetler açısından önemli bir etkisi vardır. Patlatma tasarımında patlatma performans ve maliyeti göz önünde bulundurulduğu gibi patlatma sonrası ardışık işlem performans ve maliyetleri de dikkate alınmalıdır. Faaliyetler ardışık olarak gerçekleştiğinden dolayı; delme ve patlatma etkisinin diğer işlemlerde de analiz edilmesi zorunludur. Bu husus ise; ancak her teknolojik işlemde görev alan makine ve ekipmanlara ait performansların ayrı ayrı değişik durumlar için analiz edilmesiyle mümkün olmaktadır. Sadece delme ve patlatma faaliyetlerinde hedeflenecek maliyet minimizasyonu düşüncesi, birbirini izleyen teknolojik işlemlerin maliyetinde önemli artışların olmasını görmezlikten gelecektir. Bundan dolayı patlatmalı kazı metodununun uygulanmakta olduğu her maden işletmesinde veya taşocağında mutlaka patlatmayı takip eden bu ardışık madencilik

işlemlerinin de performans ölçüm ve maliyet hesaplamaları yapılmalıdır. Dünya genelinde Mine-to-Mill projeleri adıyla anılan bu tam ölçekli performans ve maliyet ölçüm ve hesaplama pratiğinin, işletme üretim verimliliğine ve maliyetlerin optimum seviyelere çekilmesine önemli katkılar yaptığı birçok araştırmacı tarafından ortaya koyulmuştur.

Bu tez kapsamında belirlenmiş bir taşocağı sahasında farklı parçalanma dereceleri sağlayacak birçok deneysel atım gerçekleştirilmiş ve değişik parça boyut dağılımlarına sahip olan yığının ekskavatörler ile yüklenme işlemi ve daha sonra da çeneli kırıcıda birincil kırma işlemine tabi tutulurken, bu iki ardışık madencilik işleminin farklı parça boyut dağılımına göre verimlilikleri araştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda patlatma sonrası oluşan yığının parçalanma boyut dağılım özellikleri ile yükleme işleminde kullanılan ekskavatör ve birincil kırma işleminde kullanılan çeneli kırıcı verimi arasındaki ilişkinin ampirik eşitliklerle saptanması hedeflenmiştir. Ayrıca elde edilecek ilişkilerden faydalanarak patlatma parametrelerini de içinde bulunduran bir açık ocak üretim optimizasyon modeli kurulması ikincil bir hedef olarak belirlenmiştir. Bu tür ilişkilerin ampirik formüllerle ifade edilmesi ve bu formüller kullanarak bir optimizasyon modeli oluşturmak, patlatmalı kazının kullanıldığı açık ocak maden işletmelerinde ve taşocaklarında üretim veriminin artırılması ve toplam işletme maliyetlerini optimum seviyeye çekilmesi konusunda çok önemli faydalar sağlayacaktır.

Bu amaçla, tez çalışması aşağıda verilen kapsamda yürütülmüştür.

- Tez çalışmasının yapılabileceği, patlatma, yükleme, taşıma ve birincil kırma işlemler zincirini düzenli şekilde uygulayan bir taşocağı veya açık ocak maden işletmesinin belirlenmesi.
- Belirlenen sahada yeterli miktarda değişik parametrelerle deneysel basamak atımlarının tasarımı ve gerçekleştirilmesi.
- Gerçekleştirilen atımlar sonrası oluşan yığın üzerinden sistematik bir şekilde ölçekli dijital görüntülerin alınması ve bu görüntülerin uygun dijital görüntü işleme yazılımı kullanılarak işlenmesi ve parça boyut dağılımının tespiti.
- Parça boyut dağılımı tespit edilmiş olan yığında yükleme işlemini gerçekleştiren hidrolik ekskavatörün yükleme performansının kronometrik ölçümü.

- Kırıcıya beslenmeden önce kamyonu yüklü olan yığınların kamyon kasası üzerinden ölçekli görüntülerinin alınması ve dijital görüntü işleme yöntemi ile parça boyut dağılımının tespiti.
- Birincil kırma işlemini gerçekleştiren çeneli kırıcının, parça boyut dağılımı tespit edilmiş malzemeyi kırma süresinin ve harcadığı enerji miktarının saptanması.
- Ekskavatör performansı ile parça boyut dağılımı arasındaki ilişkinin saptanması.
- Çeneli kırıcı performansı ile parça boyut dağılımı arasındaki ilişkinin saptanması.
- Parçalanma tahmin modellerinden birini içinde barındıran ve elde edilen ilişkileri kullanarak patlatma ve üretim optimizasyonu yapabilecek bir açık ocak patlatmalai kazı-üretim optimizasyon modelinin oluşturulması.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. DELME PATLATMA İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

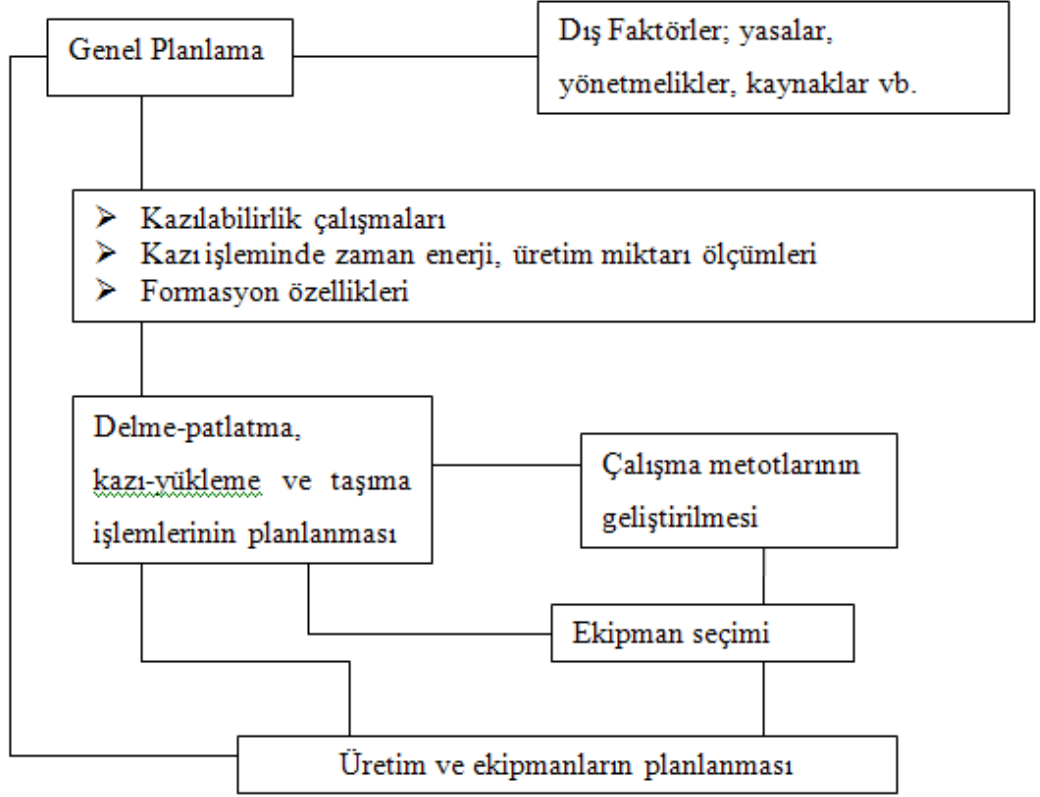
Patlatma mühendisliğinin temel amaçlarından biri, konforlu bir yaşam için gerekli alt yapı kazılarıyla birlikte; insanoğlunun gereksinim duyduğu endüstri hammaddesini içinde bulunduğu ana kütleden faydalanabilir bir büyüklükte, ekonomik olarak, minimum bir zaman diliminde ve emniyetli bir biçimde ayırmaktır. Bu amaca ulaşmak için genel olarak aşağıdaki metotlar uygulanmaktadır.

- İnsan gücü
- Mekanik makinalar
- Gazlaştırma kimyası
- Çözelti kimyası
- Hidrolik teknolojisi
- Delme-patlatma teknolojisi

Bu seçenekler delme-patlatma teknolojisi, özellikle, diğer proseslerin uygulanmaması veya uygulandığında ekonomik sonuç vermemesi durumlarında yaygın bir kullanım bulmaktadır. Bu teknolojinin kullanıldığı faaliyetlerde, gerek planlama gerekse uygulama işlemleri, diğer kazı işlemlerine göre farklı bir boyut almaktadır. Bu planlara yönelik uygulama faaliyetleri ise aşağıda belirtilen teknolojileri içermektedir.

- Deliklerin delinmesi
- Şarj ve patlatma
- Yükleme
- Taşıma
- Kırma-öğütme

Bu faaliyetlere paralel olarak yürütülen diğer tüm işlemler ise, yardımcı prosesler olarak genel planlama kapsamında yer almaktadır.



Şekil 2.1. Delme-patlatmayı esas alan kazı işleminin genel planlaması (Ceylanoğlu ve diğ., 1993)

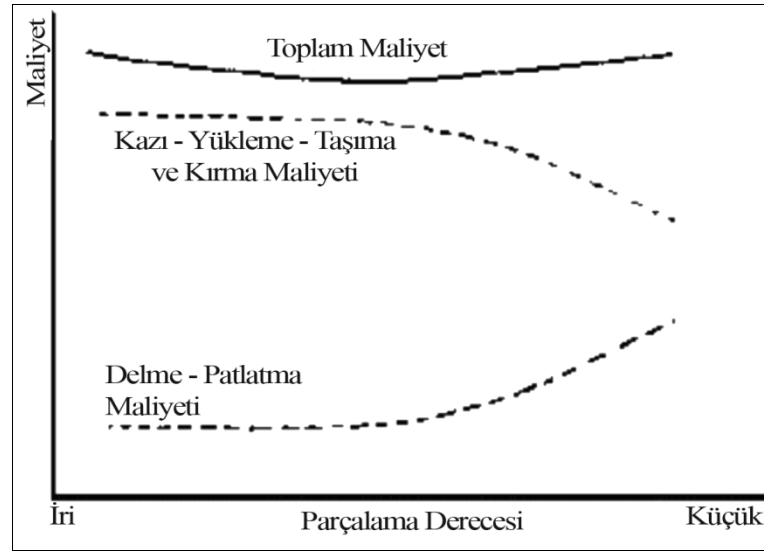
2.1.1. Delme ve Patlatmanın Önemi

Maden ve taş ocağı faaliyetlerinde temel ve en önemli prosesi oluşturan kazı işlemlerinin, makine ve yukarıda değinilen diğer yöntemlerle gerçekleştirilmesi, kayaçların madde/kütle özellikleriyle ve kullanılmakta olan teknoloji ile sınırlı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle bu sınırı aşan delme ve patlatma teknolojisi doğrudan kazı veya gevşetme kazısı olarak büyük bir önem arz etmekte ve ekonomik ölçüleri içinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Ceylanoğlu ve diğ., 1993).

Bu kullanım önemini, bir yandan işletme faaliyetlerinin göstergesini oluşturan maliyet analizlerinde, öte yandan söz konusu faaliyetlerin hızlı bir şekilde yapılabilmesinde görmek mümkündür. Ancak işletmelerdeki maliyet analizlerinde, delme ve patlatma maliyetlerinin tek başına değerlendirilmesi; elde edilen başarının açık bir şekilde

gösterilmesine yetmemektedir. Faaliyetler ardışık olarak gerçekleştiğinden dolayı; delme ve patlatma etkisinin diğer işlemlerde de analiz edilmesi zorunludur.

Parçalanma prosesinin genel verimi etkilediği görülmektedir. Bunun yanısıra madencilikte birim maliyete de etkisi söz konusudur. Özellikle otojenez öğütme olmak üzere patlatma sonrasında devam eden boyut küçültme basamaklarının performansına da etkimektedir ve böylece üretim sisteminin tamamında bu etki görülmektedir. Sadece delme ve patlatma faaliyetlerinde hedeflenecek maliyet minimizasyonu düşüncesi, birbirini izleyen teknolojik işlemlerin maliyetinde önemli artışların olmasını görmemezlikten gelecektir. Bu hususu Şekil 2.2’de açık bir şekilde izlemek mümkündür.



Şekil 2.2: Kaya parçalanmasında patlatma ve ardışık işlem maliyetleri arasındaki ilişki (Ceylanoğlu ve diğ., 1993; Arpaz, 2000)

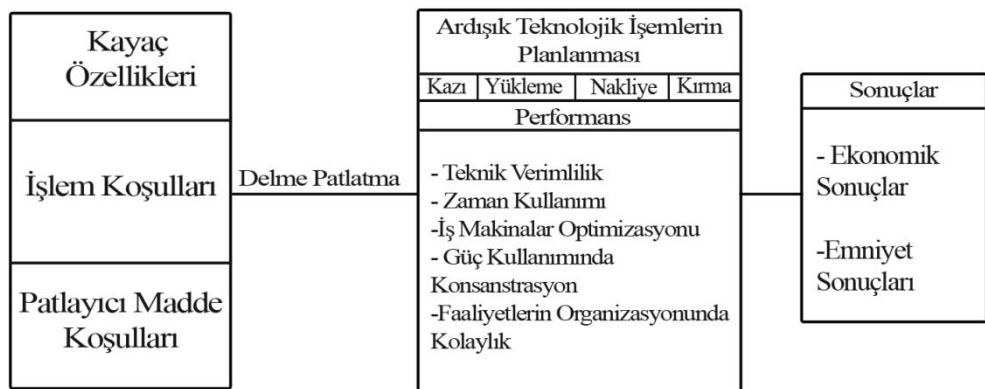
Şekilde 2.2’de ifade edildiği gibi, patlatma sonrası işlemlerin maliyeti, genel olarak parçalanma derecesinin bir fonksiyonudur.

Toplam maliyetin değerlendirilmesi her haliyle, söz konusu unsurlara yönelik sonuçların göz önüne alınmasıyla mümkün olabilecektir. Bu vesileyle, en uygun sonucun ne olacağını belirlemek, hem patlatma ve hem de ardışık işlemlerin birlikte ele alınmasıyla mümkündür. Delme ve patlatma faaliyetleri optimal koşullarda gerçekleştiğinde; yükleme, taşıma, kırma-öğütme ve hatta reklamasyon işlemlerinde maliyetlerin azalmasına, dolayısıyla işletmenin toplam sonucunun pozitif bir gelişim göstermesine neden olmaktadır.

Yukarıda belirtilen öneme binaen delme teknolojisiyle ilgili gerçek yeni araştırmalar yaparak çözülememiş sorunlara yanıt aramaya ve tüm operasyonlar için uygun makine tip ve kapasite optimizasyonuna gereksinim vardır. Burada özellikle primer kırıcıların devreden kaldırılmasını ve kütle ötelenmesini hedefleyebilmek mühendisler için nihai bir hedef olmalıdır. Yukarıda değinilen hususların ışığı altında, delme ve patlatmanın önemi aşağıdaki detaylarla ortaya çıkmaktadır (Arpaz, 2000).

- Ekonomik sonuçların sağlanması
- Teknik verimliliğin artırılması
- Zaman kullanımında etkinlik
- İş makineleri performanslarında iyileştirme
- Kapasite artışı
- Ardışık faaliyetlerin organizasyonunda kolaylık
- Uygun niteliklerde malzeme temini
- Güç kullanımında konsantrasyon
- Ekipman seçiminde optimizasyon

Delme patlatmanın önemini Şekil 2.3.' deki gibi ifade etmek de olasıdır.



Şekil 2.3. Delme ve patlatmanın üretim sürecindeki yeri ve önemi (Arpaz, 2000)

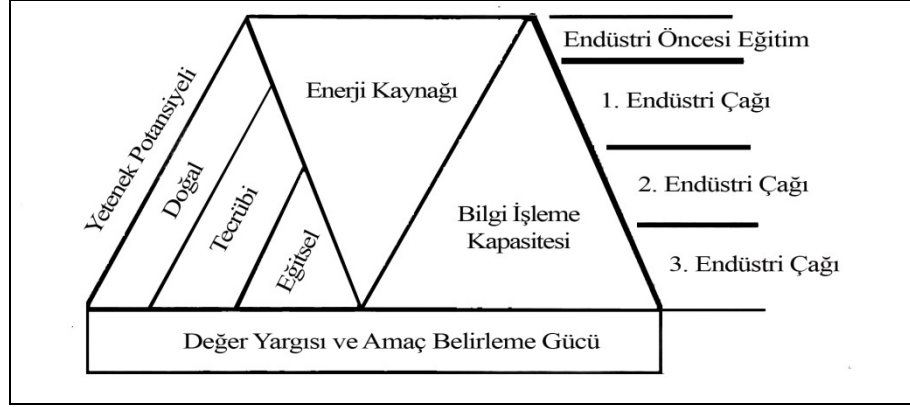
2.1.2. Delme Patlatmanın Mühendislik ile İlgisi

Genel olarak mühendis kavramı altında kendi ihtisaslarıyla ilgili olarak, alternatif üretim yöntemlerini; bilimsel, teknik ve ekonomik açıdan değerlendiren, optimum tasarımı yapan ve uygulayan bir meslek anlaşılmaktadır. Bu çerçevede ele alındığında; Maden Mühendisi de “Madenleri insanoğlunun hizmetine sunmak üzere seçenekli üretim yöntemlerini tasarlayan, yöneten ve uygulayan kişi” olarak tanımlanabilir. Yapacağı tasarımlar; ekonomik ve teknik açıdan yapılabilir olmalıdır.

Burada görev ve yetkileri şu şekilde ortaya çıkmaktadır.

- Üretim konusu ile ilgili mevcut, geçmişe ve geleceğe yönelik durumları açık şekilde analiz etmek
- Bu durumlar kapsamında, sorumlu olduğu üretim birimi ile ilgili amaçları belirlemek.
- Üretim biriminin her konusuna yönelik, alternatif yaklaşımları belirlemek ve yeni yaklaşımlar getirmek.
- Bu yaklaşımları amacına uygun şekilde değerlendirmek, seçmek ve gerekli kararları vermek.
- Bu kararlara yönelik geliştirme planlarını hazırlayarak, gerekli araştırmaları yapmak
- Bütün bu işlemlerin sonucu, verdiği karara uygun üretim sistemini uygulamaya sokmak ve dolayısıyla üretimi amaçlarına uygun şekilde gerçekleştirmek ve gerekli kontrol faaliyetlerini yürütmek

Doğal olarak bu faaliyetleri yürüten bir kişi; üretim hiyerarşisi ile ilgili herhangi bir yerde hem yönetici, hem teknisyen, hem ekonomist, hem de bilim adamıdır. Endüstriyel üretim sürecinde gerekli faktörlerden biri olan çeşitli niteliklerdeki insan gücünün üretim ile ilgili beceri, bilgi düzeyi ve katkısı Şekil 2.4. ve Şekil 2.5.’ de ifade edilmiştir (Ceylanoğlu ve diğ., 1993).



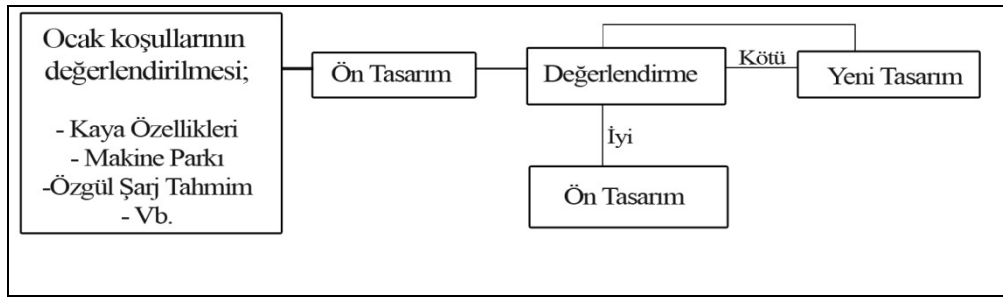
Şekil 2.4: Endüstriyel gelişim ve üretim sürecinde çeşitli işgücü kaynaklarının fonksiyonları

Gerek madencilik faaliyetlerinde, gerekse diğer sektörlerdeki kazı işlemlerinde, delme-patlatma yolu ile kazı, oldukça önemli bir yer tutmaktadır. Ülkemizde yıllık yaklaşık 500.000.000.m³ lük kazı işlemi bu yolla yapılmaktadır. Özellikle Karadeniz kıyısının dar bir şeride sahip olması, artan nüfusun bilhassa kıyı şeritlerine yerleşme talebi, bu şeritlerde altyapı projelerinin hızla geliştirilmesi ve hayata geçirilmesi gereği ve hidroenerji gibi konuların giderek ağırlık kazanması bu rakamı bir kaç katına çıkarabilecektir. Bu durumda delme-patlatma işlemlerinde mühendis görevlendirmek büyük önem taşımaktadır. Genel olarak üretim maliyetinde, delme-patlatma maliyeti %5-40 arasında değişmektedir. Bu değerler, delme-patlatma konusunda, bilim ve teknolojiye uygun çalışmayla daha alt seviyelere çekilebilir. Bazı işletmelerde yapılan deneysel çalışmalar bu rakamların %10-20 sınırına çekilebileceğini göstermektedir. Bu açıklamalarda da anlaşılacağı gibi, delme-patlatma işlemleri, esas olarak mühendislik hizmetleri gerektirmektedir. İyi bir mühendis, yapacağı optimizasyon çalışmaları ile kendi maliyetini karşıladığı gibi işletmeye artı değer kazandırabilecektir. Önemli olan kendisine ve bilgisine güvenip, işletme yönetimini ikna edebilmesidir.

Bu kapsamda, mühendisin hedefleyeceği iki temel unsur söz konusudur. Bunlar; özgül sarj ve özgül delme miktarını minimize etmektir. Bu iki değer 1.000.000. m³/yıl kapasiteli herhangi bir işletmede optimize edildiğinde sağlanan katkı %10 ise yaratılan artı değer, 100.000 m³ lük bir kazı işlemine eşdeğer olacaktır ki bu değer mühendisin yıllık maliyetini rahatlıkla finanse etmekten başka, kuruluşa önemli artı değerler getirecektir. Bu vesileyle patlatma mühendisinin sadece delme-patlatma derslerini alarak kalması düşünülmemelidir. Buna ilave olarak mühendisler için, delme-patlatma kursları düzenlenmeli ve bu kurslar sonucu kendilerine delme-patlatma permisi

verilmelidir. Bunun sonucu mühendis sadece kağıt üzerinde planlayıcı olarak kalmayacak, aynı zamanda konuyu uygulayarak üretime daha aktif şekilde katılabilecektir. Doğal olarak bu tip mühendislerin belki de delme-patlatma şirketleri kurarak mesleğimize yeni bir boyut vermeleri söz konusu olabilecektir.

Öte yandan işçi sağlığı, iş güvenliği ve çevre koşulları nedeniyle de patlatma işleminin emniyetle gerçekleştirilmesi zorunluluğu söz konusudur. Mühendis hem istenen parçalanma derecesinde yeterli malzemeyi üretime hazır hale getirecek, hem de patlatma sonuçlarını ekonomiklik ve emniyetlilik açısından kontrol altında tutacaktır. Mühendis çalıştığı işletme için en uygun patlatma koşullarını araştırırken Şekil 1.5.' de belirtilen bir tasarım biçimini uygulamalı ve ekonomik analizi gerekli performans etütleriyle birlikte yapmalıdır.



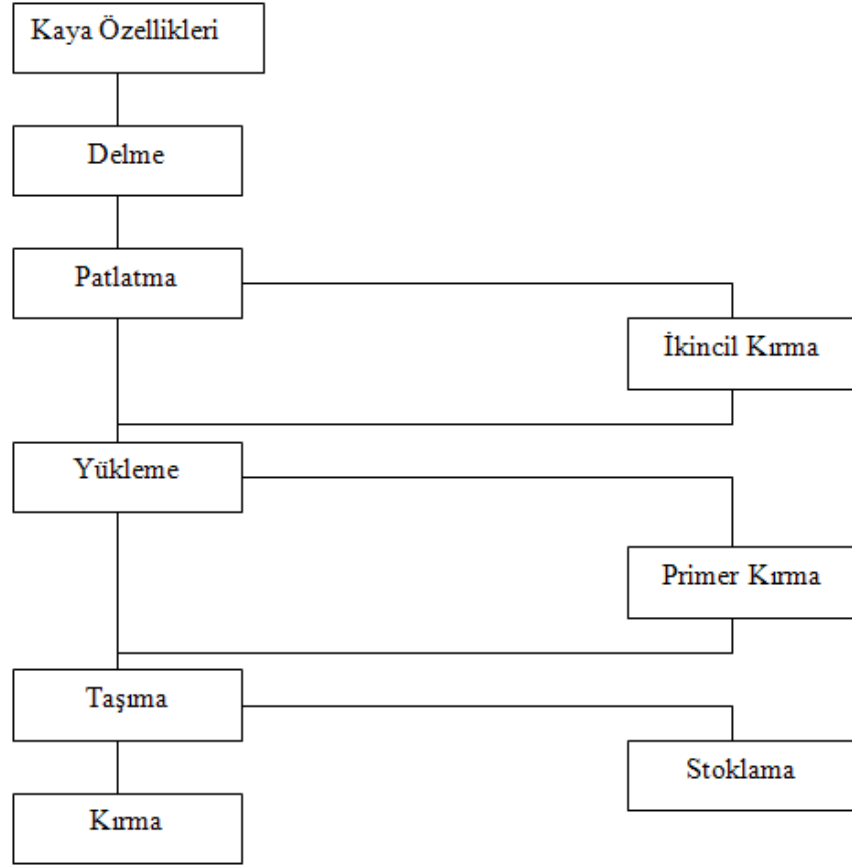
Şekil 2.5: Patlatma Tasarımında İzlenecek Yöntem (Bilgin, 1986)

Şekil 2.6. Blok boyutuna etki eden faktörleri gösterdiği gibi mühendisin sonuçlarını gözlemleyeceği ve performans etüdü yapacağı teknolojik işlemleri de belirtmektedir. Burada üzerinde durulması gereken; mühendisin kaya ve işletme koşullarını dikkate alarak, literatüre uygun bir ön tasarım yapması, uygulaması ve uygulama sonuçlarını teknolojik işlemlerde değerlendirilmesi ve optimum koşulları elde edinceye kadar çalışmaları sürdürmesidir.

Tüm bu açıklamalar ışığında, delme-patlatmanın mühendislik ile ilgisi aşağıdaki maddelerle özetlenebilir:

- Bilimsel ve teknik yaklaşımlar
- Ekonomik sonuçlar
- Emniyet koşulları

- Çevre sorunları
- Patlayıcı madde üretimi, pazarlanması, seçimi, temini, nakli ve depolanması
- Delme-patlatma konularında gerekli elemanların eğitimi ve öğretimi



Şekil 2.6: Blok boyutuna etki eden faktörler (Tamrock, 1984)

2.1.3. Delme Patlatmanın İşletme Ekonomisine Etkileri

Bilindiği gibi delme-patlatma kolay kazılabilir olmayan kaya kütlelerini kontrollü bir şekilde tahrip ederek ana kaya kütlelerinden ayırma işlemidir. Bu işlem sırasında belirlenmiş büyük kapasiteler için iyi patlatılmış kaya kütleleri elde edilirken, arka şevde kalan kayaya en az zarar verilmelidir. Bu iki zıt isteğin şartlarını yerine getirmesi gereken delme-patlatma üretim kapasitesinden, son ürünün maliyetinden patlatma sonrası işlemlerin randımanından emniyetli bir çalışma ortamına kadar her şeyi doğrudan etkileyen üretimin ilk ve en önemli aşamasıdır.

Örneğin kötü bir patlatma sonucunda yükleyici makinalar zor koşullarda çalışır ikinci delme patlatma ihtiyacı doğar ve kaba oranı artar. Yükleyici makinalar zor koşullarda

çalışınca kapasiteleri düşer, arıza oranları yükselir. İkinci patlatma nedeniyle, fazladan maliyetin yanı sıra vardiyadaki iş kayıpları artar. Makinaların yürüyüş sistemleri zarar görür. Kaba (patar) oranının yüksek olması yükleme, taşıma emniyetinin azalmasına, kırıcıların kapasitelerinin düşmesine ve ton basınç kırma maliyetinin artmasına neden olur.

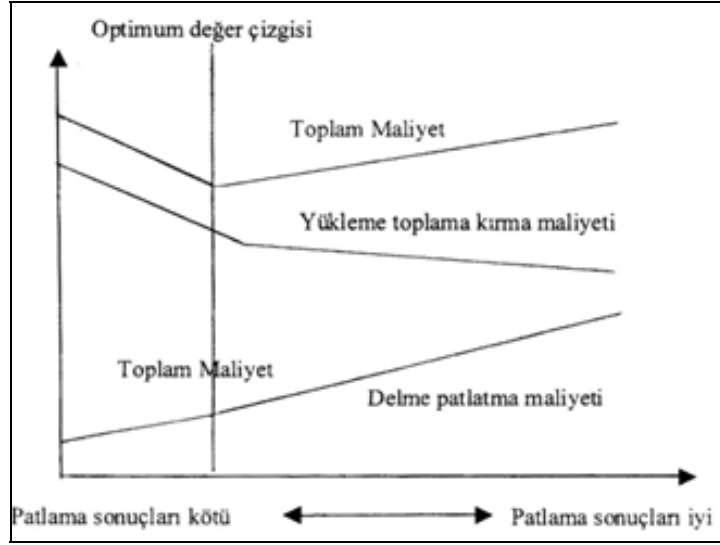
İyi bir patlatma sonrası ise, tüm olumsuzluklar kalkacaktır. İyi bir patlatma için basamak yüksekliklerine göre amaca uygun delik çapı ve delme düzeninin, patlayıcının ve ateşleme sisteminin seçilerek sadece gerektiği kadar doğru biçimde kullanılması gereklidir. Bu çalışmamızda alternatifi olan seçimlerin işletme ekonomisine olan etkileri incelenecektir.

Daha önce belirttiğimiz gibi sadece delme patlatma sonrası işlemlerin maliyetinden ayrı ele almak gerçekçi olmaz. Bunun için delme patlatma maliyeti, yükleme, taşıma ve kırma maliyetleriyle birlikte kırma sonrası stok maliyetinin bir unsuru veya toplam dekapaj maliyetinin bir unsuru olarak ele alınmalıdır.

Tek başına delme-patlatma maliyeti, daha az patlayıcı kullanılarak düşünülebilir. Fakat yükleme taşıma ve kırma maliyetleri yükseleceğinden işletme ekonomisine olumsuz yansır. Buna karşın Şekil 2.7.'de görüldüğü gibi genelde tercih edilen seçenek delme-patlatma maliyetini yüksek tutarak toplam kırma sonrası stok maliyetini düşürmektir.

Fakat bunu yaparken de dikkat edilmesi gereken önemli nokta toplam kırma sonrası stok maliyetinin en düşük olduğu seçeneğin tercih edilmesidir.

Delme patlatma maliyetlerini belirli bir noktadan sonra ne kadar arttırırsak arttırılım patlatma sonrası maliyetleri fazla etkilemeyeceği için gereksiz bir maliyet fazlalığı oluşturur.



Şekil 2.7: Toplam maliyet ve optimum nokta

Şekil 2.7' de görüldüğü gibi toplam maliyetin en düşük olduğu A noktasındaki delme patlatma harcama değerlerinin artırılması da azaltılması da sonuçta toplam maliyetin yükselmesine de neden olacaktır.

Sonuç olarak diyebiliriz ki patlatmanın performansının patlatma sonrası işlemlerin maliyetlerini, kapasitelerini, randımanlarını ve emniyetini belirleyen en önemli unsur olduğunun bilinerek delme patlatmaya bu açıdan bakılması işletme ekonomilerinin daha sağlıklı değerlendirilmesini sağlayacaktır.

2.2. PATLATMA VE PARÇALANMA MEKANİZMASI

Kayaları gevşetmek ve/veya parçalamak amacıyla kullanılan patlayıcı maddelerin istenen sonucu yaratması onların kayanın belirli bir bölümüne aniden ve çok büyük miktarda enerji verebilme kabiliyetlerinde yatmaktadır. 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 çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu enerji deliği çevreleyen kaya üzerinde varyoz darbesi şeklinde etki yapmakta, böylece deliği çevreleyen kayaya uygulanan çok büyük basınçlar kayanın kırılıp parçalanmasına yol açmaktadır (Bilgin, 1986).

Delğe konulup sıkılması yapıldıktan sonra patlayıcı maddenin parçalanma ve ötelenmeye kadar geçen olayları dört temel aşamada incelenmektedir.

- i. Detonasyon
- ii. Şok ve basınç dalgalarının yayılması
- iii. Gaz basıncının yayılması
- iv. Kaya kütlelerinin hareket etmesi

2.2.1. Detonasyon

Detonasyon, patlatma olayının başlangıcıdır. Bu aşamada patlayıcı maddenin bileşenleri çok hızlı bir şekilde yüksek basınç ve sıcaklıkta gaza dönüşerek delik duvarını parçalayarak delik çapını bir miktar genişletebilir. Detonasyon'un başlangıcında basınç 9-275 kbar, sıcaklık ise 3000-7000 °F (1650-3870°C) değerlerine ulaşır.

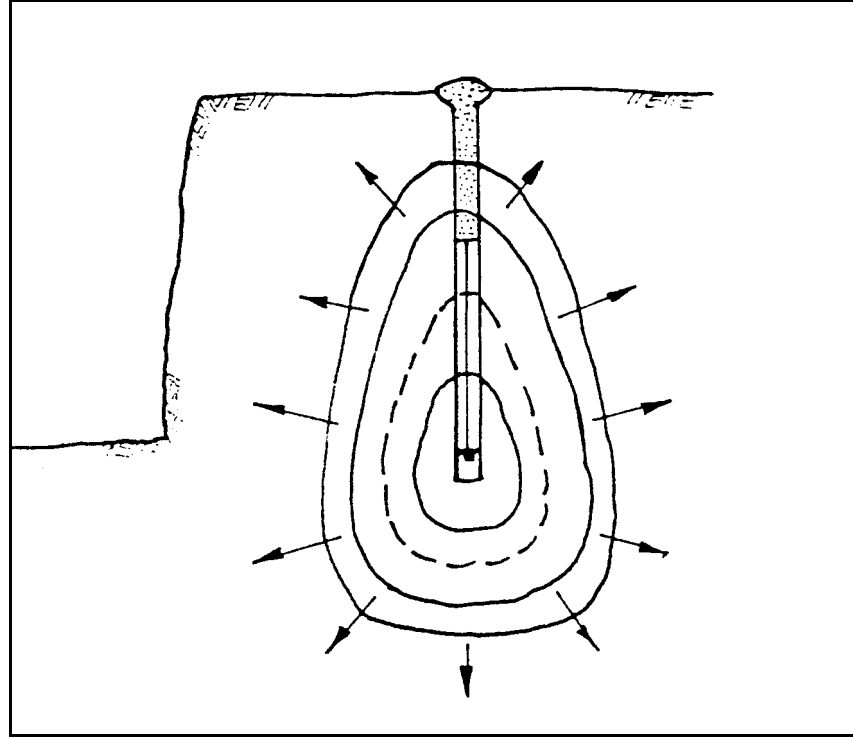
Tablo 2.1: Bazı patlayıcı maddelerin detonasyon basınçları (Anon, 1986)

Patlayıcı Madde	Yoğunluk (gr/cm ³)	Detonasyon Hızı (m/sn)	Detonasyon Basıncı (psi)	Detonasyon Basıncı (kbar)
ANFO	0.81	3657.6	27	396900
Powermax 420	1.19	5791.2	100	1470000
Hi-Prime	1.40	6096.0	130	1911000
"G" Booster	1.60	7924.8	251	3689700

Detonasyon sırasında oluşan basınç genelde detonasyon hızı ve patlayıcı yoğunluğuna bağlı olarak verilir. Detonasyon hızı ise genelde tek değer olarak alınmasına karşın yemleme şarjları ve sıkılama zonlarının bulunduğu yerlerde farklılık gösterir.

2.2.2. Şok ve Basınç Dalgalarının Yayılması

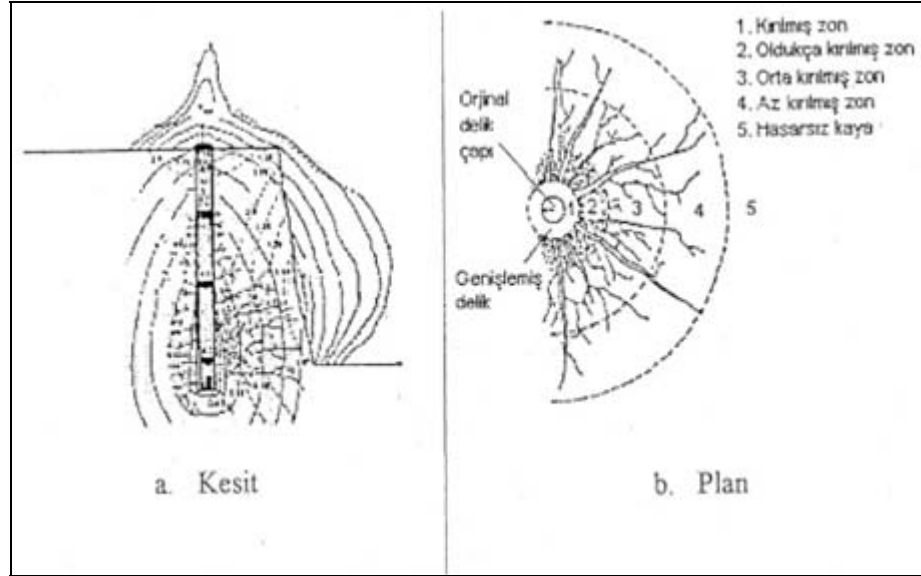
Detonasyonun başlamasından sonra ikinci aşama kaya kütleleri içinde şok ve basınç dalgalarının yayılmasıdır. Patlatma sonucu açığa çıkan gaz hacminin yarattığı basınç kaya kütleleri içinde yayılır. Yayılma şekli, ateşleme noktasının yeri, detonasyon hızı, basınç dalgalarının kaya kütleleri içinde yayılma hızı vb. bazı faktörlere bağlıdır. Örneğin şarj boyu çok kısa ise (şarj boyu, delik çapı oranı 6:1' den az veya eşit) dalgaların yayılma şekli küreseldir. Oran 6:1' den büyük ise silindirik bir yayılma şekli gösterir. Basamak patlatmalarında genelde ateşlemenin delik dibinden başladığı silindirik delikler kullanılır. Bu tip delikte basınç yayılması Şekil 2.8' de görülmektedir.



Şekil 2.8: Kayaç İçerisinde Basınç Yayılma Şekli (Anon, 1986)

Delik çeperine etki eden basınç en yüksek değere doğru çok hızlı bir şekilde yükselir ve daha sonra hızla düşer. Genel olarak en yüksek basınç, kırılma, tozlanma ve dalga enerjisinin en yüksek değerde olduğu delik çeperi çevresinde meydana gelir. (Şekil 2.9.)

Kayaç içerisinde hareket eden basınç dalgası bir süreksizliğe veya ara yüzeye rastladığında enerjinin bir kısmı süreksizliğe aktarılırken geriye kalanı kaynağa doğru geri döner. Geri dönen enerji miktarı süreksizliğin iki tarafındaki yoğunluk ve ses hızına bağlıdır. Serbest yüzey veya süreksizlikten yansıyan bu basınç dalgası kaya içerisinde bir gerilme kuvveti oluşturur. Bu gerilme kuvveti kayanın gerilme dayanımını aştığında burden bölgesinde çatlaklar meydana gelir.



Şekil 2.9: Parçalanma mekanizması (Anon, 1986)

2.2.3. Gaz Basıncının Yayılması

Basınç dalgasının yayılması sırasında ve sonrasında, yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıktaki gaz, delik cidarında basınç nedeniyle meydana gelen çatlaklara ve süreksizliklere hızlı bir şekilde yayılır. Bazı araştırmacılara göre parçalanmanın olduğu aşama bu safhadır.

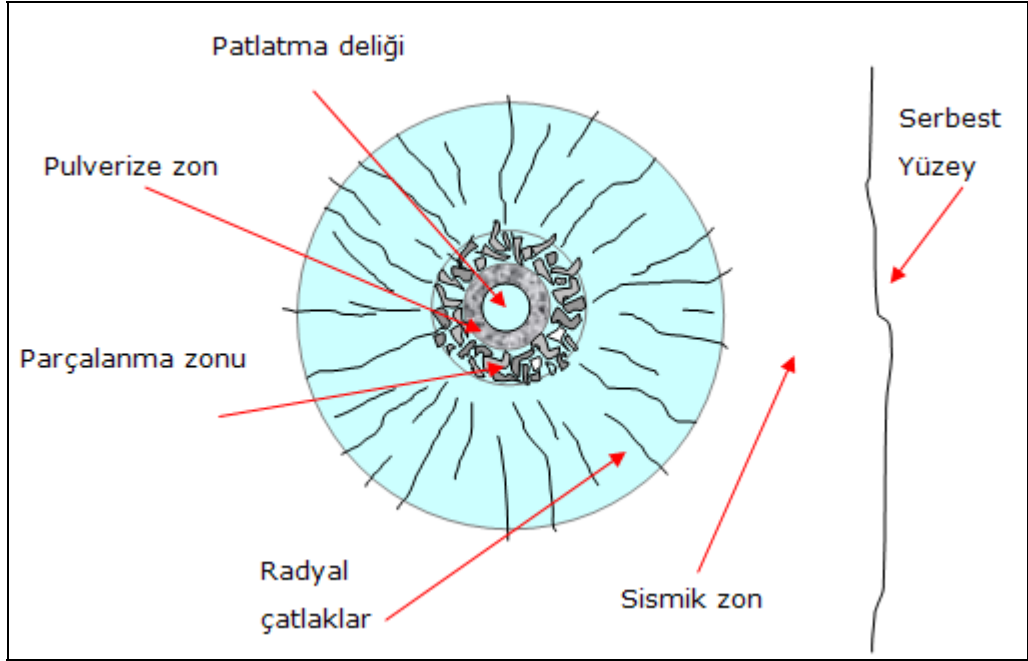
Gazın kaya kütlesi içinde izlediği yol kesin olarak belli olmamakla birlikte dayanımın en düşük olduğu yolu izlediği düşünülmektedir. Yani gaz öncelikle kaya yapısında mevcut kırıklar, çatlaklar ve süreksizliklere doğru yayılır. Eğer patlatma deliğimiz yumuşak bir damar veya çatlaklı bir zondan geçiyorsa ve bu damar ile çatlak zonu serbest yüzey ile bağlantılı ise gaz bu zayıflık zonundan sızar. Bu durum parçalanmayı ve kayının yer değiştirmesini önemli derecede etkiler ve iri bloklar ortaya çıkar.

Kaya kütlesi içinde gaz basıncının yayılma süresi patlayıcı madde tip ve miktarına, kaya tipine ve yapısına, sıkılama miktarı ve tipine, burden büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Bu değer günümüz patlayıcıları için yaklaşık 5 ile 110 ms arasında değişmektedir (Arpaz, 2000).

2.2.4. Kaya Kütlesinin Hareketi

Parçalanma işleminde son aşama malzemenin hareketidir. Gaz basıncı yada basınç ve çekme dalgaları sonucu temel parçalanma meydana gelmektedir. Parçalanmış malzeme etki hızına bağlı olarak basamak tabanına düşmektedir. Kütle taşınmasında en önemli parametre delik önündeki malzeme miktarı olmaktadır. Delik doldurulup ateşlendikten sonra oluşan bu dört aşamadaki, basamak ve sonsuz kaya ortamında oluşan parçalanma olayları kesit ve plan görünüş olarak şekil 2.9.' da görülmektedir. Patlama ile parçalanma olayının mekanizmasını başka bir yaklaşımla aşağıdaki şekilde ifade etmek mümkündür. Bir deliğe yerleştirilmiş ve yeterince sıkılanmış bir patlayıcı madde ateşlenince ne olur? Patlayıcı maddelerle kayaların kırılmasında rol alan fiziksel olaylar nelerdir? Bu sorulara verilecek yanıtlar patlama olayının cereyan tarzı ve parçalanma olayının iyi bir şekilde anlaşılmasına ve böylece daha iyi patlatma tasarımı ve uygulanmasına geçilebilmesine olanak tanıyacaktır. Kayaların parçalanmasında bir araç olarak patlayıcı maddelerin istenen sonucu yaratması, onların kayanın belirli bir bölümüne aniden ve çok büyük miktarda enerji verebilme kabiliyetinde yatar. 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 açığa çıkar. Delikteki patlayıcı ateşlendiğinde gaz şeklinde ortaya çıkan enerji, deliği çevreleyen kaya üzerinde dev bir varyoz darbesi şeklinde etki yapar. Böylece deliği çevreleyen kayaya uygulanan çok büyük basınçlar kayanın kırılıp parçalanmasına yol açar.

Patlatma deliği boşluğunda bulunan patlayıcı madde detone olduğunda ani hacim genişmesi 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 çevresinde neredeyse kaya yapısının bir akışkan gibi davrandığı bir kırılma zonu oluşur. Buna "Pulverize zon" ismi verilmektedir (Şekil 2.10).



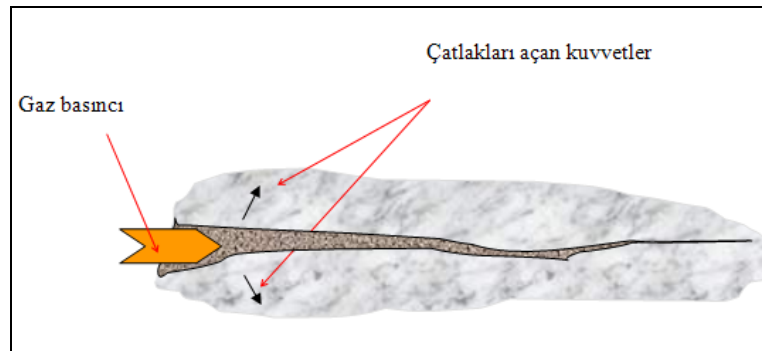
Şekil 2.10: Sonsuz Kaya Ortamı İçindeki Bir Patlatma Deliği Çevresinde Parçalanma Olayı (Paşamehmetoğlu ve diğ., 1986; Olofsson, 1988)

Pulverize zondaki kırılma “visko-plastik” kırılma olarak tanımlanmaktadır. Bu bölgede oluşan kırılma neredeyse mikronize boyutundadır. Plastik deformasyon bölgesi (pulverize zon) genellikle kaya özelliklerine göre bir veya birkaç milimetre genişliğindedir. Kil gibi plastik formasyonlarda kırılma olmaksızın deliğin genişlemesi şeklinde görülen bir deformasyon deliğin kovan yapması olarak adlandırılır. Bu aşamadan sonra patlamanın enerjisi delik duvarından kaya yapısının içinde ilerlemeye başlar. Enerjinin çok yüksek olduğu zonlarda kırılma ufak taneli, enerji düştükçe iri taneli olmak üzere devam eder. Burada oluşan zonlara sırasıyla “Parçalanma zonu” ve “Radyal çatlaklar zonu” isimleri verilmektedir. Bu bölgedeki parçalanma darbe sonucu oluşan basınç birim deformasyon dalgasının (BDD) kayanın dinamik basınç birim-deformasyon limitinden fazla olması nedeniyle oluşur. Kırılma bölgesi genişliği genellikle delik çapının iki katından küçüktür. Bazı çok gözenekli kayalarda çok güçlü patlayıcılar kullanıldığında delik çapının 7,5 katına kadar genişlediği görülmüştür. Kırılma olayını yaratan BDD’ nin şiddeti gittikçe azalır ve daha fazla kırılma yaratmaz. Ancak yarattığı yoğun ışınal (yarıçap yönünde) basınç sonucu dalga cephesine teğet yönde dinamik çekme birim deformasyon dalgaları (ÇDD) oluşur. ÇDD dalgaları da kayanın dinamik çekme birim deformasyon limitini aştığı sürece ışınal çatlamlar devam eder.

Hem ışınal (radyal) hem de teğet çatlakların olduğu çatlama bölgesi, ışınal çatlakların ucu ile sınırlanır. Çatlama bölgesi genişliğinin delik (şarj) çapının oniki katına kadar ulaştığı görülmüştür. Patlamanın yarattığı basınç dalgası parçalanma bölgesindeki kırılma ve çatlama olaylarında enerjisinin bir kısmını harcadığından şiddetinin düşmesi (sönmesi) sonucu ve yakında serbest yüzey bulunmadığından elastik titreşim dalgası olarak sonsuz kaya ortamı içerisinde dağılır gider. Titreşimlerin olduğu bu bölgeye sismik zon adı verilir. Eğer yakında basamak aynası veya açık fay, açık eklem gibi süreksizlikler varsa bunlar birer serbest yüzey olarak etkirler. Sismik bölgede titreşimlere neden olan BDD bu serbest yüzeye geldiğinde, hava boşluğuna geçemeyerek yansır ve ÇDD dönüşür. Bu yansıyan dalga yeterli şiddette ve genellikle kayaların çekme dayanımları çok düşük olduğu için kaya yaprak yaprak parçalanmaya başlar. Birbiri peşisıra gelen BDD' leri haline dönüştükçe dilim dilim koparılma olayı da devam eder.

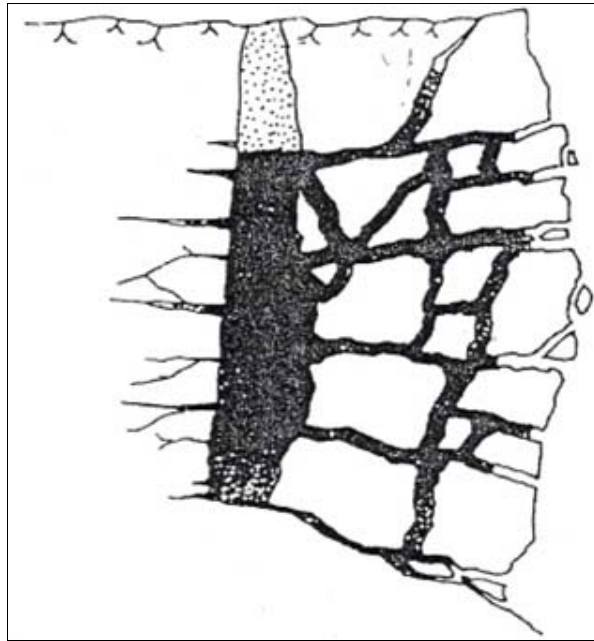
Dilimlenme olayı ikincil parçalanma mekanizmalarının ilkidir. İkincil parçalanma mekanizmalarının ikincisi ise formasyon kontakt ve dokanaklarında görülür. İki ayrı cins kayanın deformasyon modülleri arasındaki fark arttıkça gelen BDD'sinin bu formasyonlarda yarattığı deformasyonlarda farklı olur. Birim deformasyon farklılığının büyüklüğü tabakaların farklı hareketi sonucu makaslama çatlama yaratır. İkincil parçalanma mekanizmalarının üçüncüsü çatlakların gaz basıncıyla açılıp uzamasıdır.

Patlayıcı maddenin meydana getirdiği basınç altındaki gaz hem doğal hem de patlamayla yaratılmış çatlaklara girerek onları yarar ve kama etkisi yaratarak çatlakların uzamasına yol açar (Şekil 2.11).



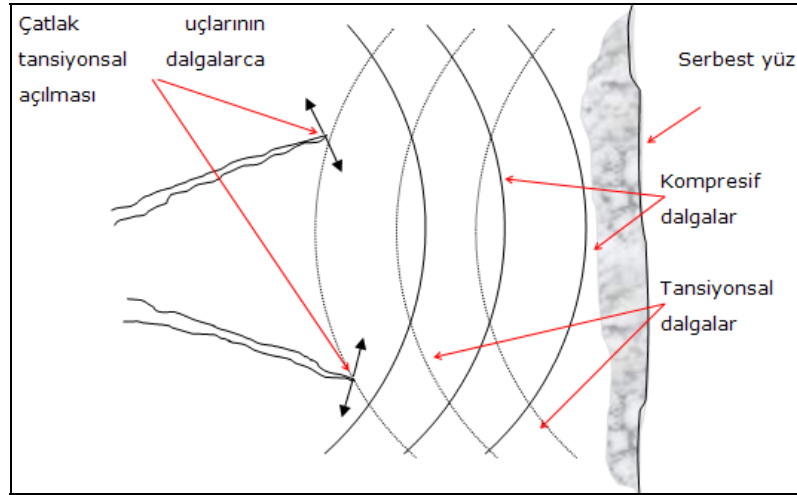
Şekil 2.11: Gaz basıncının yarattığı etki

Hem deliği çevreleyen çatlakların uzaması ve hem de serbest yüzeyde deliğe doğru, dilim dilim parçalanma sonucu arada çok dar bir kaya bölümü parçalanmamış olarak kalır. Bu kısım ise deliği çevreleyen çatlakları dolduran fakat henüz yeterli düzeyde olan gaz basıncı ile ileri doğru püskürtülerek parçalanır. İkincil parçalanma mekanizmalarının dördüncüsü olan, gaz basıncının püskürtülmesiyle parçalanma ile delik grubunun yer aldığı basamak bölümü tamamen parçalanmış ve bir miktar kabarak öne (ocak içine) doğru ötelenmiş olur. Böylece patlatılan kısmın parçalanması tamamlanır. Daha sonra son sıra (en gerideki) deliklerin gerisinde bulunan ve patlama sonucu basınç birim deformasyonuna maruz kalmış (sıkışmış olan) basamak bölümü önündeki yükün aniden kalkması sonucu birden ferahlar ve bunun sonucu olarak patlamanın gerisinde kalan basamakta aynaya paralel, dik ve dike yakın çatlaklar oluşur (Şekil 2.12). Sıkıştırılmış bir yayın aniden serbest bırakılması sonucu geri uzamasına benzer bir yolla basamağın arka kısımlarında paralel çatlakların oluşumu yük boşalmasıyla çatlama olarak adlandırılır. Böylece ikincil parçalanma mekanizmaları da sona erer. Basamaklarda açılan deliklerin şarjı silindirik olduğundan, dalgaların yayılımı şarjın taban ve taban kısmında küresel olurken, orta kısmında silindirik bir hal almaktadır.



Şekil 2.12: Gaz basıncı ile çatlak oluşumu (Paşamehmetoğlu ve diğ., 1986; Olofsson, 1988)

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 kompresif karakterde, yansıldıktan sonra ise tansiyonsal karakterdedirler. Tansiyonel karakterde olan sismik dalgalar çatlak uçlarına etki ederek daha da açılmalarına çalışırlar. (Şekil 2.13)



Şekil 2.13: Patlama ile birlikte dalga yayılımı

Çatlakların serbest yüzeye ulaşmasına katkıda bulunan diğer bir olay da, bu kez serbest yüzeyin çatlaklara doğru yavaşmasıdır. Buna sebep olan olay, yine tansiyonsal karaktere dönüşen sismik dalgalardır. Kaya yapılarının çok bilinen ama pek üzerinde durulmayan bir özelliği; kompresif dayanımlarının, tansiyonsal dayanımlarının 10 katı kadar olmasıdır. Sırf bu nedenle insanlık medeniyetinin başlangıcından beri taş yapılarda taş elemanları kompresif yük taşıyacak şekilde kullanılmışlardır. Kemer yapılarda olduğu gibi. 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.

2.3. PATLATMA SONUÇLARINI ETKİLEYEN VE TASARIMDA GÖZ ÖNÜNE ALINMASI GEREKEN ETKENLER

2.3.1. Kaya Birimlerinin Malzeme ve Kütle Özellikleri

Maden ve inşaat mühendisliği kazılarının tasarımında, kayaçların kütle ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi en önemli safhalardan biridir. Maden mühendisliğinde, kayaçların mühendislik özellikleri, üretim yöntemi ve kazı ekipmanı seçimi, patlatma geometrisinin tasarımı, şev stabilitesi ve yeraltı açıklıklarının boyutlandırılması çalışmalarında temel tasarım parametreleri olarak kullanılmaktadır.

Bu nedenle çalışma alanında yapılacak ön incelemeler ile kaya birimlerinin ;

- yoğunluk
- basınç, çekme, darbe dayanımları
- sismik dalga hızı
- empedans
- süreksizlik durumu ve kütleli olarak sağlamlık derecesi
- su durumu
- elastik modülü
- poisson oranı
- değişkenlik durumu (homojenlik, anizotropi, izotropluk)
- sertlik

gibi özellikleri belirlenmeli ve bu veriler kullanılarak delme-patlatma dizaynı yapılmalıdır.

Yoğunluk - Yoğunluk patlatma sırasında harekete geçen kütleliyi işaret etmektedir. Patlatma ile yaratılan şok dalgalarının dinamiğini etkiler. Şok dalgaları yoğun ortamlarda daha iyi yayılma olanağı bulmakta, az yoğun ortamlarda ise dalga yayılma koşulları pek iyi olamamaktadır. Patlayıcı-kayaç uyuşması konusunda rol alır. "Empedans" kavramına göre patlayıcıdan en yüksek verimi alabilmek için; "Patlayıcının empedansı ile kayacın empedansının birbirine yakın veya uyumlu olması gerekir".

Basınç, çekme, darbe dayanımları - Baskıya ve çekmeye dayanım, kaya yapılarının direnebileceği yük miktarını gösterir. Üzerinde durulması gereken nokta, yüklemenin hızıdır. Kaya yapılarının tansiyonsal dayanımı, baskıya dayanımın yaklaşık 1/10 değerindedir. Kayaçların çekme dayanımlarının, basma dayanımlarından çok daha düşük olması nedeniyle patlatma sırasında, patlatılacak malzemenin çekme dayanımını aşacak değerlere ulaşılmalıdır.

Elastisite modülü - Young Elastisite Modülü ve Poisson Oranı, kaya yapılarının Elastisite özellikleri açısından, şekil olarak direnebilecekleri deformasyonları gösterir. Kaya mühendisliğinin yeraltı açıklıklarıyla ilgili uygulamalarında, birincil ve ikincil gerilmeler kapsamında, Poisson oranı karşımıza çıkmaktadır.

Su Durumu - Su kayaçlar içinde depolanmakta, hareket etmekte ve kayaçların özelliklerini fiziksel ve kimyasal yönden etkilemektedir. Su kayacın dayanım özelliklerini düşürmektedir. Çatlaklarda oluşturduğu basınç nedeniyle bazen çatlakların daha fazla açılmasına neden olmaktadır. Suyu doymuş dayanımın kuru dayanımın yarısına kadar düştüğü görülmüştür. Özellikle bünyesinde kil mineralleri içeren kayaçlar su ile temas ettiklerinde, bütün dayanım özelliklerini kaybedebilmektedir.

Süreksizlikler - Jeolojik olarak “süreksizlikler” terimi fay hatlarını, tektonik çatlakları, soğuma çatlaklarını ve bunun gibi diğer çatlakları kapsar. Patlatmalı kaya kazısı ile uğraşanların çoğunlukla şikayet ettikleri konu “üzerinde çalıştığı kaya yapısının çok çatlaklı olduğudur”. Süreksizliklerin oluşmasında rol alan diğer bir unsur da soğumadır. Volkanik kayaçlar için geçerli olan bu olay, soğuma sırasında oluşan hacim küçülmesi veya büzümeye bağlıdır. Bir bölgedeki volkanik kayaçların oluşumu değişik fazlarda meydana gelebilir. Daha önce oluşan kaya yapıları, arkadan gelen ikinci lav akıntısında parçalanır, yuvarlanır ve tekrardan soğuma sonucunda ortaya enteresan görüntüler çıkar. Bu tür yapılar doğaldır ki patlatma sonucunda oluşan tane boyu dağılımını etkileyecektir. Sedimantasyonun jeolojik süreçler içerisinde değişik koşullarda olması, aynı kaya yapısı içerisinde değişik özelliklerde katmanlar oluşmasına yol açar. Sedimanter katmanlar bazen patlatma sonrası elde edilen tane boyu dağılımı konusunda sorunlar yaratabilir. Süreksizlik sistematikliğini yakalayabilmek için “gül diyagramı”

çalışması yapılmalıdır. Bunun için süreksizliklerin coğrafik yönleri saptanır, büyüklük ve etkinliklerine göre değerlendirilir. Bu diyagrama göre süreksizliklerin hakim yönü saptanmış olur. Süreksizlik yönünün patlatma tekniğinde tane boyu dağılımını etkileyen bir parametre olduğu anlaşılmıştır. Süreksizlik yönüne paralel aynalarda yapılan patlatmalarda tane boyut dağılımı daha iyi kontrol edilebilmiştir.

