

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KUMTAŞI OCAKLARINDA PATLATMA FAALİYETLERİNDE
PARÇALANMA MODELLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özge AKYILDIZ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

Mayıs 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KUMTAŞI OCAKLARINDA PATLATMA FAALİYETLERİNDE
PARÇALANMA MODELLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özge AKYILDIZ

505121009

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Türker HÜDAVERDİ

Mayıs 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505121009 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Özge Akyıldız**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KUMTAŞI OCAKLARINDA PATLATMA FAALİYETLERİNDE PARÇALANMA MODELLERİNİN İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Türker Hüdaverdi**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Türker Hüdaverdi**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ataç Başçetin
İstanbul Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Abdullah Fişne
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2015**

Savunma Tarihi : **26.05.2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde sürdürdüğüm yüksek lisans eğitimim boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımlarından dolayı öncelikle tez danışmanım Sn. Doç. Dr. Türker HÜDAVERDİ'ye ve tüm hocalarıma;

Tez çalışmam sırasında sağladıkları imkânlardan dolayı başta Sn. Ertunç KARADUMAN ve Sn. Faruk ÖRÜCÜ olmak üzere tüm AKÇANSA ÇİMENTO SANAYİ VE TİCARET AŞ ve AKDAĞLAR MADENCİLİK çalışanlarına;

Ayrıca, yüksek lisans tezim süresince desteklerini esirgemeyen ailem ve arkadaşlarıma en içten dileklerle teşekkür ederim.

Mayıs 2015

Özge AKYILDIZ

Maden Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
SEMBOL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
2. DELME PATLATMANIN TANIMI.....	3
2.1. Madencilikte Delme Patlatma İle Kazı	3
2.2. Delme Sırasında Kullanılan Makine Ekipmanın Tanıtılması.....	3
2.3. Kullanılan Patlayıcı Madde Ve Özellikleri	4
2.3.1. ANFO	4
2.4. Ateşleme Sistemleri	5
2.4.1. Elektrikli ateşleme sistemleri.....	5
2.4.1.1. Gecikmeli elektrikli kapsüller	6
2.4.1.2. Gecikmesiz elektrikli kapsüller	6
2.4.2. Elektriksiz ateşleme sistemleri.....	7
2.4.2.1. Nonel ateşleme sistemi.....	7
2.4.2.2. Emniyetli fitil (adi kapsül)	8
2.4.2.3. İnfilaklı fitil	8
3. PATLATMA TASARIM PARAMETRELERİ	11
3.1. Patlatma Geometrisi	11
3.1.1. Delik çapı (d)	11
3.1.2. Dilim kalınlığı (b)	13
3.1.3. Delikler arası mesafe (s)	13
3.1.4. Basamak yüksekliği (h)	13
3.1.5. Alt delme (u)	13
3.1.6. Delik boyu (l)	14
3.1.7. Sıkılama mesafesi (t)	14
3.1.8. Özgül şarj (p_f)	14
3.1.9. Cendere bölgesinde örnek bir atım için patlatma tasarım parametrelerinin belirlenmesi	14
3.2. Delik Düzeni.....	15
3.2.1. Kare delik düzeni	15
3.2.2. Şeşbeş delik düzeni	16
3.3. Ateşleme Sırası	16
4. PARÇALANMA İLE İLGİLİ TANIMLAR.....	19
4.1. Parçalanma Prosesi.....	19
4.2. Parçalanma Kavramını Etkileyen Kayaç Özellikleri	21
4.3. Parçalanma Verimliliğinin Önemi	21

5. PARÇALANMANIN KONTROLÜ VE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	25
5.1. Kuz-Ram Parçalanma Tahmin Modeli	25
5.1.1. Cunningham'ın katkısı.....	26
5.1.2. Lilly'nin katkısı	27
5.2. Swabrec Denklemi ve KCO (Kuznetsov-Cunningham-Ouchterlony) Modeli	29
6. YIĞININ ORTALAMA PARÇA BOYUTUNUN BELİRLENMESİ.....	31
6.1. Dijital Görüntü İşleme Yazılımları Yoluyla Parça Boyutu Analiz.....	31
6.2. Parça Boyutunun tayininde WipFrag programı.....	31
6.3. Analizde Kullanılacak Fotoğrafların Çekim Tekniği	32
6.3.1. Fotoğraflamanın yapılacağı konum	32
6.3.2. Fotoğraflarda ölçekleme	33
6.3.3. Wipfrag yazılımı ile yapılan bir parça boyut dağılımı analizi örneği. 33	
6.3.3.1. Wipfrag yazılımı ile açılı fotoğraflardan yapılan analiz örneği	33
6.3.3.2. Wipfrag yazılımı ile dik fotoğraflardan yapılan analiz örneği 35	
7. SÜREKSİZLİKLERİN VE BLOK BOYUTUNUN BELİRLENMESİ.....	39
7.1. Süreksizliklerin Patlatma Açısından Önemi	39
7.2. Dijital Görüntü İşleme Yazılımları Yoluyla Blok Boyutu Analizi	40
7.3. Blok Boyutunun Tayininde WipJoint programı	40
7.3.1. Analizde kullanılacak fotoğrafların çekim tekniği	40
7.3.2. Fotoğraflarda ölçekleme	41
7.3.3. Wipjoint yazılımı ile yapılan bir blok boyutu analizi örneği	41
8. BİLGİLERİN EDİNİLDİĞİ BÖLGENİN JEOLJİSİ.....	43
8.1. Cendere Bölgesinin Jeolojisi	43
8.2. Kayaç Özellikleri ve Ocakların konumu	43
8.3. Cendere Bölgesinde İncelenen Atımlar	47
9. ATIMLARIN PARÇALANMA AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ ..	49
9.1 Parçalanma Eğrilerinin İncelenmesi	49
9.1.1 Birinci atım	49
9.1.2 İkinci atım	51
9.1.3 Üçüncü atım	52
9.1.4 Dördüncü atım.....	53
9.1.5 Beşinci atım	54
9.1.6 Altıncı atım	55
9.1.7 Yedinci atım.....	56
9.1.8 Sekizinci atım.....	57
9.1.9 Dokuzuncu atım	58
9.1.10 Onuncu atım.....	59
9.1.11 On birinci atım	60
9.1.12 On ikinci atım.....	61
9.1.13 On üçüncü atım	62
9.1.14 On dördüncü atım.....	63
9.1.15 On beşinci atım	64
9.1.16 On altıncı atım.....	65
9.1.17 On yedinci atım	66
9.2 Ölçülen Atımlar İçin Parçalanma Boyutu ve Üniformite İndeksinin İncelenmesi.....	66
9.3 Patlatma Tasarım Parametreleri İle Parçalanma Asarındaki İlişkinin İncelenmesi.....	68

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	77

KISALTMALAR

ANFO	: Amonyum nitrat-Fuel oil
KCO	: Kuznetsov-Cunningham-Ouchterlony Modeli
NONEL	: Non – Electrical Capsule
VOD	: Detonasyon Hızı
PETN	: Pentaerythrol tetranitrate
Swebrec	: Swedish Blasting Research Centre

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : ANFO ve emülsiyon tipi patlayıcıların çeşitli özellikleri	5
Çizelge 3.1 : Örnek atım için belirlenen temel tasarım parametreleri.....	15
Çizelge 8.1 : Kumtaşının fiziksel ve mekanik özellikleri	44
Çizelge 8.2 : Taş ocağında incelenen atımlar ile görüntü işleme (WipFrag) ve Kuznetsov denklemi ile elde edilen ortalama tane boyutu (X_{50}), üniformite indeksi (n), yerinde blok boyutu (Y_b) ve karakteristik boyut (X_c)	47

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Deliklerin delinmesinde kullanılan delici makine.	4
Şekil 2.2 : ANFO ve Emülsiyon-ANFO Karışımı	5
Şekil 2.3 : Elektrikli Kapsüller	6
Şekil 2.4 : Akdağlar Madencilik A.Ş. 'de kullanılan manyeto	7
Şekil 2.5 : Paralel bağlı bir devre (Olofsson, 1988)	7
Şekil 2.6 : Akçansa ocağında kullanılan 25 ms. 'lik gecikme elemanı	8
Şekil 2.7 : Yemleme olarak kullanılan kapsül bağlanmış emülsiyon.....	9
Şekil 3.1 : Patlatma tasarım parametreleri	12
Şekil 3.2 : 89 mm. çapında bir delik.....	12
Şekil 3.3 : Dikdörtgen, kare ve şaşşbeş delik düzeni.....	16
Şekil 3.4 : Örnek bir ateşleme düzeni (Olofsson, 1988).	17
Şekil 3.5 : İdeal gecikme ile atım anında aynanın hareketi (Olofsson, 1988)	17
Şekil 4.1 : Deliğin etki alanında bulunan kayaç bölgeleri (Morhard ve diğ., 1987).	20
Şekil 4.2 : Patlayıcı enerjisinin kullanımı.....	20
Şekil 4.3 : Patlatma kaynaklı parçalanmanın operasyonlar üzerindeki etkisi.....	23
Şekil 6.1 : Tez kapsamında analiz edilen 6. atım sonrası oluşan yığının görüntüsü ..	34
Şekil 6.2 : 6. Atım sonucu oluşan yığının WipFrag yazılımı ile tespit edilen parçalar.....	34
Şekil 6.3 : 6. atımın parça boyut dağılımı.	35
Şekil 6.4 : 11. Atıma Ait Fotoğraflar	36
Şekil 6.5 : 11. Atıma ait fotoğrafların işlenmiş hali	36
Şekil 6.6 : 11. Atımın için ile elde edilen örnek bir boyut dağılım eğrisi	37
Şekil 7.1 : Çatlaklı yapının parçalanma üzerine etkisi (Hustrulid, 1999)	40
Şekil 7.2 : Örnek bir basamak aynasının görünümü	41
Şekil 7.3 : WipJoint yazılımı ile analiz edilen örnek basamağa ait görünür bloklar..	42
Şekil 7.4 : Örnek basamağa ait WipJoint ile analiz sonucu.....	42
Şekil 8.1: İstanbul paleozoyik istifı (Ketin ve Güner, 1988).....	44
Şekil 8.2 : Atımın Gözlemlendiği Bölge Olan Kemerburgaz-Cendere Yolu Üzerinde Bulunan Bazı Taş Ocakları	45
Şekil 8.3 : Akdağlar Madencilik'e ait taş ocağının genel görünümü	46
Şekil 8.4 : Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret AŞ'ne ait taş ocağının genel görünümü	46
Şekil 9.1 : 1. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri	50
Şekil 9.2 : 2. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri	51
Şekil 9.3 : 3. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri	52
Şekil 9.4 : 4. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri	53
Şekil 9.5 : 5. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri	54
Şekil 9.6 : 6. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri	55
Şekil 9.7 : 7. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri	56

Şekil 9.8 : 8. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri	57
Şekil 9.9 : 9. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri	58
Şekil 9.10 : 10. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri.....	59
Şekil 9.11 : 11. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri.....	60
Şekil 9.12 : 12. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri.....	61
Şekil 9.13 : 13. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri.....	62
Şekil 9.14 : 14. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri.....	63
Şekil 9.15 : 15. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri.....	64
Şekil 9.16 : 16. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri.....	65
Şekil 9.17 : 17. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri.....	66
Şekil 9.18 : WipFrag yazılımı ve KuzRam Modeli ile hesaplanan ortalama parça boyutu değerleri	67
Şekil 9.19 : WipFrag yazılımı ve KuzRam modeli ile hesaplanan üniformite indeksi değerleri	67
Şekil 9.20 : WipFrag yazılımı ve KuzRam modeli ile hesaplanan karakteristik boyut değerleri	68
Şekil 9.21 : Özgül şarj ve ortalama parça boyutu arasındaki ilişki	69
Şekil 9.22 : Dilim kalınlığı ve ortalama parça boyutu arasındaki ilişki.....	69
Şekil 9.23 : Delikler arası mesafe ve ortalama parça boyutu arasındaki ilişki	70
Şekil 9.24 : Yerinde blok boyutu ve ortalama parça boyutu arasındaki ilişki	70

SEMBOLLER

B	: Dilim kalınlığı
D	: Delik çapı
E	: Elastisite modülü
GPa	: Gigapascal
H	: Basamak Yüksekliği
L	: Delik boyu
MPa	: Megapascal
n	: Üniformite İndeksi
Pf	: Özgöl Şarj
S	: Delikler arası mesafe
S_J	: Çatlaklar arası mesafe
T	: Sıkılama mesafesi
U	: Alt delme
X₅₀	: Ortalama parça boyutu
Y_B	: Ortalama yerinde blok boyutu
X_c	: Karakteristik boyut
X_{max}	: Maksimum parça boyutu
R	: Korelasyon katsayısı
R²	: Belirlilik katsayısı

KUMTAŞI OCAKLARINDA PATLATMA FAALİYETLERİNDE PARÇALANMA MODELLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Madencilikte delme patlatma işlemi, kazıcı yükleyici makine ekipman ile üretimi yapılamayan veya görece daha ekonomik olduğu durumlarda hammaddenin verimli şekilde üretilmesine olanak sağlamaktadır. Bu üretim yöntemi kimi zaman dekapaj işleminin gerçekleştirilmesi için, kimi zaman ise hammadde üretimi için tercih edilmektedir. Delme patlatma operasyonunda amaç sadece ufalamak, kırmak veya parçalamak olmadığından işlem hassas bir şekilde yapılmalıdır. Delme patlatma faaliyetinin kendisinden sonraki tüm süreci etkilemesi sebebiyle uygun şekilde gerçekleştirilmesi işletme ekonomisi açısından büyük öneme sahiptir. Yöntemin verimli şekilde uygulanabilmesi, en uygun delme patlatma parametrelerinin seçilmesine bağlıdır. Bu parametreler, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen olarak iki ayrılmaktadır. Kontrol edilebilen parametreler; delik çapı, eğimi ve boyu, delik düzeni, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, sıkılama payı, alt delme basamak aynasının şekli, durumu, yüksekliği ve eğimi olarak sıralanabilir. Kontrol edilemeyen parametreler ise elastisite modülü, basınç dayanımı, çekme dayanımı, poisson oranı, bulk modülü, kaya materyalin basınç dalgalarını ve kesme dalgalarını iletim hızıdır. En verimli tasarım parametrelerinin belirlenmesi için kayacın bütün özellikleri iyi bir şekilde incelenmeli, gerektiğinde kayaç örnekleri laboratuvarlarda incelenerek ve arazide gözlenerek uygun tasarım parametreleri seçilmelidir. Bir patlatmanın verimli ve güvenli olması için tasarım parametreleri haricinde dikkat edilmesi gereken başka hususlar ise kayaç yapısına uygun patlayıcı madde seçimi, uygun ateşleme sistemi seçimi ve seçilen sistemlerin doğru şekilde uygulanmasıdır.

Bir atımın verimli olup olmadığının belirlenmesi parçalanma derecesi ile ifade edilir. Parçalanma derecesi, patlatma sonrası oluşan malzemenin boyut dağılımıdır. Büyük ölçekli atımlarda parçalanmanın tahmini oldukça zordur. Bu nedenle nümerik bir tahminle, malzemenin parça boyut dağılımını tespit etmek patlatma optimizasyonu ve değerlendirilmesi açısından kolaylık sağlamaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda yığının ortalama parça boyutunu belirlemeye yarayan eşitlikler ve boyut dağılımı eğrileri üretilmiştir. Günümüzde, parçalanma derecesinin belirlenmesi eşitlikler haricinde görüntü işleme yazılımları yardımı ile de kolaylıkla yapılmaktadır. Yazılımların en büyük avantajı analizlerin üretimi kesintiye uğratmadan yapılıyor olmasıdır. Bu tez kapsamında görüntü işleme yazılımlarından WipFrag programı kullanılarak analizler yapılmıştır.

Parçalanma verimliliğini ölçmek üzere gözlemlenen 17 atım İstanbul, Cendere Caddesi, Kâğıthane ilçesinde bulunan Akdağlar Madencilik, Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. ve Oyak Beton Sanayi ve Tic. A.Ş.'ye ait agrega ocaklarında gerçekleşmiştir. Tez kapsamında yapılacak analizler için gerekli olan patlatma tasarım parametreleri atım öncesi ocağa gidilerek ayrıntılı olarak ölçülmüştür. Gözlemlenen atımlarda tüm deliklerin çapı 89 mm.'dir. Patlayıcı olarak ANFO ve emülsiyon patlayıcı kullanılmaktadır. Ateşleme nonel ve elektrikli kapsüllerle

gerçekleştirilmektedir. Tasarım parametreleri ise kısaca şu şekilde ölçülmüştür; delik boyu 6,5 m. ile 15 m. arasında; dilim kalınlığı ise 1,8 m. ile 2,6 m. arasında; sıkılama boyu ise 2,5 m. ile 4,0 m. arasında değişmektedir. Delikler arası mesafe ortalama olarak 2,6 m.'dir. Arazide gerçekleştirilen incelemelerde kayaç ortalama kayaç olarak değerlendirilmiş ve Kuznetsov denkleminde kullanılan kayaç faktörü 7 olarak alınmıştır.

Tez kapsamında ilk aşamada, atım öncesi ayna ve sonrası yığın fotoğraflanarak görüntü işleme analizi işlemi için kaydedilmiştir. Yığının farklı bölgelerinden alınan fotoğraflar görüntü işleme yazılımına aktarılmış ve parça boyut dağılım eğrileri elde edilmiştir. Daha sonra, KuzRam ve KCO (Kuznetsov-Cunningham-Ouchterlony) modelleri agrega ocağında uygulanmış ve atım sonrası yığının boyut dağılımı tespit edilmiştir. Her iki modelden elde edilen veriler görüntü işleme yazılımıyla elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Yığının parça boyutunu tahmin etmek için kullanılan Kuznetsov denklemi ortalama parça boyutu için oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Ölçülen ve tahmin edilen ortalama parça boyutu arasındaki mutlak hata ortalama olarak 2,03 cm. olarak hesaplanmıştır. Kuznetsov denklemi ile yapılan en başarılı ortalama parça boyutu tahminleri 1, 4, 7, 9, 11, 13 ve 15 numaralı atımlardır. Üniformite indeksi için KuzRam modeli ve WipFrag yazılımı değerleri arasında ortalama fark 0,16 olarak tespit edilmiştir. Özellikle 7, 10 ve 12 numaralı atımlarda üniformite indeksi değerleri birbirine çok yakındır. KuzRam modeli ile hesaplanan ortalama değer 1,42 olup standart sapma 0,11'dir. WipFrag yazılımı ile ölçülen ortalama üniformite indeksi değeri 1,50 olup standart sapma 0,16 bulunmuştur. Karakteristik boyut (X_c) açısından KuzRam modeli ve WipFrag yazılımı değerleri arasında uyum söz konusudur. Ölçülen ve tahmin edilen karakteristik boyutlar arasında ortalama olarak 2,9 cm.'lik bir fark hesaplanmıştır. KuzRam modeli ile hesaplanan ortalama değer 24,45 cm. olup standart sapma 4,29'dur. WipFrag yazılımı ile ölçülen ortalama karakteristik boyut 23,93 cm. olup standart sapma 5,04 cm. bulunmuştur. Özellikle 6, 10 ve 11 numaralı atımlarda karakteristik boyut değerleri birbirine çok yakındır.

