

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
PATLAYICI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



DİJİTAL GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİĞİ İLE
PATLATMA VERİMLİLİK ANALİZİ

MUSTAFA KAAK KILIÇ

tarafıdan

YÜKSEKLİSANS

derecesi şartını sağlamak için hazırlanmıştır.

Nisan 2018

Program: Patlayıcı Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

DİJİTAL GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİĞİ İLE
PATLATMA VERİMLİLİK ANALİZİ

MUSTAFA KAAAN KILIÇ

tarafından

OKAN ÜNİVERSİTESİ

Patlayıcı Mühendisliği Anabilim Dalına

Yükseklisans

derecesi şartını sağlamak için sunulmuştur.

Onaylayan:

Prof.Dr. Ali KAHRİMAN

Danışman

Doç.Dr. Hakan TUNÇDEMİR

Üye

Dr.Öğr.Üyesi Birol ALAS

Üye

Nisan 2018

Program: Patlayıcı Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

KISA ÖZET

DİJİTAL GÖRÜNTÜ İŞLEME TEKNİĞİ İLE PATLATMA VERİMLİLİK ANALİZİ

Madencilik çalışmalarında, 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 %12 ile %40 arası oranda etkileri bulunmaktadır.

Teknik ve ekonomik sebeplerden maden üretiminde delme ve patlatma çalışmalarında optimizasyon şarttır. Bu optimizasyon çalışmaları patlatma sonrası gözlemler, performans ve maliyet analizleri ile gerçekleştirilmektedir. Son yıllarda dijital görüntü işleme yöntemleri patlatma sonrası parça boyutunun tayininde oldukça başarılı bir şekilde uygulanmaya başlanmıştır. Dijital görüntü işleme yöntemi ile parça boyutu analizi, patlatma sonrası oluşan yığından veya bant konveyörden dijital olarak görüntü alınması, bu görüntünün uygun yazılımla analiz edilmesi ve sonucun parça boyut dağılımının alan hesabıyla sunulması ilkesine dayanmaktadır.

Bu tez kapsamında İmagej dijital görüntü işleme yazılımı kullanılarak Limak Çimento'ya ait kalker açık ocak işletmesinde parça boyut dağılımı saptanarak, patlatma verimlilik analizi yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER

Dijital görüntü işleme tekniği, patlatma verimlilik analizi

ABSTRACT**BLASTING PRODUCTIVITY ANALYSIS USING DIGITAL IMAGE
PROCESSING TECHNIQUE**

In the condition that drilling and blasting technique is inevitable on mining activities, the fragmentation rate and particle size distribution of the muckpile obtained after blasting has influences between 12% and 40% on the performance of subsequent mining activities such as loading, hauling, crushing, grinding etc. and the total costs of that mine.

The optimization on drilling and blasting activities for mine producing is a must due to technical and economic reasons. These optimization studies can be achieved by visual observations, performance and cost analysis after blasting. In recent years the digital image analysis techniques are applied successfully on assessment of particle size distribution after blasting. Digital image processing technique depends on the principle of obtaining digital image from the muckpile or belt conveyor, analyzing these images by suitable softwares and presenting the results with particle size distribution graphics.

Within the scope of this study, the particle size distribution after blasting was assessed at Limak Cement Lime Stone open pit by using Imagej software.

KEYWORDS

Digital processing technique, blasting productivity analysis

ÍTHAF



TEŞEKKÜR

Öğrenime başladığım Yüksek lisans programı süresince ve tez çalışmalarım esnasında gösterdiği her türlü yardım ve desteklerinden dolayı başta çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Ali KAHRİMAN olmak üzere değerli hocalarım Prof.Dr.Cengiz KUZU'ya ve Yrd.Doç.Dr. Abdulkadir KARADOĞAN'a en içten dileklerle teşekkür ederim. Bana katkı ve desteklerini hiç esirgemeyen Öğr.Gör. Aziz ÖZDEMİR'e ve Öğr.Gör. Sadettin BAĞDATLI'ya en içten dileklerle teşekkür ederim.

Ayrıca başta Limak Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ő. Trakya Fabrikası Hammadde Şefi Alptekin KATMER ve OSA Grup Yapı Maden Mühendisi İskender RAMOĞLU olmak üzere Limak Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ő. Trakya Fabrikası ve OSA Grup Yapı çalışanlarına araŐtırmalarımındaki yardım ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca her an beni destekleyen aileme ve başarılarımda motivasyon kaynağım olan eşime çok teşekkür ederim.

Mart, 2018

Mustafa Kaan KILIÇ

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	V
TABLO LİSTESİ.....	XI
ŞEKİL LİSTESİ.....	XII
SİMGELER.....	XIV
I. GİRİŞ.....	1
II. GENEL KISIMLAR	4
2.1. BASAMAK PATLATMASI	4
2.2. BASAMAK PATLATMASI TASARIM PARAMETRELERİ	5
2.2.1. Kaya birimlerinin malzeme ve kütle özellikleri.....	7
2.2.2. Patlayıcı maddenin cinsi, özellikleri ve dağılımı	7
2.2.3. Patlatma geometrisi.....	8
2.2.3.1. Özgül şarjın belirlenmesi için önerilen yöntemler.....	8
2.2.3.2. Dilim kalınlığının belirlenmesine yönelik yaklaşımlar	12
2.2.3.3. Delik çapı tahmini	16
2.2.3.4. Delik eğiminin belirlenmesi	17
2.2.3.5. Delikler arası mesafenin belirlenmesi	17
2.2.3.6. Delik taban payının belirlenmesi	19
2.2.3.7. Sıkılama boyunun belirlenmesi	20
2.2.3.8. Yemleme yeri ve miktarının belirlenmesi	21
2.2.3.9. Gecikme zamanının belirlenmesi	22

2.2.3.10. <i>Dip şarj ve kolon şarj boylarıyla miktarlarının belirlenmesi</i>	23
2.2.3.11. <i>Delik hata payının belirlenmesi</i>	24
2.3. DELME PATLATMANIN İŞLETME EKONOMİSİNE ETKİLERİ	25
2.3.1. Kanchibotla'nın çalışması.....	28
2.3.2. Furstenau'nun çalışması.....	28
2.3.3. McCarter'in çalışması	29
2.3.4. Nielsen'in çalışması	30
2.3.5. Mertz'in çalışması.....	31
2.3.6. MacKenzie'nin çalışması.....	31
2.3.7. Eloranta'nın Çalışması.....	32
2.3.8. Kojovic'in çalışması	34
2.3.9. Revnivitsev'in çalışması	34
2.4. PARÇA BOYUTUNUN TANIMI VE ÖNEMİ	35
2.4.1. Parçalanma derecesini etkileyen faktörler.....	37
2.4.1.1. <i>Kayacın nitelikleri</i>	37
2.4.1.2. <i>Delikler arası mesafe</i>	37
2.4.1.3. <i>Duvar mesafesi veya dilim kalınlığı</i>	38
2.4.1.4. <i>Basamak şev durumu</i>	38
2.4.1.5. <i>Basamak yüksekliği</i>	38
2.4.1.6. <i>Sıkılamanın etkisi</i>	38
2.4.1.7. <i>Basamaktaki delik düzeni</i>	38
2.4.1.8. <i>Delik çapı</i>	39
2.4.1.9. <i>Patlayıcı madde miktarı</i>	39
2.4.1.10. <i>Patlayıcı madde türü</i>	39

2.4.1.11. Ateşleme sırası.....	39
III. MALZEME VE YÖNTEM	40
3.1. PATLATMA SONRASI PARÇA BOYUTUNU BELİRLEME YÖNTEMLERİ .	40
3.1.1. Görsel –Gözlemsel yöntemler.....	40
3.1.2. Fotoğraflama tekniği.....	40
3.1.3. Geleneksel ve yüksek hızlı fotogramtri	41
3.1.4. Patar sayımı yöntemi.....	41
3.1.5. İkincil atımlarda patlayıcı tüketimi.....	42
3.1.6. Ekskavatörün yükleme performansı	42
3.1.7. Primer kırıcı performansı.....	43
3.1.8. Elek analizleri	43
3.1.9. Üç-Nokta metodu.....	43
3.1.10. Parça-Numune metodu.....	44
3.1.11. Görüntü işleme metodu.....	44
3.2. DİJİTAL GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİ İLE PARÇA BOYUT ANALİZİ .	45
3.2.1. Tarihi ve gelişimi	46
3.2.2. Kaydedilen ilerlemeler.....	46
3.2.3. Dijital görüntü işleme yönteminin adımları.....	47
3.2.3.1. Görüntüyü yeniden yapılandırma.....	47
3.2.3.2. Görüntü analizi.....	47
3.2.3.3. Görüntü oluşumu (Bilgisayar tarafından oluşturulan görüntü).....	48
3.2.3.4. Görüntü sıkıştırma ve şifreleme.....	48
3.2.4. Uygulama alanları.....	48
3.2.5. Dijital görüntüler.....	49

3.2.5.1. Görüntü parametreleri.....	50
3.2.5.2. Görüntü uzaysal çözünürlüğü.....	50
3.2.6. Yöntemin sınırları	51
3.2.7. Sistemin tatbiki için muhtelif konfigürasyonlar	52
3.2.8. Ölçümlemenin geçerliliği.....	53
3.2.9. Dijital görüntü işleme programlarından “İMAGEJ Sistemi”	53
3.3. IMAGEJ YAZILIMI İLE İLGİLİ BİLİNMESİ GEREKENLER	54
3.3.1. Pencereleler(Windows).....	55
3.3.1.1. Araç Çubuğu(Tool bar).....	55
3.3.1.2. Görüntüler/Images).....	55
3.3.1.3. Seçimler(Selections).....	56
3.3.1.4. Dosya biçimleri(File formats).....	57
3.3.2. Dosya menüsü(File menu)	57
3.3.2.1. Yeni(New).....	57
3.3.2.2. Aç(Open)	58
3.3.2.3. Kapat(Close).....	58
3.3.2.4. Kaydet(Save).....	58
3.3.2.5. Farklı Kaydet(Save As).....	59
3.3.2.6. Çıkış(Quit).....	59
3.3.3. Düzen menüsü(Edit menu)	59
3.3.3.1. Geri al(Undo).....	59
3.3.3.2. Temizle(Clear).....	59
3.3.3.3. Dışı temizle(Clear outside).....	59
3.3.3.4. Doldur(Fill).....	60
3.3.4. Görüntü menüsü(Image menu)	60

3.3.4.1. <i>Tip(Type)</i>	60
3.3.4.2. <i>Ayar(Adjust)</i>	60
3.3.4.3. <i>Bilgi göster(Show info)</i>	62
3.3.5. İşlem menüsü(Process menu)	63
3.3.5.1. <i>Yumuşatma(Smooth)</i>	63
3.3.5.2. <i>Keskinleştirme(Sharpen)</i>	63
3.3.5.3. <i>Kenarları bul(Find edges)</i>	63
3.3.5.4. <i>Siyah ve beyaz(Binary)</i>	64
3.3.6. Analiz menüsü(Analyze menu).....	64
3.3.6.1. <i>Ölçme(Measure)</i>	64
3.3.6.2. <i>Parça analizi(Analyze particles)</i>	65
3.3.6.3. <i>Özetle(Summarize)</i>	68
3.3.6.4. <i>Ölçümleri ayarla(Set measurements)</i>	68
3.4. PARÇALANMANIN KONTROLÜ VE OPTİMİZASYONU	69
3.4.1. Kuz-Ram parçalanma derecesi tahmin modeli	71
3.4.1.1. <i>Kuznetsov eşitliği</i>	71
3.4.1.2. <i>Rosin Rammler eşitliği</i>	72
3.4.1.3. <i>Karakteristik boyut</i>	72
3.4.1.4. <i>Üniformite</i>	73
3.4.1.5. <i>Tidman eşitliği</i>	73
3.4.1.6. <i>Patlatılabilirlik indeksi</i>	74
3.4.1.7. <i>Özgül şarj</i>	75
3.4.1.8. <i>Şarj miktarı</i>	75
3.4.2. Patlatma planlamasında optimizasyon	76
3.4.3. Optimum patlatma dizaynı seçimi	77

3.4.4. Büyük blokların kırılmasından sonraki maliyetlerin hesaplanması.....	78
3.4.4.1. Kirma maliyetinin hesaplanması.....	79
IV. BULGULAR.....	80
4.1. BÖLGENİN JEOLJİSİ.....	81
4.1.1. İşletme sahasının jeolojisi.....	81
4.1.2. Yapısal jeoloji.....	82
4.2. KAZI ÇALIŞMALARI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER.....	83
4.2.1. Patlatma çalışmaları ile ilgili bilgiler.....	83
4.3. PATLATMA SONRASI ANALİZLER.....	84
4.4. ANALİZ AŞAMASI.....	86
4.4.1. İlk patlatmanın analizi.....	86
4.4.2. İkinci patlatmanın analizi.....	90
4.4.3. Üçüncü patlatmanın analizi.....	91
4.4.4. Dördüncü patlatmanın analizi.....	92
4.4.5. Beşinci patlatmanın analizi.....	93
4.4.6. Altıncı patlatmanın analizi.....	94
4.4.7. Altı patlatmanın birlikte analizi.....	95
4.5. PATLATMA OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI.....	97
V. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	98
KAYNAKLAR.....	102
ÖZGEÇMİŞ.....	107

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Bilim adamlarının çalışmalarından çıkan özet sonuçlar.....	35
Tablo 4.1. Patlatma parametreleri.....	84
Tablo 4.2. İlk görüntünün analiz sonuçları.....	89
Tablo 4.3. Altı patlamanın parça boyut dağılım yüzdeleri.....	95
Tablo 4.4. Birim patlayıcı tüketimi, birim delgi elektrik sarfıyatı ve kepçe yükleme periyodu	96
Tablo 4.5. Ortalama parça boyutu.....	97

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Toplam maliyet-Parçalanma derecesi ilişkisi	2
Şekil 2.1. Basamak patlatmasında kullanılan terimler	4
Şekil 2.2. Toplam maliyet ve optimum nokta	27
Şekil 2.3. Özgül Şarj miktarına karşı elektrik tüketimi.....	28
Şekil 2.4. Özgül şarj miktarına göre toplam maliyetler	29
Şekil 2.5. Deney Numunesi.....	30
Şekil 2.6. Kaya sertliğine karşı özgül şarj.....	31
Şekil 2.7. Parçalanma derecesi ve ardışık işlem maliyetleri arasındaki ilişki.....	32
Şekil 2.8. Toplam maliyetler-Özgül şarj karşılaştırması.....	32
Şekil 2.9. Patlayıcı madde maliyeti ve ardışık işlem toplam maliyeti ilişkisi	33
Şekil 2.10. Toplam maliyetlere karşı özgül şarj miktarı	34
Şekil 3.1. Dijital görüntü örneği.....	49
Şekil 3.2. IMAGEJ yazılımı genel görünümü ve pencereler	54
Şekil 3.3. IMAGEJ yazılımı araç çubuğu	55
Şekil 3.4. IMAGEJ yazılımı yeni menüsü	58
Şekil 3.5. IMAGEJ yazılımı parlaklık ve kontrast	60
Şekil 3.6. IMAGEJ yazılımı eşik değer belirleme	62
Şekil 3.7. IMAGEJ yazılımı bilgi göster.....	63
Şekil 3.8. IMAGEJ yazılımı siyah ve beyaz	64
Şekil 3.9. IMAGEJ yazılımı ölçme	65

Şekil 3.10. IMAGEJ yazılımı parça analizi	65
Şekil 3.11. IMAGEJ yazılımı parça analizi	66
Şekil 3.12. IMAGEJ yazılımı parça analizi	67
Şekil 3.13. IMAGEJ yazılımı parça analizi	68
Şekil 3.14. IMAGEJ yazılımı ölçümleri ayarla.....	69
Şekil 4.1. Patlatma çalışmaları yapılan ocağın görüntüleri.....	80
Şekil 4.2. Yığınlar üzerinden alınan bazı örnek görüntüler	85
Şekil 4.3. İlk görüntünün orijinali	87
Şekil 4.4. İlk görüntünün 8-bit'e dönüştürülmüş hali	87
Şekil 4.5. İlk görüntünün kenar çizgileri belirlenmiş hali.....	87
Şekil 4.6. İlk görüntünün siyah-beyaza dönüştürülmüş hali	88
Şekil 4.7. İlk görüntünün 900cm ² 'den büyük alana sahip patarları	89
Şekil 4.8. İkinci görüntünün orijinali	90
Şekil 4.9. İkinci görüntünün işlenmiş hali	90
Şekil 4.10. Üçüncü görüntünün orijinali	91
Şekil 4.11. Üçüncü görüntünün işlenmiş hali	91
Şekil 4.12. Dördüncü görüntünün orijinali	92
Şekil 4.13. Dördüncü görüntünün işlenmiş hali.....	92
Şekil 4.14. Beşinci görüntünün orijinali.....	93
Şekil 4.15. Beşinci görüntünün işlenmiş hali.....	93
Şekil 4.16. Altıncı görüntünün orijinali	94
Şekil 4.17. Altıncı görüntünün işlenmiş hali.....	94

SİMGELER

Xav	: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 (%)

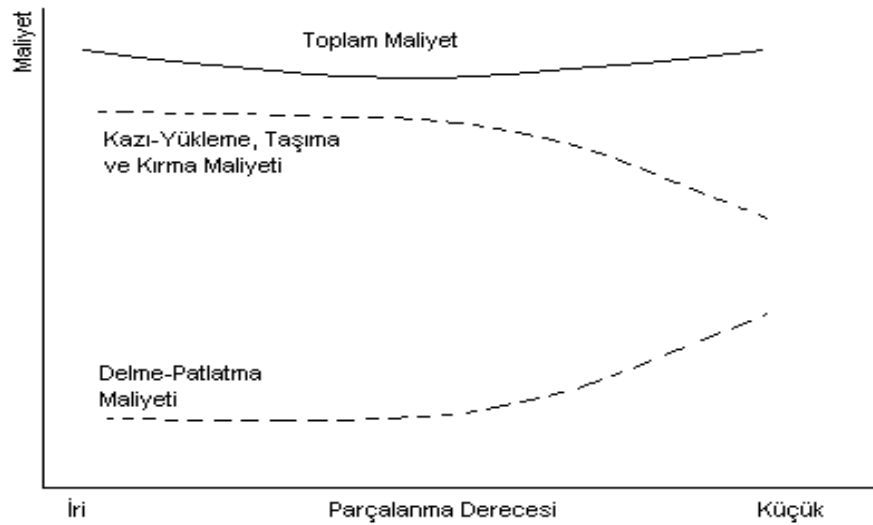
A	:patlatılabilirlik indeksi
RMD	:kaya kütle belirteci
JF	:eklem faktörü
RDI	:kaya yoğunluk indeksi, $RDI = 25(r - 2)$
HF	:sertlik faktörü
X_i	:yerinde blok boyutu (m)
JF	:eklem faktörü
JFs	:eklem aralık faktörü
JFo	:eklem yayılım faktörü
dr	:rölatif dalım yönü (derece)
JDD	:eklem dalım yönü (derece)
xvFFDD	:serbest yüzey dalım yönü (derece)
pr	: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)
Qe	:şarj miktarı (kg)
r	:delik yarıçapı (m)
L	:şarj uzunluğu (m)
pe	:patlayıcı özgül ağırlığı

I. GİRİŞ

Maden ve taş ocağı faaliyetlerinin en önemli bölümünü kazı işlemleri oluşturur. Kazı işlemlerinin madde/kütle özellikleri ve kullanılmakta olan teknoloji ile ilgili sınırların üzerinde delme-patlatma işlemi kazı veya gevşetme kazısı olarak kullanılabilmekte ve ekonomiklik yönüyle de dikkat çekmektedir.

Delme ve patlatmanın önemini, işletme faaliyetlerinin ekonomik açıdan göstergesini oluşturan maliyet analizlerinde ve kazı işlemlerinin daha hızlı yapılabilmesinde gözlemlemek olanaklıdır. Maliyet analizi yapılırken delme ve patlatma maliyetleri ardışık olarak gerçekleştirilen diğer işlemlerle birlikte analiz edilmelidir.

Tek başına delme-patlatma işlemlerinde sağlanacak maliyet minimizasyonu, birbirini takip eden teknolojik işlemlerin (ardışık işlemlerin) maliyetlerinde hatırı sayılır artışların olmasına neden olacaktır. Bu konuyu Şekil 1.1.'de açık bir şekilde görebiliriz.



Şekil 1.1, Toplam maliyet-Parçalanma derecesi ilişkisi

Şekilde de ifade edildiği gibi, delme ve patlatma faaliyetleri optimizasyonu sağlandığında; ardışık işlemler olan yükleme, taşıma, kırma-öğütme işlemleriyle beraber reklamasyon işlemlerinde maliyetlerin azalacağı, bunun sonucu olarak işletmelerin toplam maliyetininde azalmasında etkili olacağı tartışılmaz bir gerçektir.

Az önce bahsedilen öneme binaen delme-patlatma teknolojisiyle ilgili yeni çalışmalar yapılarak henüz çözülememiş sorunlara çözüm bulmaya ve bütün işlemler için uygun makine tip ve kapasite optimizasyonuna ihtiyaç vardır. Bu durumdada patlatma verimlilik analizi konusu ön plana çıkmaktadır.

Patlatma sonrası yapılan patlatma çalışmasının verimlilik analizleri aşağıdaki parametreleri kapsamaktadır.

- Patlatma geometrisi
- Ateşleme performansı

- Detonasyon performansı
- Geri çatlak oluşumu
- Parçalanma derecesi analizi
- Patlatma hasarı incelemesi

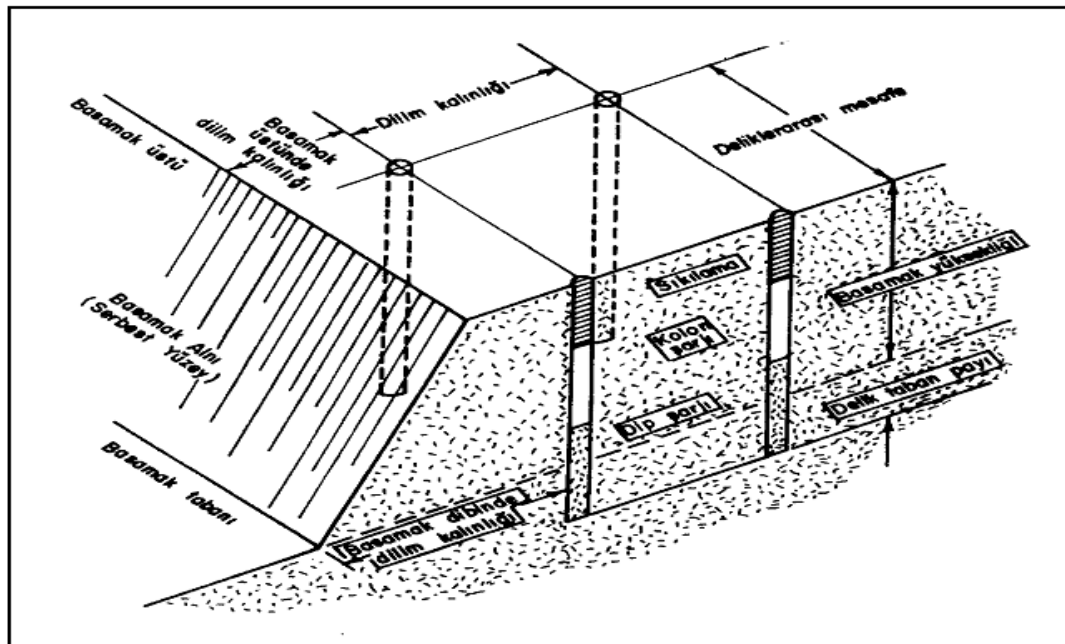
Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında Limak Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. Trakya Fabrikası Pınarhisar/KIRKLARELİ kalker cevheri açık ocağında yürütülmekte olan patlatma çalışmaları incelenerek patlatma sonrası oluşan yığının parçalanma derecesi IMAGEJ programı kullanılarak dijital görüntü işleme yöntemi ile saptanması amaçlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında öncelikle yapılması amaçlanan çalışma, dijital görüntü işleme yöntemi ile parça boyut dağılımının saptanması ve bunun ışığında yapılan patlatma çalışmalarının verimliliğinin ortaya konmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, Kırklareli'nin Pınarhisar ilçesinde bulunan Limak kalker açık ocağına gidilerek gerekli gözlemler yapılacak ve patlatma sonrası yığın üzerinden dijital görüntüler alınarak bunların analizi gerçekleştirilecektir. Burada asıl amaç, uygulanan patlatma çalışmalarında belirlenmiş olan patlatma parametreleri ile analiz sonuçları arasındaki ilişkiyi saptamak ve hangi parametrelerin istenen parçalanma derecesini elde etmek için değiştirilmesi gerektiğine karar vermek olmaktadır.