In-situ Basınç Dağılımları - Doğada insan eli değmemişken kaya yapılarının insitu basınç dağılımları dengededir. O nedenle çok uzun süreler boyunca dengede dururlar. Dengeleri bozulduğunda is heyelan ve toprak kaymaları görülür. Herhangi bir amaç ile kazı yapılmaya başlandığında ise denge bozulmaktadır. Kazı aynasında kompresif ve tansiyonsal bölgeler oluşur. Tansiyonsal bölgeler kullanılarak uygulanan patlatma tekniklerinde bir taraftan patlayıcı tasarrufu sağlanırken, öte yandan daha iyi bir pasa profili ve tane boyu dağılımı elde edilebilir.

Patlatma tasarımında iki temel parametre vardır. Bunlar; özgül şarj ve uygun dilim kalınlığıdır. Bu iki parametreye (herhangi bir kaya birimi için) makul bir yanıt verildiği takdirde; kabul edilebilir yaklaşımlara dayalı olarak diğer tasarım parametreleri bunlara bağlı olarak hesaplanabilmekte ve tasarım tamamlanabilmektedir. Özgül şarj üzerinde süreksizlik yönelimleri de etkilir ve özgül şarj değerleri; süreksizlik yönelimleri, aynaya paralel olduğunda minimumdur. Dilim kalınlığı için bazı araştırmacılar sadece basamak ve delik geometrisiyle pratik ilişkiler geliştirmişlerdir. Bazıları ise bu büyüklüklerle birlikte kaya koşullarını ve patlayıcı madde özelliklerini de dikkate alan yaklaşımlarda bulunmuşlardır.

2.3.2. Patlayıcı Maddenin Cinsi, Özellikleri ve Dağılımı

- Yoğunluk
- Patlatma hızı
- Kudret (güç)
- Hassasiyet
- Suyu dayanım
- Dona dayanım
- Gaz özellikleri
- Patlatma ısısı ve özgül gaz hacmi

- Depolanma süresi ve şekli

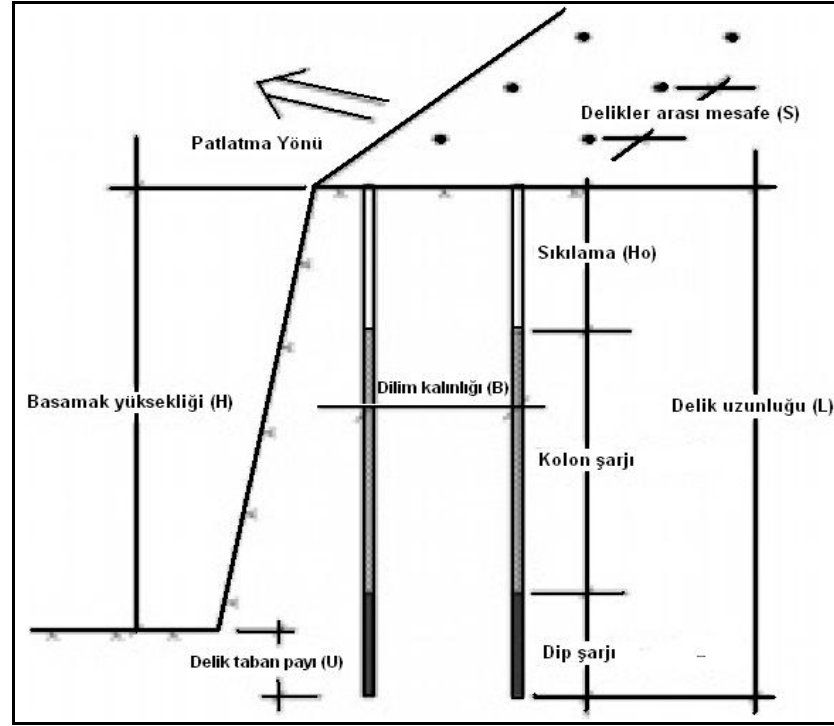
Patlayıcı maddelerin özelliklerine Bölüm 2.4 'te değinilecektir.

2.3.3. Patlatma Geometrisi

- Delik çapı, yeri, eğimi ve boyu
- Delik düzeni
- Dilim kalınlığı, delikler arası mesafe
- Basamak aynasının şekli, durumu, yüksekliği, eğimi
- Sıkılama payı
- Delik taban payı
- Şarj şekli, delik içi dağılımı
- Atım grubu boyutları
- Yemleme, ateşleme şekli ve düzeni
- Gecikme tipi ve süresi

Bu parametreler aşağıda şekil 2.14'de gösterilmektedir.

Yukarıda ayrı ayrı değinilen temel unsurların aralarındaki ilişkilerin ortaya konulması sonucunda tasarım için uygun yaklaşımlarda bulunmak mümkün olabilmektedir. Ancak, birçok araştırmacının kabul ettiği ve yanıt aradığı iki anahtar parametre öne çıkmaktadır. Bu iki parametre; özgül şarj ve en uygun dilim kalınlığıdır. Bu iki parametreye (herhangi bir kaya birimi için) makul bir yanıt verildiği takdirde; kabul edilebilir yaklaşımlara dayalı olarak diğer tasarım parametreleri bunlara bağlı olarak hesaplanabilmekte ve tasarım tamamlanabilmektedir. Deneme-yanılma yoluyla yapılacak dilim kalınlığı ve özgül şarj miktarı belirleme çalışmalarında, maliyeti göz önüne almak gerekmektedir. Bu nedenle, ilk tasarım açısından makul bir değerdeki özgül şarj ve dilim kalınlığı değerlerinden başlamak çok olumlu sonuçlar verebilmektedir. Bu da ancak yukarıda ifade edilen üç ayrı temel parametre arasındaki ilişkilerin yorumlanması ile mümkün olabilmektedir.



Şekil 2.14: Basamak patlatması terimleri

2.3.4. Özgül Şarjın Belirlenmesi İçin Önerilen Yöntemler

Herhangi bir kayada istenen parçalanma derecesini elde etmek için bir deliğe konacak patlayıcı madde miktarının (esasen özgül şarjın) büyük oranda kaya özelliklerine bağlı olduğu bilinmekle birlikte, bu kritik ilişki birçok kaya özelliklerinin birlikte etkili olması nedeniyle oldukça karmaşıktır. Bu nedenle tam olarak ortaya konulamamıştır. Bu itibarla belirli teorik yaklaşımlar olmasına rağmen günümüzde kullanılacak özgül şarj; çoğunlukla, her bir kaya birimi için deneme yanılma yöntemi ile belirlenerek durumdadır. Bu yüzden kayanın madde ve kütle özellikleriyle, optimum özgül şarj arasında güvenilir bir ilişki geliştirmek önemini korumaktadır (Toper, 1988; Paşamehmetoğlu ve diğ., 1986).

Patlatma geometrisi ve kaya patlatma sabiti önem arz eden Langefors formülü aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$q = [(1,4x C_o x B^3 + 0,4x C_o x B^2 x (K - 2B)) / (n x K x B^2)], (kg/m^3) \quad (2.1)$$

Özgül şarj ve sismik hız arasındaki ilişki Broadbent (1974) tarafından geliştirilmiştir. Atkinson (1971) yaptığı araştırmalar sonucu, kayaların sismik dalga iletim hızı ile kazılabilirlik düzeyleri arasındaki ilişkileri Şekil 15'deki gibi bir grafikte ifade etmiştir.

Başka bir ampirik yaklaşım ise kaya kütlelerinin çatlak sıklığı ve etkin içsel sürtünme açısı dikkate alınmak suretiyle Ashby (Hoek&Bray, 1981) tarafından aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$q = \frac{1.4 \times \tan(\varphi + i)}{(\text{Çatlaksayısı} / \text{metre})^{1/3}} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (2.2)$$

Ülkemizdeki bazı demir ve linyit işletmelerinde araştırmalarda bulunan Paşamehmetoğlu ve Arkadaşları özgül şarj ile basma dayanımı, çekme dayanımı, yoğunluk, empedans, darbe dayanımı, sismik dalga hızı (P dalga hızı) gibi bazı kaya özellikleri arasında oldukça yüksek korelasyon katsayılı çeşitli ilişkiler geliştirmişlerdir (Paşamehmetoğlu ve Ark., 1986; Bilgin ve Paşamehmetoğlu 1986; Topper, 1988). Söz konusu araştırmacılarca geliştirilen bu ilişkiler aşağıdaki gibidir.

Basma dayanımı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0.474 + 0.004 \times \sigma_b \text{ (r=0.56)} \quad (2.3)$$

Çekme dayanımı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0.369 + 0.0224 \times \sigma_c \text{ (r=0.82)} \quad (2.4)$$

İçsel sürtünme açısı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0.2349 \times (\tan\Phi)^{0.5570}, \text{ (r=0.68)} \quad (2.5)$$

Kohezyon ve darbe dayanımı ilişkisi:

$$q = 0.1156 + c \times 0.0072, \text{ (r=0.95)} \quad (2.6)$$

Darbe dayanımı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0.414 + 9.55 \times 10^{-7} \times DD, \text{ (r = 0.99)} \quad (2.7)$$

Yoğunluk ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0.019 + 2.038 \times 10^{-4} \times d_r, \text{ (r=0.99)} \quad (2.8)$$

Kaya empedansı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0.02 + 3.97 \times 10^{-8} \times I, (r=0.99) \quad (2.9)$$

Sismik hız ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = -1.9928 + 0.2904 \times \ln V_p, (r=0.89) \quad (2.10)$$

Özellikle dönmeli delik delme işlemlerinde kayaların patlatılabilirlikleri konusunda, delme performanslarından elde edilen kaya kalite indeksinin (RQI) önemli olduğunu ifade eden Leighton (1982), özgül şarj ve kaya kalite indeksi arasında aşağıdaki ilişkiyi geliştirmiştir.

$$q = (RQI - 24.9) / 7.1, (kg/ton) \quad (2.11)$$

Aynı konuda Paşamehmetoğlu ve Arkadaşları, Toper ve Dinçer de Türkiye'de yaptıkları çalışmalarda benzer yaklaşımlarda bulunup bazı ilişkiler geliştirmişlerdir.

$$q = 0.208 + 0.0224 \times RQI, (r=0.82) \quad (2.12)$$

Kou ve Rustan, özgül şarj kavramına yakın bir kavram olarak kabul edilen patlayabilirlik faktörünün (C_o), kayanın tek eksenli basma dayanımını, dinamik elastisite modülünü ve referans patlayıcı maddenin ısı enerjisini dikkate alan aşağıdaki formülle tahmin edilebileceğini belirtmektedir.

$$C_o = (\sigma_b)^2 / (2 \times E_d \times Q_{er}) \quad (2.13)$$

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

Burada kullanılan semboller:

- q : Özgül şarj, (kg/m^3)
- C_o : Kaya patlatma katsayısı, (kg/m^3)
- K : Basamak yüksekliği, (m)
- n : Delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı oranı

- B : Dilim kalınlığı, (m)
 f : Delik eğim faktörü
 $\Phi+i$: Etkin içsel sürtünme açısı, (derece)
 σ_b : Kayanın tek eksenli basma dayanımı, (MPa)
 σ_c : Kayanın endirekt çekme dayanımı, (MPa)
 φ : Kayanın içsel sürtünme açısı, (derece)
 c : Kohezyon, (MPa)
 DD : Darbe dayanımı, ($\text{kg.m} / \text{m}^3 \cdot 10^{-5}$)
 d_r : Kayanın yoğunluğu, (kN/m^3)
 I : Empedans, ($(\text{MN-m}) / (\text{m}^3 \cdot \text{sn})$)
 V_p : Sismik (P-dalga) hız, (m/sn)
 RQI : Kaya kalite indeksi, (Mpa-dak/m)
 E_d : Dinamik elastisite modülü, (MPa)
 Q_{er} : Referans patlayıcı maddenin ısı enerjisi, (kJ/kg)

2.3.5. Dilim Kalınlığının Belirlenmesine Yönelik Yaklaşımlar

Patlatma geometrisi tasarımı konusunda yapılan araştırmalar göstermiştir ki dilim kalınlığı, diğer tüm tasarım parametreleri üzerinde etkindir. Bir başka ifade ile, delikler arası mesafe, sıkılama boyu, delik taban payı, gecikme aralığı, dip şarjı boyu, kolon şarjı boyu gibi diğer tasarım büyüklüklerinin, dilim kalınlığının fonksiyonu olarak ifade edilebildiği ve bu şekilde anlamlı tasarımlar yapılabileceği konusu çoğu araştırmacılarca vurgulanmıştır (Gustafsson, 1973; Tamrock (Pukkila), 1978; Bilgin ve Ark., 1986; 1994; Arıoğlu, 1988; Olofsson, 1988; Ashby, 1990; Konya, 1990; Zeigler, 1991; Rustan, 1993; Singh, 1993).

Dilim kalınlığı, kritik bir tasarım unsuru özelliğindedir. Bu kritiklik hem delme patlatmanın ekonomisi yönünden, hem de fırlayan kaya, yersarsıntısı gibi ocak ve çevre emniyetini etkilenmesi bakımından önem arz etmektedir. Araştırmacılar, işletme koşullarına uygun dilim kalınlığını belirlemek amacıyla uzun süreden beri çeşitli çalışmalar yapmışlar ve ampirik yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Bununla beraber dilim kalınlığını her işletme ve her kaya birimi için deneme-yanılma yoluyla belirleme yaklaşımı, güncelliğini korumaktadır. Çeşitli araştırmacıların dilim kalınlığı için

önerdikleri bağıntılar, Arıoğlu (1988) tarafından ayrıntılı bir şekilde sınıflandırılmıştır. Bunlardan bir kısmı sadece basamak ve delik geometrisiyle pratik ilişkiler geliştirmişlerdir. Diğer bir kısmı ise, bu büyüklüklerle birlikte, kaya koşullarını ve patlayıcı madde özelliklerini de dikkate alan yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Bu yaklaşımlara geniş bir şekilde aşağıda yer verilmiştir.

$$B = 0.024 * d + 0.85, \text{ (Vutukuri, Arıoğlu, 1988)} \quad (2.14)$$

$$B = (25-35) - 12 * d_e, \text{ (Atlas Power Company, 1985)} \quad (2.15)$$

$$B_{\max} = 0.045 * d, \text{ (Gustaffson, 1973)} \quad (2.16)$$

$$B_{\max} = 1.36 * (Ib)^{0.5} * R_1 * R_2, \text{ (Oloffson, 1985)} \quad (2.17)$$

$$B_{\max} = (d/33) * (P * s) / [C_o * f * (S/B)]^{0.5}, \text{ (Langefors ve Kihlstrom, 1978),}$$

$$(B = B_{\max} - E) \quad (2.18)$$

$$B = 3.15 * d_e * (SG_e / SG_r)^{0.33}, \text{ (feet), (Konya & Walter, 1990)} \quad (2.19)$$

$$B = [(Q_b + Q_p)] / [(S/B) * K * K_{tp}], \text{ (Zeigler, 1991)} \quad (2.20)$$

$$B = 10^{-3} * K_r * d * (P_p / (\sigma_c))^{0.5}, \text{ (Pearse formülü, Arıoğlu, 1988)} \quad (2.21)$$

$$B = f(q, d, K, \tau_p, a), \text{ (Arıoğlu, 1988)} \quad (1.22)$$

$$B = [(K_o / (\mu * n * \tan(\theta/2))]^{0.5} * d * [(SG_e * Q_e / Q_{er}) / ((\sigma_b^2 / (2E_d * n * Q_{er}))^{0.5}$$

$$\text{ (Kou ve Rustan, 1992)} \quad (2.23)$$

Burada kullanılan semboller:

B_{max}: Maksimum dilim kalınlığı, (m)

d: Delik çapı, (mm)

Ib: Şarj yoğunluğu, (kg/m)

R₁: Delik eğimi düzeltme faktörü

R₂: Kaya düzeltme faktörü

d_e: Patlayıcı maddenin çapı, (inç)

- SG_e : Patlayıcı maddenin özgül ağırlığı
 SG_r : Kayanın özgül ağırlığı
 P : Patlayıcı maddenin delik içindeki yoğunluğu, (kg/dm^3)
 s : Patlayıcı maddenin ağırlıkça kudreti
 C_o : Kaya patlatma katsayısı
 f : Atım güçlük katsayısı
 S : Delikler arası mesafe, (m)
 E : Delik hata payı, (m)
 Q_b : Dip şarj miktarı, (kg)
 Q_p : Kolon şarj miktarı, (kg)
 K : Basamak yüksekliği, (m)
 K_{tp} : Teknik şarj faktörü
 K_r : Kaya faktörü
 P_p : Delikteki patlama basıncı, (MPa)
 σ_ϕ : Kayanın çekme dayanımı, (MPa)
 P_d : Detonasyon basıncı, (MPa)
 $\sigma_{\phi,d}$: Kayanın dinamik çekme dayanımı, (MPa)
 $\sigma_{\phi \min}$: Minimum çekme gerilmesi, (MPa)
 $\sigma_{\phi \max}$: Maksimum çekme gerilmesi, (MPa)
 α : Süreksizlik düzleminin aynaya göre olan açısı, (derece)
 η : Enerji iletim verimi
 μ : Kırılma enerjisi ile maksimum basınç deformasyon enerjisi arasındaki oran
 Q_e : Patlayıcı ısı enerjisi, (kJ/kg)
 Q_{er} : Referans patlayıcının ısı enerjisi, (kJ/kg)
 θ : Kırılma açısı, (derece)
 E_d : Dinamik elastik modülü, (GPa)
 σ_b : Kayanın tek eksenli basma dayanımı, (MPa)

Bu formüllerin dışında; uygun dilim kalınlığının belirlenmesi için Rustan, Bilgin, Paşamehmetoğlu ve Arkadaşları her bir işletmede tek delik düzeninin uygulanmasının daha olumlu sonuçlar vereceğini ifade etmektedirler. Tüm bu formüller genel bir değerlendirmeye tabi tutulduğunda; dilim kalınlığını, delik çapının fonksiyonu olarak ifade eden yaklaşımların pratik kolaylıklar sağladığı ve hemen tümünün birbirine

oldukça yakın değerler olduğu (minimum ve maksimum aralıkları içinde) görülmektedir. Patlatma geometrisi unsurlarıyla birlikte çalışılan kayaların madde ve kütle özelliklerini belirli ölçüde kullanmanın yanında, kullanılan patlayıcı madde özelliklerini de göz önünde tutan yaklaşımlardan; pratikte daha olumlu sonuçlar elde edilenler aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Konya yaklaşımının yoğunluk dışında diğer kaya özelliklerini dikkate almaması nedeniyle; kullanımının sınırlı olacağı çeşitli araştırmacılarca ifade edilmektedir. Bununla birlikte bu yaklaşımın zayıf formasyonlar için iyi sonuçlar verdiği de belirtilmektedir. Pearse formülünün kayaların çekme dayanımını esas alması dolayısıyla ön tasarımlarda olumlu sonuçlar verdiği çeşitli araştırmacılarca ifade edilmektedir (Arioğlu,1988). Bu yaklaşımın, özellikle kalker formasyonu için başarılı sonuçlar verdiği belirtilmektedir. Ancak diğer kaya özelliklerini dikkate almaması, uygulama şansını sınırlamaktadır. Keza Arioğlu'nun (1988) özgül şarj, patlatma geometrisi büyüklüklerini ve patlayıcı madde özelliklerini kapsar şekilde önerdiği bağıntı ile belirli sonuçlar alınabilmesi söz konusu olabilir. Bu yaklaşımda; birim patlayıcı tüketimi, kayanın diğer madde ve kütle özelliklerini dikkate alacak şekilde belirlendiğinde, yaklaşımın başarı şansı artabilecektir. Nova ve Zanietti tarafından değiştirilen Pearse yaklaşımının, süreksizlik yönelimini dikkate almış olması nedeniyle oldukça olumlu sonuçlar verdiği Özkahraman (1994) tarafından ifade edilmektedir.

Rustan tarafından önerilen tek delik düzeni ile dilim kalınlığı belirleme yaklaşımının, bir takım deneme zorlukları ve ek maliyet unsurları oluşturma gibi hususlar bir tarafa bırakıldığında, oldukça iyi sonuçlar verdiği çeşitli araştırmacılar tarafından belirtilmektedir (Bilgin, 1994; Özkahraman, 1994). Kou ve Rustan (1992) tarafından önerilen yaklaşımın; kayaların dinamik elastik modülünü, basma dayanımı, patlayıcı madde özelliklerini, delik çapı ve diğer geometrik büyüklükleri dikkate alması nedeniyle olumlu sonuçlar verebileceği, ancak süreksizlikleri ve yönelimlerini dikkate almadığından tahminlerde yanılmalar olabileceği bazı araştırmacılarca belirtilmektedir (Özkahraman, 1994).

Langefors ve Kihlstrom tarafından verilen formülün; (özellikle sağlam kayalarda) kaya özelliklerini (kaya patlatma katsayısı şeklinde), delik çapı ile diğer delik geometrisi

unsurlarını ve patlayıcı madde özelliklerini (yoğunluk ve kudretini) dikkate alması nedeniyle pratikte çok başarılı sonuçlar verdiği birçok araştırmacı ve uygulamacı tarafından pek çok yayında ifade edilmektedir. Aynı yaklaşımın esas alındığı bu çalışma kapsamında yapılan tasarımlarla da başarılı sonuçlar alınmıştır. Ancak formülün başarısı için, kaya patlatma katsayısının çok iyi bir şekilde (gerekirse test atımlarıyla) tayin edilmiş olması gerekmektedir.

2.3.6. Diğer Patlatma Tasarım Büyüklükleri

Güvenilir bir patlatma tasarımında belirlenmesi gereken diğer parametreler; sırasıyla, delik çapı, delik eğimi, delikler arası mesafe, delik taban payı, sıkılama boyu, gecikme zamanı, taban şarj boyu ve miktarı, kolon şarj boyu ve miktarı, yemlemenin konumu, miktarı ve sayısı ile ateşleme sistemidir. Tasarımda etkili olan bu parametrelerin dilim kalınlığının fonksiyonu olarak ifade edilebileceği hemen hemen tüm araştırmacılar tarafından benimsenmiş ve bu yönde yaklaşımlar geliştirilmiştir.

2.3.6.1. Delik Çapı Tahmini

Delik çapının seçiminde etkin olan başlıca unsurlar; kaya özellikleri, istenen parçalanma derecesi, üretim kapasitesi kısıtları, çevre koşulları, basamak yüksekliği, kullanılacak patlayıcı maddelerin kudreti ve çapın artışına bağlı olarak birim delme maliyetinde olabilecek azalmadır. Her ne kadar pek çok işletmede, belirli bir makine parkı varlığı dolayısıyla delik çapı seçimi kısıtlı ise de; yeni oluşturulacak projelerde delik çapının çok iyi tahmin edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Yukarıda özetlenen tüm etkili parametrelere karşın, araştırmacıların çoğu, delik çapının (d), daha çok basamak yüksekliğinin (K) bir fonksiyonu olarak ifade etmektedirler. Patlayıcı madde üreten kuruluşların bazıları ise iyi bir parçalanma ve tasarım kontrolü için delik çapının basamak yüksekliğinin onda biri kadar olmasını önermektedirler (Zeigler, 1991; Dick ve Ark., 1983). Bazı araştırmacılar da açık işletmelerde seçilebilecek delik çapları (d) için pratik olarak aşağıdaki verilen aralıkları önermektedirler.

$$d = 51\text{mm}-425\text{mm} \text{ (Dick ve Ark, 1973)} \quad (2.24)$$

$$d = 30\text{mm}-400\text{mm} \text{ (Olofsson, 1988)} \quad (2.25)$$

$$d(m) = K / (100-200) \text{ (Tamrock, 1978)} \quad (2.26)$$

Hagan ve bazı diğer araştırmacılar ise delik çapının, basamak yuksekliliğinin 40 ta biri ile 80 de biri arasında değiştiğini, yaptıkları çalışmalar sırasında gözlemlemişlerdir (paşamehmetoğlu ve Ark, 1986). Tamrock'a (1984) göre; eğer kesme derinliği herhangi bir çaptaki deliğin kullanılmasına izin veriyorsa ve çevresel unsurlara (binalar v.s.) yeterince uzaksa, delik çapını tayin edici nihai faktör olarak ekskavatör kepçe hacmi dikkate alınabilmektedir.

2.3.6.2. Delik Eğiminin Belirlenmesi

Genel olarak, eğimli delik kullanımının, geri çatlak, kaya fırlaması ve yer sarsıntısı gibi olumsuzlukları azaltmanın yanında, patlatmanın verimliliğini artırdığı pek çok araştırmacı tarafından gözlenmiştir. Öte yandan çok sağlam kayalar için dik deliklerin olumlu sonuçlar verebileceği çeşitli araştırmacılarca ifade edilmektedir. şarj zorluğu nedeniyle çeşitli araştırmacılar arasında delik eğiminin genel kabul görmüş minimum değer 45°'dir (Zeigler, 1991).

Başarılı bir atım için, genel olarak seçilmesi gereken ortalama eğim açısını Olofsson (1988) 71 ° olarak önerirken, Rosenberg (1970) 65°-75° ve Gregory (1984), 60°-65° olarak önermektedirler (Zeigler, 1991). Delik eğimine etki eden diğer bir unsur ise basamak yüksekliliği ve delik uzunluğuuna bağlı olarak değişen delik hata payıdır.

2.3.6.3. Delikler Arası Mesafenin Belirlenmesi

Delikler arası mesafe patlatma tasarımında önemli bir unsurdur. Bazı araştırmacılar delikler arası mesafeyi, basit bir şekilde yan yana iki delik (aynı sırada) arası mesafe olarak kabul ederken, bazıları delikler arasındaki (bitişik delikler) gecikme aralığı olarak tanımlamaktadırlar. Delikler arası mesafenin belirlenmesinde başka birçok faktör etkin olmakla birlikte, yaygın bir kabul ile, daha çok dilim kalınlığının fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Formüllerde daha çok delikler arası mesafe dilim kalınlığının bir fonksiyonu olarak belirlenmektedir. Çeşitli araştırmacıların konuya yaklaşımları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

$$S(m) = 1.25 \times B(m), \text{ (Olofsson, 1988)} \quad (2.27)$$

$$S = 1.8 \times B, \text{ (Tek sıra delik için) (Hemphill, 1981)} \quad (2.28)$$

$$S = [Bx(h_b+h_p)]^{0.5}, (\text{çok sıralı ve gecikmesiz) eğer } (h_b+h_p) \leq 4 \text{ ise (Hemphill, 1981)}$$

$$S = 2 \times B \text{ eğer } (h_b + h_p) \geq 4 \text{ ise, (Hemphill, 1981)} \quad (2.29)$$

Burada:

h_p : Kolon şarj boyu, (m)

h_b : Dip şarj boyu, (m)

$$S = (1.15-1.25) \times B, (\text{Langefors ve Kihlstrom, 1978}) \quad (2.30)$$

$$S = (1-1.8) \times B, (\text{Atlas Powder Comp., 1987}) \quad (2.31)$$

$$S = 2 \times B, (\text{Dick ve Ark, 1983}) \quad (2.32)$$

Genel bir değerlendirme olarak, araştırmacıların birçoğunun, basamak patlatması için önerdikleri delikler arası mesafenin dilim kalınlığına oranı 1 ila 1,8 arasında değişmektedir. Öte yandan araştırmacıların hemfikir olduğu başlıca konular aşağıda ifade edilmiştir. Eğer delikler arası mesafenin dilim kalınlığına oranı 1 den küçük olursa; sıkılama malzemesinin erken boşalması nedeniyle delikler arasında çok erken çatlaklar oluşacaktır. Bunun sonucu, gaz kaçıışının hızlanması, hava şoku, gürültü ve iri blok oluşumu gibi sorunlar ortaya çıkacaktır. Tersine bu oran çok büyük olursa, uygun olmayan parçalanma ve/veya hiç parçalanmama nedeniyle iri bloklar ortaya çıkacaktır. Yukarıda verilen yaklaşımlar dikkate alınarak ön tasarımlar geliştirmek ve işletme koşullarına en uygun değerleri elde etmek, izlenmesi gereken en uygun yol olacaktır.

2.3.6.4. Delik Taban Payının Belirlenmesi

Güvenilir bir patlatma açısından, sağlıklı olarak belirlenmesi gereken unsurlardan biri de delik taban payıdır. Basamak tabanında arzu edilen düzgünlükte bir yüzey ve iyi kesilmiş bir ayna elde etmekte taban payı önemli olmaktadır. Delik taban payının gereğinden fazla veya az olmasının getirdiği problemlere, hemen hemen tüm araştırmalarda geniş yer verilmiştir.

Araştırmacıların çok büyük bölümü, taban payını (u) dilim kalınlığının bir fonksiyonu olarak ifade etmişlerdir. Bu önerilerin bazıları aşağıda verilmiştir.

$$U(m) = (0.2-0.3) \times B, (\text{Hoek ve Bray, 1991}) \quad (2.33)$$

$$U(m) = (0.1-0.5) \times B, \text{ (Dick ve Ark., 1983)} \quad (2.34)$$

$$U(m) = (0.2-0.5) \times B, \text{ (Atlas Powder Comp., 1987)} \quad (2.35)$$

$$U(m) = 0.3 \times B, \text{ (Konya, 1990; Tamrock, 1984;)} \quad (2.36)$$

$$U(m) = 0.3 \times B_{\max}, \text{ (Olofsson, 1988; Langefors ve Gustaffson, 1973)} \quad (2.37)$$

$$U(m) = 8 \times d, \text{ (Hagan'ın önerisi, Bilgin ve Ark, 1986)} \quad (2.38)$$

d: Delik çapı, (m)

2.3.6.5. Sıkılama Boyunun Belirlenmesi

Uygun parçalanma derecesinde bir yığın elde etmenin yanında, hava şoku ve kaya fırlaması gibi çevre etkenlerinin en aza indirilmesi bakımından önemli unsurlardan biri, sıkılama boyu ve sıkılama malzemesinin cinsidir. Sıkılama boyu ve etkileri konusunda yapılan araştırmalarda; araştırmacıların çoğu sıkılama boyunun, dilim kalınlığının bir fonksiyonu olduğunu kabul ederek aşağıdaki yaklaşımlarda bulunmuşlardır.

$$h_o(m) = (0.7-1) \times B, \text{ (Tamrock, 1987)} \quad (2.39)$$

$$h_o(m) = (0.67-2) \times B, \text{ (Hoek ve Bray, 1990)} \quad (2.40)$$

$$h_o(m) = B, \text{ (Langefors, 1978; Gustaffson, 1973; Olofsson, 1988)} \quad (2.41)$$

$$h_o(m) = (20-60) \times d, \text{ (Hagan; Bilgin ve Ark, 1986)} \quad (2.42)$$

d: Delik çapı, (m)

$$h_o(\text{feet}) = 0.7 \times d, \text{ (Konya, 1990)} \quad (2.43)$$

Konya (1990), pratik yaklaşımına ek olarak, sıkılama boyunun hesabında, patlayıcı madde kudretini ve kayanın yoğunluğunu dikkate alan aşağıdaki formülü önermektedir.

$$h_o(\text{feet}) = 0.45 \times d_e \times (S_{tv} / SG_r)^{0.33}, \text{ (Konya, 1990)} \quad (2.44)$$

Burada:

d_e : Delik çapı, (inç)

S_{tv} : Patlayıcı maddenin hacimce kudreti

SG_r: Kayanın özgül ağırlığı

Bazı araştırmacılar sıkılama boyunu, hava şokunu ve kaya fırlamasını en aza indirecek bir fonksiyon şeklinde ifade etmektedirler (Zeigler, 1991).

$$h_o = Z \times (12/R_f) \times (W_e \times S_{tw} / 100)^{0,33} \quad (2.45)$$

Burada:

Z : Kaya fırlaması ile ilgili bir faktör

R_f : Kaya faktörü

W_e: Sekiz kartuş çapındaki patlayıcı maddenin miktarı, (kg)

S_{tw} : Patlayıcı maddenin ağırlıkça kudreti

Normal koşullarda; sıkılama boyunun dilim kalınlığına eşit alınmasının oldukça iyi sonuçlar verdiği hemen tüm araştırmacılarca kabul görmüş bir yaklaşımdır.

2.3.6.6. Yemleme Yeri ve Miktarının Belirlenmesi

Delige şarj edilen patlayıcı madde kolonunun zamanında ve güvenilir bir şekilde ateşlenmesinde, yem sayısı ve konumu önem taşımaktadır. Gereğinden uzun şarj kolonunda, yem detonasyonun sönümlenmesi nedeniyle yeterli olmayabilir. Tabana konan bir yemlemenin uygun nitelikte ateşleyebileceği şarj kolonu uzunluğunun tahmin edilmesi, dolayısıyla delikteki yem ayısının belirlenmesi amacıyla bazı ampirik yaklaşımlar geliştirilmiştir. Konya'nın (1990) yemlemenin ateşleyebileceği kolon uzunluğunu, dilim kalınlığına, delik taban payına, patlayıcı maddenin patlama hızına ve kayanın sismik dalga hızına bağlı bir fonksiyon olarak ifade eden yaklaşımı aşağıdaki şekildedir.

Burada:

V_e: Patlama hızı, (feet/sn)

PC : Ateşlenecek kolon boyu, (feet)

B : Dilim kalınlığı, (feet)

V_p : Sismik hız, (feet/sn)

U: Delik taban payı, (feet)

Öte yandan, iyi bir ateşleme için yemleme çapının yaklaşık olarak şarj çapına eşit olması ve yemleme uzunluğunun şarj çapının 2 ila 4 katı arasında bulunması bazı araştırmacılarca önerilmektedir (Bauer,1990; Zeigler, 1991; Olofsson,1988).

2.3.6.7. Gecikme Zamanının Belirlenmesi

Güvenilir ve istenilen parçalanmaya cevap veren bir atımın gerçekleştirilmesi bakımından gerek aynı sıradaki delikler arasında, gerekse delik sıraları arasında uygun bir gecikme süresinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu gereklilik, yersarsıntısı, hava şoku ve fırlayan kaya gibi çevresel etkileri de en aza indirmek bakımından zorunludur. Konuyla ilgili çalışma yapan araştırmacılar gecikme zamanını dilim kalınlığının bir fonksiyonu olarak ifade etmişlerdir. Bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

a. Delikler arası gecikme zamanı(t_h)

$$t_h \text{ (ms)} = T_H \times S, \text{ (Konya, 1990)} \quad (2.46)$$

$$t_h = 5 \times B, \text{ (Larsson ve Ark., 1985)} \quad (2.47)$$

$$t_h = (B/305) + PC / V_e + B/23, \text{ (Ashby, 1990)} \quad (2.48)$$

Burada:

T_H : Delikten deliğe gecikme sabiti

b. Sıralar arası gecikme zamanı (t_r)

$$t_r = T_R \times B, \text{ (Konya, 1990)} \quad (2.49)$$

$$t_r = 12 \times B, \text{ (Olofsson, 1988; Gustaffson, 1973)} \quad (2.50)$$

$$t_r = (333 \times 3^{2,17}) / (K \times I_b^{0,39}), \text{ (Larsson, 1985)} \quad (2.51)$$

$$t_r = (3-5) \times B, \text{ (Langefors, 1978)} \quad (2.52)$$

T_R : Delik sıraları arasında gecikme sabiti

2.3.6.8. Dip Şarj ve Kolon Şarj Boylarıyla Miktarlarının Belirlenmesi

Genel olarak, basamak patlatma delikleri iki farklı şekilde şarj edilmektedir. Bunlar, sürekli ve kısmi şarjdır. Kısmi şarj özel durumlar için geçerlidir. Buna karşılık sürekli şarj kapsamında ifade bulan kolon şarjı ise en genel uygulama biçimidir. Sürekli şarj

durumunda; delikteki şarj boyu; kaya özellikleri ve patlayıcı madde cinsi dikkate alınarak ikiye ayrılmıştır.

- Dip şarjı
- Kolon şarjı

Delik taban kısmında daha fazla enerji ihtiyacı nedeniyle; genellikle delik tabanına konacak patlayıcı madde gücünün daha fazla olması gerekir. Ayrıca; patlayıcı maddenin ayna boyunca iyi dağılımını sağlamak için patlayıcı madde kolonunun belirli bir uzunlukta olması hususu; patlama teorisi açısından gereklidir. Konuyla ilgili olarak çalışmalar yapan bazı araştırmacılar, dip ve kolon şarjının boylarını dilim kalınlığının fonksiyonu olarak aşağıda verildiği gibi ifade etmişlerdir.

Dip şarj uzunluğu

$$h_b (m) = B + U = 1.3 \times B, \text{ (Langefors ve Ark, 1978; Tamrock, 1984)} \quad (2.53)$$

$$h_b = (0.3-0.5) \times B + U, \text{ (Atlas Powder, 1985)} \quad (2.54)$$

$$h_b = (0.3-0.6) \times (B+U), \text{ (Dick ve Ark., 1983)} \quad (2.55)$$

Dip şarj miktarı(Q_b)

$$l_b (\text{kg/m}) = C_o \times B^2, \text{ (Tamrock, 1984)} \quad (2.56)$$

$$l_b = (f/s) \times (S/B) \times 0.8 \times C_o \times B^2, \text{ (Langefors, 1978)} \quad (2.57)$$

$$l_b = d^{2^{T/1000}}, \text{ (Gustafsson, 1973)} \quad (2.58)$$

l_b : Dip şarj konsantrasyonu

$$Q_b : l_b \times h_b, \text{ (kg)} \quad (2.59)$$

Kolon şarjı uzunluğu (h_p)

$$h_p(m) = H - 2.3 \times B, \text{ (Langefors ve Kihlstrom, 1978; Olofson, 1988; Tamrock, 1984)} \\ h_p = H - h_b - h_o, \text{ (Atlas Powder, 1985)} \quad (2.60)$$

H : Delik uzunluğu, (m)

Kolon şarjı miktarı (Q_p)

$$I_p \text{ (kg/m)} = 0.4 \times I_b, \text{ (Tamrock, 1984)} \quad (2.61)$$

$$I_p = (0.4-0.5) \times I_b, \text{ (Langefors, 1978; Gustafsson,1973)} \quad (2.62)$$

$$Q_p = I_p \times h_p, \text{ (kg)} \quad (2.63)$$

I_p : Kolon şarj konsantrasyonu

2.3.6.9. Delik Hata Payının Belirlenmesi

Arzu edilen parçalanma derecesinde bir yığının elde edilmesinde önemli unsurlardan bir diğeri, deliklerin planlanan geometrik büyüklüklerde delinmesidir. Bu konuda ne kadar ihtimam gösterilirse gösterilsin yine bazı sapmalar olmaktadır. Önemli olan bu sapma miktarlarının kabul edilebilir sınırlar içinde kalmasıdır. Bazı araştırmacıların delik hata payı için önerdikleri tolerans değerleri aşağıdaki şekildedir.

$$E = 0.05 + 0.03 \times K, \text{ (Langefors ve Kihlstrom,1970; Gustafsson,1973)} \quad (2.64)$$

$$E = 0.05 + 0.03 \times H, \text{ (Tamrock, 1984)} \quad (2.65)$$

$$E = (d/1000) + 0.03 \times H, \text{ (Olofson, 1988)} \quad (2.66)$$

Burada;

E : Delik hata payı, (m)

d : Delik çapı, (mm)

K : Basamak yüksekliği, (m)

H : Delik Uzunluğu, (m) [1]

2.4. PATLAYICI MADDELER, ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ŞEKİLLERİ

2.4.1. Patlayıcı Maddelerin Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

Patlayıcı maddeler, çevreden herhangi bir maddenin katkısı olmadan, fiziksel bir dürtü sonucunda, çoğunlukla gaz ürünler ve ısı veren, ses üstü hızda kimyasal reaksiyona girebilen, organik veya inorganik kimyasal maddelerdir.

Bu tanıma göre;

1. Patlayıcı maddeler öncelikle organik veya inorganik kimyasal maddelerdir.
2. Bu kimyasal maddeler patlayıcı madde tanımına girebilmeleri için ses üstü bir hızla kimyasal reaksiyona girebilmelidirler. Bu reaksiyona “Detonasyon” denir. Detonasyona giremeyen kimyasallar patlayıcı değildir.
3. Detonasyonu başlatan olgu bir fiziksel dürtü olmalıdır. Sivil patlayıcılarda bu yeteri şiddette bir şok darbesidir. Zannedilenin aksine ateş, alev ve sıcaklık sivil patlayıcıları detonasyona sokamaz. Bu unsurlar ancak dolaylı yoldan detonasyona etki edebilirler.
4. Patlayıcı maddelerin detonasyona girebilmeleri için çevreden herhangi bir desteğe gereksinim duymazlar. Oksidan ve indirgen kimyasallar bünyelerinde balans edilmiş bir şekilde bulunur.
5. Detonasyon sonuç olarak ekzotermik bir reaksiyondur. Diğer bir deyişle ortama ısı verirler. Zannedilenin aksine Detonasyon reaksiyon ısısı çok yüksek değildir. Örneğin ANFO nun reaksiyon ısısı 970 KCal/Kg düzeylerinde iken motorinin yanma reaksiyon ısısı 10,000 KCal/Kg civarındadır. Farkı yaratan reaksiyon hızıdır. Ses üstü hızla gerçekleşen detonasyonda elde edilen güç teorik olarak milyonlar mertebesinde Beygir Gücü ile hesap edilmektedir. Bu arada reaksiyon sıcaklığı ile reaksiyon ısısını birbirine karıştırmamak gerekir. Sivil patlayıcıların Detonasyon sıcaklıkları 2,500 – 3,000 °C arasında olabilmektedir.
6. Patlayıcı maddelerin Detonasyon sonrası yarattıkları ürünler ideal koşullarda, su buharı, nitrojen ve karbondioksit gibi gazlardır. Bazen üretildikleri maddelere bağlı olarak alüminyum oksit gibi katı maddelerde üretebilirler. Gaz ürünler yukarıda açıkladığımız Detonasyon sıcaklığında genişlemeye çalışarak çok büyük boyutlarda basınç yaratırlar. Buna detonasyon basıncı denilmektedir. Detonasyon basınçları o kadar büyüktürler ki doğru olarak ölçülebilmeleri olası değildir. Ancak bazı yaklaşımlar ile tahmin edilebilmektedirler. İşte patlayıcı

maddelerin yıkıcı olabilen güçleri mikro saniyeler düzeyinde bir zaman dilimi içerisinde yaratılan bu Detonasyon basıncıdır.

Sahip oldukları yüksek gaz hacmi, enerji miktarı, patlatma sonucu oluşturdukları yüksek ısı ve basınç nedeniyle günümüzde kaya parçalamada kullanılan en yaygın yöntem olmuştur. Madencilikte kazı amacıyla patlayıcı madde kullanımı 17. yüzyıl başlarında Kara Barut ile başlar. Bundan önce kullanılan ateş yakarak kayayı ısıtma ve daha sonra su ile soğutarak çatlatma yöntemi oldukça ağır ve pahalı bir yöntemdi. Özellikle maden çevresinde ağaçların bitmesi veya hiç olmaması durumunda tamamen ekonomikliğini yitiriyordu.

Kara barut madencilik sektörüne girdikten sonra oldukça yaygın bir kullanım alanı buldu. Fakat ateşleme sistemi oldukça tehlikeliydi ve birçok kaza meydana geliyordu. Bu tehlike 1831 yılında William Bickford' un emniyetli fitili bulması ile ortadan kaldırılmış oldu.

Patlayıcı maddelerin gücünü gördükten sonra madencilerde daha kuvvetli patlayıcılara yönelik bir talep meydana geldi. Bunun neticesinde 1846 yılında Ascanio Sabrero Nitrogliserin' i buldu. Nitrogliserin kuvvetli bir patlayıcıydı fakat üretim ve kullanımı çok tehlikeliydi. Bu yüzden yaygın bir kullanım alanı bulamadı. Alfred NOBEL ve kardeşleri nitrogliserin' in güvenli üretimini ve emniyetli kullanım şekli olan DİNAMİT (1866) ile civa fulminatlı kapsülü (1867) geliştirdi. Bu tarihten sonra madencilik sektöründe dinamitin egemenliği başladı. 1950'li yılların başında bir kaza sonucu Amonyum Nitrat' ın patlama özelliğinin keşfedilmesi madencilik ve patlayıcı madde kullanımı açısından yeni bir dönüm noktası oldu.

Amonyum Nitrat ile yapılan araştırmalar sonucunda, Robert W. Akre, 1955 yılında Amonyum Nitrat ile Karbon karışımından oluşan ve kolayca hazırlanabilen 'Akremite' adlı patlayıcıyı buldu. Bir yıl sonra ise Amonyum Nitrat Fuel Oil karışımından oluşan ve ANFO olarak isimlendirilen patlayıcı madde Amerika'da piyasaya sürüldü. Ucuzluğu, kolay üretilmesi ve güvenli oluşu ANFO' yu kısa bir sürede madencilik sektörünün en yaygın olarak kullandığı patlayıcı madde haline getirdi.

Tüm yararlarına karşın ANFO' nun iki önemli dezavantajı vardır. Birincisi düşük yoğunluğudur ki delme maliyeti yüksek kayaçlarda maliyeti yükseltmektedir. İkincisi ise suya karşı dayanıksızlığıdır. Bu dezavantajlar araştırmacıları yeni ürünler bulmaya yöneltmiştir.

Bunun sonucu olarak 1960'lı yıllarda slurry olarak isimlendirilen karışımlar ortaya çıkmıştır. Temelde ana patlayıcı madde Amonyum nitratıdır. Fakat bu patlayıcılarda yüksek konsantrasyonlu amonyum nitrat ve diğer nitrat tuzları çözeltisi, kimyasal kolloidal maddeler kullanılarak kıvamlı bulamaç haline getirilmektedir. Kullanılan kolloidal maddeler karışımın içine su girmesini ve yavaşlatmakta böylece karışım sulu deliklerin içerisinde belli bir süre bozulmadan kalabilmektedir. Slurry karışımlarının içerisine patlayıcının gücünü arttırmak amacıyla TNT, MAN, alüminyum tozu gibi enerji veren maddeler katılmaktadır. Slurry patlayıcıların ANFO' ya göre en önemli avantajlarından biride yoğunluklarının yüksek oluşudur.

Slurry patlayıcılardan sonra yeni nesil patlayıcı olarak emülsiyonlar piyasaya sürülmüştür. Köken olarak yine yüksek konsantrasyonlu amonyum nitrat tuzları çözeltisi kullanılmıştır. Bu sefer kolloidal maddeler yerine emülsifyerler kullanılarak suya dirençli bir emülsiyon oluşturulmuştur. Amonyum nitrat ve nitrat tuzları çözeltileri yığın içindeki su türünde bir emülsiyon haline getirildiğinde, suya dirençli, margarin kıvamında bir karışım elde edilmektedir. Bu karışım içine duyarlılığı arttırmak amacıyla mikro cam baloncuklar bazen de yüksek enerji vermek amacıyla alüminyum tozu katılmaktadır. Son zamanlarda ANFO ile emülsiyon karışımları da yapılmaktadır. Böylece ucuzluğun yanı sıra ANFO' nun katkısı ile güç faktörü de artmaktadır.

ANFO' nun en önemli eksikliği suya dayanıksızlığıdır. Bu zaafı ortadan kaldırmak için yapılan çalışmalar neticesinde 1985 yılında suya dayanıklı bir ANFO türü geliştirilmiş ve AKNAVOL adıyla piyasaya sürülmüştür.

Burada günümüzde madencilikte patlayıcı olarak kullanılan maddelerden bahsedilmiştir. Bunların dışında ilk ateşlemeyi yapmak için kullanılan daha hassas ve kuvvetli dinamit ve dinamit türevleri vardır. Bunlar değişik formül ve adlar altında çeşitli firmalarca üretilip satıldığından burada ele alınmamıştır.

2.4.2. Patlayıcı Maddelerin Özellikleri

Patlayıcı madde kullanan bir kurumun kullanacağı maddeyi doğru olarak seçebilmesi için bilmesi gereken bazı özellikler vardır. Bu özelliklerin çok iyi bir şekilde incelenmesi yaşamsal açıdan çok önemlidir. Çünkü patlayıcı madde kullanımında bir kez hata yapma imkanı vardır ikinci bir şans bulunmamaktadır.

Patlayıcı maddeler önceleri daha çok Nitrogliserin esaslı oldukları için özellikleri buna bağlı olarak ele alınmıştır. Başlangıçta kurşun blok testi, detonasyon hızı, duman karakteri gibi özellikler üzerinde durulurken yeni nesil patlayıcılar ile birlikte birçok değişik özellik ortaya çıkmıştır. Bunların belli başlıları, sırasıyla incelenecektir.

2.4.2.1. Detonasyon Hızı

Detonasyon reaksiyonun patlayıcı kolonu boyunca takip ettiği hızdır. Detonasyon hızının yüksek olması, bünyesindeki enerjiyi o denli çabuk saldıgının göstergesi olduğu için bir anlamda kuvvet göstergesi de olmuştur. Daha sonra tek başına yeterli olmadığı anlaşılmıştır. Bununla beraber diyebiliriz ki “Yüksek detonasyon hızlı patlayıcıların kırma, parçalama özelliği daha fazladır, detonasyon hızı düşük olan patlayıcıların öteleme, yığma özellikleri daha fazladır”. Ticari patlayıcılarda bu değer 5.000 ile 26.000 ft/sn (1.500-7.900 m/sn) arasında değişmektedir. Tablo 2.2’de bazı patlayıcıların detonasyon hızının (VOD) patlatma deliğinin çapına göre değişimi görülmektedir.

Tablo 2.2: Detonasyon hızının çapa bağlı değişimi

Tip	Çap		
	3 cm	7.5 cm	23 cm
Granül dinamit	7-19.000		
Jelatin dinamit	12-25.000		
Paketlenmiş slurry	13-19.000	14-19.000	
Bulk slurry		14-19.000	12-19.000
Sıkıştırılmış ANFO	7-10.000	12-13.000	14-15.000
ANFO	6-7.000	10-11.000	14-15.000
Paketlenmiş ANFO		10-12.000	14-15.000
ANFO-Slurry karışımı			11-19.000

2.4.2.2. Kuvvet

Patlayıcı maddenin kuvveti ağırlık kuvveti ve hacim kuvveti olmak üzere iki değişik şekilde incelenir. Ağırlık kuvveti patlayıcı maddenin birim ağırlığının iş yapabilme

yeteneğidir. Hacim kuvveti ise patlayıcının birim hacminin iş yapabilme yeteneğidir. Patlayıcı maddelerin kuvvetlerini ölçmek için birkaç değişik yöntem uygulanır.

Kurşun blok yönteminde, 10 g mertebesinde patlayıcı madde belirli boyutta hazırlanmış kurşun blokların içerisinde hazırlanan ve hacmi bilinen deliklerin içinde patlatılmakta, patlayıcı yerleştirilen delikte sağlanan hacim artışı saptanmakta, en fazla hacim artışı sağlayan patlayıcının en kuvvetli olduğu kabul edilmektedir.

Krater yönteminde, belirli miktarda patlayıcı madde, belirli jeolojik ve fiziksel özellikteki kaya yapıları içerisinde aynı koşullarda patlatılmakta, oluşan krater hacimleri karşılaştırılmak da, doğal olarak en büyük krateri yaratan patlayıcı en kuvvetli olanı olarak kabul edilmektedir.

Akvaryum testinde, belirli miktarda patlayıcı madde, tüm parametreleri bilinen havuz içerisinde patlatılmaktadır. Oluşan şok dalga ve cepheleri ölçülerek patlayıcılar kıyaslanmaktadır.

Sismik yöntem, sismik ölçüm cihazlarının ilk çıktığı zamanlar denenmiş bir yöntemdir. Yine belirli jeolojik ve fiziksel özellikleri olan kaya yapıları içerisinde yine belirli miktarda patlayıcı madde aynı koşullarda patlatılmakta ve yarattıkları sismik değerler ölçülmekte, en büyük sismik değeri veren patlayıcı en kuvvetli olarak kabul edilmektedir.

2.4.2.3. Yoğunluk

Patlayıcı maddenin yoğunluğu, basit anlamda, birim zaman içerisinde reaksiyona giren patlayıcı miktarını işaret ettiği için, hem detonasyon hızı, hem de detonasyon basıncı üzerinde etkilidir. Bulgular yüksek yoğunluğun, yüksek hız ve basınç sağladığını göstermektedir. Bununla beraber “detonasyon” olayının karakterine bağlı olarak, yoğunluk patlayıcıların duyarlılığını olumsuz etkilemektedir. Aynı patlayıcılar değişik yoğunluklarda değişik performans göstermektedir. Örneğin, 0.76-0.8 g/cm³ yoğunluğundaki ANFO 89-102 mm deliklerde çok iyi bir patlama karakteri gösterirken, 0.9-0.95 yoğunluğundaki ANFO daha düşük performans ile detone olmaktadır.

2.4.2.4. Detonasyon Basıncı

Detonasyon basıncı patlayıcının yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Yüksek detonasyon basıncı patlayıcının kırma özelliği açısından gereklidir. Eğer patlatmadan yüksek kırma isteniyor ise, patlayıcının en yüksek yoğunluğuna getirilerek kullanılması gerekir. Eğer dayanımı olmayan kayalarda (örneğin kömür) patlatma yapılacaksa, patlayıcıların düşük yoğunluklu formları kullanılmalıdır.

2.4.2.5. Suya Dayanıklılık

Patlayıcı maddenin su bulunan deliklerde kullanılıp kullanılmayacağını gösteren parametredir. Bazı patlayıcılar az miktarda sudan dahi etkilenirken bazıları tamamen su ile dolu deliklerde dahi kullanılabilir.

Su bazlı patlayıcı maddelerin bileşimindeki tuzları çözerek yapısını bozar veya su basıncı nedeniyle hava kabarcıklarının büyüklüğü ve miktarı azalarak patlayıcı maddenin hassasiyeti zayıflar. Bunların neticesinde patlatma verimi düşer. Ateşleme sonrası delikten pas rengi ve sarı renkte bir duman yayılması verimsiz bir patlatmayı gösterir ve genelde bunun sebebi ortamdaki sudur. Su ortama oksijen vererek oksijen balansını bozmakta ve verimi düşürmektedir.

Patlayıcıların suya dayanıklılığı çok değişik şekillerde tarif edilmektedir. Bunlardan biri mükemmel, güzel, iyi, zayıf gibi terimlerle sınıflandırılmasıdır. Tablo 2.3'de görülmektedir.

Tablo 2.3: Bazı patlayıcıların suya dayanıklılığı

Tip	Suya dayanıklılık
Granül dinamit	Zayıf & güzel
Jelatin dinamit	Güzel & mükemmel
Ambalajlı slurry	Çok güzel
Bulk slurry	Çok güzel
Sıkıştırılmış ANFO	Zayıf
ANFO	Zayıf
Ambalajlı ANFO	Çok güzel
ANFO-Slurry karışımı	Zayıf & çok güzel

2.4.2.6. Duman ve Gaz Karakteri

Gaz ürünler iki ayrı açıdan önem göstermektedir; Birincisi gaz ürünlerin hacmi detonasyon sıcaklığında çok büyük boyutlarda genişlemekte ve kayacın kırılması ve ötelenmesi işinde görev almaktadır. Kolaylıkla denebilir ki gaz hacmi yüksek

patlayıcıların kayaçları öteleme karakteri daha fazladır. Gaz ürünlerin önemli olduğu ikinci açı ise, işçi ve çevre güvenliğidir. Detonasyon reaksiyonun ideal koşullarda gerçekleşmesi durumunda gaz ürünlerin; azot, su buharı, karbondioksit gibi gazlardan oluşması gerekmektedir. bunların hiç biri zehirli değildir. Öte yandan, gerçekte hiçbir zaman ideal koşullar oluşamayacağı için gaz ürünlerin içerisinde, az veya çok, karbon monoksit, nitrojen oksitler gibi çok zehirli elemanlar da oluşur. Bu gazların oluşması bir yandan da detonasyonun ideal olarak oluşmaması nedeni ile enerji kayıpları olduğunu işaret eder. Özellikle yer altı maden işletmelerinde, tünel patlatmalarında gaz ürünlerin içeriğine çok dikkat etmek gerekmektedir.

Patlatma sonucu ortaya çıkan ve zehirleyici özelliği olan karbonmonoksit ve azot oksitlerin miktarına göre bir sınıflama yapılır. Tablo 2.4’de bu sınıflama görülmektedir.

Tablo 2.4: Gaz miktarına göre duman sınıflaması

SINIF	GAZ MİKTARI Ft ³ /gr*200
1	16
2	16-33
3	33-67

2.4.2.7. Duyarlılık

Duyarlılık patlayıcı maddenin detonasyona girebilmesi için gerekli olan fiziksel etkiyi gösterir. Ticari patlayıcılar kapsüle duyarlı olanlar ve yemleme şarjına duyarlı olanlar olarak iki temel gruba ayrılır.

Patlayıcı maddenin duyarlılığını etkileyen bazı faktörler vardır. Örneğin delik dibindeki su, uygun olmayan şarj çapı, aşırı sıcaklık değişimleri gibi faktörler patlayıcı maddenin duyarlılığını azaltır.

2.4.2.8. Detonasyon Stabilesi

Detonasyon’ un, patlatma kolonu boyunca sabit bir şekilde devam edebilmesidir. Bu özellik, patlayıcı maddelerin detonasyona kesintiye uğramadan devam edebildiği minimum çaplar ile ifade edilir. Bu minimum çaplar kritik çap olarak adlandırılır. Kritik çapın altındaki boyutlarda detonasyona girmezler. Bu özellik bir yandan iş güvenliği yönünde kullanılır. Örneğin bazı sıvı patlayıcılar pompalanırken, hortum çapları kritik çapın altında tutulur. Böylelikle pompalama sırasında detonasyonun oluşması önlenmiş olur. Öte yandan da, uygulama sırasında patlatma delikleri kritik çap değerinden büyük

tutularak detonasyonun optimum verimde gerçekleşmesi sağlanmış olur. Örneğin, çok kullanılan ANFO ve Emülsiyon tipi patlayıcıların detonasyon hızları çap ile değişmektedir. Günümüzde bunların kritik çapları 51mm (2 inç) nin altına düşmüştür. Bununla beraber en verimli detonasyon hızlarına 89 mm nin üstünde ulaşmaktadırlar. Birçok üretici ürünlerinin detonasyon hızlarını 102 veya 115 mm çaplarında vermektedirler. Tablo 2.5’de bazı patlayıcı maddelerin kritik çapları verilmiştir.

Tablo 2.5: Bazı patlayıcı maddelerin kritik çapları

Tip	1 inçten küçük	1-2 inç	2 inçten büyük
Granül dinamit	*		
Jelatin dinamit	*		
Ambalajlı slurry	*	*	*
Bulk slurry		*	*
Sıkıştırılmış ANFO	*		
ANFO		*	
Ambalajlı ANFO		*	*
ANFO-Slurry karışımı			*

2.4.2.9. Çevre Sıcaklığına Tolerans

Patlayıcı karışımları aşırı sıcak ve aşırı soğuk koşullarda depolandığı veya kullanıldığından verimlerinde düşme görülmektedir.