Burada parçalanma prosesinde çeşitli kayaç özelliklerinin, patlayıcı performansının ve çok sayıda patlatma tasarım parametresinin aynı anda etkili olduğu unutulmamalıdır. Ayrıca, gerektiğinde görüntü işleme yoluyla araziden elde edilen parçalanma verileri kullanılarak, literatürdeki teorik modelleri kalibre etmek mümkündür. Mühendisler teorik parçalanma modelleri yoluyla atım sonrası parçalanmayı öngörebilir, ihtiyaç duyulursa atım öncesi patlatma tasarımına müdahale edebilirler. KuzRam ve KCO parçalanma modellerinin parçalanma tahmini için Cendere bölgesinde başarıyla kullanılabildiği görülmüştür. Gelecekte bu modellerin İstanbul çevresindeki taşocaklarında başarıyla kullanılabileceğine inanılmaktadır.

INVESTIGATION OF BLAST FRAGMENTATION MODELS IN SANDSTONE QUARRIES

SUMMARY

Drill and blast method makes it possible to excavate very hard rock economically. The method is used for not only produce raw material but also excavating long tunnels through hard rock, where digging is not possible. Blasting is the critical step in the rock-fragmentation process. Maximum profitability depends largely on success of blasting operation. Drilling and blasting are the first operations performed in any hard-rock quarry operation. Therefore, the results of blasting operation will affect downstream processes, such as loading, hauling and crushing, than any other processing operation.

Efficient blast designs combined with the proper choice of explosive can produce better fragmentation with associated lower operating costs compared to blast designs and explosives used under adverse conditions. The efficient use of explosives, and proper borehole diameter selection, are the keys of a successful blasting program.. ANFO, emulsion and heavy ANFO blends are the common explosives used in quarries. ANFO remains one of the most commonly used products in quarry blasting. Selection of the explosive is based on the quarry condition and rock mass characteristics which vary widely by region. It is a mixture of ammonium nitrate (94,5%) and fuel oil (%5,5). Ammonium nitrate is fully water soluble and therefore it is only usable in completely dry holes, or in holes that can be pumped dry and then lined. Emulsion and heavy ANFO are much better water resistant; hence these explosives must be preferred in such conditions that exists water. Detonators are used to initiate the blast. These may be electronic, electric or non-electric. Nowadays, most of the mines use delay detonators. Delay detonators are available as inhole detonator or surface connector. It is very important to use delay detonators to prevent air blast and ground vibrations.

There is an important aspect of blasting on fragmentation; which is the size distribution of blasted fragments. Rock fragmentation is often assessed qualitatively, by visual inspection, as good or poor. It can also be measured quantitatively by image analysis techniques. Image analysis provide much better results than previous techniques and not intrusive to production processes. The size of fragments is the “seen” part of blasting results. It is very important in crushing as it effects production and downtime. Oversize fragmentation will reduce primary crusher throughput. Fragment material will lead to more downtime for clearing crusher bridging and plugging. Poor fragmentation will increase the feeding amount of secondary and tertiary crushing stages, if used, because there will be less undersize that can be split off to bypass these stages. This will affect productivity and energy consumption. It is highly probable that the blasted size distribution introduced to the primary crusher will affect the feed size distributions throughout the crushing stages. Blast fragmentation models play an important role in modern mining operations. Today, blast fragmentation is optimized not only for material haulage but also for

comminuting and mineral processing as well. Various models have been put forward over the years, attempting to predict the size distribution resulting from particular blast designs. The engineering models consider four main factors; explosive properties, rock properties, blast design parameters and actual bench geometry. Three of them are independent variables that are engineers can choose (the most efficient explosive type, drilling pattern and bench geometry). Controllable parameters are hole diameter, burden, spacing, hole depth, type of explosive, detonator system and etc. Geology, joints, rock mass characteristics and presence of water are the non-controllable variables.

The fragmentation must be optimal to obtain the lowest costs for the whole production process. Predictions and analyses of rock fragmentation have a vital importance on economy of quarries. Efficiency of blasting depends on fragmentation, overbreak, muckpile profile and displacement, vibration, airblast, flyrock and damage to wall or slope stability. Besides all these factors, haulage method must be considered when designing the blasting pattern. In this thesis, fragmentation is the key factor to assess the efficiency of blasting. Kuznetsov equation is the very first formula that makes it possible to calculate average fragment size using blast design parameters. In 1983, Cunningham contributes the approach with merging Kuznetsov and Rosin-Rammler functions and gave a new name, Kuz-Ram equation. Rock factor is key to define of rock mass characteristics, which is improved by Lilly in 1986. A new model, KCO fragmentation model, was introduced in 2005. All these approaches let engineers to predict average fragment size using blast design parameters and rock mass properties.

In this thesis, blasting data from seventeen blasts at three different quarries were analyzed. As a first step, image analysis software was used to determine particle size distribution of muckpiles. Additionally, KuzRam and KCO fragmentation model compared to the results of the image analysis technique. The efficiency of KuzRam and KCO models were investigated and the important points to be considered while using fragmentation models were explained.

It is required to measure blast design parameters precisely to calculate average fragment size and draw size distribution curve correctly with KuzRam and KCO models. In field work, these parameters were measured with ruler. Also, scales should not be located very close or very away from each other to avoid errors about image analysis software. In all blasting operations, the borehole diameter is 89 mm. and each blasting pattern has different burden, spacing and stemming length. The average spacing between adjacent hole is 2.6 m., bench height is vary from 6.5 m. to 15 m. and burden is 1.8 m. and 2.6 m.. Kuznetsov equation predicts average fragment size properly, especially 1, 4, 7, 9, 11, 13 and 15. blasts. There is 2.03 cm. absolute differences between estimated and measured average fragment sizes. Uniformity index is calculated as 1.42 with KuzRam model and 1.50 with WipFrag image analysis software. Also, there is no wide difference between measured and calculated characteristic sizes. The relationship between $X_{50} - Y_b$, $X_{50} - S$, $X_{50} - B$ and $X_{50} - P_f$ investigated and as a result it is found that there is a high correlation between $X_{50} - B$, $X_{50} - P_f$.

Consequently, KuzRam and KCO models can be used to determine fragment size distribution in quarries, Cendere region, İstanbul. Especially in blasts 1, 9, 15 and 17, the result of fragmentation models are coherent with the results of WipFrag image

analysis software. Burden, spacing and charge height are three of the most important parameters that can affect the efficiency of blast. In quarries some bench faces are irregular, this faulty geometry of benches can cause decrease or increase in burden length. For that reason, engineers should mark the location of holes cautiously considering bench faces and etc.

Lighting is one of the most important factors for photographs captured for fragmentation analysis software. Lighting determines shadow formation. In an ideal image, particles are clearly delineated by soft shadows. If shadows are too strong (dark), analysis suffers. Shadows will fall to one side of the material, and in the absence of fill light may be dark enough to obscure material or may be mistaken for particles. If shadows are absent, analysis suffers.

It is possible to calibrate the KuzRam and KCO fragmentation models by the data obtained by image analysis. Engineers can predict blast fragmentation using the fragmentation models and they may change blast design parameters before blasting operation. KCO and KuzRam models were applied in Cendere region quarries successfully. It is believed that these models can be applied in other quarries in İstanbul.

1. GİRİŞ

Delme patlatma işlemi açık ve yeraltı olmak üzere birçok maden ocağında ve inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntemin tercih edilmesinin başlıca sebebi kazılması zor, sert kayaçların kolaylıkla kırılmasına ve ufalanmasına imkân sağlıyor oluşudur. Bunun yanında delme ve patlatma maliyetinin üretim maliyeti içindeki payı küçümsenmeyecek düzeydedir. Üretimin verimli şekilde sürdürülmesinin yanında en uygun patlatma tasarım parametrelerinin seçilerek ekonomik olunmasına da dikkat edilmelidir. Madencilik faaliyetlerinin ekonomik olarak sürdürülebilmesi için atım sonrası oluşan malzemenin parçalanma derecesinin önemi büyüktür.

Patlatma işlemi, atım sonrası operasyonlar için başlangıç adımını oluşturduğundan tüm üretim sürecini etkilemektedir. Atım verimini etkileyen önemli bir parametre kullanılan patlayıcı cinsi ve ateşleme sistemleridir. Bu tez kapsamında kullanılan patlayıcı madde ve ateşleme elemanları Bölüm 2’de anlatılmıştır. Delme ve patlatma en uygun koşullarda gerçekleştirildiğinde yükleme, taşıma ve kırma - öğütme maliyetlerinin azalması sağlanmakta ve işletme ekonomisi pozitif olarak etkilenmektedir. Bu koşulların sağlanması Bölüm 3’te ayrıntılı olarak değinilen optimum patlatma tasarım parametrelerinin seçilmesi ile mümkün olmaktadır.

Patlatma sonrası oluşan malzemenin boyut dağılımı olarak tanımlanan parçalanma derecesinin belirlenmesi atım verimliliğinin ortaya konması açısından gereklidir. İstenilen parça boyutu, işletmede kullanılan makine ve ekipmanın kapasitesine bağlıdır. İdeal bir atım sonrasında çok küçük veya ikinci bir atıma ihtiyaç duyulacak kadar büyük parçalar oluşmamalıdır. Bölüm 4 ’te ayrıntılı şekilde ele alınan parçalanma kavramının üretim aşamalarına etkisi grafikler ile anlatılmıştır. Bunun yanında parçalanmanın belirlenmesi kolay bir işlem olmayıp, araştırmacılar tarafından patlatma tasarım parametreleri, kayaç özellikleri ve jeolojik durumun hesaba katılması ile tahmin edilmesi yoluna gidilmiştir. Beşinci bölümde bu

araştırmacıların ortaya koyduğu eşitlikler açıklanmış ve zaman içinde yapılan katkılar anlatılmıştır.

Atım sonrası oluşan yığının ortalama parça boyutu çok çeşitli yollarla ölçülebilmektedir. Bu tez kapsamında günümüz teknolojisinin sunduğu fırsatlardan olan dijital görüntü işleme yazılımı kullanılmış ve analizler WipFrag yazılımı ile yapılmıştır. Bölüm 6 'da ayrıntılı olarak örneklerle açıklanan yazılım bugün birçok maden ocağı ve üniversitede kullanılmaktadır. Yöntemin çok fazla tercih edilmesinin sebeplerinden biri üretimi kesintiye uğratmadan analizlerin yapıyor olmasıdır. Parçalanmanın belirlenmesinde önemli diğer bir etken olan kaya kütlesi davranışının ortaya konması ve süreksizliklere ait özelliklerin tanımlanmasıdır. Patlatma sırasında kaya kütlesinin davranışının belirlenmesinde süreksizlik sıklığı, yönelimi ve kayacın yerinde blok boyutu büyük önem arz eder. Kayacın içerisindeki doğal çatlaklar, deliğin çevresindeki patlatmanın etkili olduğu alan üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Bu çalışmada süreksizlikleri, aynada yerinde blok boyutunu tespit etmek için WipJoint yazılımı kullanılmıştır. Bölüm 7'de yazılım hakkında geniş bilgi verilmiş ve örnekler ile dikkat edilecek noktalar belirtilmiştir.

İstanbul ili ve çevresindeki kırma taş ocakları Avrupa yakasında; Cendere, Cebeci, Çatalca; Anadolu yakasında ise; Gebze ve Ömerli 'de yoğunlaşmışlardır. Bu tez kapsamında atımların gözlemlendiği Cendere havzası, Kemerburgaz - Ayazağa arasında, yaklaşık 10 km. aralıkta, Kuzey Batı – Güney Doğu yönünde, temeli oluşturan grovak - kumtaşı formasyonu içinde doğal bir vadi konumundadır. Bölüm 8 'de hem bölge jeolojisi hem de kayaç özelliklerine değinilmiştir. Ayrıca bu bölümde taş ocaklarında patlatma verimliliğinin incelenmesi için gözlemlenen atım bilgileri de yer almaktadır. Bölüm 9 'da ise gözlemlenen 17 atım için görüntü işleme ve tahmin modelleri ile elde edilen parça boyut dağılım eğrileri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, ölçülen atımlar için parçalanma boyutu ve üniformite indeksinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Ek olarak patlatma tasarım parametreleri ile parçalanma asarındaki ilişki ortaya konmuştur.

Sonuç ve öneriler bölümünde ise 17 atım sonucunda ulaşılan ortalama parça boyutu değerleri ve boyut dağılım eğrileri KuzRam ve KCO modelleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma ile tahmin modellerinin Cendere bölgesindeki taşocaklarında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2. DELME PATLATMANIN TANIMI

2.1. Madencilikte Delme Patlatma İle Kazı

Delme-patlatma ile üretim, sert kaya formasyonlarının patlayıcı madde marifeti ile gevşetilerek yüklenmesidir. Patlayıcıların madencilikteki kullanım amacı, kaya, cevher veya kömürün kırılarak kazı işlemine olanak vermektir.

Yeraltı madenciliğinde, patlayıcı maddeler galeri, desandri, kuyu veya körkuyu, kelebe, başyukarı, başaşağı, ayak ve diğer yer altı yapılarının oluşturulması ile kömür veya cevher içinde doğrudan üretim yapılması gibi çeşitli uygulamalar söz konusu olabilmektedir. Açık maden ocaklarda ise örtü tabakası kazısı ile cevher veya kömür kazısındaki patlayıcı madde kullanımı temel madencilik çalışmalarını oluşturmaktadır. Delme patlatma tekniği madencilik faaliyetleri dışında ise tünel, yol, zemin inşaatlarında kullanılmaktadır. Bu işlem, işletme maliyetini doğrudan etkileyen en önemli unsurlardan biridir. İyi patlatılmış malzeme tüm işletme safhalarının maliyetini düşüreceği gibi iş verimi ve çalışma emniyetini olumlu yönde etkilemektedir. Bu nedenle patlatmaya ilişkin yapılacak çalışmalar, patlatma işleminden en fazla yararı sağlayarak en iyi parçalanmayı elde etmek ve patlatma sonucu çevreye verilebilecek zararın minimum düzeye indirilmesi alanlarında yoğunlaşmış olmalıdır. Öncelikle patlatma teorisinin iyi bilinmesinin yanı sıra patlatma tasarımı ve uygulama konusunda yeterince deneyimin olması ayrıca önem taşımaktadır.

2.2 Delme Sırasında Kullanılan Makine Ekipmanın Tanıtılması

Atımların yapıldığı ocaklarda delikler tepeden darbeli delici makine ile delinmektedir. Bu yöntemde darbe ile parçalama işlemi egemen olup, ilerleme darbe ve dönme aracılığı ile sağlanmaktadır. Darbe ve baskı (yük) altında, düşük hızda dönen bir matkabın dişleri ile formasyon parçalanmakta ve kırıntılar hava aracılığıyla kuyu dışına alınmaktadır. Bu sistemle çalışan delik delme makineleri dönme ve

darbe etkilerini birleştirerek iř g r rl r. Bu işlem sırasında meydana gelen darbe etkisi normal martoperferat rlerin etkisinden daha fazladır. Delik  st  tabancanın yaptığı etkisiyle delik dibi gevşetilir ve  entiklenir. Bu sistemle çalışan makineler genellikle zor, çok zor ve aşırı zor delinebilen formasyonların delinmesinde kullanılmaktadır (Hadjigeorgiou ve diğ., 1995, Jimeno ve diğ., 1995). şekil 2.1’de deliklerin delinmesinde kullanılan delici makine görülmektedir.



şekil 2.1: Deliklerin delinmesinde kullanılan delici makine.

2.2.1 Kullanılan Patlayıcı Madde Ve  zellikleri

Kimyasal patlayıcı maddeler, ısı, darbe veya sürtünme sonucu çevreden herhangi bir elemanın, kimyasal katkısı olmadan çok hızlı bir reaksiyona giren, genellikle gaz ürünler vererek ortam basıncında ani ve yüksek değişimlere neden olan (patlama), organik veya inorganik bileşimlerdir (Bhandari, 1997). Bu tez kapsamında patlayıcı madde olarak amonyum nitrat ile fuel oil karışımı kimyasal bir patlayıcı olan ANFO kullanılmıştır.

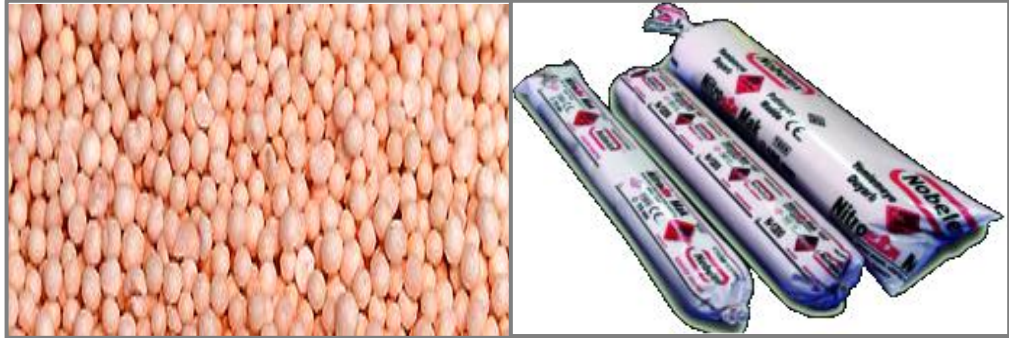
2.2.2 ANFO

ANFO en basit anlamda amonyum nitrat (NH_4NO_3) ile fuel oil (CH_2)’in belirli oranlarda karıştırılması sonucu  retil bilen patlayabilir bir karışımdır. ANFO 20. yüzyılın ortalarından itibaren yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Temel girdilerinin yaygın olarak bulunabilmesi ve kullanılabilmesi, diğer patlayıcı maddelere göre ucuz olması, hazırlanışı ve kullanımının kolay olması, depolamada ve taşımada daha emniyetli olması ANFO’ nun yaygın olarak kullanılmasının sebeplerindendir. Kaliteli bir ANFO ’nun içerisinde amonyum nitrat / fuel oil oranı

94,5 / 5,5 olmalıdır. Ayrıca, ANFO pril poroz amonyum nitratlardan üretilmiş olmalı ve yoğunluğu çok yüksek olamamalıdır. Patlatma deliklerine doldurulurken akıcı özellik göstermelidir. ANFO patlayıcısı ana şarj olarak kullanılmakla birlikte kapsüle duyarlı olmadığından yemleme ile birlikte kullanılmaktadır. ANFO 'nun higroskopik yapısı su ile temasa geçtiğinde detonasyon kabiliyetini ortadan kaldırabilmektedir. Bu nedenle sulu deliklerde ise kartuş veya pompalanabilir özel emülsiyon ANFO karışımları kullanılır. Bu tez kapsamından kullanılan ANFO ve emülsiyon tipi patlayıcıların karşılaştırılması aşağıdaki tabloda verilmiştir (Bhandari, 1997). Çizelge 1.1'de ANFO ve emülsiyon tipi patlayıcıların çeşitli özellikleri verilmiş, Şekil 2.2'de ise ANFO ve emülsiyon ANFO gösterilmiştir.