II. GENEL KISIMLAR

2.1. Basamak Patlatması

Basamak; açık maden ocaklarında kazı yapılırken meydana getirilen farklı kotlardaki herbir kademeye denir. Basamak patlatması ise bu noktalarda icra edilen atımlara denir. Basamaklar bir alt ve bir de üst kottan oluşur. Bu kotlar arasındaki fark basamak yüksekliğini verir. Basamak alını kayanın sağlamlığına, delik eğimine ve yapısına göre 90° veya daha az eğimli şev oluşturur. Bu şev, basamağı meydana getiren kayanın parçalanmasına yardımcı olurken parçalanmış kayanın ötelenmesini sağlayan serbest bir yüzey oluşturmaktadır. (Arpaz, 2000; Kahrıman, 1995).



Şekil 2. 1: Basamak patlatmasında kullanılan terimler (Kahrıman, 1995)

Delik sıraları arasındaki ve serbest yüzeyle birinci sıra delikler arasındaki mesafelere dilim kalınlığı denilmektedir. Bir atıma basamak patlatması denilebilmesi için dilim

kalınlığı (B) en fazla basamak yüksekliği (K) nın yarısına ($B \leq K/2$) eşit olmalıdır. Aynı sıradaki deliklerin birbirine olan uzaklığına delikler arası mesafe denilmektedir. Delik boyları, basamak tabanının düzgün ve tırnaksız olması için basamak yüksekliğinden biraz fazla delinir ve bu kısma delik taban payı adı verilir. Basamak patlatmalarında iki tip şarj vardır. Bunlardan ilki deliğin dip kısmına konan patlayıcı maddeyi ifade eden dip şarjı, diğeri ise bunun üzerine konan kolon şarjıdır. Genel bir uygulama olarak basamağın tabanında ve çevresinde kayanın parçalanması zor olduğu için dip şarjı kolon şarjına oranla kudretçe ve miktarcada hafızla olacak şekilde seçilmelidir. Deliğin ağzınadeliğin içerisine konan patlayıcı maddeyi örtmek amacıyla konulan ve patlayıcı özelliği bulunmayan (kum, delme makinası kırıntıları, kırma taş, çakıl) malzeme ise sıkılama olarak adlandırılır. Sıkılama ve deliği dolduracak şekilde olmalıdır (Arpaz, 2000; Kahrıman, 1995; Adıgüzel, 2006).

2.2. Basamak Patlatması Tasarım Parametreleri

Ekonomik ve emniyetli bir basamak patlatması yapılabilmesi için, birbirini takip eden delme-patlatma, kazı-yükleme, nakliye, kırma (özellikle primer kırma) ve/veya tumba gibi faaliyetlerin hepsini birden barındıran ve güvenilir bir patlatma tasarımı kullanılmalıdır. Bu tasarım açık ocak işletmeciliğinin temelini oluşturur. Başarılı bir patlatma tasarımı demek; yükleyici makinenin verimliliği ve/veya müteakip kullanım açısından istenilen parçalanma derecesinde, kısmen ötelenmiş, yeterince kabarmış bir yığının elde edilmesini sağlayan ve fırlayan kaya, yersarsıntısı, hava şoku gibi çevresel sorunlar ortaya çıkarmayan veya en az çıkaran bir patlatmanın sonuçlarını patlatma yapılmadan tahmin etmektir. Ayrıca kaya kazısının doğrudan veya ripperleme ile yapılabileceği dayanımların belirli değerlere kadar mümkün olabildiği bilinmektedir.

Bu dayanım değerlerinin üzerinde ise delme ve patlatma, işletmelerde, üretim işleminin ilk adımı olmaktadır. Genel olarak daha homojen ve daha küçük parça boyutunda bir yığın oluşturulması için daha fazla delik delmek ve/veya daha fazla patlayıcı madde kullanmak; delme-patlatmanın maliyetini arttırır. Daha fazla patlayıcı kullanılarak elde edilen bir yığın sonucunda ardışık işlemlerin maliyetlerinde belirgin bir düşüş olacaktır. Bununla beraber, delik delme ve patlatma işleminde ek bir maliyet ortaya çıkarmadan sadece kullanılan patlayıcı maddenin enerjisini arttırmak istenen parçalanmaya ulaşmayı sağlayacaktır. Bu durumda, cevaplanması gereken iki temel sorunla karşılaşmaktadır. Bunlardan ilki, deliklere konacak optimum patlayıcı madde miktarının ne kadar olacağı, ikincisi ise, arzu edilen parçalanma derecesinde ve istenen konumda bir yığını oluşturmak için delik paterninin nasıl olacağıdır. Yani herhangi bir kaya ortamında ulaşmak istenen sonuç için yapılacak basamak patlatmasında bulunması gereken iki önemli parametre: özgül şarj ve dilim kalınlığıdır. Diğer parametreler ise bu iki parametrenin bulunmasıyla hesaplanabilmekte ve tasarıma son şekli verilebilmektedir.

Maden üretim sürecinde patlatmanın önemi bilindiğinden meseleyle alakalı çalışmalar bir çok araştırmacı tarafından yapılmaktadır. Fakat konunun karışık olması nedeniyle hala yanıt aranan birçok husus vardır. Ekonomik, teknik ve emniyet bakımından iyi ve güvenilir bir patlatma tasarımını etkileyen birçok parametre vardır. Bu parametreler aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Arpaz, 2000; Kahrıman, 1995; Adıgüzel, 2006).

2.2.1. Kaya birimlerinin malzeme ve kütle özellikleri

- Sismik dalga hızı
- Empedans
- Yoğunluk
- Basınç, çekme, darbe dayanımları
- Elastik modülü
- Su durumu
- Süreksizlik durumu ve kütleli olarak sağlamlık derecesi
- Sertlik
- Değişkenlik durumu (homojenlik, anizotropi ve izotropiklik)
- Poisson oranı

2.2.2. Patlayıcı maddenin cinsi, özellikleri ve dağılımı

- Yoğunluk
- Patlama hızı
- Suya dayanım
- Hassasiyet
- Kudret (güç)
- Patlama ısı ve özgül gaz hacmi
- Gaz özellikleri
- Dona dayanım
- Depolama şekli ve süresi

2.2.3. Patlatma geometrisi

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

Konuyla ilgili araştırmacıların ortaya çıkardığı deneysel ilişkilerden faydalanarak ve kaya koşullarını da içeren bir başlangıç özgül şarj ve dilim kalınlığı değerleri saptanmakta ve ön tasarım yapılabilmektedir. Uygulama sonucunda; yapılan gözlemler, maliyet ve verimlilik analizlerinden elde edilen bulgular değerlendirilerek optimumu sağlayan tasarıma ulaşmak için iterasyonlar yapılmakta ve işletme koşullarını da içeren bu çalışmalar neticesinde ulaşılan değerlerle tasarım kesinleştirilebilmektedir (Arpaz, 2000; Kahriman, 1995; Adıgüzel, 2006).

2.2.3.1. Özgül şarjın belirlenmesi için önerilen yöntemler

Büyük oranda kaya özelliklerine bağlı olan deliklere konacak patlayıcı madde miktarı (özgül şarj), kayada istenen parçalanma derecesine ulaşmak için önemli bir parametredir. Özgül şarj ve istenen parçalanma derecesi arasındaki ilişki birçok kaya özelliğinin beraber etkili olması sebebiyle oldukça karmaşıktır. Yapılan araştırmalara rağmen hala

tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır. Bu sebeple günümüzde kullanılacak özgül şarj; belirli teorik yaklaşımlar olmasına karşın genellikle herbir kaya birimi için deneme yanılma yöntemi ile belirlenmektedir. Bu yüzden kayanın madde ve kütle özellikleri ile optimum özgül şarj arasındaki ilişkiyi tespit etmek ve geliştirmek önemini korumaktadır. Konuyla ilgili ilk araştırmaları, Frankel 1954 ve Langefors ve Kihlstrom (1978) yapmışlardır. Patlatma geometrisi ve kaya patlatma sabitini içeren Langefors formülü aşağıdaki gibidir (Arpaz, 2000; Kahrıman, 1995).

$$q = [(1.4 \times C_o B^3 + 0.4 C_o \times B^2 \times (K - 2B)] / (n \times K \times B^2), (\text{kg/m}^3) \quad (2.1)$$

Ülkemizdeki birtakım linyit ve demir açık işletmelerinde araştırmalar yapan Paşamehmetoğlu ve arkadaşları özgül şarj ile yoğunluk, basma dayanımı, çekme dayanımı, darbe dayanımı, empadans, sismik dalga hızı (P dalga hızı) gibi bazı kaya özellikleri arasında oldukça yüksek korelasyon katsayılı çeşitli ilişkiler geliştirmişlerdir. Bahse konu araştırmacılarca geliştirilen bu ilişkiler aşağıdadır (Arpaz, 2000; Kahrıman, 1995).

Darbe dayanımı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0.414 + 9.55 \times 10^{-7} \times DD, (r = 0.99) \quad (2.2)$$

Basma dayanımı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0.474 + 0.004 \times \sigma_b, (r = 0.56) \quad (2.3)$$

Çekme dayanımı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0.369 + 0.0224 \times \sigma_c, (r = 0.82) \quad (2.4)$$

Yoğunluk ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0.019 + 2.038 \times 10^{-4} \times d_r, (r = 0.99) \quad (2.5)$$

İçsel sürtünme açısı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0.2349 \times (\tan\phi)^{0.5570}, (r=0.68) \quad (2.6)$$

Kohezyon ve darbe dayanımı ilişkisi:

$$q = 0.1156 + c \times 0.0072, (r=0.95) \quad (2.7)$$

Sismik hız ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = -1.9928 + 0.2904 \times \ln V_p, (r=0.89) \quad (2.8)$$

Kaya empedansı ve özgül şarj ilişkisi:

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

Kayaların patlatılabilirlikleri konusunda, özellikle dönmeli delik delme işlemlerinde delme performanslarından elde edilen kaya kalite indeksinin (RQI) önemli olduğunu belirten Leighton (1982), kaya kalite indeksi ve özgül şarj arasında ilişkiyi aşağıdaki denklemlerle ortaya koymuştur.

$$q = (RQI - 24.9) / 7.1, (kg/ton) \quad (2.10)$$

Benzer konuda Paşamehmetoğlu ve Arkadaşları, Dinçer ve Toper de ülkemizdeki araştırmalarında buna benzer yaklaşımlarda bulunmuş ve bazı benzer ilişkiler ortaya çıkarmışlardır.

$$q = 0.208 + 0.0224 \times RQI, (r=0.82) \quad (2.11)$$

Kou ve Rustan ise özgül şarj kavramına yakın bir kavram olan patlayabilirlik faktörünün (C_0), dinamik elastisite modülünü, kayanın tek eksenli basma dayanımını ve referans patlayıcı maddenin ısı enerjisini içeren formülle tahmin edilebileceğini belirtmektedir.

$$C_0 = (\sigma_b)^2 / (2 \times E_d \times Q_{er}) \quad (2.12)$$

Özgül şarj üzerinde süreksizlik yönelimlerinin de etkili olduğu Bilgin ve arkadaşları (1994) tarafından ifade edilmiştir. Hatta özgül şarj değerlerinin; süreksizlik yönelimlerinin, aynaya dik olduğundamaksimum olduğunu belirtmişlerdir (Arpaz, 2000; Kahrıman, 1995).

Burada kullanılan semboller:

q: Özgül şarj, (kg/m^3)

K: Basamak yüksekliği, (m)

C_0 : Kaya patlatma katsayısı, (kg/m^3)

n: Delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı oranı

f: Delik eğim faktörü

B: Dilim kalınlığı, (m)

σ_b : Kayanın tek eksenli basma dayanımı, (MPa)

σ_c : Kayanın endirekt çekme dayanımı, (MPa)

c: Kohezyon, (MPa)

$\phi+i$: Etkin içsel sürtünme açısı, (derece)

ϕ : Kayanın içsel sürtünme açısı, (derece)

DD: Darbe dayanımı, ($\text{kg.m/m}^3 \cdot 10^{-5}$)

I: Empedans, $((\text{MN-m})/(\text{m}^3 \cdot \text{sn}))$

V_p : Sismik (P-dalga) hız, (m/sn)

d_r : Kayanın yoğunluğu, (kN/m^3)

Q_{er} : Referans patlayıcı maddenin ısı enerjisi, (kJ/kg)

RQI: Kaya kalite indeksi, (MPa-dak/m)

E_d : Dinamik elastisite modülü, (MPa)

2.2.3.2. Dilim kalınlığının belirlenmesine yönelik yaklaşımlar

Dilim kalınlığının bütün tasarım parametrelerini etkilediği yapılan çalışmalar sonucunu ortaya konulmuştur. Başka bir ifadeyle, sıkılama boyu, delikler arası mesafe, gecikme aralığı, delik taban payı, kolon şarjı boyu ve dip şarjı boyu gibi diğer tasarım parametrelerinin, dilim kalınlığının fonksiyonu olarak ifade edilebilmektedir. Dilim kalınlığının fonksiyonu olarak ifade edilen diğer parametrelerle yapılan tasarımların anlamlı sonuçlar verdiği konusu çoğu araştırmacılarca vurgulanmıştır.

Dilim kalınlığı; delme patlatma ekonomisi, yersarsıntısı ve fırlayan kaya gibi ocak ve çevre emniyetini etkilemesi açısından oldukça önemlidir. İşletme olanaklarına uygun dilim kalınlığını belirlemek amacıyla çeşitli araştırmalar yapılmış ve ampirik yaklaşımlarda bulunulmuştur. Ayrıca dilim kalınlığını herbir kaya birimi ve herbir işletme için deneme-yanılma yöntemiyle belirleme yaklaşımı, günümüzde geçerliliğini sürdürmektedir. Arıoğlu(1988) birtakım araştırmacıların dilim kalınlığı için önerdikleri bağıntıları kategorize etmiştir. Bunların bir bölümü yalnızca delik ve basamak geometrisiyle pratik ilişkiler geliştirirken diğerleri ise bu parametrelerle beraber, kaya koşullarını ve patlayıcı madde özelliklerini de içeren yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Bu yaklaşımlar aşağıda özetlenmiştir. (Arpaz, 2000; Kahrıman, 1995).

$$B = 0.024 * d + 0.85 \quad (2.13)$$

$$B = (25-35) - 12 \times d_e \quad (2.14)$$

$$B_{\max} = 0.045 \times d \quad (2.15)$$

$$B_{\max} = (d/33) \times (P \times s) / [C_0 \times f \times (S/B)]^{0.5}, (B = B_{\max} - E) \quad (2.16)$$

$$B_{\max} = 1.36 \times (I_b)^{0.5} \times R_1 \times R_2 \quad (2.17)$$

$$B = [(Q_b + Q_p)] / [(S/B) \times K \times K_{tp}] \quad (2.18)$$

$$B = 3.15 \times d_e \times (SG_e/SG_r)^{0.33}, \text{ (feet)} \quad (2.19)$$

$$B = 10^{-3} \times K_r \times d \times (P_p / \sigma_c)^{0.5} \quad (2.20)$$

$$B = f(q,d,K,\tau_p,\alpha) \quad (2.21)$$

$$B=[(K_o/(\mu \times n \times \tan(\theta/2))]^{0.5} \times d \times [(SG_e \times Q_e / Q_{er})/(\sigma_b^2 / (2E_d \times n \times Q_{er}))]^{0.5} \quad (2.22)$$

Burada;

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

d: Delik çapı, (mm)

R_1 : Delik eğimi düzeltme faktörü

R_2 : Kaya düzeltme faktörü

l_b : Şarj yoğunluğu, (kg/m)

d_e : Patlayıcı maddenin çapı, (inç)

SG_e : Patlayıcı maddenin özgül ağırlığı

P: Patlayıcı maddenin delik içindeki yoğunluğu, (kg/dm³)

SG_r : Kayanın özgül ağırlığı

s: Patlayıcı maddenin ağırlıkça kudreti

f: Atım güçlük katsayısı

C_o : Kaya patlatma katsayısı

E: Delik hata payı, (m)

S: Delikler arası mesafe, (m)

Q_b : Dip şarj miktarı, (kg)

Q_p : Kolon şarj miktarı, (kg)

K_r : Kaya faktörü

K: Basamak yüksekliği, (m)

K_{tp} : Teknik şarj faktörü

P_p : Delikteki patlama basıncı, (MPa)

σ_{ϕ} : Kayanın çekme dayanımı, (MPa)

$\sigma_{\phi \text{ min}}$: Minimum çekme gerilmesi, (MPa)

$\sigma_{\phi \text{ max}}$: Maksimum çekme gerilmesi, (MPa)

$\sigma_{\phi, d}$: Kayanın dinamik çekme dayanımı, (MPa)

α : Süreksizlik düzleminin aynaya göre olan açısı, (derece)

μ : Kırılma enerjisi ile maksimum basınç deformasyon enerjisi arasındaki oran

η : Enerji iletim verimi

Q_e : Patlayıcı ısı enerjisi, (kJ/kg)

Q_{er} : Referans patlayıcının ısı enerjisi, (kJ/kg)

θ : Kırılma açısı, (derece)

σ_b : Kayanın tek eksenli basma dayanımı, (MPa)

E_d : Dinamik elastik modülü, (GPa)

Gösterilen bu formüllerin haricinde; Rustan, Bilgin, Paşamehmetoğlu ve Arkadaşları işletmelerde tek delik düzeninin uygulanmasının uygun dilim kalınlığının belirlenmesi için daha verimli olacağını değerlendirmişlerdir.

Genel bir değerlendirmeye formüllerin tamamında; dilim kalınlığını, delik çapının fonksiyonu olarak gösterdiği ve bu yaklaşımların pratik kolaylıklar sağladığı ve hepsinin birbirine benzer sonuçlar verdiği (maksimum ve minimum aralıkları içinde) görülmektedir. Patlatma tasarımı parametreleriyle beraber kayaların kütle ve madde özelliklerini ve patlayıcı madde özelliklerini de dikkate alan yaklaşımlardan; pratikte daha verimli sonuçlara varanlar aşağıda belirtilmiştir.

Konya yaklaşımının kayanın sadece yoğunluk özelliklerini önemsemesi ve diğer özellikleriyle ilgilenmemesi sebebiyle; kullanımının geniş kapsamlı olmayacağı

araştırmacılarca anlatılmaktadır. Ayrıca bu yaklaşımın zayıf formasyonlar için iyi sonuçlar ortaya koyduğu da ifade edilmektedir. Pearse formülünün kayaların çekme dayanımına dayanması sebebiyle ön tasarımlarda verimli sonuçlar ortaya çıkardığı bazı araştırmacılarca anlatılmaktadır. Pearse formülünün özellikle kalker formasyonu için olumlu sonuçlara ulaştığı belirtilmektedir. Ancak sadece kalker formasyonu için geliştirilmiş olması uygulama alanını sınırlamaktadır. Keza Arıoğlu'nun (1988) özgül şarj, patlatma tasarımı büyüklüklerini ve patlayıcı madde özelliklerini kapsayacak biçimde ortaya koyduğu bağıntı ile belirli sonuçlar alınabilir. Bu yaklaşımda; birim patlayıcı tüketimi, kayanın diğer madde ve kütle özelliklerini içerecek şekilde belirlendiğinde yaklaşımın başarısı da artabilecektir. Özkahraman (1994) Nova ve Zanietti tarafından geliştirilen Pearse yaklaşımının, süreksizlik yönelimini içermesi sebebiyle oldukça iyi sonuçlar verdiğini ifade etmektedir (Arpaz, 2000; Kahrıman, 1995; Adıgüzel, 2006).

Çeşitli araştırmacılar Rustan tarafından önerilen tek delik düzeni ile dilim kalınlığı belirleme yaklaşımının, bir takım deneme zorlukları ve ekstra maliyet unsurları oluşturma gibi konular bir tarafa bırakıldığında, çok iyi sonuçlar verdiğini ifade edilmektedirler. Kou ve Rustan (1992) tarafından önerilen yaklaşımın; kayaların dinamik elastik modülünü, patlayıcı madde özelliklerini, basma dayanımı, delik çapı ve diğer geometrik büyüklükleri dikkate alması sebebiyle olumlu sonuçlar verebileceği, fakat yönelimlerini ve süreksizlikleri içermediğinden tahminlerde yanılıcı sonuçlara ulaşılmasına neden olabileceği birtakım araştırmacılarca belirtilmektedir.

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

geometrisi unsurlarını ve patlayıcı madde özelliklerini içermesi sebebiyle uygulamada çok başarılı sonuçlar vermiştir. Benzer yaklaşımın esas alındığı çalışmalarda yapılan tasarımlarla da olumlu sonuçlar alındığı gözlemlenmiştir. Kaya patlatma katsayısının iyi bir şekilde tayini formülün başarılı olabilmesi için önemlidir (Arpaz, 2000; Kahrıman, 1995).

2.2.3.3. Delik çapı tahmini

Delik çapının seçimini etkileyen temel hususlar; istenen parçalanma derecesi, kaya özellikleri, basamak yüksekliği, üretim kapasitesi kısıtları, kullanılacak patlayıcı maddelerin gücü, çevre şartları ve çapın artışına bağlı olarak birim delme maliyetinde ortaya çıkacak azalmadır. İşletmelerde, belirli bir makine parkı varlığı kaçınılmaz bir gerçektir. Bu nedenle delik çapı seçimi kısıtlı olsa da; yeni açılacak işletmelerde delik çapının çok iyi belirlenmesi büyük öneme sahiptir. Yukarıda açıklanan bütün etkili parametrelere karşın, birçok araştırmacı, delik çapını (d), daha çok basamak yüksekliğinin (K) bir fonksiyonu olarak belirtmektedirler. Patlayıcı madde üreticilerinden bir kısmı ise iyi bir parçalanma ve tasarım kontrolü için delik çapının basamak yüksekliğinin 1/10'u kadar olmasını önermektedirler. Bazı araştırmacılar ise açık ocak işletmelerde kullanılacak delik çapları (d) için pratik olarak aşağıdaki aralıkları önermektedirler.

$$d = 51\text{mm}-425\text{mm}$$

$$d = 30\text{mm}-400\text{mm}$$

$$d(m) = K / (100-200) \quad (2.23)$$

Hagan ve bazı diğer araştırmacılar ise delik çapının, basamak yüksekliğinin 1/40'ii ile 1/80'i arasında değiştiğini, araştırmaları esnasında tespit etmişlerdir. Tamrock (1984)

ise kesme derinliği herhangi bir çaptaki deliğin kullanılmasına izin verdiği sürece ve çevresel unsurlardan (yapılar v.s.) yeterince uzakta patlatma yapılıyorsa, delik çapının tayininde belirleyici faktörün ekskavatör kepçe hacmi olarak alınabileceğini belirtmiştir (Arpaz, 2000; Kahriman, 1995).