2.4.2.10. Raf Ömrü

Patlayıcı maddenin stoklanabilme ömrüdür. Değişik kimyasal maddelerin bileşimi olan patlayıcı maddeler zamanla bozulmaya başlar ve patlama karakteri değişir. Bunlarla yapılan patlatmalar verimsiz olur.

Bozulmuş bu patlayıcıların saklanması ve imhası işletmeler için büyük bir sorun olmaktadır. Bu yüzden raf ömrünün bilinmesi ve stokların ona göre ayarlanması gerekir.

2.4.2.11. Su Basıncına Dayanım

Bu özellik patlayıcı maddenin etkilenmeden kaldığı statik basıncı ifade eder. Bazı patlayıcı maddeler derin deliklerde ortaya çıkan hidrostatik basınçlar altında yoğunlaşır ve duyarlılığını yitirir. Bu sorun en çok slurry ve slurry-ANFO karışımlarında görülmektedir.

2.4.2.12. *Ambalaj ve Kullanma Kolaylığı*

Patlayıcı madde ambalajlanması işletme maliyetinde zaman zaman artmalara, zaman zamanda düşmelere yol açar.

2.4.2.13. *Emniyet*

Patlayıcı madde personel için tehlike oluşturmadan taşınabilmesi ve patlatma deliğine yerleştirilebilmelidir. Bunu belirlemek amacıyla kullanılan bazı testler vardır. Bu testler aşağıda verilmiştir.

- Çekiç Testi
- Sürtünme Testi
- Hız Testi
- Isı Testi
- Statik Elektrik Testi

2.4.2.14. *Oksijen Balansı*

Oksijen balansı özellikle yer altı patlatmaları için oldukça önemlidir. Oksijen fazlalığı azot oksitlerin oluşmasına, oksijen azlığı ise CO oluşmasına sebep olur. Bu gazlar zehirlidir ve ölüme sebebiyet verir. Açık işletmelerde patlatma sonucu açığa çıkan gaz hızla dağıldığı için çok nadir olarak sorun yaratmaktadır.

2.4.3. Patlayıcı Madde Cinsleri

Bugün endüstride yaygın olarak kullanılan ve ticari piyasada önemli yeri olan patlayıcılar şunlardır:

- Ateşli Patlayıcılar
- Yüksek Hassasiyetli Patlayıcılar
- Patlayabilir Karışımlar

2.4.3.1. *Ateşli Patlayıcılar*

Bunlar çok hassas ve patlaması çok kolay patlayıcılardır. Adından da anlaşılacağı gibi bunlar diğer patlayıcıların ilk ateşlenmesinde diğer bir deyişle kapsül imalatında (infilaklı fitil) kullanılırlar. Bakır veya alüminyum yüksüklere konurlar ve bunların patlamasıyla meydana gelen çok şiddetli darbe veya şok daha az hassas olan esas

patlayıcı maddeyi patlatır. Kapsül imalatında kullanılan başlıca ateşli patlayıcılar Tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.6: Başlıca ateşleyici patlayıcılar

Adı	Formül	Kullanışı	Patlama hızı m/sn
Pentaeritrol tetra nitrat	C ₅ H ₈ N ₄ O ₁₂	Kapsül infilaklı fitil	830°
Kurşun Azit	Pb(N ₃) ₂	Kapsül	-
Civa Tulmanit	Hg(ONC) ₂	Kapsül	-
RDX		Kapsül	835°

Kapsül imalatında kullanılan bu patlayıcılar büyük miktarda gaz çıkarmaz ve doğrudan kaya patlatma işlerinde kullanılmaz. Ancak yerel ve çok kuvvetli şok yarattıklarından dinamitleri ateşlemekte kullanılırlar.

2.4.3.2. Yüksek Hassasiyetli Patlayıcılar

Bütün cins dinamitler bu gruba girerler. Bunların patlatma hızı genellikle 2500-7600 m/sn' dir. Patlamaları bir kapsülün verdiği ani ve çok şiddetli patlama sonucu çok miktarda ve yüksek basınç altında gaz çıkarırlar. Böylece kaya şokla parçalanır ve gaz basıncıyla ileri püskürtülür. Bunların çeşitleri şöyledir: Nitrogliserin esaslı dinamitler, Amonyum nitratlı dinamitler, Jelatin dinamitler, Yarı jelatin dinamitler, Antigrizutin dinamitler.

Nitrogliserin esaslı dinamitler taneli bir yapıya sahiptir. Nitrogliserin yanı sıra nitroselüloz, hatta talaş içerirler. Kartuşlar erimiş muma batırıldığından suya dirençleri yeterli düzeydedir. Ama kudretleri içerdikleri nitrogliserin yüzdesi ile ifade edilir.

Amonyum nitratlı dinamitler tane görünümündedir. Bu dinamitlerde nitrogliserin miktarı çok azaltılmıştır. Nitrogliserin hassaslaştırıcı olarak kullanılır. Esas enerji kaynağı amonyum ve sodyum nitrattır. Bu dinamitler ısı ve şoka daha az hassas, suya daha az dirençlidirler.

Hem nitrogliserin hem de amonyum nitrat esaslı dinamitler genellikle açık ocaklarda dip şarj veya yemleyici olarak kullanılırlar. Bunların kartuşları sudan etkilenmemeleri için deliğe kırılmadan atılmalıdır.

Jelatin veya yarı jelatin dinamitler sudan etkilenmeyecek bir yapıya sahiptirler. Bu dinamitlere ilave edilen nitrokoton nitrogliserin ile birleşerek kıvamlı ve yapışkan bir jel oluşturur. Nitrokoton yüzdesi arttıkça yapışkanlık artar. Nitrokoton ile nitrogliserini çözündürerek elde edilen suya dirençli jel suda erimez ve dinamit katkı maddelerini birbirine yapıştırır.

2.4.3.3. Patlayabilir Karışımlar

Açık ocaklarda esas delik şarjı olarak kullanılan başlıca iki türlü patlayabilir karışımlar vardır. Bunlar;

- Kuru Patlayıcı Karışımlar (ANFO)
- Sulu Patlayıcı Karışımlar (Slurry, Water gel, Emülsiyon)

Patlayıcı karışımlar adından da anlaşılacağı gibi kendi başlarına patlayabilir özellikte olmayan iki veya daha fazla maddenin karıştırılmasıyla oluşturulur. Bu iki maddeden biri yakıt (fuel) diğeri oksitleyicidir.

Kuru patlayıcı karışımlar, yapımında su kullanılmayan ve 8 nolu kapsülle patlatılmayan her karışım kuru patlayıcı karışım olarak adlandırılacaktır. En bilinen örneği ANFO olarak adlandırılan amonyum nitrat (AN) ve fuel oil (veya mazot) karışımıdır. Amonyum nitrat toz (kristalize) veya hap şeklinde olabilir. Her şekildeki AN çok aşamalı bir işlemden sonra elde edilen AN çözeltisinin 30-60 m yükseklikteki bir kuleden fiskiye ile püskürtülme sonucu damlacıkların aşağı düşene kadar katlaşmaları ile elde edilir. Bu haplar soğutulur, kurutulur ve yüzeyleri diatomit ile kaplanarak yapışmaları önlenir. Hapların en büyük avantajı gözenekli olmalarıdır. Gözenekler;

- AN'ın mazotu daha iyi emme ve tutmasını
- Daha hassas olmasını sağlarlar.

Yoğunluğu 0,8-0,85 gr/cm³ olan toz AN' a karşın hap AN yoğunluğu 1,4-1,5 gr/cm³ olabilmektedir. ANFO en basit biçimde ağırlıkça %94,3 oranında AN ve %5,7 oranında mazot karıştırılarak yapılır. Yakıt oranı %5,5 ile %6 arasında ANFO en yüksek enerji verimine ve patlatma hızına ulaşır. ANFO patlatıldığında açık sarı duman vermesi iyidir. Portakal rengi-açık kahverengi duman ise yetersiz yakıt durumunu gösterir ki bu

iyi karıştırılmamaktan veya ANFO bekleyince mazotu süzülerek ayrıldığından veya AN suda çözüldüğünden olabilir.

ANFO' dan iyi verim almak için nitrati iyice ezerek topraksız ve toz halinde olmasını sağlamak ve doğru oranda mazot ile iyice karıştırmak gereklidir. ANFO' nun başarılı kullanılması başka bazı faktörlere de bağlıdır. Bunların başında şarj çapı gelir. ANFO deliklere dökülerek konuyorsa şarj çapı delik çapına eşit olur.

Tablo 2.7: ANFO' nun delik çapına bağlı olarak patlama hızı ve metre başına şarj miktarı

mm	Delik Çapı	Patlama Hızı		ANFO Miktarı	
	inç	m/sn	kg/m	lb/ft	
38	1,5	2100-2700	0,9-1	0,6-0,7	
51	2	2600-3000	1,6-1,9	1,1-1,3	
76	3	3000-3300	3,7-4,5	2,5-3,0	
102	4	3300-3600	6,5-7,7	4,4-5,2	
127	5	3500-3800	10,3-12,2	6,9-8,2	
152	6	3700-3900	19,8-23,5	13,2-15,8	
203	8	3800-4000	26,2-31	17,6-20,8	
230	9	3900-4100	29,8-39,9	20-26,8	

ANFO' nun verimli patlamasında önemli bir diğer husus şarj yoğunluğudur. Delik dışında yoğunluğu $0,8-0,85 \text{ gr/cm}^3$ olan ANFO deliğe basınçlı hava ile püskürtülerek delik içi (şarj) yoğunluğu $1,2 \text{ gr/cm}^3$ kadar arttırılabilir. Bu durumda ANFO en yüksek verimle patlar. ANFO doğrudan 8 nolu kapsülle ateşlenemez. Bu nedenle bir yem kullanmak gereklidir. Yemler her çeşit dinamit olabilir. Türkiye'deki uygulamalarda ANFO miktarının %3-5 oranında dinamit kullanıldığı görülmektedir.

ANFO fiyatı nitrogliserin esaslı dinamit fiyatının en az dörtte biri, en çok yarısı kadar olabilmektedir. Bu ucuzluğu ile açık ocak madenciliğinde en çok kullanılan patlayıcı maddedir. ANFO'nun hassasiyeti daha düşük olduğundan taşınması ve kullanılması daha emniyetlidir.

Yukarıda sayılan yararları yanı sıra ANFO'nun sakıncaları da vardır. Bunlar suya dirençsiz oluşu, düşük patlatma hızı, düşük yoğunluğu delik doldurma süresinin uzunluğu, iyi ezilmez ve karıştırılmaz ise verim düşüklüğüdür.

Sulu patlayıcı karışımlar, sulu deliklerde patlamayan ANFO'ya bir seçenek olarak geliştirilmişlerdir. Başlıca türleri;

Çamurumsu karışımlar (slurry), Yarı akışkan karışımlar (Water-gel), Krema tipi karışımlar. Çamurumsu karışımlarda su oranı %5 ile %40 arasında değişir. Diğer katkı maddeleri de örneğin AN %40-%70, TNT %20-%35 oranlarında konulabilir. Diğer bir deyişle sonsuz çeşitte çamursu patlayıcı karışım yapmak mümkündür.

Sulu patlayıcılar karışımların su direnci jelatin dinamitlerinkine eşit veya daha fazla olup 'çok iyi' olarak tanımlanabilir. Sulu patlayıcıların yoğunlukları suyun yoğunluğundan fazla olduğundan sulu deliklerde kolayca dibe çökerek suyu delikten dışarı atar ve suda erimediği ve su ile karışmadığı için yüksek verimle patlar.

Yoğunlukların fazla olmasının bir yararı da belirli çaptaki (hacimdeki) deliğe daha fazla patlayıcı enerjisi yerleştirmeyi mümkün kılmasıdır. Böylece kaya iyi parçalanabilecek veya aynı deliğe daha fazla enerji yerleştirilebildiği için delikler arası mesafeler büyütülebilecek ve daha randımanlı madencilik yapılabilecektir. Ancak burada Çamursu patlayıcılar ANFO' ya göre çok daha pahalı olduğunu belirtmek yararlı olacaktır.

Sulu patlayıcı karışımlar teknolojisi çok yeni ve henüz gelişme safhasındadır. O bakımdan bu tür patlayıcı madde kullanmak isteniyorsa uzmanlara danışmak, literatürü takip etmek ve çok değişik firmalardan teklif istemek akıllıca bir yoldur.

Çamursu patlayıcı karışımların yararları suya dirençli oluşları, delik doldurma işleminin hızlı olması, deliği tamamen doldurması ve sudan ağır olması olarak sayılabilir. Sakıncaları ise ANFO' dan pahalı olması ve çok çatlaklı boşluklu kayalarda formasyona sızarak maliyeti arttırmasıdır.

2.4.4. Ateşleme Yöntemleri

Patlatma işlemlerinde iyi sonuçlara ancak ve ancak delikteki patlayıcı maddeyi ateşleyecek gereçler dikkatle seçildiğinde ve kullanıldığında ulaşılabilir. Bugün dünyada kullanılan ateşleme yöntemlerini başlıca iki gruba ayırmak mümkündür: Elektrikli ateşleme, Elektriksiz ateşleme.

Halen kullanılan ateşleme yöntemlerini şöyle sıralayabiliriz:

- Emniyetli fitil-adi kapsül
- Elektrikli kapsüller
- İnfilaklı fitil ve gecikmeli röleleri
- Patlayıcı sıvanmış şok tüpü (NONEL)
- Gaz patlamalı şok tüpü (HERCUDET)

2.4.4.1. Emniyetli Fitol-Adi Kapsül

Bu yöntem ilk bulunan ateşleme yöntemidir. Ancak günümüzde çok az kullanılmaktadır. Az sayıda delikten oluşan küçük gruplarda elektrikle ateşlemenin tehlikeli olduğu metal madenlerinde küçük taş ocakları ve madenlerde kullanımı yaygındır.

2.4.4.2. Elektrikli Kapsüller

Elektrikli ateşlemenin en büyük yararı yeterli güçte bir enerji kaynağı olmak koşulu ile ve gecikme kullanılarak diğer hiçbir ateşleme yöntemiyle atlamayacak kadar çok sayıda deliğin birlikte patlatılmasına olanak tanınmasıdır. Elektrikli ateşlemede başarı aşağıdaki dört genel koşula bağlıdır.

- Patlatma devresinin doğru şekilde seçimi ve uygulanması
- Patlatma devresinin gerektirdiği kuvvette bir enerji kaynağı
- Elektrikli ateşlemede kaza sebeplerinin bilinmesi ve önlenmesi
- İyi kablo bağlantıları ve devrenin atım öncesi kontrolü

Adi kapsüllerde olduğu gibi hem gecikmesiz hem de gecikmeli elektrikli kapsüller 6 no. ve 8 no. olmak üzere iki ayrı kuvvette imal edilirler. Elektrikli kapsüller başlıca üç çeşittir:

- Gecikmesiz elektrikli kapsüller
- Yarım-saniye gecikmeli elektrikli kapsüller
- Mili-saniye gecikmeli elektrikli kapsüller

Gecikmesiz elektrikli kapsül bir bakır veya alüminyum yüksük dibine konulmuş esas patlayıcı ve onun üzerindeki yem patlayıcıdan oluşur. Yem patlayıcı plastik kaplı telden

gelen elektriğin filamanı ısıtması ile ateşlenerek esas patlayıcı patlatır. Böylece kapsül delik içindeki yemi (dinamiti) patlatır.

Gecikmeli elektrikli kapsülün gecikmesiz kapsüle göre en önemli farkı filaman ile yem patlayıcı arasında konulmuş gecikme elemanıdır. Elektrikli ateşleme halen en yaygın olarak kullanılan ateşleme yöntemi olmasına rağmen kazayla ateşlemeye en müsait olanıdır.

Mili-saniye kapsüllere kısa süreli gecikmeli kapsüllerde denilmektedir. Yarım-saniye gecikmeli kapsüller genellikle 1-16 numara arasında imal edilirler ve ilk ateşleme anından itibaren 1 no. kapsül 500 üncü ms'de 1. no. 1 saniyede 3 no. kapsül 1,5 saniyede patlar. Elektrikli kapsüllerle ateşlemede kapsüllerin bir elektrik devresi oluşturulacak şekilde birbirine bağlanması üç türde yapılır. Seri bağlama, paralel-seriler bağlama ve paralel bağlamadır. Bağlaması kolay olan seri bağlama en çok kullanılanıdır.

2.4.4.3. İnfilaklı Fital ve Gecikme Röleleri

İnfilaklı fitil, ortasında kapsülle patlatılabilen, ortalama 11 gr/m miktarında yüksek hızlı bir patlayıcı madde bulunan esnek bir plastik tüptür. Yüksek kudretli infilaklı fitiller 40 gr/m patlayıcı madde içerir. Ancak bunlar çok fazla hava şoku yaratırlar. Tüpün çevresi suya karşı dirençli maddeler emdirilmiş bir dokuma kılıfla kaplanmıştır. İnfilaklı fitil delikteki yemi doğrudan ateşler, infilaklı fitilin kendisi ise fitile bağlanmış bir kapsülle ateşlenir. İnfilaklı fitil kullanıldığında gecikmeli patlama dışında kalın gecikme röleleri ile sağlanır. Röleler 5-400 ms arasında değişen sürelerde gecikme sağlayabilir. Gecikme rölesi adeta iki ucu açık bir alüminyum boru içinde dip tarafları birbirine temas edecek şekilde yerleştirilmiş iki kapsülden oluşur. İnfilaklı fitilin tek sakıncası gürültü ve hava şoku yaratılmasıdır.

2.4.4.4. Patlayıcı Sıvanmış Şok Tüpü (NONEL)

Elektriksiz ateşleme yöntemleri arayışına ikinci çözüm Nitro Nobel firması tarafından geliştirilen NONEL ateşleme yöntemiyle gelmiştir. Yöntem 2 mm iç, 3 mm dış çapında ince, saydam plastik tüp kullanılır. Bu tüpün iç yüzeyine 0,02 gr/mm miktarında hassas bir patlayıcı madde tozu sıvanmıştır. Tüp bir kapsül veya infilaklı fitille ateşlendiğinden ateşlenen uçtan diğer uca 2000 m/sn gibi düşük bir hızla giden şok dalgası oluşur.

Bu şok dalgası zayıf olup, tüpe zarar verecek yeterli enerjisi yoktur. O nedenle dinamiti ateşleyemez. Dinamiti ateşlemesi için diğer ucuna söz konusu şokla patlayabilecek hassasiyette bir kapsül koymak gerekir. Bu kapsüllerin içi tıpkı gecikmeli elektrikli kapsüllere benzer. Onlardan tek farkı kapsül ağzından iki tel çıkmayışı ve bunun yerine kapsül ağzına tüp takılmasıdır.

Nonel Yönteminin başlıca yararları;

- Kaçak elektrik ve radyo vericileri gibi nedenlerle olabilecek kazaen patlamalara karşı emniyetlidir.
- Serbestken veya sıkıştırılmışken ısı ve darbelere duyarlıdır. Patlamaz.
- Nitrogliserin dinamiti gibi yüksek hassasiyetli patlayıcıları bile kendiliğinden ateşleyemez. Diğer bir deyişle dinamitlerle birlikte emniyetle taşınır.

2.4.4.5. Gaz Patlamalı Şok Tüpü (HERCUDET)

Bu yöntem içinde bir gaz patlaması sürüp giden bir tüpün, şokla bir kapsülü patlatması sonucu yemin ateşlenmesinden ibarettir. Bu yöntemde yemi (dinamiti) ateşlemede kullanılan gecikmeli kapsüller gecikmeli elektrikli kapsüllerden daha güçlüdür. Hem mili saniye, hem de yarım saniye gecikmeli kapsüllerin gecikmeli elektrikli kapsüllerden tek farkı kapsül ağzından iki adet tel yerine iki adet ince tüp çıkmasıdır. HERCUDET kapsülleri ya delik içinde doğrudan yemi ateşleme veya delik ağzında delik içindeki patlayıcıyı ateşleyecek olan infilaklı fitili ateşleme şeklinde kullanılabilir.

HERCUDET sistemi hava şoku, elektriksel kazalar yaratmaması, şarjın patlamasında kesinti olmaması ve gecikme imkanı vermesi nedenleriyle yararlıdır. Gaz karışımı patlatılıncaya kadar çok emniyetlidir. Tek sakıncası elektrikli kapsülle ve infilaklı fitille ateşlemeye göre çok farklı olduğundan imalatçıların bir uzmanın yöntemi uygulayacak ekibi eğitmesinin gerekli olmasıdır.

2.5. PATLATMA PERFORMANS VE PARÇA BOYUTU KONTROLÜ

2.5.1. Patlatma Performans Kontrolü

Genel olarak yeni bir patlayıcı maddenin, ateşleme yöntemini veya kazı yöntemlerinin test çalışmalarının başlangıç aşamalarında, işin iyi planlanması, başarı için pek çok

herekli operasyonlardan sadece bir tanesidir. Yöntem üretim ölçeğinde nihai olarak deneneceği vakit, arazi işlemlerinin farklı adımlarının da izlenmesi gerekmektedir. Arazideki uygulama çalışmaları sırasında, pek çok şey yanlış sonuçlanabilir. Bazı şeyler kötü çalışırsa ortaya çıkan sonuçlardan doğru değerlendirilmeler 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 ögesiyle birleştirilmesi önerilmektedir. Patlatma performans kontrolü aşağıdaki parametreleri kapsamalıdır.

- Patlatma Geometrisi
- Ateşleme Performansı
- Detonasyon Performansı
- Geri Çatlak
- Parçalanma Derecesi Analizi
- Patlatma Hasarı İncelenmesi

Patlatma geometrisi şarjın ve serbest yüzeylerin tam olarak pozisyonlarının bilinmesini içermektedir. Delik içi toglama ile herhangi 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 arttırır. 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 kaydedildiğini bilen birisi açısından, bu durum aynı zamanda önceki ampirik atım verileriyle gelecekteki atım işlemleri arasında mukayese yapmak açısından daha güvenli olacaktır.

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

tam olarak bilinmesiyle patlayıcı ve kaydedici arasında p dalgasının yayılma zamanı da kaydedilecektir.

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 sağırlaştırması veya şok dalgasının duyarsızlaşması, komşu şarjları da etkileyebilir. Şarjlarda nem kontrolü ve laboratuvar verileriyle mukayese ANFO tipi patlayıcılar için düşük detonasyon performansını 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.

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.

Yığın parçalanma derecesi mümkün olduğunca her atımdan sonra gözlemlenmelidir. Bütün madencilik yöntemleri, hızlı parçalanma derecesi incelenmesine izin vermemektedir. Ancak, iyi bir planlama koordinasyonu, söz konusu faaliyeti gerçekleştirmek olanak dahiline alınabilir. Boyut dağılımı ve parçalanmış kayanın yığın şekli denem atımlarının değerlendirilmesinde ilave bilgiler sunacaktır. Parçalanma derecesi etüdü, en doğru ve en iyi olarak elek analizleriyle olabilmektedir. Bununla birlikte bu yöntem çok pahalı ve emek yoğunudur. Yığın fotoğrafları veya çerçeve şeklindeki referans ızgaralar kullanılmak suretiyle de parçalanma derecesi hakkında belirgin bilgiler elde etmek söz konusu olabilmektedir. Yığın yükleme zamanı ve iri blok sayımı da diğer yararlı parametrelerdir. Günümüzde geliştirilen gerçek zamanlı görüntüleme teknikleri, bir kamyon üzerindeki veya bir konveyör üzerinde akmakta olan kırılmış kaya malzemesinin parça boyut dağılımının sürekli bir şekilde kaydedilmesine izin vermektedir.

Patlatma hasarı gözlemleri (özellikle madencilik alanı üzerindeki ve çevresindeki zeminlerde) seçilen lineer şarj konsantrasyonlarının ve patlatma tasarımının optimum ve özel amaçlara uygun olup olmadığının değerlendirilmesinde esastır. Patlatma öncesi ve sonrası karotlu sondajlar, çatlak frekans sayımı, ekstensometre ölçümleri, TV kameraları ile delik içi incelemeler, geçirgenlik deneyleri, delikler arası sismik ölçümler ve maksimum parçacık hızı ölçümleri, kaya kütle sürekliliğinde hasar tespiti konusunda bilinen ve kullanılan tekniklerden bazılarıdır.

2.5.2. Parça Boyutunun Tanımı ve Önemi

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.

Taşın kopması ve dağılması için lüzumlu kuvvetler kısmen patlayıcı maddelerdeki kimyasal enerjiden, kısmen de daha aşağı bir seviyeye yuvarlanma neticesi potansiyel enerjiden karşılanmaktadır. Bu sebeple taş yığnında meydana gelen yüzeylerin tümü ile bahis konusu enerji yekünü arasında bir bağlantı bulunmaktadır. İhtiyaçtan fazla patlayıcı madde kullanılması genellikle daha ufak parçaların elde olunmasına sebep olur.

Yığın içindeki tane büyüklükleri işletmenin başarısı bakımından önemiyet taşır. Elde olunan parçalar temizlenme veya konsantrasyon nedeniyle daha sonra ufalanacak veya öğütülecekse, parçaların küçük olması faydalıdır. İstenilen bir boyuttan daha iri oldukları için nakil elemanlarına veya kırıcılara verilmeyen parçaların tali ateşlemeler için ufaltılmaları gerekir ve ayrıca bir masrafa yol açarlar. Bu tür bir işletmede parçaların ufak olması aranır.

Patlatma işlemleri sonucu oluşan kaya parçalanmalarının ölçümü doğru bir patlatma paterni dizaynı için gereklidir. Teknik sonuçların dışında, titreşim ve taş fırlamaları gibi güvenlik ve çevreyle ilgili sonuçlarda amacın ekonomik bir noktası olarak göz önünde tutulmalıdır. Peki patlatmanın karlılık ve verimlilik üzerindeki etkileri nelerdir?

Prensip olarak böyle bir analiz bir veya iki konfigürasyona dönüşecektir. Bu iki kaya parçalanmasında patlatmadan dolayı orta boy ürünler veya kendi içlerinde sonuç ürünleri verirler. Bu ilk durum çok geneldir örneğin kum, çakıl endüstrisinde olduğu gibi, patlatılmış malzeme ilk, ikinci hatta daha fazla ezme işleminden sonra özel işleme tabi tutulur. Böylece delik delmeden patlatmaya kadar bütün patlatma temelleri ve diğer tüm işlemlerin maliyetleri hesaplanır. Ne yazık ki bu karşılaştırılabilir patlatma maliyetlerinin direk olarak kullanılıp patlatma patern ve dizaynlarının elde edilmesi kolay değildir. Bunun için parçalanmada orta dereceli bir sonuç elde etmek önemlidir. İkinci aşamada, binaların kuvvetlendirilmesinde kullanılan kopmuş, aşınmış iri taşlardır. Bunların parçalanmalarını kontrol etmek mümkündür ve uyulması gereken sınırlamalar piyasadaki ürünün kabulünü sağlar. İki durumda da parçalanmayı tayin etmek patlatmanın kalitesini kontrolde kullanılır. Böylece patlatılmış kayanın parça boyutu hakkında bilgi edinmek önemlidir.

2.5.3. Parça Boyutunu Etkileyen Faktörler

Bir işletme veya taş ocağında parçaların istenilen büyüklükte olması, iyi parçalanmış, kolay yüklenebilir gevşeklik ve yükseklikte bir yığın elde edilmesi pek çok sayıda faktöre bağlıdır. Bu faktörler aşağıda kısaca verilmiştir

2.5.3.1. Kayacın Nitelikleri

Kayaç niteliği atımın başarısını önemli ölçüde etkiler. Kil gibi plastik yapıya sahip kayaç ile gevşek ve kırılğan olan kayacın patlama şiddetine karşı davranışı farklı olur.

Kayacın bünyesinde su bulunması halinde sudan etkilenmeyecek patlayıcı maddenin seçimi şart olur. Kayaç yoğunluğu arttıkça kazısı zorlandığı gibi elastik modülü fazlaştıkça da kırılabilme özelliği de azalmaktadır. Bu bakımdan kayacın bütün diğer özelliklerinin iyi bir şekilde incelenmesi, örneklerin önceden laboratuvarlarda incelenerek uygun seçim yoluna gidilmelidir.

2.5.3.2. Delikler Arası Mesafe

Deliklerin aralıkları arttıkça elde edilen parçadaki en iri parça boyutu da fazlaştacaktır. Aralık azaltılınca parçalar küçülecektir.

2.5.3.3. Dilim Kalınlığı

Dilim kalınlığı arttıkça en iri parça boyutları da artacaktır. Dilim kalınlığının azalması halinde ise kayaç firmalarına dikkat etmek gerekir.

2.5.3.4. Basamak Arının Durumu

Delikliğin arına paralel olması başarılı bir atım için önemli bir kriterdir. Bu bakımdan deliklerin basamak şevine paralel delinmesi gerekir. Düşey delik-meyilli basamakta dilim kalınlığı üstte az altta fazla olur. Bu husus parça boyutunu etkilemektedir.

2.5.3.5. Basamak Yüksekliği

Aynı delik aralığı için yüksek prizmanın daha ufak parçalar vermesi beklenir. Ancak yüksekliğin delik aralıkları ile birlikte büyümesi iri parça elde olunması yolunda etkilidir.

2.5.3.6. Sıkılamanın Etkisi

Patlayıcı maddeden yeterli fayda sağlamak için bu hususa yeterli önemin verilmesi gerekir. Delik içersinde oluşan gaz basıncının havaya kaçmasını önlemek ve basıncın kayaca yönelmesini sağlamak için sıkılama boyu Tamrock'a göre $I=0,7-1*b$ alınmaktadır. (b: dilim kalınlığı)

2.5.3.7. Basamaktaki Delik Düzeni

Bugün açık işletmelerde uygulanan delik düzenleri kare, dikdörtgen veya üçgen (şşşbeş) şekilli olmaktadır. İlk ikisi yerine bugün şşşbeş düzen daha fazla kullanılmaya başlamıştır. Bu düzen özellikle gecikmeli kapsülle ateşleme işinde başarılı olmakta ve patlayıcı maddenin iyi dağılımını sağlamaktadır.

2.5.3.8. Delik Çapı

Delik çapı yukarıdaki aralıklarla orantılı olarak büyümektedir. Bu nedenle büyük delik çapı, parçaların da büyümesi yolunda etkilidir. Aralıkların az, delik çapının büyük olması birbiriyle bağdaşmaz.

2.5.3.9. Patlayıcı Madde Miktarı

Patlayıcı madde miktarı arttıkça ufalanma fazlalaşmaktadır.

2.5.3.10. Patlayıcı Madde Nevi

Kırıcı ve ezici olan şiddetli patlayıcı madde toz miktarını arttırmaktadır. Daha yavaş yanan türler ise daha ziyade itici ve koparıcı olarak çalıştığından iri parçaları arttırmaktadır.

2.5.3.11 Ateşleme Sırası

Gecikmeli kapsül kullanılması parçaların daha kolay yüklenebilir hale gelmesini sağlar. Düz elektrikli kapsül kullanılıyorsa önce ön delik sırası ateşlenmelidir.

2.5.4. Parçalanmanın Kontrolü ve Optimizasyonu

Günümüzde parçalanmanın tahmini ve analizi gittikçe daha fazla önem kazanmaktadır, bilindiği gibi birincil parçalanma ikinciden ve kırmadan daha ekonomiktir. Bu bölümde patlatılmış kayacın parçalanmasına tesir eden temel faktörler tanıtılacak ve optimum bir parçalanmayı elde etmek için gerekli patlatma parametreleri üzerinde durulacaktır.

Patlatma teknolojisinde araştırmacılar büyük çaplı patlatmalarda kaya parçalarının büyüklüklerinin dağılımını kafi miktarda indekslerinin (göstergelerinin) tayini problemleriyle karşılaşır. Karşılaşılan en büyük güçlük kayanın homojen olmamasıdır. Kaya kütleindeki yapısal özellikler kaya tipi aynı olsa bile farklıdır, bu bir bölgeden başka bir bölgeye de değişiklik gösterir.

Beklenen parçalanmanın ampirik yaklaşımı birçok hallerde Kuz-Ram modeli kullanılarak yapılır. Bu model kullanılarak Rosin-Rammler teorisi uygulanmıştır. Bu teori ilk olarak V.M Kuznetsov (1973) tarafından önerilmiştir ve patlatılmış kaya parçalanmasının makul bir tanımını yapmaktadır. Bu yaklaşım kullanılarak kayanın doğası ve jeolojisini tasvir eden kaya faktörü hesaplanabilir. Bu kaya faktörü Rosin-

Rammler prosedürüne bağlı olarak karakteristik boyut ve boyut dağılımının hesaplanmasına izin verir.

İhtiyaç duyulan parçalanmış malzemenin toplam maliyeti küçük delik paternleri kullanılarak önemli ölçüde düşürülebilir. Delme ve patlayıcı maliyetleri bu yolla oldukça artar fakat cevherin yükleme, nakliye, kırma ve öğütme maliyetleri önemli ölçüde düşer.

2.6. PATLATMA SONRASI PARÇA BOYUT DAĞILIMI TAHMİN MODELLERİ

Yıllar boyunca çok sayıda patlatma modelleri geliştirilmiştir. Birçok patlatma modelinde ortalama parça boyutu X_{50} hesaplanmış ve bazı modellerde de tüm parça boyut dağılımını veren yaklaşımlar ortaya konulmuştur. Bu modellerin tümünde girdi parametreleri, kaya özellikleri, patlayıcı madde özellikleri ve patlatmanın geometrik tasarım parametreleridir. Patlatma tasarım parametreleri bilinen girdilerdir, patlayıcı madde özellikleri de basit testlerle bulunabilir, ayrıca artık ürün kataloglarında da bu bilgiler yer almaktadır, fakat kayanın madde ve kütle özelliklerini belirlemek çok daha zordur. Kaya özelliklerini elde etmekte karşılaşılan zorluklar modellerin doğruluklarının oldukça zayıf olmasına sebep olurlar; ancak yine de bu modeller, patlatma tasarımındaki değişikliğin parça boyut dağılımına olan etkisi hakkında ipucu verebilmektedir.

Modeller sadece belirli elek altı yüzdelerini tahmin eder ve oluşan parçaların şekillerini ve yüksek şarj konsantrasyonuna bağlı olarak oluşan mikro çatlakların yarattığı malzemenin zayıflığı hakkında bir bilgi içermezler (Ouchterlony 2003). Aşağıda günümüze kadar geliştirilmiş ve patlatma sonrası tahmini parçalanmanın nasıl olacağına dair mühendislere gerçek sonuçlara yakın bilgiler verebilen tahmin modelleri özetlenmiştir.

2.6.1. Kuz-Ram Modeli

Parçalanma modellerinin en yaygın şekilde kullanılanlarından biri ampirik Kuz-Ram modelidir. Kuz-Ram modeli, Cunningham (1983) ve (1987), Kuznetsov (1973) eşitliği ve Rosin-Rammler dağılımından türetilmiş ortalama parça boyutu, X_{50} 'ye dayanır.

$$X_{50} = A \times \left(\frac{V_0}{Q} \right)^{0.8} \times Q^{\frac{1}{6}} \times \left(\frac{E}{115} \right)^{\frac{19}{30}} \quad (2.67)$$

V_0 = Patlatılmış kayanın hacmi (m³),

Q = Şarj miktarı (kg),

E = Patlayıcı maddenin gücü (% ANFO)

A = Kaya faktörü

Kaya faktörü, A , kaya tipine ve patlatma yönüne bağlı olarak ortalama parçalanmayı modifiye etmek için kullanılır. Bu faktör Lilly tarafından geliştirilmiş olan (2.68) bağıntısıyla hesaplanabilir.

$$A = 0.06 \times (RMD + JF + RDI + HF) \quad (2.68)$$

RMD = Kaya kütlelerinin cinsi = 10 (ufalanabilir ve gevrek ise), 50 (masif ise)

JF = Eklem Faktörü = $JPS + JPA$ = Eklem düzlem aralıkları + Eklem düzlem açısı

JPS = 10 (düşey eklem aralığı, $S_j < 0.1m$ ise), 20 (eğer $S_j < \text{boyut üstü}$) veya 50 (eğer $S_j > \text{boyut üstü}$)

JPA = 20 (dalım yüzeye doğru değilse), 30 (uzanım yüzeye dikse), veya 40 (dalım yüzeye doğru ise)

RDI = Kaya yoğunluğu etkisi = $0.025 \times \text{ö.ş. (kg/m}^3) - 50$

HF = Sertlik Faktörü = Elastisite modülü³ (eğer elastisite modülü $< 50(\text{GPa})$) veya $\sigma_c(\text{MPa})/5$ (eğer elastisite modülü $> 50 (\text{GPa})$)

Parçalanmış kayanın parça boyut dağılımı bağıntı 2.69 kullanılarak hesaplanır.

$$P(x) = 100 \left(1 - \exp \left(- \ln 2 \left(\frac{X}{X_{50}} \right)^n \right) \right) \quad (2.69)$$

$P(x)$ = X büyüklüğünden daha az boyutlu malzeme yüzdesi (%)

N = üniformite indeksi

X = Malzeme boyutu (m)

X_{50} = ortalama parça boyutu(m)

Üniformite indeksi olan n , 2.70 bağıntısı kullanılarak hesaplanır;

$$n = \left(2.2 - 14 \times \left(\frac{B}{D}\right)\right) \times \left(1 - \left(\frac{W}{B}\right)\right) \times \sqrt{\left(\frac{1 + \frac{S}{B}}{2}\right)} \times \left(0.1 + \text{abs}\left(\frac{BCL - CCL}{L}\right)\right)^{0.1} \times \left(\frac{L}{H}\right) \quad (2.70)$$

Eğer şeş beş düzenli bir tasarımsa 1.1 ile çarpılır.

B = dilim kalınlığı(m)

S = delikler arası mesafe(m)

D = delik çapı(mm)

W = delme hassasiyetindeki standart sapma(m)

BCL = taban şarj boyu(m)

CCL = kolon şarj boyu(m)

H = basamak yüksekliği(m)

L = toplam şarj uzunluğu(m)

Üniformite indeksi n , parçalanma eğrisinin şeklini tayin eder. Yüksek değerde olan n üniform bir boyutlanma verir, yani çok az miktarda ince taneler ve aşırı büyük parçalar. Genelde n 0,8 2,2 arasında bir değerdir, Cunningham (1983). Patlatma parametrelerinin üniformite indeksine olan etkileri Tablo 2.8' de verilmiştir.

Tablo 2.8: Patlatma parametrelerinin n üzerindeki etkisi (Cunningham, 1983)

Parametre	n artar, eğer parametre,
D.kalınlığı/delik çapı	Azalırsa
Delme doğruluğu	Artarsa
Şarj boyu/basamak yüksekliği	Artarsa
Deliklerarası mesafe/D.kalınlığı	Artarsa
Şeşbeş patern	%10 artar

2.6.2 Bond–Ram modelleri

De gama(1983) cevher hazırlama işlemlerinde sıkça kullanılan Bond teorisini, patlatma sonrasında elekten %80 oranında geçen parça boyutunu daha kesin ve net bir hale getirmek için Bond bağıntısı, Rosin-Rammler bağıntısı ve Cuninghman üniformite indekslerinin bir kombinasyonu haline getirip buna Bond-Ram modelleri adını

vermiştir. Çalışmada bu modelin ilk adına BRM(A) denmiştir. Daha sonra Chung ve Katsabanis tarafından geliştirilen haline ise BRM(B) adı verilmiştir.

2.6.2.1 BRM

Bond Bağıntısı: Bond'un 3. Teorisine dayanan ve elekten geçen %80 parça boyutunu patlatma enerjisi q_{ei} ve metal özelliği W_i ile kullanarak bir bağıntı elde etmiştir. Bağıntı 2.71'e bakacak olursak,

$$q_{ei} = 10 \cdot W_i \cdot \left\{ \left(\frac{1}{\sqrt{D_{b80}}} \right) - \left(\frac{1}{\sqrt{D_{i80}}} \right) \right\} \quad (2.71)$$

D_{b80} ve D_{i80} değerleri yerinde patlatmadan sonra %80 geçen madde miktarıdır. q_{ei} parçalanma için gerekli enerji olup (E , V , Q , ρ_r) değerlerinin bir fonksiyonudur. Bağıntı 2.72 yolu ile hesaplanabilir.

$$q_{ei} = 0.00365 \cdot E \cdot (Q/V) / \rho_r \quad (2.72)$$

Burada;

E = ANFO nunkine eşdeğer patlayıcı gücü ve ρ_r = kayanın özgül ağırlığı (t/m^3)

W_i ($kW h/t$) değeri Bond İş İndeksinde öğütmeye göre verilen bir değerdir fakat burada patlatma için yeniden düzenlenmiştir. Bakacak olursak;

$$W_i = 15.42 + 27.35(D_{i50}/B) \quad (2.73)$$

Burada;

B = Dilim kalınlığı (m)

D_{i50} = 50% geçen yerinde blok boyutu (m)

2.6.3. EBT Model

Lu and Latham (1998) yaptıkları çalışmada Bloklar Arası Enerji Transferi yöntemi yayımlanmıştır. IBDS ve BBDS eğrilerinin arasında kalan bölgenin büyük boklardaki enerjiiyi küçük bloklara aktarmada kullanıldığını bulunmuştur . İlk olarak IBDS eğrisi blok boyunu belirlemek için Latham'ın metodları kullanılır. Enerji giriş değeri olan q_{ei} ve B_i değerleri birlikte hesaplanır. q_{ei} hesaplamak için gerekli olan bağıntı daha önceki bağıntılarda verilmiştir. B_i için ise $BD=10/B_i$ bağıntısı kullanılarak hesaplanabilir. BD

patlatma tayinidir. Gerçek blok boyutu kab EBT modeli bağıntısından hesaplanabilir. Bağıntı 2.74'e bakacak olursak ;

$$q_{ef} = \frac{k_{nt} - k_{ka}}{B_1 \left(\frac{k_{nt} + k_{ka}}{2} \right)^{0.5}} \quad (2.74)$$

2.6.4. KCO model

Ros-Ram gibi bağıntıların ince taneleri tanımlamakta yetersiz olduğu görülüp 4 hatta 5 eğrili daha kompleks ve hassas bağıntılar geliştirilmiştir. Bu eğriler patlatma deliğinin hemen etrafında oluşan ve Rosin-Rammler bağıntısında önemsenmeyen tane boyutlarını hesaba katacak şekilde geliştirilmişlerdir. Bağıntı 2.75'e bakacak olursak ;

$$y = 1 / \left\{ 1 + \left[\ln(D_{bmax}/D_y) / \ln(D_{bmax}/D_{b50}) \right]^b \right\} \quad (2.75)$$

Burada D_{b50} bağıntı 1 de verilmiştir. b değeri eğri altı değerini ifade etmektedir. D_{bmax} için Ouchterlony, dilim kalınlığı ve delikler arası mesafenin D_{i100} değerinden küçük olduğu durumlarda en iri parça boyutu olarak yerinde ölçülen en iri parça boyutunun alınmasını tavsiye etmiştir. Ouchterlony b değerinin bulunması için 2 metod geliştirmiştir. İlkinin Cunningham'ın nRRD bağıntısını kullanarak gerçekleştirmiştir. Bağıntı 2.76'ya bakacak olursak;

$$b = n_{RRD} \cdot 2 \cdot \ln 2 \cdot \ln(D_{bmax}/D_{b50}) \quad (2.76)$$

İkincisi ise D_{b50} değerinin tam ölçekli patlatmalarda alınan elenmiş parça boylarına dayanmaktadır. D_{b50} değeri mm cinsinden ifade edilmiştir. Bağıntı 2.77'ye bakacak olursak;

$$b = 0.5 D_{b50}^{0.25} \cdot \ln(D_{bmax}/D_{b50}) \quad (2.77)$$

Ouchterlony (2005b) çalışması bize bulduğu bağıntının çok geniş bir kaya çeşidi için ve patlatmaya uygun koşullarda BBDS elek sonuçlarının Kuz-Ram modeline tam uyduğunu ve D_{bmax} hesaplanırken kullanılacak iyi bir D_{i100} değerinin çok daha net bir şekilde ince taneleri belirlediğini göstermiştir. Ouchterlony e göre D_{bmax} değeri en verimli olarak minimum delikler arası mesafe, maksimum dilim kalınlığına göre

alınabilir. KCO modeli basamak patlatmasında Kuz-Ram modelinin gelişiminde ve daha hassas sonuç almakta çok önemli rol oynamaktadır. Aynı zamanda iri blok patlatmalarında da oldukça uygun bir methodtur. Fakat iri blok patlatmalarında uygulanırken diğer tüm modellerde olduğu gibi çok dikkatli kullanılması gereklidir.

2.6.5 JKMRC Modeli

Kanchibotla ve arkadaşları (1999) ve Grundstorm ve arkadaşları (2001), Kuz-Ram modelinin parça boyut dağılımında ince parçaları tahmin edemediğini göstermiştir. Patlatılan kayanın parçalanması birden daha fazla mekanizma ile gerçekleştiğinden dolayı, parça boyut dağılımı tek bir dağılım ile modellenemez (Djordjevic, 1999).

JKMRC 2 tane parçalanma modeli oluşturmuştur. Birincisi Ezilmiş Bölge modeli (CZM) ve diğeri iki elemanlı (TCM) modelidir. Bu modeller iki dağılımı birleştirir, bir tanesi ince malzeme dağılımı için, diğeri iri malzeme dağılımı içindir. Her iki model de bazı değişikliklerle beraber Kuz-Ram modeli temeline dayanır.

2.6.5.1 Çift elemanlı model-TCM

Patlama sonrası parçalanmış olan malzemenin iki ayrı kaya parçalarından oluştuğu söylenebilir. Deliğin hemen etrafında oluşan parçalanmada basma dayanımı yenilerek parçalanma meydana gelir ve bu bölgede ince parçalar oluşur. Delikten uzaklaştıkça büyük kütlede kaya parçalanmasında çekme gerilmesi rol alır ve kayaç içi zayıflıklara, çatlak ve eklemlere de bağlı olarak iri parçalar oluşur. Bu ikili model Rosin-Rammlere fonksiyonlarıyla çözülebilir. Bunlardan bir tanesi ince ve düzgün taneli parçalar diğeri ise kaba ve iri taneli parçaları hesaplamada kullanılır, Djordjevic(1999). Bağıntı 2.78'e bakacak olursak,

$$P(x) = 100 \left(1 - (1 - F_c) \exp \left(- \ln 2 \left(\frac{x}{a} \right)^b \right) - F_c \exp \left(- \ln 2 \left(\frac{x}{c} \right)^d \right) \right) \quad (2.78)$$

$P(x)$ = X büyüklüğünden daha küçük malzeme yüzdesi

X = malzeme boyutu (m)

F_c = makaslama basıncı ile parçalanan kaya,

A = çekme yenilme zonunda ortalama parça boyutu,

b = çekme yenilme zonunda üniformite katsayısı,

c = basma yenilme zonunda ortalama parça boyutu,

d = basma yenilme zonunda üniformite katsayısı.

İnce malzemeyle ilgili giriş parametrelerini TCM'e sağlamak için, patlatma daire testleri kullanılmıştır. Bu patlatma daire testleri TCM ye verilecek olan ana parametreleri saptamakta kullanılır. Temsili örnekler patlatma odalarında patlatılır ve sonucu veren parçalar elenir. Crum ve diğ., (1990) ince taneli parçaların skaladan bağımsız olduklarını ve patlatma parametreleri olan c ve d nin elendikten sonra Rossin-Rammler bağıntısına uygulanmasıyla bulunabileceğini göstermiştir. a ve b faktörleri Kuz-Ram modelindeki X50 bağıntısı ile aynı olup, JPS ve RDI ile ilgili bazı modifikasyonlar içerirler.

Makaslama basıncı ile oluşan parçalanma F_c , deliğin etrafındaki ezilen bölgenin alanının hesaplanması ve bu alanın toplam patlatma alanına bölünmesi ile bulunur. Bağıntı 2.79'a bakacak olursak;

$$F_c = \frac{r_c^2 \times \pi}{B \times S} \quad (2.79)$$

r_c = Ezilme zonunun çapı(m)

B = Dilim kalınlığı(m)

S = Delikler arası mesafe(m)

Ezilme zonunun çapı olan r_c bulmak için 2.80 numaralı bağıntı kullanılır;

$$r_c = \left(\frac{r_b}{\sqrt{\frac{24 \times TS_{insitu}}{P_b}}} \right) - r_b \quad (2.80)$$

r_b =delik çapı(m)

TS_{insitu} =Yerinde gerilme kuvveti (Mpa)=

$$\text{Gerilme kuvveti} \times \left(\frac{0.05}{\text{ortalama blok boyutu (m)}} \right)^{0.18}$$

P_b = Delik basıncı (Pa), detonasyon basıncının yarısı olarak kabul edilir. $= \rho_e \times \frac{C_d^2}{8}$

Burada ρ_e = Patlayıcı madde yoğunluğu (kg/m^3) ve C_d =detonasyon hızı (m/s).

2.6.5.2 Kırılma Bölgesi modeli (CZM)

Kırılma Bölgesi modeli çift elemanlı modele benzer olarak toplam parça yayılmasını tarif etmek için 2 tane Rosin-rammler fonksiyonu kullanır. TCM nin aksine bu model ince ve iri taneli 2 farklı yayılmayı aynı anda kullanır.

İri parçalanma bağıntısı kaya faktörü, A, ve üniformite indeksindeki birkaç değişiklik dışında Kuz-Ram bağıntısıyla aynıdır. Dağılım bağıntı 2.81’de verilmiştir.

$$P(x) = 100 \left(1 - \exp \left((1 - P(X_e)) \times \left(\frac{X}{X_c} \right)^{n_{coarse}} \right) \right) \quad (2.81)$$

$P(x)$ = Elekten geçen malzeme miktarı (%)

$P(x_c)$ = Karakteristik boyuttan geçen malzeme miktarı(%)

X = Elek boyu

X_c = Karakteristik boy

n_{coarse} = İri parçalar için kullanılan üniformite indeksi

Thornton(2001) e göre kaba parçalar için olan üniformite indeksi Cunningham(1987) tarafından saptanmıştır. 2.82 numaralı bağıntıya bakarsak;

$$n_{coarse} = \left(2.2 - 1.4 \left(\frac{B}{D} \right) \right) \times \sqrt{\left(\frac{1 + \frac{S}{B}}{2} \right) \times \left(\frac{L}{H} \right)} \quad (2.82)$$

İnce taneli parçalar çarpışma zonu kaynaklı olup patlatma delikleri içindeki patlayıcının etrafında oluşan bir silindire tarif edilir. Kırılma zonunun çapı kayanın radyal gerilmesinin basma dayanımını geçtiği yer ile delikler arasındaki mesafe olarak hesaplanır.

Bağıntı 2.83’e bakacak olursak;

$$\sigma_x = P_d \times \left(\frac{r}{x} \right)^2 \quad (2.83)$$

Burada P_d detonasyon basıncı, r delik çapı ve x de patlatma deliğine olan mesafe olarak tanımlanır. Burada 2.83 bağıntısını σ_x ’ in σ_c ’ ya eşit olduğunu varsayıp tekrar düzenlersek buradan çarpışma zonu çapı olan R_c şu şekli alır;

$$r_c = r \times \sqrt{\frac{Pd}{\sigma_c}} \quad (2.84)$$

Detonasyon basıncını 2.85 bağıntısıyla açıklarsak;

$$P_d = \rho_e \times \frac{C_d^2}{4} \quad (2.85)$$

Burada;

ρ_e = Patlayıcı yoğunluğu (kg/m³)

C_d = Patlama hızı(m/s)

İki yayılmanın birleşimi çarpışma alanı sonucunda oluşan ince taneli parçaların oranına bağlı olarak tarif edilir. İnce tanelerin yüzdesi artarsa birleşme noktasında artar. Thornton(2001). Kuvvetli ve sağlam kayalar için, UCS>50Mpa, x50 karakteristik boyunu kullanmak iyi sonuçlar verirken, zayıf olan kayalar için, UCS <10Mpa, x90 daha iyi sonuçlar verir, Konchibotla(1999). Parçalanmış metaryalin parçasını veren F_c bağıntısını 19 bağıntısıyla hesaplayabiliriz;

$$F_c = \frac{\text{kırılma derecesi}}{\text{patlama derecesi}} \quad (2.86)$$

İnce taneli parça boyutunu veren bağıntı 2.87'ye bakacak olursak;

$$Px = 100 \left(1 - \exp(\ln(1 - p_{xc})) \left(\frac{x}{x_c} \right)^{n_{fine}} \right) \quad (2.87)$$

Burada N_{fine} ince taneli parçaların üniformite indeksi olarak açıklanır ve Rossin-Rammler bağıntısını yeniden düzenleyerek hesaplanabilir. Bağıntı 2.88'e bakarsak;

$$n_{fine} = \frac{\ln \left(\frac{\ln(1 - F_c)}{\ln(1 - P(x_c))} \right)}{\ln \left(\frac{1}{x_c} \right)} \quad (2.88)$$

Hassaslık analizi yapılırken, Thornton(2001) patlama ile parçalanma sonucunu etkileyecek 5 parametreden faydalanılır .Farklı parçalar için UCS, patlayıcı hızı VOD ince tane dağılımında yüksek öneme sahiptir. Basamak yüksekliği, patlayıcı uzunluğu ve yerinde blok boyu kaba parçalar için kritik parametrelerdir.

Patlatma sonrası modellenen parçalanma sonuçlarını etkileyen ilk beş parametreyi saptayabilmek için Thornton tarafından farklı boyut aralıkları için hassas bir analiz yapılmıştır. Buna göre çok ince parça dağılımı için, tek eksenli basama dayanımı, şarj uzunluğu ve detonasyon hızının yüksek etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. Daha iri parça boyut dağılımında is etkili kritik parametrelerin yerinde blok boyutu,şarj uzunluğu ve basamak yüksekliği olduğu anlaşılmıştır.

2.7. PATLATMA SONRASI PARÇA BOYUT DAĞILIMI TAYİN METODLARI

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

2.7.1. Görsel – Gözlemsel Analizler

Uygulamanın kolaylığı nedeniyle en yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde; oluşan yığın, atımın hemen sonrasında uzmanca gözlenmekte ve sübjektif bir tahminde bulunmaktadır. Genel olarak yığının üst yüzeyi, çoğu zaman yanıtıcı olabileceğinden bu teknik güvenilir değildir.

2.7.2. Fotoğraflama Tekniği

Bu teknikle değişik analiz metotları kullanılarak yığın boyut dağılımı değerlendirilebilmektedir. Noren ve Porter (1974) patlatılan yığının %15' ini veya daha

azının fotoğrafını seçerek bir ızgara ile analiz ettiler. Sonuçları, ortalama parça boyutundan % 9,6'lık bir sapma gösterdi.

Teknikteki daha ileri aşama; üç boyutlu tahmin amacıyla fotoğraf görüntü alanının içine ölçekli hedefler koymak olmuştur. Bonevilla (1980), yığının yeniden ortaya çıkan her bir kısmının fotoğraflarını kullanmayı kabul etti. Tüm bu bahsedilen fotoğraf esaslı yöntemler zaman kaybedici ve parçalanmanın doğasını sayısal olarak ifade etmede başarısız oldular. Yüksek hızlı dijital kamera kullanımıyla, parça boyut dağılımının zamanla değiştiği ortaya konulmuştur. Tekniğin uygulanmasında en önemli kısıtlamalar; gaz çıkışı, toz oluşumu, çatlak oluşumu ve yığın hareketi gibi unsurlardır.

2.7.3. Geleneksel ve Yüksek Hızlı Fotogrametri

Bu yöntem, fotoğraf tekniğinden daha doğru ve güvenilir bir yöntemdir. Üç boyutlu ölçümler sağlar ve bu nedenle belirli münferit parçalar için hacim hesaplanması imkanı verir. Bununla birlikte, bu tekniğin asıl kullanım alanı; topoğrafik ölçme ve jeolojik yapı ve süreksizliklerin haritalanmasıdır.

2.7.4. Patar Sayımı Yöntemi

Patlatılmış, ekskavatör kepçesine sığmayan malzeme patar (iri blok) denilmektedir. Ekskavatörün yükleyemeyecek kenara bıraktığı patar sayıları belirlenir ve sayılır. Bu iri blokların eni, boyu ve kalınlığı gibi boyutlar ölçülür. Patlatılan yerinde kayanın toptan miktarına göre bir patar indeksi hazırlanabilir. Bu metot, parça boyutlarının üst limitleri değerlendirilirken güvenilir bir özelliktedir. Ancak ortalama ve küçük parça boyutu tahmininde yanıltıcı olabilir.

2.7.5. İkincil Atımlarda Patlayıcı Tüketimi

Ekskavatör ya da yükleyicilerle yüklenemeyen iri parçalar (patarlar) ortaya çıktığında bunları parçalamak için ya çamur kaplamalı yüzeyden atım, yada delik delinmek suretiyle ikincil bir atım yapılması kaçınılmazdır. Hidrolik çekiçlerin bu amaçla kullanımını da söz konusu olabilmektedir. Her halikarda patlayıcı ya da enerji tüketimi söz konusudur. Patarlar için kullanılan patlayıcının toplam kaya kütlelerine oranını ifade eden bir indeks geliştirerek, bir işletmedeki nihai tasarım için, atım grupları arasında yapılacak optimizasyon çalışmalarında mukayese aracı olarak kullanılabilir.

2.7.6. Ekskavatörün Yükleme Performansı

Parça boyut dağılım tahmin yöntemlerinde, iyi parçalanmış bir yığının yükleme performansının daha iyi olacağı varsayılmaktadır. Herhangi bir parçalı ya da yükleme performansını etkileyebilecek yığın, zaman esaslı kronometraj kayıtlarıyla rahatlıkla belirlenebilir. Bu metotta 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 muhtelif atım gruplarını karşılaştırmada, oldukça hassas çalışmalar yapmak suretiyle rahatlıkla uygulanabilir.

2.7.7. Primer 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. Bu nedenle bu teknik de rahatlıkla kullanılabilir.

2.7.8. 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 düşünülebilir.

Bu yöntem uygulanırken ilk olarak çeşitli standartlara göre hazırlanmış elekler belirlenir. Yığın eleklerden geçirilir ve yığın üstünde kalan malzemenin miktarı belirlenir. Bu belirlenen miktar tüm malzemeyle karşılaştırılarak elek üzerinde kalan malzemenin yüzdesi çıkarılır. Sonuç olarak elek üstü malzemenin yüzdesi ve tanelerin boyutunu kapsayan bir grafik ortaya çıkarılır.

2.7.9. Üç-Nokta Metodu

Lulea Teknoloji Üniversitesinde geliştirilen bu metod görsel bir metottur (Nie, 1988). Bu metotta parça boyut dağılım eğrisi görsel olarak tahmin edilen 3 nokta ile taslak

olarak çizilir. Bu üç nokta, 10mm'den küçük kırılmış kaya parçalarının ağırlık olarak yüzdesi, P₅₀ ortalama parça boyutu ve en büyük parça boyutudur.

2.7.10 Parça-Numune Metodu

Çok sayıda parçalar yığından rastgele alınır. Daha sonra parça boyut dağılımları elek analizleri ile tespit edilen numunelerin sonuçlarının istatistiksel yöntemler kullanmak suretile tüm yığının parça boyut dağılımı tahmin edilir. Bu metod 1940'ların sonlarında İsveç'te kullanılmaktaydı.

2.7.11. Görüntü İşleme Metodu

Bu metotta, yığın içindeki parça boyut dağılımı yığın üzerinden ve/veya yığının belli kesitlerinin fotoraflanması ile saptanır. Fotoğrafar sıradan bir fotoğraf makinesi veya video kamerası ile çekilebilir. Fotoğrafların dijitalleştirilmesi işlemi manuel veya otomatik olarak yapılabilir.