Çizelge 1.1: ANFO ve emülsiyon tipi patlayıcıların çeşitli özellikleri.

	Emülsiyon	ANFO
Yoğunluk (g/cm ³)	1,25-1,28	0,77-0,82
Enerji (MJ/kg)	3,00	3,90
Gaz hacmi (lt/kg)	1015	974
Patlama sıcaklığı (°C)	2049	2565
VOD (m/s)	4500-4800	3500
Suya direnç	Mükemmel	Yok



Şekil 2.2: ANFO ve Emülsiyon-ANFO Karışımı

2.3 Ateşleme Sistemleri

2.3.1 Elektrikli ateşleme sistemleri

Elektrikli kapsüller, elektrikli ateşleme sisteminin yegâne parçasıdır. Prensipinde içine iki iletken kablo ile bağlı bir elektrikli kibrit başı yerleştirilmiş özel tahrir kapsülünden oluşur. İletken iki kablonun ucu akım kaynağına bağlıdır. Verilen akım, kablodan ve kibrit başından direnç telinden geçer. Akım direnç telini kızdırır ve

üzerindeki eczayı yakar. Bu yanma kapsül içerisindeki birincil ve ana patlayıcıya kadar devam ederek patlama gerçekleşir. Şekil 2.3'te elektrikli ateşleme sistemi, Şekil 2.4'de patlama işleminin başlatılmasına yarayan manyeto gösterilmiştir. Şekil 2.5'de ise paralel bağlı bir devre görülmektedir (Olofsson, 1988).



Şekil 2.3: Elektrikli Kapsüller

2.3.1.1 Gecikmeli elektrikli kapsüller

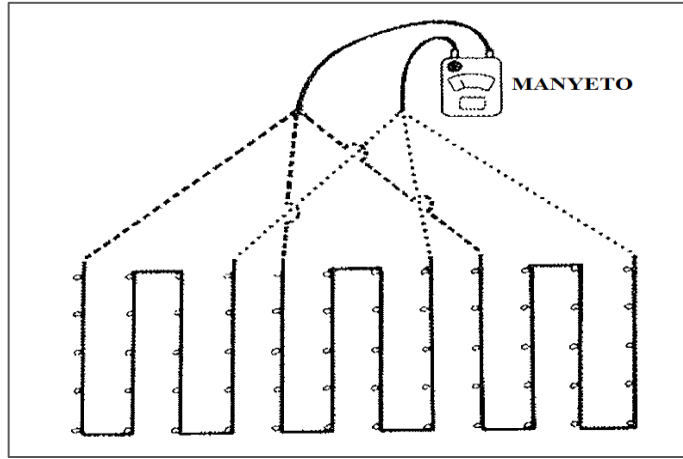
Gecikmeli elektrikli kapsüller deliklerin aynı anda ateşlendiğinde aynı zamanda patlamamasını sağlayan kapsüllerdir. Bir atımda daha fazla patlatma yapmak, daha fazla verim almak ve çevreye verilecek zararı minimuma indirmek için kullanılırlar. Bakır ve Alüminyum yüksüklü olmak üzere iki farklı çeşitte üretilirler (Bhandari, 1997).

2.3.1.2 Gecikmesiz elektrikli kapsüller

Elektrikli gecikmesiz kapsüller, tüm deliklerin aynı anda patlatılması amacı ile kullanılan elektrikli bir ateşleme sistemidir. Çevresel etkilerin önemsiz olduğu veya tüm deliklerin aynı anda patlamasının istendiği özel uygulamalarda kullanılabilir. Elektrikli gecikmeli kapsüller, yerüstü ve grizu sorunu olmayan yer altı metal madenciliğinde kullanılmak üzere alüminyum ve yer altı kömür işletmeleri için bakır yüksüklü olarak sunulmaktadır (Bhandari, 1997).



Şekil 2.4: Akdağlar Madencilik A.Ş.'de kullanılan manyeto.



Şekil 2.5: Paralel bağlı bir devre (Olofsson, 1988).

2.3.1.3 Elektriksiz ateşleme sistemleri

2.3.1.4 NONEL ateşleme sistemi

Elektrikli kapsüllerin önemli kazalara yol açması ve risk yaratması sonucunda elektriksiz kapsüller üretilmiştir. Nonel (Non- Elektrikli Kapsül) kapsüllerde düşük enerji iletim hattı olan bir elektriksiz ateşleme sistemidir. Nonel kapsüller özel olarak seçilmiş plastik cinslerinden üretilmektedir. Plastik tüpün iç kısmı HMX ve alüminyum karışımından oluşan reaktif bir toz ile kaplanmıştır. Reaksiyonun başlaması için şok dalgası ve yüksek sıcaklığın birlikte etki etmesi gerekir. Şok dalgası reaktif madde tozunu tahrik eder ve daha sonra yüksek sıcaklıklarda ateşlenir. Reaktif madde ateşlendiğinde şok dalgası tüp içerisinde 2100 m/sn hızla ilerler. Şok dalgası kapsül içerisindeki gecikme elemanını ateşleyecek güçtedir ancak Nonel tüpünü yırtacak güçte değildir. Reaksiyon zincirinin Nonel tüpü içerisinde

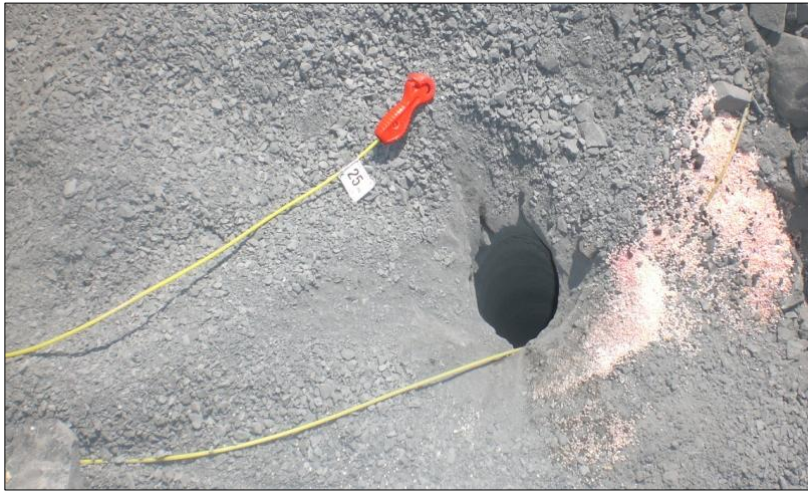
oluşmasının en büyük avantajı ise çevrenin bundan etkilenmemesidir. Patlatma işlemlerinin birçoğunda en iyi sonuçlar tabandan ateşlenmeyle elde edilir. Bu yüzden delik içerisindeki patlayıcı maddenin, kapsülü ateşleyecek enerjiyi ileten sinyal hattı tarafından etkilenmemesi işin can alıcı noktasıdır. Birçok Nonel tüpü birbiri üzerinden geçse de herhangi bir tüpteki reaksiyon diğerlerini etkilemez (Olofsson, 1988).

2.3.1.5 Emniyetli fitil (Adi kapsül)

Eski bir patlatma yöntemi olan bu yöntemde prensip, kapsül içindeki birincil şarjı alevle patlatmaya dayanır. Emniyetli fitil ile yapılan atımlarda deliklerin düzenli bir sırada patlatılmasına olanak yoktur, gecikme uygulanamaz.

2.3.1.6 İnfilaklı fitil

Günümüzde çok yaygın olarak kullanılan ateşleme sistemlerinden birisidir. Emniyetli fitilden farklı olarak PETN içerir ve kendisi de kapsülle ateşlenir. Sürtünmeye ve çarpmaya karşı hassas değildir. Statik elektrikten etkilenmez. Bu özelliği nedeni ile elektrikli kapsül kullanımlarının sakıncalı olduğu ortamlarda ve uygun olmayan hava Koşullarında emniyetle kullanılabilir. İnfilaklı fitil ile ateşlemede, bu ateşleyici için özel geliştirilmiş gecikme elemanları kullanılır. Gecikme elemanının türüne göre bu gecikme 5-50 msn. arasında değişebilir. İnfilaklı fitiller metresinde içerdiği patlayıcı miktarına göre sınıflandırılır (Olofsson, 1988). Şekil 2.6'da Akçansa ocağında kullanılan 25 ms.'lik gecikme elemanı ve Şekil 2.7'de ise yemleme olarak kullanılan kapsül bağlanmış emülsiyon gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Akçansa ocağında kullanılan 25 ms.'lik gecikme elemanı.



Şekil 2.7: Yemleme olarak kullanılan kapsül bağlanmış emülsiyon

3. PATLATMA TASARIM PARAMETRELERİ

Basamak patlatmalarını ve bu patlatma sonuçlarını etkileyen parametrelere patlatma tasarım parametreleri denir. Patlatma sonucu, beklenen parça boyut dağılımını elde edebilmek için patlatma tasarım parametreleri dikkatli şekilde belirlenmelidir. Bu parametreler; delik çapı, yeri, eğimi ve boyu, delik düzeni, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, basamak aynasının şekli, durumu, yüksekliği, eğimi, sıkılama payı ve alt delme olarak sıralanabilir. Bir patlatmanın verimli ve güvenli olması için tasarım parametreleri haricinde dikkat edilmesi gereken başka hususlar da vardır. Bunlar;

- Kayaç yapısına uygun patlayıcı madde seçilmesi,
- Uygun ateşleme sistemleri seçilmesi,
- Seçilen sistemlerin doğru şekilde uygulanmasıdır.

Patlatma güvenliğinin sağlanması ile patlatma ekonomisi birlikte düşünülmelidir. Patlatma ekonomisi, her türlü patlatma uygulamalarının amacına uygun ve güvenli yapılması olarak tanımlanabilir. Teknik, ekonomik ve emniyet açısından iyi ve güvenilir bir patlatma tasarımı üzerinde etkili olan parametreler Bölüm 3.1’ de özetlenmektedir. Şekil 3.1’de ise patlatma tasarım parametreleri gösterilmiştir.

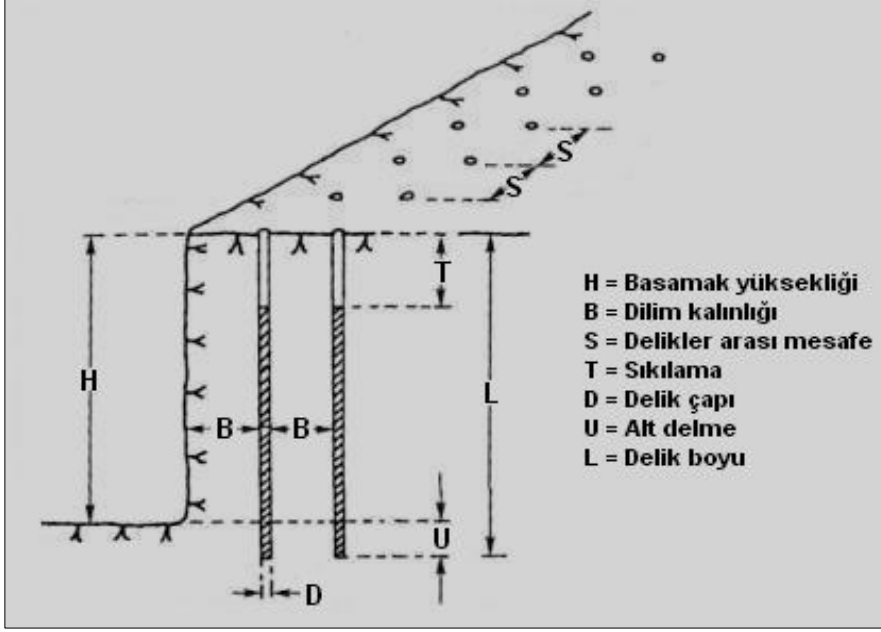
3.1 Patlatma Geometrisi

Patlatma geometrisi, kayaç özelliklerine, kanuni düzenlemelere, delici-kazıcı-yükleyici makinelerin kapasitesine, şev durumuna ve maliyet gibi faktörlere bağlı olarak tasarlanmalıdır.

3.1.1. Delik çapı (D)

En düşük maliyet ile en iyi parçalanmayı elde etmek için delik çapının doğru seçmek önemlidir. Delik çapının basamak yüksekliği ve delik ayna arası mesafesi ile yakın ilişkisi vardır. Patlatılacak kayaç sert ve masif ise iyi bir parçalanmanın sağlanması ve aynı zamanda delme masraflarının azaltılması için küçük çaplı delikler kullanılır.

Çok çatlaklı, sert kayaçlarda, yumuşak veya orta sertlikteki kayaçlarda geniş çaplı deliklerle iyi sonuçlar alınır (Morhard ve diğ., 1987). Şekil 3.2’de 89 mm çapında delik gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Patlatma tasarım parametreleri



Şekil 3.2: 89 mm. çapında bir delik.

3.1.2. Dilim Kalınlığı (B)

Dilim kalınlığı açık ocak patlatmalarında en önemli parametrelerden birisidir. Patlatma anında patlayan deliğin en yakın serbest yüzeye olan uzaklığı olarak ifade edilir. Dilim kalınlığı, delik içerisine konan;

- Patlayıcı madde gücüne
- Patlayıcı madde verimine
- Şarj konsantrasyonuna
- Kayaç ile patlayıcı madde uyumuna
- Sıkılama mesafesine
- Seçilen gecikme elemanına bağlıdır. Dilim kalınlığı, delik çapının bir fonksiyonu olarak verilebilir (Bhandari, 1997);

$$B = \frac{[25-35 \times D]}{12} \text{ mm.} \quad (3.1)$$

3.1.3. Delikler arası mesafe (S)

Patlatma geometrisinin temel öğelerinden biri de dilim kalınlığının bir fonksiyonu olan delikler arası mesafedir. Bu mesafe dilim kalınlığı, delik derinliği ve delik düzenine göre seçilebilmektedir. Genel bir kabul olarak delikler arası mesafe dilim kalınlığının 1,25 katı alınır (Bhandari, 1997).

3.1.4. Basamak yüksekliği (H)

Basamak yüksekliği, patlatma tasarım parametrelerinin belirlenmesinde etkili olan bir değişkendir. Bu değişkene birçok maden ocağında güvenlik sebebiyle kısıtlamalar uygulanır. Konya ve Walter (1990) 'a göre Basamak yüksekliği dilim kalınlığının 3 katı kadar olmalıdır. Ayrıca, basamak yüksekliği ile delik çapı oranının uygun değer değerinin altına inmesiyle taş savrulması olasılığı artacağından, deliğin serbest yüzeye yakın kısmının büyük bölümü sıkılma malzemesi ile doldurulması taş savrulma riskini azaltır.

3.1.5. Alt delme (U)

Basamak patlatmalarında, ayna tabanında basma gerilmeleri etkili olduğundan kayaçlardaki kırılma güçleşmektedir. Eğer delikler basamak yüksekliği kadar uzunlukta delinirse, ayna tabanında “tırnak” denilen kırılmamış kaya kütlesi kalacaktır. Bunu engellemek için delik botuna “alt delme” denilen bir miktar eklenir

ve tırnak kalması engellenir. Alt delme uzunluğu kayaç yoğunluğu, kayacın yapısal özelliği, delik çapı, delik yönelimi ve dilim kalınlığına bağlı olmaktadır. Alt delme genellikle dilim kalınlığının 0,3 katı uzunlukta delinir. (Bhandari, 1997).

3.1.6. Delik boyu (L)

Basamak yüksekliği ile alt delme uzunluğunun toplamı kadardır.

$$L = H + U \text{ m.} \quad (3.2)$$

3.1.7. Sıkılama mesafesi (T)

Bir patlatma deliğinde, dip ve kolon şarjından sonra patlayıcısız kalan kısma sıkılama mesafesi denir. Genellikle, dilim kalınlığına eşit uzunlukta alınır. Sıkılama işlemi, patlayıcının enerjisinin kayaca yönlendirmek için yapılır. Sıkılama mesafesinin uygun olarak tespit edilmesi ve buna bağlı olarak uygun sıkılama malzemesinin seçimi ile patlatma verimi artırılır. Sıkılama mesafesinin kısa olması, patlatma sırasında oluşan gazların kaçmasına, kaya fırlamalarına ve hava şokuna sebep olmaktadır. Deliğin delinmesi sırasında oluşan tozlar ıslatılarak sıkılama malzemesi olarak kullanılabilir (Konya ve Walter, 1990).

3.1.8. Özgül şarj (Pf)

Belirli bir fiziksel özellikteki kayaç kütlesinin kırılması için gerekli olan madde miktarına özgül şarj denir. Diğer bir ifade ile birim hacimdeki kayacı kırmak için kullanılacak patlayıcı miktarıdır. Özgül şarj tasarım parametrelerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Bhandari, 1997).

3.1.9. Cendere bölgesinde örnek bir atım için patlatma tasarım parametrelerinin belirlenmesi

Tasarım parametreleri belirlenecek olan atımda patlayıcı olarak ANFO kullanılmakta ve basamak yüksekliği 7 m. 'dir. Delik çapı ise 89 mm. 'dir. Patlatma tasarım parametreleri Olofsson'un (1988) önerdiği yaklaşıma göre hesaplanmıştır. Çizelge 3.1'de örnek atım için belirlenen temel tasarım parametreleri verilmiştir.

$$B_{\max} = 1,36 \times \sqrt{l_b} \times R_1 \times R_2 \quad (3.3)$$

$B_{\max}$: En büyük dilim kalınlığı

l_b şarj konsantrasyonu, ANFO ve 89 mm. delik çapı için 5,0 kg/m 'dir. R_1 katsayısı dik delikler için 0,95, R_2 katsayısı ise 1 'dir. Buradan;

$$B_{\max} = 1,36 \times \sqrt{5,0} \times 0,95 \times 1 = 2,89 \text{ m.}$$

$$U = 0,3 \times B_{\max} = 0,3 \times 2,89 = 0,87 \text{ m.} \quad (3.4)$$

$$L = H + U = 7 + 0,87 = 7,87 \text{ m.} \quad (3.2)$$

$$E = \frac{d}{1000} + 0,03 \times L = \frac{89}{1000} + 0,03 \times 7,87 = 0,325 \text{ m.} \quad (3.5)$$

E : Delme hatası

$$B = B_{\max} - E = 3,89 - 0,325 = 2,56 \text{ m.} \quad (3.6)$$

$$S = 1,25 \times B = 1,25 \times 2,56 = 3,2 \text{ m.} \quad (3.7)$$

T = B = 2,56 m. bulunmuştur.