2.2.3.4. Delik eğiminin belirlenmesi

Birçok araştırmacı kaya fırlaması, yer sarsıntısı ve geri çatlak gibi olumsuzlukları azaltmak ve patlatmanın verimliliğini artırmak için eğimli delik kullanımının faydalı olduğunu gözlemlemiştir. Bununla birlikte sert ve sağlam kayalara dik deliklerin delinmesinin daha pozitif sonuçlar ortaya çıkardığı bazı araştırmacılar tarafından belirtilmektedir. Genel bir kabul olarak delik eğiminin minimum değerinin 45° olduğu araştırmacılar tarafından benimsenmiştir. Bunun altındaki eğimler şarj zorluğu nedeniyle kabul görmemektedir.

İstenen sonuçlara ulaştıracak bir basamak patlatması için, genel olarak seçilmesi gereken ortalama eğimi Rosenberg (1970) 65°-75° ve Gregory (1984), 60°-65° olarak önerirken Olofsson (1988) 71° olarak önermektedirler.

Delik hata payı; delik eğimine etki eden diğer bir unsurdur. Delik hata payı da delik uzunluğu ve basamak yksekliliğine bağlı olarak değişir (Arpaz, 2000; Kahriman, 1995).

2.2.3.5. Delikler arası mesafenin belirlenmesi

Patlatma geometrisindeki en önemli unsurlardan bir tanesi de delikler arası mesafedir. Delikler arası mesafe bazı araştırmacılarca, dar anlamda yanyana iki delik (aynı sırada)

arasındaki mesafe olarak ifade edilirken, diğer bazı araştırmacılar ise daha geniş anlamda delikler arasındaki gecikme (zamanca) aralığı olarak ifade etmektedir.

Delikler arası mesafenin belirlenmesinde başka birçok unsur etkin olmasına karşın, birçok araştırmanın kabul ettiğı şekilde daha çok dilim kalınlığının fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır.

Konuyla ilgili yapılan araştırmalarda araştırmacılar tarafından formüllerde daha çok delikler arası mesafe, dilim kalınlığının bir fonksiyonu olarak belirlenmektedir. Aşağıda çeşitli yaklaşımlar özetlenmiştir.

$$S(m) = 1.25 \times B(m) \quad (2.24)$$

$$S = 1.8 \times B, \text{ (Tek sıra delik için)} \quad (2.25)$$

$$S = 2 \times B \text{ eğer } (h_b+h_p) \geq 4 \text{ ise} \quad (2.26)$$

$$S = [B \times (h_b+h_p)]^{0.5}, \text{ (çok sıralı ve geçikmesiz) eğer } (h_b+h_p) \leq 4 \text{ ise} \quad (2.27)$$

Burada:

h_b : Dip şarj boyu, (m)

h_p : Kolon şarj boyu, (m)

$$S = (1.15-1.25) \times B \quad (2.28)$$

$$S = (1-1.8) \times B \quad (2.29)$$

$$S = 2 \times B \quad (2.30)$$

Deliklerarası mesafenin dilim kalınlığına oranı 1 ila 1,25'dir. Bu oran basamak patlatması için genel kabul görmüştür.

Ayrıca birçok araştırmacının ortak fikre sahip olduğu konular aşağıda belirtilmiştir:

Delikler arası mesafenin dilim kalınlığına oranının 1'den küçük olduğu bir basamak patlatmasında; sıkılama malzemesinin erken boşalması nedeniyle delikler arasında çok erken çatlaklar oluşacaktır. Bunun sonucu, hava şoku, gürültü,gaz kaçışının hızlanması ve patar oluşumu gibi problemlerle karşılaşılacaktır. Tam tersi bu oranın çok büyük olması da uygun olmayan parçalanma ve/veya hiç parçalanmama sebebiyle patarlar ortaya çıkmasına sebep olacaktır.

Yukarıda açıklanan yaklaşımları içeren ön tasarımlar geliştirerek işletme koşullarına uygun değerler elde etmek, izlenmesi gereken en uygun yol olacaktır(Arpaz, 2000; Kahrıman, 1995).

2.3.3.6. Delik taban payının belirlenmesi

Delik taban payı güvenilir bir patlatma yapılabilmesi için, uygun olarak tespit edilmesi gereken parametrelerden bir tanesidir. Basamak tabanında düzgün bir yüzey ve iyi kesilmiş bir aynaya ulaşmakta taban payının iyi belirlenmesi çok önemlidir. Delik taban payının arzu edilenden az veya fazla olmasının sebep olduğu sorunlara, neredeyse bütün çalışmalarda değinilmiştir.

Birçok araştırmacı, taban payını (U) dilim kalınlığının bir fonksiyonu olarak açıklamıştır. Aşağıda bu önerilerden bazıları sıralanmıştır (Arpaz, 2000; Kahrıman, 1995).

$$U(m) = (0.2-0.3) \times B \quad (2.31)$$

$$U(m) = (0.1-0.5) \times B \quad (2.32)$$

$$U(m) = (0.2-0.5) \times B \quad (2.33)$$

$$U(m) = 0.3 \times B \quad (2.34)$$

$$U(m) = 0.3 \times B_{\max} \quad (2.35)$$

$$U(m) = 8 \times d \quad (2.36)$$

d: Delik çapı, (m)

2.2.3.7. Sıkılama boyunun belirlenmesi

Sıkılama boyu ve sıkılama malzemesi, arzu edilen parça boyutu ortalamasıyla bir yığın elde etmenin yanısıra, kaya fırlaması ve hava şoku gibi çevre etkenlerinin en alt seviyeye indirilmesi için önemlidir. Sıkılama boyu ve tesiri hususunda yapılan çalışmalarda; sıkılama boyunun dilim kalınlığının bir fonksiyonu olduğu varsayılarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

$$h_o(m) = (0.67-2) \times B \quad (2.37)$$

$$h_o(m) = (0.7-1) * B \quad (2.38)$$

$$h_o(m) = B, \quad (2.39)$$

$$h_o(m) = (20-60) \times d \quad (2.40)$$

d: Delik çapı, (m)

$$h_o(\text{feet}) = 0.7 \times d \quad (2.41)$$

d: Delik çapı (feet)

Pratik yaklaşımın yanında Konya (1990), sıkılama boyunun hesaplanmasında, kayanın yoğunluğunu ve patlayıcı madde kudretini de içeren aşağıdaki formülü önermektedir.

$$h_o(\text{feet}) = 0.45 \times d_e \times (S_{tv} / SG_r)^{0.33} \quad (2.42)$$

Burada:

d_e : Delik çapı, (inç)

S_{tv} : Patlayıcı maddenin hacimce kudreti

SG_r : Kayanın özgül ağırlığı

Bazı araştırmacılar ise sıkılama boyunu; kaya fırlamasını ve hava şokunu en az düzeye indirecek bir fonksiyon olarak belirtmektedirler:

$$h_o = Z \times (12/R_f) \times (W_e \times S_{tw}/100)^{0.33} \quad (2.43)$$

Burada:

Z : Kaya fırlaması ile ilgili bir faktör

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

R_f : Kaya faktörü

S_{tw} : Patlayıcı maddenin ağırlıkça kudreti

Ayrıca normal şartlarda; sıkılama boyunun dilim kalınlığına eşit alınmasıyla olumlu sonuçlara ulaşılmıştır (Arpaz, 2000; Kahrıman, 1995).

2.2.3.8. Yemleme yeri ve miktarının belirlenmesi

Delğe konulan patlayıcı maddenin uygun zamanda ve güvenilir bir biçimde ateşlenmesinde yem konumu ve sayısı çok etkilidir.

Olması gerekenden daha uzun şarj kolonu sonucunda yem detonasyonu sönmülenebilir ve yetersiz olabilir. Delikteki yem sayısını, tabana konan bir yemlemenin uygun nitelikte ateşleyebileceği şarj kolonu uzunluğubelirler. Bu sayının tahmin edilmesi için birtakım deneysel yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Konya'nın (1990) yemlemenin ateşleyebileceği kolon uzunluğunu; dilim kalınlığına, patlayıcı maddenin patlama hızına, delik taban payına ve kayanın sismik dalga hızına bağlı bir fonksiyon olarak ifade etmektedir.

Ayrıca bazı araştırmacılar iyi bir ateşleme için yemleme çapının şarj çapına eşit olması ve yemleme uzunluğunun şarj çapının 2 ila 4 katı arasında olmasını önermektedir (Arpaz, 2000; Kahriman, 1995).

2.2.3.9. Gecikme zamanının belirlenmesi

Arzu edilen parça boyutuna ulaştıracak basamak patlatmasının gerçekleştirilebilmesi için hem delik sıraları arasında hem de aynı sıradaki delikler arasında uygun bir gecikme süresinin belirlenmesi önemlidir. Delikler arasında verilen bu zaman fasılası; fırlayan kaya, yersarsıntısı ve hava şoku gibi çevresel etkileri en aza indirmek için de gereklidir. Konuyla ilgili araştırmacılardan birçoğu gecikme zamanını, dilim kalınlığının bir fonksiyonu olarak kabul etmişlerdir. Aşağıdabunlardan bazıları açıklanmıştır (Arpaz, 2000; Kahriman, 1995).

$$t_h = 5 \times B \quad (2.44)$$

$$t_h(\text{ms}) = T_H \times S \quad (2.45)$$

$$t_h = (B/305) + PC/V_e + B/23 \quad (2.46)$$

Burada:

Delikler arası gecikme zamanı(t_h)

T_H : Delikten deliğe gecikme sabiti

b. Sıralar arası gecikme zamanı (t_r)

$$t_r = 12 \times B \quad (2.47)$$

$$t_r = T_R \times B \quad (2.48)$$

$$t_r = (333 \times 3^{2.17}) / (K \times l_b^{0.39}) \quad (2.49)$$

$$t_r = (3-5) \times B \quad (2.51)$$

Burada:

TR: Delik sıraları arasında gecikme sabiti

2.2.3.10. Dip şarj ve kolon şarj boylarıyla miktarlarının belirlenmesi

Basamak patlatmasında delikler genellikle iki farklı şekilde şarj edilmektedir. Bunlardan biri sürekli şarj diğeri ise kısmi şarj olarak adlandırılır. Kısmi şarj özel durumlarda kullanılır. Sürekli şarj kapsamında ifade bulan kolon şarjı ise en çok kullanılan şarj şeklidir. Sürekli şarj kullanımında; kaya özellikleri, delikteki şarj boyu ve patlayıcı madde cinsi dikkate alınarak ikiye ayrılır.

i. Kolon şarjı

ii. Dip şarjı

Delik taban kısmında parçalanmanın daha fazla enerjiye ihtiyaç duyması sebebiyle; genel bir uygulama olarak delik tabanına konacak patlayıcı madde kudretinin daha fazla olması gerekir. Bununla birlikte; patlayıcı maddenin ayna boyunca iyi dağılımı sağlanmalıdır. Bunun için patlayıcı madde kolonu belirli bir uzunlukta olmalıdır. Dip ve kolon şarjlarının boyları konusunda çalışmalar yapan araştırmacılar, dip ve kolon şarjının boylarını dilim kalınlığının fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi belirtmişlerdir (Arpaz, 2000; Kahrıman, 1995).

a. Kolon şarjı uzunluğu(h_p)

$$h_p(m) = H - 2.3 \times B \quad (2.51)$$

$$h_p = H - h_b - h_o \quad (2.52)$$

H : Delik uzunluğu, (m)

b. Kolon şarjı miktarı(Q_p)

$$l_p(\text{kg/m}) = 0.4 * l_b \quad (2.53)$$

$$l_p = (0.4-0.5) * l_b \quad (2.54)$$

$$Q_p: l_p * h_p, (\text{kg})$$

l_p : Kolon şarj konsantrasyonu

c. Dip şarj uzunluğu

$$h_b = (0.3-0.5) * B + U \quad (2.55)$$

$$h_b = (0.3-0.6) * (B+U) \quad (2.56)$$

$$h_b(\text{m}) = B + U = 1.3 * B \quad (2.57)$$

d. Dip şarj miktarı(Q_b)

$$l_b = d^2 * T / 1000 \quad (2.58)$$

$$l_b = (f/s) * (S/B) * 0.8 * C_o * B^2 \quad (2.59)$$

$$l_b(\text{kg/m}) = C_o * B^2 \quad (2.60)$$

l_b : Dip şarj konsantrasyonu

$$Q_b: l_b * h_b, (\text{kg})$$

2.2.3.11. Delik hata payının belirlenmesi

İstenen parçalanma derecesinde bir yığının oluşmasında önemli parametrelerden birtanesi de deliklerin istenen geometride delinmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu hususta ne kadar hassas olunursa olunsun yine de bazı sapmalar kaçınılmazdır. Bu sapma miktarlarının kabul edilebilir sınırlar içinde tutulması önemlidir. Bu konuda çalışan araştırmacıların delik hata payı tolerans değerleri aşağıda açıklanmıştır (Arpaz, 2000; Kahrıman, 1995).

$$E = 0.05 + 0.03 \times H \quad (2.61)$$

$$E = (d/1000) + 0.03 \times H \quad (2.62)$$

$$E = 0.05 + 0.03 \times K \quad (2.63)$$

Burada:

E : Delik hata payı, (m)

H: Delik uzunluğu, (m)

d : Delik çapı, (mm)

K : Basamak yüksekliği, (m)

2.3. Delme Patlatmanın İşletme Ekonomisine Etkileri

Kolay kazılamayan kaya kütlelerini, kontrollü birşekilde tahrip ederek ana kayadan ayırma işlemine delme-patlatma adı verilmektedir. Delme-patlatma esnasında belirlenmiş büyük kapasiteler için iyi parçalanmış ve ötelenmiş kaya kütleleri elde edilirken, arka şevde kalan kaya külesine en az zarar verilmelidir. Bu iki karşıt durumun şartlarını bir arada yerine getirmesi beklenen delme-patlatma; üretim kapasitesini, patlatma sonrası işlemlerin randımanını, son ürünün maliyetini ve emniyetli bir çalışma ortamını direkt etkileyen üretimin ilk ve temel aşamasıdır.

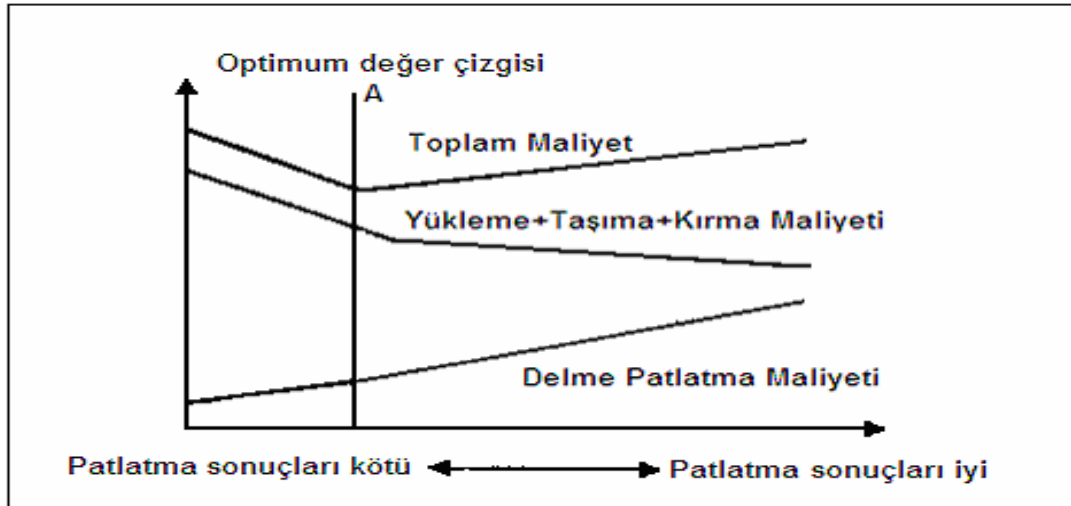
Örnek olarak kötü bir patlatma yapılmışsa ikinci delme patlatma ihtiyacı ortaya çıkar, yükleyici makineler zor koşullarda çalışır ve patar oranı artar. İkinci patlatma sebebiyle vardiyadaki iş kayıpları artar ve fazladan maliyet ortaya çıkar. Makinelerin yürüyüş sistemleri zarar görür. Yükleyicilerin zor koşullarda çalışması kapasitelerini düşürür, arızaları artırır. Patar oranının yüksek olması ise yükleme, taşıma emniyetinin ve

kırıcıların kapasitelerinin azalmasına ayrıca ton basınç kırma maliyetinin artmasına sebep olur.

İyi bir basamak patlatması ise bütün olumsuz sonuçları kaldıracaktır. İyi bir patlatma için basamak yüksekliklerine uygun delme düzeninin, delik çapının, patlayıcının ve ateşleme sisteminin seçilerek optimum düzeyde doğru biçimde uygulanması gereklidir.

Bu nedenle delme-patlatma maliyeti; yükleme, taşıma ve kırma maliyetleriyle beraber kırma sonrası stok maliyetinin bir unsuru olarak ele alınması doğru olacaktır.

Daha az patlayıcı madde kullanılarak delme-patlatma maliyeti azaltılabilirken yükleme, taşıma ve kırma maliyetleri tam tersine artış gösterecektir. Doğal olarak da toplam maliyetler artacağından işletme ekonomisine olumsuz etki yapacaktır. Buna karşın Şekil 2.2.'de görüldüğü şekilde genellikle seçilen yol ise delme-patlatma maliyetini yüksek tutarak toplam kırma sonrası stok maliyetini azaltmaktır. Bu yapılırken de göz önünde bulundurulması gereken en önemli husus toplam kırma sonrası stok maliyetinin en az olduğu noktanın seçilmesidir.



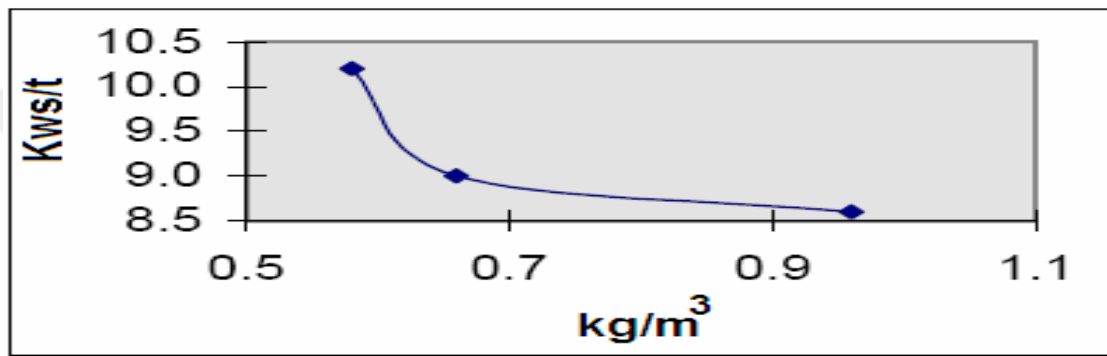
Şekil 2.2. Toplam maliyet ve optimum nokta

Delme-patlatma maliyetlerinin belirli bir noktadan sonra artırması patlatma sonrası maliyetleri fazla etkilemeyecektir. Bu nedenle gereksiz bir maliyet artışına neden olur. Şekil 2.2.'ye bakılırsa toplam maliyetin en az olduğu A noktasındaki delme-patlatma maliyetinin azaltılması veya arttırılması toplam maliyetin artmasına sebep olacaktır (Kahriman, 1995).

Sonuç olarak; patlatmanın performansının patlatma sonrası işlemlerin randımanlarını, maliyetlerini, emniyetini ve kapasitelerini etkileyen temel unsur olduğunun farkında olarak, delme-patlatmanın bu şekilde değerlendirilmesi işletme ekonomilerine daha fazla yarar sağlayacaktır. Patlatma ile patlatma sonrası işlem maliyetlerini ve enerji sarfiyatı arasındaki ilişkiyi inceleyen birçok bilim adamı özetle aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır.

2.3.1. Kanchibotla'nın çalışması

Bu çalışma Queensland Avustralya'da JKMRC'de yapılmıştır. Bir açık altın madenindeki patlatma kırma ve öğütme işlemleri modellenmiştir. Özgül şarj değeri 0.58kg/m³ ile 0.96 kg/m³ arasında değişmiştir. Aşağıdaki grafik 3 farklı patlatma tasarımına karşılık sağ değirmenin elektrik tüketimi gösterilmiştir.



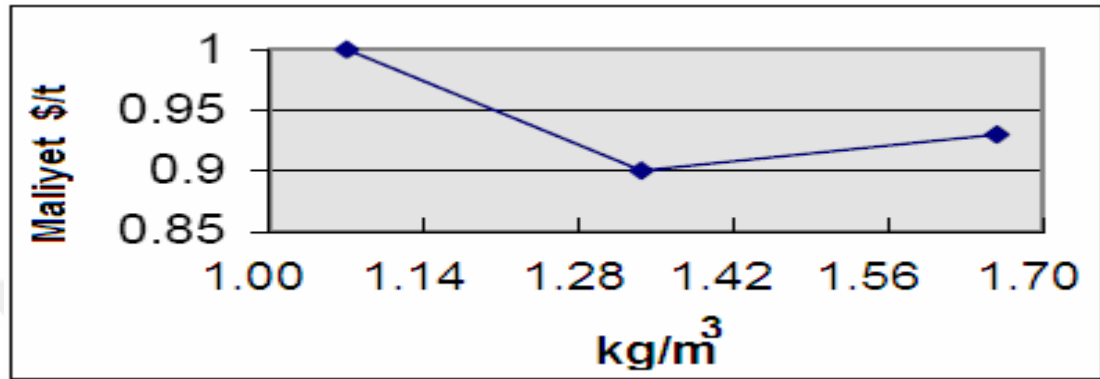
Şekil 2.3. Özgül şarj miktarına karşı elektrik tüketimi(Kanchibotla, 1998)

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 2.5.). Bununla beraber özgül şarjmiktarı 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.

2.3.2. Furstenau'nun çalışması

Bu çalışmada tam ölçekli patlatma çalışmaları ve laboratuvar kırma ve öğütme testlerikonsolide olmuş kireçtaşında uygulanmıştır. Patlatmanın etkisi delikler arası mesafe %56 oranında düşürülerek ve şarj boyu artırılarak %25 oranında artırılmıştır

(Şekil 2.4.).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 2.4. Özgül şarj miktarına göre toplam maliyetler

Referans bölgesinde özgül şarj miktarı 1 kg/m³, kolon şarj boyunun artırıldığı alanda 1.33 kg/m³, dilim kalınlığının ve delikler arası mesafenin azaltıldığı alanda ise 1.66kg/m³ olarak tespit edilmiştir. Optimum noktanın 1.33 kg/m³'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.