Manuel olarak değerlendirilmesi durumunda yığın fotoğraflarının dijitalleştirilmesi standart CAD yazılımı ile yapılır. Bu işlem çok zaman alan bir işlemdir, çünkü resimdeki her taşın dış hatları kaya parçalarının boyutunu bulmak için yapılacak olan ileri hesaplamalar için dijitalleştirilmelidir.

Otomatik ölçüm işleminde parçaların hatları bir bilgisayar programı tarafından teşhis edilir. Bunun için standart dijital görüntü işleme algoritmaları görüntü artırma işlemlerinin başlangıcı için kullanılabilir.

2.8. DİJİTAL GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİ İLE PARÇA BOYUT ANALİZİ

20 yıl evvel "Manuel Contour Delineation" denen sistemde yapılan bu iş bugün bilgisayar sisteminde geliştirilerek tam otomatik bir yöntemle yapılmaktadır. Dijital analiz programlarında tam otomatik algoritma kullanılmakta ve bu da "Partial Contour Delineation And Succesive Openings" denen tekniğe dayanmaktadır. Diğer yöntemler gibi bu yöntemde avantajları ve limitleri vardır. Bu yöntemle vasat bir PC ile 30 saniyeden daha kısa bir sürede resmin neticesini elde etmek mümkündür. Bilgisayarın resim prosesine göre ayarlanması için dijital formatının olması gerekir. Günümüzde bu

artık problem olmaktan çıkmıştır, çünkü “Gray-Scale” (Renksiz) resmini algoritma için ihtiyacımız kadar elde etmek aşağıdaki yöntemlerle mümkündür.

- Fotoğrafın taranması
- Analog kaynağın kullanılması: Video sinyalinin (Ccd, Cam) çeviren bir dijital tablo
- Direkt olarak kullanılan dijital kaynak: Dijital kamera
- Programların neredeyse tümü Jpeg, Tiff, Gif ve Bmp dosya formatlarına uygun resimleri kabul etmektedir.

Dijital görüntü işleme yöntemi ile parça boyut analizine geçmeden önce günümüzde hemen hemen her alanda kullanılmaya başlanan bu sistemin gelişimini ve kuramsal temellerini ortaya koymak konunun daha iyi anlaşılması için faydalı olacaktır.

2.8.1. Tarihi ve Gelişimi

Dijital görüntü analizi (veya dijital görüntü işleme) için ilk fikir ortaya 1920’lerde resimlerin kablo ile transmisyonu konusunda ortaya atılmıştır. İlk bilgisayar ile işleme 1964’de Ranger-7 video görüntülerinde kullanıldı. Özellikle uzay araştırma görevleri için geliştirilmiştir. İlk çalışmalar geometrik düzeltmeler ve veri iletim hataları ile ilgiliydi. İşlemler büyük boyutta mainframe bilgisayarlar tarafından yapılmaktaydı. Bu ilk çalışmalar özellikle görüntüleme sistemleri ve bilgisayar sistemlerinin büyük maliyetinden dolayı sadece uzay projeleri ile sınırlıydı. Bilgisayar ile resim işleme yöntemi ile ilgili ilk kitap 1969’da A. Rosenfeld tarafından yazılmış ve Academic Press tarafından yayınlanmıştır.

2.8.2. Kaydedilen İlerlemeler

Dijital görüntü işleme yönteminde asıl gelişme 1970’lerin ortalarından sonra başlamış ve bilgisayar donanımlarının gelişimini takip etmiştir. Bu gelişim sürecini aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

70’lerin ortası: Süper-mini’lerin gelişimi:

- “Gardırop boyu” makineler ve PC-386’ların gücü.
- Küçük araştırma grupları için ucuz.

- İlk görüntü görüntüleme cihazları (frame stores)

1980'lerin başı: Grafik workstation'lar (SUN, Apollo, VaxStation)

- Entegre görüntüleyicili hızlı işlemciler (PC-386) (imaj görüntüleme problemini çözdü)
- Masa üstü boyutta.
- Tek bir araştırmacı için yeterince ucuz.
- Masaüstüne “büyük bilgisayar” gücünü getirmiştir.
- Konunun gelişimine sahne olan ana zaman dilimidir. Birçok teori ve uygulama teknikleri bu dönemde ortaya atılmıştır.

80'lerin sonu / 90'ların başı: Süper bilgisayar grafik workstation'lar, (Sun 10/40, HP-9000, Dec-Alpha, Silicon-Graphics)

- Çok hızlı masaüstü makinalar (şu anda yaygın olan 100 Mips)
- Ortak ortam (X-windows)
- Ucuz, öğretim için uygun

2000'ler: PC'ler çağa ulaşır. Modern Pentium makinalar süper bilgisayar grafik workstation'ların gücü ve hafızasına sahiptir.

Birçok “büyük” görüntü işleme yazılım paketleri yazılmış veya PC'ye aktarılmıştır. “Dijital fotoğrafçılıkta” çok büyük büyüme olmuştur. PC sistemlerinde dijital görüntüleme şu an bir çok bilimsel uygulamada “rutin” bir işlemdir.

2.8.3. Dijital Görüntü İşleme Yönteminin Adımları

Dijital görüntü işleme yönteminin ana adımları aşağıda sıralanmıştır.

Görüntüyü yeniden yapılandırma:

- Sistem veya görüntüleme bozukluklarını ortadan kaldırma
- Toplanan verilerden en iyi görüntüyü tekrar yapılandırmayı amaçlar
- Tipik olarak görsel inceleme için çıktı görüntüler

Görüntü Analizi:

- Görüntülerin bilgisayar ile analizi
- Belirleyici özellikleri veya bölgeleri çıkarma
- Objeleri tanıma
- Yüksek seviye patern tanıma

Görüntü Oluşumu (Bilgisayar tarafından oluşturulan görüntü):

- Bilgisayarlı tomografi (tıbbi/astronomik)
- Boşluk sentezi (astronomik)
- Aynı zamanda CAD/CAM ve bilgisayar grafikleri

Görüntü Sıkıştırma ve Şifreleme:

- Doküman veya görüntünün saklanması
- Görüntü iletimi (video telefon), dijital TV
- İnteraktif video.

2.8.4. Uygulama Alanları

- Uzaktan Algılama: dünya kaynakları, hava durumu, deniz yüzeyi için uydu görüntüleri.
- Denetim ve Otomasyon: robotik kontrol, üretim kontrolü, kalite denetimi, güvenlik denetlemesi
- Tıbbi Görüntüleme: X-ışını, bilgisayarlı tomografi, MRI, PET, γ -kamera, termal-IR, numune incelemesi.
- Astronomik Uygulamalar: ana gözlem aracı, foton kamera, radyo görüntü oluşumu, boşluk sentezi, radyo interferometri.
- Bilimsel: mikroskop numune analizleri, x-ışını analizleri, yüzey incelemesi, STM, AFM vb.
- Veri Sıkıştırma: doküman depolama, veri azaltma, JPEG/MPEG, multi-media
- İletişim: video telefon, multi-media bilgisayar bağlantıları, doküman transferi, güvenli veri bağlantıları.

- Askeri Uygulamalar: hedef takibi, surveillance, akıllı silahlar, otomatik yol bulma, güvenli veri bağlantıları.

2.8.5. Dijital Görüntüler

Görüntü bir nesnden ya da manzaradan yansıyan veya yayılan radyasyondur. Görüntü bilgisayarda diziler halinde saklanır, görüntüler aşağıdaki kaynaklardan elde edilebilir:

- Bir analog kanaktan (fotoğrafik film, video sinyali)
- Doğrudan dijital olarak (CDC kamera, noktadan noktaya ölçümü)

Görüntüler dikdörtgen hatta altıgen şeklinde mümkün olmasına rağmen çoğunlukla muntazam bir karede örneklenir. Aşağıdaki şekilde dijital bir görüntü gösterilmektedir.



Şekil 2.15: Dijital görüntü örneği

2.8.5.1. Görüntü Parametreleri

- Kirlilik: Film tanelerinin etkisi, elektriksel kirlilik, ışığın kuvantum doğası, veri veri iletim hataları, lineer olmayan dedektör sistemleri
- Gri Seviye Örnekleme: Bir görüntü noktasını veya pikseli temsil eden bit sayısıdır. Tipik olarak video kaliteli görüntü için 8-bit, tam renkli için 24-bit'tir.
- Uzaysal örnekleme: Bir örnekleme karede noktaların dağılımı, ki bu da görüntü boyutunu verir. Görüntüleme sisteminin band genişliğine bağlıdır.

2.8.5.2. Görüntü Uzaysal Çözünürlüğü

Uzaysal çözünürlük görüntü boyutunu ve işlenmesi gereken veri sayısını verir.

Düşük Çözünürlük: Tipik olarak 256'ya 256 pixel

- Bilgisayar görüntüsü
- Tıbbi MRI, x-ışını tomografisi
- Kızıl-ötesi tespit

Orta çözünürlük: Tipik olarak 512'ye 512.

- Video kalitesi görüntü.
- WWW görüntüleri (en çokt 640_480)
- Çok ucuz dijital kameralar
- Hayat kurtarma çalışmalarında vb. kullanılan temel boyut.
- Gerçek video görüntüleri optimum 768'e 586 pikselde alınmalıdır. UK standardı

Yüksek çözünürlük: 3000'e 3000 kadar çıkabilir

- Uydu uzaktan algılama görüntüleri 3000'e 4000 piksele kadar çıkabilir
- Radar görüntüleri genellikle 3800'e 2800 çözünürlüktedir
- Foto-CD görüntüleri.
- En uygun dijital kameralarla elde edilmiş görüntüler.
- Bu görüntülerin çoğu 7-bantlı "multi-spectral" görüntülerdir.

Süper Yüksek Çözünürlük: 8000 X 8000'e kadar

- Baskı işi için renk ayırmada
- Sinema filmleri için bilgisayar sentezli görüntüler
- Profesyonel dijital kameralar
- Genellikle 4-renkli'lerin hepsi (kırmızı, yeşil, mavi & siyah)

2.8.6. Yöntemin Sınırları

Bu teknik tek bir resim üzerinde hatalardan tamamen arınmış bir yöntem değildir. Gerçekte malzemenin elenmesinde istenilen ölçülere tamamen uyması beklenemez. Resimler üzerinde çalışıldığı için, parçaların görüntülerinin temini, parçaların istenilen ölçülerde uygun ölçüm sınıfına göre tespiti tam olmaz. Genelde kullanılan bir elips veya daire şekilli cisimle parça boyutuna ulaşılır. Sadece resim üzerinde görülen parçalar işleme tabi tutulur. Bunların altında kalan görünmeyen parçalar program tarafından hesaba katılmaz. Bu görünüş örneklemeğe bağlıdır. En üstte görünen yüzeydeki parçalar

patlatmadan elde edilen kütleyi temsil eder. Bizim amacımız sadece tek bir yüzey ile kütleyi tahmin etmek olmayıp bütün yüzeyleri daha geniş hacimli kütle için tek örnek olarak ele almaktır. Kısmi görünen parçalar diğerleri tarafından tazmin edilen hatalar çıkarır. Bu güne kadar bu problemi program ile düzeltmek gerekli olmamıştır.

Resmin çözünürlüğünü değiştirmek en kısıtlayıcı faktördür. “Fines” adı verilen toz halindeki parçalar resim üzerinde ayırt edilemez. 3 metreküp bir araziye kapsayan bir resimde 6 mm’ den daha küçük parçaları görmek mümkün değildir.

2.8.7. Sistemin Tatbiki İçin Muhtelif Konfigürasyonlar

Sistemin içine patlamanın neticesinde kaya parçalarının sonuç ölçümünü sağlayan bir yöntemin ilave edilmesi gerekmektedir. Patlatmadan meydana gelen parçaların ayrıntılı olarak ölçme imkanı olmadığı için muhtelif resimler almak parçaların seçimine imkan vermektedir. Algoritmanın her resme tatbiki müstakil ölçme imkanı vermektedir aynı patlamadan gelen resimler için yapılan ölçümlerin tasnifi parçalanma yöntemi için yol gösterir.

3 Adet sistem konfigürasyon tatbiki mümkündür:

- Yığın konfigürasyonu: Resim doğrudan yığından çekilir.
- Kamyon konfigürasyonu: Resim kamyon veya yükleyici üzerinden çekilir.
- Bant konfigürasyonu: Resim bant üzerinden çekilir.

Bu yöntemlerden biri konusunda karar vermek esneklik, maliyet ve hassasiyet yönünden yeterli değildir. Aşağıdaki görüşleri de dikkate almak lazımdır.

- Görüntünün toplanması: Manuel veya otomatik
- Numune seçimi: Numunenin fazla olması neticeyi daha kolaylaştırır.
- Ekipman: PC dışında video teşkilatı adapte edilmesi.

Aşağıdaki iki sistemden birini seçme zorunluluğu vardır.

- Yığın yöntemi: Ucuz, esnek fakat kötü netice vermektedir.
- Kamyon veya bant sistemi: Pahalı fakat iyi netice vermektedir.

2.8.8. Ölçümlemenin Geçerliliği

Ölçümlemede belirlenen hedefi tutturmak çok önemlidir. Buradaki asıl amaç bütün parça boyutlarının karşılaştırılmasıdır. Ama bu sadece tek bir resim kullanarak olmaz. Programlar göstermiştir ki, parçalanmadaki en hassas bir değişim ve hatta sonuç gerçek sonuçlardan %10-20 hatalı bile olsa, bu olay, parçalanmanın heterojenliğinden ve özellikle patlatmadan dolayı oluşan ince toz tanelerinden kaynaklanmaktadır.

2.9. PATLATMA SONRASI ARDIŞIK MADENCİLİK İŞLEMLERİ

Patlatmalı kazı yapılan bir maden işletmesi veya taşocağında, ocak planlaması ve basamak oluşturma işlemleri tamamlandıktan sonra, üretim işlem zincirinin ilk halkası basamak üzerinde deliklerin delinmesi ve uygun patlatma dizyni ile birlikte patlatma çalışmalarının gerçekleştirilmesidir. Patlatma işleminin ardından bir sonraki adım parçalamış yığının kamyonlara uygun bir yükleyici yada yükleyici kazıcı makina ile yüklenmesidir. Bu işlemi yığının kamyonlarla birincil kırıcıya nakledilmesi izler. Yüklenen ve taşınan yığın daha sonra üçüncü ana ardışık işlem olarak tanımlayacağımız birincil kırma işlemine tabi tutulur. Birincil kırmadan geçen malzeme daha sonra üretim ve ürün varyasyonuna göre ikincil kırma işlemlerine veya öğütme işlemlerine tabi tutulur. Eğer cevher veya kaya bu kırma işlemleri sonrası doğrudan satılıyorsa bu işlemlerden sonra ürün gruplandırılarak piyasaya sunulur. Eğer zenginleştirme işlemine tabi tutuluyorsa bu mekanik boyut küçültme işlemlerinden sonra gerekli cevher zenginleştirme aşamalarına devam eder. Patlatma sonrası ayrıca eğer büyük boyutta istenmeyen parçalar oluşmuşsa bunlar ikincil atımlarla veya mekanik olarak parçalanırlar. Bu işlemi de ek ardışık işlem olarak adlandırabiliriz. Üretime ilave maliyet katan bu işlemden mümkün olduğunca kaçınmak önemlidir. Patlamalı kazı yapılan bir işletmede patlatma verimliliğini oluşan yığının parçalanma ve yığının patlatma sonrası yığılım ve dağılım karakteristikleri tayin eder. Patlatma verimliliğinin cevher zenginleştirme aşamasına kadar süren ardışık madencilik işlemlerine etkisi vardır. Genel olarak iyi parçalanma derecesine sahip iyi ötelenmiş homojen bir yığın yükleme performansını artırır, aynı şekilde yığının yüklendiği kamyonlardaki kamyon dolma faktörüne de parça boyut dağılımının etkisi vardır. Maden işletmelerinde ve taşocaklarında birincil kırma işleminde genellikle çeneli kırıcılar kullanılmaktadır. Çeneli kırıcılar üretim sistemine bağlı olarak belli bir aralıkta

parça boyut dağılımına sahip yığın beslendiği takdirde en verimli şekilde çalışmaktadır. Kırıcı besleme ağız genişliğinden büyük parçala kırıcıya beslenememekte, beslendiği takdirde ise tıkanmalara ve arızalara sebep olarak çalışma kaybı yaratmaktadırlar. Birincil kırmanın ötesinde ikincil kırma ve öğütme aşamalarında da önceki çalışmalar göstermiştir ki patlatma sonrası oluşan parçalar içerisinde gelişen mikro çatlaklar bu aşamalarda önemli verimlilik etkisine sahiptir. Kısaca patlatma verimliliğinin etkilediği ardışık madencilik faaliyetlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Yükleme
- Taşıma
- Birincil Kırma
- İkincil Kırma
- Öğütme

Bu tez kapsamında patlatma sonrası oluşan yığının parça boyut dağılımının yükleme ve birincil kırma işlemlerine olan etkisi araştırılmıştır. Bundan dolayı tez kapsamında yükleme ve birincil kırma işlemleri üzerinde durulmuştur.

2.9.1. Yükleme

1950'ler hidrolik kumanda sistemlerinin iş makinalarına yeni yeni uygulanmaya çalışıldığı yıllardır. 1960'lı yıllarda hidrolik kumanda sistemler olgunlaşmış; hareket, güç aktarmadaki kolaylık ve ucuzluğu nedeniyle, özellikle inşaat işlerinde kullanılan yer kazı makinalarında, yaygın olarak yer almaya başlamıştır. Yükleycilerin de ortaya çıkışı bu teknolojik gelişimin doğal sonucu olmuştur. Yükleyciler aslında inşaat işlerinde kum, çakıl, toprak ve gevşek malzemelerin kazılıp yüklenmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. İlk yatırım masraflarının düşüklüğü, bir yerden bir yere taşınma kolaylıkları, ağırlıklarının azlığı, devinim yetenekleri, esnek kullanma alanları, ataşmanları. kısa mesafelere yükleme-taşıma yapabilmeleri vb. gibi Özellikleriyle, küçük kapasiteli dizel shovel ekskavatörleri devreden çıkarmışlardır. 1960'lı yılların sonlarıyla, 1970'li yılların başlarında belden kırma şasili (eklemeli şasi) dört tekerli tahrikli yükleyicilerin geliştirilmesi, motor, kazı gücü ve kepçe kapasitelerinin büyümesi; ANFO v.b. ucuz patlayıcı maddelerin ve ripperlemenin örtü katmanlarını gevşetmede kullanılmaya başlaması gibi diğer teknolojik yenilikler, yükleyicilerin acık

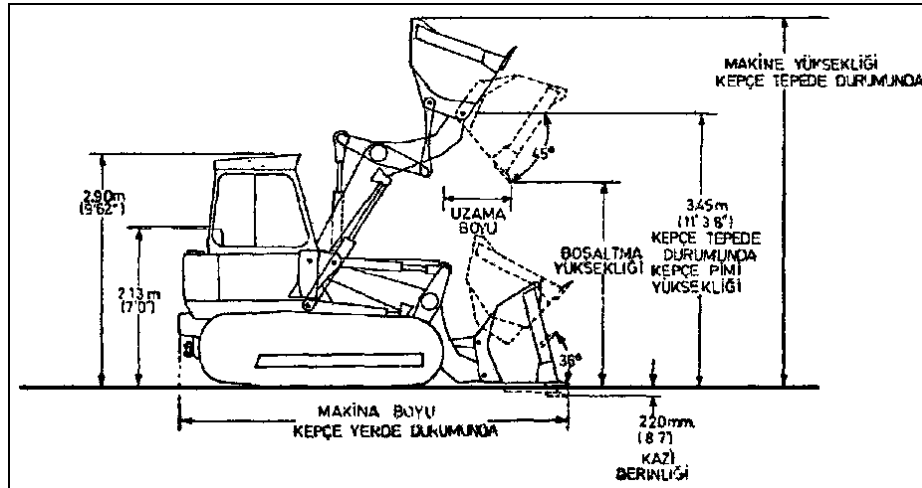
maden işletmeciliğinde de uygulama alanı bulmasına yol açmıştır. 1970'lerde madencilik dergilerinin en güzel konularından birisi de yükleyicilerle shovel ekskavatörleri karşılaştırmaktı. Yazarlar makalelerinde büyük kapasiteli lastik tekerlekli yükleyicilerin, bu kepçe hacmindeki açık maden işletmeciliğinin geleneksel ve standart yer kazı makinaları olan elektrikli ekskavatörlerin yerini alacağı savım ileri sürmekteydiler. Ancak, aradan geçen 10 yılı aşkın süredir elektrikli shovel ekskavatör, ekonomik ömrünün uzunluğu, serviste kalma oranının yüksekliği, onarım ve bakım kolaylığı, basit ve sağlam yapısı, zor madencilik koşullarına uygunluğu, verimliliği, kısa periyodu, yüksek iş kapasitesi ve kazı gücü sayesinde yer kazı, örtükazı, kömürkazı, cevherkazı işlemlerinin standart makinası olma özelliğini korumuştur. Belki de shovel ekskavatörlerin tek ciddi rakibi, son on yıldır kapasite ve performans yönünden büyük bir gelişim gösteren, elektrikli hidrolik shovel ekskavatörler olmuştur. Hidrolik ekskavatörler bom yapıları ve kule dönüşlü olma gibi üstün yanlarıyla paletli ve lastik tekerlekli yükleyicilerin de en ciddi rakibi olmaya devam etmekte ve özellikle büyük kepçe hacimlerinde hızla yükleyicilerin yerini almıştır. Yükleyicilerin madencilik alanındaki uygulaması, varsayılanın tersine, küçük çaplı maden işletmelerine ve büyük işletmelerde de ikincil işlerle sınırlı kalmıştır. Bu sonuçta makinanın ekonomik ömrünün kısalığı, dizel motorlu olması (yüksek yakıt gideri), dizel ve hidrolik makinaların zor madencilik koşullarında serviste kalma oranının düşüklüğü; bakım-onarım kullanımında bilgi eğitim ve özen gerektirmesi gibi etkenlerin büyük rolü olmuştur.

2.9.1.1. Yükleyicilerin Yapısı ve Verimi

Madencilikte kullanılan yükleyiciler işin ve işyerinin özelliklerine göre paletli ya da lastik tekerlekli olarak seçilebilmektedir. Günümüzde, madencilikte paletli yükleyici kapasiteleri 2,5 yd³ ile 6 yd³ arasında değişmektedir. Standart lastik tekerli yükleyici kapasiteleri ise 2,5 yd³ ile 12 yd³ arasında bulunmaktadır. Bu kapasiteler aşağı yukarı yükleyiciler için ulaşılmış ekonomik limit değerler olarak kabul edilebilir. Zira yükleyiciler, hidrolik ekskavatörlerin ciddi rekabeti ile karşı karşıyadır.

Bir yükleyici ana hatlarıyla dizel motor, aktarma organları, şasi, paletler ya da lastik tekerler, kumanda kabini, kepçe, bom (kepçe taşıma ve ulaşım kolu), hidrolik kollar (silindirler), mekanik kollardan oluşur. Yükleyici kepçeleri kazılıp, yüklenecek malzemenin özellik ve yoğunluğuna göre değişik biçim ve hacimlerde olabilir. Kepçe

uçlarında aşınmaya dayanıklı malzemeden yapılmış düz plaka ya da kepçe dişleri bulunur. Kepçe eklemlerle bom'a bağlı olduğundan, hidrolik ve mekanik kolların çalıştırılması suretiyle kepçe aşağı yukarı hareket eder. Bom'un bir ucu kepçeye bir ucu yükleyici gövdesine (şasi) eklemlerle bağlı olup, hidrolik bom kaldırma kollarının çalıştırılmasıyla bom'un devinimi bağlanır. Hidrolik kollar (silindirler) bom'un kaldırılıp indirilmesi ve kepçenin doldurulup, boşaltılması gibi hareketleri sağlar. . Mekanik kolların birer ucu hidrolik kepçe kollarına, birer ucu da kepçeye eklemlerle bir biçimde bağlı olup kepçenin hareketlerini sağlar. Şekil 2.16 bir yükleyicinin çalışma boyutlarını göstermektedir. Yükleyici seçiminde kapasite kadar bu boyutların da doğru seçimi önem taşımaktadır, zira bu özellikler, kazı aynası yüksekliğini, kullanılacak kamyon tipini v.b. sınırlandırmaktadır.



Şekil 2.16: Paletli bir yükleyici ve çalışma boyutları

Yükleyicilerin çalışma periyodu malzemenin kazılabilirliğine, kepçe kapasitesine ve salınım acısına bağlı olarak değişir. Örneğin, orta kolaylıkta kazılabilir malzemede 4,5-8 m³ kapasiteli yükleyicilerin çalışma periyodu 35-38 saniye (90 derecelik salınım) olduğu söylenebilir. Bu rakam kule dönlü halatlı ve hidrolik shovel ekskavatörlerde 25-28 saniyedir. Yükleyicinin yaptığı iş, yerinde m³/s olarak, aşağıdaki biçimde hesaplanabilir.

$$Q = \frac{3600}{c} \times 0,764 \times V \times F_1 \times F_2 \times F_3 \times F_4 \times F_5 \quad (2.89)$$

Burada;

Q: Yerinde yapılan iş (m³/saat)

C: Makina çalışma periyodu (saykıl) (sn)

V: Kepçe kapasitesi (yd³)

F₁: Malzeme kabarma faktörü,(malzemeye ve parça büyüklüğüne bağlı olarak değişir; çoğunlukla 0,60 - 0,69 aralığında olduğu söylenebilir.)

F₂: Kepçe dolma faktörü (malzemeye ve operatörün becerisine bağlı olarak değişir; 0,85-0,90 aralığı ortalama koşulları yansıtır)

F₃: Operatör verim faktörü (ortalama koşullarda 0,85 kabul edilebilir.)

F₄: Makina kullanım faktörü (Serviste kalma oranı, gerekli koşulların sağlandığı durumlarda 0,80 varsayılabilir.)

F₅: İş yeri koşulları ve yönetim faktörü (0,70 - 0,80 aralığı ortalama koşulları yansıttığı söylenebilir.)

2.9.1.2. *Yükleyicilerin Verimini Etkileyen Etkenler*

Diğer kazı ve yükleme makinalarında olduğu gibi, yükleyicilerin de iş verimim' etkileyen etmenler şunlardır,

- Yüklenen ya da kazılan malzemenin cinsi
- Kazı aynası yüksekliği
- Çalışma periyodu
- Yükledeği kamyonların büyüklüğü (kapasitesi) ve sayısı
- Operatörün verimi ve becerisi
- Yükleyicinin Özelliği ve sağlığı
- Çalışılan iş yerinin koşulları
- İş yerinin etkin ve verimli yönetilip yönetilmediği; iş yeri yönetim koşulları

2.9.1.3. *Yükleyici Çeşitleri*

Yükleyicilerin iki ana çeşidi vardır; Lastik tekerlekli ve paletli yükleyiciler. İşin cinsine ve iş yerinin özelliklerine göre her iki tipin kullanım alanı vardır. Ayrıca, her iki tipin kendine özgü üstün özellikleri bulunmaktadır. Yükleyicilerin kökeni geniş tarım alanlarını işlemek üzere geliştirilen lastik tekerlekli ve paletli tarım makinaları olan traktörlerdir, önceleri tarım ürünlerini yüklemek, aktarmak, depolamak üzere traktörlerin önlerine halatla kumanda edilen rijit kepçeler takılmış, bunlar teknolojinin gelişmesine uygun biçimde gelişerek günümüzün yükleyicilerini oluşturmuşlardır. Günümüzün önemli iş makinalarından olan paletli ve lastik tekerlekli buldozerlerin kökeninde de tarım traktörleri yatmaktadır. Bunlar da traktörlerin önüne çelik plaka

bıçaklar takılarak tarlaların taşlardan, köklerden temizlenmesi, düzlenmesi v.b. gibi amaçlarla ortaya çıkmıştır.

2.9.1.3.1. Paletli Yükleyiciler

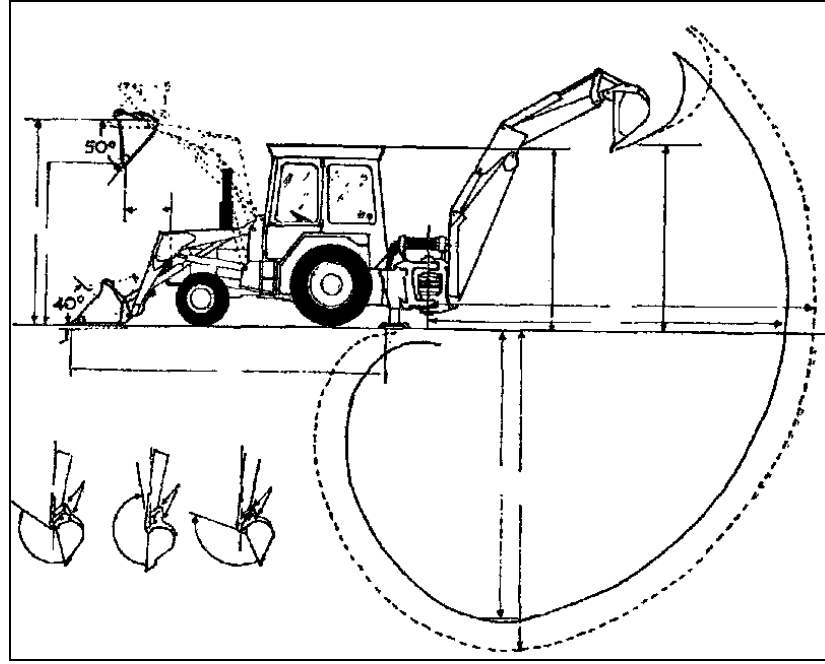
Paletli yürüyüş takımı ve bastı frenleme yöntemiyle yön verme (kumanda), 1900 yıllarında İngiltere'de traktörlerin tarlaları sürerken batmaması ve sürülen tarlaların tepilmemesini sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Günümüz iş makinalarında paletli yürüyüş takımı dizayn, malzeme ve teknoloji yönünden çok gelişmiş bulunmasına karşın halen aynı temel ilkeler geçerlidir. Paletli yükleyicilerin Lastik tekerlekli yükleyicilere göre avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibidir.

- Kazı güçleri daha yüksektir.
- Yere, birim alana düşen basınçları daha azdır ve kötü zemin koşullarında yüksek çekiş ve tutunma güçleri vardır.
- Eğimli yerlerde çalışma yetenekleri fazladır.
- Manevra yetenekleri daha yüksektir.
- Seyahat hızları düşüktür; kazı ve döküm yeri arası uzaklıkların kısa olduğu durumlarda ekonomiktirler.
- Aşındırıcı malzemede kullanıldığında bakım maliyetleri oldukça yüksektir.

2.9.1.3.2. Lastik Tekerlekli Yükleyiciler

1933 yıllarında bugün kullandığımız, içi basınçlı havayla doldurulabilen lastiklerin yapılmasıyla başlamış; böylece makinanın hareketliliği sağlanmış ve daha ağır yüklere uygulanabilmiştir. 1930'larm sonlarına doğru, yükleyiciler özel olarak endüstriyel uygulamalar için dizayn edilip üretilmeye başlanmıştır. Bu tarihten önce yükleyiciler, tarımda kullanılan lastik tekerlekli traktörlerin önlerine kepçe ve rijit bom takılarak yükleyiciye dönüştürülmesi yoluyla yapılmaktaydı. 1940'ların sonuyla, 1950'lerin başında bugün kullandığımız iki tekeri tahrikli, küçük kepçe kapasiteli rijit şasili yükleyiciler yapılmaya başlandı. Daha sonraları dört tekerli, tahrikli yükleyicilerin yapımı, endüstride bu makinalara ve daha büyüklerine olan istemi arttırdı. Yükleyicileri, yığın malzemelerin yüklenmesinden kazı yapan makinalar durumuna geçiren en büyük buluş, belden kırmalı (eklemlili şasili) yükleyici dizaynı olmuştur. Bu buluştan sonra yüksek manevra yetenekli, büyük kapasiteli, kazı gücü yüksek yükleyicilerin inşaatçılık ve madencilikteki kazı işlerinde (özellikle 4 yd³'ün üzerinde) hızla yerini aldığını

görüyoruz: Günümüzde rijid şase, iki tekerli, tahrikli makinalar kapasite olarak 1,3 yd³ ve daha küçük kapasiteyle sınırlanmış olup, yığın malzemede kullanmaya uygundur. İlk yükleyicilerin tarım traktörlerinin önüne kepçe takmak suretiyle oluştuğunu belirtmiştik. Bugün de, küçük işler için bu traktör yükleyicilerin kullanım alanı vardır. Ancak günümüzde kullanılanlar hidrolik sistemle kumanda edilmekte ve genellikle arka tarafında kanal v.b. gibi kazı işlerinde kullanılmak üzere backhoe düzeni de bulunmaktadır. Şekil 2.17 böyle bir traktör yükleyici ve backhoe'yu göstermektedir.



Şekil 2.17: Bir traktör yükleyici-kanal kazıcı makinada çalışma boyutları

Lastik tekerlekli yükleyicilerin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibidir.

- Çok seyyarırlar. Bir yerden bir yere nakilleri kolay ve hızlıdır.
- Orta derece ağırlıktaki çalışma koşullarında bakım masrafları oldukça düşüktür.
- Bazalt, takonit, sert marn gibi aşındırıcı formasyonlarda çalışması durumunda lastik masrafı çok yüksek olabilir.
- Paletli makinalara göre manevra yetenekleri düşüktür. Ancak, belden kırmalı tipte olanlar yüksek manevra yeteneğine sahip olup, dar alanlarda çalışmaya uygundur. Dört tekerli tahrikli olanların da iki tekerli tahrikli olanlara göre manevra yeteneği daha yüksektir.

- Seyahat hızları oldukça yüksektir. Bu özellikleri nedeniyle kazılan malzemeyi paletlilere göre kamyon gerektirmeden daha uzağa ekonomik olarak taşıyıp, boşaltabilirler.
- Birim alana düşen yer basınçları oldukça, yüksektir. Bu nedenle kötü zeminde verimleri düşüktür. Diğer bir deyişle, böyle zeminlerde lastiklerin yuvarlanma dirençleri yüksektir.
- Eğimsiz yada az eğimli yerlerde daha iyi performans gösterirler. Son yıllarda geliştirilen paletli lastikler, yükleyicilere kötü zemin koşullarında daha yüksek çekiş ve tutunma gücü sağlamış, eğimli yerde çalışma yeteneğini arttırmıştır. Ayrıca aşındırıcı formasyonda lastik ömrünü uzatmıştır. Böylece lastik tekerlekli yükleyicilerin yukarıda belirtilen zayıf yönleri bir ölçüde dengelenmiş olmaktadır. Aynı amaçla yükleyici lastiklerine özel olarak yapılmış zincirler de takılmaktadır. Ancak bazı görüşlere göre bunun aktarma organlarına zararı dokunmaktadır.

2.9.1.4. Yükleyici Seçiminde Gözönünde Tutulması Gereken Etkenler

Bir makinanın uygulamadaki başarısı, makinanın yapılacak işin özelliklerine göre doğru seçimi ve makinalarda geliştirilen teknolojik yeniliklerin izlenmesi ile yakından ilgilidir. Yükleyiciler, motor, aktarma organları, lastikler, hidrolik pompalar hidrolik valflar, şasi çelik malzemeleri v.b. yönünden sürekli bir gelişim ve evrim içinde bulunmaktadır. Bu gelişim, makinanın çalışma yetenek ve kapasitesini sürekli geliştirmektedir. Örneğin çift difransiyelli, eklemlili şasili lastik tekerlekli yükleyicinin gelişimi, daha önce yalnız paletli yükleyicilerin uygulanabildiği işlere, bu makinaların yaygın olarak girmesini sağlamıştır. Her iş sağlıklı ve ayrıntılı bir biçimde incelendikten sonra, işe en uygun makina seçilmelidir. İşletme maliyeti, üretim verimi ve miktarı, iş esnekliği gibi etkenler makinanın performansını etkilemektedir. Yükleyici Seçiminde işle ilgili olarak gözönünde tutulması gereken etkenler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kazılıp yüklenecek malzemenin özellikleri.
- Üzerinde çalışılacak malzemenin yüzey özellikleri (Lastik, palet ömrü, yüzeye tutunma yeteneği v.b. açısından).
- Kazılan yüklenen malzemenin taşınacağı uzaklık.
- Kazılıp - yüklenip taşınacak malzemenin miktarı.
- Makinanın alternatif ya da ikincil işlerde kullanılabilme durumu.

2.10. EKSKAVATÖRLER

Bir bom ucunda kepçesi bulunan ve çoğunlukla paletler üzerinde hareket eden, elektrik veya akaryakıtla çalışır motorla donatılmış toprak veya cevher kazma yükleme aracıdır. Kepçeli; çarklı ekskavatör gibi çeşitli formasyonlar da çalışabilen tipleri vardır.

Delme patlatma işlemi sonucu gevşetilerek hazırlanan malzemenin veya doğrudan kazılabilir kaya birimlerinin aynadan kazılarak kepçeye doldurulması ve bu malzemenin nakliyat işleminde kullanılacak araçlara boşaltılması işlemini gerçekleştiren bir ekipmandır. Kısaca, çeşitli koşullardaki zeminlerde kazma yapan ve kazdığı materyali kamyon veya benzeri bir taşıyıcı araca yükleyen yapı makinelerine ekskavatör denilmektedir.

Ekskavatör; direk kazı makinesi olup, kazı işlerinin ana makinesidir. Hareket kabiliyetinin çok yüksek olması, kazı ve yüklemeyi aynı anda yapabilmesi nedeniyle en yaygın iş makinesidir.

Ekskavatör büyüklüğü yapılacak kazının amacına göre değişir. Motor gücü, kova hacmi ve kazabileceği kazı derinliği ile orantılı olarak artar.

2.10.1. Ekskavatörün Kullanım Alanları

Ekskavatör, genel olarak yapı temelleri, hendek kazıları, hareket sahası kısıtlı yerlerde direk kazı yükleme gereken kazılarda, drenaj ve sulama kanalları kazılarında, hassas kazı ve kırma işlerinde, tünellerde, orman işlerinde kullanılır. Hareket kabiliyetinin çok yüksek olması, kazı ve yüklemeyi aynı anda yapabilmesi nedeniyle en yaygın kullanılan iş makinesidir.

Amaca göre, lastik tekerlekli veya paletli; yapacağı işin cinsine göre özel ataşmanlı olabilir. Kova yerine, kırma, yıkım, endüstriyel amaçlar için özel ekipmanlara sahip olabilir.

2.10.2. Ekskavatör Çeşitleri

Ekskavatörler enerji sistemlerine göre 2'ye ayrılırlar:

- Elektrikli ekskavatörler

- Hidrolik ekskavatörler

Yürüyüş durumlarına göre 4'e ayrılırlar:

- Paletli ekskavatörler
- Lastik tekerlekli ekskavatörler
- Pabuçlu ekskavatörler
- Kamyon ya da vagon üzerinde monte edilmiş ekskavatörler

Yükleme sistemlerine göre 2'ye ayrılırlar:

- Halatlı ekskavatörler
- Hidrolik ekskavatörler

Malzemeyi alması durumuna göre 3'e ayrılırlar:

- Kepçeli ekskavatörler
- Döner kepçeli ekskavatörler
- Zincirli ekskavatörler

2.10.2.1. Hidrolik Ekskavatörler

1930'lu yılların ortalarından 1950'li yılların ortalarına kadar küçük kepçe kapasiteli ekskavatörler gerek genel kazı, gerekse temel ve bazı kazı işlerinde yaygın olarak kullanılmaktaydı.

1960'lı yıllarda hidrolik kumanda sistemlerinin gelişmesi sonucu paletli ve lastik tekerlekli yükleyiciler genel kazı ve yükleme işlerinde daha yaygın olarak kullanılır olmuştur.

1970'li yılların başında kepçe hacimleri arttırılan hidrolik ekskavatörler genel kazı, madencilik, malzeme yükleme vb. gibi uygulama alanlarında kullanılmaya başlanmış ve diğer yükleyiciler tarafından yapılan işler, bu makinelerce de yapılmaya başlanmıştır.

1980'li yıllardan sonra hidrolik ekskavatörler daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

2.10.2.1.1. Hidrolik Ekskavatörlerin Seçimi

Ekskavatörlerin açık işletmelerde kullanılması durumunda göz önüne alınması gereken bazı önemli özellikler vardır:

- Cevher rezervi ekskavatör kullanmaya yetecek miktarda olmalıdır.
- Cevheri örten toprak tabakasının kalınlığı çok fazla olmamalıdır.
- Dekapajdan çıkacak malzemeyi dökmeye uygun yerlerin bulunması şarttır.
- Cevher yatağının önemli bir kısmının açık işletmecilik yöntemleri ile çıkarılabilmesi mümkün olmalıdır.

Çıkarılacak cevher veya kayaç miktarı çok fazla ise veya üretim ile dekapaj işleri bir arada ve değişik basamaklarda yürütülüyor ise birden fazla ekskavatör gerekliliği ortaya çıkar. Bu durumda çok sayıda küçük kapasitede ekskavatörler ya da az sayıda büyük kapasiteli ekskavatörler seçilmelidir.

Büyük kapasiteli ekskavatör seçmenin faydaları:

- Kazıcı elemanın kapasitesi büyük olduğundan iri parçaları da kazıyarak yükleyebilir.
- Ulaşım mesafesi ve boşaltma yüksekliği fazla olduğu için malzeme daha uzağa ve yükseğe dökülebilir.
- Kazı kuvveti büyük olduğu için sert zeminlerde daha kolay çalışır.
- Personel sayısı azaltılmış olur.

Büyük kapasiteli ekskavatör seçmenin sakıncaları:

- Büyük ekskavatörlerin taşınması zor ve pahalıdır.
- Ekskavatörün arıza yapması durumunda kazı ve buna bağlı işler tamamen durur.
- Büyük ekskavatörlerin yedek parçalarının teminin zordur.
- Büyük ekskavatörlerin maliyetleri daha yüksek ve iş bitince satılmaları daha zordur.

Bu özelliklerin dışında ayrıca; ağırlık, satın alma bedeli, kazı kuvvetinin büyüklüğü, çalışma hızı kumanda kolaylığı gibi özellikler de ekskavatör seçiminde rol oynar.

2.10.2.1.2. Hidrolik Ekskavatörlerin Yapısı, Verimi ve Çalışma Boyutları

Hidrolik ekskavatörler işin ve iş yerinin özelliklerine göre lastik tekerlekli ya da paletli olabilir. Şekil 2.18’de görüldüğü gibi hidrolik ekskavatörler ana hatlarıyla üç bölümden oluşurlar:

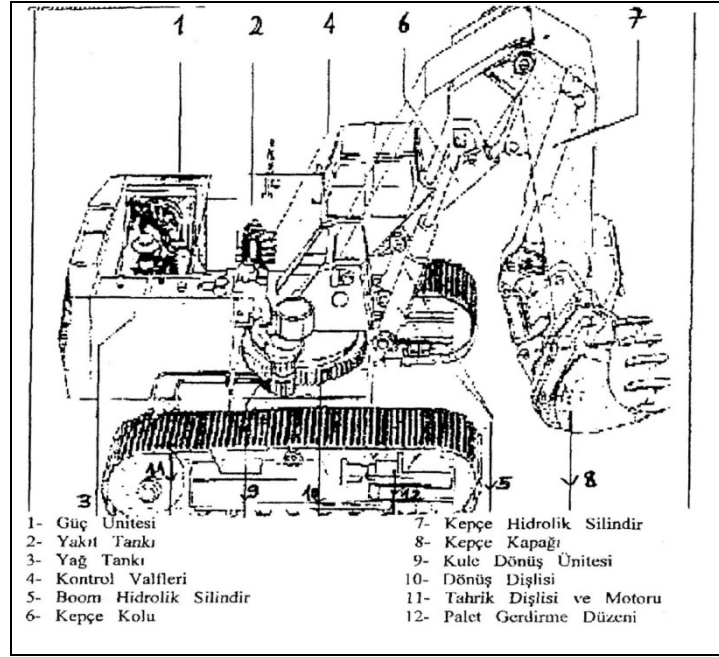
- Alt kısım: Tahrik dişlisi ve motoru, palet gerdirme düzeni ve paletlerdir.
- Üst kısım: Güç ünitesi, yakıt tankı, kontrol valfleri, yağ tankı, kule dönüş sistemi, dönüş dişlisi ve kabindir.
- Ön kısım: Kepçe kolu, kepçe hidrolik silindir, bom hidrolik silindir ve kepçe kapağıdır.

Alt kısım; ekskavatörün ilerleme hareketini sağlar. Paletli, lastik tekerlekli ve şase li olmak üzere üç tiptir. Paletli alt kısımların ilerleme hızı düşük olduğundan dolayı uzak mesafelere uygun değildir.

Lastik tekerlekli alt kısımların ilerleme hızı 30 km/ h’ e kadar çıkabilir. Kamyon şase li alt kısımların ilerleme hızı 50- 60 km/ h’ e kadar çıkabilir. Kamyon şase li ve lastik tekerlekli tiplerin güçleri sınırlı olup, hareket edecekleri zeminin düzgün ve sert olması gerekmektedir.

Üst kısım; alt ve ön kısma hareketin sağlandığı motor ve hareket iletim organları, kumanda yeri ve ön kısmın ağırlığını dengeleyen denge ağırlığının bulunduğu kısımdır.

Ön kısım; üst kısma bağlı hareketli bir taşıma veya ulaşım kolu (bom) ile bu kolun ön ucuna bağlanan işleyici üniteden oluşur. Taşıma kolunun ön tarafına takılan işleyici elemanlar, ekskavatörün isimlendirilmesinde esas alınan elemanlardır. Hidrolik ekskavatörün çalışma boyutları Şekil 2.18’de gösterilmiştir.



Şekil 2.18: Hidrolik Ekskavatörün Yapısı

Hidrolik ekskavatörlerin çalışmalarında ve verimlerinde etkin olan kazı derinliği, dönüş açısı, iş verimi ve kazı faktörleri aşağıda çizelgeler halinde verilmiştir.

Tablo 2.9:Kazı derinliği faktörü

Derinlik(m)	Faktör
0,75	0,97
1,5	1,15
2,2	1,00
3,0	0,95
3,8	0,85
4,5	0,75

Tablo 2.10: Dönüş açısı faktörü

Dönüş Açısı	Faktör
45°	1,05
60°	1,00
75°	0,93
90°	0,66
120°	0,76
180°	0,61

Tablo 2.11: Kazı faktörü

Kazı Durumu	Faktör
Kolay kazı	0,90-1,00
Normal kazı	0,65-0,90
Zor kazı	0,40-0,65

Tablo 2.12: İş verimi faktörü

İş Verimi	Saatteki Çalışma Süresi (dak.)	İş Verimi (%)	Faktör
İyi	55	92	1,10
Orta	45-50	75-83	0,90-1,00
Kötü	40	67	0,80

Ekskavatörlerin verimliliği ve kazı kapasitesi aşağıdaki faktörlere bağlı olmaktadır:

- i. Makine yapısına bağlı olan faktörler
- ii. Teknolojik faktörler
- iii. Jeolojik faktörler
- iv. Sübjektif faktörler
- v. Meteorolojik faktörler

Birinci gruptaki faktörler; kazı elemanlarının mekanik özellikleri ile ilgili faktörlerdir. İkinci gruptaki faktörler; kazı yapılan basamak arını ile ilgili parametrelerdir. Üçüncü gruptaki faktörler; kayacın ve faydalı mineralin mukavemeti, yapısı, kabarma özelliği ile ilgili faktörlerdir. Dördüncü gruptaki faktörler; operatörün etki edebileceği ve kendisine doğrudan bağlı olan faktörlerdir. Beşinci gruptaki faktörler; yağış miktarı ve don gibi hava koşullarıdır.

2.10.2.1.3. Ekskavatör Çalışma Prensibi

İş makinesi olarak ekskavatörlerin genel çalışma prensibi aşağıdaki gibidir. Ekskavatör, otomobil ya da kamyonların aksine hareketi direkt motordan almaz. Motor gücü üretir ve bir aktarma organı vasıtasıyla hidrolik pompaya iletir. Hidrolik pompa, bir kalp gibi tanktan aldığı hidrolik yağı çok yüksek basınçla pompalar. Ana hidrolik pompadan çıkan yüksek basınçlı hidrolik yağ; dönüş pompası, yürüyüş pompası ve çalışma kolları pompasına doğru yönlendirme valfleri vasıtasıyla iletilir.

Dönüş pompası makinanın yürüyüş takımını ana gövdeye bağlayan kısımda bulunan dönüş çarkına iletir ve operatör kabinindeki kumanda kolları sayesinde makinanın kendi çevresinde 3600 dönüş yapabilmesini sağlar. Aynı şekilde yürüyüş pompası ana pompadan aldığı basınçlı hidrolik yağı sağ ve sol olmak üzere iki yürüyüş takımına iletir. Çalışma kollarına basınç sağlayan pompa ise kova, dirsek ve bom olmak üzere makinanın çalışma kollarının hareketini sağlar. Motordan aldığı güçle basınçlı yağ

gücü üreten pompaların hidrolik basınç kuvvetleri flowmetre adı verilen bir aletle ölçülür. Ekskavatör çalışma prensibi Şekil 2.19’da verilmiştir.



Şekil 2.19: Ekskavatör çalışma prensibi

Ekskavatörün periyodik bakımı şu yağlar kullanılarak yapılır:

- Motor Yağı: Türkiye koşullarında yağın cinsine göre ortalama 125-150 motor çalışma saatinde bir değiştirilir. Türkiye koşullarında (15W40) motor yağı kullanılır. Filtreler her iki değişimde bir değiştirilir.
- Hidrolik Yağı: Türkiye koşullarında yağın cinsine göre ortalama 2000 motor çalışma saatinde bir değiştirilir. Türkiye koşullarında (10W) hidrolik yağı kullanılır.
- Gresyağı: Makine üzerindeki dönen aksamlar günlük çalışma sırasında gresyağı ile yağlanır. Makine üzerinde yağlanması gereken bölgelerde yağlama glasörlükleri (yağ basma yuvaları) mevcuttur. Buradan ihtiyaca göre yağ basılır. Dönüş sırasında dönen aksamda ses, aşınma istenmez.

2.10.3. Ekskavatör Hesapları

Ekskavatörün saatteki yükleme kapasitesine etki eden faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. İşletme faktörü
2. Kazı derinliği ile ilgili faktörler
3. Swing açısı
4. Doldurma faktörü

$$A = A_1 \times 1 \times 2 \times 3 \times 4 \quad (2.90)$$

A: Pratik kazı ve yükleme kapasitesi (m³/h)

A₁: Teorik kazı ve yükleme kapasitesi (m³/h)

Tablo 2.13: İşletme faktörü

Çalışma süresi (dakika/saat)	İşletme Faktörü	Çalışma mevcudiyeti (%)
55	1,10	92
50	1,00	83
45	0,90	75
40	0,807	67

Tablo 2.14: Kazı derinliği faktörü

Kazı derinliği (m)	Faktör
1,5	0,97
3,0	1,15
4,5	1,00
6,0	0,95
7,6	0,85
9,1	0,75

Tablo 2.15: Swing açısı ile ilgili faktörler

Swing açısı (°)	Faktör
45	1,05
60	1,00
75	0,93
90	0,86
120	0,76
180	0,61

Tablo 2.16: Doldurma faktörü

Kazı sertliği	Faktör
Kolay kazı	1,00
Orta sertlikte kazı	0,90
Sert kazı	0,65

Basamak yüzeyinde ekskavatörlerle kazı üstten alta doğru yapılır. Kazı sonucu şev yüzeyinde düzgün bir hat elde edilmelidir. Ekskavatörün saatte yükleme kapasitesi (A) aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir.

$$A = \frac{\text{Kepçe hacmi} \times \text{Kepçe dolma faktörü} \times \text{İşletme faktörü} \left(\frac{EP}{SP}\right) \times 3600}{\text{Kabarılma sayısı} \times \text{Kepçe periyodu (s)}} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (2.91)$$

Swing açısı faktörü ve kazı derinliği faktörü çoğunlukla 1 kabul edilmektedir. Kepçe periyodu kepçe çalışırken yapılan kronometraj ile yerinde tespit edilebilir. Kabarma faktörü, arazide 1 m³ kayacın patlatmadan sonraki boşluklar içerikli hacmidir. Parça büyüklüğüne bağlı olarak bu faktör (1 -2 arasında) değişir.

Ekskavatörün yıllık iş miktarı (A₂);

$$A_2 = A \times \text{Günlük çalışma saati} \times \text{Ekskavatörün çalıştığı yılda gün sayısı} \quad (2.92)$$

$$\text{Ekskavatör sayısı} = \frac{\text{Yıllık dekapaj}}{\text{Ekskavatörün yıllık kazı ve yükleme miktarı}} \quad (2.93)$$

2.10.4. Ekskavatör Verimliliği ve Performansı

Ekskavatörlerin performanslarının değerlendirilmesinde; kepçe periyodu, kepçe dolma faktörü ve saatlik üretim miktarları baz olarak alınmıştır. Ancak, bu parametrelerden her biri tek başına kazılabilirliği tayinde yeterli olmamıştır. O nedenle bu üç parametrenin birlikte değerlendirilmesi yapılmıştır. Değerlendirmede elde edilen saatlik kapasiteler, kepçe periyodu ve dolma faktörleri literatürde değişik kazı zorluğu için verilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Saatlik üretimlerin karşılaştırılmasında literatürün kazı zorluğuna göre önerdiği dolma faktörü, kepçe periyodu ve %100 verimle çalışıldığı varsayılarak bulunan saatlik kapasiteler ile ölçümler sonucu bulunan saatlik kapasiteler göz önüne alınmıştır. Çok zor kazı sınıfının kepçe periyotları zor kazı sınıfı değerlerinden 4 saniye daha büyük kabul edilmişlerdir. Saatlik kapasitelerde, benzer şekilde, bu değerlerin kullanılmasıyla bulunmuşlardır. Ölçüm sonucu bulunan kapasiteler, hem fiilen gerçekleştirilen kapasiteler bazında hem de ekskavatörün herhangi bir nedenle beklemesinden kaynaklanan ölü zamanların çıkartılmasıyla elde edilen “beklemesiz kapasite” bazında incelenmiştir. Diğer bir deyişle, eğer ekskavatör hiç beklenmeseydi ne üretilirdi diye yorumlayıp, o lokasyon için yapabileceği maksimum üretim bulunmuştur. Karşılaştırmalarda, literatür kapasitelerini bulurken verimin %100 alınması nedeniyle ve kazı dışında geçen zamanların etkisini azaltmak amacıyla ve kazılabilirlik açısından konuya yaklaşıldığından, beklemesiz kapasite değerleri kullanılmıştır. Beklemesiz saatlik kapasiteler literatürün önerdiği kapasite sınıflarına yerleştirilerek ölçüm yapılan yerin hangi kazı zorluğuna girdiği bulunmaya

çalışılmıştır. Verimlilik ve performansı etkileyen faktörler aşağıda başlıklar halinde anlatılmıştır.

2.10.4.1. Dönme Faktörü

Dragline ve ekskavatörler 360° dönebilecek bir yapıya sahiptirler. Dönme periyodu, dönme açısının büyüklüğü ile belirlenir. Dönme açısındaki değişikliklerin periyot üzerindeki etkisini belirleyen faktöre dönme faktörü denir. Baz olarak 90° alınmalıdır. Bu baz değere göre düzeltme faktörleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2.17: Dönme faktörü

Dönme Açısı (°)	45	60	75	90	120	150	180
Dönme Faktörü	1,2	1,1	1,05	1	0,91	0,84	0,77

2.10.4.2. Kepçe Dolma Faktörü

Dolma faktörü için literatürde önerilen değerler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2.18: Kepçe dolma faktörü

Kazı Sınıfı	Dolma Faktörü (DF)
Kolay Kazı	DF>0,95
Orta Kazı	0,90<DF<0,95
Orta-zor Kazı	0,80<DF<0,90
Zor Kazı	0,70<DF<0,80
Çok zor Kazı	DF<0,70

Bu faktör kepçenin nominal kapasitesi ile taşıdığı fiili miktar arasındaki orantıdır. Kepçenin kayaca ve kırılmış malzemeye batırılabilmesi ve kesme derinliği tarafından tayin edilir. Koşulları belirleyen değerler göreceli olduğundan değişmektedir.

2.10.4.3. Periyot Süresi

Kesikli çalışan bütün makinelerde periyot süresi, iş makinesinin kapasitesinin hesaplanmasında en önemli faktördür. Hesaplamalar makinenin cinsine ve kaldırılacak dekapaja göre değişiklik göstermektedir. Periyot süresi kazı, dönme, boşaltma ve geri dönerek kazı başlangıcına kadar geçen süre kadar olmaktadır. Kronometraj ile belirlenir.

2.10.4.4. Çalışma Süresi Faktörü

Bu faktör, makinenin fiili çalışma zamanının hesaplanmasına örnek olarak, makine eğer net olarak 50 dakika çalışıyorsa çalışma süresi faktörü $50/60=0,83$ 'tür. Makine kapasitesinin hesaplanmasında göz önüne alınması gereken çok önemli bir faktördür.

2.10.4.5. Kabarma Faktörü

Bu faktör yerinde malzeme hacminin gevşetilmiş malzemenin hacmine oranı ile belirlenir. Bir diğer deyişle gevşetilen malzemedeki hacim oranıdır.

$$\text{Kabarma Faktörü} = \frac{\text{Yerinde birim ağırlık}}{\text{Gevşetilmiş birim ağırlık}} \quad (2.94)$$

Tablo 2.19: Kabarma faktörü

Kayaçlar	Kabarma Faktörü	Kepçe Dolma Faktörü (%)
Kum ve hafif kumlu balçık	1,08-1,17	1,10-1,00
Konsolide olmayan kayaçlar ve 15 mm'ye kadar kayaçlar	1,15-1,30	1,0-0,9
Konsolide yumuşak kayaçlar	1,25-1,35	1,0-0,8
Düşük sertlikte kompakt kayaçlar	1,30-1,40	0,85-0,75
Kompakt orta sert kayaçlar	1,35-1,45	0,80-0,70
Sert kompakt kayaçlar	1,40-1,50	0,75-0,65

2.10.4.6. Genel Verimlilik Faktörü

Bu faktör iş şartları ve organizasyon faktörü olarak da isimlendirilebilmektedir. Bazı hallerde hava ve nem durumu gibi faktörlerde çalışmayı etkilemektedir.

Tablo 2.20: Genel verimlilik faktörü

İş koşulları	Organizasyon			
	Mükemmel	İyi	Orta	Kötü
Mükemmel	0,84	0,81	0,76	0,7
İyi	0,78	0,75	0,71	0,61
Orta	0,72	0,69	0,65	0,6
Kötü	0,63	0,61	0,57	0,52

Ayrıca ekskavatör verimini etkileyen bir diğer parametre de ekskavatörü kullanan operatörün tecrübesidir.

2.10.4.7 Operatör Faktörü

Kazı yapılan bir makineden daha iyi verim almak bu makineyi kullanan operatörün doğrudan becerisine bağlıdır. Ekskavatörlerin performanslarında da görüleceği gibi kötü bir operatör ile tecrübeli bir operatör aynı koşullarda aynı üretimi gerçekleştirememektedir.

Kapasiteyi etkileyen diğer unsurlar aşağıdaki gibidir:

- Düşük derecedeki esneklikler

- Düşük derecedeki manevra kabiliyeti
- Düşük yürüme hızı
- Toprak kayması
- Ocağı su basması

Ekskavatörün çalışma şartlarının ideal olduğu ortamlarda bir saatte yaptığı iş miktarı “teorik kapasite”, patlatılıp – gevşetilmiş malzemede bir saatte m³ cinsinden yaptığı iş ise “fiili kapasite” olarak adlandırılmaktadır.