Çizelge 3.1: Örnek atım için belirlenen temel tasarım parametreleri.

B (m)	S (m)	H (m)	L (m)	D (mm)	T (m)	U (m)	l_b (kg/m)
2,56	3,2	7	7,87	89	2,56	0,87	5,0

3.2. Delik Düzeni

Uygulamada delikler genellikle sıralı (kare), şaş-beş ve İsveç düzeninde delinmektedir. Sıralı düzende deliklerin yerlerinin belirlenmesi (işaretlenmesi) ve delinmesi daha kolay olmasına karşılık, şaş-beş düzeninde patlayıcı madde enerjisi, kayaç kütlesi üzerinde optimum bir yanal yayılım gösterir ve parçalanmanın eşit boyutta olmasını sağlar. Ayrıca, şaş-beş delik düzeninde patlama enerjisinden etkilenmeyen alan minimumdur.

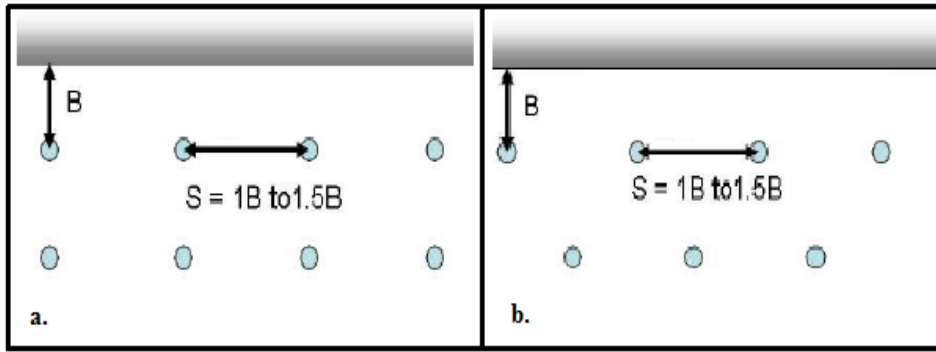
Delik düzeni saptandıktan sonra dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, delik yerlerinin ölçülerek belirlenmesi ve rahatça görülebilecek şekilde işaretlenmesidir. Eğer bu işlem titizlikle yapılmazsa, patlama sonucunda bazı bölgeler gereğinden fazla patlama enerjisinden etkilenirken bazıları çok az etkilenecektir.

3.2.1. Kare delik düzeni

Kare delik düzeninde dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe eşit alınır. Yani B/S oranı 1'dir. Kare düzende dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe eşit olduğu için delikler birbiri arkasına gelecektir. Genellikle yumuşak mukavemeti az olan kayalar da sadece kazı kolaylığı için tercih edilebilir. Sert zeminlerde tırnak oluşum riski vardır. Ayrıca kömür gevşetmeleri içinde uygulanır (Morhard ve diğ., 1987).

3.2.2. Şeşbeş delik düzeni

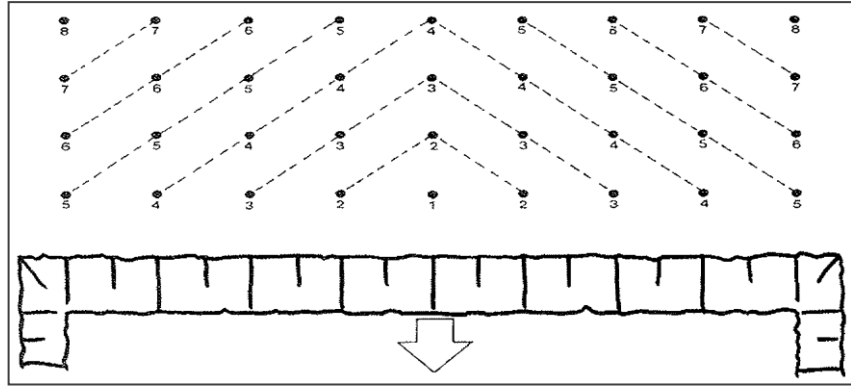
Şeşbeş delik düzeninde B/S oranı 1.15 olarak alınır. Böylece patlayıcı madde patlatma alanında daha iyi dağıtılmış olur. En çok kullanılan delik düzenidir. Şeşbeş düzende dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe eşit olabilir. Fakat genelde dilim kalınlığı delikler arası mesafeden küçük olarak ayarlanır. Bu düzende arka sıradaki delikler ön sıradaki deliklere göre ortadadır. Şeşbeş düzende patlatma sıralarının en sonunda düzgün ayna elde edebilmek için ekstra delik delinmesi gerekir (Morhard ve diğ., 1987). Şekil 3.3’de dikdörtgen, kare ve şeşbeş delik düzeni gösterilmiştir.



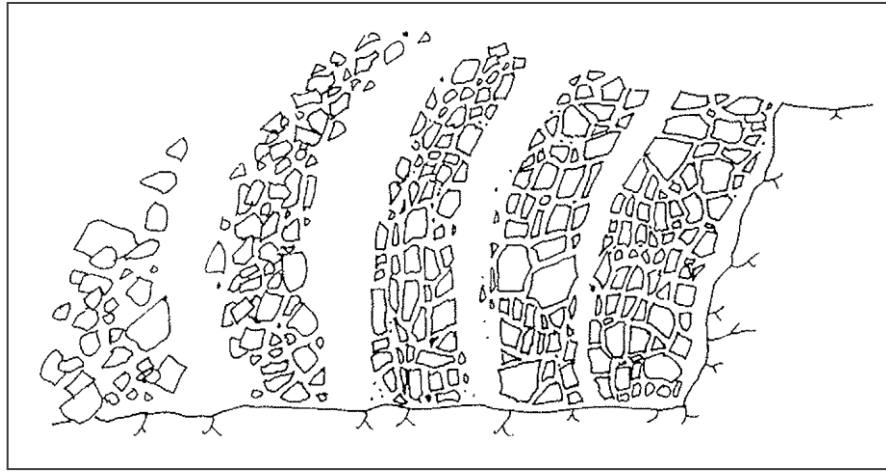
Şekil 3.3: Dikdörtgen, kare ve şeşbeş delik düzeni.

3.3. Ateşleme Sırası

Patlatmalarda delikler arasında uygulanan gecikmeler patlatma verimini, maliyeti, iş ve çevre güvenliğini etkilemektedir. Patlatmalarda gecikmeli kapsül kullanılmasının başlıca amacı her delik için bir serbest yüzey oluşturarak sıralı patlamalarını sağlamak, sıkışmayı önlemek ve patlatma verimini artırmaktır. Gecikme ile en başta patlatmaya yön verilir, patlatma sonrası pasanın kolay ve emniyetle yüklenmesi sağlanır. Patlatma gürültüsü, hava şoku ve sarsıntı azaltılır. Gecikme süresi kaya yapısına, ayna yüksekliğine ve dilim kalınlığına bağlıdır. Gecikme süresi gereğinden fazla olursa malzeme çok geniş alana yayılır, taş fırlamaları olur ve atımın kesilme riski ortaya çıkar. Gecikme süresi az olursa malzemede sıkışma olacak, malzeme yığın boyutu artacak ve tırnak kalma riski doğacaktır. Bu nedenle gecikme süresi çok iyi belirlenmelidir. Şekil 3.4’de örnek bir ateşleme düzeni, Şekil 3.5’de ise ideal gecikme uygulanmış bir atım örneği görülmektedir (Olofsson, 1988).



Şekil 3.4: Örnek bir ateşleme düzeni (Olofsson, 1988).



Şekil 3.5: İdeal gecikme ile atım anında aynanın hareketi (Olofsson, 1988)

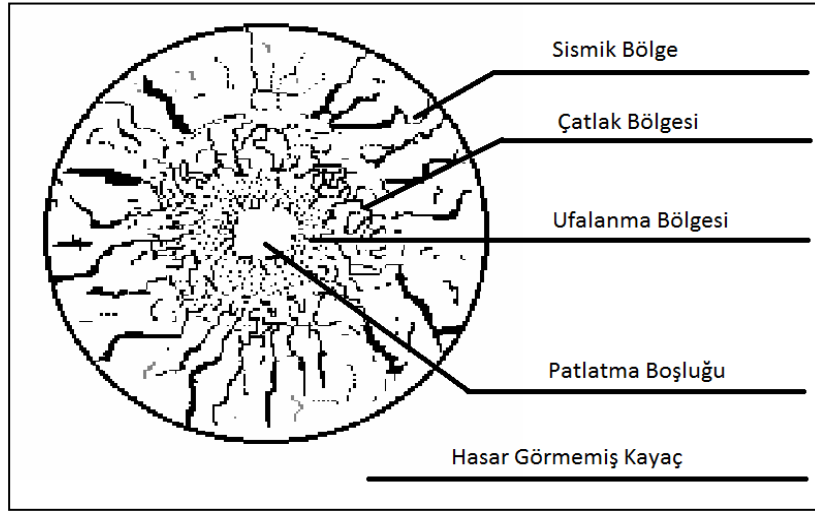
4. PARÇALANMA İLE İLGİLİ TANIMLAR

4.1. Parçalanma Prosesi

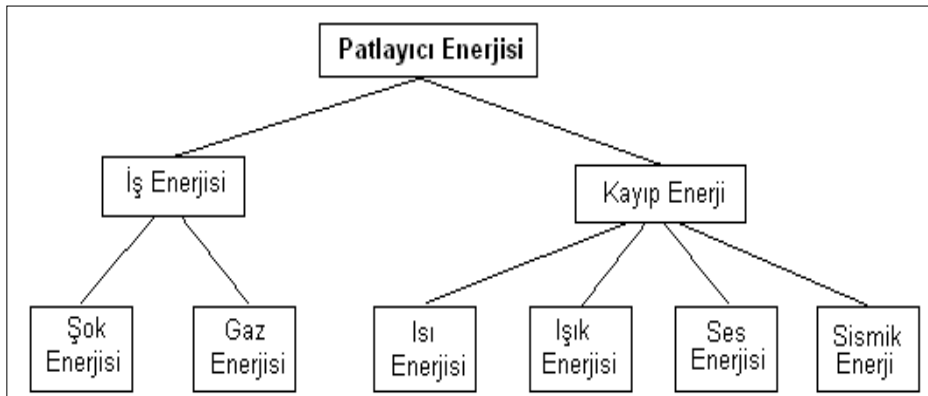
Patlatma sonrası oluşan malzemenin boyut dağılımı parçalanma derecesi ile ifade edilir. Kayacın patlayıcı maddenin enerjisine karşı gösterdiği direnç patlatılabilirliktir (Jimeno ve diğ, 1995). Parçalanma derecesi kayacın patlatılabilirliği ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Patlatma sırasında iş ve kayıp enerji olmak üzere iki çeşit enerji açığa çıkmaktadır. Parçalanmayı sağlayan şok ve gaz olarak ikiye ayrılan iş enerjisidir. Parçalanma işini yapan öncelikle şok dalgasıdır. Daha sonra patlama kaynaklı gazların yol açtığı gaz basıncı ön plana çıkmaktadır. Bir delik içerisine yerleştirilen patlayıcı maddenin patlamasıyla oluşan şok dalgası, sağlam kayaç ortamı içerisinde sismik dalgalar şeklinde enerjileri tükeninceye kadar yayılırlar. Kayaçların jeolojik ve fiziksel yapılarının gösterdiği direnç ve sismik dalganın kaynağından uzaklaşarak daha geniş bir alana yayılması nedenleriyle bu enerji söner. Deliğin içinde deliğin genişlemesine yardımcı olan ve ek olarak çatlak yüzeylerinde etkili olan gaz basıncı nedeniyle de çatlak oluşumu ve yayılımı ilerler. Oluşan gaz eksenel çatlaklar arasında kendine yol bulur. Ek olarak gazın içinde bulunduğu boşluk ve serbest yüzey arasında genişleyen gazın etkisiyle, serbest yüzey dışına doğru bükülme hareketi görülür. Sonuç itibarıyla parçalanmış kaya serbest yüzeyin dışına doğru atılmaktadır. Bu sırada parçaların birbirine çarpmasından dolayı ekstra bir parçalanma oluşmaktadır. Patlatma sırasında oluşan enerji nedeniyle delik çevresinde Şekil 4.1’de gösterilen zonlar oluşmaktadır (Morhard ve diğ., 1987).

İlk aşama, patlatmanın olduğu noktadan başlar ve delik duvarlarındaki kırılmalar ile genişleme oluşur. Bu zona, Oluşum bölgesi ya da patlatma boşluğu adı verilir. İkinci aşama, patlatma boşluğunun hemen etrafını saran kısımdır. Kompresyon gerilim dalgası, kayaç içinde ses dalgaların yayılma hızına eşit hızda, delikten her yöne doğru yayılır. Bu dalga, serbest kayaç yüzeyine karşı yansıdığı anda, kaya kütlesi ile serbest yüzey arasında çekme gerilimlerine neden olurlar. Kayacın çekme

mukavemeti geçildiğinde, kayaç kırılır. Bu zona, geçiş bölgesi adı verilir. Bu bölge içinde de bazı alt-bölgeler yer alır. Bunlar; ufalanma ve çatlak bölgeleridir. Teoride, geçiş bölgesi patlayıcı tarafından yaratılan yüksek düzeydeki basıncın ani olarak düştüğü noktada baslar. Ani düşüş enerjisinin sok dalgaları, plastik akma, ufalanma ve çatlama gibi olaylara neden olur. Çatlaklar, ısınsal uzantılara sahiptir. Üçüncü aşamada, serbest hale geçen gaz büyük bir basınç ile çatlak yapılarına girer ve çatlakları genişletir. Eğer patlama deliği ile serbest yüzey arasındaki mesafe doğru olarak hesaplanmış ise, bu arada yer alan kaya kütlesi ileri doğru hareket edecektir. Bu bölgelerin bitiminde, katı ortamın sismik tahribattan sonra, orijinal yapısına döndüğü bölge başlar (Morhard ve diğ., 1987). Şekil 4.2’de patlayıcı enerjisinin kullanımı verilmiştir.



Şekil 4.1: Delğin etki alanında bulunan kayaç bölgeleri (Morhard ve diğ., 1987).



Şekil 4.2: Patlayıcı enerjisinin kullanımı.

4.2. Parçalanma Kavramını Etkileyen Kayaç Özellikleri

Patlatma tasarım parametreleri dışında, atım sonrası oluşan malzemenin boyut dağılımını etkileyen diğer parametreler ise kayacın jeomekanik özellikleri ve kaya kütlelerinin yapısıdır. Jeomekanik özellikler; elastisite modülü, basınç dayanımı, çekme dayanımı, poisson oranı, bulk modülü, kaya materyalin basınç dalgalarını ve kesme dalgalarını iletim hızıdır (Bhandari, 1997). Kaya kütlelerinin yapısal özellikleri ise çatlak tokluğu, çatlaklar arası mesafe, çatlakların boyu ve yönelimi, çatlakların içindeki dolgu malzemesi, çatlak açıklığı, kesme direnci, yer altı ve yer üstü suları da etkilidir. En verimli tasarım parametrelerinin belirlenmesi için kayacın bütün özelliklerinin iyi bir şekilde incelenmeli, örneklerin önceden laboratuvarlarda incelenerek uygun seçim yoluna gidilmelidir. Bu tez kapsamında incelenen atımlar İstanbul, Kemerburgaz Caddesi, Cendere Yolu üzerinde bulunan üç ocakta gerçekleştirilmiştir. Bu ocaklar Akdağlar Madencilik, Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. ve Oyak Beton Sanayi ve Tic. A.Ş.'ye ait agrega ocaklarıdır. Bölgenin jeolojisi ve kayaç özellikleri ile ilgili bilgiler 8. Bölümde verilmiştir.

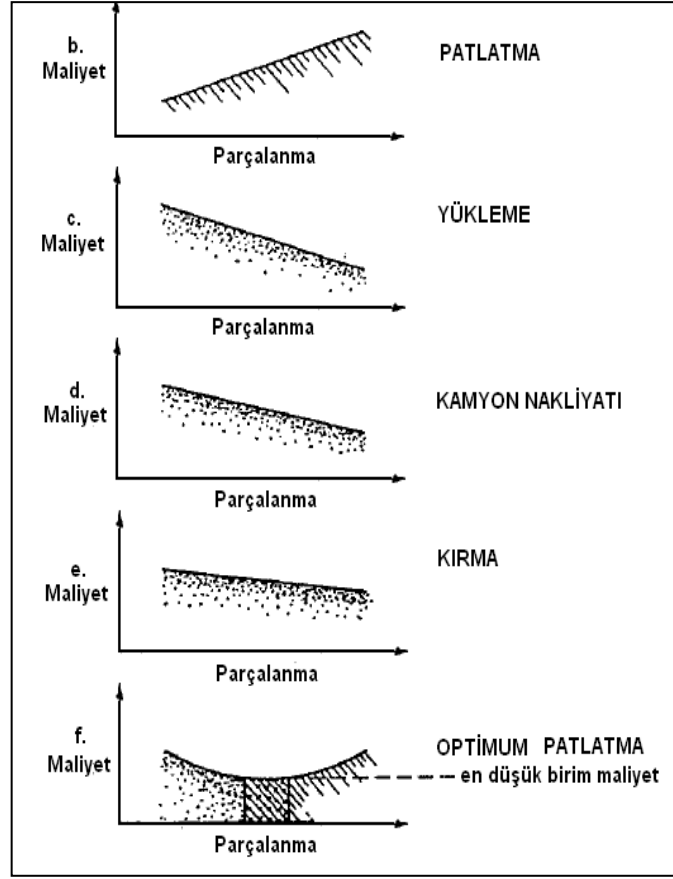
4.3. Parçalanma Verimliliğinin Önemi

“İstanbul’da artan inşaat faaliyetleri agrega ihtiyacını sürekli artırmakta, kısıtlı sayıdaki ocakların en yüksek verimlilikte çalışma zorunluluğu doğmaktadır.” (Hüdaverdi ve Akyıldız, 2015). Parçalanma verimliliği, atım sonrası boyutu küçültülen malzemenin hangi amaçla kullanılacağına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Atım sonrası oluşan malzemenin boyutu kayacın kullanım amacına göre olumlu ya da olumsuz olarak değerlendirilebilir. İstenilen parça boyutu, işletmede kullanılan makine ve ekipmanın kapasitesine de bağlıdır. İdeal bir atım sonrasında çok küçük veya ikinci bir atıma ihtiyaç duyulacak kadar büyük parçalar oluşmamalıdır. Parçalanma verimliliğinin yüksek olması ile işletme için büyük avantajlar sağlanabilir. Bunlar;

- Yığının kazılabilirliğini artırarak kepçe yükleme verimi ve kamyon/kepçe dolma faktörlerini arttırmak,
- Kırıclara homojen boyut dağılımına sahip malzeme yükleyerek saat başına malzeme miktarını arttırmak,
- Patlama sonrasındaki (kıрма ve öğütme de dahil olmak üzere) proseslerde enerji tasarrufu yapmak,

- Patlatma sırasında çevrede oluşabilecek hasarı azaltmak ve cevher ile yan taşın birbirine karışmasına engel olmak,
- Kırma, öğütme prosesleri ve taşıma, nakliyatı aşınmayı engellemek,
- İlk yatırım maliyetini düşürmek amacıyla daha küçük ekipman kullanmak (Ouchterlony, 2003).