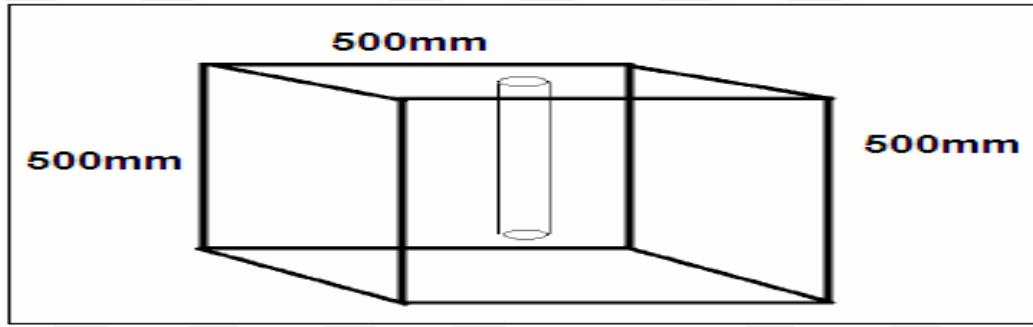
2.3.3. McCarter'in çalışması

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.

2.3.4. Nielsen'in çalışması

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.

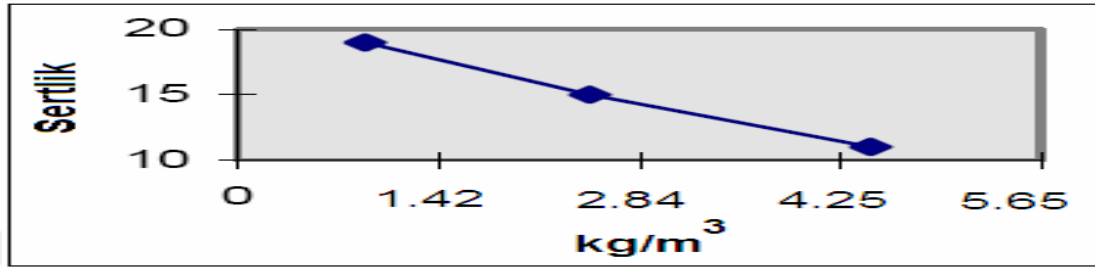


Şekil 2.5. Deney numunesi (Nielsen, 1995)

Numuneler 500 mm kenar uzunluğunda küp şeklinde kesilmiş, delinmiş ve patlatılmıştır(Şekil 2.5.). 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.

2.3.5. Mertz'in çalışması

GOK açık ocak deney çalışmasının Rusça'dan çevirisi tam anlamıyla anlamak için zor fakat ümit verici kavrayışlar sağlamaktadır. Patlatma enerjisi 0.8 kg/m³ ile maksimum 20 kg/m³ arasında değişmektedir. Bulgular 5.5 kg/m³'e kadar verilmiştir.



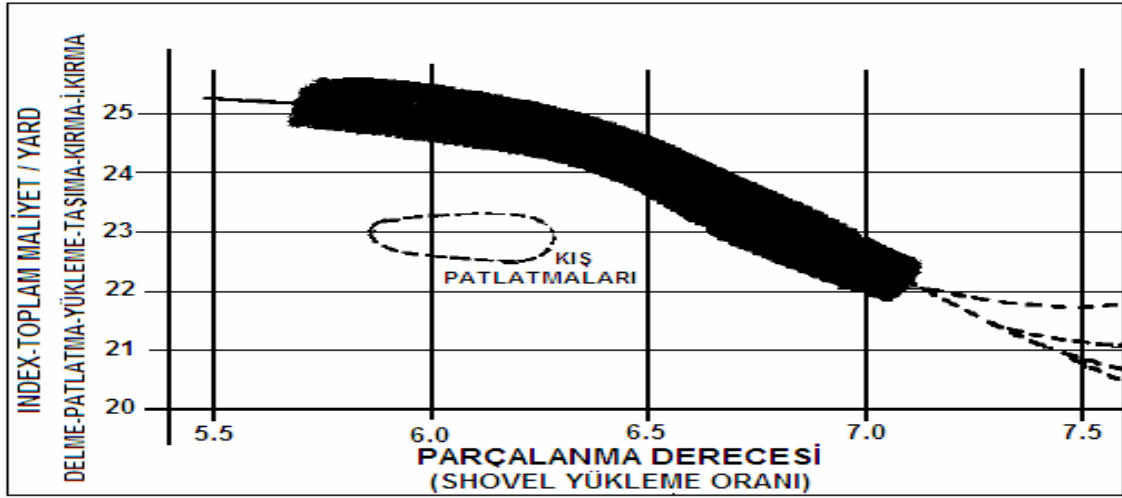
Şekil 2.6. Kaya sertliğine karşı özgül şarj (Mertz)

Kırmadaki enerji sarfıyatı 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.

2.3.6. MacKenzie'nin çalışması

Alan S. MacKenzie bu 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.

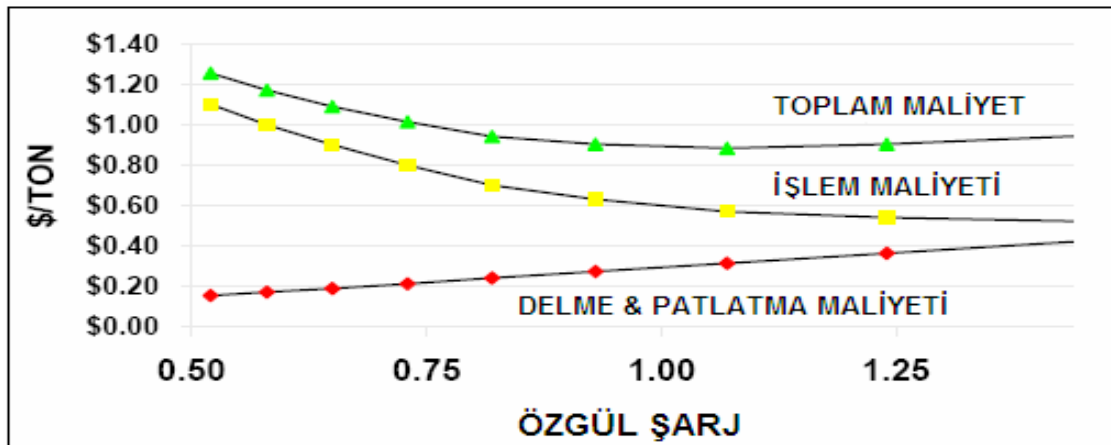
Bununla beraber öğütme maliyetleri bu çalışmada nazarı itibara alınmamıştır.



Şekil 2.7. Parçalanma derecesi ve ardışık işlem maliyetleri arasındaki ilişki (MacKenzie, 1966)

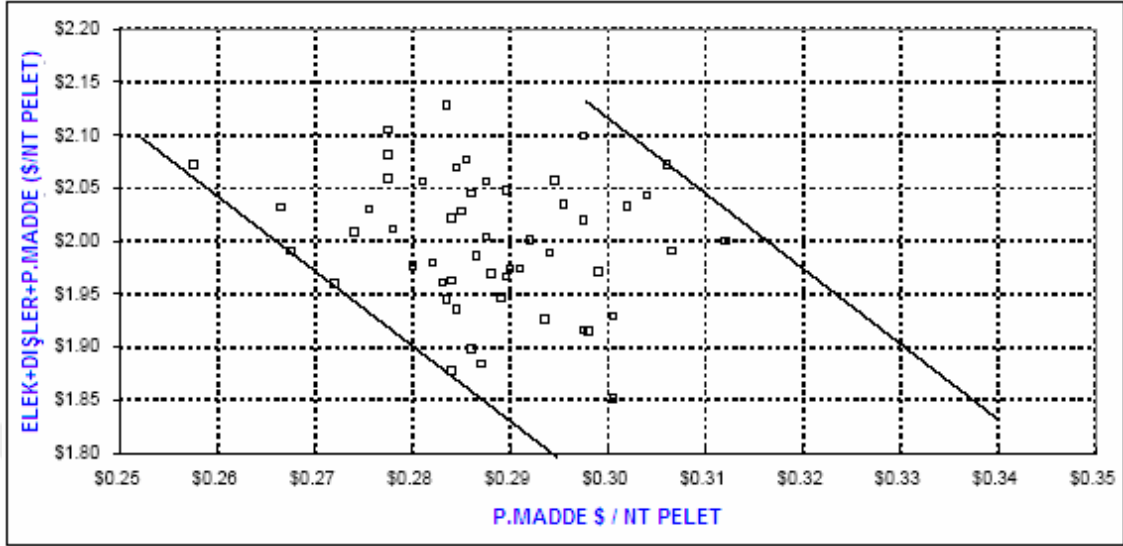
2.3.7. Eloranta'nın çalışması

Bu çalışmada Minnesota'da bulunan demir madeninde 5 yılı aşkın 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 2.8. Toplam maliyetler-ölgül şarj karşılaştırması

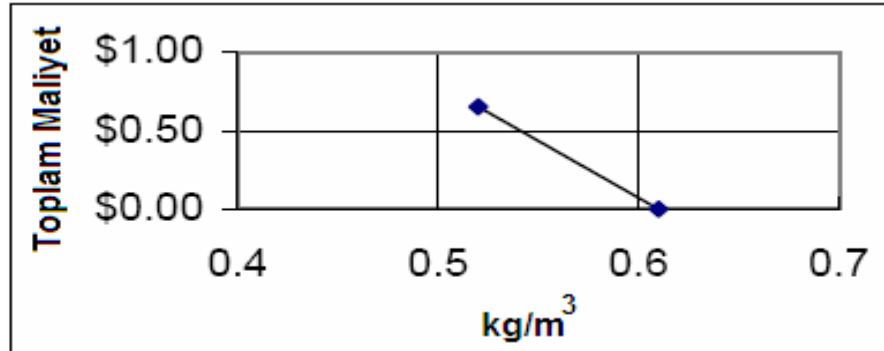
Toplam maliyetler delme ve patlatma maliyetine göre karşılaştırılmıştır ve daha yüksek özgül şarj miktarlarına göre tasarlanmıştır.



Şekil 2.9. 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.

2.3.8 Kojovic'in çalışması



Şekil 2.10. Toplam maliyetlere karşı özgül şarj miktarı (Kojovic,1995)

Brisbane, Queensland, Australia Mt. Coot-tha taş ocağında çok yoğun çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Patlatma dizaynlarındaki değişiklikler dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe ayrı olarak ayarlanarak yapılmıştır. Özgül şarj miktarı 0.52 kg/m³ ile 0.61kg/m³ arasında olmuştur. Kaydedilen bazı gelişmeler şunlardır: 0.40 \$/ton tasarrufla beraber yükleme ve taşıma verimliliğinde %25 artış ve kırma maliyetinde 0.30 /tonazalma. Toplam edilen tasarruf miktarı 0.70 \$ /ton, artan patlatma maliyeti 0.5 \$ /ton, net tasarruf miktarı 0.65 \$/ton'dur.

2.3.9. Revniltsev'in çalışması

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

- 2 kg/m³'lük optimum bir özgül şarj miktarına
- Patlatmanın tercihli olarak serbestleşmeyi sağlayacak şekilde mineral sınırlarında kırma işlemi yapması "Seçici ufalanma" (selective disintegration).

Aşağıdaki tablo bu bilim adamlarının 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. (Eloranta,J.,1994)

Tablo 2.1. 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

2.4. Parça Boyutunun Tanımı ve Önemi

Açık işletme veya taş ocağından elde edilecek kayacın parça büyüklüğü her şeyden evvel kayacın özelliklerine bağlıdır. Gerek patlatma esnasında ve gerekse yuvarlanma sırasında meydana gelen kuvvetlere karşı taşın kohezyonu (iç bağlantısı) karşı gelmektedir. Bu bağlantı ne kadar zayıf olursa ufalanma o kadar fazla olacaktır.

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 arasında bir bağlantı bulunmaktadır. İhtiyaçtan fazla patlayıcı madde kullanılması genellikle daha ufak parçaların elde edilmesine sebep olur.

Yığın içindeki tane büyüklükleri işletmenin başarısı bakımından ehemmiyet taşır. Elde olunan parçalar temizleme veya konsantrasyon işlemleri için daha sonra kırılacak veya öğütülecekse, parçaların küçük olması faydalıdır. İstenilen bir boyuttan daha iri oldukları için nakil elemanlarına veya kırıcılara verilemeyen parçaların ikincil atımlarla parçalanmaları gerekir ve bu işlem de ayrıca bir masrafa yol açar. Bu tür bir işletmede parçaların küçük olması aranır.

Patlatma işlemleri sonucu oluşan yığnın parça boyut dağılımının 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 (Kemeny, J., 1994).

2.4.1. Parçalanma derecesini etkileyen faktörler

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

2.4.1.1. 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. Kayacın yoğunluğu arttıkça kazı işlemi daha zor olacağı gibi elastik modülü arttıkça ise kırılabilme özelliği azalmaktadır. Bu nedenle örnekler laboratuvarlarda analiz edilerek kayacın özelliklerinin tamamının iyi bir şekilde belirlenmesiyle uygun seçim yoluna gidilmelidir.

2.4.1.2. Delikler arası mesafe

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

2.4.1.3. Duvar mesafesi veya dilim kalınlığı

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

2.4.1.4. Basamak şev durumu

Delğin şeve 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.

2.4.1.5. 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.

2.4.1.6. 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)

2.4.1.7. 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.

2.4.1.8. 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.

2.4.1.9. Patlayıcı madde miktarı

Patlayıcı madde miktarı arttıkça ufalanma fazlalaşmaktadır.

2.4.1.10. Patlayıcı madde türü

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.

2.4.1.11. Ateşleme sırası

Gecikmeli kapsül kullanılması parçaların daha kolay yüklenebilir hale gelmesini sağlar.

Düz elektrikli kapsül kullanılıyorsa önce ön delik sırası ateşlenmelidir (Kahriman, A., 2004; Kahriman, A., 1995; Kemeny, J., 1994)

III. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Patlatma Sonrası Parça Boyutunu Belirleme Yöntemleri

Parçalanmanın sayısal olarak tahmin edilmesi büyük ölçekli çalışmalarda oldukça zor bir işlemdir. Tüm yığının elek analizine tabi tutulması tam ve gerçekçi bir parça boyutu tahmini verirken üretim aşamasında, bu işlemin hiç de ekonomik ve pratik olmadığı yadsınamaz bir gerçektir. Eleme yöntemine benzer veya ona yakın sonuç verebilecek başka bir kantitatif analiz metodu günümüzdehala bulunamamıştır. Yığının parça boyut dağılımını, herhangi bir nümerik tahminle belirlemek patlatma değerlendirilmesi ve optimizasyonu bakımından bir üst basamak olarak kabul edilmektedir. Genellikle uygulanan parça boyut analizi yaklaşımları aşağıdatartılmıştır.

3.1.1. Görsel – Gözlemsel yöntemler

Uygulanmasının basitliği sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde; oluşan yığın, atım yapıldıktan sonra uzman tarafından gözlemlenir ve sübjektif bir tahminde bulunulur. Yığının sadece yüzeyi değerlendirildiğinden, genellikle yanıltıcı olabilir (Kahrıman, A., 1995).

3.1.2. Fotoğraflama tekniği

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

daha azını fotoğraflayarak ızgarayla incelediler. Sonuçta ortalama parça boyutundan %9,6'lık bir sapmaya ulaştılar.

Bu yöntemden daha iyi sonuçlar almak için üç boyutlu tahmin yapabilmek gereklidir. Bunun için de fotoğraflanan görüntünün içerisine boyutları bilinen nesnelere konulmalıdır. Patlatma sonrası yığının tamamının fotoğraflarının kullanılması konusu Bonevillia (1980) tarafından kabul edildi. Bahsedilen bütün bu fotoğraf temelli yöntemler hem uzun zaman aldıkları hem de parçalanmanın doğasını sayısal açıdan tam olarak ifade edemedikleri için başarısız oldular. Parça boyut dağılımının zamanla değiştiği yüksek hızlı dijital kamera kullanımıyla ortaya konulmuştur. Gaz çıkışı, çatlak oluşumu, toz oluşumu ve yığın hareketi gibi unsurlar yöntemin uygulanmasına olumsuz etki etmektedir(Kahriman, A., 1995).

3.1.3. Geleneksel ve yüksek hızlı fotogrametri

Geleneksel ve yüksek hızlı fotogrametri tekniği, fotoğraf tekniğine oranla daha güvenilir ve doğru sonuçlar vermektedir. Üç boyutluluk sağladığından belirlenen münferit parçaların hacim hesaplanması olanağı verir (Kahriman, A., 1995).

3.1.4. Patar sayısı

Yığının içinde ekskavatör kepçesine sığmayacak kadar büyük olan malzemeye patar adı verilmektedir. Ekskavatörün yükleyemeyerek kenara ayırdığı patarlar sayılır. Bu iri blokların boyutları ölçülür. Bu verilerle kayanın toptan miktarına göre bir patar indeksi oluşturulabilir. Bu yöntem, parça boyutlarının üst sınırlarını değerlendirmede güvenilir

olmasına karşın küçük ve ortalama parça boyutu tahmininde yanıltıcı olabilir (Kahrıman, A., 1995).

3.1.5. İkincil atımlarda patlayıcı tüketimi

Ekskavatör veya yükleyicilerle yüklenemeyen iri parçaları parçalamak için ya delik delinmek suretiyle ikincil bir atım yapılması ya da çamur kaplamalı yüzeyden atım kaçınılmazdır. Hidrolik çekiçler de bu amaçla kullanılabilir. Her halükarda enerji veya patlayıcı tüketimi söz konusudur. İkincil atımlarda kullanılan patlayıcı miktarının toplam kaya kütesine oranını gösteren indeks geliştirilerek, işletmedeki nihai tasarıma ulaşmak için, atım grupları arasında yapılacak optimizasyon çalışmalarında karşılaştırma yapmak amacıyla kullanılabilir(Kahrıman, A., 1995).

3.1.6. Ekskavatörün yükleme performansı

İyi parçalanmış bir yığının yükleme performansının parça boyut dağılım tahmin yöntemlerinde daha iyi olacağı kabul edilmektedir. Yükleme performansını olumsuz yönde etkileyebilecek yığın, zaman esaslı kronometraj kayıtlarıyla kolaylıkla tespit edilebilir. Bu yöntemde bir yandan kepçe yükleme periyotları kayıt altına alınırken, mekanik arızalar, prosesteki kamyon yokluğu ve yükleyici çevresinin düzensizliği gibi zaman kaybına neden olabilecek durumlar düzeltilmelidir. Bu yöntem, bir kaya birimi için en uygun patlatma koşullarını oluşturmak amacıyla muhtelif atım gruplarını karşılaştırmada, oldukça hassas çalışmalar yapmak suretiyle rahatlıkla uygulanabilir (Kahrıman, A., 1995).

3.1.7. Primer kırıcı performansı

Primer kırıcıların ocakta kullanıldığı durumlarda kırıcıların belirli güç tüketimleri 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 ince veya gereğinden iri parçalarla beslenen kırıcıların performans değerleri düşecektir. Bu nedenle bu teknik de rahatlıkla kullanılabilir. (Kahriman, A., 1995).

3.1.8. Elek analizleri

En doğru ve güvenilir sayısal boyut dağılımı analizi tekniğidir. Bütün yığının elenmesini gerektirir. Bu da yöntemin çok pahalı olmasına neden olur. Büyük atımlarda uygulanması ekonomik ve teknik açıdan mantıklı değildir. Küçük çaplı çalışmalarda kullanılabilir. 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 (Kahriman, A., 1995).

3.1.9. 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 (Özkahraman, H.T., 1994).

3.1.10. Parça-Numune metodu

Çok sayıda parçalar yığından rastgele alınır. Daha sonra parça boyut dağılımları elek analizleri ile tespit edilen numunelerin sonuçlarının istatistiksel yöntemler kullanılarak tüm yığın parça boyut dağılımı tahmin edilir. Bu metod 1940'ların sonlarında İsveç'te kullanılmaktaydı. (Özkahraman, H.T.1994).

3.1.11. Görüntü işleme metodu

Bu metotta, yığın içindeki parça boyut dağılımı yığın üzerinden ve/veya yığının belli kesitlerinin fotoğraflanması 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(BoBo, T., 2001).

3.2. Dijital Görüntü İşleme Yöntemi ile Parça Boyut Analizi

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 Opennings” denen tekniğe dayanmaktadır. Diğer yöntemler gibi bu yönteminde 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 (Girdner, K, Kemeny, J., Srikant, A., and McGill R., 1996).

- Fotoğrafın taranması
- Analog kaynağın kullanılması: Video sinyali (Ccd, Cam) çeviren bir dijitaltablo
- 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.

3.2.1. 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 sistemlerini 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 (Girdner, K, Kemeny, J., Srikant, A., and McGill R., 1996).

3.2.2. Kaydedilen ilerlemeler

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 makineler (şu anda yaygın olan 100 Mips)
- Ortak ortam (X-windows)
- Ucuz, öğretim için uygun

2000’ler: PC’ler çağa ulaşır. Modern Pentium makineler 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 hepsi PC bazlı. PC sistemlerine dijital görüntüleme şu an bir çok bilimsel uygulamada “rutin” bir işlemdir (Girdner, K, Kemeny, J., Srikant, A., and McGill R., 1996).

3.2.3. Dijital görüntü işleme yönteminin adımları

3.2.3.1. Görüntüyü yeniden yapılandırma

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

3.2.3.2. Görüntü analizi

- Görüntülerin bilgisayar ile analizi
- Belirleyici özellikleri veya bölgeleri çıkarma

- Objeleri tanıma
- Yüksek seviye patern tanıma

3.2.3.3. Görüntü oluşumu (Bilgisayar tarafından oluşturulan görüntü)

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

3.2.3.4. Görüntü sıkıştırma ve şifreleme

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

3.2.4. 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 yolbulma, güvenli veri bağlantıları (Girdner, K, Kemeny, J., Srikant, A., and McGill R., 1996).

3.2.5. Dijital görüntüler

Görüntü bir nesneden 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 bir karede örneklenir. Aşağıdaki şekilde 128 X 128 8 bit bir görüntü gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Dijital görüntü örneği

3.2.5.1. Görüntü parametreleri

- Kirlilik: Film tanelerinin etkisi, elektriksel kirlilik, ışığın kuvantum doğası, veri iletim hataları, linear 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 karelağındaki noktaların dağılımı ki bu da görüntü boyutunu verir. Görüntüleme sisteminin band genişliğine bağılıdır.

3.2.5.2. Görüntü uzaysal çözünürlüğü

Uzaysal çözünürlük görüntü boyutunu ve işlenmesi gereken veri sayısını verir.

Düşük Çözünürlük: Tipik olarak 256'ya 256 piksel

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

Orta çözünürlük: Tipik olarak 512'ye 512.

- Video kalitesi görüntü.
- WWW görüntüleri (en çok 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)

3.2.6. Yöntemin sınırları

Bu yöntemde yalnız bir fotoğrafla ulaşılabilecek sonuçların hatasız olması ve malzemenin elenmesinde elde edilen sonuçlarla birebir aynı olması beklenemez. Fotoğraflarla çalışıldığından parçaların görüntülerinin temini, parçaların istenilen ölçülerde uygun ölçüm sınıfına göre tespiti tam olarak yapılamaz. Boyutları bilinen bir cisim yardımıyla parça boyutuna ulaşılır. Sadece fotoğrafta görülen parçalar işlenebilir. Bunların altındaki parçalar görünmediğinden program tarafından işleme alınamaz. Bu görünüş örneklemeğe bağlıdır. Yüzeyde kalan parçalar patlatma sonrasında 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 programın en kısıtlayıcı faktörüdür. “Fines” adı verilen toz halindeki parçalar resim üzerinde ayırt edilemez.

3.2.7. Sistemin tatbiki için 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 imkânı 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 hassasiyetyönünden 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.

3.2.8. Ölçümlemenin geçerliliği

Ölçümlemede belirlenen hedefi tutturmak çok önemlidir. Buradaki asıl amaç bütün parça boyutlarının karşılaştırılmasıdır. 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(Split-Engineering LLC, 2001).