2.10.5. Ekskavatör ile Yükleme Faaliyeti

Patlatılmış kayanın kazısı ve yüklenmesi patlatmadan sonraki ilk ardışık işlemlerdir. Kazı ve yükleme faaliyetleri çoğunlukla lastik tekerlekli yükleyiciler ve hidrolik ekskavatörlerle yapılmaktadır. Yığının gevşekliği ve parça boyut dağılımı, kepçe yükleme süresini ve yükleyicinin çalışma performansını direkt olarak etkilemektedir. Yükleyici verimlilik çalışmaları, yükleyicinin saatlik üretim maliyeti ve kazı ve saykıl periodları karşılaştırılarak yapılır.

2.10.5.1. Ekskavatör Yükleme Verimliliğini Etkileyen Faktörler

Ekskavatörün çalışma verimliliğini etkileyen başlıca iki tane faktör vardır. Bunlar: güç (sökme kuvveti) ve hızdır (kepçe çevrim süresi veya saykıl süresi). Ekskavatör saykıl süresi dört kısımda incelenmektedir. Bunlar aşağıdaki gibidir.

- Ekskavatörün kepçesini doldurması (kazı süresi)
- Dolu kepçenin manevrası
- Kepçenin boşaltılması
- Boş kepçenin manevrası

Toplam saykıl süresini etkileyen en etkili kısım ise ekskavatörün kepçesini doldurma süresi, yani kazı süresidir. Toplam saykıl süresi içinde kazı süresinin miktarı yaklaşık saykıl süresinin yarısı kadardır.

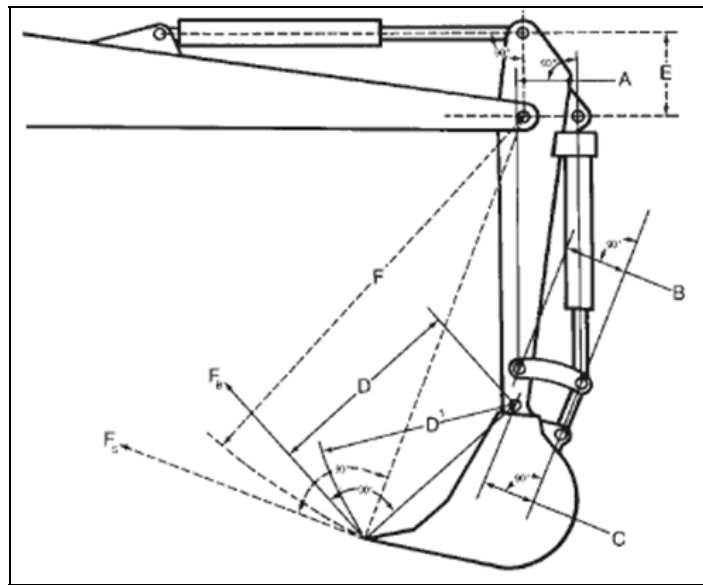
Patlatılmış kaya üzerinde çalışma yapan bir ekskavatörün kepçe yükleme süresini etkileyen faktörler şöyle sıralanabilir;

- Yığının parça boyut dağılımı
- Operatörün tecrübesi
- Kepçe hacmi
- Kepçe batma kuvveti

Parça boyut dağılımının ve yığın gevşekliğinin kazı ve kepçeyi yükleme periodu üzerinde önemli etkisi vardır. Normalde parça boyutu küçüldükçe, kazı periodu azalmaktadır. Diğer manevra periodları ise ekskavatörün gücü ve operatörlerin tecrübesiyle ilgilidir. Toplam saykıl süresini ve dolayısıyla kazı süresini etkileyen diğer bir parametre ise operatörün tecrübesidir. Ekskavatörün kepçesinin dolu ve boş olarak manevra etmesi ve boşaltma süreleri ise yine ekskavatörün güç ve hızı hariç tutulduğunda operatörün tecrübesi ve kamyonun ekskavatore yaklaşma mesafesi ile ilgilidir. Ekskavatörün sökme gücü sabit tutulduğunda, kepçesine doldurmaya çalıştığı malzemenin parça boyut dağılımına göre kazı süresi artar veya azalır. Normal olarak küçük tane boyutlu yığınlarda çalıştığı zaman bu süre daha az olacak, boyut arttıkça kepçe yüklemde zorlanacağından, süre de artacaktır.

2.10.5.2. Ekskavatore Etki Eden Kuvvetler

Ekskavatörün sökme kuvveti iki bileşen olarak tartışılabilir. Bunlar kepçe doldurma kuvveti (F_B) ve itme kuvveti (F_S) dir. Ekskavatore etki eden bu iki kuvvet aşağıda Şekil 2.20'de gösterilmektedir.



Şekil 2.20: Kepçe Doldurma (F_B) ve İtme (F_S) Kuvvetlerinin Şematik görünümü

F_B = Kepçe silindiri tarafından uygulanan çapsal dış kuvvet

$$= \frac{\text{Kepçe Silindiri Kuvveti}}{D \text{ Kolu Uzunluğu}} \left(\frac{A \text{ Kolu} \times C \text{ Kolu}}{B \text{ Kolu}} \right) \quad (2.95)$$

Silindir Kuvveti = (Basınç) \times (Silindir Kafasının Bitiş Alanı)

D Kolu = Kepçe Uç Yarı Çapı

F_S = Batırma silindiri tarafından uygulanan çapsal dış kuvveti

$$= \frac{(\text{Batırma Silindiri Kuvveti}) \times (E \text{ Kolu Uzunluğu})}{(F \text{ Kolu Uzunluğu})} \quad (2.96)$$

F Kolu = Kepçe uç yarıçapı + batırma uzunluğu

2.11. ÇENELİ KIRICILAR VE BİRİNCİL KIRMA İŞLEMİ

Çeneli kırıcıların kırma oranı, a ağız açıklığı / ç çıkış açıklığı = 6-9 arasındadır. Çeneler arasındaki açı, beslenen en iri malın kavranması bakımından önemlidir. En iri besleme tanesinin ağız açıklığının %85'i kadar olmasının yanı sıra söz konusu kavrama açısının 18-24 olması gerekmektedir. Çenelerin çıkış açıklıklarını ve hareket miktarlarını ayarlamak mümkündür. Hareket miktarının gereğinden fazla olması, daha ince ürün meydana gelmesine ve makinenin aşırı yüklenmesine neden olur. Kırıcı küçüldükçe hareket miktarı küçülür fakat hareket sayısı artar, büyüdükçe tersi olur. Hız artışının, düz yüzeyle çenelerde önemi fazla olmaz, ancak kavisli çenelerde ürünün incelenmesine sebep olur. Hız arttıkça da makine fazla yüklenir.

Çeneli kırıcılarda hareketli çenenin hareketlerinin sıklığı ve hareket miktarı büyük önem taşır. Hareket sayısı çok fazla ise kırılan malzeme aşağıya kaymak için fırsat bulamaz, çok küçük ise aksi olur. Her iki durumda da kapasite azalır. Hareketin salınım sayısı pratikte dakikada 180-250 civarındadır. Hareketin salınım miktarı, çıkış ağzında 15-25 mm olarak seçilir. Giriş ağzındaki salınım miktarı da önemlidir ve genellikle 4-6 mm civarındadır. İri tanelerin girmesini sağlamak için sallantı mili giriş ağzı açıklığından yeterli miktarda yukarıda bulunmalıdır.

İnce çeneli kırıcılarda hareketli çene, çıkış açıklığı yakınında malzemenin bir miktar duralamasını temin maksadıyla, genellikle konkav yapılmıştır. Böylece çene açısı, çıkış kısmına doğru biraz küçülür. Bu husus kırılan malın iriliğinin homojenliği lehine tesir eder. İnce kırıcılarda ağız açıklığı daha küçüktür. Zira önceden kırılmış malzemeyi işlerler. Kaba kırıcılarda ağız genişliğinin ağız açıklığına oranı 1.6 civarında iken, ince kırıcılarda bu oran daha büyüktür. Hareket salınım sayısı dakikada 275-400 arasındadır. Salınım miktarı kaba kırıcılarda daha büyük, ince kırıcılarda daha küçüktür. (10-12 mm)

İri çeneli kırıcılar, büyük kapasitede, büyük ağız boyutlarında (2500x1800 mm) ve 260 tona kadar olan ağırlıkta yapılırlar. Bu kırıcıların, çene sırtları parçalıdır. Kaba ve ince kırıcıların tersine sabit çene meyilli, fakat hareketli çene düşeye yakındır. Bunlar özel bir yatak yağlanmasına ihtiyaç gösterirler ve yağ dolaşımı donanmışlardır. Büyük hareket diskleri aynı zamanda tahrik volanı ödevini görürler. Harekete başlamadan büyük güce ihtiyaç olduğundan iri çeneli kırıcılar, iki tahrik motoru ile donanmışlardır. Bunlarda hareket sayısı dakikada 140-180 dolayındadır.

Çeneli kırıcılar sert ve orta sert arasındaki malın kullanılan makineleridir. Kaba kırıcı olarak maden zenginleştirme işlemlerinde ve taş toprak endüstrisinde, kimya endüstrisinde ve inşaat işlerinde kullanılırlar. Küçük ve orta büyüklükteki kapasiteler için çoğunlukla konik kırıcılar kullanılırlar. İnce kırıcılar çoğunlukla taş ve toprak endüstrisinde nihai kırıcılar olarak kullanılırlar, cevher hazırlama işletmelerinde ise düz konik kırıcılar tercih edilir.

2.11.1. Çeneli Kırıcı Tipleri

Üç çeşit çeneli kırıcı vardır. Bunlar;

- Blake tipi çeneli kırıcılar
- Dodge tipi çeneli kırıcılar
- Üniversal tip çeneli kırıcılar

Hareket eden çenenin mil üzerine yerleştirildiği noktaya göre sınıflandırılırlar. Günümüzde en çok kullanılanı Blake tipidir. Eli Whitney Blake tarafından 1958 yılında patenti alınmıştır. Blake tipi çeneli kırıcılar üstten sabitlenmiş olup iki çeşidi vardır.

2.11.1.1. Blake Tipi Çeneli Kırıcılar

İlk sanayi tipinde çeneli kırıcılar patenti 1858 yılında ABD’de Blake tarafından alınmıştır. Bugün kullanılan çeneli kırıcıların hemen hepsi bu tip kırıcılardır. Blake tipi kırıcılarda kırılma işleminin yapıldığı sabit ve hareketli çene arasındaki kırma boşluğunun daralıp genişlemesini sağlayan çenenin hareketi alttandır. Yani çene üstten mafsallıdır. Daha sonra geliştirilen alttan mafsallı Dodge tipi ve ortadan mafsallı çenesi paralel hareket eden Universal tipi bugün artık kullanımdan kalkmıştır. Çeneli kırıcılar fasıllı olarak çalışmaktadırlar ve çalışma sürelerinin yaklaşık %75 kadarında faydalı iş yapmaktadırlar.

Blake tipi çeneli kırıcılar ya çift hareket kollu olarak veya tek hareket kollu olarak imal edilmektedirler. Çift hareket kollu çeneli kırıcılarda çenenin hareketi, aşağı yukarı düşeye yakın hareket eden bir çekme kolu yardımıyla sağlanır. Çekme kolu hareket milinden aldığı düşey hareketi, bir çift basınç kolları yardımıyla yatağa yakın harekete çevirerek, hareketli çeneyi alt tarafındaki bir tutma noktasından ileri geri hareket ettirir. Hareketli çene, çene plakasının üstünde bir seviyeden mesnetlenmiştir. Dolayısıyla çenenin alt çıkış kısmı ileri geri hareket yaparken üst ağız açıklığı çok az hareket eder. Böylece çene girişindeki üst seviyede iri tanelere olan baskı kuvvetli, kırılarak çenenin altına inmiş bulunan küçük tanelere intikal eden baskı kuvvetine nispetle daha küçüktür. Böyle bir çalışma sisteminde çene arasına ilk giren az sayıdaki iri tane için gerekli olan kuvvetle, çene altlarına inen çok sayıdaki tanelere gerekli olan kuvvet optimum bit şekilde dağılmış olur. Diğer taraftan çene hareketinin alt tarafa daha fazla olması sayesinde, çene altında sıkışma problemi ortadan kalkmış olur.

Çift kollu çeneli kırıcılar, iri kırıcılar olarak çene genişliği 1000 mm ve çene açıklığı 800 mm’ye kadar, primer kaba kırıcılar olarak 2500x1800 mm’ye kadar imal edilmektedirler, çenenin çıkış açıklığı, kırılmış malın en iri tanesinin iriliğini sınırlar. Çene çıkış açıklığından, çenenin en açık olduğu andaki çene yivlerinin birbirlerine en yakın oldukları uzaklık kastedilir.

Tek kollu çeneli kırıcılarda, önemli fark, hareketli çenenin üst ucundaki kovanın eksantrik mil üzerine geçmiş olmasıdır. Böylece daha hafif ve daha kompakt bir dizayn sağlanmıştır. Eksantrik milin dairesel hareketi, hareketli çene boyunca, yukarıdan aşağı doğru bir sallama hareketine sebep olur. Hareketin bu özelliği sayesinde, çeneler arasındaki parçalar çıkış aralığına doğru harekete zorlanır. Çıkış aralığında salınım hareketinin küçülmesiyle, kırılmış üründe ortalama tane iriliğine kıyasla daha az sayıda fazla iri tane bulunacaktır. Tek kollu çeneli kırıcılara oranla daha büyük kapasiteye sahip olmalarını sağlamıştır. Genellikle ikincil kırıcılar olarak kullanılırlar. Primer kırıcı olarak kullanılmaları ancak küçük tesisler için mümkündür. Çok büyük boyutlarda imal edilmeleri mekanik sakıncalar doğurur ve bakım masrafları daha fazladır. İmal maliyetleri çift kollulara nispetle yarı yarıya ucuzdur.

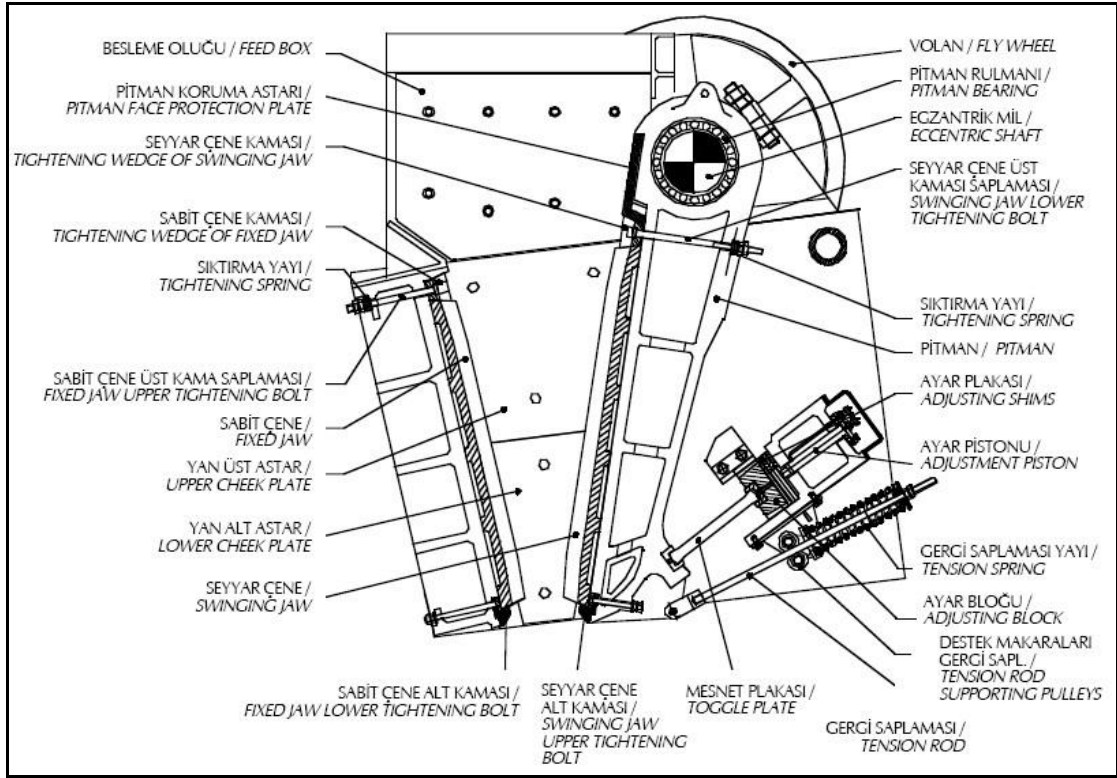
2.11.1.2. Çarpmalı Çeneli Kırıcılar

Çarpmalı çeneli kırıcılarda, kırılma işlemi daha ziyade çarpma etkisiyle olmaktadır. Bunlarda kırma boşluğu, oldukça yatay duran hareketli kırıcı çenesi ile bunun üst tarafında duran sabit kırma çenesi arasında bulunmaktadır. Hareketli çene, hareketli çene üzerinde bulunan şafta yataklanmıştır. Hareketli plaka eksantrik volanın iki tarafındaki çekme kolları vasıtasıyla sağlanır. Bunun görevi aynı zamanda çeneler arasına kırılmayacak bir parça geldiğinde, çenelerin kırılmasına mani olmaktır. Çıkış açıklığı ayar civataları yardımıyla ayarlanabilir. Hareket sayısı oldukça yüksek, yaklaşık dakikada 400 civarındadır. Malın kırma boşluğunda çok defa çarpma kırılmasına zorlanması ile, küp şekilli ve köşeli tanelerin meydana gelmesine uygun bir parçalanma sağlanır.

Çarpmalı kırıcılar daha ziyade, demir alaşımları gibi çok sert malın kırılması için uygundurlar. Ön ve son kırıcı olarak kullanılabilirler. Ön kırıcılar olarak 2000x1250 mm ağız açıklığında imal edilirler. 300 mm çıkış açıklıklı en iri çarpmalı kırıcılar 5000m³/h kapasiteye ulaşmaktadırlar. Son kırıcılar olarak ağız açıklıkları en fazla 1000x200 mm'dir. Bunların çıkış açıklıkları 70 mm ve kapasiteleri 80m³/h'dir.

2.11.2. Çeneli Kırıcıların Kısımları ve Çalışma Parametreleri

Çeneli kırıcılar işletmelerin ihtiyaçları doğrultusunda çeşitli ebatlarda üretilirler ve üretiminde çok dayanıklı çelik malzemeler kullanılır. Şekil 2.19'da bir çeneli kırıcının tüm kısımları verilmiştir.



Şekil 2.21: Çeneli kırıcının kısımları

Şekil 2.21’de görüldüğü üzere hareketli çene eksantrik mil üzerine asılmış olup, eksantrik milin dönüşüne bağlı olarak dikey bir doğrultuda hareket eder. Hareketli çenenin elips şeklindeki hareketi kayanın çene ağız açıklığına doğru itilmesini sağlar ve bu sistem tek mafsallı çeneli kırıcının yüksek kapasitede çalışmasını sağlar. Mafsal mekanizması hareketli çeneyi sabit çeneye doğru hareket ettirir ve eksantrik boyunca kırma için gereken kuvveti sağlar. Volan, kırıcının hareketi süresince sabit hızı sağlamak için gerekli olan momentumdan sorumludur.

2.11.2.1. Kırıcı gövdesi

Çeneli kırıcının bütün parçalarını bir arada tutmanın yanında, ağır iş makinesi olan kırıcıya gelen kuvvet ve şokları da karşılar. Darbeli çalışma nedeni ile gövde, çelik döküm ya da çelik levhaların kaynakla birleştirilmesi yoluyla imal edilir. Dış kısımlarda yatay ve dikey kuşaklarla takviye edilir. Modern çeneli kırıcıların gövdesi çelik levhaların kaynakla birleştirilmesi yöntemi ile imal edilmektedir. Gövdenin tek parça imalatının yanında taşımada sorun çıkmaması için parçalı yapılar yerinde montaj edilmesi daha elverişlidir. Gövdenin bir yanı sabit çene olarak kullanılır.

2.11.2.2. Hareketli çene

Yüksek mukavemet ve esneklik sağlayan çelik dökümdür. Rulman yuvaları aynı ekseninde olacak şekilde hassas olarak işlenmiştir.

2.11.2.3. Yan astar plakaları

Çeneler, çelik plakaların kaynakla birleştirilmesi yoluyla veya çelik döküm olarak yapılırlar. Kırma esnasında çenenin ve gövdenin aşınmasını önlemek amacı ile aşınmaya dayanıklı yüzey plakalar kullanılır. Bu plakalar düz veya kavisli, yüzeyleri de girintili ve çıkıntılı olabilir. Bu plakalarda aşınma en fazla boğaz kısmında olur. Büyük kırıcılarda astar plakası olarak tek plaka yerine yatay parçalar halinde plakalar kullanılır. Tek bir plaka kullanılması durumunda bu plakanın alt ve üst kısmı simetrik yapılır ve ters yüz edilmek suretiyle her iki ucu da kullanılır Böylece yüzey plakasının ömrü uzatılmış olur.

2.11.2.4. Eksantrik Mil

Özel alaşımli (Mn, Cr, Ni, Mo) dövme çelik malzemedden hassas olarak işlenmiştir. Milin ölçüleri yeterince büyük tutularak sağlamlığa önem verilmiştir.

2.11.2.5. Yataklama Grubu

Kırıcılar, kırma operasyonu esnasında zorlama sebebiyle milde oluşabilecek eksen sapmalarına karşı kendi kendine ayar sağlayabilen oynak makaralı yataklarla donatılmışlardır. Yataklar, içeriye toz girişini önleyen ve aynı zamanda gres yağının dışarıya kaçmasına engel olan çok az boşluklu labirentlerle korunmuşlardır.

Kırıcı yatak yuvaları, gövde sacına kaynaklı alt parça ve ana cıvata ile bağlanan üst kepten oluşmaktadır.

2.11.2.6. Emniyet Plakası Yuvaları

Özel çelik döküm olup, plaka uçları traşlanarak hafif yuvarlatıldığından, yuvalardan kayma yerine yuvarlanma hareketi yapar. Bu nedenle özel bir yağlamaya gerek kalmaz.

2.11.2.7. Volan

Kırıcı hareketinin şekli salgılı ve dengesiz olduğundan, bir volan devrinde kırma yapılmadığında enerji volanlarda depo edilerek kırma esnasında kırıcıya verilir. Bu sayede kırıcının yük çekmesi nispeten dengelenmiş olur. Çap ve ağırlıkları aynı olan iki volan eksantrik milin iki ucuna yerleştirilir. Volanların çap yüzeylerinin düz olmasının yanında tahrik tarafı kayış takmak için yiclidir. Çok büyük kırıcılarda çift taraftan da hareket verilebilir.

2.11.2.8. Kırıcı Çıkış Ayarı

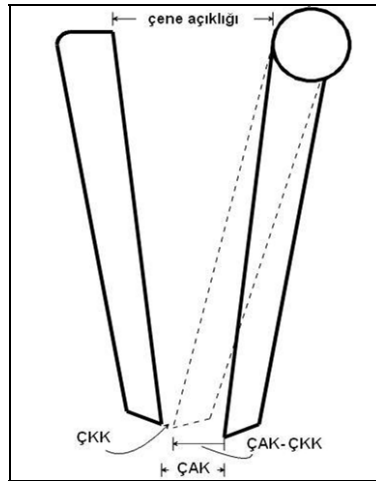
Kırıcıdan çıkan ürün iriliğini ve kapasiteyi ayarlamak için, çıkış ağız aralığını değiştirmek gerekir. Hidrolik çene ayar sistemi çenenin istenen ağız açıklığına getirilmesinde oldukça kolaylık sağlamaktadır. Piston hareketi ayar bloğunu ve emniyet plakasını iterek pitman üzerindeki hareketli çenenin sabit çeneye yaklaşmasını sağlar. Kırma işlemi ancak belirli kavrama açıları arasında verimli olarak yapılabildiğinden, kırıcı çıkış ağız ayarı, kırıcı tipine göre belirli limitler arasında yapılabilir.

Besleme parça boyutunu belirleyen faktörler şunlardır;

- Kırıcıya giren ürün boyutu
- Sıkıştırılabilecek ürünün tane boyutu
- Herhangi bir zamanda çene ağız açıklığından geçebilecek ürünün tane boyu
- Çeneler en açık konumdayken çene ağız açıklığından geçebilecek ürünün tane boyu

Çıkan ürün boyutunu belirleyen parametreler şunlardır;

- Ağız açıklığı: Besleme sırasında çeneler arasındaki mesafe
- Çenelerin birbirine en yakın mesafesi. (ÇKK: Çene Kapalı Konum)
- Çenelerin birbirine olan en uzak mesafesi. (ÇAK: Çene Açık Konum)
- Hareketli çenenin darbe gücü ve ÇKK ile ÇAK arasındaki fark



Şekil 2.22: Çeneli kırıcı boyutlarının şematik görünümü

Şekil 2.22’de görüldüğü gibi ÇAK (Çene Açık Pozisyon), hareketli çenenin sabit çeneye en uzak konumdayken çeneler arasındaki uzaklık, ÇKK (Çene Kapalı Pozisyon) ise, Hareketli çenenin sabit çeneye en yakın konumdayken çeneler arasındaki uzaklıktır.

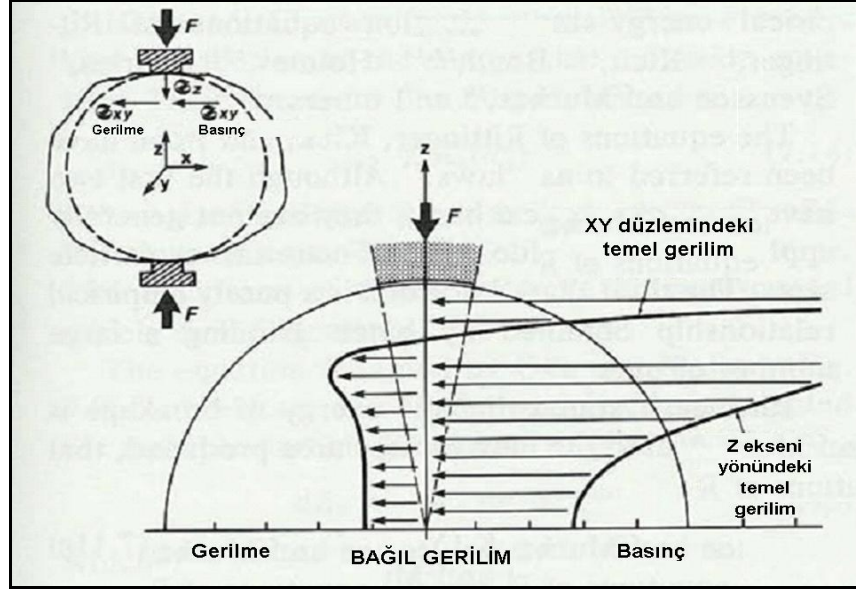
Çeneli kırıcılar çene açıklıklarına göre sınıflandırılırlar. Çene açıklığı 250-500 mm ile 1524-2032 mm arasında değişir. Çeneye beslenecek malzemenin boyutunun çene açıklığının %80’inden fazla olmaması kırma verimliliği için pratik bir işlem olacaktır.

Ürün parça boyut dağılımını kırıcının ÇAK ve ÇKK boyutları belirler. ÇKK boyutu 19mm’den 711mm’ye kadar çıkabilir. Üretici firmalar çeşitli boyutlardaki kırıcılar için tablolar oluşturmuşlardır.ÇAK-ÇKK boyutu istenilen kırma tipine bağlıdır. İri malzeme kırma işlemi uzun darbeler ve ince malzeme kırma için ise kısa darbeler kullanılır.

Kırıcı hızı da diğer bir önemli işlem parametresidir. Tek mafsallı çeneli kırıcıların hızları 200 dk/devir’den 350 dk/devire kadar ulaşır ve kırma hızı 200 dakika/devir’in altına düşmez. Kırıcının hızı makine boyutu büyüdükçe küçülür ve bir çok tek mafsallı çeneli kırıcılar yaklaşık 225 dakika/devir ile çalışır.

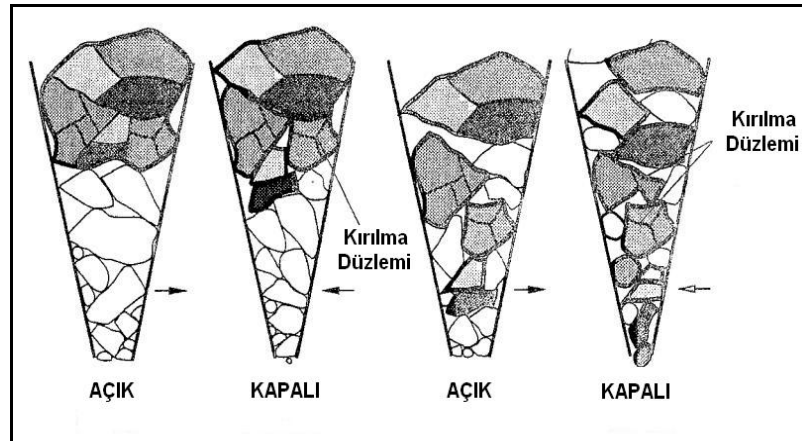
2.11.3. Kırma İşlemi

Çeneli kırıcılar sıkıştırma işlemi yapan makinelerdir ve eksantrik mil ve mafsalların hareketi ile çok güçlü kırma gücü oluştururlar. Malzemenin kırılması için malzeme üzerindeki kırma gücünün yeteri kadar fazla olması gerekmektedir. Malzeme çeneler arasında sıkıştırıldığında malzeme üzerinde bir çekme kuvveti oluşur. Uygulanan basınç ile malzemenin çekme basıncına dayanımı yıkılmış olur. Şekil 2.23’de görüldüğü gibi çeneler gerilme kuvvetini yenmek için basınç kuvveti uygular.



Şekil 2.23: Bölgesel Basınç Altındaki Parçanın Gerilim Dağılımı

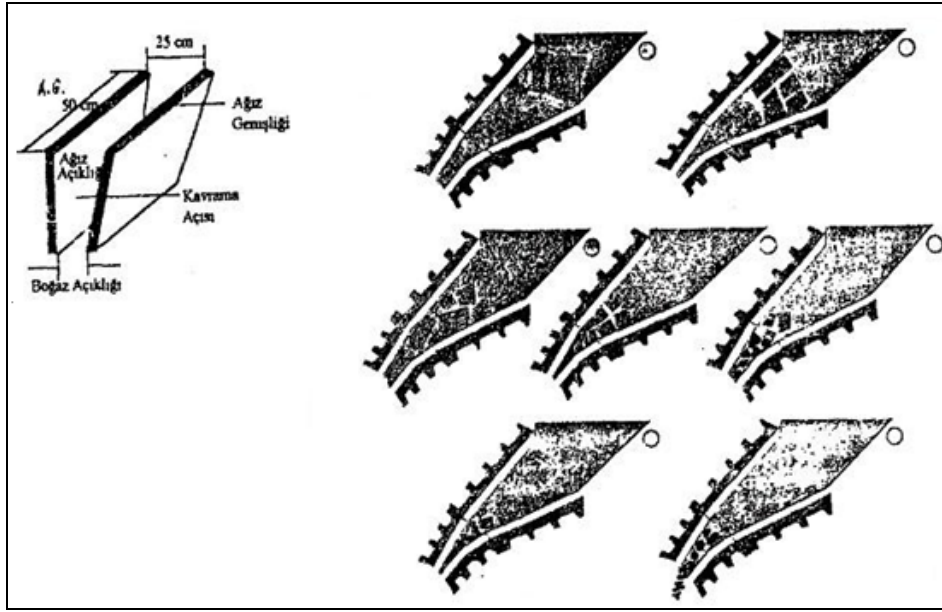
Malzeme sıkıştıktan ve direnci düştükten sonra tekrar sıkışmadan önce kırma zonunda yeni pozisyonuna geçer. Parçalar çene açıklığından geçecek boyuta gelene kadar bu döngü içinde çene açıklığına doğru akarak kırılmaya devam ederler. Bu sadece çeneli kırıcılar için geçerli olan bir sistemdir. Çenenin sürekli işlem yapıp malzemeyi eritmesi üstten gelen malzeme için yeteri kadar yer açılmasını sağlar. İşlem, parçalar çene açıklığından geçecek konuma gelene kadar ve kırıcı içinde üst kısımda büyük parçalar alt kısımda da küçük parçalar olacak şekilde sınıflandırılarak devam eder. Şekil 2.24'de kırma işlemi sırasında çeneler açık ve kapalı konumdayken oluşan kırma ve sınıflandırma işlemi gösterilmiştir.



Şekil 2.24: Çeneli Kırıcıda Kırma ve Sınıflandırma

2.11.3.1 Çeneli Kırıcılarda Kırma Zonu

Çeneli kırıcılarda çene plakaları ile yan plakalar arasında kalan bölgeye kırma zonu denir. Kırma zonunun giriş kısmında çeneler arasında kalan yatay mesafeye ağız açıklığı, çıkışta kırıcı plakaların arasında kalan mesafeye de boğaz açıklığı denir. Çenenin en kapalı durumundaki boğaz açıklığına kapalı pozisyon, en açık durumuna da açık pozisyon denir. Şekil 2.25’de görüldüğü gibi kırma zonu çenelerin birbirine yaklaşıp uzaklaştığı bölgedir.



Şekil 2.25: Çeneli Kırıcıların Kırma Zonu ve Çenelerin Kırma Pozisyonları

Bütün çeneli kırıcılar ağız boyutları ile tanınırlar. Örneğin; 25X50 cm gibi. Kırıcıya verilecek cevher ebatları bu ağız boyutuna bağlıdır. En büyük parça boyutu ağız açıklığının %80-90’ının geçmemelidir. Aksi takdirde parça yeteri kadar aşağı inemez ve çeneler tarafından kavranamaz. Bu suretle de ağızda tıkanmalar nedeniyle kırma işlevi aksar.

2.11.3.2. Çeneli Kırıcılarda Kavrama Açısı

Çene plakaları arasındaki açıya kavrama açısı denir. Bu açı parçaların çeneler tarafından kavranarak kırıcı kuvvetinin parçaya bindirilmesi bakımından önemlidir. Kavrama, kırılacak cevherin özelliğine bağlıdır. Kaygan cevher için daha küçük kavrama açısı kullanılır. Çeneli kırıcılarda bu açı genellikle 18° ile 24° arasındadır. 26°’den büyük açılarda kayma nedeni ile kapasite kaybı ve aşınmanın artmasına sebep olunur.

Kırılacak cevher ile çene plakaları arasındaki sürtünme katsayısı tespit edilebilirse parça cevherin iki çene plakası arasından fırlaması için gerekli kavrama açısı $Tg\theta = 2\mu/(1-\mu^2)$ ifadesi ile bulunabilir.

2.11.4. Çeneli Kırıcı Seçimi

Kırıcı operatörünün kırma işi üzerindeki etkisi kırıcı makine ile doğrudan ilişkilidir. Agregada kırma işlemi için kullanılacak olan birincil çeneli kırıcı seçimi için önemli olan ana parametreler;

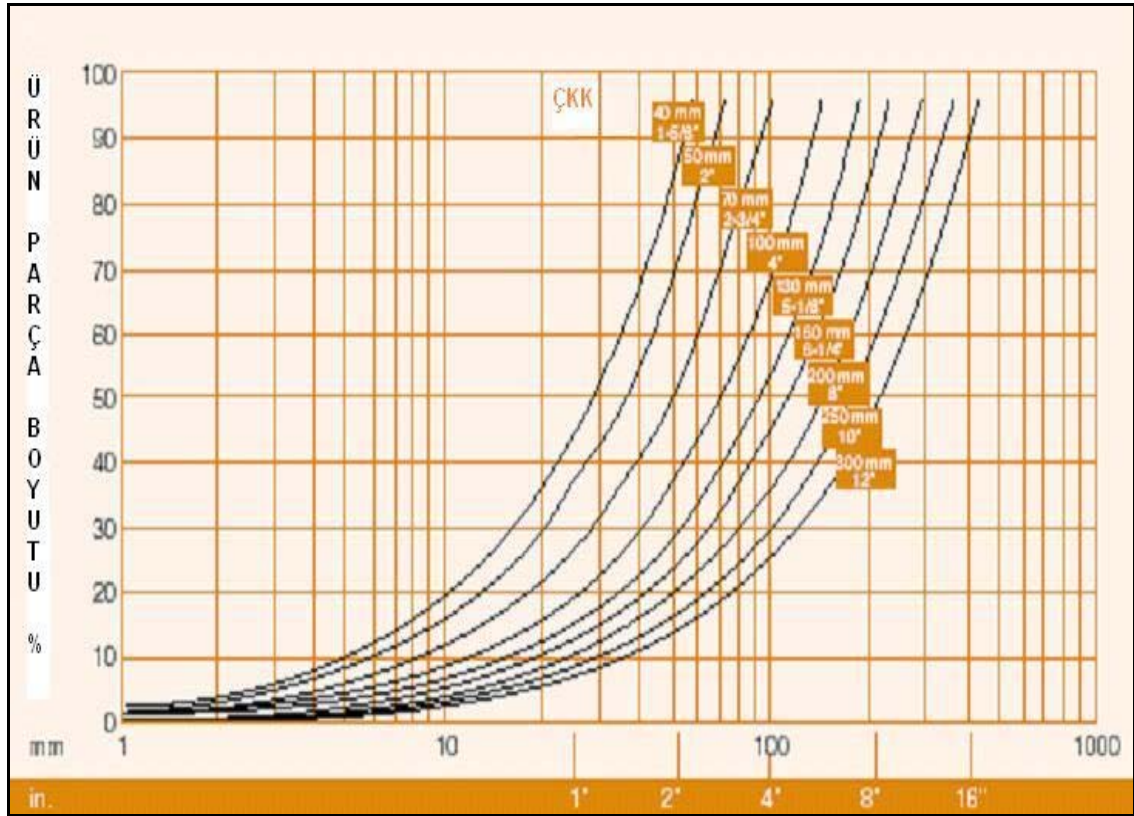
- Kayanın petrografik yapısı
- Agreganın sertliği
- Kayanın sertliği
- Kayanın kırılma özelliği
- Kayanın gevrekliği
- Kayanın yapraklı yapıda olup olmaması
- Besleme boyutu
- İstenen parça boyutu
- İstenilen üretim miktarı
- Ayrılan bütçe
- Uzun vadede kırıcının ortaya çıkaracağı maliyet

Kayanın petrografik yapısı ve gereken kırma gücü kırıcı türünü ve ardından gereken kırıcı gücünü belirlemek için gereklidir. Kırıcının doğru olarak seçilmesi için, kayanın fiziksel özellikleri kırıcının mekanik niteliklerinin belirlenmesinde kullanılabilir ama genelde besleme boyutu ve istenilen ürün boyutu kırıcının boyutunun ve çeşidinin seçiminde daha önemli rol oynar.

İkincil kırma işleminden kaçınmak amacıyla en geniş çene açıklığındaki kırıcıların kullanılması çözüm olabilir. Çeneli kırıcı seçildiğinde istenilen ürün boyutunun ve üretim miktarının sağlanıp sağlanmadığı belirlenebilir. Daha önce de belirtildiği gibi

çeneli kırıcının çene açıklığı ürün boyutunu belirler. Belirlenen çeneli kırıcı çene açıklığı azaltılıp artırılarak istenilen ürün boyutunu verebilir.

Çeneli kırıcı seçimi analiz grafikleri ve kapasite tablolarıyla kolaylaştırılabilir. Metso Minerals şirketi Nordberg C Series isimli çeneli kırıcıların seçimi için bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Bruno isimli program kaya tipi, besleme boyutu derecesi, istenen kapasite, ürün boyutu ve istenilen üretim miktarı gibi parametreleri kullanır. Çeneli kırıcı üreticilerinin dataları ve kayanın kırılabilirlik faktörüne bağlı olan bir verimlilik analizi gerçekleştirilmiştir. Grafikler, tablolar ve diğer veriler genellikle standart kaya tiplerine göre oluşturulur. Şekil 2.26'da çeneli kırıcıların ÇKK'sına göre ürün parça boyut dağılımı verilmektedir.



Şekil 2.26: ÇKK'ye Göre Ürün Parça Boyut Dağılımı

2.11.4.1. Kaya Sınıflaması

Üreticiler kırıcıda kullanılacak gücü belirlemek için kayaların mekanik özellikleri kullanarak, kayaları sınıflandırmak için testler uygulamışlardır. Ana özellikleri yukarıda saymıştık fakat basma kuvveti çeneli kırıcı seçiminde çok daha önemlidir.

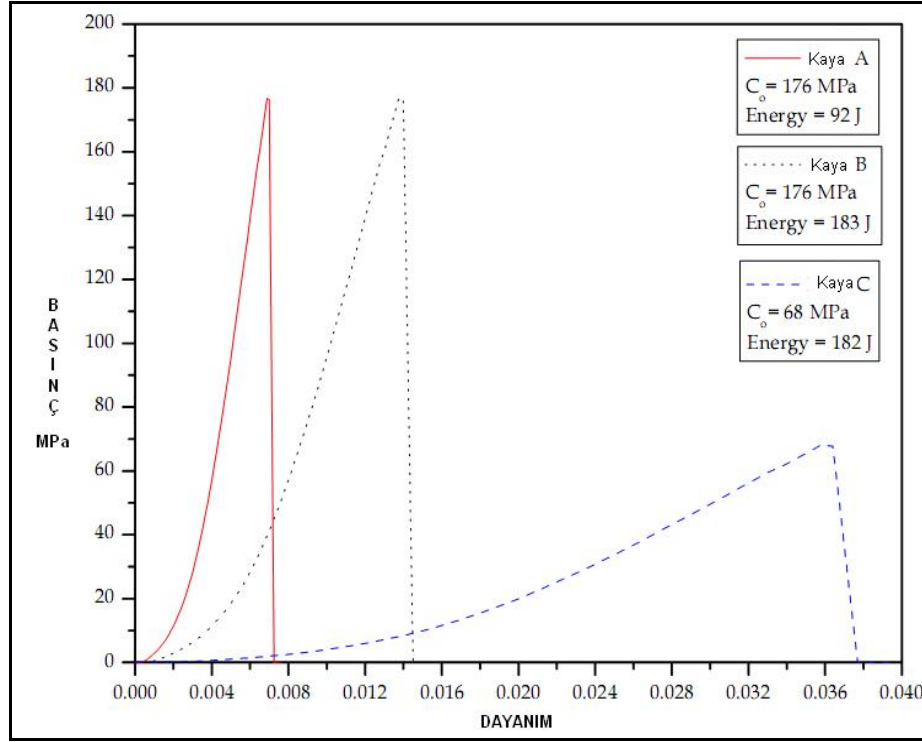
2.11.4.2. Basınç Dayanımı

Basma kuvveti kayaların sertliğini sınıflandırmak için kullanılır. Aynı zamanda bazen maddelerin homojenliğini ve kullanılacak kırıcı seçimini de belirler. Basınç dayanımı kayaları sınıflandırmaya ve çeneli kırıcı dizaynının seçiminde kullanılır. Malzemenin çeneler arasında sıkışması çekme dayanımının yıkılmasına neden olur. Bu yıkım makaslama kuvvetinin olduğu yerde oluşmaz. Ayrıca basma kuvvetinin yarattığı içsel çatlaklar sayesinde çekme kuvveti kayanın içinde yayılır ya da malzemenin içsel çatlakları dışa doğru ilerler. Tablo 2.21’de basma dayanımı deneyleri sonucunda kayaların basma dayanımına gösterdiği direnci baz alan sertlik sınıflandırmasını görüyoruz.

Tablo 2.21: Basınç Dayanımına Bağlı Sertlik Sınıflandırması

Basma Dayanımı	Sınıf
<69 MPa	Yumuşak – Düşük güç tüketiminde bütün kırıcılar ile kırılabilir
69 MPa - 138 MPa	Orta Sert – Genellikle bütün kırıcılarla kırılabilir
138 MPa - 276 MPa	Sert – Güçlü kırıcılarla kırılabilir
>276 MPa	Çok Sert

Maddeleri sınıflandırmak için basma dayanımı tek başına yeterli değildir. Pik kuvveti kayaların strese karşı davranışlarını tam olarak tanımlamaz, bu maddeleri kırmak için gereken enerji dikkate alındığında önemli bir durumdur. Şekil 2.27’de görülebilir. Sınırlanmamış basınç altındaki üç kaya basınca karşı dayanım eğrileriyle karşılaştırılmıştır. A ve B kayalarının eşit basma dayanımları eşittir ve Çizelge 2.21’e göre de sert madde sınıfındadır. B kayası daha fazla basınç yüklendiğinde daha fazla deformasyona dayandığından kırmak için daha fazla iş ve enerji gerekir. Çeneli kırıcının gücü A kayasını parçalamaya yeter ancak B kayası için yetersiz kalır. C kayası ile ifade edilen durum ise; C kayası yumuşak kaya sınıfındadır ve basma dayanımına göre kırılmak için daha az güce ihtiyaç duyar ancak parçalanmak için fazla deformasyona dayanabilir.



Şekil 2.27: Üç farklı kayanın basınç – dayanım grafiği

2.11.5. Çeneli Kırıcı Performans Tahmini

Çeneli kırıcı performansı ürün boyutu, üretim kapasitesi ve güç tüketimi ile tanımlanır. Agregada endüstrisinde yapılan ana işlem dairesel şekilli ürün üretimidir. Aynı zamanda hedeflenen ürünü elde etmek ve kayaları mümkün olduğunca efektif kırmak da istenen işlemlerin en önemlilerinden birisidir.

Çeneli kırıcı performans tahmininde çeşitli methodlar vardır. Daha önce de belirtildiği gibi çeneli kırıcı seçiminde kapasite ve ürün boyutunu belirlemede üreticiler tarafından sağlanan teknik bilgilerden yararlanılır. Ayarlamalar, daha önce laboratuvar testlerinde kullanılan besleme malzemelerinin fiziksel değişimlerini hesaplamak için yapılır. Çeneli kırıcının gerçek performansının belirlenmesi zor olduğunda laboratuvar çapındaki kırıcılarda yapılan deneyler tam kapasiteli kırıcıların tahmini için yeterli olabilir. Performans tahmininin normal prosedürü, beslenecek malzemeyi temsil eden bir kayayı kırmak ve çıkan ürün boyutunu belirlemektir.

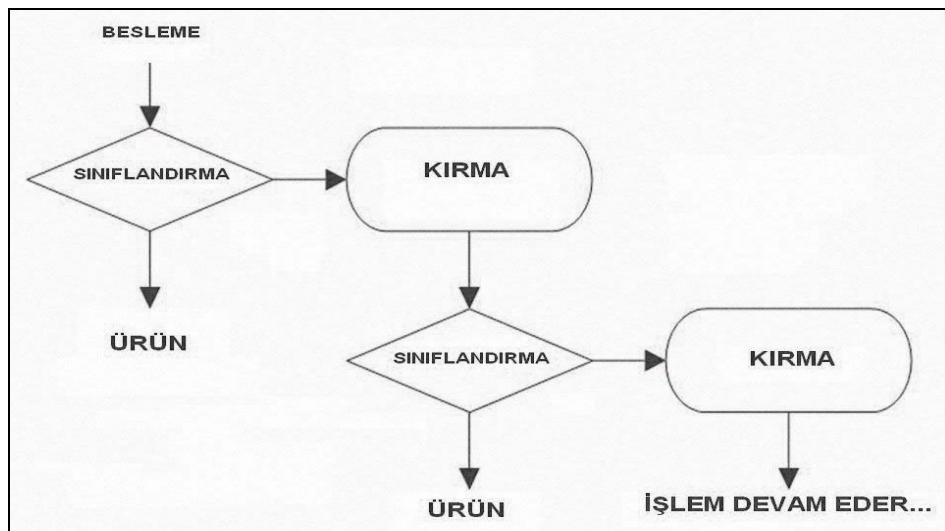
Beslenecek malzemenin ürün dağılımı ve ilişkili özellikleri ile başka bir malzemenin karşılaştırılması, kırma performansını, güç gereksinimini ve özel dizayn

gerektirebilecek karakteristik özellikleri belirlemek için yapılır. Bu testler, çeşitli kırıcı ayarlarının etkilerini, hızlarının, besleme methodlarını ve malzemenin fiziksel karakteristiğini belirlemek için bir fırsat yaratır.

Tablolara, grafiklere ve laboratuvar çapındaki kırma testlerine ek olarak, çeneli kırıcılar matematiksel modelleme teknikleri kullanılarak da belirlenebilir. Bu teknikler genelde laboratuvar verilerinden elde edilebilir ve kırıcı performans tahmini de yapılabilir. Modeller/eşitlemeler ürün boyutu, güç tüketimi ve kırıcı kapasitesi belirlemede kullanılır. Bu modellerin avantajları karışık işlemleri sayılara ve parametrelere indirgeyip basitleştirmesidir. Aynı zamanda performansı düzeltmede ve kararlar vermede yol göstericilerdir.

2.11.5.1. Ürün Boyutu Modellemesi

Daha önce kırma işleminin çeneler arasında sürekli olarak ve sınıflandırma işlemi ile birlikte devam ettiğini söylemiştik. Kırıcıya giren besleme malzemesi ilk sınıflandırmadır hareketli çene sabit çeneye en yakın konumdayken kırılmadan geçen malzeme ürün olarak elde edilir. Çene açıklığından büyük olan malzemelerin kırılacağı kesindir ve istenilen boyuta geleceği kesindir. Bu işlem hareketli çenenin hareketi süresince devam eder. Şekil 2.28'de gösterilen parçaların sınıflandırma ve kırma işlemi dikkate alındığında Şekil 2.29'de Whiten kırıcı modelinin akış diyagramı şematik bir şekilde gösterilmiştir. Yığın dengesi eşitlemeleri Şekil 2.29'de tekrar edilen sınıflandırma ve kırma işlemleri için şu şekilde ifade edilir.



Şekil 2.28: Sınıflandırma ve kırma işleminin akım şeması

$$X = f + Bx \quad (2.97)$$

$$X = f + Cx \quad (2.98)$$

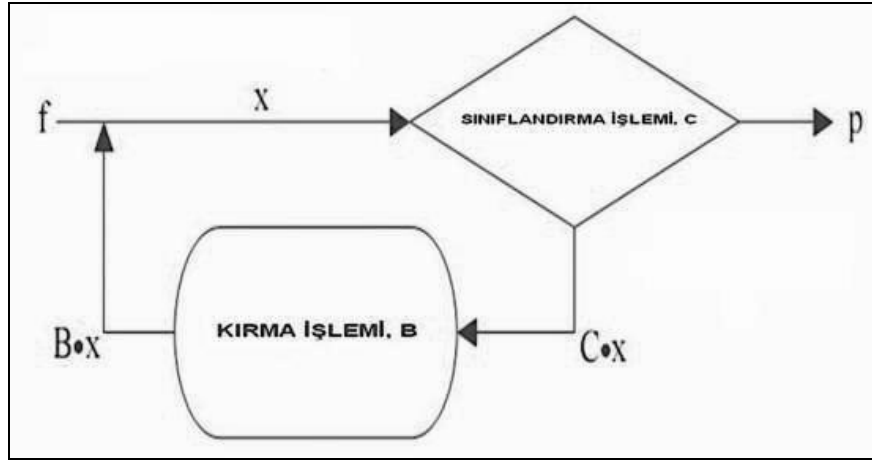
Burada;

x: Kırıcıya giren her bir parçanın parça boyutunu ifade eden vektör

P: Ürün parça boyut dağılımı

C: Sınıflandırma matrisi

B: Kırılma dağılım matrisi



Şekil 2.29: Whiten kırıcı modeli

Sınıflandırma matrisi kırılma zonuna giren her boyut aralığındaki parçanın orantısını tanımlar. Kırılma dağılım matrisi kırılan her parçanın kırılma işi sonundaki göreceli dağılımını verir.(2.97) ve (2.98) eşitlikleri aşağıdaki tek bir bağıntıyla tanımlanabilir.

$$p = (1 - C) \times (1 - BC)^{-1} \times f \quad (2.99)$$

Burada 1, birim matristir.

(2.99) eşitliği ile, ilgili besleme parça boyutu, sınıflandırma işlemi ve kırma işlemi kullanılarak ürün boyutu hesaplanabilir.

Sınıflandırma fonksiyonu bir bakıma kırma işlemi ile ilgili tartışmalara son vermiştir. Sınıflandırma işlemi kırılacak parça boyutuna bağlıdır. Örneğin ÇKK'ten daha küçük

bir parçayı kırıcı tabii ki kırılmayacaktır. Kırılmak için seçilme ihtimali çok düşüktür. Whiten aşağıdaki denklemleri sınıflandırma işlemini tanımlamak için kullanmıştır.

$$C(x) = 0 \quad x < K1 \text{ için} \quad (2.100a)$$

$$C(x) = 1 - \left(\frac{K2-x}{K2-K1} \right)^{K2} \quad K1 < x < K2 \text{ için} \quad (2.100b)$$

$$C(x) = 1 \quad x > K2 \text{ için} \quad (2.100c)$$

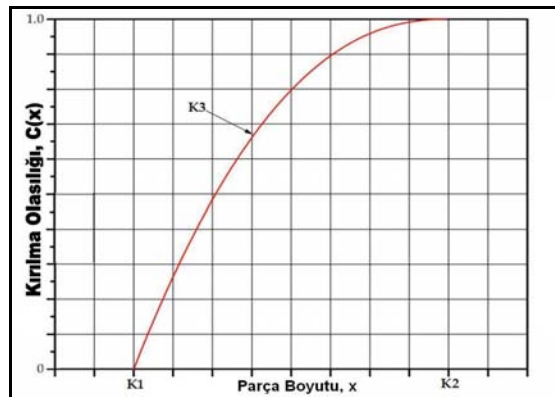
Burada;

K1: kırılmadan direk olarak geçecek parça boyutu

K2: bütün parçaların kırılacağı parça boyutu

Bu iki parametre kırıcı ayarlamaları için istenir. K1 ÇKK'ye, K2 iste ÇAK'ye bağlıdır. Buna ek olarak K3, K1 ve K2'nin arasındaki parça boyutunu temsil eder (Şekil 2.30).

Araştırmalar K1 ve K2'nin ÇAK ve ÇKK, besleme tane boyutu, üretim miktarı, kırıcı çenesi ile birebir ilişkili olmasıyla birlikte deneysel çalışmalarda da kullanılabilineceğini göstermiştir. Aynı araştırmalar K3'ün (2.98) denklemine göre çeşitli durumlarda tamamen sabit kaldığını göstermiştir. Sınıflandırma işleminin ilk tahminine göre K1 ÇKK'e eşit, K2 üretilen malzeme içindeki en büyük parçalara eşit (ÇAK'ye yakın olmalı) ve K3 (2.98) denkleminin sonucuna eşittir.



Şekil 2.30: Whiten sınıflandırma fonksiyonu

Kırma fonksiyonu tek bir parçanın kırılabilirlik testi ile belirlenmiştir. Bu, madde kırılması olayına ve kırıcı çalışma sistemi kapsamına dayanan bir dağılımdır. Kırıcıda çok sayıda parçanın kırılma olayı sürekli olarak devam eder. İşlem sonunda ürün meydana gelir. Kırılma dağılımı matematiksel olarak malzemenin parçalanması ile sonuçlanan kırma işlemini tanımlar.

Csoke çeneli kırıcı ve döner kırıcı gibi birincil kırma ünitelerinde ürün boyutunu belirlemek için deneysel bir method geliştirmiştir. ÇKK'den daha büyük malzemelerin kırılmaları sonucu oluşacak ürün boyutu aşağıdaki fonksiyonla modellenebilir.

$$P(d) = \left(\frac{r}{r_{\max}}\right)^m \quad (2.101)$$

$$r = \frac{d_p}{\text{Gap}} \quad (2.102)$$

$$r_{\max} = \frac{d_{p\max}}{\text{Gap}} \quad (2.103)$$

Burada;

m: Ürün parça boyut dağılımını temsil eder

D_p: Parça boyutu

D_{pmax}: Maksimum ürün boyutu (ÇAK)

Gap: Kırıcının ÇKK boyutu

King 2001 yılında kırıcı üreticilerinin verilerinden yararlanarak ürün boyut tahmini üzerine bir model geliştirmiştir. Ana içerik ürün parça boyut dağılımı ÇAK'ye göre değişen karakteristik özellik göstermesi ve ürün çeşidine(P_t) göre değişkenlik göstermesi üzerinedir. Ürün çeşidinde parça boyu ÇAK'den küçüktür. P_t malzemenin cinsine göre değişkenlik gösterir ve aynı zamanda iş indeksi ve malzemenin niteliğine göre de değişir. Bu modelde belirlenen boyut dağılımı aşağıdaki eşitliklerle belirlenir;

$$P(d) = 1 - e^{-\left(\frac{r}{K_d}\right)^{2.5}} \quad r > 0,5 \text{ için} \quad (2.104a)$$

$$P(d) = 1 - e^{-\left(\frac{r}{K_d}\right)^{0.55}} \quad r < 0,5 \text{ için} \quad (2.104b)$$

$$r_t = \frac{D_t}{CAB} \quad (2.105)$$

$$K_w = \left[\ln \left(\frac{1}{1-r_t} \right) \right]^{-0.67} \quad (2.106)$$

$$K_{t=0.5} = \left[\ln \left(\frac{1}{1-r_t} \right) \right]^{-1.18} \quad (2.107)$$

$$P_g = 1 - e^{-\left(\frac{P_w}{K_w} \right)^{1.6}} \quad (2.108)$$

(2.104a) ve (2.104b) eşitlikleri sadece ÇAK'den büyük olan besleme malzemesi için kullanılmalıdır.

2.11.5.2. Güç Kullanımının Modellenmesi

Güç kullanımının ya da tüketiminin belirlenmesinde en çok kullanılan ve bilinen method Bond metodudur. Bond teoremine göre çalışma verileri parçanın kırılmasındaki kırma boyutuna orantılıdır ve ürün için gereken iş ile besleme için yapılan işin farkına eşittir. Bu teoriye göre yapılan işi belirlemede kullanılan eşitlikler şunlardır (kWh/ton);

$$W = 10 \times W_i \times \left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{P_{20}}} \right) \quad (2.109)$$

Burada;

Wi: İş indeksi

P80: Kırıcıdan çıkan malzemenin %80'ini temsil eden parça boyutu

F80: Kırıcıya giren malzemenin %80'ini temsil eden parça boyutu

(2.101)'deki eşitlik kullanılarak kırma için kullanılacak güç bulunabilir.

$$P = W \times T \quad (2.110)$$

Burada;

T: Ton cinsinden saatte üretilen ürün

Her ne kadar Bond eşitliği öğütmede verimli olsa da kırıcılarda büyük besleme boyutlarındaki verimliliği şüphelidir. Bond yasası sadece sınırlı sayıda değişkenlere bağlı olan ve kesin durumlara dayalı olan deneysel bir yasadır. Diğer çalışma koşulları

için doğrudur ancak çeneli kırıcılar için güç harcamasının Bond eşitliğinde belirlenen değerden %240 oranında daha fazla olması gerekebilir.