Yukarıda sayılan tüm avantajlar bir araya geldiğinde işletmenin delme-patlatma, yükleme, taşıma ve kırma maliyetlerinin tümünde bir azalma söz konusu olacaktır. “Bununla birlikte yükleme ve kırmadaki verimlilik artışı, patlatma maliyetindeki artışı önemsiz kılacaktır.” (Hüdaverdi ve diğ., 2009). Ancak delme-patlama sonrasındaki işlemlerin maliyetinin düşürmek için gereksiz delme-patlatma işinin yapılması yine bir gider olarak işletme ekonomisine yansır. Bunun sonucunda etkisini Şekil 4.3 ‘den gözlemleyebildiğimiz gibi maliyet artışı olacaktır. Bu yüzden delme-patlatma tasarım parametreleri belirlenirken, hem patlayıcı madde hem delme işlemi hem de atım sonrası işlemler göz önünde tutularak maliyetin minimum olduğu nokta belirlenerek patlatma gerçekleştirilmelidir. Şekil 4.3’de patlatma kaynaklı parçalanmanın ardışık operasyonlar üzerindeki etkisi gösterilmiştir. B grafiğinden anlaşılması gereken kullanılan patlayıcı madde miktarı arttıkça parçalanma verimi de artmaktadır, ta ki bir noktaya kadar. Aşırı miktarda patlayıcı madde kullanılması kayacın çok küçük boyutlara ayrışmasına sebep olacağı göz ardı edilmemelidir. C-şikkı ise Parçalanma sonrasında iri blokların olmaması yığını kolay kazılabilir hale getirerek kamyon ve kepçe dolma faktörlerini yükseltmektedir. Bu durum kepçe yükleme verimini artırarak yükleme masraflarını pozitif etkilemektedir. Ayrıca, kırma, öğütme, yükleme ve nakliyatı aşınma problemi engellenmiş olur. D şikkında yığın içerisindeki materyalin üniform bir boyut dağılımı göstermesi ile daha küçük yükleyici, kamyon, kırıcı kullanarak ilk yatırım maliyeti düşürülebilir. Ayrıca, parçalanmanın verimli olması ile cevherle yan taşın karışmasını engellemektedir.



Şekil 4.3: Patlatma kaynaklı parçalanmanın operasyonlar üzerindeki etkisi

Kırıcılara uygun boyutta malzeme beslenerek saatlik geçen malzeme miktarı artırılır. Böylece, kırma ve öğütme dâhil olmak üzere, patlatmayı izleyen ardışık proseslerde enerji tasarrufu sağlanır. Ayrıca değirmenden geçen malzeme miktarı artırılarak, ton başına işlenmiş cevher için enerji tüketimi düşürülmektedir. Yukarıda sayılan her bir parametre göz önüne alınarak en uygun patlatma tasarımı yapılmalıdır. Örneğin, yükleme ve kırma maliyetlerini düşürmek için çok fazla delik delinerek hem delme hem de patlayıcı madde masrafı artırmak işletme için daha masraflı bir hal alabilir. Parametreler en düşük birim maliyeti gerçekleştirecek şekilde seçilmelidir (Mckenzie, 1967).

5. PARÇALANMANIN KONTROLÜ VE YAPILAN ÇALIŞMALAR

“Patlatma işinde, mekanik kazıdan farklı olarak kesintili bir enerji yüklemesi yapılmaktadır. Bu yükleme kısa bir süre içinde gerçekleşmekte ve mekanize kazıdaki tersine sürekli olmayan belirli aralıklarla tekrarlanan bir karakterdedir.” (Kuzu ve Hüdaverdi, 2006, s. 347) Delme patlatma ile üretim yapılan ocaklarda parçalanma verimliliği işletme ekonomisi açısından hayati bir öneme sahiptir. Ancak, büyük ölçekli atımlarda parçalanmanın tahmini oldukça zordur. Bu nedenle nümerik bir tahminle, malzemenin parça boyut dağılımını tespit etmek patlatma optimizasyonu ve değerlendirilmesi açısından kolaylık sağlamaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda yığının ortalama parça boyutunu belirlemeye yarayan eşitlikler ve boyut dağılımı eğrileri üretilmiştir. Burada araştırmacıların karşılaştığı zorluk çalışılan kaya tipi aynı olsa bile kayacın yapısal özelliklerinin farklı olmasıdır. Bu bölümde 4. Bölüm ‘de tanıtılan parçalanma üzerinde etkili olan parametrelerin verimlilik açısından önemi, çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konan bilgiler ışığında tartışılacaktır.

5.1. Kuz-Ram Parçalanma Tahmin Modeli

Kuz-ram tahmin modeli, parçalanma tahmininde sıklıkla kullanılan yaklaşımlardan birisidir. Boyut dağılımının tahmini için en popüler olan bu model Cunningham’ın (1983-1987) geliştirdiği Kuz-Ram modelidir. Kuz-Ram tahmin modeli, ilk olarak V.M Kuznetsov (1973) tarafından önerilen ampirik eşitlik ile Rosin-Rammler (1983) tarafından önerilen boyut dağılım fonksiyonunun Cunningham’ın (1983) birleştirmesiyle elde edilmiştir. Bu model parça boyutunu veren bir eşitliğe, kayacın yapısını belirleyen bir yaklaşıma ve parça boyut dağılım eğrisinin çizilmesinde kullanılan Rosin-Rammler eğrisine dayanmaktadır.

Ortalama parça boyutunu veren Kuznetsov (1973) denklemi şu şekilde ifade edilir:

$$x_{50} = A (V_o / Q_e)^{-0,8} \cdot Q_e^{0,167} \cdot (115 / E)^{0,633} \quad (5.1)$$

Burada,

x_{50} = Ortalama parça boyutu (cm.)

A = Kaya faktörü (1–13, ortalama kayaç: 7)

Q_e = Delik içindeki patlayıcının miktarı (kg)

V_o = Delik başına kayaç hacmi ($V_o = B \times S \times H$)

B = Dilim kalınlığı (m)

S = Delikler arası mesafe (m)

H = Basamak yüksekliği (m)

E = Patlayıcının karşılaştırmalı ağırlıkça kuvvetidir. (ANFO = 100)

Patlatma işleminden sonra oluşan yığının ortalama parça boyutunu belirlemek üzere kullanılan eğri ise Rosin-Rammler denklemi olarak bilinen eğri denklemdir. Bu yaklaşım daha çok Güney Afrika menşeli bir firma olan “African Explosives and Industries (AE&I)” tarafından delme patlatma tasarımında kullanılmıştır. Daha sonra Rosin-Rammler eşitliği atım sonrası parça boyut dağılımının belirlenmesi ve parçalanma eğrisinin çiziminde de kullanılmıştır.

$$R = e^{-(x/x_c)^n} \quad (5.2)$$

Burada;

R : Elek üzerinde kalan malzemenin oranı

x : Elek açıklığı

x_c : Yüzde miktarı bulunacak parça boyutu

n : Üniformite indeksi olmaktadır.

Patlatma işleri için Rosin-Rammler formülü kullanıldığında X_c karakteristik boyut olarak belirlenir ve malzemenin % 63,2’sinin geçtiği açıklığı gösterir.

5.1.1. Cunningham’ın katkısı

Bir atımın verimli olup olmadığını belirlemek için ortalama parça boyutunu bilmek yeterli değildir. Örneğin, iki farklı atım sonucunda ortalama parça boyutu aynı fakat boyut dağılımı farklı olan iki yığın meydana gelmiş olabilir. Çok ince veya çok iri malzemenin bir arada olması ortalama parça boyutunu makul bir değerde tutsa dahi bu iri ve ince malzemenin bulunması atım sonrası işlemler için sorun teşkil edecektir. Cunningham (1983-1987) boyut dağılımını tam olarak göstermek için üniformite indeksinin nasıl hesaplanacağını ortaya koymuştur. Cunningham üniformite

indeksini hesaplarken birçok parametreyi hesaba katmıştır. Bunlar; atım geometrisi, delik çapı, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, delik uzunluğu ve delik sapmasıdır.

Cunningham (1983), üniformite indeksi için 5.3 no'lu bağıntıyı ortaya koymuştur. Ayrıca, şaşbeş delik düzeni tercih edilen atımlar için formülün 1,1 katsayısı ile çarpılması gerektiğini belirtmiştir.

$$n = 1,1 \times \left(2,2 - 14 \frac{B}{D}\right) \left(\frac{1+\frac{S}{B}}{2}\right)^{0,5} \left(1 - \frac{W}{B}\right) \left(\frac{L}{H}\right) \quad (5.3)$$

Bu bağıntıda;

- D : Delik şarj çapı (mm)
- B : Dilim kalınlığı (m)
- S : Delikler arası mesafe (m)
- W: Delik sapmalarının standart sapması (m)
- H : Basamak yüksekliği (m)
- L : Şarj uzunluğu (m)' dur.

5.1.2. Lilly'nin katkısı

Lilly (1986) tarafından geliştirilen patlatılabilirlik indeksi Kuznetsov denklemindeki kayaç faktörünü hesaplamak için Cunninham (1987) tarafından modele dâhil edilmiştir. Kayaç faktörü Cunningham'ın en yeni yorumu göz önüne alınarak şu şekilde hesaplanmaktadır (Cunningham, 2005);

$$A = 0,06 (RMD + RDI + HF) \quad (5.4)$$

- RMD: Kaya kütle sınıflaması
 - Çok çatlaklı parçalanmış kaya=10,
 - Masif kaya kütlesi = 50,
 - Eğer düşey yönde süreksizlikler varsa RMD=JF,

$$JF = (JCF \times JPS) + JPA, \quad (5.5)$$

- JCF: Eklem durum faktörü
 - Sıkı çatlak=1,0,
 - Aralıklı çatlak = 1,5,
 - Dolgu malzemeli çatlak = 2,0
- JPS: Eklem düzlemi aralığı

- $<0,1 \text{ m} = 10,$
- $0,1-0,3 \text{ m} = 20,$

Eklem düzlemi aralığı $> P = 50,$

Eklem düzlemi aralığı: $0,3 \text{ m} - 0,95 \times P = 80$

$$P = (B \times S)^{0,5} \quad (5.6)$$

- JPA: Eklem düzlemi yönelimi
 - Aynanın dışına doğru dalan = 20,
 - Aynaya paralel = 30,
 - Aynanın içine doğru dalan = 40
- RDI: Özgül ağırlık etkisi
 - $RDI = (25 RD - 50), RD: \text{Kayaç özgül ağırlığı (t/m}^3\text{)}$
- HF: Sertlik katsayısı:
 - $E = \text{Elastisite modülü}$
 - $E < 50 \text{ GPa}$ ise $HF = E/3$
 - $E > 50 \text{ GPa}$ ise $HF = UCS/5,$

$UCS = \text{Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)}$

Bu tez kapsamında kayaç faktörünün belirlenmesi için yapılan örnek bir hesaplama aşağıdaki gibidir;

$$A = 0,06 (RMD + RDI + HF) \quad (5.4)$$

JPS: 80 (Eklem düzlemi aralığı)

$$P = (B \times S)^{0,5} = (2,2 \times 2,6)^{0,5} = 2,39$$

$$0,3 \text{ m} - 0,95 \times 2,39 = 2,27; 0,3 \text{ m} - 0,95 \times P = 80.$$

JPA: 20 (Aynanın dışına doğru dalan)

$$RMD: JF = (JCF \times JPS) + JPA = (1 \times 80) + 20 = 100 \quad (\text{Eğer düşey yönde süreksizlikler, JCF: Eklem durum faktörü: Sıkı çatlak} = 1,0)$$

$$RDI: (25 RD - 50) = (25 \times 2,7 - 50) = 17,5$$

$$HF: E/3 = (15,9/3) = 5,3 (E < 50 \text{ GPa})$$

$$A = 0,06 (RMD + RDI + HF) = 0,06 \times (100 + 17,5 + 5,3) = 7,37$$

Cunningham (2005) kayaç faktörünün tam olarak belirlenebilmesi için bir düzeltme katsayısı ile çarpılması gerektiğini belirtmiştir. Buna göre kayaç faktörünün hesaplanması şu şekilde son bulur;

$$A = 0,06 (RMD + RDI + HF) \times C(A)$$

Burada C(A) 0,5 ile 2 arasında alınabilecek olan düzeltme faktörüdür. Kayaç faktörü 0,94 ile çarpılarak 7 olarak bulunmuştur. Günümüzde kimi araştırmacılar hesaplama yapmadan Kuznetsov (1973)'un orijinal formülde öne sürdüğü ortalama kayaç faktörü değerini kullanmıştır.

5.2. Swebrec Denklemi ve KCO (Kuznetsov-Cunningham-Ouchterlony) Modeli

KCO dağılım modeli Ouchterlony (2005) tarafından Kuz-Ram modelinin eksikliklerinin giderilmesini önermiştir. Ouchterlony, Kuz-Ram modelinin boyut dağılımının tahmininde ince ve iri boyut oranlarında hatalı olduğunu göz önünde bulundurarak Rosin-Rammler fonksiyonundan daha farklı bir fonksiyon önermiştir. Swebrec fonksiyonu olarak bilinen bu fonksiyon kullanılarak boyut dağılımı modelini Ouchterlony 2005 yılında yayınlamış ve KCO (Kuznetsov, Cunningham, Ouchterlony) dağılım modeli olarak adlandırmıştır. KCO modelinde ortalama parça boyutu Kuznetsov denklemiyle bulunmaktadır. Ayrıca 5.7 numaralı formülde verilen eğri denkleminde en büyük parça boyutu kullanılmıştır. Eğrinin çizilebilmesi için bir eğri şekil katsayısı (b) tanımlanmıştır.

$$Rm = \frac{1}{\left\{ 1 + \left[\frac{\ln \frac{X_{max}}{X}}{\ln \frac{X_{max}}{X_{50}}} \right]^b \right\}} \quad (5.7)$$

X_{max} : En büyük parça boyutu

X_{50} : Ortalama parça boyutu

X : Yığın içerisindeki dağılımı bulunacak parça boyutu

$$b = \left[2 \ln 2 \ln \left(\frac{X_{max}}{X_{50}} \right) \right] n \quad (5.8)$$

b: Eğri şekil katsayısı

n: Üniformite indeksi

6.YIĞININ ORTALAMA PARÇA BOYUTUNUN BELİRLENMESİ

Patlatma işlemleri sonucu oluşan yığının parça boyut dağılımının ölçümü doğru bir patlatma tasarımı için gereklidir. Patlatma sonrası oluşan yığının ortalama parça boyutunun belirlenmesi birkaç şekilde yapılmaktadır. Bunlardan bazıları şunlardır; görsel – gözlemsel yöntemler, fotoğraflama tekniği, geleneksel ve yüksek hızlı fotogrametri, patar sayımı yöntemi, ikincil atımlarda patlayıcı tüketimi, ekskavatörün yükleme performansı, birincil kırıcı performansı, elek analizleri, tane-numune metodu, görüntü işleme metodu. Ayrıca günümüz teknolojisi yardımıyla çok verimli şekilde sonuç alınan dijital görüntü işleme tekniği de mevcuttur. Bu tez kapsamında ortalama parça boyutu analizi dijital görüntü işleme yolu ile WipFrag yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

6.1. Dijital Görüntü İşleme Yazılımları Yoluyla Parça Boyutu Analiz

1980'lerin başında ortaya çıkan yöntem günümüze kadar geliştirilmiş olup, bugün birçok maden ve üniversitede kullanılmaktadır. Yöntemin çok fazla tercih edilmesinin sebeplerinden biri üretimi kesintiye uğratmadan analizlerin yapılıyor olmasıdır. Ayrıca son üretilen sürüm ile gerçek zamanlı parça boyut dağılımının belirlenmesi de mümkün olmaktadır. Dijital görüntü işleme yazılımlarına Split, Goldsize ve WipFrag - WipJoint yazılımları örnek verilebilir. Bu tez kapsamında Wipware Inc. Şirketi bünyesinde Maerz ve arkadaşları (1996) tarafından geliştirilen WipFrag - WipJoint yazılımları kullanılacaktır. Bu program dijital dosyalar, fotoğraflar, video görüntüleri üzerinden çalışmaktadır. Program dijital görüntüdeki parçaları sahip olduğu algoritma ile otomatik olarak belirlemekte ve geometrik olasılıklardan yararlanarak iki boyutlu parça boyut dağılımından üç boyutlu dağılıma geçmektedir.

6.2 Parça Boyutunun Tayininde WipFrag Program

WipFrag yazılımı, görüntü bilgisayara yüklendikten sonra içerisindeki algoritma yoluyla parça sınırlarını belirleyerek bir ağ oluşturmaktadır. Oluşabilecek muhtemel hataların düzeltilmesi ise kullanıcının oluşturulan ağa elle müdahalesi ile giderilir.

Programın otomatik olarak oluşturduğu ağ ile gerçek görüntü arasındaki farklar kullanıcı tarafından düzeltilir. Oluşturulan iki boyutlu ağ üzerinden üçüncü boyuta

geçiş ise stereoloji bilimi ile olmaktadır. Stereoloji, katı cisimlerin iki boyutlu kesitlerini veya projeksiyonlarını kullanarak, bu cisimlere ait üçüncü boyutu araştıran bilim dalıdır. Burada parçaların iki boyutlu profillerinin boyutu kullanılarak, üç boyutlu gerçek parça boyutu kestirilir (WipFrag 2.6, 2007).