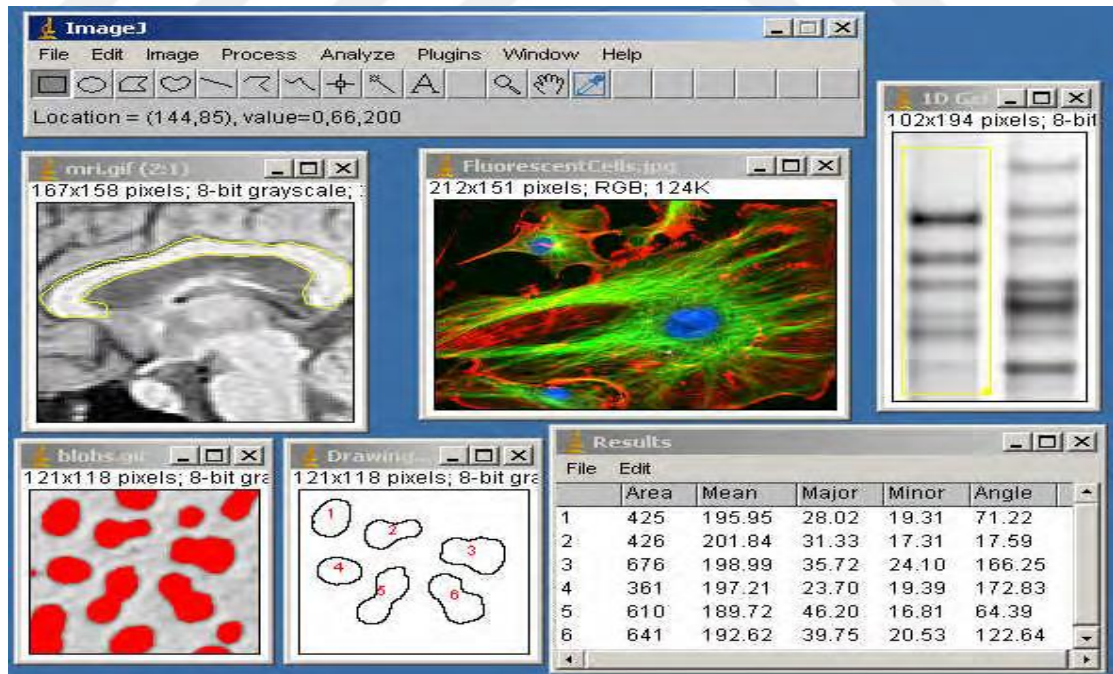
3.2.9. Dijital görüntü işleme programlarından “IMAGEJ yazılımı”

ImageJ yazılımını, Macintosh için NIH Image tarafından geliştirilmiş herkesin erişebileceği görüntü işleme yazılımı olup Java tabanlıdır. Yazılımın uygulama olarak çalıştırılabilmesi için bilgisayarda Java 1.1 veya üzeri Java Sanal Makinesi bulunmalıdır. Uygulama dağıtımları Linux, Mac OS, Mac OS X ve Windows işletim sistemleri için mevcuttur. Yazılım 8, 16 ve 32 bitlik imajları analiz, işleme, görüntüleme, kayıt etme, düzenleme ve yazdırma işlemlerini yapabilir. JPEG, GIF, DICOM, TIFF, FITS, BMP ve ham durumdaki fotoğraf formatlarını okuyabilir. Bir pencerede birden fazla görüntüyü içeren yığın imajları destekler. Yazılım eş zamanlı çalışmaya uygundur. Böylece imaj okuma gibi çok zaman gerektiren işlemler aynı anda yapılabilir. Yazılım kullanıcılar tarafından belirlenen, piksel ve alan değerleri istatistiklerini hesaplayabilir; açıları ve uzaklıkları ölçebilir. Çizgi profil planları ve yoğunluk histogramları yaratabilir. Döndürme ve ölçeklendirme gibi geometrik dönüşümleri yapabilir. Standart olarak kullanılan keskinlik, yumuşatma, kenar belirleme, medyan filtreleme ve kontrast fonksiyonlarını destekler. Metrik sisteme göre ölçümleme yapabilmek için uzamsal kalibrasyon vardır. Ayrıca yoğunluk ve gri derece kalibrasyonu da mevcuttur. İmajlar 32:1'e 1:32'e kadar yakınlaştırılabilir. IMAGEJ

Java eklentileriyle geliştirilebilir bir uygulamadır. Bu sayede kullanıcı tarafından Java derleyicisi ve editör yardımıyla kişisel işleme ve analiz eklentileri geliştirilebilir. Kullanıcılar geliştirdikleri bu eklentilerle görüntü analiz ve işleme problemleri çözebilirler. IMAGEJ bir Mac OS X sistemi editörü ve Java derleyicisi ile BBEEdit editörü ve Ant yapı aracı ile geliştirilmiştir. Kaynak kodu serbest bir şekilde elde edilebilir. Programı Wayne Rasband (wayne@codon.nih.gov), Research Services Branch, National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA yazmıştır.

3.3. IMAGEJ Yazılımı İle İlgili Bilinmesi Gerekenler

IMAGEJ uygulaması <http://rsb.info.nih.gov/ij/> sitesinden edinilen bilgilerle aşağıda detaylı olarak anlatılacaktır. Bu kısımda yazılımın çalışma prensipleri ve menüleri ile ilgili ayrıntılı bilgi verilecektir (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. IMAGEJ yazılımı genel görünümü ve pencereler

3.3.1. Pencereleler (Windows)

IMAGEJ penceresinde menü çubuğu (menu bar), durum çubuğu (status bar), araç çubuğu (tool bar) ve ilerleme çubuğu (progress bar) bilgileri bulunur. Histogramlar, çizgi profilleri, imajlar vb. bilgiler diğer pencerelerde sunulur. Yapılan ölçümlerin sonuçları sonuçlar (results) penceresinde gösterilir. Pencerelelerin boyutları değiştirilebilir ve ekran etrafında sürüklenebilir. Çizgiler ve histogramlar kopyalanabilen, yazdırılabilen ve kaydedilebilen imajlardır.

3.3.1.1. Araç çubuğu (Tool bar)

Seçim yapmak, kaydırma, renk değiştirme ve zumlama araçlarını içerir. Aracın açıklamasını görmek için üzerine tıklayarak durum çubuğundan izlemek yeterli olacaktır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. IMAGEJ yazılımı araç çubuğu

3.3.1.2. Görüntüler (Images)

IMAGEJ programı kullanılarak birden fazla imajı ekranda tek seferde görebiliriz. Aktif kullanılan pencerenin başlık çubuğu belirginleştirilmiştir. Yapılan işlemlerin tümü aktif pencere üzerinde gerçekleştirilir. IMAGEJ 8, 16 ve 32 bitlik gri imajlar ile 8,16 ve 32 bitlik renkli imajları desteklemektedir. Gri değerlerden pencerenin üstünde olanlar beyaz, altında olanlar ise siyah olarak gösterilir. Maksimum ve minimum değerleri tanımlamak için Image/Adjust/Brightness/Contrast menüsünden yararlanılabilir.

3.3.1.3. Seçimler (Selections)

Kullanıcı tamınlı alanlardır. Aynı zamanda birden fazla seçim aktif hale getirilemez. Alan seçimi yapmak için serbest çizim aracı, oval, dikdörtgen ve poligonal çizim araçları kullanılabilir. Alan seçimlerinin değerleri (Analyze/Measure) menüsü kullanılarak ölçülebilir, içleri (Edit/Fill) menüsü kullanılarak doldurulabilir, filtrelenebilir veya (Edit/Draw) menüsü yardımıyla çizilebilir. Çizgi seçimi yapmak için parçalı, düz ve serbest çizgi araçları kullanılabilir. Edit/Draw menüsü kullanılarak seçilen renkte çizgi çizilebilir. Çizgi uzunluğu ölçülmek isteniyorsa Analyze/Measure menüsü kullanılabilir. Seçimler sürükleme ve tıklama ile taşınabilir. Seçim taşındıktan sonra durum çubuğundan seçimin sol üst koordinatını görülür. İmleç seçim yapılırken ok şeklindedir. Seçim istenilen yönde hareket ettirmek için ok tuşlarından faydalanılabilir. Seçimin boyutlarında yapılan değişiklikler durum çubuğunda gösterilir. Bir seçimi silmek için, Edit/Select None menüsü kullanılır veya herhangi bir seçim aracı seçilip seçimin dışına tıklanır. Edit/Restore Selection menüsü kullanılarak silinmiş olan seçim geri getirilebilir. Bir seçim bir pencereden diğerine (Edit/ Restore Selection) menüsü kullanılarak veya bir pencerenin aktif hale getirilmesi suretiyle aktarılabilir. Birbiri ardındaki pencerelere Tab tuşu ile geçiş yapılabilir. File/Save As/ROI menüsü seçimleri kaydetmek için kullanılır. Seçimi geri getirmek için ise File/Open menüsü kullanılır. Çoklu seçimleri kaydetmek için çoklu seçimlerin tamamı boş pencereye aktarılır veya Edit/Draw menüsü ile tek tek çizilerek sonuç imajı oluşturulur ve bu sonuç imajı kaydedilir. Herhangi bir imajın açılması, seçimin geri getirilmesi, çizilmiş bir ana hattın wand aracıyla tıklanması ile yapılabilir.

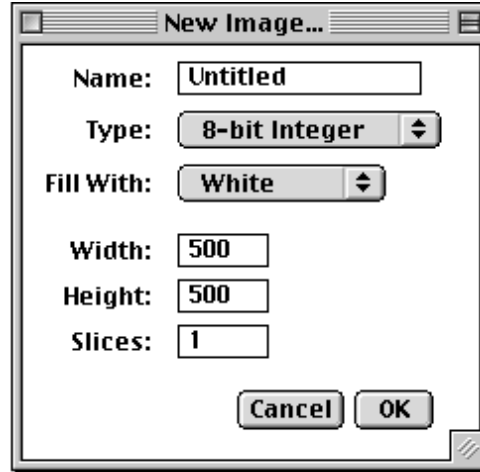
3.3.1.4. Dosya biçimleri (File formats)

File/Open menüsü ile sıkıştırılmamış GIF, TIFF, DICOM, JPEG, FITS ve BMP imajları açılabilir. ASCII biçimindeki imajları, ağ üzerindeki imajları ve ham dosyaları File/Import alt menüsü sayesinde okuyacak eklentilere erişim sağlanmaktadır. Ham bir dosya eklemek için imaj büyüklüğü, yerleşimi, imaj verisine olan uzaklığı gibi bilgilerin çok net bilinmesi gerekmektedir. Ek biçimleri desteklemek için eklenti yazılabilir veya indirme yapılabilir. Dosyalar JPEG, GIF, TIFF, tab sınırlı metin ve ham biçimlerde kaydedilebilir.

3.3.2. Dosya menüsü (File menu)

3.3.2.1. Yeni (New)

Bu menü; yeni bir yığın veya imaj dosyası oluşturur. Bir iletişim kutusu kullanıcının imaj başlığını, boyutlarını, içeriğini ve tipini belirlemesini sağlar. Pencereyi adlandırmak için İsim (name) kullanılır. İmaj tipi Tip (type): 8 bit gri, 16 bit gri, 32 bit gri veya RGB renkli seçilebilir. İmajın ilk kullanıma nasıl hazırlanacağını belirtmek için Doldurma (Fill With) kullanılır. İmajın piksel olarak ölçülerinin belirlenmesini Genişlik (Width) ve Yükseklik (Height) sağlar. Kesit (Slices) seçeneği belirli bir değere getirilerek yığın yaratılabilir (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. ImageJ yazılımı yeni menüsü

3.3.2.2. Aç (Open)

Yeni bir pencerede imaj açmak için kullanılır. Dosyalar DICOM, TIFF, BMP, GIF, PGM, FITS veya JPEG dosya biçiminde olmalıdır. Ek dosya biçimleri eklentileriyle beraber desteklenmektedir.

3.3.2.3. Kapat (Close)

İşlem yapılan pencereyi kapatmak için kullanılır.

3.3.2.4. Kaydet (Save)

İşlem yapılan yığını veya imajı TIFF biçiminde kaydeder. Image/Duplicate menüsü ile dikdörtgen seçim yapılarak sadece seçilen alanı kaydetmek mümkündür.

3.3.2.5. Farklı kaydet (Save as)

İşlem yapılan imajı GIF, JPEG, TIFF veya ham biçimde kaydeder. Ayrıca arama tabloları, XY koordinat seçimleri, ölçüm sonuçları ve seçimler de kaydedilebilir.

3.3.2.6. Çıkış (Quit)

Programı kapatmak için kullanılır. Herhangi bir imaj kaydedilmediyse kayıt için soru sorulur.

3.3.3. Düzen menüsü (Edit menu)

3.3.3.1. Geri al (Undo)

En son olarak yapılan imaj filtreleme veya düzenleme işlemini geri almak için kullanılır. Sadece en son yapılan operasyon geri alınabilir. Eğer yığınlar üzerinde çalışılıyorsa bu işlemler geri alınamaz.

3.3.3.2. Temizle (Clear)

Seçili alanın içeriğini mevcut arkaplan rengi kullanarak (normalde beyaz) siler. Kısayol olarak Del tuşu veya Backspace kullanılabilir. Arkaplan rengini değiştirmek için Image/Colors menüsünden faydalanılır.

3.3.3.3. Dışı temizle (Clear outside)

Seçili alanın dışını silmek için kullanılır.

3.3.3.4. Doldur (Fill)

Seçimi yapılan alanı doldurulur.

3.3.4. Görüntü menüsü (Image menu)

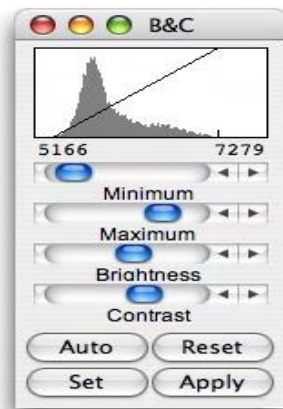
3.3.4.1. Tip (Type)

İşlem yapılmakta olan imajın tipi bu menüyle belirlenir veya başka bir biçime çevirilir.

8 Bit :Farklı biçimlerde olan imajları 8 bit gri biçime çevirir.

3.3.4.2. Ayar (Adjust)

Parlaklık/kontrast, eşik seviyeleri ve imaj ölçülerinin ayarlarının yapılabileceği menüdür. İmajın etkileşimli olarak parlaklık/kontrastını değiştirmek için Parlaklık/Kontrast (Brightness/Contrast) menüsü kullanılır. B&C penceresine Shift+C kısa yolu kullanılarak ulaşılabilir (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. ImageJ yazılımı parlaklık ve kontrast

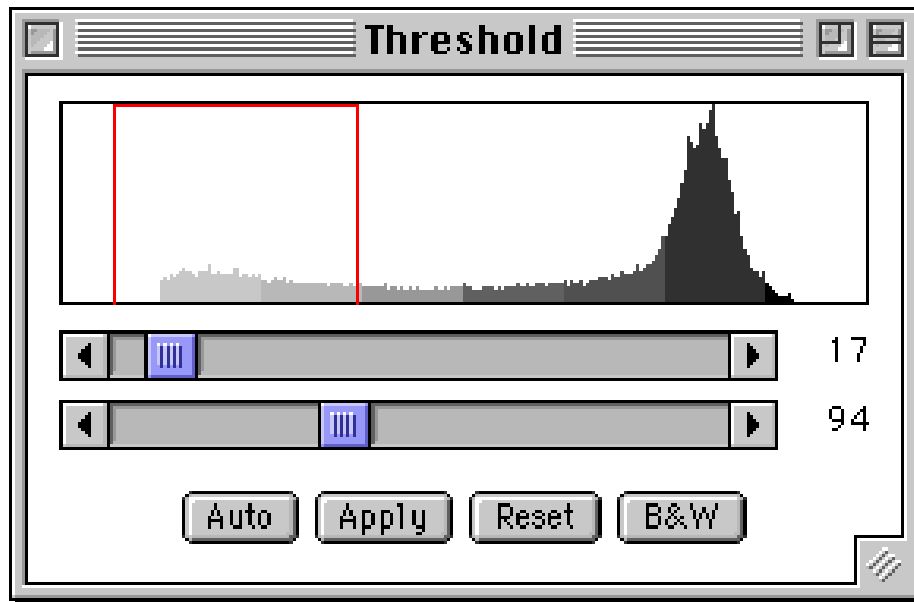
Şekil 3.5.teki imaj histogramı üzerindeki çizgi grafiği, piksellerin nasıl 8 bit adreslendiğini gösterir. Grafiğin altında yer alan ilk sayı minimum ve ikinci sayı maksimum gösterilen piksel değerlerini verir. Bu iki değer görüntüleme aralığını tanımlar. ImageJ imajları 0 – 255 değerleri arasında doğrusal bir adresleme ile gösterir. Maksimum değerden büyük değerler beyaz olarak görüntülenirken değerleri daha düşük olan pikseller ise siyah olarak görüntülenir. Pencerede dört tane kaydırma çubuğu vardır. Minimum ve maksimum kontrolleri gösterim aralığının sınırlarını belirlemede kullanılır. Parlaklık, imaj parlaklığını gösterim aralığını değiştirerek azaltıp artırır. İmaj kontrastı ise kontrast kontrolüyle gösterim aralığı değiştirilerek kontrol edilir. En yüksek kontrast sağlamak için gösterim aralığı kısıtlanmalıdır.

Otomatik (Auto) :Bu seçenek ile parlaklık ve kontrast imaj histogtamı baz alınarak otomatik olarak optimize edilir.

Başına Dön (Reset) : İmaj orjinal parlaklık ve kontrast ayarlarına geri döndürülür.

Ayarlama (Set) :Ayarlama seçeneği ile maksimum ve minimum değer aralığı seçilebilir. Uygula (Apply) seçeneği ile ImageJ yazılımı görüntü ayarları mevcut görüntü aralığı adresleme fonksiyonu piksel verisi için uygulanır.

Eşik (Threshold) :Bu alt menü etkileşimli olarak alt ve üst eşik değerlerini ayarlamak, imajı ilgi ve arkaplan özelliklerine göre bölümlenme için kullanılır. Alt eşik değerinden büyük veya eşit değere sahip olan veya üst eşik değerinden küçük veya eşit olan parlak pikseller kırmızı renk ile gösterilir (Şekil 3.6).

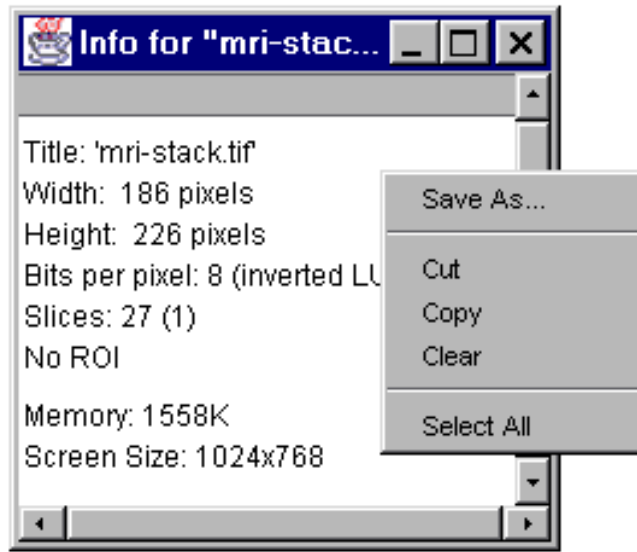


Şekil 3.6. ImageJ yazılımı eşik değeri belirleme

Minimum eşik değeri üstteki kaydırma çubuğu ile ayarlanırken, maksimum eşik değeri alttaki kaydırma çubuğu ile ayarlanır.

3.3.4.3. Bilgi göster (Show info)

İşlem yapılan penceredeki imajla ilgili bilgileri gösteren bir pencere açmak için kullanılır. (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. ImageJ yazılımı bilgi göster

3.3.5. İşlem menüsü (Process menu)

3.3.5.1. Yumuşatma (Smooth)

Seçimi ya da işlem yapılan tüm imajı bulanıklaştırmak için kullanılır.

3.3.5.2. Keskinleştir (Sharpen)

Seçimdeki veya imajdaki kontrastı artırarak detayı vurgulamak için kullanılır.

3.3.5.3. Kenarları bul (Find edges)

İmajdaki keskin değişimleri işaretler.

3.3.5.4. Siyah ve Beyaz (Binary)

Siyah/Beyaz imajları veya Siyah/Beyaz'a dönüştürülen imajlar üzerinde işlem yapmak için komutlar içerir. Komutlar; arkaplanın beyaz nesnelere ise siyah olduğunu kabul eder (Şekil 3.8.).

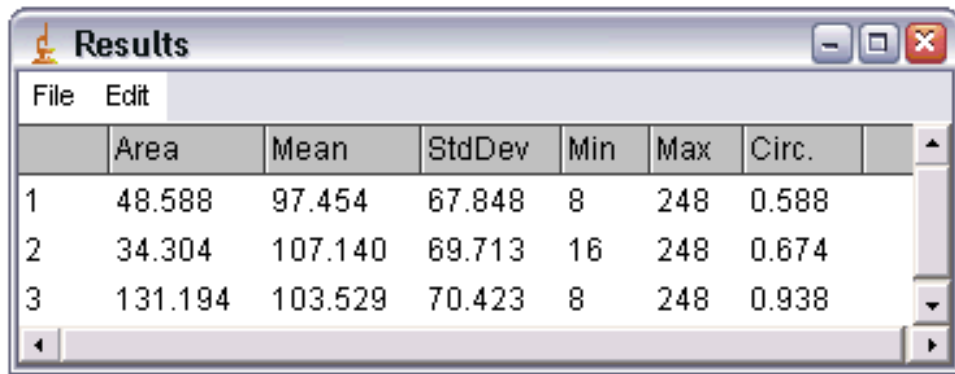


Şekil 3.8. ImageJ yazılımı siyah ve beyaz

3.3.6. Analiz menüsü (Analyze menu)

3.3.6.1. Ölçme (Measure)

Seçim tipine göre çizgi uzunlukları, açıları ve alan istatistikleri veya nokta koordinatları hesaplanır. Çizgi açısı ve uzunluğu hesaplamak için öncelikle bir çizgi seçim aracıyla seçim yapılmalıdır. Analyze/Set Measurements menüsü kullanılarak hangi alan istatistiklerinin kaydedildiği belirlenebilir (Şekil 3.9.).



	Area	Mean	StdDev	Min	Max	Circ.
1	48.588	97.454	67.848	8	248	0.588
2	34.304	107.140	69.713	16	248	0.674
3	131.194	103.529	70.423	8	248	0.938

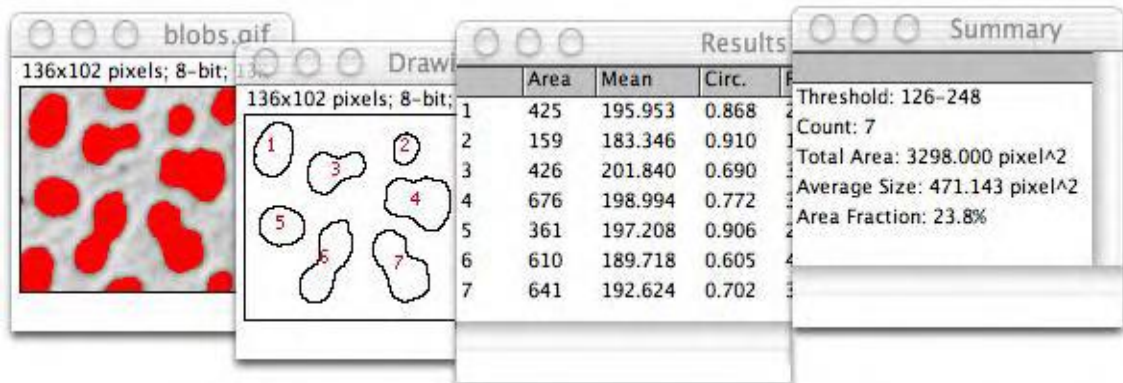
Şekil 3.9. ImageJ yazılımı ölçme

Çizgi seçimleri kullanılarak aşağıdaki parametreler kaydedilebilir:

- Uzunluk, ortalama, açı (düz çizgi için), minimum, maksimum, standart sapma, mod, sınır dikdörtgen.