Güç harcamasının tahminine daha kesin bir yaklaşım bulunur. Bu da laboratuvar boyutlu kırma ünitesi için gereken gücün işletme boyundaki kırıcılarda görülen parça küçültme işlemine uygulanmasıdır. Laboratuvar ünitesine yani ikiz sarkaca gereken güç aşağıdaki bağıntı ile gerçek kırıcı ünitelerle ilişkilendirilebilir;

$$P_c = AP_p + P_n \quad (2.111)$$

Burada;

P_c : Yüklenmiş kırıcıdaki güç

P_p : Sarkaç gücü

P_n : Yüklenmemiş kırıcıdaki güç

A: Kırıcı çeşidine göre değişen belirli bir ölçek faktörü

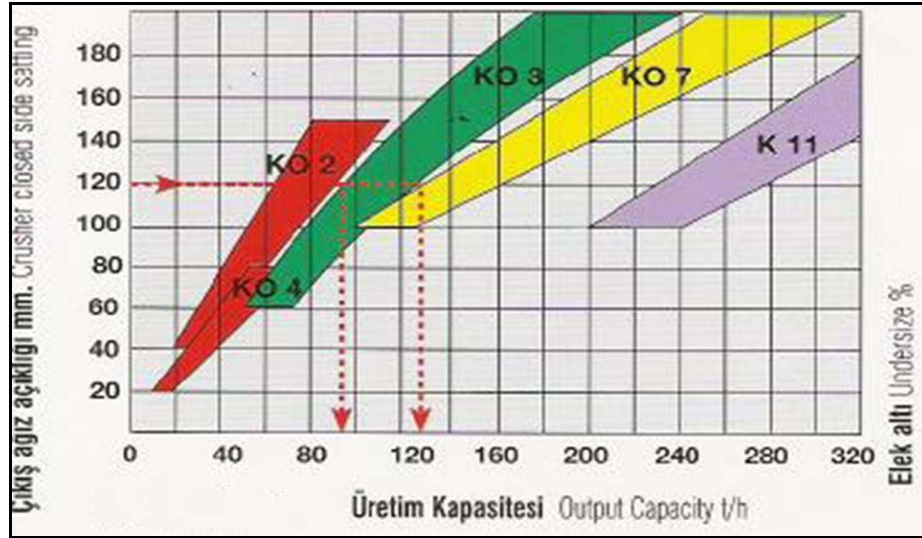
Sarkaç gücünü belirlemedeki işlem daha önce de bahsettiğimiz sınıflandırma ve kırma işlemleridir. Kısacası beslenen malzemenin istenilen ürün boyutuna ufaltılması için gereken toplam enerji laboratuvar aygıtındaki boyut küçültme işleminde görülebilir.

2.11.6. Çeneli Kırıcıların Kapasiteleri

Çeneli kırıcıların kapasitelerini sınırlayan bir takım faktörler vardır. Katı malın sertliğinden çok akış hızı önemlidir. Tatbikatta en çok kullanılan malzemelere uygun kapasite formülleri geliştirilmiştir. Bu formüllerde çoğunlukla tane irilik, nem miktarı, kayıcı kısımların bulunması dikkate alınmamıştır.

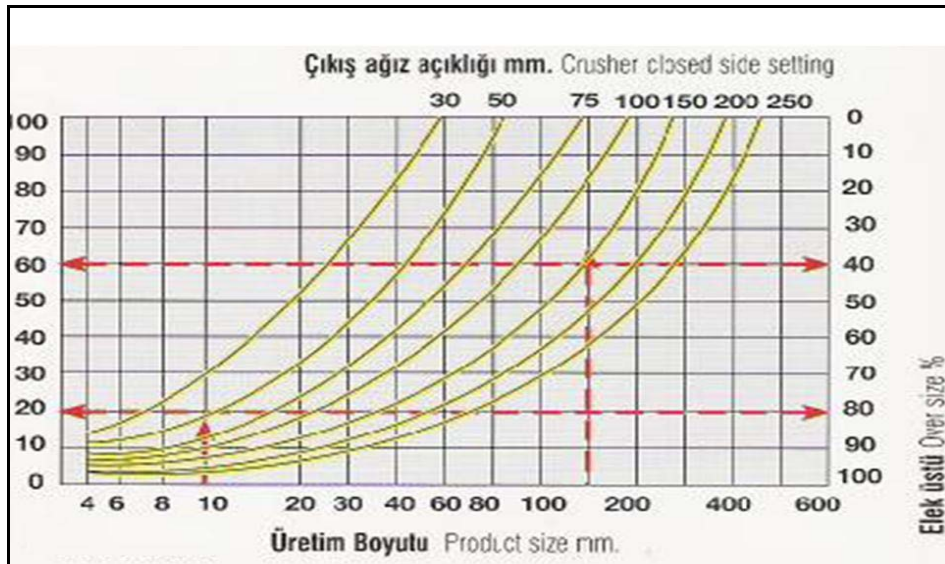
Taggart çeneli kırıcıların kapasitesi için $T=0,6*L*S$ (ton/s) ampirik formülünü vermiştir. Burada L inç olarak ağız açıklığı, S inç olarak çıkış açıklığıdır. Kırıcının kapasitesi ya m^3/h veya t/h olarak verilir. Kapasite için malzeme yoğunluğu $2.6 t/m^3$ ise aşağıdaki basitleştirilmiş bağıntı kullanılır.

Kırıcı seçiminde ağız açıklığının, girecek en büyük tane iriliğinden %15-20 daha büyük olmasına dikkat edilmelidir. İlk kırma işlerinde bu husus kapasiteden de önemlidir.



Şekil 2.31: Çeşitli çeneli kırıcıların çıkış ağız açıklıklarına bağlı saatlik üretimleri

Şekil 2.31’de Nace firmasına ait çeşitli kırıcıların saatteki üretim kapasiteleri, çıkış ağız açıklıklarına bağlı olarak verilmiştir. Çıkış ağız açıklığından yatay bir çizgi çekilerek, kullanılan kırıcı tipinin eğrileri kestirilir, bu noktalardan düşey inilerek kırıcının o çene açıklığındaki minimum ve maksimum kapasitesi bulunur. Örneğin K.03 tipi çeneli kırıcının 120 mm çene açıklığındaki üretim kapasitesi 90-130 ton/saat’tir.



Şekil 2.32: Çıkış ağız açıklığına bağlı ürün boyut dağılımı

Şekil 2.32’de çıkış ağız açıklığına bağlı olarak ürün boyut dağılımı verilmiştir. Çıkış ağız açıklığına göre seçilen eğri, belli bir ürün boyutundan çıkan dik çizgiyle kestirilir. Bu noktadan sola yatay gidildiğinde o irilikteki üründen küçük malzemenin oranı, Sağa gidildiğinde iste büyük malzemenin oranı bulunur.

Örneğin 200 mm çıkış ağız açıklığında 150 mm'den küçük (0-150 mm) malzeme oranı yaklaşık %47, büyük malzeme oranı ise (+150 mm) %53'tür. Şekil 2.29 ve Şekil 2.30'da verilen tüm değerler orta sertlikte ve 1.6 ton/m³ yığın yoğunluğundaki kalker için olup, beslenen malzeme iriliğine, nemine ve besleme şekline bağlıdır.

2.11.6.1. Kapasite Tahmini

Çeneli kırıcıların kapasiteleri makinenin karakteristik özelliklerine, besleme boyutuna ve kayanın doğal özelliklerine bağlıdır. Çeneli kırıcıların hacimsel kapasiteleri aşağıdaki eşitliklerle tahmin edilebilir;

$$V = 60Nw(\text{ÇKK} + 0,5T) \left(\frac{DT}{G - (\text{ÇHH} + T)} \right) \quad \text{Düşük hızlar için} \quad (2.112)$$

$$V = 60Nw(\text{ÇKK} + 0,5T) \left(\frac{480}{N^2} \right) \quad \text{Yüksek hızlar için} \quad (2.113)$$

Burada;

N: Kırıcı hızı (dakika/devir)

W: Çene genişliği (m)

ÇKK: Kırıcının kapalı pozisyondaki çene açıklığı (m)

T: ÇAK-ÇKK

D: Çeneler arasındaki düşey derinlik (m)

G: Çene açıklığı (m)

g: Yerçekimi ivmesi (m/sn²)

(2.112) ve (2.113) eşitlikleri ideal şartlar altındaki hacimsel kapasiteyi verir. Düşük kırma hızlarında malzeme yerçekimi ivmesi ile düşer ve bu düşüş makinenin geometrik yapısına bağlıdır. Yüksek hızlarda vuruş ve devir arasında az zaman vardır ve malzemenin aşağı doğru hareketinin zamanı daralır ve kırıcının hızıyla kontrol edilir.

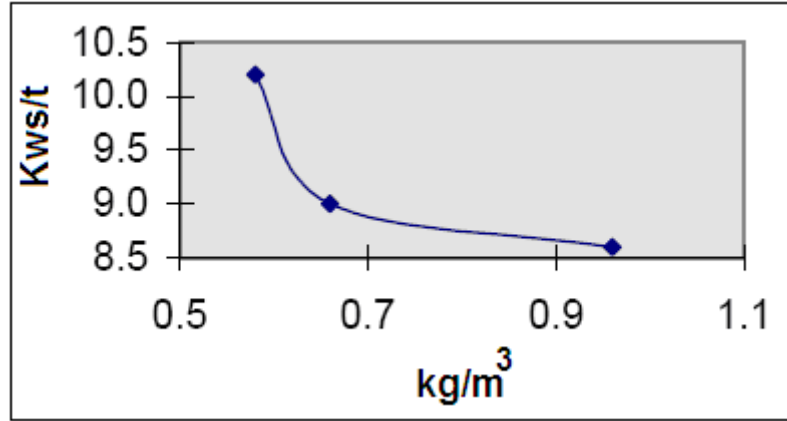
2.12. PATLATMA SONRASI ARDIŞIK İŞLEM FAALİYETLERİ İLE İLGİLİ ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tez kapsamında saha çalışmalarına başlamadan önce diğer bilim adamları tarafından tez konusuyla ilgili gerçekleştirilmiş çalışmalar araştırılmış ve özeti verilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda anlaşılmıştır ki, yapılan çoğu çalışma parça boyut dağılımı ile

ardışık işlem faaliyetleri arasındaki ilişkiden ziyade patlatma tasarımlarında kullanılan özgül şarj ile ardışık işlem faaliyetleri arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Patlatma çalışmalarında kullanılan özgül şarj doğrudan parça boyut dağılımını etki ettiğinden bu tez çalışmasına da ışık tutmuştur. Diğer bilim adamları tarafından yapılan bu çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

2.12.1. Kanchibotla'nın Araştırması

Bu çalışma Queensland Avustralya'da JKMRC'de yapılmıştır. Bir açık altın madenindeki patlatma kırma ve öğütme işlemleri modellenmiştir. Özgül şarj değeri 0.58 kg/m^3 ile 0.96 kg/m^3 arasında değişmiştir. Aşağıdaki grafik 3 farklı patlatma tasarımına karşılık SAG değirmeninin elektrik tüketimi gösterilmiştir.



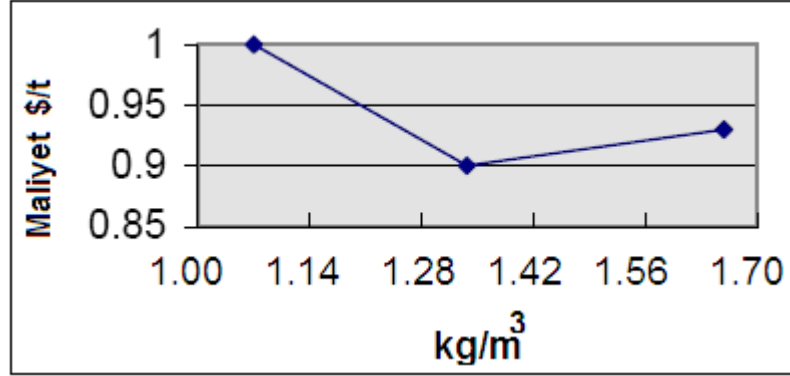
Şekil 2.33: Özgül şarj miktarına karşı elektrik tüketimi(Kanchibotla, 1998)

Özgül şarj miktarı 0.58 den 0.66 ya çıktığı için öğütme işlemi için elektrik tüketiminde ton başına %12 kWs'lik bir azalma olmuştur (Şekil 2.33). Bununla beraber özgül şarj miktarı 0.96 'ya daha fazla miktarda artırıldığında çok küçük bir gelişme görülmüştür. Daha fazla bir özgül şarj miktarı daha ince taneli bir malzeme oluşturmuş bunun sonucunda bu ince malzeme kırıcıdan akıp geçmiş ve tasarruf burada sağlanmıştır. Kırıcının ayarları düşen yönde ayarlanmış olsaydı eğrinin eğimi dik kalacaktı.

2.12.2. Furstenau'nun Araştırması

Bu çalışmada tam ölçekli patlatma çalışmaları ve laboratuvar kırma ve öğütme testleri konsolide olmuş kireçtaşında uygulanmıştır. Patlatmanın etkisi delikler arası mesafe %56 oranında düşürülerek ve şarj boyu artırılarak %25 oranında artırılmıştır (Şekil 2.34). Tek parça silindir değirmen ve küçük ölçekli bir bilyeli değirmen numune testleri

için kullanılmıştır. Daha fazla kolon şarj boyu ile toplam madencilik ve işlem maliyetlerinde %10'luk bir azalma görülmüştür. Daha az delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı ile %7'lik bir azalma sağlanmıştır.



Şekil 2.34: Özgül şarj miktarına göre toplam maliyetler

Referans bölgesinde özgül şarj miktarı 1 kg/m^3 , kolon şarj boyunun artırıldığı alanda 1.33 kg/m^3 , dilim kalınlığının ve delikler arası mesafenin azaltıldığı alanda ise 1.66 kg/m^3 olarak tespit edilmiştir. Optimum noktanın 1.33 kg/m^3 'lük bir özgül şarj miktarı çevresi olduğu görülebilir, bununla beraber kolon şarj uzunluğunu artırma yönünde bir serbestlik bulunduğundan dolayı, daha yüksek bir özgül şarj miktarı daha az delik delinerek ulaşılabilir.

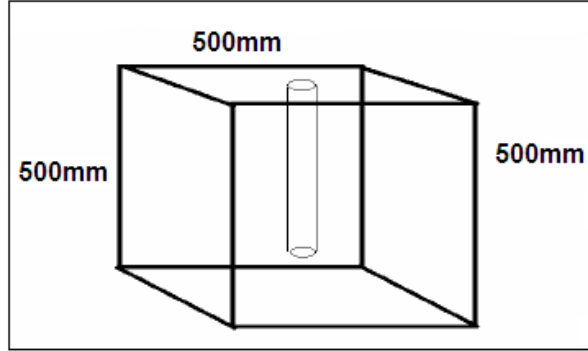
2.12.3. McCarter'ın Araştırması

Bu çalışmada hücresel yükleme cihazı (load cell device) kullanılarak biri patlatmaya maruz kalmış biri kalmamış bir kaç çift numunenin ortalama özgül kırılma enerjisi (mean specific fracture energy) ölçülmüştür. Test edilen 7 kaya tipinden 5'i patlatmadan dolayı ön hazırlama faydaları göstermiştir. Az ve öz istatistikler sağlanmıştır. En basit istatistiksel karşılaştırma bile patlatmadan dolayı ortalama özgül kırılma enerjisinde %19'luk bir farkın olduğunu işaret etmektedir.

2.12.4. Nielsen'in Araştırması

Bu çalışma Norveç'te Trondheim Üniversitesi'nde biri deliğin hemen yanından diğeri delikten daha uzaktan olan patlatılmış malzeme numune çiftlerinin öğütülme işini kapsayan bir çalışmadır. Değişkenler kaya tipi, patlayıcı madde ve öğütme zamanı'dır. Numuneler 500 mm kenar uzunluğunda küp şeklinde kesilmiş, delinmiş ve patlatılmıştır

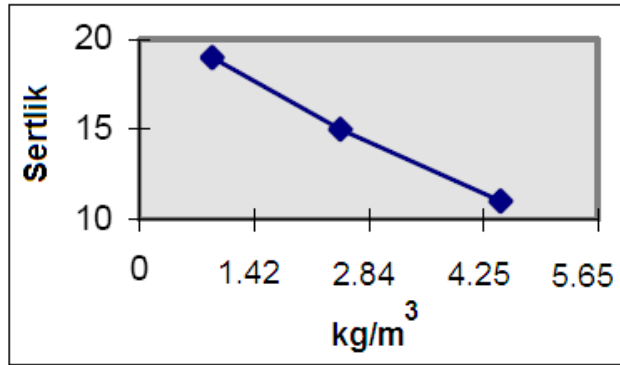
(Şekil 2.35). Parçalar toplanmış ve deliğe yakın ve kenar parçaları olmak üzere ayrılmıştır. Numuneler -8 mm ye kırılmış ve aynı benzer dağılımlar 250 mm lik bilyeli değirmeni beslemek üzere harmanlanmıştır. Bond iş indeksleri bu testlerden hesaplanmıştır. Patlatma ön hazırlığı referans numunelerin iş indekslerini %36 dan %88 e indirmiştir.



Şekil 2.35: Deney numunesi (Nielsen, 1995)

2.12.5. Mertz'in Araştırması

GOK açık ocak deney çalışmasının Rusça'dan çevirisi tam anlamıyla anlamak için zor fakat ümit verici kavrayışlar sağlamaktadır. Patlatma enerjisi 0.8 kg/m^3 ile maksimum 20 kg/m^3 arasında değişmektedir. Bulgular 5.5 kg/m^3 ' e kadar verilmiştir.

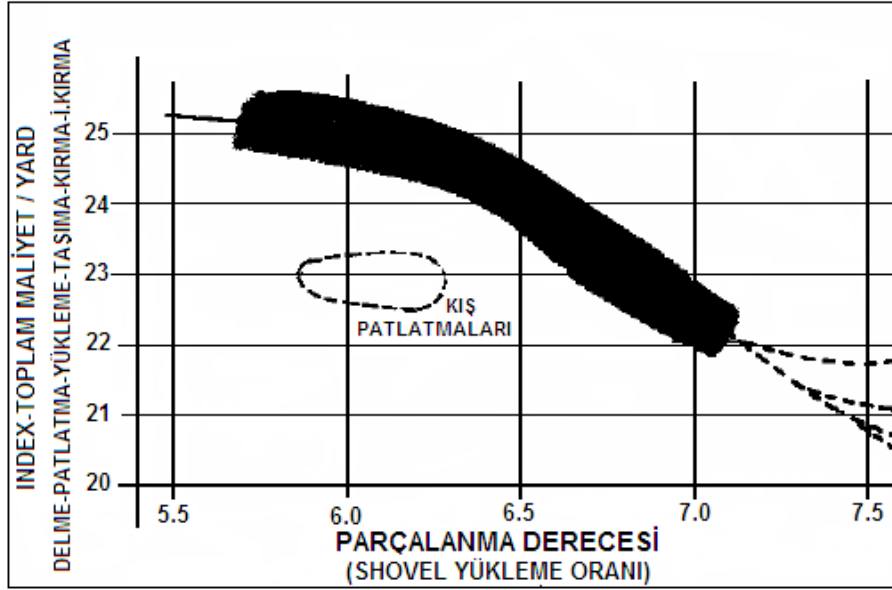


Şekil 2.36: Kaya sertliğine karşı özgül şarj (Mertz)

Kırmadaki enerji sarfiyatı özgül şarj miktarı 0.8 'den 4.47 'e arttığında %40 oranında azalmıştır. Çalışılan operasyonda magnetiti geri kazanmak amacıyla manyetik ayırma kullanılmıştır. Cevher serbestleşmesi de patlatma sırasında oluşan mineral sınırları arası mikro çatlaklara bağlı olarak artmıştır.

2.12.6. MacKenzie'nin Araştırması

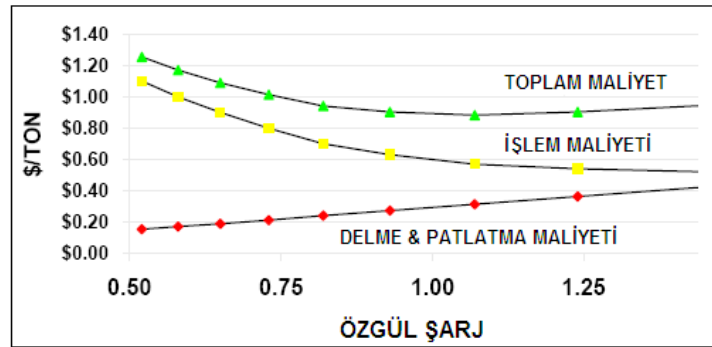
Alan S. MacKenzie bo kaya kazı çalışmasını Quebec Lac Jeannine Madeni'nde gerçekleştirmiştir. Kapsamın genişliği ve çalışmanın 5 yıllık uzun bir sürede işletme verilerine dayalı olması sebebiyle şu andaki birçok araştırmayı şekillendirmiştir. Bununla beraber öğütme maliyetleri bu çalışmada nazarı itibara alınmamıştır.



Şekil 2.37: Parçalanma derecesi ve ardışık işlem maliyetleri arasındaki ilişki (MacKenzie, 1966)

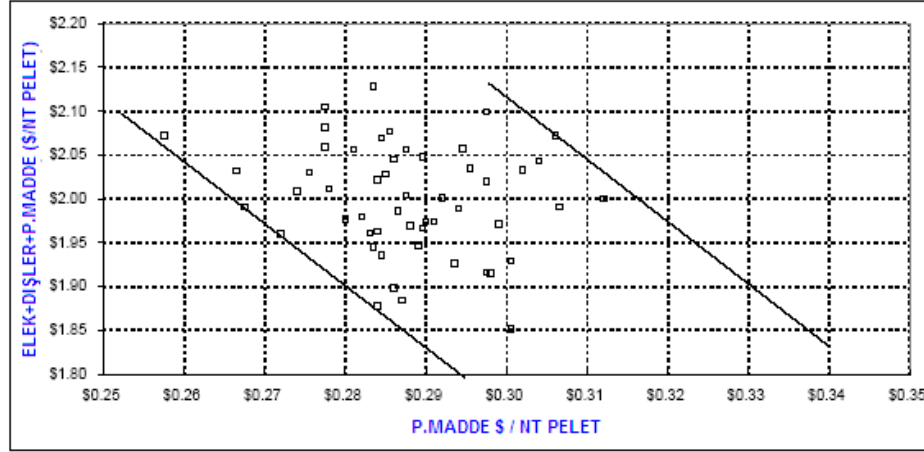
2.12.7. Eloranta'nın Araştırması

Bu çalışmada Minnesota'daki demir madeninde 5 yıldan fazla bir zaman diliminde madencilik ve cevher hazırlama işlem hız ve maliyetleri sunulmuştur. Regresyonlar cevher tenörü ve nem oranı gibi değişkenleri elemine edebilmek amacıyla işaretlenmiştir.



Şekil 2.38: Toplam maliyetler-ölgül şarj karşılaştırması

Toplam maliyetler delme ve patlatma maliyetine göre karşılaştırılmıştır ve daha yüksek özgül şarj miktarlarına göre tasarlanmıştır.

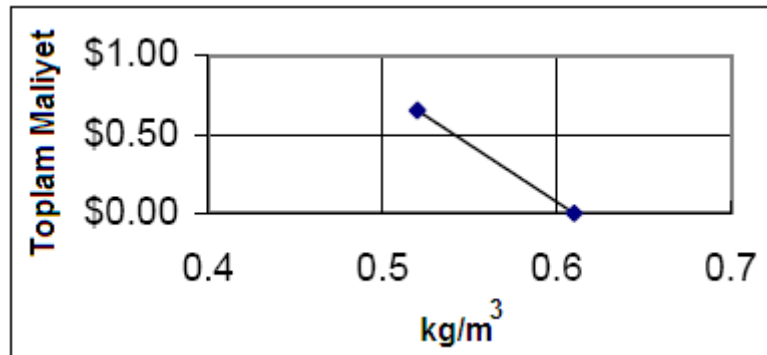


Şekil 2.39: Patlayıcı madde maliyeti ve ardışık işlem toplam maliyeti ilişkisi

Üst ve alt zarfların temelini oluşturan bu varsayım patlatma işlemi ile ardışık işlem maliyetleri arasında ters bir ilişkinin olduğunu göstermektedir ve noktaların bu grafikte gösterilmesinin amacı o çizginin eğiminde saçılımı göstermek içindir. Saçılımın geniş olmasının sebebi sezonsal değişimler, jeolojik varyasyonlar ve bir ay içinde yapılan büyük alımlardır. Geçerlilik için verilerin düşük doğru kısmında yüksek özgül şarjlı testlerin yapılmasına gerek duyulacaktır.

2.12.8. Kojovic'in Araştırması

Brisbane, Queensland, Australia Mt. Coot-tha taşocağında çok yoğun çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Patlatma dizaynlarındaki değişiklikler dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe ayrı olarak ayarlanarak yapılmıştır.



Şekil 2.40: Toplam maliyetlere karşı özgül şarj miktarı (Kojovic, 1995)

Özgül şarj miktarı 0.52 kg/m^3 ile 0.61 kg/m^3 arasında olmuştur. Kaydedilen bazı gelişmeler şunlardır: $0.40 \text{ \$/ton}$ tasarrufla beraber yükleme ve taşıma verimliliğinde %25 artış, ve kırma maliyetinde 0.30 /ton azalma. Toplam edilen tasarruf miktarı $0.70 \text{ \$/ton}$, artan patlatma maliyeti $0.5 \text{ \$/ton}$, net tasarruf miktarı $0.65 \text{ \$/ton}$ 'dur.

2.12.9. Revniltsev'in Araştırması

Bu çalışma bazı önemli noktaları kapsamaktadır. Revniltsev madencilik ve ardışık işlemlerle ilgili birçok noktaya temas etmiştir. Aşağıdakileri işaret eden çalışmalarını referans etmiştir:

- 2 kg/m^3 'lük optimum bir özgül şarj miktarına
- Patlatmanın tercihi olarak serbestleşmeyi sağlayacak şekilde mineral sınırlarında kırma işlemi yapması "Seçici ufalanma" (selective disintegration).

2.12.10. Kahrıman'ın Araştırması

Kahrıman 1995 yılında gerçekleştirdiği doktora tez çalışmasında, Sivas selestit madeninde gerçekleştirilen basamak patlatma çalışmalarını ve patlatma sonrası ardışık işlem faaliyetlerinin performansını ve buna bağlı olarak maliyetlerini incelemiştir. Çalışmasında aynı basamakta mevcut bulunan cevher zonlarını fiziksel farklılıklarından dolayı üçe ayırmış ve bu 3 ayrı basamakta değişik patlatma parametreleri kullanarak deneme atımları yapmış ve her atımdan sonra elde edilen patlatma sonuçları irdelemiştir. Patlatma sonrası yapılan ripperleme, hidrolik kırıcı kullanımı, parçalanma derecesi ve çevresel etkiler gibi parametreleri gözönünde bulundurarak yaptığı çalışma sonrası, bu saha için ardışık işlem faaliyetlerini en optimum performans ve maliyetle çalışmasını sağlayan nihai patlatma tasarımlarına ulaşmıştır. Kahrıman'ın yaptığı bu çalışma, parça boyut dağılımındaki değişim tüm ardışık işlem maliyetlerine belirli oranlarda etkisi olduğunu ve bunun sistematik bir şekilde araştırılması gerektiğini ortaya koymuştur (Kahrıman, 1995).

Aşağıdaki tablo bu bilimadamlarının sonuçlarını özetlemektedir. Çok net bir şekilde görülmektedir ki hiçbir bilim adamı özgül şarj miktarına bir üst limit bulamamıştır. Furstenau'nun verilerindeki apaçık minimum değer ise daha az delme fakat daha uzun kolon şarjı yönünde tekrar gözden geçirilmelidir.

Tablo 2.22: Bilim adamlarının çalışmalarından çıkan özet sonuçlar

Yazar	Özgül şarj aralığı	Azalma	Parametre
Kanchibotla	0.58-0.66	%12	Kws/ton
Furstenau	1.07-1.30	%10	Toplam maliyet
McCarter	-	%19	MSFE
Nielsen	-	%12-%64	Kws/ton
Mertz	0.8-3.9	%40	Kws/ton
MacKenzie	-	-	Kazı/Kırma
Eloranta	0.7-1.07	%15	Toplam maliyet
Kojovic	0.52-0.61	0.65 \$/ton tasarruf	Toplam maliyet

3. MALZEME VE YÖNTEM

Tez kapsamında patlatma sonrası oluşan yığınların parça boyut dağılımının, yükleme ve birincil kırma işlemlerine olan etkileri araştırılmıştır. Tez kapsamı boyunca patlatma sonrası ve kamyonlara ekskavatörler ile yüklenmiş olan yığınlar üzerinden dijital fotoğraf makinesi ile ölçekli görüntüler alınmış ve bu görüntüler Split-Desktop dijital görüntü işleme yazılımı ile işlenerek yığınlara ait parça boyut dağılımları saptanmıştır. Ayrıca çalışmanın yapıldığı sahadan kaya numuneleri alınarak yoğunluk, nokta yükleme ve tek eksenli basma dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, yapılan laboratuvar deneyleri ve kullanılan Split-Desktop yazılımı hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1. SPLIT DESKTOP DİJİTAL GÖRÜNTÜ İŞLEME SİSTEMİ

Günümüzde parçalamanın değerlendirilmesinde etkin metot, kaya kırıntılarının dijital görüntülerinin elde edilmesi ve bu görüntülerin dijital görüntü işleme teknikleri kullanılarak işlenmesidir. Büyük miktarlarda görüntüleme uygulanamaz olduğundan, patlatma sonrası parçalama durumunda parçalamanın hesaplanması için tek pratik metot budur. Kırılma sonrası parçalanma halinde görüntüleme rutin olarak kullanılmakta ama dijital görüntü işleme ile parçalamanın sürekli bazda değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Arizona Üniversitesi'nde parçalamanın değerlendirilmesi için görüntü işleme tekniklerinde, 1990' dan 1997' ye kadar gelişmeler gerçekleştirilmiştir. 1997' den sonra ise geliştirme çalışmaları Split Mühendislik, LLC' de sürmüş ve profesyonel Split – Online sistemleri dünya üzerinde 38 yere tesis edilmiştir.

Bu tez çalışmasında da uygulama aşamasında kullandığımız Split yazılımının görüntü işlemede kullandığı temel adımları şu şekildedir:

- Dijital görüntülerin otomatik ya da manuel yolla elde edilmesi
- Görüntülerin ışıklandırma problemlerin düzeltilmesi ve kabul edilemez görüntülerin görüntülenmesi için ön işleme

- Kırıntıların her bir dijital görüntü işleme algoritması içinde betimlenmesi
- Her bir görüntüde üç boyutlu partikül hacimlerinin belirlenmesi için iki boyutlu partikül alanlarına istatistiki algoritmaların uygulanması
- Ortalama dağılım için çeşitli görüntülerin birlikte işlenmesi (değişik ölçülerde çekilen görüntüleri de kapsar)
- Çıktı verilerin ekrana, hard diske ve ağ kontrol sistemlerine aktarılması

Uygulama çalışmalarında dijital görüntü işleme yazılımlarından biri olan Split Desktop programının aşamaları ve imaj analizi sırasında yapılması gerekenler kısaca şöyledir.

- Resimlerin Çekilmesi: Resimler dijital ya da normal fotoğraf makineleriyle çekilebilmektedir. Normal makinelerle çekilen resimleri bilgisayar ortamına aktarmak için tarama işlemi yapılmalıdır. Bu tez kapsamında alınan görüntüler DC 025 Dijital Fotoğraf Makinesi kullanılarak elde edilmiş ve görüntüler doğrudan bilgisayara aktarılmıştır.

Görüntü analizi için resmin, kaliteli ve rahat görülebilir olması gerekmektedir bu yüzden resim çekilirken ışık durumu ve netlik iyi ayarlanmalıdır.

Makinanın, resmi çekilecek olan yığına 90 derece açıda olması gerekmektedir. Eğer açılı resim çekmek gerekiyorsa, programa analiz aşamasında girilecek veriler doğrultusunda, “yığına olan uzaklık” ve “makinanın yığına göre açısı” parametreleri bilinmelidir.

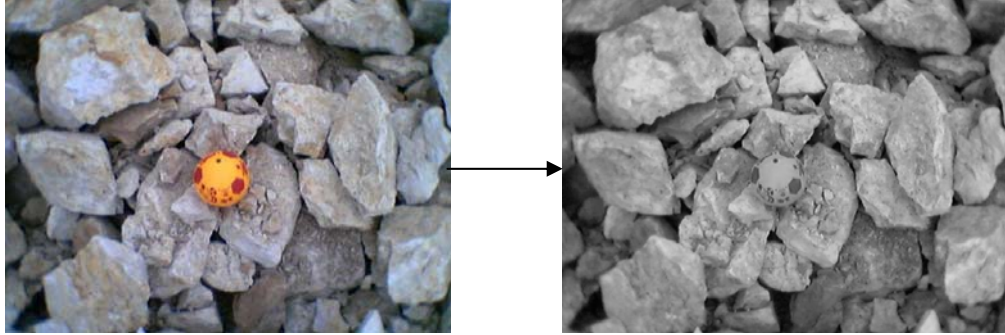
Yığın üzerinde boyut dağılımını belirleyici olması açısından uzunluğu belli olan bir maddenin yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu maddenin boyu analiz aşamasında programa girilecek ve bu uzunluk sayesinde program yığındaki diğer tanelerin boyutunu hesaplayacaktır. Bu çalışmada yığın içerisinde her yönden kolayca görülebilmesi açısından 20 cm. çapında toplar bu amaçla kullanılmıştır.

Program genel resim çözünürlüklerinin hepsini desteklemektedir. (640*480, 800*600 vs.) Bu çalışma kapsamında analiz edilen görüntüler 800 X 600 çözünürlüktedir.

Uygulama aşamasında hata payını en az seviyeye indirmek için yığın üzerinde birden fazla resim çekmek önemlidir. Bu amaçla saha çalışmalarında patlatma sonrası oluşan

yığında, yığını temsil eden 3 ya da 4 ayrı noktayı tespit edip ona göre resimler çekilmiştir. Böylece çekilen resimleri ilk olarak teker teker sonradan da hepsini bir arada analize sokarak, yığının ortalama tane boyutunu daha az hatayla ortaya çıkarmış olunur.

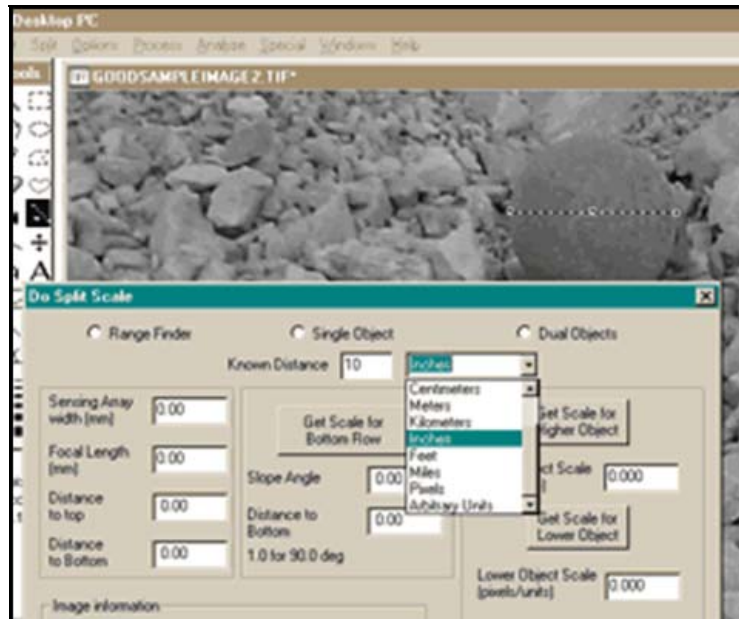
- Resimlerin Programa Aktarılması: Program açıldıktan sonra resimler “file” menüsünden çağırılıp programa aktarılırlar.



Şekil 3.1: Resmin programa ilk aktarılışı

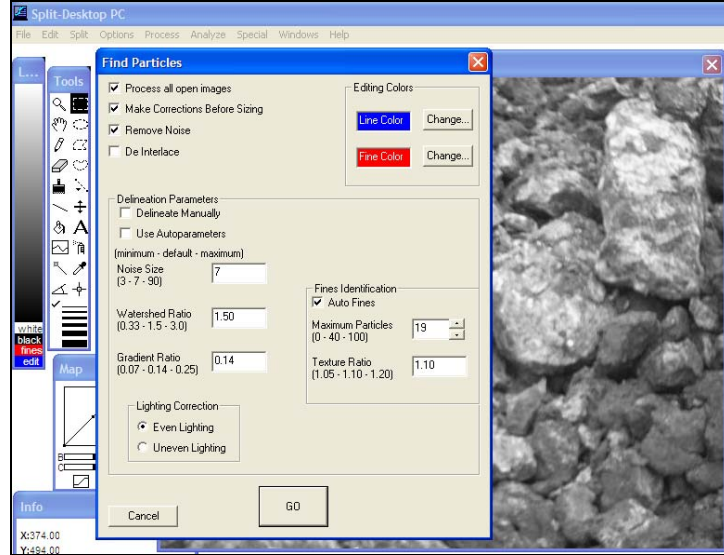
Program Şekil 3.1’ de de görüldüğü gibi orijinal resmi direk olarak “Gray-Scale” yani siyah beyaz halde açmaktadır.

- Resmin Ölçeklendirilmesi: Resim programa aktarıldıktan sonra ölçeklendirme çubuğu yardımıyla boyu belli olan topun ya da başka bir malzemenin boyu programa girilir (Şekil 3.2).



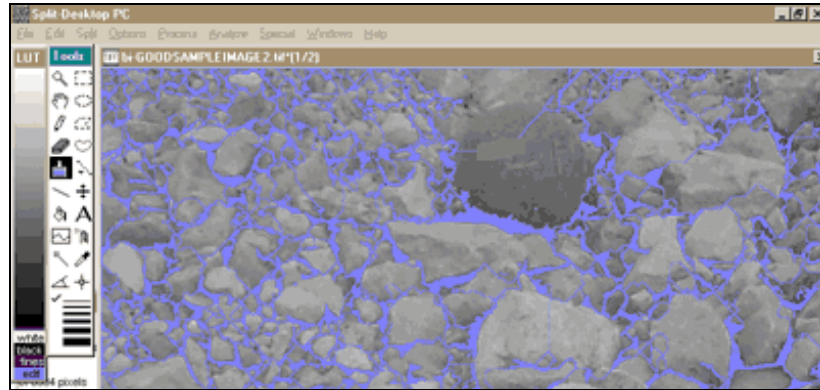
Şekil 3.2: Görüntünün ölçeklendirilmesi

- Parçaların Analiz Edilmesi: Çeşitli hassasiyet ayarları girilerek, programın görüntüdeki parçaları tek tek ayırması için komut verilir (Şekil 3.4).



Şekil 3.3: Parçacıkların program tarafından tespit edilmesi

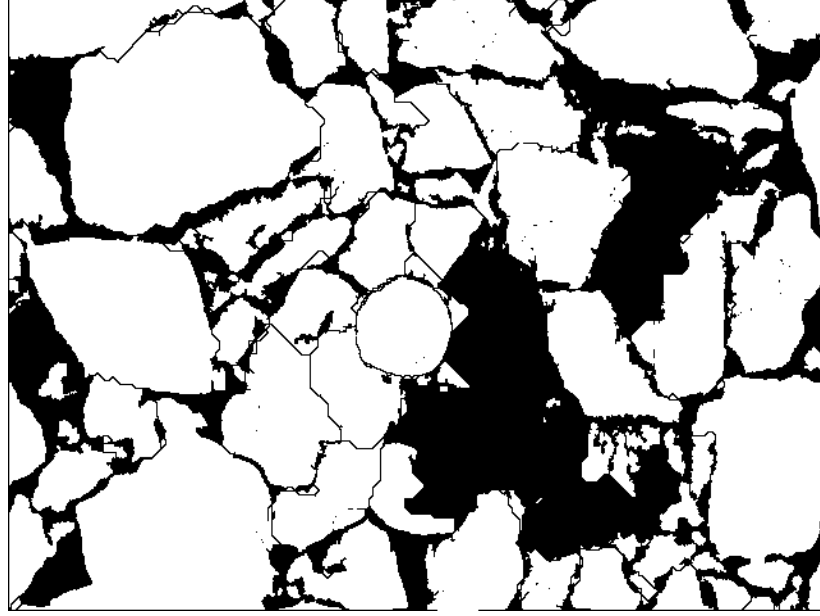
Programın çalışma şekli kaya parçaları arasındaki sınırları belirliyip uzunlukları ölçmesi prensibine dayanır. İşlem yapıldıktan sonra program parçalar arasındaki bu sınırları 2 boyutlu olarak çizer. Taneler arasındaki sınırlar ve hesaba katılmayacak kadar küçük tozların rengi ise kullanıcı tarafından bu bölümde programa girilir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Program sınırları belirledikten sonra oluşan görüntü

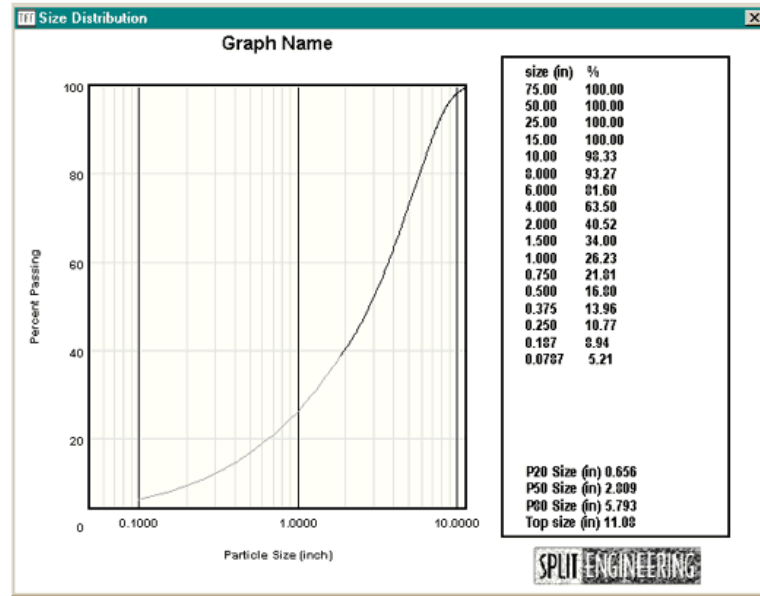
- Sınırların Kullanıcı Tarafından Düzeltilmesi: Program ayırma işlemini yaptıktan sonra kullanıcıya hatalar ve yanlış sınırları düzeltme konusunda fırsat vermektedir. Bu programın en önemli aşamalarından biridir. Resmin çekildiği ortamın ışığı veya resmin kalitesi her koşulda iyi olmayabilir. İşte bu yüzden program bazı resimlerde tam ayırma yapamamaktadır. İşlem yapılan her resim dikkatlice incelenmeli, yanlış

sınırlar ve hatalar kullanıcı tarafından giderilmelidir. Bu işlem sonunda da aşağıda şekil 3.5’deki işlenmiş resim elde edilir.



Şekil 3.5: İşlenmiş resim

- Boyutların Oluşturulması ve Sonuçlara Ulaşım: Programın bu aşamasında program, işlenmiş resme göre boyut dağılımını hesaplayarak grafik olarak bize sonuçları verir (Şekil 3.6). Burada sonuçlar alınırken istenen grafik sisteminin “log-log” ya da “lineer-lineer” olması program tarafından kullanıcı tercihine bırakılmıştır.



Şekil 3.6: Parça boyut dağılım analiz sonucunun alınması

Aynı şekilde sonuçlar kısmında verilen elek sistemini belirlemek, hatta istediğimiz boylarda elekler yerleştirmek, yine bize bırakılmıştır.

Programın “Split” menüsünde dikkat edilmesi gereken parametreler şu şekilde özetlenebilir:

Noise Size: Küçük parçaların durumuna göre; çoksa 3, azsa 80-90, ortaysa 25 alınır.

Watershed Ratio: 0,33-3 arası olabilir. 3' e doğru gidildikçe daha az ayırma yapılır.

Gradient Ratio: Genelde 0,14 alınır. Bu değer arttıkça daha az ayırma yapılır.

Percent Fine Adjustment: Yığındaki küçük tanelerle alakalı bölümdür. Bu tanelerin sayısı çoksa yüksek değer, azsa düşük değerler verilir. (0-100 arası)

Graph Output: Bu bölümde istenilen grafik tipi seçilir. Bu lineer ve logaritmik gösterimin x ve y eksen konfigürasyonları olarak seçilebilmektedir.

4. BULGULAR

Araştırma kapsamında yapılan arazi çalışmaları sistematik bir plan çerçevesinde sürdürülmüştür. Bu amaçla öncelikle ardışık işlem faaliyetlerinin düzgün bir şekilde izlenebileceği İstanbul bölgesindeki taş ocakları araştırılmış ve uygun görülen sahaların yetkilileri ile konuşarak araştırmanın yürütülebilmesi için gereken imkanların sağlanması temin edilmiştir. Ülkemiz genelinde genellikle taşocaklarında üretim planlaması çok düzgün bir şekilde yapılmadığı için çalışma düzeni en uygun sahalar araştırma sahası olarak tayin edilmeye çalışılmıştır. Yapılan incelemeler ve görüşmeler neticesinde Cendere bölgesinde bulunan Akdağlar Madencilik'e ait kumtaşı taşocağı ve Cebeci bölgesinde Haktaş Madencilik'e ait yine aynı kumtaşı yatağı rezervinin devamı olan taşocağı çalışma sahaları olarak tespit edilmiştir. Ayrıca yapılması düşünülen patlatma-ardışık işlem faaliyetleri optimizasyon modeli için de Kuz-Ram modelinin kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla Çatalca bölgesi Akyol kireçtaşı ocağında deneysel 2 farklı atım gerçekleştirilmiştir.

Patlatma sonrası parça boyut dağılımı ile ekskavatör yükleme performansı ile ilgili çalışmanın büyük bir bölümü Akdağlar taşocağında yapılmış, daha sonra elde edilen bulgu ve ilişkiler Haktaş taşocağında yapılan ölçümlerle de test edilmiştir. Parça boyut dağılımı ile ekskavatör performansı arasındaki ilişkiyi bulma yönündeki çalışmaların tamamı ise Haktaş taşocağında gerçekleştirilmiştir. Yukarıda bahsedildiği üzere Kuz-Ram modelinin yapılacak optimizasyon modelinde kullanılabilirliğinin araştırılması için de deneysel atımlar Akyol taşocağında yapılmıştır.

Çalışmalar boyunca, çalışmanın en kritik hususlarından biri olan patlatma sonrası oluşan yığın parça boyut dağılımını tespit etmek için dijital görüntü işleme tekniği kullanılmıştır. Özellikle bu tür çalışmalar için tasarlanıp üretilmiş olan Split Engineering şirketine ait Split-Desktop dijital görüntü işleme yazılımı bu amaç için kullanılmıştır. Ayrıca aktif üretimin yapıldığı, seçilen bu sahalarda farklı parçalanma dereceleri yaratabilmek için değişik konfigürasyonlarda patlatma tasarımının

yapılabilmesi de çalışma için hayati önem taşıyan konulardan biridir. Araştırma boyunca en fazla zorluk çekilen konulardan biri, bu tür patlatmaların ocak üretimini aksatmayacak şekilde yürütülmesi olmuştur.

Patlatma sonrası oluşan yığın üzerinden ölçekli görüntülerin alınması ve bunu takiben ekskavatör çevrim süresinin tutulup kaydedilmesi, aynı şekilde kırıcıya beslenmeden önce kamyon üzerinden kamyonu yüklü olan yığından ölçekli görüntülerin alınması ve kırıcı kırma sürelerinin ve enerji tüketim miktarlarının kaydedilmesi bir ekip işi olduğundan, çalışmalar boyunca değişik zamanlarda yardımcı elemanlar yapılan saha çalışmalarında görev almıştır. Araştırma kapsamında tamamlanan ölçüm ve çalışmaları 4 ana başlık altında toplayabiliriz. Bunlar;

- i. Parça boyut dağılımı ile ekskavatör yükleme performansı arasındaki ilişkinin tespiti ve sınavının yapılması.
- ii. Parça boyut dağılımı ile çeneli kırıcı birincil kırma performansı arasındaki ilişkinin tespiti ve sınavması.
- iii. Kuz-Ram parçalanma tahmin modelinin optimizasyon çalışmalarında kullanılabilirliğinin araştırılması.
- iv. Elde edilen bulgular ışığında patlatma-ardışık işlem faaliyetleri üretim optimizasyon modelinin oluşturulması.

4.1. EKSKAVATÖR PERFORMANS ÖLÇÜMLERİ VE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

4.1.1. Çalışma Sahası ile İlgili Bilgiler

Ekskavatör performans ölçümleri için çalışma sahası olarak Akdağlar Madencilik A.Ş.'ye ait Cendere mevkiinde bulunan taşocağı seçilmiştir. Akdağlar Madencilik A.Ş., yılda 1.500.000 ton üretim yapabilen iki adet taşocağına sahiptir. Ocağın işletilebilir rezervi 100.000.000 tondur. Bu sahada delme patlatma yöntemi ile kaya parçalanmakta daha sonra ekskavatörle malzeme kamyonlara yüklenmekte ve daha sonra çeneli kırıcıya dökülerek birincil kırma işlemine tabi tutulmaktadır. Daha sonra kırıcıdan çıkan malzeme bantlar vasıtasıyla diğer kırıcılara giderek piyasanın talepleri doğrultusunda beton santrallerine, inşaat şirketlerine veya asfalt fabrikalarına satılmaktadır. Üretilen

malzeme sertliği oldukça yüksek, gri renkte, Devoniyen yaşı, mikalı kumtaşıdır. Çalışma sahasının uydu görüntüsü Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1: Akdağlar Taşocağı’nın Google Earth’ten alınan uydu görüntüsü

İşletmede delik delme işlemi için Furukawa HCR12 – DS pnömatik delici makine, yükleme işleminde ise 2,2m³ kepçe kapasiteli, CAT 330C LME hidrolik ekskavatörler kullanılmaktadır. Taşıma işleminde ise 30 ton kapasiteli çeşitli markalarda kamyonlar kullanılmaktadır. Ocak çalışma sistemine ait bilgiler Tablo 4.1’de sunulmuştur. Tablo 4.2’de ise Akdağlar taşocağının mineralojik ve petrografik özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.1: Ocak çalışma sistemi

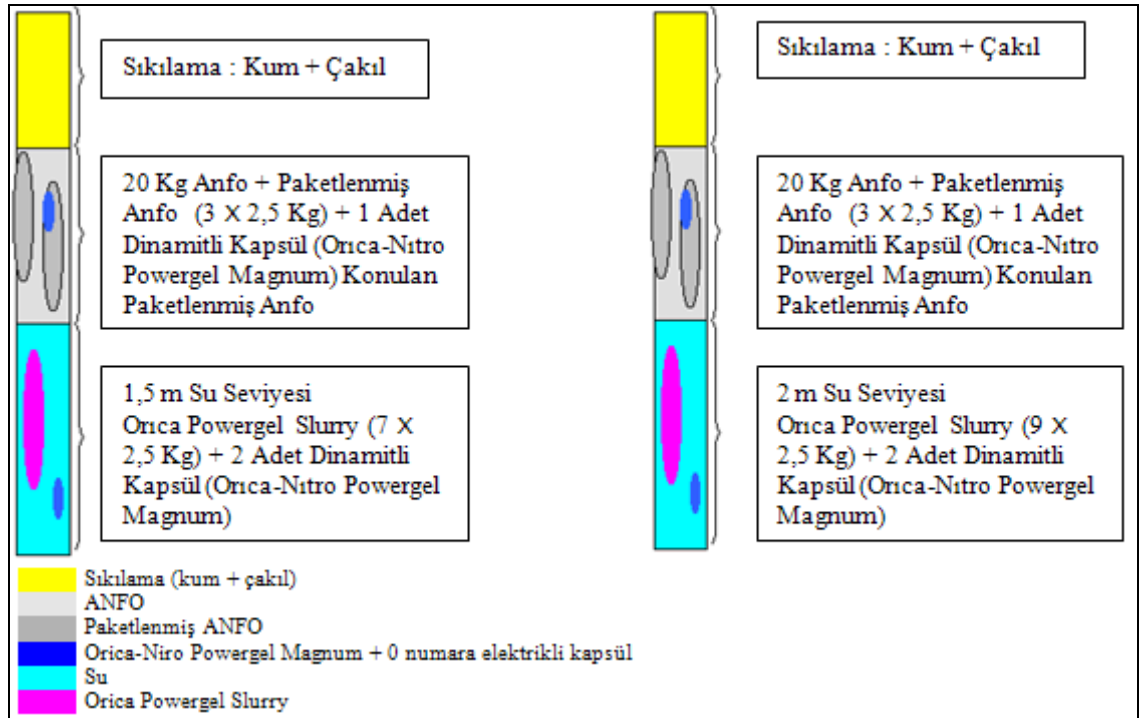
Kazı	Patlatmalı Kazı
Yükleme	Ekskavatör, Loder
Taşıma	Damperli (30 tonluk) Kamyon
Kırma	Telsmith Kırma Tesisi
İkincil Kırma	Hidrolik Kırıcı
Not	Telsmith kırma tesisi içinde 2 adet çeneli kırıcı ile 1 adet konili kırıcı mevcuttur.

Tablo 4.2: Akdağlar taşocağının mineralojik-petrografik özellikleri

Saha özellikleri	Doku	Mineral bileşimi ve % (modal) oranları	Kayaç adı
Devoniyen yaşı, koyu gri tonlarda	Köşeli-yarı köşeli, taneli, bol mika çimentolu	İnce kalsit (65) + ikincil kalsit (25-30) + opak (5)	Mikalı kumtaşı

4.1.2. Akdağlar Taş Ocağında Yapılan Saha Çalışmaları

Akdağlar taşocağında değişik kotlarda oluşturulmuş 12m lik basamaklarda patlatma yapılarak üretim gerçekleştirilmektedir. Patlatma delikleri belirli dilim kalınlığı ve deliklerarası mesafe değerlerine uygun olarak 90 ve 120 mm çapında delinebilmektedir. Genellikle tek sıra atım gerçekleştirilmektedir. Patlayıcı madde olarak ana kolon şarjında delik su durumuna göre, ANFO, paketlenmiş ANFO veya powergel slurry patlayıcı kullanılmaktadır. Yemleyici olarak poergel magnum emülsiyon patlayıcı kullanılmaktadır. Ateşleme sistemi olarak ise gecikmeli elektrikli kapsüller kullanılmaktadır. Delik içerisinde, biri delik tabanında ve diğer deliğin ortasında olmak üzere çift yemleme yapılmaktadır. Şekil 4.2'de delik içi değişik su bulunma durumlarına göre uygulanan şarj tipleri gösterilmiştir.



Şekil 4.2: 12m'lik sulu deliklerin kesit görünüşleri (su seviyeleri 1,5 ve 2 m)

Ocakta uygulanmakta olan patlatma çalışmalarından ayrı olarak bu saha için müdahale edebilecek patlatma parametrelerini kullanarak uygun formüllerle beraber basamak patlatma tasarımı tekrar yapılmıştır. Deneysel atımlara yol göstermesi amacıyla patlatma mühendisliği ilkeleri kullanılarak hazırlanan tasarımlarla ilgili bilgiler Tablo 4.4'te verilmiştir.

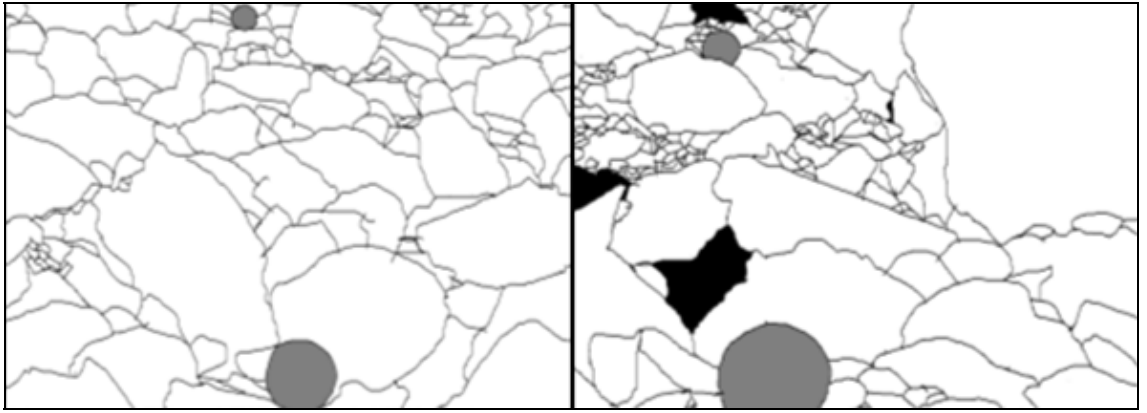
Tablo 4.4: Patlatma tasarım parametreleri değerleri

Tasarım parametreleri	Ocakta uygulanan	90 mm için	120 mm için
Max. Dilim Kalınlığı(m)	---	3,01	3,73
Delik taban payı(m)	0	0,90	1,12
Delik boyu (m)	12	12,90	13,12
Delik hata payı (m)	0	0,48	0,51
Pratik dilim kalınlığı(m)	Ort 2,60	2,53	3,22
Delikler arası mesafe(m)	Ort 2,14	3,16	4,03
Delik sayısı (adet)	7	6	5
Sıkılama boyu (m)	2,20	2,53	3,22
Şarj miktarı (kg/m)	5,09	5,01	9,04
Şarj boyu (m)	9,80	10,37	9,90
Şarj miktarı (kg)	50	51,95	89,50
Özgül şarj (kg/m ³)	0,88	0,68	0,77

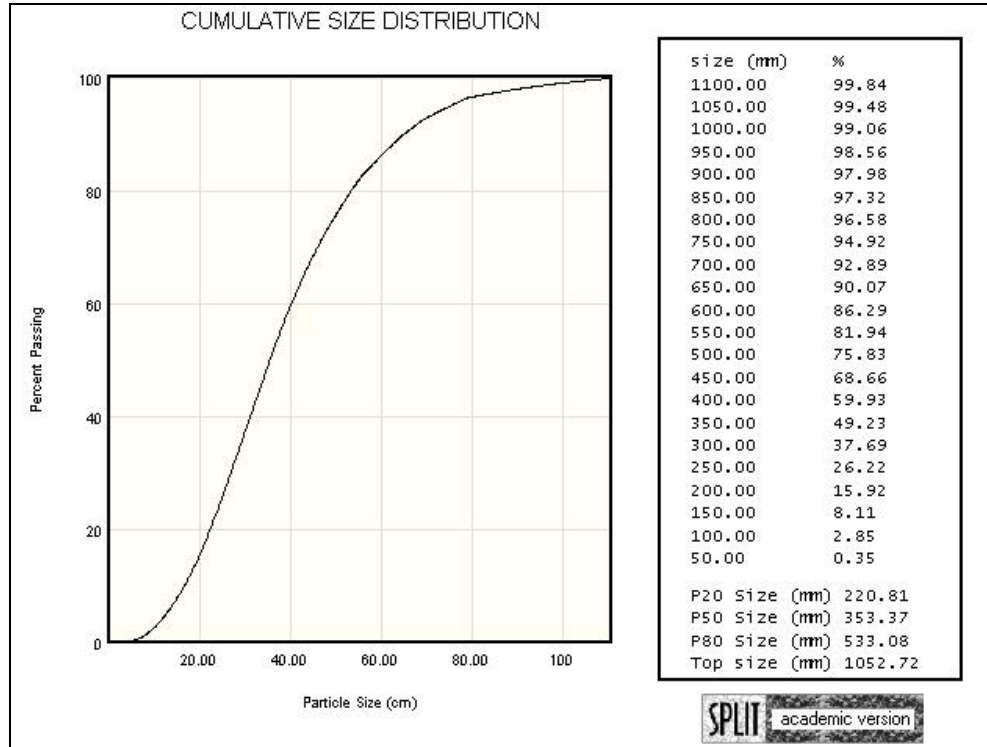
Deneysel atımlara baz oluşturacak 90 mm ve 120mm çaplı delikler için ayrı ayrı yapılan patlatma tasarımından sonra şirket yetkilileri tarafından yapılan ve onlara sunduğumuz toplam 16 adet atım sahada gerçekleştirilmiştir. Sahada gerçekleştirilen bu atımlar sonrası oluşan yığınlar üzerinden alınan ölçekli görüntüler Split-Desktop yazılımında işlendikten sonra her atım sonrası oluşan parça boyut dağılımı tespit edilmiştir. Şekil 4.3 a,b ve c'de parça boyut dağılımının dijital görüntü işleme yöntemi ile saptanması aşamaları örnek bir patlatma için verilmiştir.