WipFrag yazılımı ile parça boyutunun belirlenmesinde birçok avantaj sağlanır. Bunlardan biri görüntü işleme hızlı ve ucuz bir yöntemdir, bir çok örnek rahatlıkla analiz edilebilir. Bu sayede örnekleme hatasını minimuma indirmek mümkün olmaktadır. Bu yöntem kullanılırken madencilik faaliyetlerinin durdurulması gerekmez (Maerz ve diğ., 1996).

6.2. Analizde Kullanılacak Fotoğrafların Çekim Tekniği

Dijital görüntü işleme yazılımında analiz edilecek fotoğraflar titizlikle çekilmelidir. Görüntü analizi için fotoğrafın, yüksek kalitede olması gerekmektedir bu yüzden fotoğraf çekilirken ışık durumu ve netlik iyi ayarlanmalıdır. Fotoğraflar yığına dik ve açılı olmak üzere iki şekilde çekilebilir. Eğer açılı fotoğraf isteniyorsa, pasanın tümü fotoğraflanacaksa iki ayrı ölçek kameraya yakın ve kameraya uzak olarak yerleştirilerek görüntü alınır. Bu tez kapsamında yığın açılı şekilde görüntülenerek analizler yapılmıştır. Fotoğraflarda dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ise ışık miktarıdır. Yazılımın en iyi sonucu vermesi için yığının dik şekilde ışık alması gerekmektedir. Yazılımlar genellikle her parçanın eşit şekilde parlak olduğu ve parçaların çevresinin üniform ince bir gölgeyle çevrili olduğu durumda en verimli şekilde çalışmaktadır (Maerz, 1996b). Eğer görüntüde karışıklık (kontrast) çok fazlaysa parçaların yüzeyi yazılım tarafından yanlış yorumlanmakta ve tek bir parça küçük parçalara bölünmektedir. Bu görüntü işleme yazılımları kullanılırken karşılaşılan önemli hatalardan biridir ve fizyon (parçalanma-bölünme) olarak adlandırılmaktadır (Palangio, 2000). Diğer yandan kontrast çok düşükse parçaların etrafındaki onları ayıran gölge kaybolur, birden fazla parça birleşerek tek bir parça gibi görünür. Bu durum bir diğer önemli hatadır ve füzyon (birleşme-kaynaşma) olarak adlandırılmaktadır (Katsabanis ve Franklin, 1996).

6.2.1. Fotoğraflamanın Yapılacağı Konum

Yapılan analizin en verimli sonucu vermesi için yığından birkaç parça görüntü alınmalıdır. Bu görüntüler mümkün olduğunca yığının tümünü temsil eden yerlerden alınmalıdır. Çok büyük veya çok küçük parçaların olduğu noktaların görüntülenmesi

analizin doğru bir sonuç vermesine mani olacaktır. Ayrıca, çok yakın veya çok uzak mesafelerden çekilen fotoğraflarda analizin gerçekten daha ince veya iri sonuçlar vermesine sebep olur. Bu nedenle görüntü alma mesafesi mümkün olduğunca aynı ve optimumda tutulmalıdır. Üretimin aksamaması ve yükleme sırasında parçaların kırılacağı ön görülerek, fotoğraflama kamyon üzerinden değil yığın yüzeyinden yapılmıştır. Fotoğraflama yapılırken dikkat edilecek hususlar;

- Fotoğrafta mümkünse 300'den fazla parçanın bulunması,
- Mümkünse sıfır açıyla kamera eksenini yığın yüzeyine dik bir şekilde fotoğraflar alınması veya iki ölçekli açılı fotoğrafların alınması,
- Fotoğraflarda gölgelendirmeden ve aşırı ışıktan kaçınılması gerekir.

Fotoğraflama sırasında aşırı ışık veya gölgelerin çok olması sebebiyle yazılım bazı parçaları birleştirerek tek parça halinde görmektedir. Bazen de tek bir parçayı karışıklığın az veya çok olmasından dolayı birden çok parça olarak görmekte ve analizin hatalı sonuç vermesine sebep olmaktadır (Palangio ve Maerz, 1999). Programın otomatik olarak oluşturduğu ağ ile gerçek görüntü arasındaki farklar kullanıcı tarafından düzeltilir.

6.2.2. Fotoğraflarda Ölçekleme

Yığın üzerinde boyut dağılımını belirleyici olması açısından boyutu belli olan bir ölçeğin yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu ölçeğin boyutu analiz aşamasında programa girilecek ve bu uzunluk sayesinde program yığındaki diğer parçaların boyutunu hesaplayacaktır. Bu çalışmada yığın içerisinde her yönden kolayca görülebilmesi açısından 22 cm. çapında toplar bu amaçla kullanılmıştır. Fotoğraflama yapılırken aynı gözlem ölçeği ile çok sayıda fotoğraf alınır. Bu fotoğraflar alınırken kameranın ölçeğe olan uzaklığı aynı tutulmalıdır. Fotoğraflar tek tek analiz edildikten sonra yazılımın “birleştirme-merge” özelliğinden faydalanılarak tüm analizler tek bir dosyada birleştirilir ve tüm yığın için analiz sonucu elde edilir (WipFrag 2.6, 2007).

6.2.3. WipFrag yazılımı ile yapılan bir parça boyut dağılımı analizi örneği

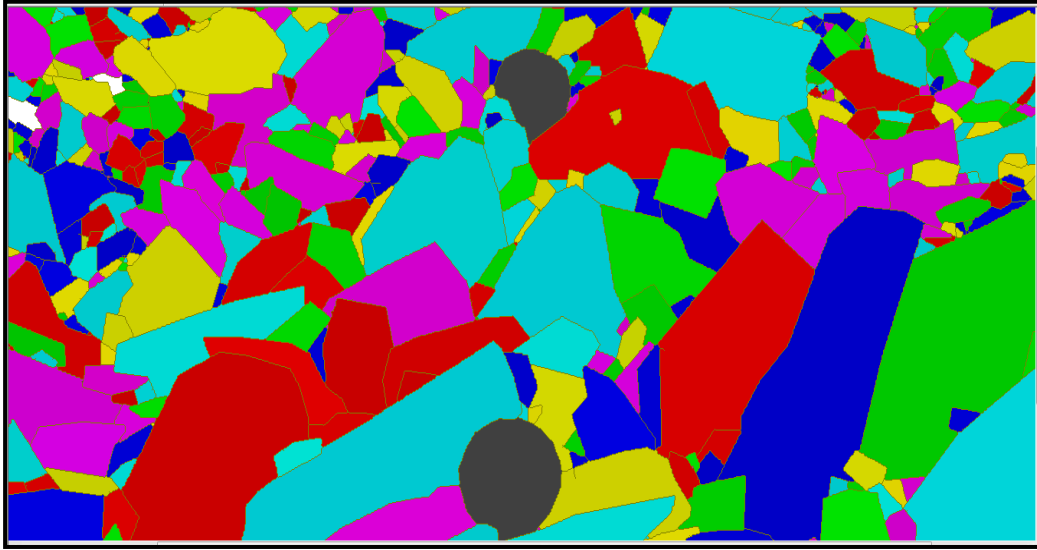
6.2.3.1. WipFrag yazılımı ile açılı fotoğraflardan yapılan analiz örneği

Görüntü işleme yazılımları kullanılırken alınan fotoğraflama açısı önemli bir parametredir. Bu bölümde yığın açılı olarak fotoğraflanmış ve analizler bu

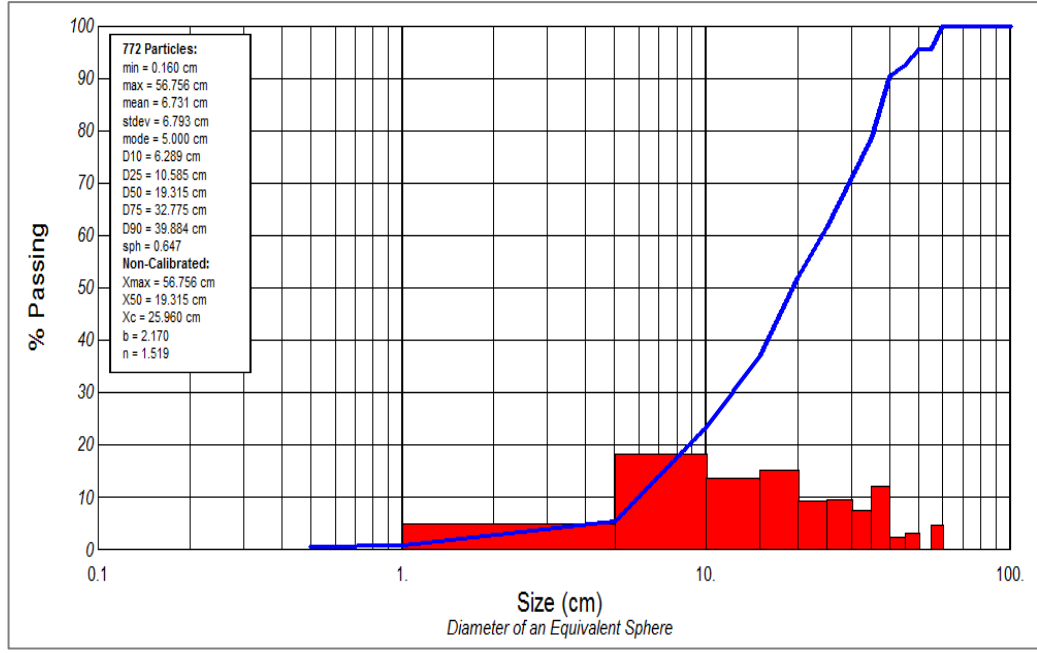
fotoğraflarla gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.1’de tez kapsamında analiz edilen 6. atım sonrası oluşan yığının görüntüsünün açılı olarak çekilen fotoğrafı, Şekil 6.2’de ise bu fotoğrafın işlenmiş hali görülmektedir. Sonuç olarak, Şekil 6.3 ‘den görülebileceği gibi ortalama parça boyutu 19,3 cm. ve uniforme indeksi 1,5’dir.



Şekil 6.1: Tez kapsamında analiz edilen 6. atım sonrası oluşan yığının görüntüsü.



Şekil 6.2: 6. Atım sonucu oluşan yığında WipFrag yazılımı ile tespit edilen parçalar.



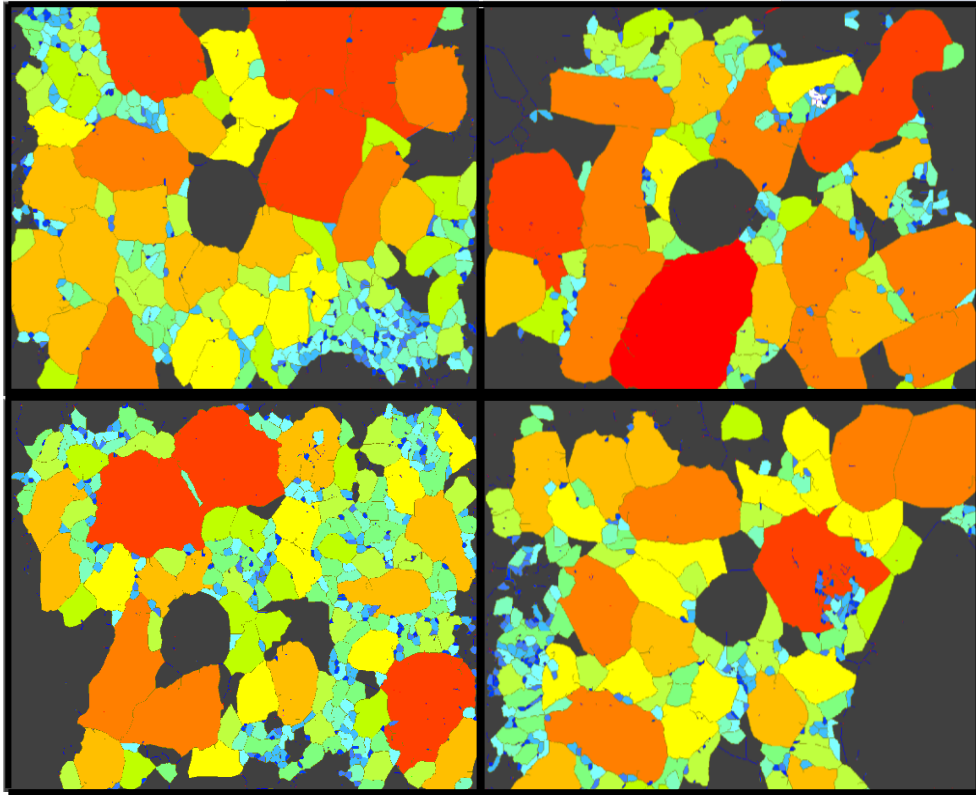
Şekil 6.3: 6. atımın parça boyut dağılımı.

6.2.3.2. WipFrag yazılımı ile dik fotoğraflardan yapılan analiz örneği

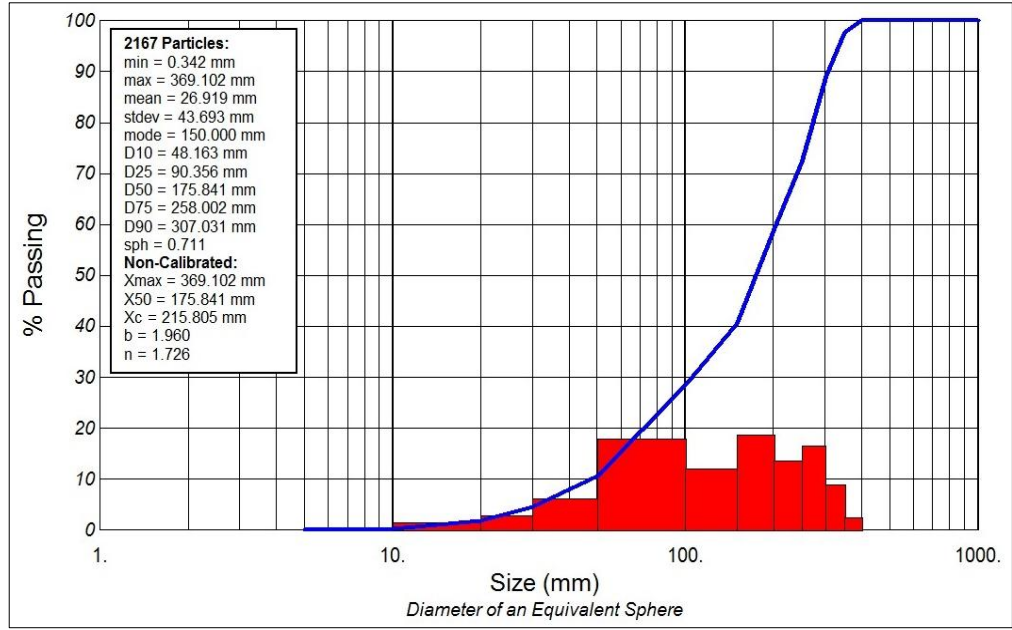
Şekil 6.4’de yığından dik açıyla alınan fotoğraflar görülmektedir. Bu dört fotoğraf yığını karakterize eden farklı noktalardan alınmıştır. Şekil 6.5 ’de ise bu fotoğrafların WipFrag yazılımı ile işlenmiş halleri görülmektedir. Sonuç olarak, Şekil 6.6 ‘dan da görülebileceği gibi ortalama parça boyutu 17,6 cm. ve üniformite indeksi 1,7 bulunmuştur.



Şekil 6.4 : 11. Atıma Ait Fotoğraflar



Şekil 6.5 : 11. Atıma ait fotoğrafların işlenmiş hali



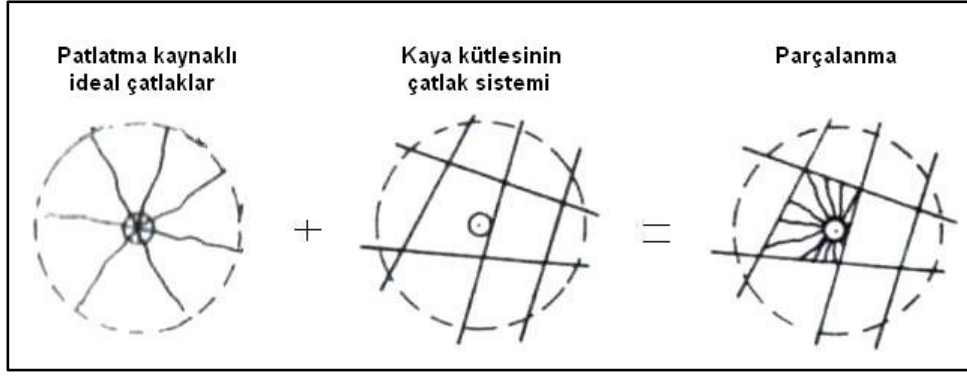
Şekil 6.6 : 11. Atımın için elde edilen örnek bir boyut dağılım eğrisi

7. SÜREKSİZLİKLERİN VE BLOK BOYUTUNUN BELİRLENMESİ

7.1 Süreksizliklerin Patlatma Açısından Önemi

Kaya kütleleri; sürekli, homojen ve izotrop malzemelerden olmayıp, çeşitli süreksizlikler tarafından kesilirler. Bu nedenle, dış yüklere maruz kalabilen söz konusu kütlelerin davranışı, içerdikleri süreksizliklerin özellikleri dikkate alınmadan gerçeğe yakın şekilde analiz veya önceden tahmin edilemez. Kaya kütlesi davranışının ortaya konmasında en önemli aşama süreksizliklere ait özelliklerin tanımlanmasıdır. Bunlardan patlatma açısından en önemlilerinden biri çatlaklar arası mesafedir. Süreksizlik aralığı, kaya kütlelerinde komşu iki süreksizlik veya birbirine paralel eklemlerden oluşan bir süreksizlik setindeki iki süreksizliğin arasındaki dik mesafedir. Bu parametre, kaya kütlelerinin dayanımı ve davranışı üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğu için, yerüstü kazılarının veya açıklıklarının duraylılıklarını doğrudan etkilemektedir. İdeal olarak kaya kütlesi kavramı, süreksizlik düzlemleri tarafından bloklara ayrılmış bir sistemi ifade eder (Jimeno ve diğ., 1995).

Patlatma sırasında kaya kütlelerinin davranışının belirlenmesinde süreksizlik sıklığı, yönelimi ve blok boyutu büyük önem arz eder. Kayacın içerisindeki doğal çatlaklar, deliğin çevresindeki patlatmanın etkili olduğu alan üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Bu çatlaklar nedeniyle patlatma deliğinin etkin olduğu çap azalabilir. Ayrıca, kayacın içerisindeki çatlaklar patlama esnasında oluşan gazlar için kaçış olanağı sağlayarak patlatma verimini düşürebilir. Ek olarak, kaya kütlelerinde bulunan süreksizlikler kopma yüzeyleri oluşturarak kayacın daha kolay parçalanmasını sağlamakta ve özgül şarjın düşmesine imkân vermektedir. Tüm bu etkiler göz önünde tutularak delikler parçalanmanın iyi ve maliyetin de düşük olduğu optimum bir noktada belirlenmelidir. Şekil 7.1’ de çatlaklı yapının parçalanma üzerine etkisi gösterilmiştir (Hustrulid, 1999).