3.3.6.2. Parça Analizi (Analyze Particles)

Parça analizi komutuyla siyah beyaz veya eşik değeri belirlenmiş imajlardaki nesnelerin sayma ve ölçme işlemleri yapılır. İmaj nesnelerin kenarı tespit edilene kadar taranır. Wand aracıyla nesnenin çevresi oluşturulur ve Ölçme (Measure) menüsüyle ölçülür (Şekil 3.10).



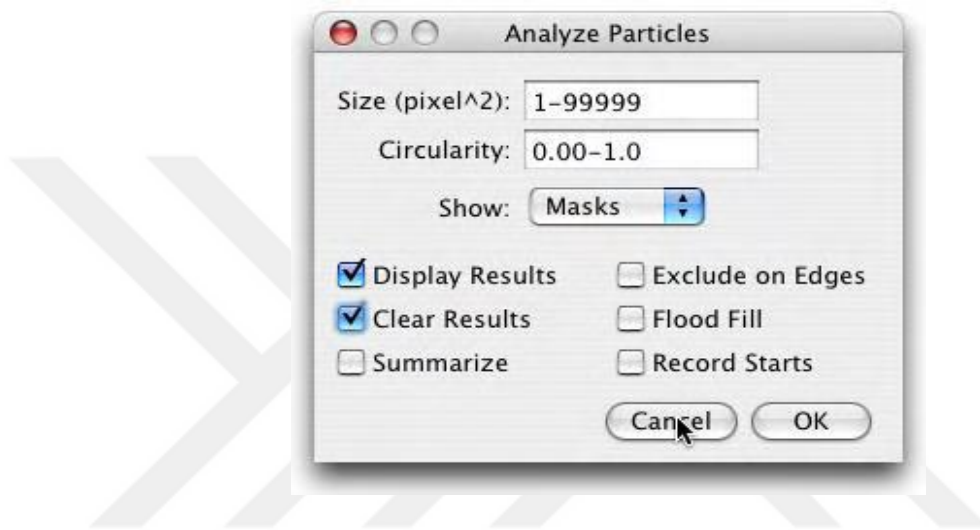
	Area	Mean	Circ.
1	425	195.953	0.868
2	159	183.346	0.910
3	426	201.840	0.690
4	676	198.994	0.772
5	361	197.208	0.906
6	610	189.718	0.605
7	641	192.624	0.702

Summary:

- Threshold: 126-248
- Count: 7
- Total Area: 3298.000 pixel²
- Average Size: 471.143 pixel²
- Area Fraction: 23.8%

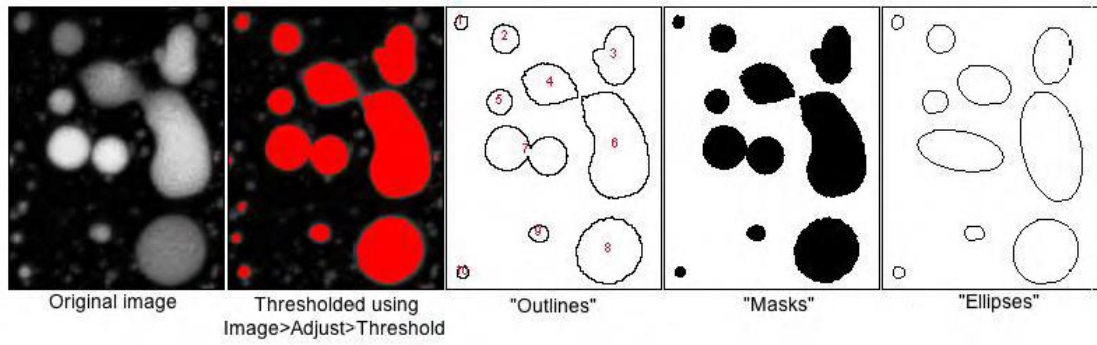
Şekil 3.10. ImageJ yazılımı parça analizi

Parça analizi yapmak için parça analizi penceresi kullanılır (Şekil 3.11). Bu pencerede istenen aralıklar Boyut (Size) bölümüne girilerek aralıklar dışında kalan parçacıklar analize dâhil edilmez. Sadece bir değer girilirse girilen değerden küçük parçacıklar göz ardı edilir. Aynı pencerede nesnelerin daireselliği belirlenebilir. Bunun için Dairesellik (Circularity) bölümüne istenen aralıklar girilir.



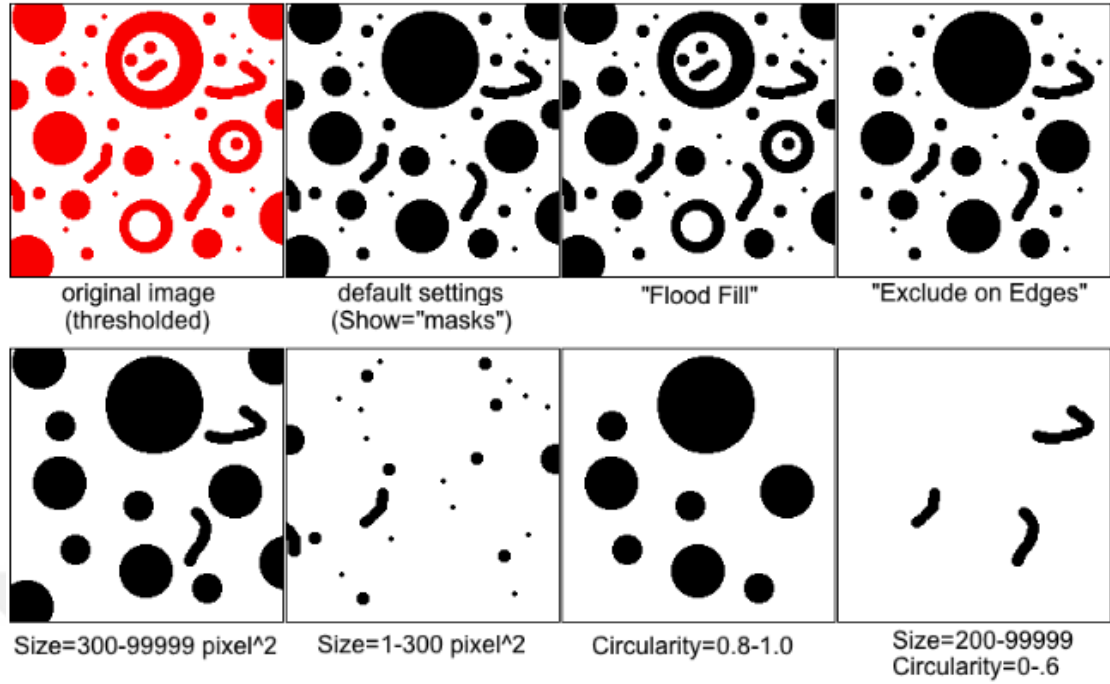
Şekil 3.11. ImageJ yazılımı parça analizi

Ölçülmüş parçacıkların numaralandırılmış konturlarının gösterilmesi isteniyorsa Göster (Show) menüsünden Kontur (Outlines) seçilmelidir. Ölçülmüş parçacıklar doldurulmuş konturlar halinde görülmek isteniyorsa Maske (Masks) seçilir. Ölçülmüş parçacıklara en uygun elips görülmek isteniyorsa Elips (Ellipses) seçilir (Şekil 3.12.).



Şekil 3.12. ImageJ yazılımı parça analizi

Herbir parçacığın ölçümlerini görmek için Sonuçları Göster (Display Results) işaretlenir. Sonuçlar (Results) penceresinde görüntülenebilir. Ard arda yapılan ölçümlerde önceki sonuçları temizlemek için Sonuçları Temizle (Clear Results) seçilir. Özetle (Summarize) işaretlenerek başka bir pencerede ortalama parçacık sayısı, parçacık sayısı,alan dağılımı ve toplam parça alanı bilgilerine ulaşılır. Kenare dokunan parçacıklar ihmal edilmek isteniyorsa Kenarları Dışarıda Bırak (Exclude on Edges) seçilir. Sel Doldurma (Flood Fill) işaretlendiğinde herbir parçacığın içi doldurulur. Bu yöntem dâhili boşlukları dışarıda bırakarak diğer parçacıkların üzerine binen kısımları ayırarak ölçmek için kullanılır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. ImageJ yazılımı parça analizi

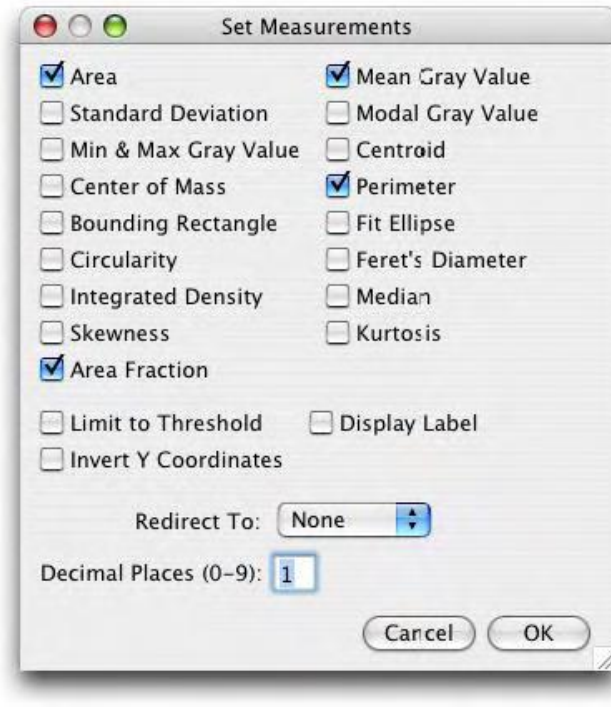
3.3.6.3. Özetle (Summarize)

Sonuç penceresindeki sütunlar; standart sapma, ortalama, maksimum ve minimum değerlerini hesaplar ve gösterir.

Sonuçları Temizle (Clear Results) : Sonuçları her seferinde temizler ve ölçüm sayacını başa alır.

3.3.6.4. Ölçümleri Ayarla (Set Measurements)

Analyze/Measure menüsüyle tek seçimin, Analyze/Analyze Particles menüsüyle de resimdeki parçaların tamamının ölçümleri yapılır(Şekil 3.14.).



Şekil 3.14. ImageJ yazılımı ölçümleri ayarla

Alan (Area) : Seçimin piksel² cinsinden alan değerini verir. Metrik değerler isteniyorsa Analyze/Set Scale menüsü kullanılarak metrik kalibrasyon yapılmış olmalıdır (cm² vb.).

Çevre (Perimeter) : Seçilmiş bölgenin dış sınırlarının uzunluğunu verir.

3.4. Parçalanmanın Kontrolü ve Optimizasyonu

Son günlerde parçalanma derecesinin tahmini ve analizi giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bunun en büyük sebebi birincil parçalanmanın ikinciden ve kırmadan daha ekonomik olmasıdır. Bu bölümde patlatılmış kayacın parçalanmasına tesir eden temel faktörler tanıtılacak ve optimum bir parçalanmayı elde etmek için gerekli patlatma parametreleri üzerinde durulacaktır.

Patlatma teknolojisinde araştırcılar büyük çaplı patlatmalarda kaya parçalarının büyüklüklerinin dağılımını kafi miktarda indekslerinin (göstergelerinin) tayini problemleriyle karşılaşırlar. Patlatma alışmalarında Kkayanın homojen olmaması en büyük güçlük olmaktadır. Kaya tipi aynı olsa da kaya kütlesindeki yapısal özellikler farklıdır, bu bölgeler arasında da farklılık gösterir.

Beklenen parçalanmanın ampirik yaklaşımı birçok hallerde Kuz-Ram modeli kullanılarak yapılır. Bu model kullanılarak Rosin-Rammler teorisi uygulanmıştır. Buteori 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.

GoldSize, WipFrag, Imagej ve diğer program tipleri parça büyüklük dağılımının dijital resimlerinin tespitinde kaya faktör değerlerini daha hassas vermektedir. Ayarlanan kaya faktör değeri patlatma sonrası parçalanma tayinin de değiştirilebilen delik dizaynı ile başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

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

3.4.1. Kuz-Ram parçalanma derecesi tahmin modeli

Kuz-Ram modeli ampirik olarak sert kayalarda patlatma sonrası parça boyut dağılımını tahmin etmeye yönelik bir modeldir. Kuz-Ram'ın bu modern parçalanma modeli versiyonunda kaya özellikleri, patlayıcı özellikleri, ve tasarım değişkenleri aşağıdaki beş formül kullanılarak birleştirilmiştir.

- Kırılma Teorisi (Kuznetsov, 1973): Kuznetsov'un eşitliği kullanılarak bilinen miktarda bir patlayıcı enerjisi ile oluşacak parçalanmanın miktarı tahmin edilebilir.
- Parça dağılım teorisi (Rosin & Rammler, 1933): Kırılma modu bilindiğinde kırılan kayanın parça boyut dağılımı ortalama parça boyutundan saptanabilir.
- Patlayıcı detonasyon teorisi (Tidman): Bir patlayıcı tarafından açığa çıkan enerji miktarı Tidman eşitliği kullanılarak detonasyon davranışından bulunabilir.
- Patlatma tasarım korelasyonu (Cunningham): Kırılma modu ve birçok değişik patlatma konfigürasyonu arasında bir korelasyon vardır.
- Kaya tipi korelasyonu (Lilly): Kayanın özellikleri oluşacak kırılma miktarını değiştirecektir (Mining Life, 2000).

Yukarıda bahsedilen bu beş eşitlik kullanılarak kurulan Kuz-Ram parçalanma modelini daha iyi anlayabilmek ve patlayıcı madde enerjisi ile kayaların parçalanma ilişkisini kavrayabilmek için bu eşitlikleri, yardımcı eşitlikleri ve eşitliklerde kullanılan değişkenleri iyi bilmek gerekir. Bu eşitlikler aşağıda özetlenmiştir.

3.4.1.1. Kuznetsov eşitliği

Kuznetsov, tarafından geliştirilen orijinal eşitlik Cunningham tarafından ANFO bazlı patlayıcılar için modifiye edilmiştir.

$$X_{av} = A K^{-0.8} Q_e^{0.167} (115/E)^{0.633} \quad (3.1)$$

X_{av} malzemenin ortalama boyutu (cm)

A = patlatılabilirlik indeksi

K = özgül şarj (kg patlayıcı / m³ kaya)

Q_e = şarj miktarı (kg)

E = patlayıcı gücü (% ANFO)

3.4.1.2. Rosin Rammler eşitliği

Boyut dağılımı Rosin-Rammler eşitliğinden bulunabilir.

$$Y = 100 \left[1 - e^{-(x/x_c)^n} \right] \quad (3.2)$$

Y = X boyutundan küçük olan malzeme oranı (%)

X = malzeme boyutu (m)

x_c = Ampirik sabit(m) (Karakteristik boyut malzemenin %63'ünü geçtiği elek açıklığını ifade eder. Bazen de %50'sini geçtiği boyutu açıklar.)

n = Uniformite indeksi

3.4.1.3. Karakteristik boyut

Karakteristik boyut Rosin-Rammler eşitliğinde kullanılmak üzere ortalama boyuttan hesaplanır.

$$X_c = X_{av} / (0.693) \quad (3.3)$$

X_c karakteristik boyut (m)

X_{av} Kuznetsov eşitliğinden malzemenin ortalama boyutu (m)

3.4.1.4. Üniformite

Üniformite üssü Cunningham tarafından geliştirilen bir eşitlik sayesinde hesaplanır.

0.5 0.1

$$n = [2.2 - 14 (B/D)] [0.5 (1 + S/B)] [1-Z/B] [0.1 + (Lb - Lt) / L] [L/H] P \quad (3.4)$$

P = 1.0 kare delik düzeni

1.1 şaşbeş delik düzeni

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

3.4.1.5. Tidman eşitliği

Patlayıcı maddenin gücü orijinal olarak Tidman tarafından geliştirilen eşitliğin modifiye edilmiş halinden hesaplanabilir.:

$$E = [VODe / VODn]^2 RWS \quad (3.5)$$

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 (%)

3.4.1.6. Patlatılabilirlik indeksi

Patlatılabilirlik İndeksi (veya 'Kaya Faktörü') orijinal olarak Lilly tarafından geliştirilen eşitlikten hesaplanabilir. Bu eşitlik patlatma yönüne ve kaya tipine göre ortalama parçalanmayı tahmin etmekte kullanılır.

$$A = 0.06 (RMD + JF + RDI + HF) \quad (3.6)$$

A = patlatılabilirlik indeksi

RMD = kaya kütle belirteci

JF= eklem faktörü

RDI = kaya yoğunluk indeksi, $RDI = 25(rr- 2)$

HF = sertlik faktörü

Bağımsız bileşenleri şunlardır:

$RMD = 10 + 10 X_i$

$JF = JF_s + JF_o$

$JF_s = 10$ eklem aralığı < 0.1

$= 20$ $0.1 < \text{eklem aralığı} < \text{boyut üstü}$

$= 50$ boyut üstü $< \text{eklem aralığı}$

$JF_o = 10$ dalım açısı < 10

$= 20$ $dr < 30$

$= 30$ $60 < dr$

$= 40$ $30 < dr < 60$

$dr = |JDD - FFDD| UCS/5$

$X_i = \text{yerinde blok boyutu (m)}$

JF= eklem faktörü

JF_s= 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)

3.4.1.7. Özgül şarj

Özgül şarj için eşitlik şu şekildedir:

$$K = Q_e / (B)(S)(H) \quad (3.7)$$

K =özgül şarj (kg / m³)

B= dilim kalınlığı (m)

S =delikler arası mesafe (m)

H =basamak yüksekliği (m)

Q_e = şarj miktarı (kg)

3.4.1.8. Şarj miktarı

Şarj miktarı için eşitlik şu şekildedir:

$$Q_e = 1000 \pi r^2 L \rho_e \quad (3.8)$$

Q_e = şarj miktarı (kg)

r = delik yarıçapı (m)

L = şarj uzunluğu (m)

ρ_e = patlayıcı özgül ağırlığı

3.4.2. Patlatma planlamasında optimizasyon

Patlatma, ya yığındaki aşırı büyük parçaların elenmesi ya da toz tane miktarının minimize edilmesi için tasarlanmalıdır. Bütün imalat prosesinde en uygun maliyeti elde etmek için parçalanmanın optimal olması şarttır. Günümüzde geliştirilen parçalanma tahminiyle ilgili metotlar dikkatlice ve akıllıca kullanılırsa mühendisler optimum parça dağılımı için çok büyük yardım sağlarlar. Bu da sadece delme ve patlatma maliyetlerini değil, imalat prosesinin toplam maliyetini düşürecektir.

Patlatma prosesindeki parçalanmanın esas anlamı malzemenin birinci kırıcıya girerken gerçek sıralanmasıdır. Örnek olarak, taş ocağındaki bir kırıcının patlatılmış malzeme için konduğunu farz edelim. Kırıcının kapasitesi 200t/saat. Kırıcıdan sonra istenen parça boyutu 0,2m. Bu kapasite için kırıcının operatörü kırıcıya beslenecek ideal parça boyutunun 0,3m. olduğunu belirlemiştir. Bilgisayar modellerinin kullanılmasıyla patlatma dizaynları mümkün olmuş bu da kırıcının kapasitesini 250t/saat'a çıkarmıştır. Birinci kırıcıların kapasitelerinin artırılması patlatma dizaynı sayesinde olmuştur. Parçalanmanın %50' den fazlası 0,2m. tane boyutunun altında olmaktadır kalan %50'sinin ise kırıcıya girmesi yeterli olmaktadır. (Mesela 0,3 m' yi geçmeyen parçalar.) Parçalanma boyut dağılımı çoğunlukla delikler arası mesafelerin değiştirilmesiyle tayinedilir. Deliklerin geometrileri ve boyutları parça boyutu kontrolünde büyük imkânlar sağlar. Bazı durumlarda, prosesi optimize etmek için patlatma deliklerinin boyutları küçültülebilir. Bunun sonucu olarak da patlayıcıların (kg/m^3) olarak tüketimleri artabilir.

Maliyetlerin azaltılması, birinci kırıcıdan ikinci kırıcıya geçişlerin azaltılmasıyla, verimliliğin artırılmasıyla ve kırıcıların, öğütücülerin ve eleklerin aşınmalarının azaltılmasıyla sağlanır (Franklin, John and Takis Katsabanis,1996).

3.4.3. Optimum patlatma dizaynı seçimi

Delme ve patlatma operasyonları patlatmanın sınırlarına ve boyutlarına göre organize edilmelidir. Organizasyon delme ve patlatma sistemlerinde gerekli olan nümerik değerleri içerir. Bu değerler kaya kütesine, parçalanmadaki blok boyutu dağılımına, seçilen delici makine ve patlayıcılara bağlıdır.

Bir doğal mineralin çıkarılması için belirlenen maliyette delme ve patlatma operasyonlarını birbirinden ayırmak mümkün değildir. Bununla birlikte büyük boyutlu blokların patlatılmasından sonra kırılma aşamasında doğal mineralin kirlere arındırılması ve birinci kırıcıya yüklenip taşınması da göz önünde tutulmalıdır.

Eğer delme ve patlatma maliyetleri minimum ise bu durumda bunu takip eden aşamaların maliyetlerinin çok fazla olması riski vardır. Böyle bir durumda tüm işlemin maliyeti artmaktadır. Operasyonu patlatmadan sonra en çok etkileyen faktör patlatılmış kayanın parçalanmasıdır. Bu da delme patlatma maliyetleri hesaplanırken göz önünde tutulmalıdır (Girdner, K., Handy, J., Kemeny, J., 2001).

3.4.4. Büyük blokların kırılmasından sonraki maliyetlerinin hesaplanması

Kaya kütlelerinin iyi parçalanmamasının etkilerinden bazıları, tanelerin taşıyıcı ve yükleyici ekipmanların kapasitelerini aşması ve birinci kırıcının giriş boyutunun üzerinde olmasıdır. Büyük bloklar ikinci patlatmayla veya hidrolik kırıcılarla kırılırlar.

Günümüzde ikinci patlatma işlemi çok nadir kullanılmaktadır. Bu patlatma modeli beraberinde hava dalgalanması ve yüksek gürültü problemleri getirmektedir. Eğer taşocağı yakınlarında yerleşim yerleri bulunuyorsa etkiler sıkça görülebilir. Bu etkiler genelde rahatsızlık ve korkularıdır. Fakat bunlar gerçek hasarlar değildir.

Hidrolik kırıcılarla gerçekleşen ikinci kırma işleminin maliyetini hesaplamak için, büyük çaplı blokların sayılarını ve sınıflandırmaya katılımlarını bilmek gerekir. Bu bloklar, 1,0-1,5m arasında ise Rosin-Rammler' in parçalanma boyut dağılımı denklemiyle hesaplanabilir.