Şekil 4.3a: Patlatma sonrası yığın üzerinden alınan örnek görüntüleri



Şekil 4.3b: Görüntülerin Split-Desktop yazılımı ile işlenmiş hali



Şekil 4.3c: Patlatma sonrası yığının elde edilen kümülatif parça boyut dağılımı

Farlı parçalanam dereceleri yaratacak şekilde genellikle de değiştirilmesi en pratik olan dilim kalınlığı ve deliklerarası mesafe değerlerinin değiştirilmesi ile tasarlanan 16 adet atım sonrası oluşan yığınların parça boyut dağılımları Şekil 4.3 a,b,c'de verildiği gibi saptanmıştır. Yığından ölçekli görüntüler alınırken 2 adet 210mm çapında futbol topu, biri görüntü karesinin en üstüne diğeri ise altına gelecek şekilde yığın üzerine yerleştirilerek kullanılmıştır. Herbir atım sonrası oluşan yığının farklı bölgelerinden ve ekskavaör yükleme yaptıkça, mümkün olduğunca iç kısımlarından 10'a yakın dijital görüntü alınmıştır. Bu görüntüler tek tek manuel olarak Split-Desktop yazılım ile işlendikten sonra toplu halde hesaplama işlemine tabi tutulmuş ve sonuç olarak her atım için yığının tümünü temsil edebilen bir parça boyut dağılımı saptanmıştır. Yapılan patlatmalar sonrasında taşocağında yığının kamyonlara yüklenmesi işleminde kullanılan CAT 330C LME marka ekskavatörün yükleme çevrim sürelerinin dört bileşeni de ayrı ayrı tutularak ölçülmüştür.

Ekskavatörün çalışma verimliliğini etkileyen başlıca iki tane faktör vardır. Bunlar: güç (sökme kuvveti) ve hızdır (kepçe çevrim süresi veya saykıl süresi). Ekskavatör saykıl süresi dört kısımda incelenmektedir. Bunlar aşağıdaki gibidir;

- i. Ekskavatörün kepçesini doldurması (kazı süresi)
- ii. Dolu kepçenin manevrası
- iii. Kepçenin boşaltılması
- iv. Boş kepçenin manevrası

Toplam yükleme çevrim süresini etkileyen en etkili kısım ise ekskavatörün kepçesini doldurma süresi, yani kazı süresidir. Toplam çevrim süresi içinde kazı süresinin miktarı yaklaşık çevrim süresinin yarısı kadardır. Ekskavatörün sökme gücü sabit tutulduğunda, kepçesine doldurmaya çalıştığı malzemenin parça boyut dağılımına göre kazı süresi artar veya azalır. Normal olarak küçük tane boyutlu yığınlarda çalıştığı zaman bu süre daha az olacak, boyut arttıkça kepçe yüklemeye zorlanacağından, süre de artacaktır. Toplam çevrim süresini ve dolayısıyla kazı süresini etkileyen diğeri bir parametre ise operatörün tecrübesidir. Ekskavatörün kepçesinin dolu ve boş olarak manevra etmesi ve boşaltma süreleri ise yine ekskavatörün güç ve hızı hariç tutulduğunda operatörün tecrübesi ve kamyonun ekskavatore yaklaşma mesafesi ile ilgilidir.

Her bir yığın üzerinde ekskavatörün çalışması ortalama 10 kamyon için takip edilmiş ve kepçe doldurma süreleri ve toplam çevrim süreleri kaydedilmiştir. Kayıt işleminde tez kapsamında geliştirilmiş kayıt formu kullanılmıştır (Ek-A). Süreler kaydedilirken kepçe dolma faktörleri de gözlemsel olarak takip edilerek not edilmiştir. Tablo 4.5’de örnek bir kronometraj çalışması verilmiştir.

Tablo 4.5: Ekskavatör çevrim süresi örnek kronometraj çalışması

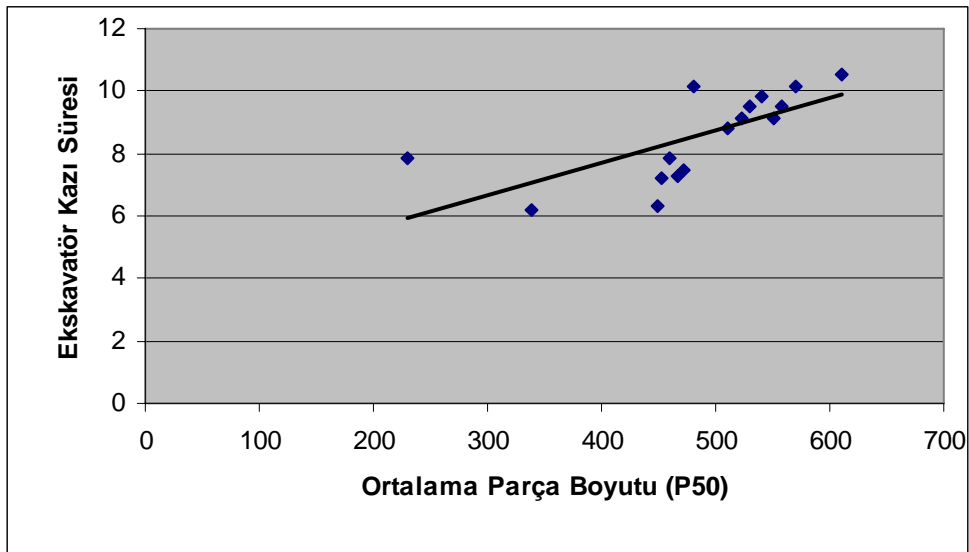
Manevra sayısı	Kazı Süresi (sn)	Dolu,Boş Manevra+Boşaltma Süresi (sn)	Kepçe Dolma Faktörü
1	5,26	13,85	0,7
2	13,45	11,94	1,1
3	5,63	7,52	0,6
4	5,84	8,58	1
5	4,9	9,78	1
6	6,48	11,16	1
7	4,36	10,46	1,1
8	5,63	10,3	1
9	7,24	12,53	1,1
10	18,11	12,01	1
11	9,12	13,7	1,1

Kepçe dolma faktörleri kazı süresinde etkili bir unsurdur. Kepçenin yarısının doldurulma süresi ile tamamının doldurulma süresi birbirinden farklı olacaktır. Bu nedenle kayıt edilen kazı süreleri kepçe dolma faktörlerine bölünerek kepçenin tamamının dolması halinde elde edilecek ayarlanmış süreler elde edilmiştir.

4.1.3. Ölçüm verilerinin Analizi ve Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında ekskavatörün teknik özellikleri, kamyon yaklaşım mesafesi ve operatör sabit tutularak sadece yüklenen yığının ortalama parça boyut dağılımı ile kazı (kepçe dolma) süresi arasındaki ilişki incelenmiştir. Yeterli sayıda patlatma çalışması sonucu oluşan, farklı parça boyut dağılımlarında çalışan CAT 330C marka hidrolik ekskavatörün kazı süreleri kaydedilmiştir. Kazı süreleri kaydedilen yığnlara ait ortalama parça boyut dağılımı dijital görüntü işleme yöntemi ile tespit edilmiştir. Daha sonra elde edilen ortalama parça boyutları ile ortalama kazı süreleri eşlenerek, analiz edilmiş ve aralarında ampirik bir ilişki kurulmuştur.

Ekskavatör kazı süreleri kepçe dolma faktörüne göre ayarlandıktan sonra elde edilen kazı süreleri yığınların ortalama parça boyutu ile eşleştirilerek değişik regresyon analizleri yapılmıştır. Uygulanan regresyon analizleri sonucunda en yüksek korelasyon katsayısını veren lineer regresyon ilişkisi ifade etmek için kullanılmıştır. Bu veri çiftleri kullanılarak yapılan analizin grafiği Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4: CAT 330C ekskavatör için ortalama parça boyutu ile kazı süresi arasındaki ilişki

Bu analiz sonucunda P_{50} ortalama parça boyutu ile S_k ekskavatör kazı süresi arasında ampirik bir ilişki bulunmuştur. Yapılan regresyon analizinin korelasyon sayısı $r = 0,68$ olarak bulunmuştur. Makul sayılabilecek bir korelasyon katsayısı ile elde edilen bu eşitlik belirli bir ortalama parça boyutunda çalışan CAT 330C marka ekskavatörün tahmini kazı süresini hesaplamak için kullanılabilir. Ekskavatör kepçe doldurma süresi ile patlatma sonrası oluşan yığının ortalama parça boyutu arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlik 4.1’te verilmiştir (Özdemir ve diğ. 2005).

$$S_k = 0,0103 \times P_{50} + 3,5967 \quad (4.1)$$

Burada;

S_k = Ekskavatör kepçe dolma süresi (sn)

P_{50} = Ortalama parça boyutu (mm)

Elde edilen eşitlikten de anlaşılacağı üzere yüklenen mazlemenin P_{50} değeri ile ekskavatör kepçe dolmuş süresi arasında linner bir ilişki vardır ve yükleme işleminin doğası gereği, kepçe boş halde yükleme hareketi yaparken geçen sabit bir süre vardır. Eşitlik son bölümü (+3,5967) buna işaret etmektedir. Eşitliğin ilk bölümü ($0,0103 \times P_{50}$) ise yığının ortalama parça boyutunun yükleme süresine etki ettiği kısım olarak açıklanabilir.

Tezin ikinci bölümünde bahsedildiği üzere kepçe dolmuş süresine operatör faktörü göz ardı edildiğinde etki eden makineye ait özellikler vardır. Bunlardan en önemlisi ekskavatörün kepçesine yükleme veya kazı işlemini yaptıracak hareket ve kuvvetleri sağlayan F_B ve F_S kuvvetleridir. F_B kuvveti kepçenin aşağıdan yukarıya doğru yığını kavrama hareketini sağlayan kuvvettir, F_S ise kepçenin yığına veya kazı yapılan ortama doğru penetrasyonunu sağlayan itme kuvvetidir. Literatürde F_B kuvveti kepçe bükülme kuvveti, F_S ise bum itme kuvveti olarak geçmektedir. Diğer etki eden makineye ait özellik ise ekskavatörün kazı veya yükleme işi yaptığı kepçenin boyutlarıdır. Kepçenin yığına temas ettiği ağız genişliği arttıkça ve dolayısıyla hacim de artacağından kepçe dolmuş süresi de doru orantılı olarak artacaktır.

Bahsettiğimiz bu makineye ait etkenleri de eşitlik 4.1'e uygulayarak, sadece 2,2m³'lük kepçe ile yükleme işi yapan CAT 330C LME marka ekskavatörün tahmini kepçe dolmuş süresini veren değil, tüm ekskavatörler için değişik kepçe hacimlerinde bu tahmin hesabını yapabilecek bir eşitlik bulmaya çalışılmıştır. Bu eşitliği geliştirirken, saha çalışmalarında kullanılan CAT 330C LME marka ekskavatöre ait kepçe hacmi ve F_B ve F_S kuvvetleri hesaba katılmıştır. Kepçe hacminin süreyi doru orantılı etkileyeceği ve bu iki kuvvetin ise bileşkelerinin süreye ters orantılı etki edeceği analşılmıştır. Yapılan hesaplamalardan sonra değişik model ve kepçe kapasitelerine sahip ekskavatörler için geliştirilmiş aşağıdaki eşitliğe ulaşılmıştır (Özdemir ve diğ. 2007) .

$$S_k = 0,454 \times V_B \times \left[\frac{(458 \times P_{50}) + 1,6 \times 10^5}{(F_S) \times (F_B)} \right] \quad (4.2)$$

Burada;

S_k = Ekskavatör kepçe dolmuş süresi (sn)

V_B =Kepçe hacmi (m³)

P_{50} = Ortalama parça boyutu (mm)

F_S = Ekskavatör bumu itme kuvveti (kN)

F_B =Kepçe bükülme kuvveti (kN)

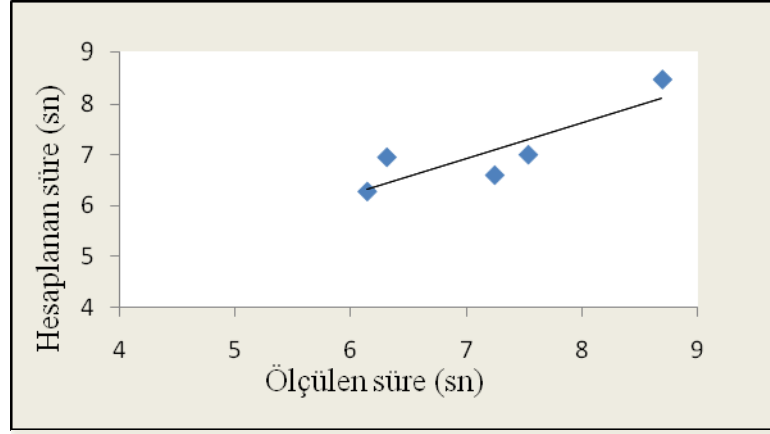
Elde edilen bu ilişkinin tutarlılığının tespit edilmesi amacıyla, Haktaş taşocağında değişik P_{50} değerleri elde edecek şekilde 5 farklı atım tasarlanmış ve bu atımlar sonrası aynı prosedürler izlenerek 5 atım sonrası oluşan yığının ortalama parça boyutları tespit edilmiş ve yükleme işlemi yapan değişik F_B ve F_S değerlerine sahip 2 m³'lük kepçeyle çalışan 3 farklı ekskavatör çeşidinin kepçe dolum süreleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerden sonra eşitlik 4.2 kullanılarak tahmini kepçe dolum süreleri hesaplanmıştır. Tablo 4.6'da yapılan 5 farklı atım sonrası elde edilen yığın P_{50} değerleri, ölçülen ve tahmin edilen kepçe dolum süreleri ve makinaların modeli ve F_B ve F_S kuvvet değerleri verilmiştir.

Tablo 4.6: Değişik marka ekskavatörler için ölçülen ve hesaplanan kepçe dolum süreleri

Atım No.	P_{50} (mm)	Kepçe dolum süresi (sn)		F_S^* (kN)	F_b^* (kN)	Ekskavatör modeli
		Ölçülen	Hesaplanan			
1	306.02	8.68	8.47	195	165	Volvo
2	284.7	7.24	6.6	170	235	Sumitomo
3	260.3	6.15	6.28	193	209	Hyundai
4	318.5	6.3	6.95	170	235	Sumitomo
5	329.12	7.5	7	193	209	Hyundai

* F_S ve F_b kuvvetleri ekskavatör katalog bilgilerinden alınmıştır.

Tablo 4.6'da görüleceği üzere farklı ortalama parça boyut dağılımında yükleme işi yapan 3 farklı ekskavatör için ölçülen ve eşitlik 4.2 kullanarak hesaplanan kepçe dolum süreleri oldukça yakın çıkmıştır. Eşitlik 4.1'in geliştirilmesiyle tüm ekskavatörler için kullanılabilir bir eşitlik olarak tasarlanan eşitlik 4.2'nin tutarlılığını ölçmek için yapılan deneme atımları sonrası ölçülen ve hesaplanan değerlerle istatistiksel bir analiz yapılmış ve elde edilen regresyon analizi sonucu elde edilen 4.2 eşitliğinin korelasyon katsayısı yada diğer bir tabirle tutarlılık katsayısı elde edilmiştir. Şekil 4.5'te bu ilişkiyi gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 4.5: Ölçülen ve hesaplanan kepçe dolum süreleri arasındaki ilişki

Yapılan 5 adet deneme atımı sonrası, ölçülen ve hesaplanan ekskavatör kepçe dolum sürelerinin lineer regresyon analizi sonucu oluşan ilişkinin korelasyon katsayısı $r=0,86$ olarak bulunmuştur. Bu ilişki göstermiştir ki, farklı büyüklüklerde kepçe takılı olan farklı F_B ve F_S kuvvetlerine sahip ekskavatör modelleri için yükleme yaptıkları yığının ortalama parça boyutuna göre tahmini kepçe dolum süresini veren 4.2 eşitliğinin tutarlılığı %86'dır. Oldukça makul bir değer olarak kabul edilebilecek bu değer, sistematik bir şekilde gerçekleştirilen arazi çalışmaları sonucu elde edilen bu eşitliğin, ekskavatör performansı ile patlatma sonrası oluşan yığının parça boyut dağılımı arasındaki ilişkiyi ifade edebileceği sonucuna varılmıştır.

4.2. ÇENELİ KIRICI PERFORMANS ÖLÇÜMLERİ VE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

4.2.1. Çalışma Sahası İle İlgili Bilgiler

Tez kapsamında ekskavatör ile patlatma sonrası parça boyut dağılımı arasındaki ilişkinin araştırılması amacıyla çalışmalar Cebeci yöresindeki Haktaş Madencilik A.Ş.'ye ait taş ocağında yapılmıştır. İstanbul ilinin yaklaşık 15 km kadar kuzeybatısında bulunan ve Gaziosmanpaşa ilçesi sınırları içinde kalan Haktaş Madencilik; batıda Habibler; güneybatıda Sultançiftliği Mahallesi, güneydoğuda ise Kemberburgaz arasında yer almaktadır. taşları işlenmesi kolay, kırılıp elenmesi iyi, mukavemeti yüksek, su emmesi yok denecek kadar az, çimento ile aderansı çok yüksek ve bitümlü yapışması oldukça iyi olduğundan beton ve asfalt yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır.

4.2.1.1. Bölgenin Jeolojik ve Petrografik Yapısı

Bölgenin genel stratigrafik yapısı üst üste oturmuş iki formasyondan oluşmaktadır. Alttan yukarı doğru kalınlığı tahminen 1700 metreye varan alt karbonifer yaşlı Trakya Formasyonu ve en üstte neojen yaşlı yaklaşık 20 metre kalınlığında Belgrad Formasyonu ardalanmasıyla sıralanmaktadır. Cebeci Bölgesinin en yaşlı birimi; kumtaşı ve şeyl ardalanmalarından meydana gelen ve az miktarda kalkerli şeyl ve kireçtaşı içeren Trakya Formasyonudur. Bu formasyon, alt-üst ilişkileri, yayılımı, çökelme yaşı ve ortamı dikkate alınarak sırasıyla Küçükköy kumtaşı, Çamurluhan şeyli ve Cebeciköy kireçtaşı üyelerine ayrılmıştır. Cebeciköy kireçtaşı, tabanındaki Çamurluhan şeyl üyesi ile geçişlidir. Dokanak yakınlarında killi kireçtaşının yer aldığı görülmesine rağmen kil oranı giderek azalır ve tamamen karbonat miktarı egemen olur. Çok yerde bu dokanak düzleminde süreksizlikler gelişerek ters fay oluşmuştur. Ayrıca sıkı tutturulmamış genç çökeller ile tutturulmuştur. Kireçtaşı; gri koyu renkte, masif kalın tabakalı, yaygın spartit damarlı, yer yer dolomitik düzeyli ve oldukça serttir. Az oranda killi kireçtaşı, karbonatlı şeyl ve çörtlerde bulunur. Bu birimlerin üzerine uyumsuz olarak, Neojen yaşlı çakıl, kum, silt ve killi Belgrad Formasyonu Kuvarterner yaşlı alüvyon, kumul çökelleri ile dolgu malzemeler gelmektedir. Şekil 4.6'da sahanın uydu görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.6: Haktaş Taşocağı'nın Google Earth'ten alınan uydu görüntüsü

Sahanın kayaç özelliklerini belirlemek için yapılan patlatmalardan sonra kaya mekaniği testleri yapmak için numuneler alınmıştır. Alınan bu numunelerden öncelikle testlerin

yapılabilmesi için karot makinesi kullanılarak karotlar elde edilmiştir. Bu karotlar karot düzeltme makinesiyle düzgün ve pürüzsüz hale getirilip, düzeltilen ve pürüzsüz hale getirilen karotlar tek tek numaralandırılarak, tek eksenli basma deneyi yapılmıştır. Ayrıca şekilsiz numuneler üzerinde nokta yükleme ve yoğunluk belirleme testleri yapılmıştır. Yapılan tek eksenli basma dayanımı sonucu elde edilen sonuçlar Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7: Tek eksenli basma dayanımı deney sonuçları

Numune No	Boy (L) (mm)	Çap (D) (mm)	Alan (A) (cm ²)	Yükleme Hızı (kg/cm ² /sn)	Kırılma Açısı (Ø)	Kırılma Yüğü (P) (KN)	Tek Eksenli Basma Dayanımı (C ₀) (MPa)	Boy\Çap Oranı
1	110,2	54,1	0,0023	2000	68 ⁰	119,5	51,956	2,0369
2	110,3	54	0,0022	2000	70 ⁰	225,1	98,296	2,0426
3	110	54	0,0022	2000	83 ⁰	177,8	80,82	2,0370

Nokta yükleme dayanım deneyinde düzgün olmayan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyden önce her bir numunenin boy ve çapları belirlenir. Deney için kullanılacak olan düzeneğe yükleme sistemi, ölçme sistemi ve yükleme sistemindeki platenlerin uç noktaları arasındaki uzaklığı ölçmek için ölçme sisteminden oluşmaktadır. Numunelere teker teker bu düzeneğe yerleştirilir. Yerleştirilen numunelere kırılana kadar hidrolik pompa yardımıyla yük uygulanır ve kırılma anında uygulanan yük değeri not edilir. Bu işlemler her numune için tekrarlanır. Nokta yükleme deneyi sonucu elde edilen değerler Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8: Nokta yükleme dayanımı deneyi sonuçları

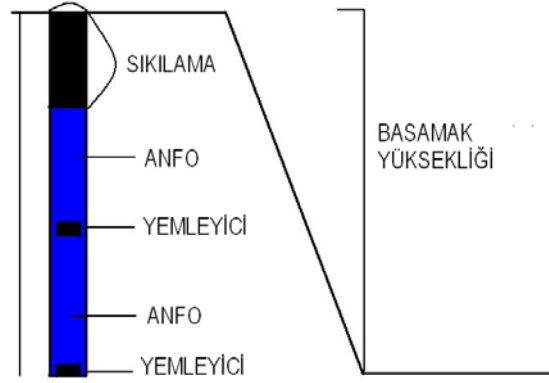
Numune No	Çap (D) (mm)	Kırılma Yüğü (P) (kN)	Düzeltilmemiş Nok. Yüğü Day. (IS) (MPa)	Düzeltilmiş Nok. Yüğü Day. (IS ₅₀) (MPa)	Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)
1	39	13	8,547	7,642	168,143
2	42	9,11	5,164	4,774	105,035
3	40	10,78	6,737	6,093	134,053
4	44	12	6,198	5,851	128,733
5	36	20	15,432	13,311	292,849
6	55	11,45	3,785	3,950	86,919
7	49	7	2,915	2,888	63,549
8	50	10,69	4,276	4,276	94,072
9	54	8,62	2,956	3,060	67,323
10	46	12	5,671	5,462	120,167
11	45	7,7	3,802	3,625	79,770

Yapılan nokta yükleme deneyleri sonucu kayaç tek eksenli basma dayanımı 121,88 MPa, nokta yükleme dayanım değeri ise 5,95 MPa olarak tespit edilmiştir. Şekilsiz numularla yapılan kaya yoğunluk deneyleri sonucunda ise kayaç yoğunluğu 2,7 gr/cm³ olarak bulunmuştur.

4.2.2. Haktaş Taş Ocağında Yapılan Saha Çalışmaları

Tez kapsamında patlatma sonrası oluşan yığının parça boyut dağılımı ile taşocağında birincil kırma işleminde kullanılan çeneli kırıcı kırma performansı arasındaki ilişkiyi tespit edebilmek için sistematik bir şekilde çok sayıda atım gerçekleştirilmiş ve hem patlatma sonrası yığından hem de kırıcıya beslenmeden önce kaya yüklü kamyonlar üzerinden dijital görüntüler alınarak, görüntü işleme yöntemi ile parça boyut dağılımları tespit edilmiştir. Sahada gerçekleştirilen atımlar, ekskavatör performans analizi için gerçekleştirilen atımlarda olduğu gibi değişik parçalanma dereceleri oluşturacak şekilde tasarlanmış ve uygulanmıştır. Kırıcıya beslenen malzemenin parça boyut dağılımı tespit edildikten sonra her bir kamyon yüklü malzeme için kırıcı kırma süreleri ve kırmak için harcadığı enerji miktarları ölçülüp not edilmiştir. Tüm veriler elde edildikten sonra veriler istatistiksel regresyon analizlerine tabi tutularak parça boyut dağılım özellikleri ile kırıcı kırma kapasitesi (ton/saat) ve enerji tüketim miktarları (kW/saat) arasındaki ilişkiler tespit edilmiştir.

Sahada 15m'lik basamaklar halide tek sıra olmak üzere 90mm çapında delikler delinmek suretiyle değişik dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe değerleri kullanılarak çok sayıda atım tasarlanıp gerçekleştirilmiştir. Patlatma çalışmalarında ana patlayıcı madde olarak ANFO, yemleyici olarak Emulite-100 emülsiyon patlayıcı, ateşleme sistemi olarak ise gecikmeli elektrikli kapsüller kullanılmıştır. Şekil 4.7'de genel delik içi şarj sistemi gösterilmiştir.



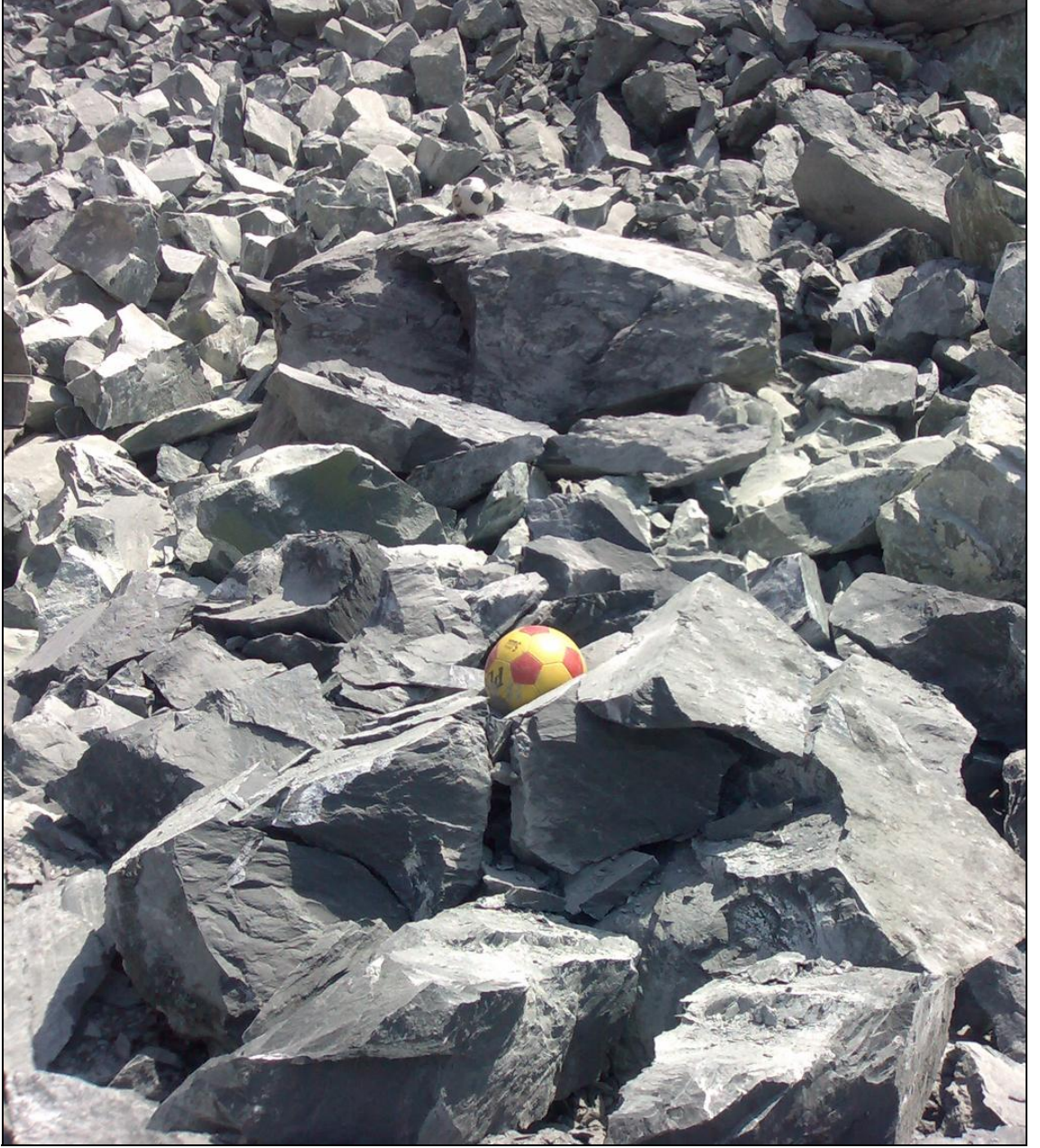
Şekil 4.7: Haktaş Taşocağında yapılan patlatmalardaki delik içi şarj sistemi

Şekil 4.7'den de anlaşılacağı üzere bu taşocağında patlatma mühendisliği ilkelerine çok da uygun olmayacak şekilde delik taban payı bırakılmamaktadır. Bunun sebebi basamakların 15 m olması ve kullanılan delici makinenin tij sayısının aynı anda ancak 15m'ye kadar delik delebmesidir. Kullanılan delici ekipmanın değiştirilme imkanı olmadığından dolayı çalışmalar 15m'lik delikler delinerek yapılabilmektedir. Yapılan patlatmalarda delik eğimi, basamak eğimi ile aynı olmak üzere 80° 'dir. Yapılan patlatmalarda kullanılan genel patlatma parametreleri Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9: Uygulanan patlatma tasarım parametreleri

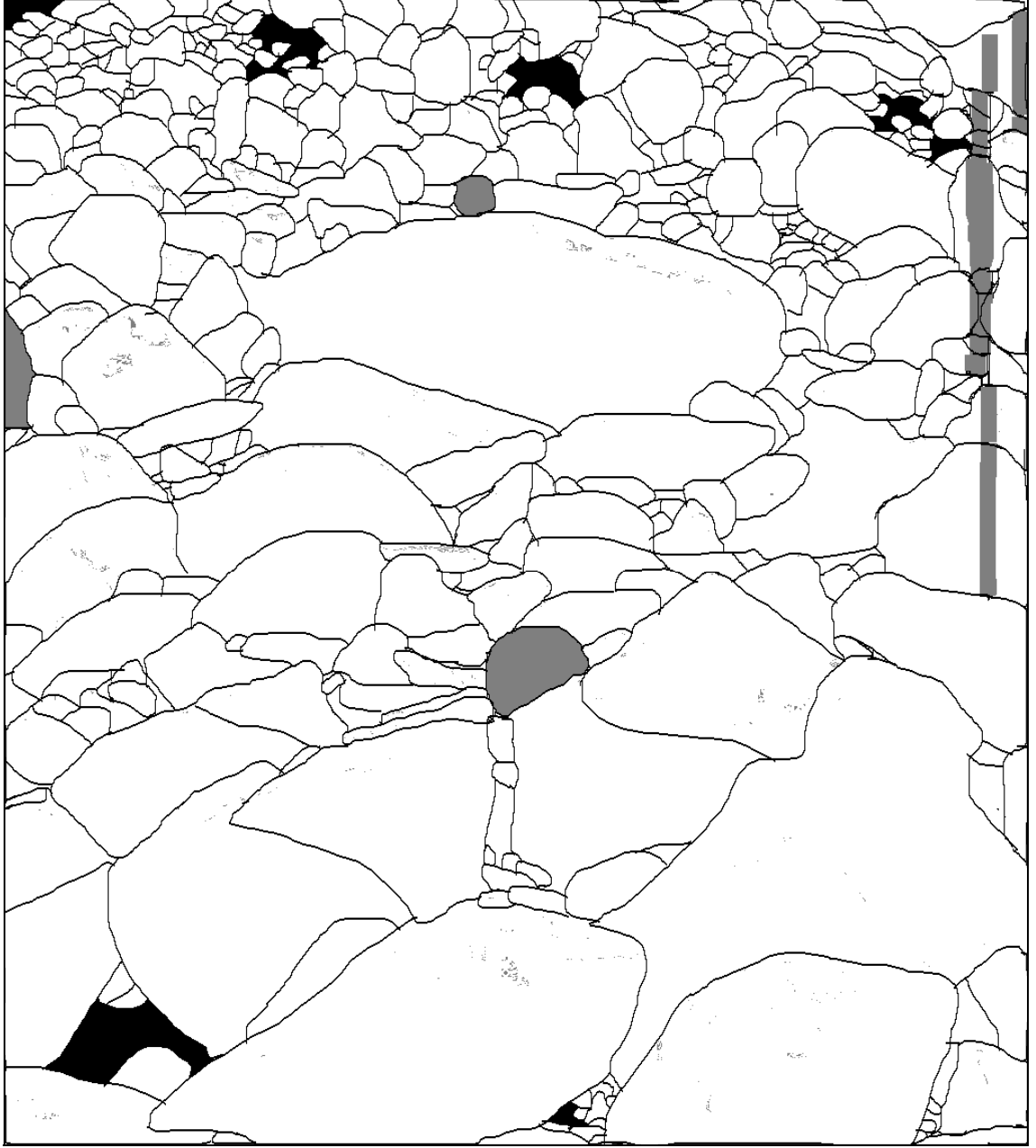
Delik Çapı (mm)	89
Delik Boyu (m)	15
Delik Eğimi ($^\circ$)	90
Dilim Kalınlığı (m)	3 (değişken)
Delikler Arası Mesafe (m)	3 (değişken)
Basamak Yüksekliği (m)	15
Basamak Eğimi Açısı ($^\circ$)	80
Sıkılama Boyu (m)	3
Delik Taban Payı (m)	-
Su Durumu	Yok

Çalışmada kullanılacak verileri üretmek amacıyla, patlatma sonrası oluşan yığın parça boyut dağılımını her atım sonrası değişik elde edebilmek için en pratik şekilde dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe değerleri her atımda değiştirilmiştir. Gerçekleştirilen atımlar sonrasında ekskavatör çalışmasında uygulanan prosedür çalışmanın bu bölümünde de uygulanmıştır. Şekil 4.8 a,b ve c'de patlatma sonrası yapılan dijital görüntü işleme yöntemi ile parça boyut dağılımının tespit aşamaları gösterilmiştir.



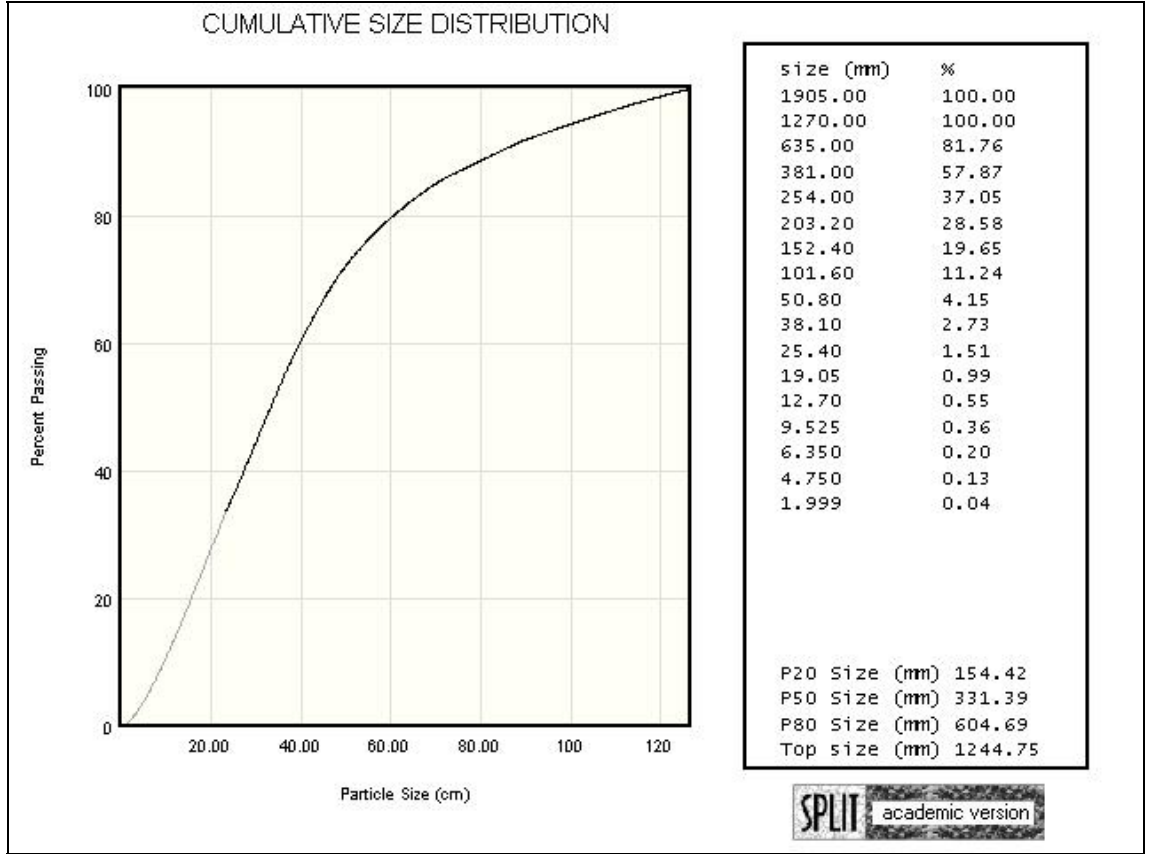
Şekil 4.8a: Patlatma sonrası yığın üzerinden alınan örnek görüntü

Yığın üzerinden dijital görüntüler alınırken yığının tümünü temsil etmesi amacıyla yığının hemen hemen her bölgesinden görüntüler alınmıştır. Ayrıca ekskavatör yükleme işlemine devam ettikçe yığının alt bölgelerinden de görüntüler alınarak görüntü işlemine tabi tutulmuştur.



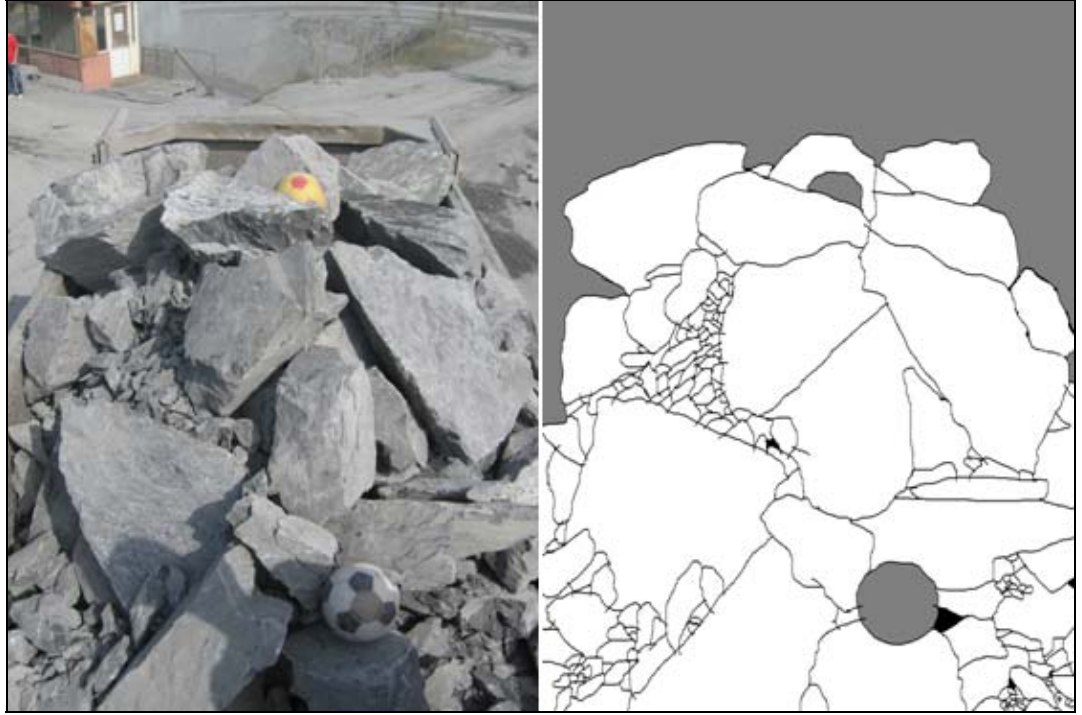
Şekil 4.8b: Görüntünün Split-Desktop yazılımı ile işlenmiş hali

Görüntüler alınırken ölçek olarak 2 adet 210 mm çapında futbol topu kullanılmıştır. Daha önce bahsedildiği üzere yığın belli bir açı ile oluştuğu için alınan her kare görüntü için toplardan biri karenin en süt kısmına diğeri ise en alt kısmına koyularak aradaki açıdan kaynaklanan ölçekleme sorunu çözülmüştür. Kullanılan Split-Desktop programı bu şekilde girilen ölçeklendirmeyi tanımakta ve üst ve alt topun kapladığı piksel alanını hesaba katarak görüntüyü doğru bir şekilde boyutlandırabilmektedir.



Şekil 4.8c: Patlatma sonrası yığının elde edilen kümülatif parça boyut dağılımı

Patlatmalar sonrası oluşan yığının parça boyut dağılımları tespit edildikten sonra kırıcı öncesi ve kırma işlemi sırasında gerçekleştirilen çalışmalara geçilmiştir. Her ne kadar patlatma sonrası parça boyut dağılımı tespit edilmiş olsa da ekskavatör kamyonlara, belli bir bölgeden belirli bir parça boyut dağılımına sahip bir miktar yığını yüklediğinden dolayı çeneli kırıcıya giren her bir kamyon malzemenin de parça boyut dağılımının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla kırıcı öncesi kamyonların üzerine çıkılarak kamyonu yüklenmiş yığının ölçekli görüntüleri alınmış ve görüntü işleme yöntemi ile parça boyut dağılımları tespit edilmiştir. Şekil 4.9'da kamyon üzerinden alınan görüntülere ve işlenmiş haline örnek verilmiştir.



Şekil 4.9: Kamyon üzerinden alınan görüntü ve işlenmiş hali

Kırıcı performans ölçüm çalışmalarında toplam 82 kamyon üzerinden görüntüler alınmış ve işlenerek parça boyut dağılımları tespit edilmiştir. Tüm görüntü işleme analizleri çok doğru sonuç alabilmek için manuel olarak yapılmıştır. Aynı çeneli kırıcının 82 farklı yığını kırma performansı ve enerji tüketim miktarları ölçülmüştür.

4.2.2.1. Kırıcı Performans Ölçümleri

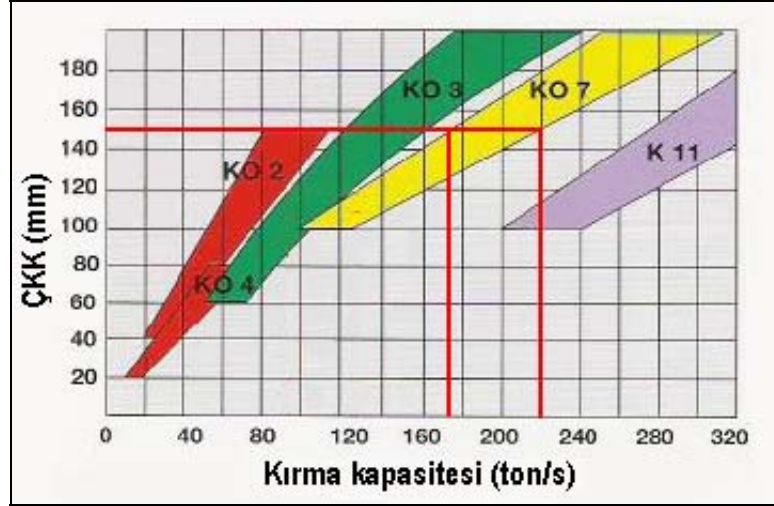
Haktaş kumtaşı taş ocağında gerçekleştirilen kırıcı performans ölçümleri sahanın birincil kırma işlemini gerçekleştiren NACE marka iki çeneli kırıcısında 1100x850 ölçülerinde olun K07 model çeneli kırıcada gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.10'da çalışmaların gerçekleştirildiği K07 model kırıcı gösterilmiştir. Haktaş taşocağında kullanılan NACE marka çeneli kırıcılarla ilgili bilgiler Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10: Sahada kullanılan çeneli kırıcılarla ilgili bilgiler

Kırıcı Tipi	K07	K11
Besleme Açıklığı (mm)	1100x850	1300x1100
Motor Gücü (kW)	132	160
Motor Devri (rpm)	228	210
Ağırlık (kg)	33000	42500

Daha önce bahsedildiği üzere kırıcı kapasitesini etkileyen faktörler kırıcı besleme açıklığı (ÇA), çenenin kapalı durumdaki çıkış ağız genişliği (ÇKK), motor gücü, motor

devri ve beslenen malzemenin paraça boyut dağılımıdır. Şekil 4.10'da NACE marka çeneli kırıcılar değişik ÇKK değerlerine göre kapasite değerleri verilmiştir.



Şekil 4.10: NACE marka kırıcılar ait ÇKK'ya göre kırma kapasiteleri

Bu çalışma kapsamında 1100x850'lik K07 model çeneli kırıcının 150 mm KÇÇ değerinde değişik paraça boyut dağılımına sahip yığınlar için değişen kapasitesi ve tükettiği enerji miktarı ölçülmüştür. Toplam 82 farklı kamyon için yapılan ölçümlerdeki hatalı ölçümler filtrelenmiş ve sonuç olarak 44 adet ölçüm analizlerde kullanılmıştır. Kırıcı performan ölçüm sonuçları Ek-B'de verilmiştir. Tablo 4.11'de ölçülen değerlerin bir kısmı verilmiştir.

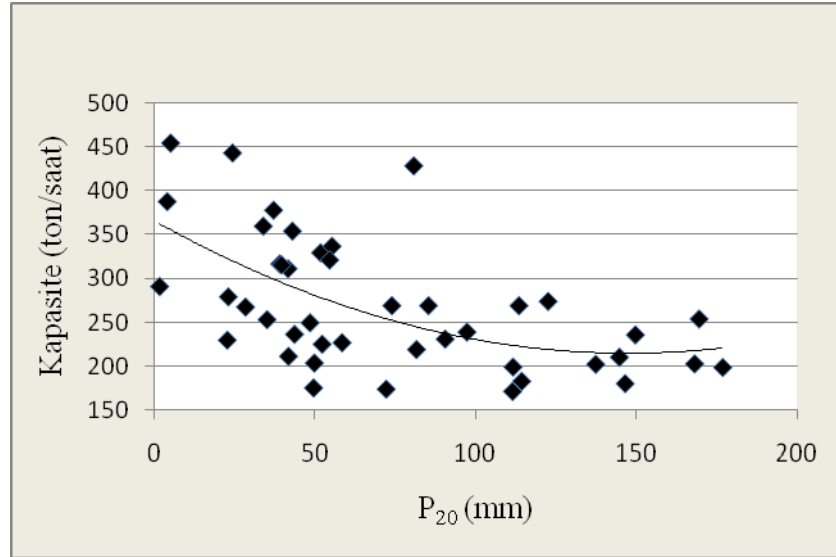
Tablo 4.11: Performans ölçümlerinden örnek değerler

Kamyon No.	Kırma Süresi (sn/ton)	P ₂₀ (mm)	P ₅₀ (mm)	P ₈₀ (mm)	P _{Top} (mm)	Enerji Tüketimi (kW/ton)
1	13,12	122,5	216,95	348,2	619,62	5,64
3	13,36	113,45	247,14	363,39	534,84	2,04
5	11,56	41,68	143,76	267,25	423,18	2,96
23	19,64	114,3	393,77	694,39	937,87	3,44
52	18,08	176,78	295,75	420,9	568,92	4,36
57	17,64	49,88	343,91	553,84	816,07	3,48
60	17,08	144,65	232,36	329,43	468,82	3,76

Ölçümler gerçekleştirilmeden önce kamyonlar kantarda tartılmış ve yüklenmiş olan yığının ne kadar olduğu öğrenilmiştir.

Tüm ölçümler tamamlandıktan sonra elde edilen veriler istatistiksel olarak incelenerek parça boyut dağılım özelliklerinden P_{20} , P_{50} , P_{80} ve maksimum parça boyutu olan P_{Top} ile çeneli kırıcı kırma kapasitesi ve enerji tüketim miktarları arasındaki ilişkiler çıkarılmıştır. İstatistiksel analizler yapılırken ilişkiyi en iyi ifade eden en yüksek korelasyon katsayısına sahip regresyon tipleri kullanılmıştır.

P_{20} ile kırma kapasitesi arasındaki ilişki en yüksek korelasyon katsayısını veren polinimal regresyon analizi sonucunda elde edilmiştir. Şekil 4.11’de bu ilişkiyi gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 4.11: Kırıcı kırma kapasitesi ile P_{20} arasındaki ilişki

Elde edilen regresyon analizi sonucu korelasyon katsayısı $r=0,57$ olarak bulunmuştur. Oldukça düşük bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Bu ilişkiye ait eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$K = 7 \times 10^{-8} \times P_{20}(P_{20} - 294,5) + 366,72 \quad (4.3)$$

Burada;

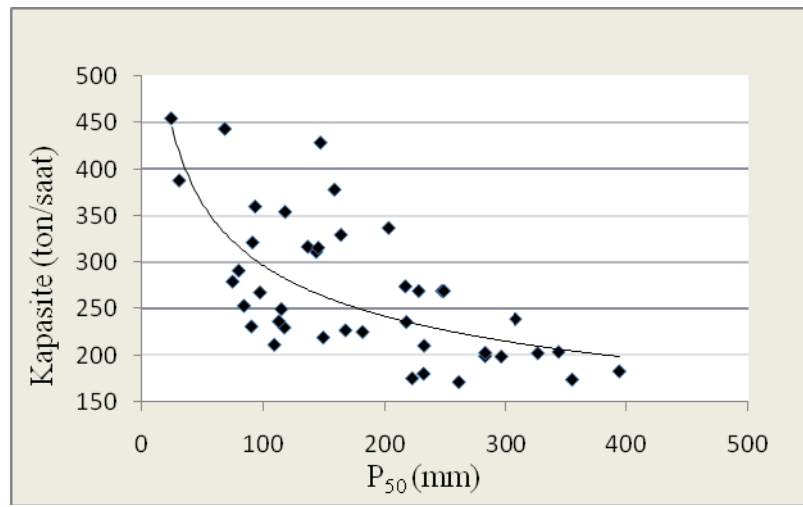
K = Kırıcı kapasitesi (ton/saat)

P_{20} = Yığının %20'sinin geçebildiği elek aralığı (mm)

Birincil kırma işleminde kırıcıya malzeme beslenirken malzeme önce ızgaraya dökülür, kırıcının malzemeyi indirgelediği parça boyutundan küçük taneler bu ızgaradan geçerek

kırma işlemine tabi tutulmazlar. Patlatmanın doğası gereği genelde patlatma sonrası oluşan yığının P_{20} değeri bu değerler civarındır, bundan dolayı elde edilen eşitlikten de anlaşılacağı üzere patlatma sonrası oluşan yığının P_{20} değerinin kırma performansına doğrudan bir etkisi olmadığı anlaşılmaktadır.

P_{50} ile kırma kapasitesi arasındaki ilişki en yüksek korelasyon katsayısını veren üssel regresyon analizi sonucunda elde edilmiştir. Şekil 4.12’de bu ilişkiyi gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 4.12: Kırıcı kırma kapasitesi ile P_{50} arasındaki ilişki

Elde edilen regresyon analizi sonucu korelasyon katsayısı $r=0,67$ olarak bulunmuştur. Oldukça düşük bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Bu ilişkiye ait eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$K = \frac{1134,4}{P_{50}^{0,57}} \quad (4.4)$$

Burada;

K = Kırıcı kapasitesi (ton/saat)

P_{50} = Yığının %50’sinin geçebildiği elek aralığı (mm)

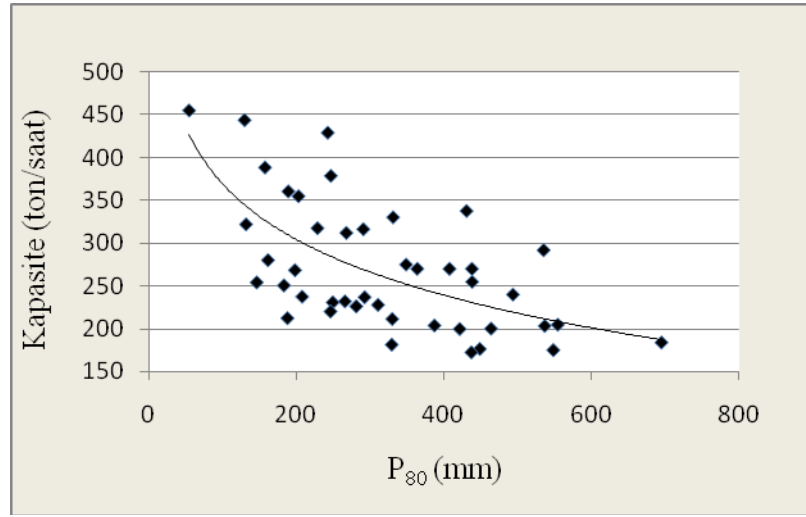
Çeneli kırıcı kırma kapasitesi ile kırıcıya beslenen malzemenin P_{50} değeri arasındaki ilişkiyi ifade eden eşitlik 4.4 kullanıldığında K07 çeneli kırıcı için bu tezin yapıldığı sahadaki kaya özelliklerine sahip malzemenin değişik P_{50} değerlerinde kırıcıya

beslendiği zaman kırıcının tahmini kapasitesi hesaplanabilir. Tablo 4.12’de belirli P_{50} değerleri için eşitlik 4.4 kullanılarak hesaplanmış kapasite değerleri verilmiştir.

Tablo 4.12: Farklı P_{50} değerlerine karşılık K07 tip çeneli kırıcı tahmini kapasite değerleri

P_{50} (mm)	250	300	350	400	450	500	550	600	650
Kapasite (ton/saat)	226	214	204	197	190	184	179	175	171

P_{80} ile kırma kapasitesi arasındaki ilişki en yüksek korelasyon katsayısını veren logaritmik regresyon analizi sonucunda elde edilmiştir. Şekil 4.13’de bu ilişkiyi gösteren grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde değerlerin Şekil 4.12’deki değerlerden daha fazla bir alana yayıldığı görülmektedir.



Şekil 4.13: Kırıcı kırma kapasitesi ile P_{80} arasındaki ilişki

Elde edilen regresyon analizi sonucu korelasyon katsayısı $r=0,64$ olarak bulunmuştur. Oldukça düşük bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Bu ilişkiye ait eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$K = 802,27 - (94,13 \times \ln P_{80}) \quad (4.5)$$

Burada;

K = Kırıcı kapasitesi (ton/saat)

P_{80} = Yığının %80’sinin geçebildiği elek aralığı (mm)

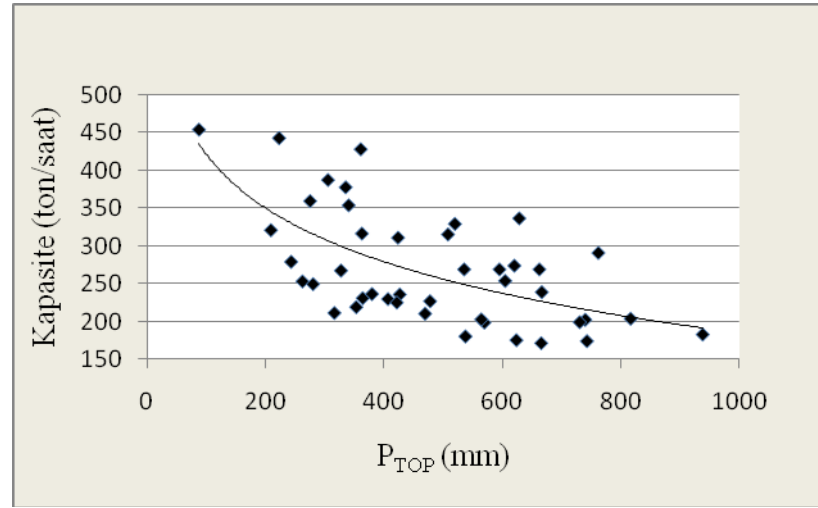
Kırıcı kırma kapasitesi ile P_{80} değeri arasındaki ilişkinin korelasyon katsayısı P_{50} ’nin korelasyonuna yakın bir değer çıkmıştır. Eşitlik 4.4’te olduğu gibi eşitlik 4.5 de

kullanılarak belirli P_{80} değerleri için kırıcı kırma kapasitesi hesaplanabilir. Tablo 4.13'de belirli P_{80} değerleri için eşitlik 4.5 kullanılarak hesaplanmış kapasite değerleri verilmiştir.

Tablo 4.13: Farklı P_{80} değerlerine karşılık K07 tip çeneli kırıcı tahmini kapasite değerleri

P_{80} (mm)	300	350	400	500	600	650	700	750	800
Kapasite (ton/saat)	265	250	235	217	200	192	185	179	173

P_{Top} ile kırma kapasitesi arasındaki ilişki de en yüksek korelasyon katsayısını veren logaritmik regresyon analizi sonucunda elde edilmiştir. Şekil 4.14'de bu ilişkiyi gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 4.14: Kırıcı kırma kapasitesi ile P_{Top} arasındaki ilişki

Elde edilen regresyon analizi sonucu korelasyon katsayısı $r=0,63$ olarak bulunmuştur. Oldukça düşük bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Bu ilişkiye ait eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$K = 893,54 - (102,6 \times \ln P_{Top}) \quad (4.6)$$

Burada;

K = Kırıcı kapasitesi (ton/saat)

P_{Top} = Yığının sahip olduğu maksimum parça boyutu (mm)

Kırıcı kırma kapasitesi ile P_{Top} değeri arasındaki ilişkinin korelasyon katsayısı P_{50} ve P_{80} 'nin korelasyon katsayılarına yakın bir değer çıkmıştır. Eşitlik 4.5 de kullanılarak

belirli P_{Top} değerleri için kırıcı kırma kapasitesi hesaplanabilir. Tablo 4.14’de belirli P_{Top} değerleri için eşitlik 4.6 kullanılarak hesaplanmış kapasite değerleri verilmiştir.