Şekil 7.1 : Çatlaklı yapının parçalanma üzerine etkisi (Hustrulid, 1999)

7.2 Dijital Görüntü İşleme Yazılımları Yoluyla Blok Boyutu Analizi

Patlatma verimliliği değerlendirilirken aynadaki süreksizlikler de göz önüne alınmalıdır. Görüntü işleme yoluyla atım yapılacak olan basamakta bulunan görünür çatlaklar arası mesafeyi, görünür blok boyutunu, çatlakların ayna üzerinde görünen yönelimini belirlemek mümkündür. İki boyutlu olarak yazılıma yüklenen fotoğraflardan blokların üçüncü boyutu tahmin edilmekte ve ortalama blok boyutu analizi yapılmaktadır (WipFrag 2.6, 2007).

7.3 Blok Boyutunun Tayininde WipJoint programı

Bu çalışmada aynada yerinde blok boyutunu tespit etmek için WipJoint yazılımı kullanılmıştır. WipJoint yazılımı kayaç yüzeyindeki süreksizliklerin haritalanması amacıyla kullanılır. Bu yazılım kullanılarak patlatma öncesi görünür blok boyutunu da hesaplamak mümkündür. Yazılım ile blok boyutu belirlenirken WipFrag yazılımdan daha farklı bir algorithmadan faydalanılmaktadır. Bilgisayara aktarılan fotoğraftaki bloklar ister yazılım tarafından ister kullanıcı tarafından “Polyline - Çoklu çizgi” komutu ile çerçevelendirilerek tespit edilir. Tüm blokların tayin edilmesi ile tüm blokları belirten bir çatlak ağı oluşmuş olur. Daha sonra programa “Analyse Joints” komutu verilir ve ortalama blok boyutu, süreksizliklerin yönelimi, çatlak aralıkları ve blok sayısı bilgileri elde edilir (WipFrag 2.6, 2007).

7.3.1 Analizde Kullanılacak Fotoğrafların Çekim Tekniği

Atım sonrası parça boyut dağılımının belirlenmesinde kullanılacak fotoğrafların çekiminde dikkat edilecek hususlardan Bölüm 6 ‘da değinilmiştir. Bunlara ek olarak blok boyutu tayininde kullanılacak fotoğrafların çekiminde dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır;

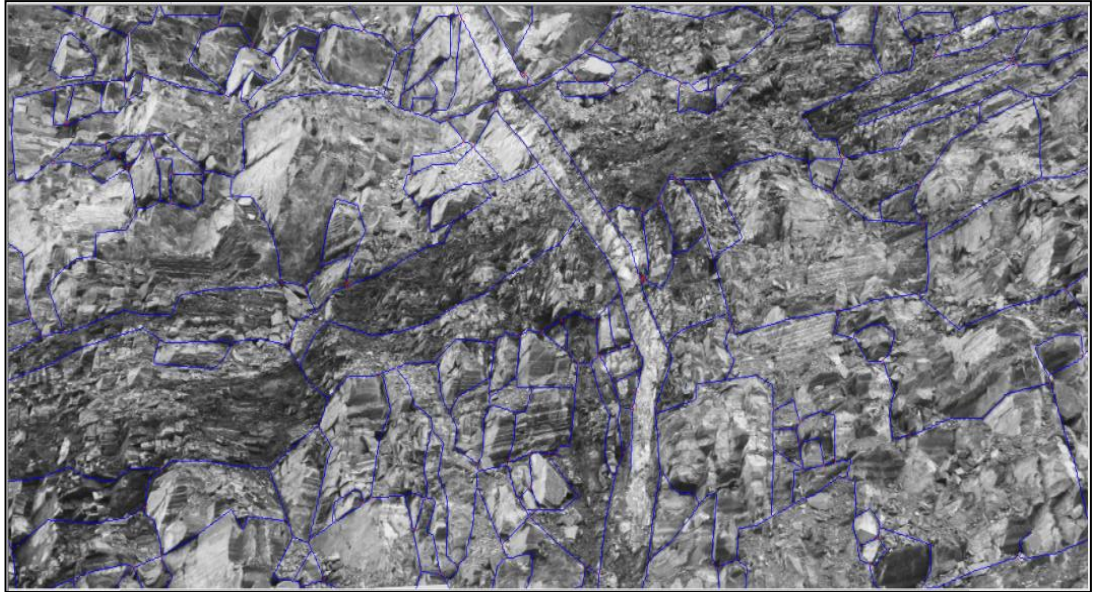
- Görüntü işleme için basamağın fotoğrafları çekilirken makinenin düzgün tutulmamasından kaynaklanan açılı fotoğraflardan kaçınılması gerekir.
- Kullanıcı kişinin tüm aynayı bir seferde fotoğraflaması tercih edilir.
- Fotoğraf direkt güneş ışığı altında alınmalıdır, gölgelerin yazılım tarafından ayrı bloklar olarak algılanmasının önüne geçilmelidir.

7.3.2 Fotoğraflarda ölçekleme

WipJoint yazılımına yüklenen fotoğrafların analiz edilebilmesi için yazılımın kullanacağı bir ölçek boyutu girilmesi gerekmektedir. Böylece yazılım içerisinde algoritmada bu ölçeğin boyutlarını kullanarak blok boyutlarını belirleyebilmektedir. Bu çalışmada ayna fotoğraflanırken boyutu 64 cm. olan tahta parçası kullanılmıştır.

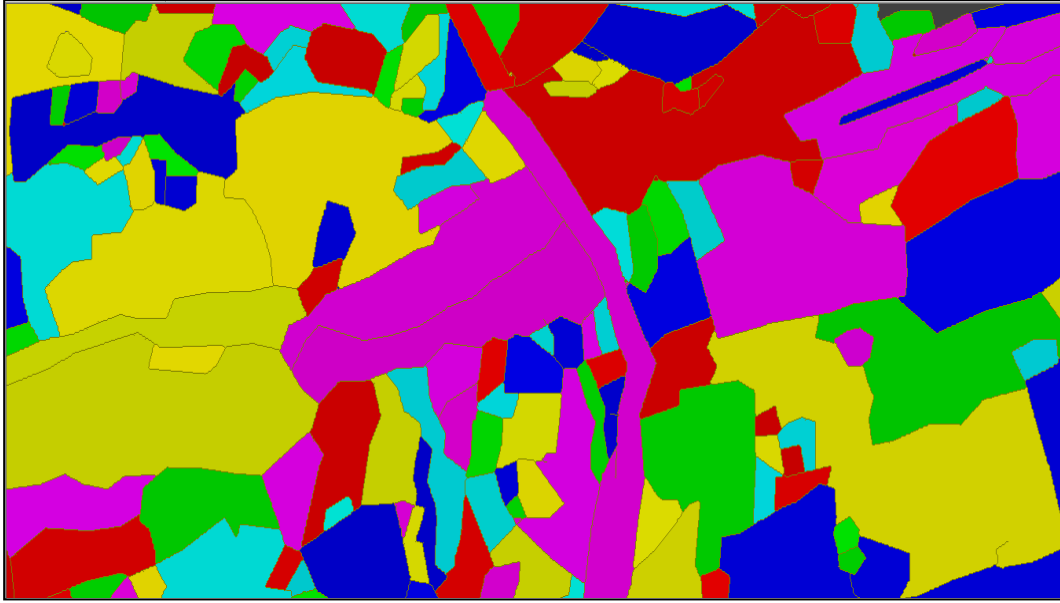
7.3.3 WipJoint yazılımı ile yapılan bir blok boyutu analizi örneği

Şekil 7.2’de örnek bir basamak aynası görülmektedir. Öncelikle yazılımın blokları belirlemesine izin verilir. Daha sonra kullanıcı blokları daha doğru şekilde belirtir.



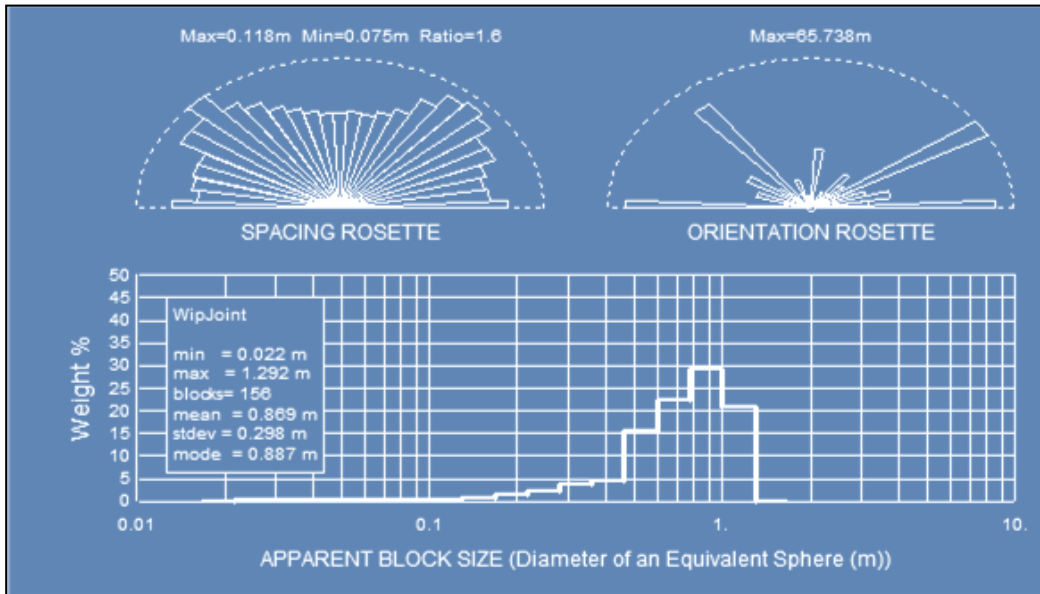
Şekil 7.2 : Örnek bir basamak aynasının görünümü

Şekil 7.3’de ise örnek olarak seçilen basamakta bulunan bloklar gösterilmiştir. Görüldüğü gibi yazılım blokların her birini farklı renge boyayarak belirtmiştir.



Şekil 7.3 : WipJoint yazılımı ile analiz edilen örnek basamağa ait görünür bloklar

Şekil 7.4'den ise aynanın yerinde blok dağılımı görülmektedir. Yapılan analiz sonucunda en küçük blok boyut 2 cm, en büyük blok boyut 1,3 metre, ortalama blok boyutu 0,87 metre bulunmuştur.



Şekil 7.4 : Örnek basamağa ait WipJoint ile analiz sonucu

8. BİLGİLERİN EDİNİLDİĞİ BÖLGENİN JEOLJİSİ

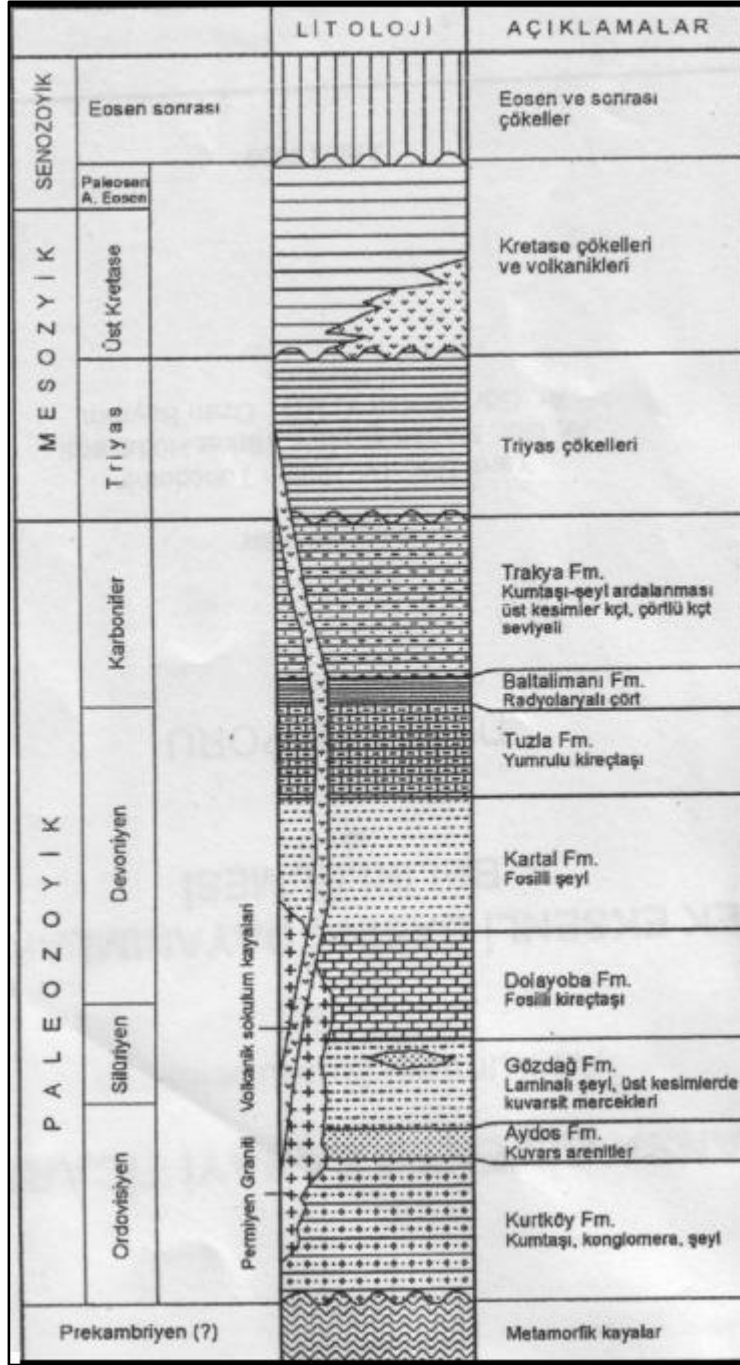
8.1 Cendere Bölgesinin Jeolojisi

Tez kapsamında gözlemlerin yapıldığı Cendere bölgesi, ağırlıklı İstanbul Boğazı'nın batı yakasında yer alan Trakya Formasyonu'na dâhildir. İstanbul Paleozoyik arazisinin üst birimini oluşturan Karbonifer Yaşlı Trakya Formasyonu genellikle kumtaşı, grovak, silttaşı, kiltası ve şeyllerden oluşmaktadır. Çeşitli klastik kayaç topluluğundan oluşan bu formasyonun çok yönlü olarak gelişen kırılma ve kayma yüzeyleriyle parçalanmış, ezilmiş ve dilimlenmiş olduğu ortaya konmuştur. Şekil 8.1'de İstanbul Paleozoik istifinin içinde Trakya Formasyonu görülmektedir (Ketin ve Güner, 1988).

Trakya formasyonunu meydana getiren çeşitli tortul kayaç tabakalarının kalınlıkları genellikle 5 cm. ile 50 cm. arasında değişmektedir. Bazı kısımlarda ise, özellikle kumtaşlarında tabaka kalınlığı 50-100 cm. 'yi bulmaktadır. Bu tortul istif içerisine yer yer andezit ve diyabaz damarları sokulmuştur. Formasyon boğazın batısında; Sarıyer, Zekeriyaköy, Boğazköy, Arnavutköy, Şamlar, İkitelli, Mahmutbey, Edirnekapı, Sirkeci, Yenikapı, Ortaköy, ve Ayazağa çevrelerinde geniş yayılım gösterir (Ketin ve Güner, 1988).

8.2 Kayaç Özellikleri ve Ocakların Konumu

Atımların gerçekleştiği Akdağlar Madencilik, Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. ve Oyak Beton Sanayi ve Tic. A.Ş.'ye ait ocaklarda kayaç cinsi genellikle açık renkli ve kalın tabakalı olan kumtaşı olmakla birlikte kayacın fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 8.1'de verilmiştir (Tunçdemir ve diğ., 2009). Söz konusu taş ocaklarında tüm kademelerde farklı yoğunlukta (az-çok) olmak üzere; faylanmalar, kırılanmalar, deformasyonlar, ezilmeler, laminalaşmalar, kıvrımlaşma ve bindirmeler izlenmektedir (Ketin ve Güner, 1988).



Şekil 8.1: İstanbul paleozoyik istifi (Ketin ve Güner, 1988).

Çizelge 8.1: Kumtaşının fiziksel ve mekanik özellikleri.

Özgöl ağırlık (gr/cm ³)	Porozite (%)	Ağırlıkça su emme (%)	Basınç dayanımı (kg/cm. ²)	Çekme dayanımı (kg/cm. ²)	Elastisite modülü (GPa)
2,7-2,74	4-6	0,1-0,4	770-830	57,8	15-16,9

Cendere havzasında, beş adet kırmataş üretim tesisi, üç adet beton santrali yer almaktadır. Tüm bu tesislerde yaklaşık olarak yılda altı milyon ton agrega üretilmektedir (Gültekin ve diğ., 2011). Şekil 8.2’de atımın gözlemlendiği bölge olan Kemberburgaz-Cendere yolu üzerinde bulunan bazı taş ocakları görülmektedir. Şekil 8.3’de Akdağlar Madencilik’e ait taş ocağının genel görünümü, Şekil 8.4’de ise Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret AŞ’ne ait taş ocağının genel görünümü gösterilmiştir.



Şekil 8.2: Atımların Gözlemlendiği Bölge Olan Kemberburgaz-Cendere Yolu Üzerinde Bulunan Bazı Taş Ocakları

Şekil 8.3 ve Şekil 8.4’de ise Akdağlar Madencilik’e ve Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret AŞ’ne ait taş ocağının genel görünümü verilmiştir.



Şekil 8.3: Akdağlar Madencilik’e ait taş ocağının genel görünümü



Şekil 8.4: Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret AŞ’ne ait taş ocağının genel görünümü

8.3 Cendere Bölgesinde İncelenen Atımlar

Çizelge 8.2: Taş ocağında incelenen atımlar ile görüntü işleme (WipFrag) ve Kuznetsov denklemi ile elde edilen ortalama parça boyutu (X_{50}), yerinde blok boyutu (Y_B), üniformite indeksi (n), karakteristik boyut (X_c) ve eğri şekil katsayısı(b).