Bu denklem:

$$R_{(1.0 \text{ to } 1.5)} = \left[\left(1 - e^{-\left[\frac{1.5}{X_c} \right]^n} \right) - \left(1 - e^{-\left[\frac{1.0}{X_c} \right]^n} \right) \right] \cdot 100 \quad (3.9)$$

Burada :

$R_{(1,0-1,5)}$: Malzemenin 1,0-1,5 m. (%) sınıfına katılımı

X_c : Patlatılmış kaya kütlelerinin karakteristik değeri

n : Benzerlik indeksidir.

Bu 1,0-1,5 sınıflamasında çok büyük blokların (N_b) sayısını önceden gösteren bir formül de vardır.

Bu formül:

$$N_b = \frac{0.01 \cdot W \cdot R_{(1.0 \text{ to } 1.5)}}{G_s} \quad \text{patlatılmış kaya} \quad (3.10)$$

W:Toplam
kütlesi (t)

Gs: 1,0-1,5 m(t) sınıflamasındaki karakteristik blok ağırlığı

3.4.4.1. Kırma maliyetinin hesaplanması

Ortalama parçalanma boyutunun artırılmasıyla harcanan zaman ve kırıcı etkileri azaltılabilir. Madencilikte kayıp zaman ekipmanların yüklenmesi sırasında büyük parçaların yüklenmesinden dolayı ikinci kırma işlemleriyle oluşur.

Kayaların kırılması üzerine yapılan uzun araştırmalar sonrası Bond (1952) aşağıdaki denklemlerle herhangi bir kırma işlemi için gerekli ortalama enerjinin miktarı üzerinde bir sonuca ulaşmıştır (Franklin, John and Takis Katsabanis, 1996; Girdner, K., Handy, J., Kemeny, J., 2001; Higgins, M., BoBo, T., Girdner, K., Kemeny, J. and Seppala, V.,1999; Kemeny, J., Girdner, K., BoBo T. and Norton, B., 1999).

$$W = W_i \cdot \left(\frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right) \quad (3.11)$$

W : spesifik enerji tüketimi (kwh/t)

Wi : Bond' un çalışma indeksi (kwh/t)

P: kırma sonrası malzemenin %80'inin geçtiği elek aralığı (mikron)

F: kırılmadan önce malzemenin %80'inin geçtiği elek aralığı (mikron)

IV. BULGULAR

Tez kapsamında LİMAK Çimento Fabrikası Pınarhisar/KIRKLARELİ'ne ait Kalker Açık Ocağı işletmesinde Kalker cevheri üretim patlatma çalışmaları yerinde incelenmiş, patlatma tasarım parametreleri kaydedilmiştir. Daha sonra patlatma sonrası oluşan yığın üzerinden alınan dijital görüntüler Imagej dijital görüntü işleme programı kullanılarak analiz edilmiş ve yığının parça boyut dağılımı saptanmıştır. Elde edilen analiz sonuçları incelenerek arzu edilen parçalanma derecesini veren patlatma tasarım parametreleri araştırılmıştır.



Şekil 4.1. Patlatma çalışmaları yapılan ocağın görünümü

4.1. Bölgenin Jeolojisi

4.1.1. İşletme sahasının jeolojisi

Kalker ocağı işletmeciliğinin yapılacağı ocak alanı ve civarının incelenmesi sonucunda, cevherleşmenin geniş bir alana yayıldığı gözlemlenmiştir. Kalker cevherleşmesi yüzeyde mostra vermekte olup cevher üzerinde üst örtü toprağı bulunmamaktadır. Proje alanında yayılış gösteren kalker cevherleşmesinin rengi kirli beyaz-bejdir.

Ocak alanı Pınarhisar formasyonu ile Kırklareli kireçtaşı üzerinde bulunmaktadır. Proje alanındaki kalkerleri (Orta-Üst Eosen yaşlı seriyi) resif kireçtaşları oluşturmaktadır. Bu resif kireçtaşı formasyonu, arka resif, iç resif ve ön resif kireçtaşı şeklinde değerlendirilmiştir. Oligosen yaşta Oolitik kireçtaşı bu serinin üzerini uyumsuz bir şekilde örtmektedir. Bu birim kirli beyaz-bej renkte, gözenekli, kırıntılı kireçtaşıdır. Genelde masif görünümündedir. Yer yer çatlaklı, kırıklı bir yapı arz eder. Seyrek gözlenen ufak demir lekeleri (sarı, turuncu renklerde) bulunur.

Ocakta jeolojik yayılım ve topoğrafik yapı dikkate alınarak belirlenen cevherin kalınlığı ortalama 40m civarında yoğunluğu ise ortalama $2,5 \text{ gr/cm}^3$ 'tür.

Kalker Madeni Genel Tanımı: Kimyasal bileşiminde %90'dan fazla oranda CaCO_3 (kalsiyum karbonat) bulunan kayalar kireçtaşı veya kalker olarak adlandırılır. Ayrıca mineralojik bileşiminde %90'dan fazla kalsit minerali olan kayalar da kalker olarak isimlendirilmektedir. Kireçtaşı saf halde kalsit ve çok az miktarda aragonit kristallerinden oluşur. Kalsit ve aragonit kalsiyum karbonatın iki ayrı kristal şekli olup

teorik olarak %56 CaO ve %44 CO₂ içerir. Ancak doğada saf olarak bulunmaz. İkincil derecede farklı madde bileşiklerinin içinde bulunması sonucunda orijinal halde kahverengi, siyah ve sarı renklerde de bulunabilmektedir. Kireçtaşının özgül ağırlığı 2,5–2,7 gr/cm³ arasındadır. Kireçtaşının kabarma katsayısı 1,6; sertlik derecesi 3'dür. Kırılma dayanımı (basma dayanımı) 1.900 kg/cm², kırılma indeksi 60 kg/cm², elastisite modülü 2.100 kg/mm², genleşme katsayısı 0,00022, 1santigrad derece (100 – 150 derece için) reaksiyon ısısı 426 kcal/gr mol (25 santigrad derece) dir (www.csb.gov.tr).

4.1.2. Yapısal jeoloji

Jeolojik zamanda Yıldız Dağlarının bulunduğu yerde Tethys Denizi bulunuyordu. Tethys denizinin dibinde bulunan tortullar, güney ve kuzeydeki eski kıta çekirdeklerinin birbirine yaklaşmaları sonucu kıvrılarak su yüzeyine çıkmış ve Yıldız Dağlarını oluşturmuştur. Daha sonra meydana gelen dağ oluşumu, kıta oluşumu ve volkanik hareketler sırasında Yıldız Dağlarını oluşturan taş ve tabakalar sıkışmış, kıvrılmış ve kırılmıştır. Yıldız Dağları I. jeolojik zaman arazisi olduğu için masif adını almıştır.

Masifler kırılma özelliğini yitirmiş olan yaşlı ve sert kütlelerdir. Kırklareli ilinin arazisi genel olarak Paleozoik ve IV. Mezozoik döneme ait Yıldız Masifi'nin çekirdek ve örtü kayaçları ile tersiyerine ait sedimanter, metamorfik, magmatik kayaçlardan oluşmuştur. Yıldız masifinin uzanımına uygun olarak, Vize'den Kırklareli'nin doğusuna kadar uzanan Kuzeybatı-Güneydoğu yönlü fay hattı ile bu hattı kesen Kuzeydoğu-Güneybatı yönlü ikincil faylar, sahanın tektonik yapısını oluşturmaktadır.

4.2. Kazı Çalışmaları ile İlgili Genel Bilgiler

Kalker Açık Ocağında cevher kazı çalışmaları delme patlatma metodu ile yapılmaktadır. 5-16'm.lik basamaklar halinde kazı yapılmaktadır. Burada yapılan patlatmalar taşeron firma tarafından yapılmaktadır. Patlatma sonrası elde edilen cevher yığını kamyonlarla işletmede bulunan çeneli kırıcılara götürülmekte ve burada malzeme kırıcıda kırma ile boyut küçültme işlemine sokulmaktadır. Patarlar ise mekanik kırıcılarla kırıldıktan sonra yine çeneli kırıcılara taşınmaktadır.

Yetkililerden alınan bilgiye göre çeneli kırıcının verimli çalışması için yığın için hedeflenen parça boyut dağılımının 500mm küçük olması istenmektedir. Patlatma sonrası dijital görüntü işleme yöntemi ile parça boyut dağılımı ve patlatma verimlilik analizi yaparken bu parametre göz önünde bulundurularak çalışmalar sürdürülmüştür.

4.2.1. Patlatma çalışmaları ile ilgili bilgiler

Patlatmalı kazı çalışmalarında 5-16m'lik basamaklarda 6-17,5m'lik dik delikler delinerek ve üretim ihtiyacına bağlı olarak 25 ile 125 delik aralığında patlatmalar yapılmaktadır. Delikler JUNJIN 1300E ve SANDİVİK DX700 deliciler ile 89-102mm çapında delinmektedir. Kolonşarjı için kullanılan patlayıcı madde $0.78-0.81\text{g/cm}^2$ yoğunluğunda ANFO'dur. Yemleyici olarak Powergel Magnum, ateşleme sistemi olarak ise exel elektriksiz kapsüller ve işletme binalarına yakın patlatmalarda elektronik kapsüller kullanılmaktadır. Patlatma tasarım parametreleri ile ilgili veriler Tablo 4.1.'de sunulmuştur.

Tablo 4.1. Patlatma parametreleri

PATLATMA PATERNİ	1.Patlatma	2.Patlatma	3.Patlatma	4.Patlatma	5.Patlatma	6.Patlatma
Delik Çapı	89mm	89mm	89mm	102mm	102mm	102mm
Dilim Kalınlığı	3m	3m	3m	3m	3m	3m
Delikler arası mesafe	3m	3m	3m	3m	3m	3m
Patlayıcı Madde	3800kg ANFO-80kg dinamit	1900kg ANFO-90kg dinamit	3800kg ANFO-80kg dinamit	1820kg ANFO-70kg dinamit	3825kg ANFO-25kg dinamit	3125kg ANFO-90kg dinamit
Ateşleme Sistemi	Şok tüpü	Şok tüpü	Şok tüpü	Şok tüpü	Şok tüpü	Şok tüpü
Basamak Yüksekliği	10,5m	5,5m	11m	7m	16m	15m
Delik ve Sıra sayıları	80/3	90/13	80/3	70/6	51/3	41/2

4.3. Patlatma Sonrası Analizler

Bu çalışma kapsamında Limak Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. Trakya Fabrikası Pınarhisar/KIRKLARELİ açık işletmesinde yapılan patlatmalar incelenmiş ve patlatma sonrası yığından yaklaşık 8-12m mesafeden akıllı cep telefonu ile dijital görüntüler alınarak doğrudan bilgisayara aktarılmış IMAGEJ dijital görüntü işleme programıyla işlenerek patlatma sonrası yığının parça boyut dağılım analizi yapılmıştır. Yığın üzerinde birçok noktadan görüntü alınarak, görüntülerin yığının parça boyut dağılımını

homojen bir şekilde yansıtması için bu görüntüler birlikte analiz edilmiştir. Ayrıca analiz edilen görüntüler seçilirken görüntülerin netliği, ışık ayarı da göz önünde bulundurulmuştur. Görüntüler alınmadan önce yığın üzerine görüntülerin ölçeklendirilmesi amacı ile 440mmX125mm uzunluklarında iki adet tahta yerleştirilmiştir. Bu boyutu bilinen tahtalar dijital parça boyutu analizinde yapılacak ilk iş olan görüntünün ölçeklendirilmesi basamağında işe yaramaktadırlar. Görüntü işleme metodu ile parça boyut analizi yapılan daha önceki çalışmalarda top kullanılmıştır. Bu çalışmada program iki boyutlu olduğu ve çalışmalar fotogrametri kadar detay gerektirmediğinden iki boyutlu cisimle yetinilmiştir.



Şekil 4.2. Yığınlar üzerinden alınan bazı örnek görüntüler

Yukarıdaki görüntüler işleme tabi tutulmuştur. İMAGEJ dijital görüntü işleme programı ile yapılan parça boyut dağılımı analizinin sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında yığının parça boyut dağılımını en iyi temsil eden görüntülerden altısı ilk önce bireysel olarak analiz edilmiş daha sonra altısı bir arada işlenerek parça boyut dağılım yüzdesi ortalamaları 89mm çap ve 102mm çap için ayrı ayrı elde edilmiştir.

4.4. Analiz Aşaması

Analiz çalışmalarında program otomatik parça sınırlarını bulabilmesine rağmen hata payını en aza indirmek için tüm görüntüler manuel olarak işlenmiştir. Manuel olarak parçaların sınırını belirlemek fazla zaman alsa da alınan sonucun doğruluğunu artırmaktadır.

4.4.1. İlk patlatmanın analizi



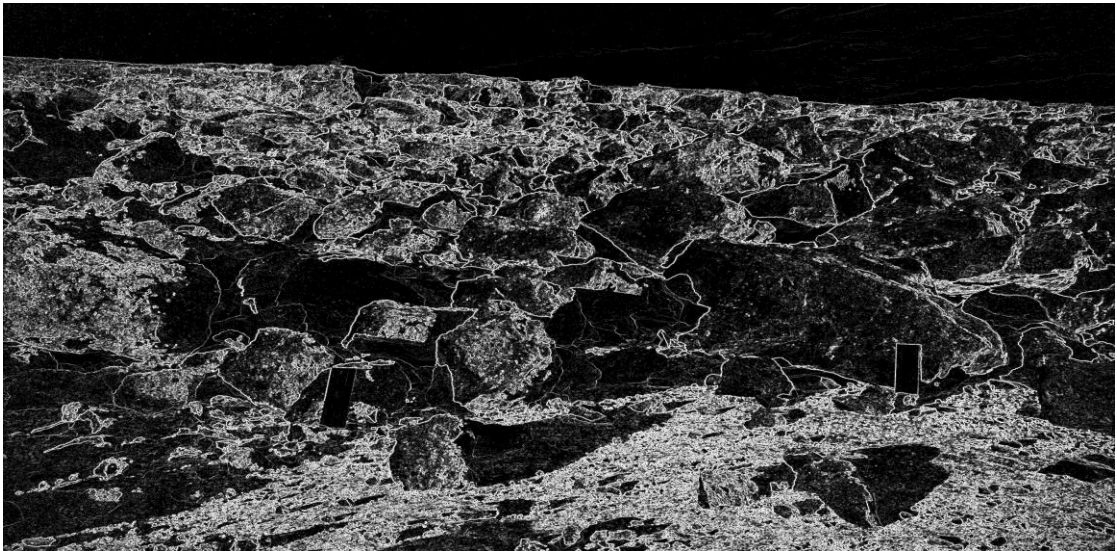
Şekil 4.3. İlk görüntünün orijinali

İlk olarak görüntü programa aktarılmıştır. Programa aktarılan görüntü, analize başlamadan önce Image Type 8-bit formatına dönüştürülür (Şekil 4.4).



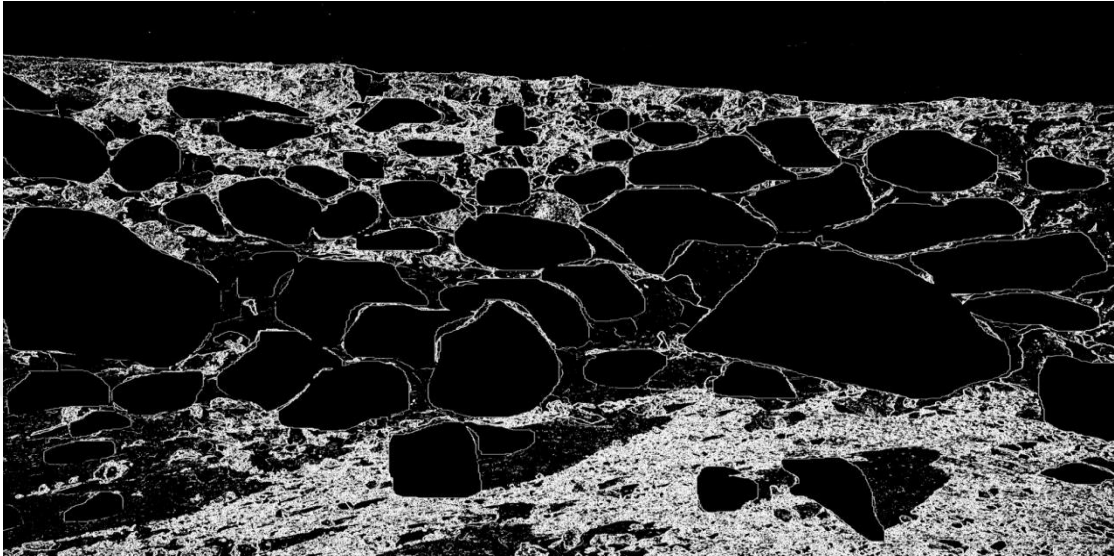
Şekil 4.4. İlk görüntünün 8-bit'e dönüştürülmüş hali

Programın belirli bir şekli olmayan cisimleri birbirinden ayırması için Process Find Edges komutu uygulanması gerekmektedir.



Şekil 4.5. İlk görüntünün kenar çizgileri belirlenmiş hali

Program daha öncede bahsettiğimiz gibi arka planı beyaz, cisimleri siyah algılamaktadır. İlk görüntüyü siyah-beyaz formata çevirmek için menüden Process Binary Make Binary komutu uygulanması gerekmektedir.

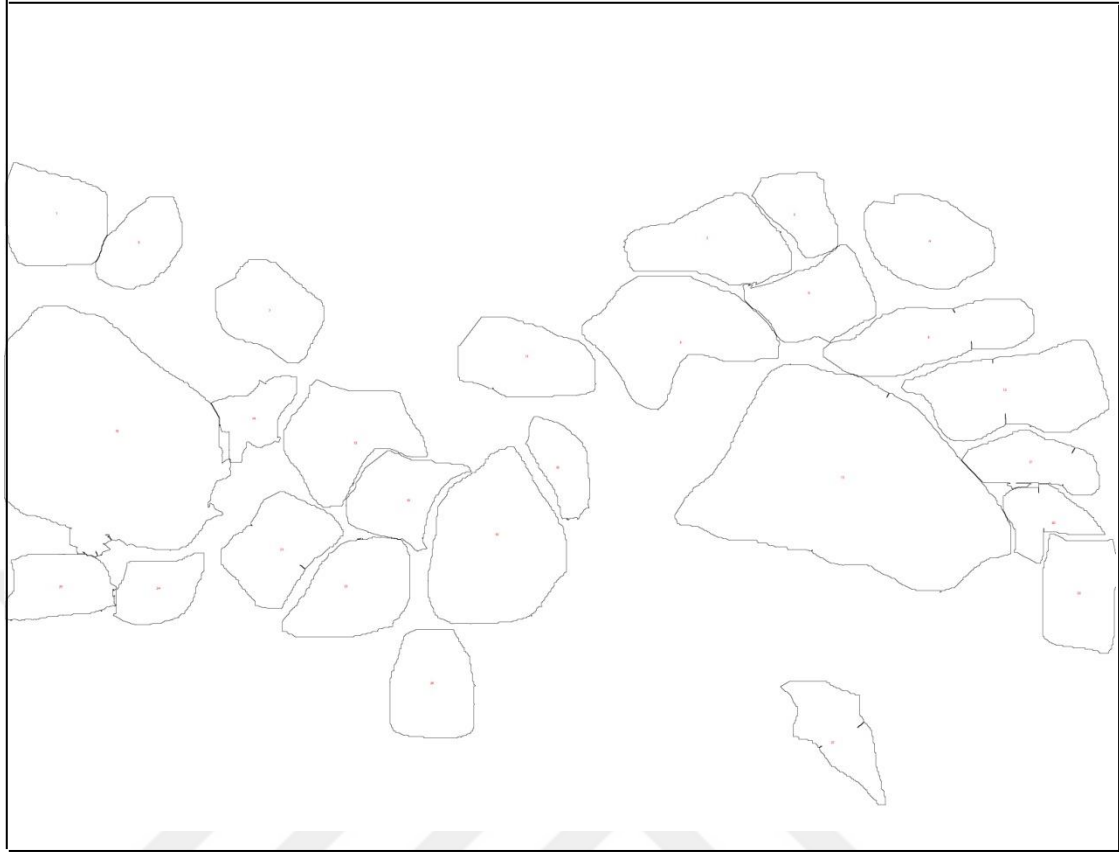


Şekil 4.6. İlk görüntünün siyah-beyaza dönüştürülmüş hali

Bundan sonra program artık cisimleri algılayabileceği bir görüntüye sahip almıştır. Program ölçümlerini piksel üzerinden yapmaktadır. Uluslar arası ölçüm birimlerini kullanmak için ölçeklendirme işlemi uygulanmalıdır. Bunun için önceden boyutları bilinen bir cisim (125x440mm tahtalar) seçilerek Analyze/Set Scale komutu kullanılmalıdır.

Bu adımlar tamamlandıktan sonra ilk görüntü analize hazır hale gelmiş olur. Analiz sırasında istenen ölçü aralığındaki cisimlerin hesaplanacağı, özet ve sonuç bilgilerinin gösterimi seçenekleri işaretlenebilmektedir. Belirlediğimiz aralıkta tespit edilen cismin belirtilmesi, sayım numarası, özet ve sonuç bilgileri gösterilmiştir(Şekil 4.7.-Tablo 4.2).

Analyze/ Analyze Particles/ Size 900-infinity seçilerek analiz yapılarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.



Şekil 4.7. İlk görüntünün 900cm²'den büyük alana sahip patarların sınırları

Tablo 4.2. İlk görüntünün analiz sonuçları

S.No	Alan	Çevre	S.No	Alan	Çevre
1	2.133.331	253.484	16	1.283.425	178.576
2	922.000	131.821	17	1.714.067	277.047
3	1.387.508	227.977	18	1.095.707	180.564
4	2.052.492	253.649	19	1.239.680	194.277
5	904.187	197.003	20	2.596.015	272.865
6	1.113.738	157.751	21	2.821.912	352.832
7	1.430.168	169.547	22	2.613.382	320.571
8	1.053.346	144.170	23	2.683.724	277.012
9	1.905.804	202.445	24	12.577.103	728.615
10	1.098.423	163.128	25	3.624.461	337.598
11	1.186.810	178.102	26	3.560.702	286.627
12	1.357.204	196.683	27	11.323.194	576.318
13	1.857.985	185.231	28	3.543.432	320.138
14	2.484.736	285.576	29	4.506.381	352.630
15	2.238.690	248.583			

İlk görüntünün analizinden çıkan sonuçlara göre parça boyut dağılımının %22,97'si hedeflenen parça boyutundan büyüktür ve maksimum parça alanı 12.577.103cm², maksimum parça çevresi 728.615cm'dir.

4.4.2. İkinci patlatmanın analizi



Şekil 4.8. İkinci görüntünün orijinali



Şekil 4.9. İkinci görüntünün işlenmiş hali

İlk görüntüyle aynı şekilde analiz edilen İkinci görüntünün analizinden çıkan sonuçlara göre parça boyut dağılımının %16,33'ü hedeflenen parça boyutundan büyüktür ve maksimum parça alanı $6.843.458\text{cm}^2$, maksimum parça çevresi 511.303cm 'dir.