Tablo 4.14: Farklı P_{Top} değerlerine karşılık K07 tip çeneli kırıcı tahmini kapasite değerleri

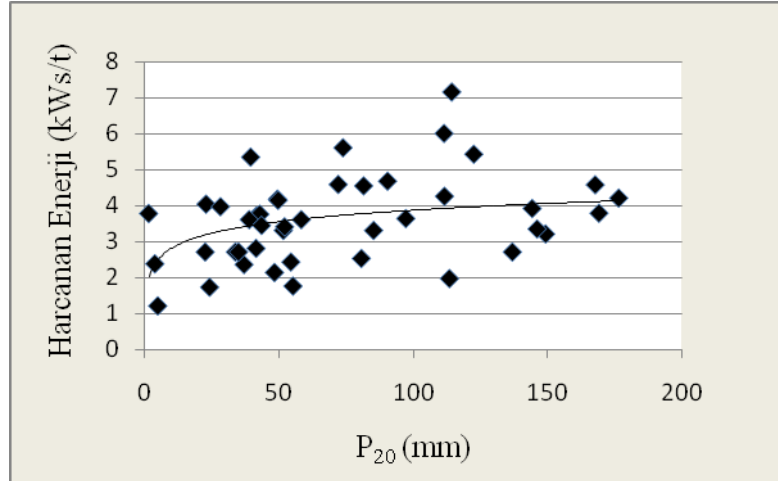
P_{Top} (mm)	600	700	800	850	900	950	1000	1050	1100
Kapasite (ton/saat)	237	221	207	201	195	190	184	179	175

Eşitlik 4.6 ile hesaplanan tahmini kapasite değerleri göstermiştir ki, kırıcıya beslenen maksimum parça büyüklüğü kırıcı besleme ağız açıklığı civarındaysa, çeneli kırıcı kırma kapasitesi minimum düzeyde olacaktır. 150 mm kırıcı çıkış ağzına sahip 1100 mm besleme giriş ağzına sahip NACE marka K07 model kırıcı için Şekil 4.10 incelendiğinde minimum kapasite 175’dir. Tablo 4.14’de elde edilen kapasite tahmin değeri de 1100 mm maksimum parça boyutu için 175 olarak bulunmuştur.

Elde edilen tüm eşitlikler incelendiğinde patlatma sonrası $P_{50}=350$, $P_{80}=600$ ve $P_{Top}=850$ değerlerini veren bir patlatma tasarımı bu kırıcının ideal olarak optimum kapasite ile çalışmasını sağlayacaktır. $P_{50}=300$, $P_{80}=500$ ve $P_{Top}=700$ olduğu takdirde ise kırıcıyı maksimum kapasite ile çalıştırmak mümkün olabilecektir.

Çeneli kırıcıya beslenen malzemenin parça boyut dağılım özellikleri ile bu malzemeyi kırmak için çeneli kırıcının harcadığı enerji miktarları arasındaki ilişkiyi tespit edebilmek için P_{20} , P_{50} , P_{80} ve P_{Top} değerleri ile harcanan enerji miktarları arasında kapasite analizinde olduğu gibi istatistiksel regresyon yapılmıştır.

Kırıcıya beslenen malzemenin P_{20} değeri ile ton başına harcanan enerji miktarı arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla değişik regresyon analizleri denenmiş ve korelasyonu yüksek olan ve kırıcı enerji tüketim prensiplerine en uygun olan logaritmik regresyonun elde edilen değerler ışığında ilişkiyi en iyi şekilde ifade ettiği anlaşılmıştır. Çeneli kırıcıda ton başına harcanan enerji miktarı ve malzemenin P_{20} değeri arasındaki ilişki Şekil 4.15’de verilmiştir.



Şekil 4.15: Kırıcı enerji tüketim miktarı ile P₂₀ arasındaki ilişki

Korelasyon katsayısı $r=0,36$ gibi düşük bir değer çıkan bu ilişkinin ampirik eşitliği aşağıdaki gibidir.

$$E = 0,4606 \ln P_{20} + 1,75 \quad (4.7)$$

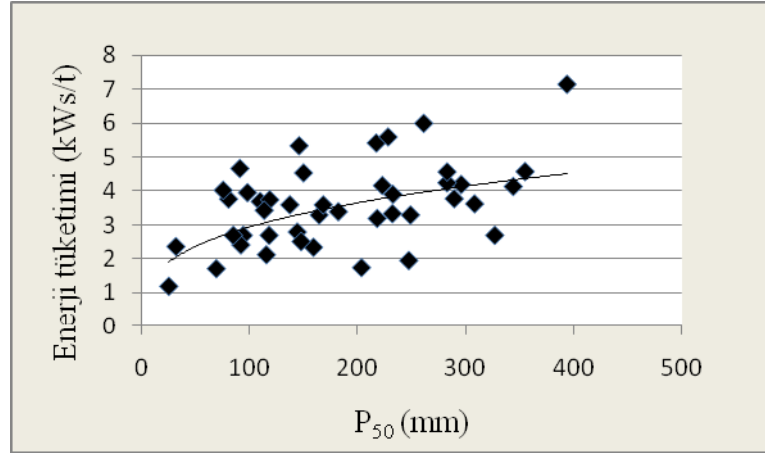
Burada;

E= Kırıcı enerji tüketimi (kWs/t)

P₂₀= Yığının %20'sinin geçebildiği elek aralığı (mm)

P₂₀ ile kırıcı kırma kapasitesi arasındaki zayıf ilişkide olduğu gibi enerji tüketimi ilişkisinde de malzemenin parça boyut dağılımındaki bu değer kırıcı enerji tüketim miktarını değiştirmede çok etkin olmadığı anlaşılmaktadır. Patlatma sonrası P₂₀ değeri boyutundaki parçaların çoğunun hatta bazı durumlarda tümünün 150mm çıkış ağız açıklığına sahip çeneli kırıcıda herhangi bir kırma işlemine maruz kalmadığını hatırlarsak bu sonucu normal olarak karşılamak uygun olmaktadır.

Kırıcıya beslenen malzemenin P₅₀ değeri ile ton başına harcanan enerji miktarı arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla yine regresyon analizleri denenmiş ve ilişkiyi en iyi şekilde ifade eden üssel regresyon kullanılmıştır. Şekil 4.16'da P₅₀ değeri ile enerji tüketim miktarı arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 4.16: Kırıcı enerji tüketim miktarı ile P₅₀ arasındaki ilişki
Korelasyon katsayısı r=0,53 çıkan ilişkinin eşitliği aşağıdaki gibidir.

$$E = 0,697 \times P_{50}^{0,3123} \quad (4.8)$$

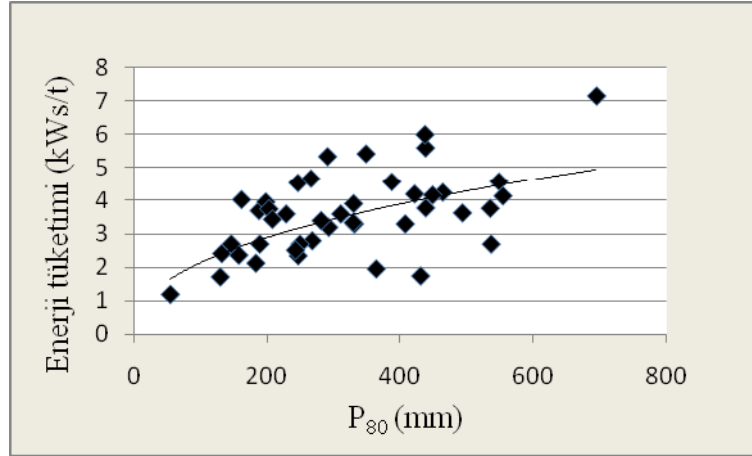
Burada;

E= Kırıcı enerji tüketimi (kW/s/t)

P₅₀= Yığının %50'sinin geçebildiği elek aralığı (mm)

Korelasyon katsayısı her ne kadar çok yüksek çıkmasa da P₅₀ değeri ile çeneli kırıcın ton başına harcadığı enerji miktarı arasındaki ilişki malzemenin ortalama parça boyutu değişimi ile enerji tüketiminin nasıl bir trend ile değiştiği hakkında sınırlı da olsa bir bilgi vermektedir. Taşocaklarında uygulanan patlatma çalışmaları sonucu genellikle P₅₀ değeri 200 mm ile 350 mm arasında olduğunu varsayarsak, bu iki değer arasında birincil boyut küçültme işlemi sırasında ton başına harcanan enerji miktarında 1 kW'lık bir değişim oluşmaktadır.

Kırıcıya beslenen malzemenin P₈₀ değeri ile ton başına harcanan enerji miktarı arasındaki ilişki de yine istatistiksel regresyon analizi yapılarak bulunmaya çalışılmıştır. Yapılan regresyon analizleri sonucunda ilişkiyi en iyi şekilde ifade eden ilişkinin üssel regresyon olduğu saptanmıştır. Şekil 4.17'de kırıcıya beslenen malzemenin P₈₀ değeri ile ton başına enerji tüketim miktarları arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 4.17: Kırıcı enerji tüketim miktarı ile P_{80} arasındaki ilişki
Korelasyon katsayısı $r=0,60$ çıkan ilişkinin eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$E = 0,2957 \times P_{80}^{0,4306} \quad (4.9)$$

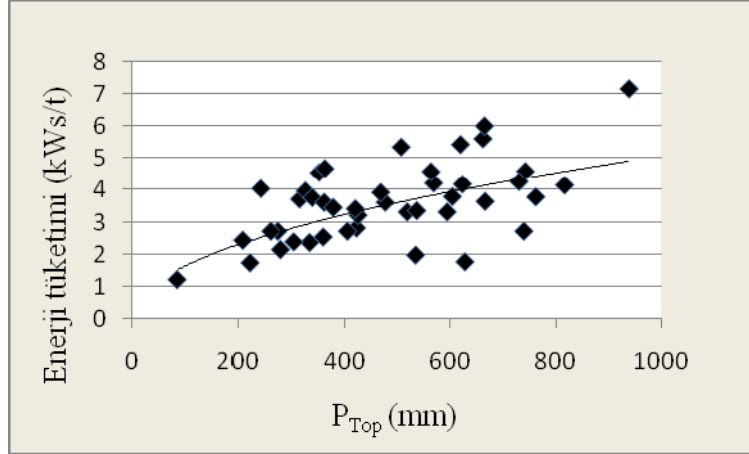
Burada;

E = Kırıcı enerji tüketimi (kWs/t)

P_{80} = Yığının %80'sinin geçebildiği elek aralığı (mm)

Kırıcıya beslenen malzemenin P_{80} değeri ile ton başına harcanan enerji miktarı ilişkisine göz atacak olursak bu ilişkinin P_{50} -enerji miktarı arasındaki ilişkiden daha kuvvetli ve anlamlı bir ilişki olduğunu aralarındaki korelasyon farkından anlamak mümkündür. Özellikle Bond'un iş indeksi yaklaşımında da harcanan enerjiyi hesaplarken P_{80} değerini kullandığını göz önünde bulundurursak, çeneli kırıcıdaki ton başına harcanan enerji miktarını P_{80} değeri ile karşılaştırmanın oldukça manyıklı olduğu sonucuna varmak mümkündür.

Kırıcıya beslenen malzemenin maksimum parça boyutunu temsil eden P_{Top} değeri ile ton başına harcanan enerji miktarı arasındaki ilişki de yine istatistiksel regresyon analizi yapılarak bulunmaya çalışılmıştır. Yapılan regresyon analizleri sonucunda ilişkiyi en iyi şekilde ifade eden ilişkinin üssel regresyon olduğu saptanmıştır. Şekil 4.18'de kırıcıya beslenen malzemenin P_{Top} değeri ile ton başına enerji tüketim miktarları arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 4.18: Kırıcı enerji tüketim miktarı ile P_{Top} arasındaki ilişki
Korelasyon katsayısı $r=0,62$ çıkan ilişkinin eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$E = 0,1712 \times P_{Top}^{0,4903} \quad (4.10)$$

Burada;

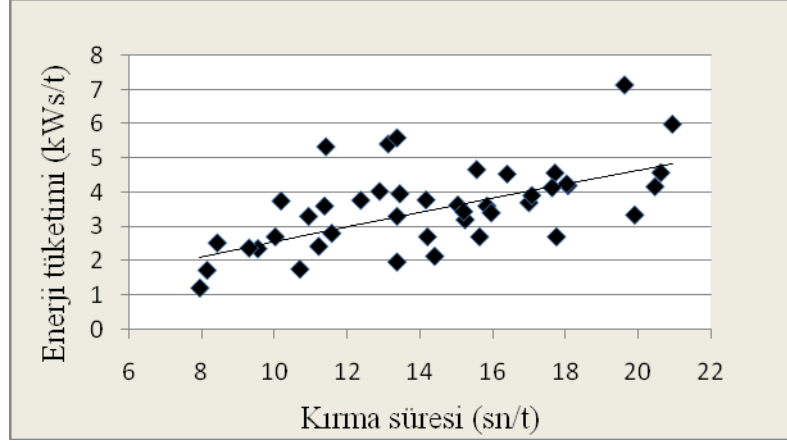
E = Kırıcı enerji tüketimi (kW/t)

P_{Top} = Yığının sahip olduğu maksimum parça boyutu (mm)

Kırıcıya beslenen malzemenin maksimum parça boyutu ile ton başına harcanan enerji miktarı arasındaki ilişkiye göz atacak olursak, bu ilişkinin korelasyon katsayısının elde edilen diğer ilişkilerden biraz da olsa yüksek çıkmasının sebebi, özellikle kırıcıya beslenen malzemenin kırıcının sınırlarını zorlayan boyutta olması ve buna bağlı olarak ton başına harcanan enerji miktarını değiştirmekte öncelikli bir rol oynadığını söyleyebiliriz. Elde edilen ilişkiler sonucu çeneli kırıcıda ton başına harcanan enerji miktarı ile kırıcıya beslenen malzemenin parça boyut dağılımı arasındaki ilişkiyi ifade edebilmek için P_{80} değerine alternatif olarak maksimum parça boyut değeri olan P_{Top} değerinin de kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

Birincil kırma işlemi performansının kırıcıya beslenen malzemenin parça boyut dağılımına bağlı olarak değişimini tespit edebilmek amacıyla gerçekleştiren çalışmalar ve yapılan veri analizleri sonucunda parça boyut dağılımını ifade eden, P_{20} , P_{50} , P_{80} ve P_{top} değerleri arttıkça kırıcı kırma kapasitesinin düştüğü ve buna bağlı olarak enerji tüketiminin de arttığı anlaşılmaktadır. Çalışmaların gerçekleştirildiği 1100'lük NACE marka çeneli kırıcıda kırma işlemi için ton başına geçen süre ile ton başına harcanan

enerji miktarı arasındaki ilişkiyi ifade edebilmek için de istatistiksel bir çalışma yapılmıştır. Yapılan regresyon analizleri sonucunda ilişkiyi en iyi şekilde ifade eden regresyonun üssel regresyon olduğu anlaşılmıştır. Şekil 4.19'da kırıcıda ton başına harcanan süre ile ton başına harcanan enerji miktarı arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 4.19: Kırıcıda ton başına harcanan süre ile enerji miktarı arasındaki ilişki
Korelasyon katsayısı $r=0,63$ çıkan bu ilişkiyi ifade eden eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$S = 0,3522 \times E^{0,8609} \quad (4.11)$$

Burada;

S= Ton başına kırma süresi (sn/t)

E= Kırıcı enerji tüketimi (kW/s/t)

Çeneli kırıcıda 1 ton malzemeyi kırmak için harcanan süre ile harcanan enerji miktarı arasındaki ilişkiye göz atacak olursak, çalışmaların gerçekleştirildiği çeneli kırıcıda parça boyut dağılımına bağlı olarak 1 ton malzemeyi kırmak için 8 ile 21 sn arasında bir süre geçmekte yine parça boyut dağılımına bağlı olarak da ton başına 1 ile 5 kW arasında bir enerji tüketimi olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar bize patlatma sonrası parça boyut dağılımındaki değişimin birincil kırma faaliyet performansı ve enerji tüketimine bağlı olarak maliyetine oldukça önemli bir şekilde etki ettiği sonucunu vermektedir.

4.3. KUZ-RAM VE JKMRC PARÇALANMA TAHMİN MODELLERİNİN OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARINDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

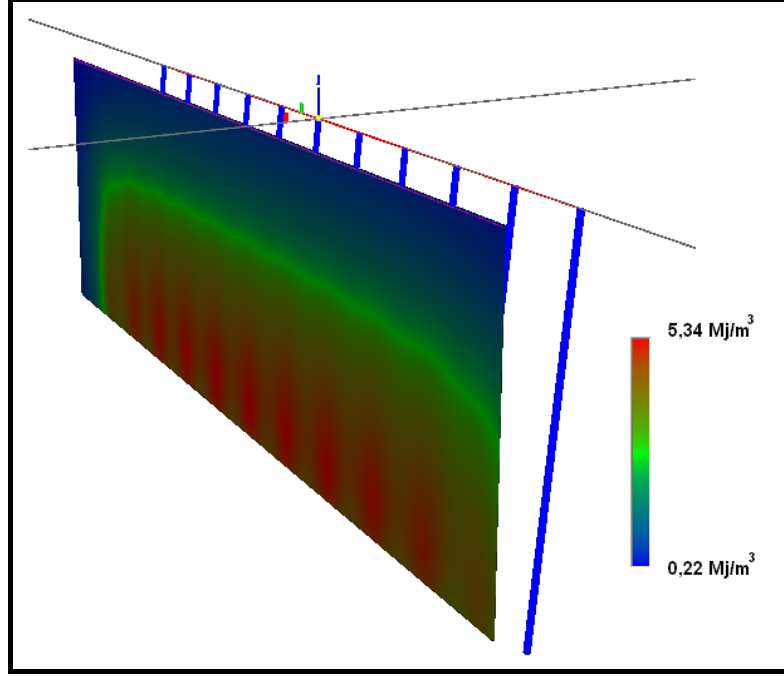
Bu çalışma kapsamında Kuz-Ram ve JKMRC tahmin modellerinin patlatma optimizasyon çalışmalarında kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla, Akyol Mermercilik ve Madencilik A.Ş.'ne ait Çatalca kireçtaşı taş ocağında uygulanmakta olan basamak patlatma çalışmaları yerinde incelenmiş ve parçalanma sonuçlarının analiz edildiği 2 adet atım gerçekleştirilmiştir. Yapılan 2 atım sonrasında, Split-Desktop dijital görüntü işleme yöntemi ile parça boyut dağılımı tespit edilmiştir (Split-Desktop). Ayrıca her iki atım için de girdi parametreleri Kuz-Ram ve JKMRC'nin CZM parçalanma tahmin modellerine girilerek modellerin tahminlerindeki artı ve eksi yönler tartışılmıştır. Çalışma kapsamında JKSimBlast patlatma tasarım ve analiz programı her iki modelinin de uygulanmasında kullanılmıştır (JKSimBlast, 2007). Patlatma daire testlerini gerçekleştirecek uygun bir patlatma laboratuvarı olmadığından TCM modeli bu çalışma kapsamında uygulanamamıştır. Sahada yapılan ilk patlatma çalışmasına ait basamak parametreleri ve kaya ve jeolojik özellikler Tablo 4.15'de verilmiştir.

Tablo 4.15: Birinci atıma ait girdi parametreleri

Delik çapı	89 mm
Şarj uzunluğu	8 m
Dilim kalınlığı	2.5 m
Delikler arası mesafe	2.5 m
Delik hata payı	0.1 m
Basamak yüksekliği	10 m
Şev açısı	90°
Kaya özgül ağırlığı	2.65
Elastik modül	30 GPa
Tek eksenli basma dayanımı	182 MPa
Eklemler arası mesafe	0.5 m
Dalım açısı	80°
Dalım Yönü	0°
Yerinde blok boyutu	1 m
Patlayıcı madde yoğunluğu	0.8 gr/cm ³
Patlayıcı VOD	4800 m/sn

Yapılan birinci atımda 10m yüksekliğindeki basamakta tek sıra halinde 89 mm çapında, 11 m uzunluğunda 11 adet delik ANFO şarj edilerek, Excel marka elektriksiz kapsüllerle patlatılmıştır. Her delik için sıkılama miktarı 3 m, delik eğimi ise 84°'dir. Bu

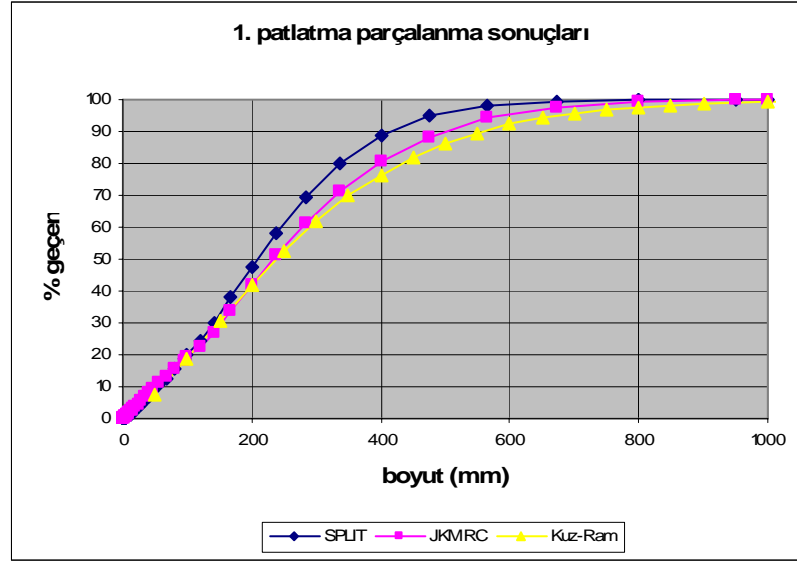
atımda kullanılan özgül şarj miktarı ise 0.64 kg/m^3 'tür. Atım geometresi ve patlayıcı enerji dağılımı Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20: Birinci atıma ait delik geometrisi ve patlayıcı enerji dağılımı (JKSimBlast, 2007)

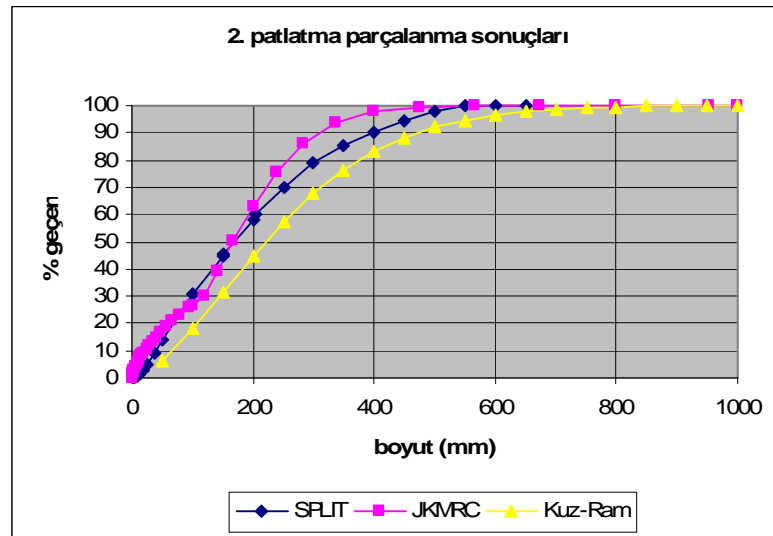
Yapılan ilk atım sonrası yığın üzerinden dijital görüntüler alınmıştır ve Split-Desktop yazılımı ile işlenerek bu atıma ait parça boyut dağılımı elde edilmiştir. Aşağıdaki şekillerde işleme tabi olan görüntülerden bazıları ve işleme süreci gösterilmiştir.

Yığın üzerinden görüntüler alınırken ölçek olarak 2 adet 200 mm çapında futbol topu kullanılmıştır. Programda topların ölçeği girilerek resim ölçeklendirilmiş ve görüntüdeki kaya parçalarının boyutları program tarafından hesaplanmıştır. Patlatmaya ait tüm görüntüler analiz edildikten sonra toplu halde parça boyutları hesaplanmış ve bu yığına ait parça boyut dağılımı hesaplanmıştır. Aynı zamanda patlatma giriş parametreleri Kuz-Ram ve JKMRRC modellerine girilmiş ve aynı atıma ait parçalanma tahmin sonuçları elde edilmiştir. Aşağıdaki grafikte 1. atıma ait Split parça boyut dağılımı, Kuz-Ram ve JKMRRC tahmin sonuçları lineer-lineer grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.21: Birinci atıma ait parçalanma sonuçları

Birinci atıma ait parçalanma tahmin ve gerçek sonuçlar elde edildikten sonra modellerin tutarlılığını ve giriş parametrelerinden en önemlisi olan patlayıcı madde miktarının parçalanma sonuçlarına olan etkisini test etmek amacıyla aynı basamakta aynı şekilde, sadece kolon şarj uzunluğu değiştirilerek bir ikinci deneysel atım gerçekleştirilmiştir. 2. patlatmada kolon şarj uzunluğu 1 m artırılarak 9 m'ye çıkarılmıştır. Böylece özgül şarj miktarı da $0,64 \text{ kg/m}^3$ 'ten $0,81 \text{ kg/m}^3$ 'e artırılmıştır. 1. atım sonrası yapılan tüm parça boyut dağılım tespit çalışmaları ve analizleri 2. atım için de gerçekleştirilmiş ve aşağıdaki parçalanma sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 4.22: İkinci atıma ait parçalanma sonuçları

Tez çalışmasının bu aşamсында yapılan çalışmalar sonucu, yapılan birinci atım sonrası elde edilen parçalanmaya ait saptamalar şu şekildedir. Split-Desktop programı ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında JKMRC ve Kuz-Ram modellerinin daha iri boyutta bir parçalanma tahmininde bulunduğu görülmektedir. JKMRC modeli, Kuz-Ram modeline göre gerçek parçalanma sonuçlarına daha yakın bir tahminde bulunabildiği, iki model arasında fark edilen ilk fark olarak göze çarpmaktadır. Özellikle parça boyut dağılımının ince malzeme oluşumu kısmında JKMRC modelinin, Kuz-Ram modeline oranla daha yakın bir tahmin yaptığı anlaşılmaktadır. Bununla beraber genel olarak her iki tahmin modelinin de gerçek parçalanma sonucuna çok yakın tahminlerde bulunduğu görülebilmektedir.

Kolon şarj uzunluğunun ve böylece özgül şarj miktarının artırılmasıyla beraber gerçekleştirilen ikinci atımda JKMRC modelinin gerçek parça boyut dağılım sonucuna göre daha ince bir parçalanmayı tahmin ettiğini görmekteyiz. Kuz-Ram modeli ise bu atım sonrasında da birinci atım da olduğu gibi daha iri bir parçalanmayı işaret ettiği anlaşılmaktadır. JKMRC modelinin ince malzeme oluşumu tahmininde ilk atımda olduğu gibi Kuz-Ram'dan daha yakın tahminde bulunduğu fark edilmiştir. Bununla beraber, ikinci atım sonrasında da her iki tahmin modelinin de gerçek parça boyut dağılımına çok yakın sonuçlar verdiği görülebilmektedir.

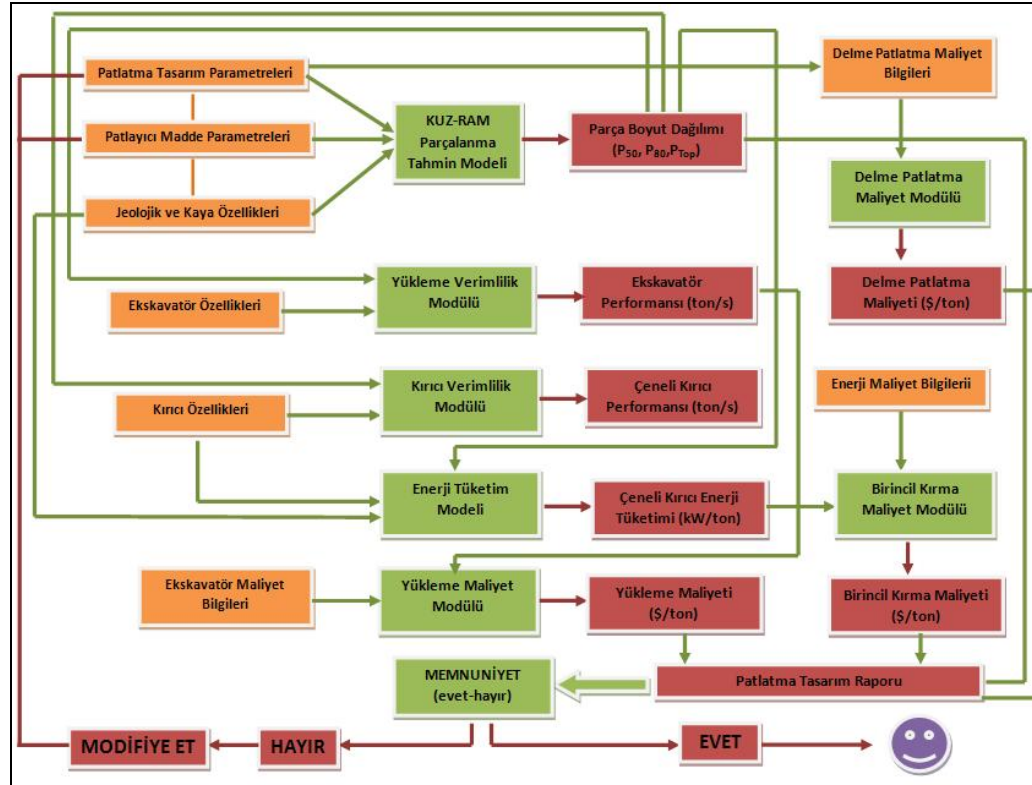
Genel olarak modeller tartışıldığında, parça boyut dağılım tahmin modellerinin kullanılabilmesi için oldukça fazla saha verisine ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır. Fakat bu çalışma kapsamında gerçekleştirilmiş olan bu uygulama gibi çalışmalar sonucunda patlatma sonuçlarının tahmininde ve buna bağlı olarak arzu edilen sonuçları sağlayacak basamak patlatma parametrelerinin tayininde çok kullanışlı bir argüman oldukları çok açık bir şekilde anlaşılmıştır.

Parçalanma tahmininde kullanılan her iki model de parçalanmanın iri malzeme oluşum kısmında gerçek sonuçlara daha yakın tahminde bulunduğu, ama ince malzeme oluşum kısmında ise JKMRC modelinin daha avantajlı olduğu görülmüştür. Bu da özellikle cevherin öğütülebilirliği açısından önemli bir faktördür.

4.4. AÇIK OCAK PATLATMA-ARDIŞIK İŞLEM FAALİYETLERİ OPTİMİZASYON MODELİ

Tez kapsamında açık ocak maden işletmelerinde ve taş ocaklarında gerçekleştirilen basamak patlatmaları sonrası oluşan yığının parça boyut dağılımının ardışık madencilik işlemlerine olan etkilerinin araştırılması için yapılan çalışmalar sonucu elde edilen eşitlikler ve mevcut literatür bilgi ve bağıntılar kullanılarak, tüm işlemleri verimli bir şekilde sürdürmeye yardımcı olacak bir optimizasyon modeli oluşturulmuştur.

Modelin ana yapısını özetleyecek olursak, ilk adımda patlatma tasarım ve kaya ve jeolojik özellikler ve kullanılan patlayıcı madde özelliklerinin girilmesi ile başlamaktadır. Daha sonra kullanılan yükleyici ekipman ve birincil kırma işleminde kullanılan çeneli kırıcı özellikleri girilir. Girilen parametreler model altında çalışan eşitliklerle, sırasıyla tahmini parça boyutu, yükleme ve kırıcı performans ve maliyetleri ayrıca da delme ve patlatma maliyetleri hesaplanmakta ve daha sonra sonuçlar raporlanmaktadır. Girilen parametreler sonucu elde edilen performans ve maliyetler sonucu kullanıcıya pratik bir şekilde sonuçları değiştirebilecek parametreler tavsiye edilmekte ve patlatma ve sonuçlarında modifikasyon imkanı sunulmaktadır. Yapılan değişiklik sonucu elde edilecek tahmini sonuçlar, ilk yapılan tasarım ve sonuçları ile karşılaştırılarak kullanıcıya yapılan modifikasyon sonucu elde edilen sonuçların tatmin edici olup olmadığını görme imkanı sağlanmakta ve tatmin ise tasarımı kesinleştirme veya tatmin edici değilse tekrar modifiye etme imkanı sunulmaktadır. Tasarlanan optimizasyon modelin akım şeması Şekil 4.23'de verilmiştir.



Şekil 4.23: Patlatma-Ardışık İşlem Faaliyetleri Optimizasyon Modeli akım şeması

Model akım şemasında görüldüğü gibi, patlatma tasarım parametreleri, patlayıcı madde parametreleri, jeolojik ve kaya özellikleri, ekskavatör özellikleri, kırıcı özellikleri, delme ve patlatma maliyet bilgileri, enerji maliyet bilgileri ve ekskavatör maliyet bilgileri model giriş parametrelerini oluşturmaktadır. Modelde, jeolojik ve kaya özellikleri olarak, parçalanmanın tahmininde faydalınılan elastik modülü, tek eksenli basınç dayanımı, kaya özgül ağırlığı, in-situ blok boyutu, süreksizlikler arası mesafe, süreksizlik dalım açısı ve doğrultusu gibi parametreler kullanılmaktadır.

Girdi parametreleri modele girildikten sonra model öncelikle, Kuz-Ram modelini kullanarak tahmini parça boyut dağılımını tespit eder. Daha sonra parçalanma sonuçlarını, diğer girdi parametreleriyle birleştirilerek tez çalışmaları sonrası elde edilen eşitlikler sayesinde kurulan modüllerde hesaba katarak, yükleme, kırıcı verimini tespit eder. Ardışık işlem faaliyetleri verimi saptandıktan sonra, maliyet verileri ve performans bilgilerini kullanarak, oluşacak delme patlatma, yükleme ve kırma maliyetlerini sonuç olarak verir.

Modeli oluşturan ve tez çalışmaları sonucu elde edilen eşitlikler vasıtasıyla delme patlatma, yükleme ve kırma performans ve maliyetleri hesaplandıktan sonra, bu sonuçları doğuran patlatma tasarım parametreleri ile bu sonuçları kullanıcıya raporlar. Sonuç raporu alındıktan sonra model kullanıcıya patlatmayı ve bununla beraber sonuçlarını modifiye etme imkanı sunar. Daha sonra pratik olarak sonuçları değiştirecek patlatma tasarım parametreleri kullanıcıya önerilir ve kullanıcı bu parametrelerden istediklerini değiştirerek, modifiye edilmiş tasarım sonucu elde edilecek verimlilik ve maliyet sonuçlarını ilk tasarım sonuçları ile birlikte görme imkanı bulur. İlk tasarım sonuçları ile modifiye edilmiş tasarım sonuçlarını karşılaştırdıktan sonra, eğer yeni elde edilen sonuçlardan memnunsu, patlatma tasarımını nihai tasarım olarak kaydeder. Yapılan değişikliklerden sonra elde edilecek sonuçlar kullanıcıyı tatmin etmemişse, istenilen sonuçları alana kadar tasarım parametreleriyle tekrar oynayarak sonuçları görme imkanı bulur.

Tez kapsamında oluşturulan modelin herkes tarafından, özellikle taşocağında üretimden sorumlu mühendisler tarafından rahatça kullanılabilmesi amacıyla, tasarlanan model C# programlama dilinde yazılacak bir bilgisayar programı haline getirilmesi planlanmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Patlatmalı kazının yapıldığı açık ocak maden işletmelerinde ve taşocaklarında, basamak patlatması sonrası oluşan yığının parça boyut dağılımının, ardışık madencilik işlemleri olan yükleme ve birincil kırma işlemine olan etkilerinin araştırılması için yapılan bu doktora tez çalışması, İstanbul bölgesindeki 3 farklı taşocağında gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında, belirlenen çalışma sahalarında yürütülmekte olan patlatma çalışmaları yerinde incelenmiş ve bu sahalarda çalışmaların amacına uygun olarak değişik deneysel atımlar sistematik bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen atımlar sonrası oluşan yığının parça boyut dağılımını Split-Desktop dijital görüntü işleme yöntemi ile tespit edilmiştir. Patlatmalar sonrası, yığında yükleme işinde çalışan ekskavatörlerin yükleme performansı ölçülmüştür. Yüklenen kamyonlar kırıcıya patlatılmış malzemeyi boşaltmadan önce kamyon üzerinden alınan yığın görüntüleri de dijital görüntü işlemeye tabi tutulmuş ve kırıcıya beslenen malzemenin de parça boyut dağılımını tespit edilmiştir. Daha sonra beslenen malzemenin parça boyut dağılımına göre birincil kırma işlem performansı ölçülmüştür. Tez çalışmasının diğer bir bölümünde ise patlatma sonuçlarının ardışık işlem faaliyetlerini optimum verimlilikle çalıştırabilmesi amacıyla Kuz-Ram parçalanma tahmin modelinin geri korelasyonda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Patlatma, parçalanma ve ardışık işlemler arasındaki bu ilişkiler incelendikten ve sonuçlar elde edildikten sonra, mevcut ve tez kapsamında elde edilen bulgular ışığında patlatmalı kazının yapıldığı açık ocak maden işletmelerinin optimum verimlilikle çalışmasını sağlayacak bir açık ocak optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Tüm yapılan bu çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- i. Patlatma sonrası oluşan yığının ortalama parça boyutunu ifade eden P50 değeri ile yükleme işlemi yapan ekskavatörün kepçe dolum süresi arasında korelasyon katsayısı kabul edilebilir seviyede bir ilişki olduğu anlaşılmıştır. Ekskavatör yükleme çevrim süresinde ekskavatörün kepçesini parçalanmış kaya ile

doldurması için geçen süre yığının ortalama parça boyut değeri ile ilişkilidir. Çevrim süresinin diğer bileşenleri malzeme özelliklerinden bağımsız, makine ve operator özellikleri ile ilişkilidir. Bundan dolayı ekskavatör yükleme çevrim süresi parça boyut dağılımındaki değişimle beraber değişmektedir. Diğer taraftan her makinenin kepçeye yükleme ve itiş kuvveti sağlayan kuvvetleri farklı olduğundan, ekskavatör özelliklerine göre de bu süre değişmektedir. Yapılan saha çalışmaları sonrasında, yükleme işleminde kullanılan ekskavatörün kepçe hacmi, yükleme ve itiş kuvvetleri (F_B ve F_S) ve yüklenen malzemenin ortalama parça boyutunu (P_{50}) hesaba katan ekskavatör kepçe dolun süresi tahmin eşitliği türetilmiştir. Farklı model ekskavatörlerde denenen eşitlik %86'lık bir tutarlılık göstererek makul bir ilişkiyi temsil ettiği kanıtlanmıştır.

- ii. Birincil kırma işleminde kullanılan 1100'lük çeneli kırıcı performansı ile kırıcıya beslenen malzemenin parça boyut dağılım değerleri (P_{20} , P_{50} , P_{80} ve maksimum parça boyutu) arasında ilişkiler kurulmuştur. Kurulan ilişkilerde P_{20} değerinin kırıcı performansını belirlemede yeterli bir değer olmadığı anlaşılmıştır. Özellikle P_{50} ve P_{80} değerinin kırıcının saatlik kırma kapasitesini belirlemede önemli bir rol aldığı anlaşılmıştır. Elde edilen eşitlikler sonucu belirli P_{50} , P_{80} ve maksimum parça boyutlarına göre kırıcının tahmini kapasitesi hesaplanmıştır. Elde edilen tahmin sonuçları ile çalışmaların yürütüldüğü çeneli kırıcı katalog bilgisinden alınan minimum ve maksimum değerleri karşılaştırıldığında, eşitlikler vasıtasıyla hesaplanan değerlerin tutarlı olduğu saptanmıştır. Çalışma kapsamında farklı model kırıcılarla çalışma imkanı bulunamadığından dolayı, kırıcı performansı ile parça boyutu arasındaki ilişkiler sadece sahada kullanılan 1100'lük NACE marka K07 model kırıcı için geliştirilebilmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda farklı boyutlarda ve markada kırıcılarda aynı çalışma yürütülmeli ve elde edilen eşitlikler, modifiye edilerek tüm kırıcılarda kullanılabilir hale getirilmelidir.
- iii. Kırıcı performans ölçümlerinin diğer bir aşamasında parça boyut dağılımına bağlı olarak 1 ton malzemeyi kırmak için harcanan enerji miktarının tespiti ve bunun parça boyut dağılımı ile ilişkilendirilmesi olmuştur. Yapılan istatistiksel analizler sonucu, kırma kapasitesi ilişkilerinde olduğu gibi P_{50} ve P_{80} değerlerinin harcanan enerji miktarı ile anlamlı ilişkiler oluşturduğu anlaşılmıştır. Enerji tüketim tahmin hesabında kullanılan Bond iş indeksi

yaklaşımına alternative olarak bu tip bir çeneli kırıcıda kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

- iv. Ardışık işlem performans ölçümleri ile ilgili çalışmalar yapıldıktan sonra, Kuz-Ram ve JKMRC parçalanma tahmin modellerinin, patlatma optimizasyon çalışmalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan deneysel atımlar sonrası oluşan parça boyut dağılımı dijital görüntü işleme yöntemi ile bulunduktan sonra, yapılan patlatma tasarım parametreleri modellere girilerek tahmini parçalanma sonuçları üretilmiştir. Gerçek parçalanma sonuçları ile tahmin sonuçları karşılaştırılmış ve parçalanma tahmin modellerinin gerçek sonuçlara çok yakın sonuçlar verebildiği anlaşılmıştır. Kuz-Ram modeli için gereken girdi parametrelerini elde etmek JKMRC'den daha kolay olduğu için hedeflenen optimizasyon modeli için, kullanılabileceği tespit edilmiştir.
- v. Tez çalışması kapsamında elde edilen eşitlikler ve bulgular, literatürdeki mevcut bilgi ve eşitliklerle birleştirilerek, patlatmalı kazı yapılan açık ocak maden işletmelerinde patlatma ve buna bağlı olarak ardışık madencilik işlemlerinin verimli bir şekilde yürütülmesini sağlayacak bir açık ocak optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Model, delme-patlatma, ardışık işlem faaliyetleri ve bunların birim maliyet bilgileri girildikten sonra gereken verimlilik hesaplamalarını yapmakta ve tasarlanan patlatma sonra ardışık işlem faaliyetlerinin verimliliğini ve maliyetlerini vermektedir. Modelde bulunan optimizasyon seçeneği ile de patlatma tasarımına geri dönülerek, pratik patlatma tasarım parametrelerinde değişiklikler yapılabilmektedir. Yapılan modifikasyonlar sonucu elde edilecek tahmin sonuçları önceki sonuçlarla karşılaştırılarak optimizasyon çalışması gerçekleştirilebilmektedir.
- vi. Oluşturulan model her ne kadar basit bir akım diyagramına sahip olsa da, tüm bu hesaplamaların sahada üretimden sorumlu mühendisler veya sorumlular tarafından kısa zamanda yapılabilmesi zor olacağından, bu modelin kolay ve pratik bir şekilde kullanımını sağlamak amacıyla Microsoft Visual Studio 2008 programı kullanarak C-Sharp programlama dilinde bir bilgisayar programı oluşturulması planlanmıştır.

Özellikle global boyutta enerji ve ekonomik kriz yaşadığımız bu günlerde, endüstrinin her alanında üretim faaliyetlerinin her aşamasında verimliliğin sağlanması sadece işlem

maliyetlerini azaltmakla kalmayacak, yeni nesillere daha yeşil ve sürdürülebilir kaynakları olan bir toplum bırakmakta da yardımcı olacaktır. Bu amaçla bu tez kapsamı boyunca, açık ocak maden ocaklarında üretimde verimliliğin yakalanabilmesi için yapmış olduğum çalışmaların ve elde ettiğim bulguların tüm insanlığa faydalı olmasını dilerim.

KAYNAKLAR

AKKOYUN. O., 1997, Delme-Patlatma Uygulamalarında Verilerin Saklanması ve Kontrolünde Kullanılabilecek Bir Bilgisayar Yazılımının Geliştirilmesi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır Türkiye

ANON, 2006, Auburn Hospital Project Plan Application Acoustic Assessment, 60018658-GG001.doc, Prepared for Bassett Acoustics, Sydney, Australia.

ANON, 1998, Blaster's Handbook, 17th Edition, International Society of Explosives Engineers, Cleveland, Ohio, USA.

ANON, 1986, Handbook of Explosives and Rock Blasting, Atlas Powder Company, Dallas, Texas, USA.

ARPAZ, E., 2000, Türkiye'deki Bazı Açık İşletmelerde Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimlerin İzlenmesi ve Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

BEKE, B., 1964, Principles of Comminution. Akademiai Kiado, Budapest.

BERGMAN, P., 2005, Optimisation of Fragmentation and Comminution at Boliden Mineral, Aitik Operation, Licentiate Thesis, Luleå University of Technology Department of Civil and Environmental Engineering Division of Rock Engineering, 2005:90, ISSN:1402-1757

BİLGİN, A., ESEN S., KILIÇ, M., 1998, Pit Slope Manual, Chapter 7, Canmet Report 77-14

BOND, F.C., 1952, The Third Theory of Comminution, Transactions of AIME/SME, Vol.193, pp. 4884-494.

BOWERS, L.R., BROADDUS, W.R., DWYER, J., HINES, J., and STANSELL, R., 1991, Processing Plant Principles, The Aggregate Handbook, ch. 8, (edited by Richard D. Barksdale), NSA, Washington D.C, USA.

CATERPILLAR, 2006, *Caterpillar Performance Handbook*, Caterpillar Inc., Peoria, Illinois, USA

CSOKE, B., PETHO, S., FOLDESI, J., and MESZAROS, I., 1996, Optimization of Stone-Quarry Technologies, International Journal of Mineral Processing, Vol. 44-45, pp. 447-459.

CUNNINGHAM, C., 1983, The Kuz -Ram model for prediction of fragmentation from blasting, Trans. 1st Int. Symp. Rock Fragmentation by Blasting, Luleå. Sweden

CUNNINGHAM, C., 1987, Fragmentation Estimations and the Kuz-Ram Model – Four Years On, 2nd International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Keystone, Colorado, pp 475-487.

DJORDJEVIC, N., 1999, Two-component model of blast fragmentation, Proceedings of 6th Symp. on Rock Fragmentation by Blasting, pp 213-219. Symposium series S21. SAIMM, Johannesburg.

DONOVAN, J. G., 2003, Fracture Toughness Based Models for the Prediction of Power Consumption, Product Size and Capacity of Jaw Crushers, PhD. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute, USA.

DUTHOIT, V., 2000, Aggregates, ch. 9 (edited by Louis Primel and Claude Tourenq), Crushing and Grinding. Balkema, Rotterdam.

ELORANTA, J., 1995, The Selection of Powder Factor in Large Diameter Blast Holes, Proc. Of 21st Annual Conf. On Explosives and Blasting Research, Vol 1, Nashville, TN, pp 68-77

GRIFIFITH, A.A., 1921, The Phenomenon of Rupture and Flow in Solids, Philosophical Transactions of the Royal Physical Society, Vol. 221, pp. 163-198.

GRUNDSTROM, C., KANCHIBOTLA, S.S., JANKOVICH, J., THORNTON, D., 2001, Blast Fragmentation for Maximising the SAG Mill Throughput at Porgera Gold Mine, Proc. In Proc ISEE 27th Ann Conf Expl & Blasting Technology, vol I. pp 383-399. ISEE, Cleveland OH.

HALL, J., BRUNTON, I., 2001, Critical comparison of Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre (JKMRC) blast fragmentation models, Explo 2001, AusIMM, Hunter Valley, NSW, pp207-212.

HERSAM, E.A., 1923, Factors Controlling the Capacity of Rock Crushers, Transactions AIME, Vol. 68, pp. 463-476.

HOEK, E., BRAY, J.W., 1991, Kaya Şev Stabilitesi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, (Çevirenler: Paşamehmetoğlu, A.G., Özgenoğlu, A., Karpuz, C.) Ankara.

HOFER, A., 1990, Fundamental Breakage Studies of Mineral Particles with an Ultrafast Load Cell Device, PhD Dissertation, University of Utah, Salt Lake City.

JAEGER, J.C., COOK, N.G.W., 1979, Fundamentals of Rock Mechanics, 3rd edition, Chapman and Hall, London.

JKSIMBLAST, 2007 Blast Management System-2D Bench Surface Blast Design and Analysis, Version 2.2.8, Soft-Blast Pty Ltd.

KAHRİMAN, A., 1995, Sivas Ulaş Yöresi Sölestit Cevheri ve Yankayaçları için Optimum Patlatma Koşullarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleri ile İlişkilendirilmesi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sivas.

KAHRİMAN, A., TUNCER, G., KARADOĞAN, A., **ÖZDEMİR, K., 2005**, Kuz – Ram and Digital Image Processing System Combination to Determine Specific Blasting Parameters, Proceedings of The Thirty – First Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, 6 – 9 February, Orlando, Florida, USA., 2005, Volume I, pp. 399 – 407.

KAHRİMAN, A., TUNCER, G., KARADOĞAN, A., **ÖZDEMİR, K., 2004**, A Practical Approach for Blasters to Determine The Optimal Bench Blasting Conditions, Proceedings of The Thirtieth Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, 1-4 February, New Orleans, Louisiana, USA., 2004, Volume I, pp. 51-59.

KANCHIBOTLA, S. S., VALERY Jnr. W., Morrell, S., 1999, Modelling fines in blast fragmentation and its impact on crushing and grinding, *Explo'99 Conference*, Kalgoorlie, WA.

KANCHIBOTLA, S.S., 2003, Optimum Blasting? Is it Minimum Cost Per Broken Rock or Maximum Value Per Broken Rock, *Fragblast*, 2003, Vol. 7, No. 1, pp. 35-48

KELLY, E.G., SPOTTISWOOD, D.J., 1982, *Introduction to Mineral Processing*, John Wiley and Sons, New York.

KING, R.P., 2001, *Modelling and Simulation of Mineral Processing Systems*. Butterworth-Heinemann, Boston.

KUZNETSOV, V.M., 1973, The mean diameter of fragments formed by blasting rock, *Soviet Mining Science*, Vol. 9 No. 2

LYNCH, A.J., 1977, *Mineral Crushing and Grinding Circuits: Their Simulation, Optimization, Design, and Control*, Elsevier, New York.

LILLY, P.A., 1986, An Empirical Method of Assessing Rock Mass Blastability, In *Proc Large Open Pit Mining Conference*, pp. 89-92, AusIMM & Instr Engrs, Newman Combined Group, Melbourne.

LIU, Q., TRAN, H., 1996, Comparing systems - Validation of Fragscan, WipFrag, and Split, *Measurement of Blast Fragmentation*, J. Franklin and T. Katsabanis eds, AA Balkema, pp 151-155.

MAERZ, N. H., PALANGIO, T. C., FRANKLIN, J. A., 1996, WipFrag image based granulometry system, *Proceedings of the FRAGBLAST 5 Workshop on Measurement of Blast Fragmentation*, Montreal, Quebec, Canada, 23-24 Aug., 1996, pp. 91-99.

METSO MINERALS, 2003, *Your Comprehensive Source for Aggregate Processing*, Technical literature.

NAPIER-MUNN, T.J., MORRELLI, S., MORRISON, R.D., KOJOVIC, T., 1996, *Mineral Comminution Circuits – Their Operation and Optimization*, Julius Kruttschnitt Mineral Research Center, Queensland, Australia.

NORDBERG., 1995, Compression Test, Laboratory Test Guidelines, pp. 3-9.

OHIO LOWRISON, G.C., 1974, Crushing and Grinding , CRC Press, Cleveland,

OKA, Y. and MAJIMA, W., 1970, A Theory of Size Reduction Involving Fracture Mechanics, Canadian Metallurgical Quarterly, Vol. 9, pp. 429-339.

OLOFSSON, S.O., 1988, Applied Explosives Technology, for Construction and Mining, Sweden.

OUCHTERLONY, F., 2003, Influence of blasting on the size distribution and properties of muckpile fragments, a state-of-the art review, MinFo P2000-10: Energioptimering vid nedbrytning / Energy optimization in comminution, Swebrec, Luleå University of Technology, Sweden.

ÖZDEMİR, K., KAHRİMAN, A., KARADOĞAN, A., TUNCER, G., 2003, Blast Fragmentation Assessment and Control Using The Split Digital Image Analysis System, International Conference on Earth Sciences and Electronics (ICESE-2003), 23-24 October, Istanbul University, Avcılar, Istanbul, Turkey.

ÖZDEMİR K., KAHRİMAN A., DOĞAN T., 2005, Patlatma Sonrası Parça-Boyut Dağılımının Ekskavatör Kazı Süresine Olan Etkisinin Araştırılması, II. İş makineleri Sempozyumu ve Sergisi 29-30 Eylül/2 Ekim 2005, İstanbul pp:273-282.

ÖZDEMİR, K., 2004, Dijital Görüntü İşleme Tekniği ile Patlatma Verimlilik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

ÖZDEMİR, K., KAHRİMAN, A., ÖZER, U., TUNCER, G., 2007, Bench Blasting Optimization Method Depending on Desired Fragmentation, 7th International Conference: Modern Management of Mine Producing Geology and Environment Protection, 11-15 June, Albena Resort, Varna, Bulgaria.

ÖZDEMİR, K., TUNCER, G., KAHRİMAN, A., ÖZER, U., KARADOĞAN, A., 2007, The Relation between Excavator Bucket Loading Time and Particle Size Distribution of Shot Rock, Proceedings of The 33rd Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, 28 January – 1 February, Nashville, Tennessee, USA., 2007, Volume I, pp. 303-313.

ÖZDEMİR, K., KAHRİMAN A., TUNCER G., AKGUNDOĞDU A., ELVER E. & UÇAN O.N., 2004, Fragmentation Assessment Using a New Image Processing Technique Based on Adaptive Neuro Fuzzy Inference Systems, Proceedings of The Thirtieth Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, 1-4 February, New Orleans, Louisiana, USA, 2004, Volume II, pp. 181-187

ÖZER, U., ÖZDEMİR, K., KAHRİMAN, A., KARADOĞAN., A., TUNCER, G., 2006, The Importance of Particle Size Distribution After Blasting and Arrangement Studies on This Basis, 6th International Conference: Modern Management of Mine

Producing Geology and Environment Protection, 12-16 June, Albena Resort, Varna, Bulgaria, 2006, pp: 43 – 52.

PALEY, N., and KOJOVIC, T., 2001, Adjusting Blasting to Increase SAG Mill Throughput at the Red Dog Mine, Proc of 27th Annual Conf. On Explosives and Blasting Research, Orlando, FL.

PAŞAMEHMETOĞLU, A.G., et.al., 1986, Divriği Madenleri Müessesesi Açık Ocağında Patlatma Sorunlarının Etüdü, ODTÜ, Ankara

SASTRI, S.R., 1994, Capacities and Performance Characteristics of Jaw Crushers, Minerals and Metallurgical Processing, Vol. 11, No. 2, pp. 80-86.

SINGH, B., ROY, P.P., BAGACHI, A., SINGH, R.B., SINGH, M.M., NABNJLLAH, M., 1993, Blasting in Ground Excavations and Mines, AA, Balkema.

TAMROCK, 1984, Handbook of Surface Drilling and Blasting, Painofaktorit, Finland.

THORNTON, D., KANCHIBOTLA, S., ESTERLE, J., 2001, A fragmentation model to estimate ROM size distribution of soft rock types. Proceedings of the 27th Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, International Society of Explosives Engineers, Orlando, Florida, pp41-53.

THORNTON, D. KANCHIBOTLA, S., BRUNTON, I. 2001, Modelling the impact of rockmass and blast design variation on blast fragmentation. Explo 2001, AusIMM, Hunter Valley, NSW, pp197-205.

WEISS, N.L., 1985, Jaw Crushers, SME Mineral Processing Handbook, ch. 3B-1, (edited by N.L. Weiss), SME/AIME, New York.

WEISS, N.L., 1985, Jaw Crushers ch.3B-1 (edited by N.L. Weiss). SME Mineral Processing Handbook, SME/AIME, New York, USA.

WHITEN, W.J., 1972, The Simulation of Crushing Plants with models Developed Using Multiple Spline Regression, The 10th International Symposium on the Application of Computer Methods in the Mineral Industry, Johannesburg, pp. 317-323.

WILLS, B.A., 1992, Mineral Processing Technology, Pergamon Press, New York

WORKMAN, L., 1998, The Potential for Unifying Drilling, Blasting and Downstream Operations by the Application of Technology, Calder & Workman, Inc

EKLER

EK-B. KIRICI PERFORMANS ÖLÇÜM SONUÇLARI

Kırma süresi(sn/ton)	Enerji(kWh)	P20(mm)	P50(mm)	P80(mm)	Top Size(mm)	Capacity (ton/hr)
13,12	5,42	122,5	216,95	348,2	619,62	274,39
13,36	1,96	113,45	247,14	363,39	534,84	269,46
11,56	2,8	41,68	143,76	267,25	423,18	311,42
12,36	3,77	1,797	80,04	534,64	761,55	291,26
10	2,7	34	93,61	188,67	274,58	360,00
9,52	2,35	37,19	158,76	246,24	334,65	378,15
10,92	3,3	51,79	164,01	330,65	519,18	329,67
10,68	1,75	55,36	203,24	430,23	627,96	337,08
11,2	2,42	54,61	91,4	131,42	208,42	321,43
17,76	2,7	137,3	326,8	536,08	739,41	202,70
13,36	3,3	85,31	248,63	407,1	594,54	269,46
15,24	3,2	149,64	217,79	292,07	426	236,22
19,64	7,15	114,3	393,77	694,39	937,87	183,30
20,64	4,58	72,19	354,95	547,76	742,25	174,42
15,84	3,6	58,47	167,81	310,22	477,33	227,27
17	3,7	41,79	109,31	187,4	315,67	211,76
14,2	2,7	35,13	84,38	145,82	261,69	253,52
7,92	1,2	5,165	24,64	54,24	86,88	454,55
9,28	2,37	4,098	31,22	157,05	304,76	387,93
8,12	1,72	24,41	68,66	129,34	222,17	443,35
15,64	2,7	22,79	117,58	248,88	406,1	230,18
16,4	4,54	81,6	149,51	245,82	352,5	219,51
14,4	2,13	48,51	115,08	182,7	279,54	250,00
8,4	2,52	80,75	147,23	242,1	360,12	428,57
18,08	4,2	176,78	295,75	420,9	568,92	199,12
18,04	4,25	111,61	282,55	463,38	730,02	199,56
20,48	4,17	49,6	222,57	448,14	623,12	175,78
17,72	4,57	168,06	282,61	386,74	563,85	203,16
17,64	4,14	49,88	343,91	553,84	816,07	204,08
15,04	3,63	97,28	308,07	493,03	666,02	239,36
19,92	3,34	146,46	231,96	328,79	537,01	180,72
17,08	3,91	144,65	232,36	329,43	468,82	210,77
15,96	3,4	52,27	181,78	280,74	421,07	225,56
15,56	4,67	90,49	90,49	265,43	363,4	231,36
12,88	4,03	23,11	75,05	161,08	242,53	279,50
13,44	3,96	28,45	97,53	197,69	326,77	267,86
13,36	5,6	73,94	227,94	437,48	661,88	269,46
20,96	6	111,46	260,88	436,73	664,93	171,76
10,16	3,75	43,06	118,18	202,52	339,69	354,33
11,36	3,6	39,13	136,8	228,18	362,18	316,90
15,2	3,44	43,69	113,04	207,38	379,07	236,84
11,4	5,34	39,66	145,4	290,31	507,57	315,79
14,16	3,78	169,45	289,18	437,73	604,12	254,24

ÖZGEÇMİŞ

Kağan Özdemir 1978 yılında Trabzon'da doğdu. Orta öğrenimini Ankara Atatürk Anadolu Lisesi'nde tamamladıktan sonra, 1997 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümüne başlayıp, 2002 yılında Maden Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Maden Mühendisliği Programında Yüksek Lisans eğitimine ve İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Maden İşletme Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Yüksek Lisans çalışmasını 2004 yılında tamamladıktan sonra, aynı yıl doktora çalışmalarına başladı. Halen Maden Mühendisliği Bölümünde, görevini yürütmekte olan ve çok iyi derecede İngilizce bilen Kağan Özdemir'in özellikle madencilik ve inşaat faaliyetlerinde gerçekleştirilen delme patlatma teknolojileri üzerine çoğu uluslararası olmak üzere 20'nin üzerinde eseri vardır.