4.4.3. Üçüncü patlatmanın analizi



Şekil 4.10. Üçüncü görüntünün orijinali



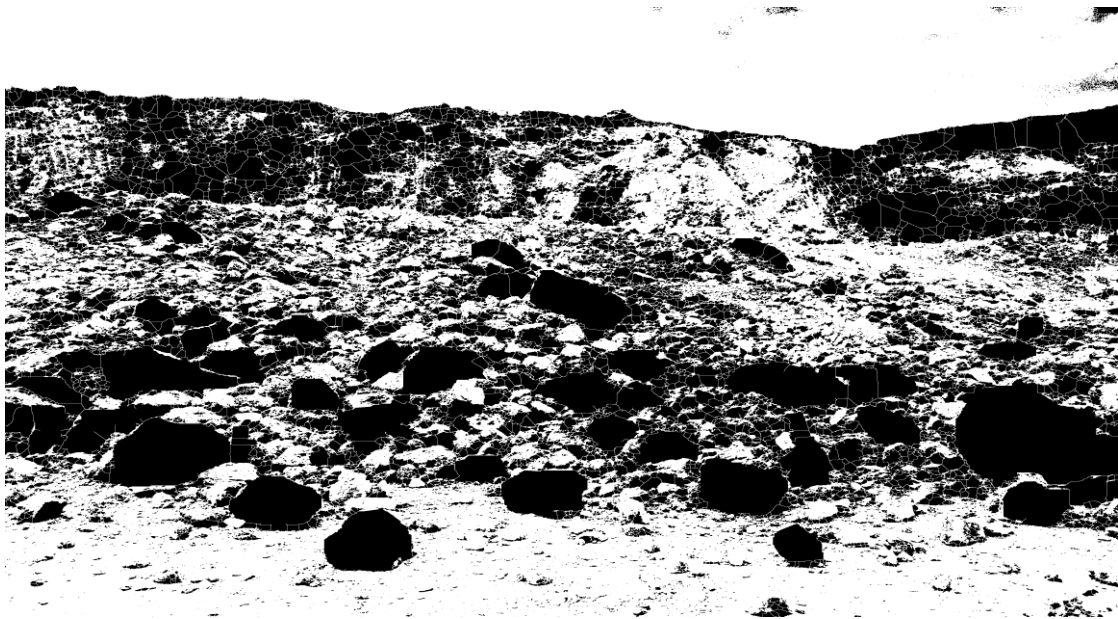
Şekil 4.11. Üçüncü görüntünün işlenmiş hali

Üçüncü görüntünün analizinden çıkan sonuçlara göre ise yığının parçalarının %28,26'sı 2500cm²'nin üzerinde maksimum parça boyut alanı 19.187.734cm², çevresi ise 817.829cm olarak saptanmıştır.

4.4.4. Dördüncü patlatmanın analizi



Şekil 4.12.Dördüncü görüntünün orijinali



Şekil 4.13.Dördüncü görüntünün işlenmiş hali

Dördüncü görüntünün analizinden çıkan sonuçlara göre ise yığının parçalarının %12,41'i 2500cm^2 'nin üzerinde maksimum parça boyut alanı $11.175.957\text{cm}^2$, çevresi ise 520.894cm olarak saptanmıştır.

4.4.5. Beşinci patlatmanın analizi



Şekil 4.14.Beşinci görüntünün orijinali



Şekil 4.15.Beşinci görüntünün işlenmiş hali

Beşinci görüntünün analizinden çıkan sonuçlara göre ise yığının parçalarının %8,10'u 2500cm²'nin üzerinde maksimum parça boyut alanı 4.191.162cm², çevresi ise 304.467cm olarak saptanmıştır.

4.4.6. Altıncı patlatmanın analizi



Şekil 4.16. Altıncı görüntünün orijinali



Şekil 4.17. Altıncı görüntünün İşlenmiş hali

Altıncı görüntünün analizinden çıkan sonuçlara göre ise yığının parçalarının %7,32'si 2500cm^2 'nin üzerinde maksimum parça boyut alanı $4.089.293\text{cm}^2$, çevresi ise 318.429cm olarak saptanmıştır.

4.4.7. Altı patlatmanın birlikte analizi

Altı farklı patlama sonrasında elde edilen görüntülerin birlikte analiz edilmesinin sebebi yapılan farklı delik çaplı aynı paterne sahip patlamalardan sonra oluşan yığınlarda iki farklı delik çapı uygulamasının ortalama parça boyut dağılımının ayrı ayrı belirlenmesidir. Araştırmanın bundan sonraki aşamaları artık burada elde edilen son parça boyut dağılımlarına göre yapılacaktır. Bu çalışma kapsamında patlatma verimlilik analizini gerçekleştirmek için yapılan dijital görüntü işleme yöntemiyle patlatma sonrası parça boyut dağılım yüzdelерinin bulunmasının yanı sıra bu patlatmada iyileştirme çalışması yapılması gerekli midir? Yapılacaksa ne yönde yapılacağı sonucuna varılması ikinci bir amaç olmuştur.

Bu çalışma kapsamında daha öncede belirtildiği gibi patlatma sonrası hedeflenen parça boyut dağılımının optimum 100cm^2 ile 2500cm^2 olması hedeflenmekteydi. Tablo 4.1'deki patlatma paternleri kullanılarak yapılan patlatma sonrası elde edilen görüntüler programla sırayla incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 4.3. Parça boyut dağılım yüzdeleri

Delik Çapı	Analizler	0-900cm ²	900-2500cm ²	2500-infinity
89mm	Birinci Patlatma	63,92%	13,11%	22,97%
	İkinci Patlatma	70,79%	12,88%	16,33%
	Üçüncü Patlatma	64,84%	6,9%	28,26%
Ortalama		66,51%	10,96%	22,53%
Delik Çapı	Analizler	0-900cm ²	900-2500cm ²	2500-infinity
102mm	Dördüncü Patlatma	80,97%	6,62%	12,41%
	Beşinci Patlatma	79,08%	12,82%	8,10%
	Altıncı Patlatma	81,59%	11,09%	7,32%
Ortalama		80,55%	10,17%	9,28%

Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere bu patlatmalar sonucunda oluşan yığınların 89mmlik delici uç kullanıldığında ortalama %22,53'sünün, 102mmlik delici uç kullanıldığında ise ortalama %9,28'ünün kırıcıya beslenmeden önce ikincil kırılmaya tabi tutulması gerekmektedir.

Bu çalışmada ayrıca altı patlamın da birim patlayıcı tüketimi ve birim delgi verileriyle konkasör elektrik sarfiyatı ve kepçe yükleme periyotları da incelenerek aşağıdaki tabloya ulaşılmıştır.

Kepçe yükleme periyodu; kepçenin doldurulması, kaldırılması, dönmesi ve boşaltılması aşamalarından ve tekrar ilk pozisyondaki durumunu almasından oluşur.

Tablo 4.4.Birim patlayıcı tüketimi, birim delgi elektrik sarfiyatı ve kepçe yükleme periyodu

	Delik Çapı (mm)	Birim Patlayıcı Tüketimi (kg/m³)	Birim Delgi (m/m³)	Konkasör Enerji Sarfiyatı (ton/kwh)	Kepçe Yükleme Periyodu (sn)
1	89	0,5026	0,1216	1,12	31
2		0,4265	0,1313	1,1	29
3		0,4798	0,1212	1,12	32
	ORTAK	0,46964	0,1247	1,1133	30,66
4	102	0,4478	0,1111	1,04	27
5		0,5208	0,1111	1	26
6		0,5646	0,1111	1	27
	ORTAK	0,51108	0,1111	1,01333	26,66

Tablo 4.1'deki patlatma paternleri kullanılarak yapılan patlatma sonrası elde edilen görüntüler programla sırayla incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 4.5.Ortalama parça boyutu

Delik Çapı	Analizler	Ortalama Parça Boyutu	
89mm	Birinci Patlatma	1251cm ²	35cm
	İkinci Patlatma	997cm ²	31cm
	Üçüncü Patlatma	1401cm ²	37cm
Ortalama		1216cm²	35cm
Delik Çapı	Analizler		
102mm	Dördüncü Patlatma	773cm ²	28cm
	Beşinci Patlatma	595cm ²	24cm
	Altıncı Patlatma	542cm ²	23cm
Ortalama		637cm²	25cm

4.5. PATLATMA OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

Dijital görüntü işleme yöntemi ile yapılan patlatma çalışmasının 102mm çaplı delikler kullanıldığında oldukça verimli fakat 89mm çaplı delikler kullanıldığında verimli olmadığı kanısına varıldıktan sonra yapılması gereken işlem bu patlatma çalışması ile ilgili parametrelerde değişiklikler yaparak optimum tasarımın sağlanmasıdır.

Optimizasyon çalışması sonucu beklenendeğişim hedeflenen parça boyut menziline(2500cm²'nin altında) %85 oranında olmaktadır.

V. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yüksek Lisans tez çalışması kapsamında Limak Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. Trakya Fabrikası Pınarhisar/KIRKLARELİ kalker cevheri açık ocağında yürütülmekte olan patlatma çalışmalarının dijital görüntü işleme tekniği kullanarak verimlilik analizi yapılmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Dijital görüntü işleme tekniği ile parça boyut dağılımı tayini büyükölçekli patlatma çalışmalarının yapıldığı madencilik çalışmalarında teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilirliği daha önceki çalışmalarda gözler önüne serilmiştir. Bu çalışmayla da Imagej programının da parça boyut analizi için kullanılabileceği sonucuna varılmış ve ücretsiz olması nedeniyle işletme ekonomisine katkısının daha fazla olacağı değerlendirilmektedir.
2. Patlatma sonrası parça boyut dağılımının birçok parametreye bağlı olduğu ama özellikle belirleyici parametrelerin dilim kalınlığı, delikler arası mesafe ve özgülşarj miktarı olduğu sonucuna varılmıştır.
3. Patlatma çalışmalarını yürüten mühendisler, gerçekleştirdikleri herpatlatma sonrası patlatma sonuçlarını mutlaka kantitatif olarak ölçmeli ve bunu yaparken de dijital görüntü işleme tekniği gibi teknoloji ve bilimin bizlere sunduğu imkanları kullanmalıdırlar. Bu şekilde yapılan verimlilik analizlerinden sonra patlatma çalışmalarında modifiye edilmesi gereken parametreleri saptamalı yapılan değişiklikler sahada denenerek test edilmeli sonuçların ne denli değiştiği görülmeli ve eğer gerekiyorsa tekrar gerekli modifikasyonlar yapılmalıdır.
4. Bu çalışmalara ek olarak patlatma sonrası faaliyetlerin maliyet analizleri de her modifikasyondan sonra izlenmeli ve işletme için toplam maliyet bakımından en iyi sonuçları veren patlatma tasarımı belirlenmelidir.

5. Bu tez çalışmasında patlatma optimizasyon çalışması, ardışık işlem verimliliği ve ekonomikliği açısından kalker cevheri açık ocağındaki yetkililerin önceden belirlemiş olduğu parça boyut aralığı dikkate alınarak gerçekleştirilmiş ve bunun için ayrıca bir kırııcı performans etüdüne ihtiyaç duyulmamıştır.

6. İşletmede gerçekleştirilen patlatmaya ait yığın parça boyut dağılımı, yığın üzerinden farklı noktalardan ve yığını temsil etmeye yeterli görüntüler Imagej programı kullanılarak işlenmiş ve analiz edilmiştir. Yapılan analiz sonuçları, bu sahada yürütülmekte olan patlatma çalışmalarının 89mm çaplı delikler kullanıldığında çok kötü olmamakla beraber yeterince verimli olmadığını, 102mm çaplı delikler kullanıldığında ise hedeflenen parça boyutuna ulaşıldığını göstermiştir.

7. 89mm çaplı delikler kullanıldığında 3m dilim kalınlığı, 3m delikler arası mesafe ve ortalama 0.47kg/m^3 'lük bir birim patlayıcı tüketimi ile hedeflenen parça boyut aralığının toplam yığın içinde sadece % 77.48'lik bir miktarda olduğu saptanmıştır. Bununla beraber 102mm çaplı delikler kullanıldığında 3m dilim kalınlığı, 3m delikler arası mesafe ve ortalama 0.51kg/m^3 'lük bir birim patlacı tüketimi ile hedeflenen parça boyut aralığının toplam yığın içinde % 90.73'lük bir miktarda olduğu saptanmıştır. 102mm çap kullanılarak yapılan patlatmalarda istenen sonuca ulaşılmıştır.

8. 89mm çaplı delikler kullanıldığında dilim kalınlığını 3m'nin altına düşürmek, yine delikler arası mesafeyi de 3m'nin altına düşürmek ve böylece birim patlayıcı tüketiminin artırılması, hedeflenen parça boyut dağılımının tüm yığın içinde %85'e yaklaşması sağlanabilir.

9. Delme-patlama maliyetleri değerlendirildiğinde 102mm çaplı delikler kullanıldığında 89mm'lik deliklere oranla birim patlayıcı tüketiminin ortalama %8,8 arttığı tespit edilmiştir. Birim delgi ise 89mm'lik uç kullanıldığında ortalama %12,24 artmaktadır.

10. 89mm'lik delikler kullanıldığında üç patlama beraber değerlendirildiğinde ortalama parça boyutu 1216cm^2 (yaklaşık 35cm) iken; 102mm'lik delikler kullanıldığında yine üç patlatma beraber değerlendirildiğinde ortalama parça boyutu 637cm^2 (yaklaşık 25cm) olmaktadır.

11. Konkasör elektrik sarfiyatı değerlendirildiğinde 89mm çaplı delikler kullanıldığında 102mmlik deliklere oranla ortalama %9,7 artmaktadır.

12. Kepçe yükleme periyotları karşılaştırıldığında 102mmlik çapla yapılan patlatmaların ortalama 4 saniyeleri bulan zaman farkıyla daha hızlı yüklendiği görülmüştür.

13. Unutulmamalıdır ki bu tez kapsamında yapılan ve sonuca varılan optimizasyon çalışması tamamen model üzerinde yapılmış bir çalışmadır ve model üzerinde modifiye edilen patlatma tasarımı deneme atımlarıyla kesinleştirilmeli yada eğer gerekiyorsa yeni düzeltmeler yapılmalıdır.

14. Ayrıca bu işletmede tasarım ile ilgili modifikasyonlar işletmenin sahip olduğu olanaklar dâhilinde gerçekleştirmesi o an için uygun olan parametreler üzerinde yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında yetkililer tarafından, en azından çalışmanın yapıldığı süre içerisinde bu parametrelerin değiştirilemeyeceği ifade edildiğinden çalışmalar bu şekilde yapılmıştır.

15. Kontrast, ışık, parça kenar belirginliği ve parça boyutları analizi etkilediğinden iyi değerlendirilmelidir. Imagej alan üzerinden çalışan bir program olduğundan ölçeği belirlemede kullandığımız nesnenin uzaklaştıkça doğruluk azalabilir.

16. Gerçek duruma daha yakın sonuç elde etmek için profesyonel görüntü yakalama aygıtları (frame grabber) kullanılmalıdır. Bu aygıtlarla yüksek çözünürlüklü ve kalite kayıpsız görüntüler yüksek hızlarla aktarılabilir.

17. Görüntülerdeki birbiri üzerine binmiş nesnelere belirlenmelidir. Tane analizi yapılırken bu nesnelere program tarafından bütünmüş gibi algılanacağından dağılımı olumsuz yönde etkiler. Bunun önüne geçmek için ayrıştırma ve bölümlendirme algoritmaları, tanelerin cinslerine ve şekillerine göre uygun sıra ve miktarda analizler içinde kullanılmalıdır.

18. Kullanılan ayrıştırma ve bölümlendirme algoritmaları analizden önce ve sonra gerçek tane boyutları ile karşılaştırılmalı ve kayıpların dağılıma olan etkileri incelenmelidir.

19. Yazılımdan daha gerçekçi sonuç almak için bütün parça boyutlarının analizinin yapılması yerine dağılımı etkileyecek parça boyutlarının analizi minimum ve maksimum sınırlar içinde yapılmalıdır. Böylece yazılımın verimliliği de artmış ve işlem kapasitesi gereksiz kullanılmayacaktır.

20. Sayısal görüntü işleme yöntemi ile tane boyutu dağılımı konusunda yapılan çalışmalar ve profesyonel uygulamalar da göstermektedir ki; kaliteli ve kayıpsız görüntünün elde edilmesinde yüksek maliyetli donanımların kullanılması kaçınılmazdır.

21. Görüntü ölçeği hassas olmalıdır. Elle yapılan ölçeklendirme sonucu doğrudan etkileyeceğinden düzgün belirlenmeli mümkünse otomasyon sistemi ile desteklenmelidir.

KAYNAKLAR

Arpaz, E., 2000, Türkiye'deki Bazı Açık İşletmelerde Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimlerin İzlenmesi ve Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Hoek, E., Bray, J.W., 1991, Kaya Şev Stabilitesi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, (Çevirenler: Paşamehmetoğlu, A.G., Özgenoğlu, A., Karpuz, C.) Ankara.

Instantel Inc., 1993, Blastmate Series II User Manual, Canada.

Jimeno, C.L., Jimeno, E.L., Carceno, F.J.A., 1995, Drilling and Blasting of Rocks, AABalkema, Rotterdam, Brookfield.

Kahriman, A., 2003, Patlatma Mühendisliği Ders Notları, İ.Ü. Müh. Fak. Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Kahriman, A., 2001, Prediction of Particle Velocity Caused by Blasting for an Infrastructure Excavation Covering Granite Bedrock, Mineral Resources Engineering, Imperial College Pres, 10(2), 205-218.

Kahriman, A., Görgün, S., Karadoğan, A., Tuncer, G., 2001b, Attenuation of Ground Vibration Induced by Blasting at Can Open - Pit Lignite Mine in Turkey, The Twenty-Seventh Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, ISEE, Orlando, Florida, U.S.A., 351-361.

Kahriman, A., Ceylanoğlu, A., Demirci, A., 1996, Sivas-Ulaş Yöresi Sölestit Açık İşletmesinde Basamak Patlatmasından Kaynaklanan Yersarsıntısı Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirilmesi, II. Delme Patlatma Sempozyumu, Ankara.

Konya, C.J., Walter, E.J., 1990, Surface Blast Design, New Jersey, USA.

Ozer, U., Kahriman, A., Adıgüzel, D., Karadoğan, A., Aksoy, M., 2007, The Analysis Of Ground Vibration Induced By Blasting At Different Rock Units On Istanbul Kadıköy-Kartal Subway Tunnel Route, 7th International Conference: Modern Management of Mine Producing Geology and Environment Protection, 11-15 June, Albena Resort, Varna, Bulgaria, 2007.

Paşahmetoğlu, A.G., et. al., 1986, Divriği Madenleri Müessesesi Açık Ocağında Patlatma Sorunlarının Etüdü", ODTÜ, Ankara.

Schillinger, R. 2006, The State of Human Annoyance at Blasting Works in Accordance with Environmental Conditions under Inclusion of Standards, Proceedings of The Thirty – Second Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, 29 January – 1 February, Dallas, Texas, USA. 135-148.

14/8/1987 tarihli ve 87/12028 sayılı Tekel dışı bırakılan patlayıcı maddelerle av malzemesi ve benzerlerinin üretimi, ithali, taşınması, saklanması, depolanması, satışı, kullanılması, yok edilmesi, denetlenmesi usul ve esaslarına ilişkin Tüzük.

Kahriman, A., 2004, Patlatma Mühendisliği Semineri, İ.Ü. Araştırma ve Yardımlaşma Vakfı, İstanbul

Kahriman, A., 1995, Sivas Ulaş Yöresi Sölestit Cevheri ve Yankayaçları İçin Optimum Patlatma Koşullarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleri ile İlişkilendirilmesi, Doktora Tezi, C.Ü., Sivas

Eloranta, J., 1999, Downstream Costs and Their Relationship to Blasting, JEloranta&Associates, USA

Kemeny, J., 1994, A practical technique for determining the size distribution of blasted benches, waste dumps, and heap-leach sites, Mining Engineering, Vol. 46, No.11, pp. 1281-1284.

Özkahraman, H.T., 1994, Critical Evaluation of Blast Design Parameters for Discontinuous Rocks by Slab Blasting, Thesis (PhD.), Middle East Technical University

BoBo, T., 2001, What's new with the digital image analysis software Split-Desktop?, 2001 High Tech Seminar - Blasting Technology, Instrumentation and Explosive Applications, Nashville, TN USA, July 22-26, 2001, pp. X1-9.

Girdner, K, Kemeny, J., Srikant, A., and McGill R., 1996. The Split system for analyzing the size distribution of fragmented rock, Proceedings of the Fragblast-

5Workshop on Measurement of Blast Fragmentation (Franklin, J. and T. Katsabanis,eds.), Montreal, Quebec, Canada, pp. 101-108.

Technical University of Edinburgh, 2002, Digital Image Analysis, Applied OpticsGroup, Department of Physics, Edinburgh, UK

Split-Engineering LLC, 2001, Split Desktop Version 2.0 User Manual, SplitEngineering, Tucson, Arizona, USA

Kemeny, J., Mofya, E., Kaunda, R., Perry, G., Morin, B., 2001, Improvements inblast fragmentation models using digital image processing, Proceedings of the 38thRock Mechanics Symposium, Washington, D.C., USA68

Franklin, John and Takis Katsabanis, 1996, Measurement of BlastFragmentation, A.A. Balkema.

Girdner, K., Handy, J., Kemeny, J., 2001, Improvements in FragmentationMeasurement Software for SAG Mill Process Control, SAG Conference 2001- ThirdInternational Conference on Autogenous and Semiautogenous Grinding Technology,Vancouver, British Columbia, Canada.

Higgins, M., BoBo, T., Girdner, K., Kemeny, J. and Seppala, V., IntegratedSoftware Tools and Methodology for Optimization of Blast Fragmentation, Proceedings of the Twenty-Fifth Annual Conference on Explosives and Blasting Technique,Nashville, Tennessee, USA, Volume II, pp. 355-368, February 1999.

Kemeny, J., Girdner, K., BoBo T. and Norton, B., 1999, Improvements for Fragmentation measurement by Digital Imaging: Accurate Estimation of Fines, Sixth International Symposium for Rock Fragmentation by Blasting, SAIMM, pp. 103-110

Kahriman, A., Tuncer, G., Karadoğan, A., Özdemir, K., 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, NewOrleans, Louisiana, USA., 2004, Volume I, pp. 51-59.

Kahriman, A., Ceylanoglu, A., 1996, Blast Design and Optimization Studies for a Celestite Open-Pit Mine in Turkey, Mineral Resources Engineering, Vol. 5, No.2 pp 93-106

Edizer, E.,2006, Yüksek Lisans Tezi Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sayısal Görüntü İşleme Yöntemi ile Tane Boyut Dağılımı Analizi,Adana.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Kaan KILIÇ 1985 yılında Üsküdar'da doğdu. İlköğretimini Antalya Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2001 yılında Maltepe Askeri Lisesi'ne girmiş ve 2005 yılında mezun olmuştur. 2009 yılında Teğmen rütbesi takarak Kara Harp Okulu'ndan Sistem Mühendisi olarak mezun olmuştur. Daha sonra bir sene süreyle İstihkâm Okulu ve Eğitim Merkezi Komutanlığında Subay Temel Kursu görmüş ve 2010-2012 yılları arasında Çanakkale Gelibolu'da bulunan 2'nci Kolordu İstihkâm Alayı İstihkâm Savaş Taburu 2'nci İstihkâm Savaş Bölük Komutanlığı'nda; 2012-2015 yılları arasında Ağrı'da konuşlu 12'nci Mekanize Tugayı İstihkam Savaş Bölük Komutanlığı'nda Takım Komutanlığı yapmıştır. 2015 yılı genel atamalarıyla 5'inci Kolordu İstihkâm Alayı İstihkâm Savaş Taburu Hücüm Engel Bölük Komutanlığı'na Bölük Komutanı olarak atanmıştır. Halen aynı birlikte görev yapmakta olan Mustafa Kaan KILIÇ, bayan Tuğba KILIÇ ile evli olup bir kız çocuğu sahibidir ve iyi seviyede İngilizce bilmektedir.