Atım No	Atım Yeri	B (m)	S (m)	H (m)	T (m)	U (m)	L (m)	H _c (m)	Q _e (kg/delik)	P _f (kg/m ³)	Y _B (cm)	KUZNETSOV			WİPFRAG			KCO
												X ₅₀ (cm)	X _c (cm)	n	X ₅₀ (cm)	X _c (cm)	n	b
1	Akçansa	2,2	2,3	8,0	3,0	0,5	8,5	5,5	29,1	0,72	165,5	17,5	22,92	1,35	15,4	19,6	1,58	2,25
2	Akdağlar	1,8	2,0	8,0	3,0	0,5	8,5	5,5	29,1	1,01	159,5	13,3	17,28	1,41	17,6	22,8	1,32	2,93
3	Akçansa	2,5	2,8	7,0	3,0	0,5	7,5	4,5	23,8	0,49	120,6	23,1	30,24	1,31	26,4	32,0	1,65	1,47
4	Akçansa	1,8	2,3	6,5	3,0	0,5	7,0	4,0	21,1	0,79	81,9	15,4	20,42	1,31	17,1	25,3	1,37	2,44
5	Akçansa	2,5	2,5	6,0	2,5	0,5	6,5	4,0	21,1	0,56	78,8	20,1	26,84	1,27	16,5	20,0	1,49	1,78
6	Akçansa	2,6	3,0	10,0	3,0	0,5	10,5	7,5	39,6	0,51	124,5	24,3	31,12	1,47	22,9	29,6	1,40	1,45
7	Akdağlar	2,0	2,5	7,0	2,5	0,5	7,5	5,0	26,4	0,76	103,0	16,5	21,13	1,49	15,4	18,5	1,48	2,62
8	Akdağlar	2,5	2,8	6,5	2,5	0,5	7,0	4,5	23,8	0,52	83,0	21,8	28,54	1,36	19,3	23,4	1,78	1,68
9	Akdağlar	2,0	2,5	7,0	2,5	0,5	7,5	5,0	26,4	0,76	96,5	16,5	21,13	1,49	14,8	18,9	1,13	2,62
10	Akdağlar	2,5	3,0	13,0	4,0	2,0	15,0	11,0	58,1	0,60	161,7	22,7	32,10	1,46	24,0	33,1	1,47	1,34
11	Akdağlar	2,0	2,5	6,5	2,5	0,5	7,0	4,5	23,8	0,73	83,5	16,6	21,45	1,45	17,6	21,6	1,73	2,52
12	Akdağlar	2,0	2,5	7,0	2,5	0,5	7,5	5,0	26,4	0,76	100,0	16,5	21,13	1,49	14,4	19,5	1,47	2,62
13	Akdağlar	2,0	3,0	8,0	2,5	0,5	8,5	6,0	31,7	0,66	105,0	18,9	23,67	1,65	18,2	21,5	1,46	2,50
14	Akçansa	2,0	2,5	7,0	3,0	0,5	7,5	4,5	23,8	0,68	182,0	17,6	23,21	1,34	19,6	25,2	1,52	2,20
15	Akçansa	2,2	2,5	8,0	2,5	0,5	8,5	6,0	31,7	0,72	60,7	17,7	22,55	1,51	17,5	22,4	1,61	2,47
16	Akdağlar	2,5	2,5	7,0	3,0	0,5	7,5	4,5	23,7	0,54	158	21,1	28,48	1,23	24,7	33,1	1,38	1,59
17	Oyak	2,2	2,8	6,0	2,5	1,0	7,0	4,5	23,7	0,64	44,3	18,4	23,36	1,56	16,4	20,2	1,61	2,43

Bu tez kapsamında toplam 17 tane atım gözlemlenmiştir. Bu atımların patlatma tasarım parametreleri, görüntü işleme analizi yoluyla elde edilen ve Kuznetsov tahmin modeli ile hesaplanan ortalama parça boyutu değerleri Çizelge 8.2’de toplu halde sunulan atımlar gözlem tarihine göre sıralanmıştır. Tüm deliklerin çapı aynı olmakla birlikte 89 mm.’dir. Delik boyu 6,5 m. ile 15 m. arasında değişmektedir. Dilim kalınlığı 1,8 m. ile 2,6 m. arasında; sıkılama boyu ise 2,5 m. ile 4,0 m. arasında değişkenlik göstermektedir. Sıkılama mesafesi uzun deliklerde şarj miktarı daha fazla olduğundan, daha uzun tutulmuştur. Böylece, hem verimli bir atım gerçekleşmesi sağlanmış hem de güvenlik tedbiri alınmıştır. Delik başına kullanılan patlayıcı miktarı ortalama olarak 28,4 kg.’dır. Özgül şarj ise ortalama olarak 0,7 kg/m³ ’dür. Gözlemlenen atımların gerçekleştiği basamaklarda yerinde blok boyutu ortalama olarak 112,3 cm.’dir. Yerinde blok boyutu (Y_b) ile ortalama parça boyutu arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu konuya daha detaylı olarak Bölüm 9’da değinilecektir.

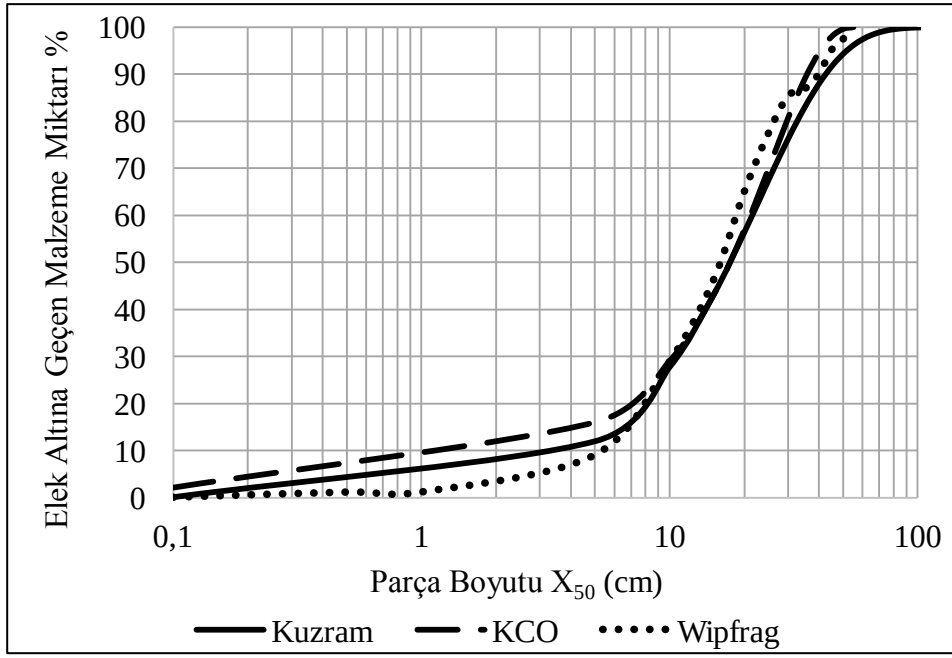
9. ATIMLARIN PARÇALANMA AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

9.1 Parçalanma Eğrilerinin İncelenmesi

Bu bölümde atım sonrası oluşan yığının ince ve iri boyutlu olarak değerlendirilen malzeme yüzdeleri üzerinden bir değerlendirme yapılmıştır. İşletmeler, elde etmek istedikleri boyuta göre iri ve ince malzeme boyutunu farklı farklı tanımlamaktadırlar. Araştırmacılar ise ince ve iri malzemeyi tanımlarken farklı yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Genellikle, malzemenin %10'unun geçtiği elek açıklığından küçük boyutu ince; %90'ının geçtiği açıklıktan büyük boyuttaki malzemeyi ise iri olarak tanımlamışlardır (Onederra ve diğ., 2004, Ouchterlony, 2003). Kimi araştırmacılar ise görece ince boyutlu malzemeyi tanımlamak için malzemenin %20'sinin geçtiği elek açıklığını esas almışlardır (Onederra ve diğ., 2004, Badroddin ve diğ., 2012).

9.1.1 Birinci Atım

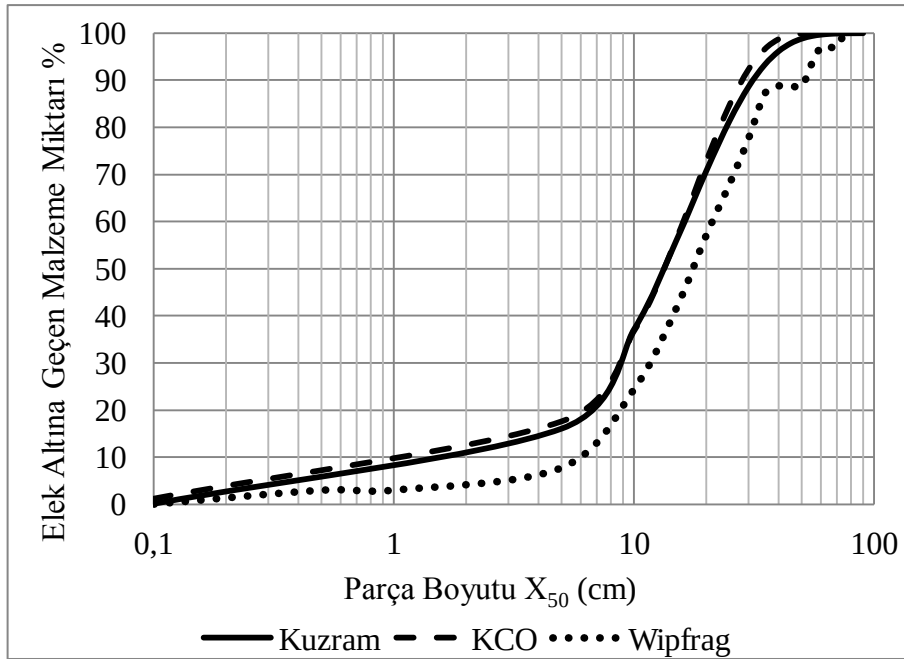
Şekil 9.1'de 1. atım için KuzRam, KCO modelleri ve görüntü işleme tekniği yoluyla elde edilen atım sonrası yığının parça boyut dağılım eğrileri sunulmuştur. Görüldüğü gibi eğriler birbirine benzer olup genel olarak iri ve ince malzeme boyutunda ayrışma söz konusudur. Ortalama parça boyutu KuzRam tahmin modeline göre 17,5 cm.; görüntü işleme programına göre ise 15,4 cm. olarak belirlenmiştir. Malzemenin %10'unun geçtiği boyut KCO yaklaşımına göre 1 cm., KuzRam yaklaşımına göre 3 cm ve WipFrag programına göre ise 5,3 cm.'dir.



Şekil 9.1: 1. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri

9.1.2 İkinci Atım

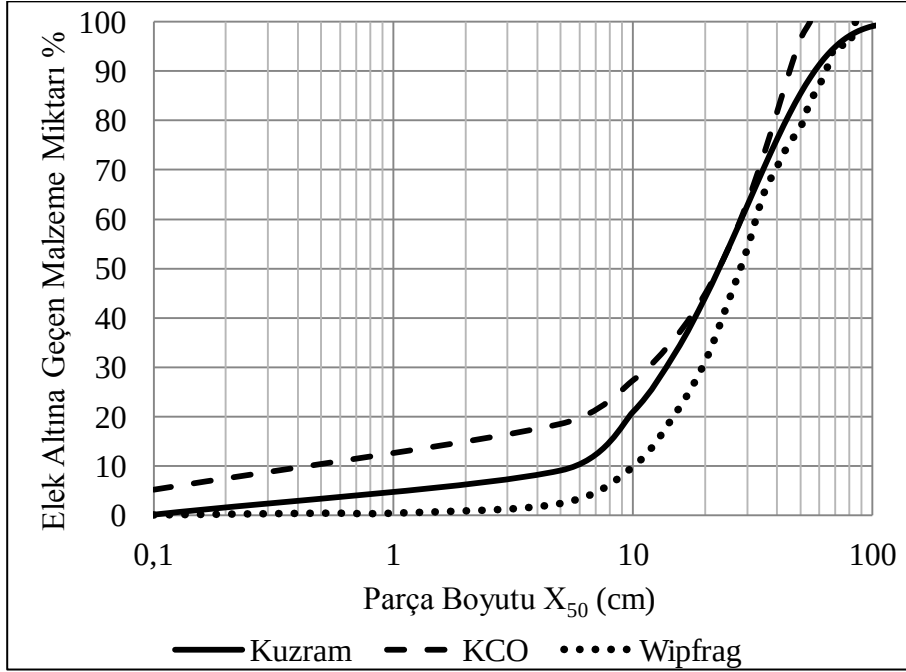
Şekil 9.2’de 2. atım için KuzRam, KCO modelleri ve görüntü işleme tekniği yoluyla elde edilen atım sonrası yığının parça boyut dağılım eğrileri sunulmuştur. Bu atımda KuzRam ve KCO modelleri ile oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir. Görüntü işleme yazılımı ile elde edilen ortalama parça boyutu KuzRam ve KCO modellerinde elde edilen sonuçlardan yaklaşık olarak 4 cm. sapma göstermektedir. Görüntü işleme analizi ile daha büyük bir boyut dağılımı elde edilmiştir. Ayrıca, malzemenin %20’sinin geçtiği boyut KCO yaklaşımına göre 6,2 cm., KuzRam yaklaşımına göre 7 cm ve WipFrag programına göre ise 8,9 cm.’dir.



Şekil 9.2: 2. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri

9.1.3 Üçüncü Atım

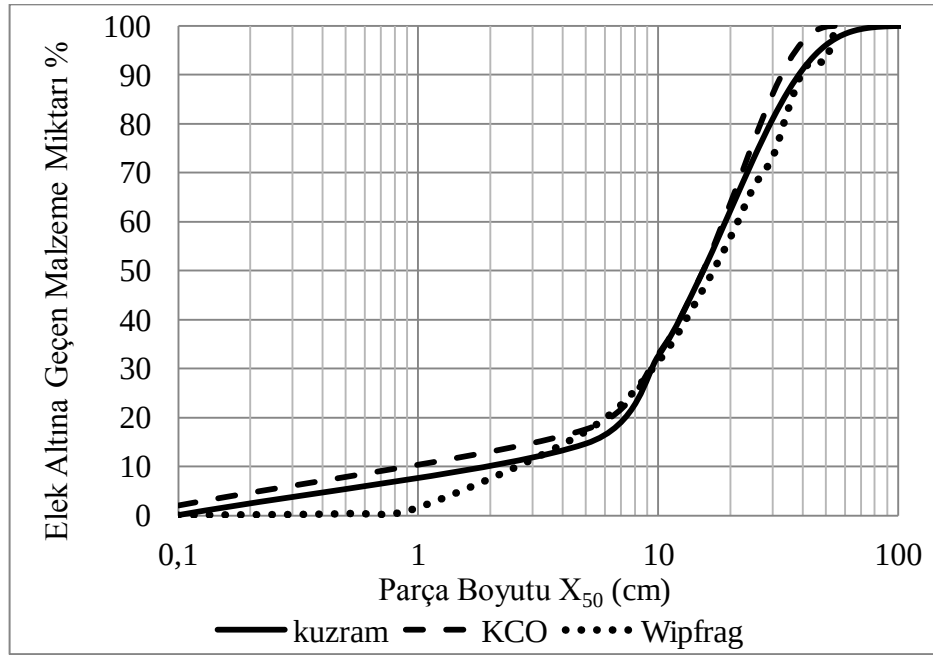
Şekil 9.3’de 3. atım için KuzRam, KCO modelleri ve görüntü işleme tekniği yoluyla elde edilen atım sonrası yığının parça boyut dağılım eğrileri sunulmuştur. Görüldüğü gibi KCO ve KuzRam modellerinin tahmin sonuçları birbirine yakın olmakla birlikte WipFrag yazılımı ile ölçülen boyut arasında 3,25 cm. fark vardır. Ayrıca, malzemenin %20’sinin geçtiği boyut KCO yaklaşımına göre 6 cm., KuzRam yaklaşımına göre 10 cm ve WipFrag programına göre ise 12,5 cm.’dir.



Şekil 9.3: 3. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri

9.1.4 Dördüncü Atım

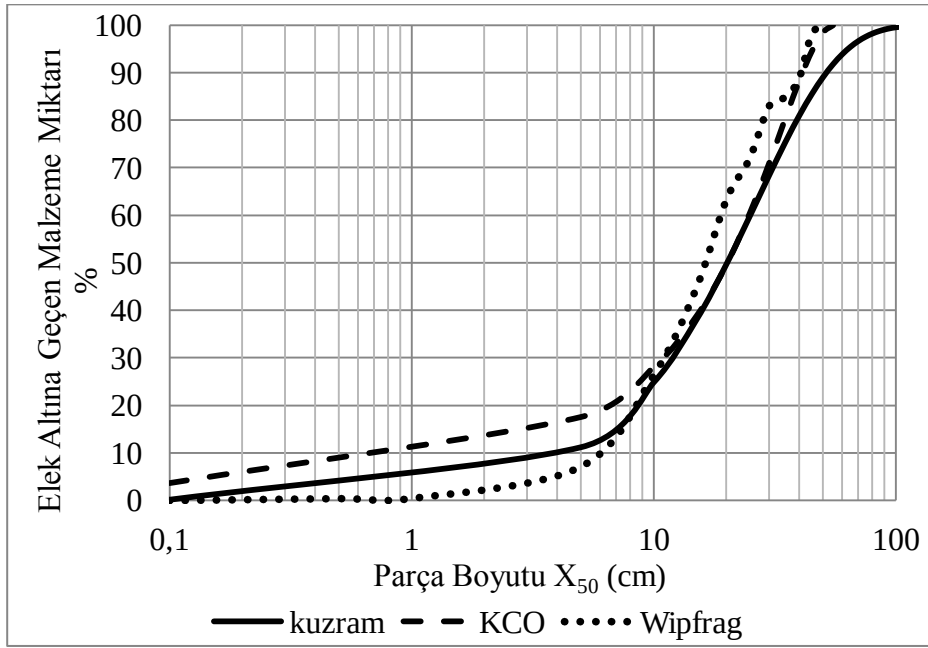
Şekil 9.4’de 4. atım için KuzRam, KCO modelleri ve görüntü işleme tekniği yoluyla elde edilen atım sonrası yığının parça boyut dağılım eğrileri sunulmuştur. Burada üç eğri birbirleri ile oldukça benzer olup ortalama parça boyutu yaklaşık 16 cm. ’dir. KCO ve KuzRam modellerinin tahminleri WipFrag analizine yakındır. Ayrıca, malzemenin %10’unun geçtiği boyut KCO yaklaşımına göre 1 cm., KuzRam yaklaşımına göre 2 cm. ve WipFrag programına göre ise 2,6 cm.’dir.



Şekil 9.4: 4. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri

9.1.5 Beşinci Atım

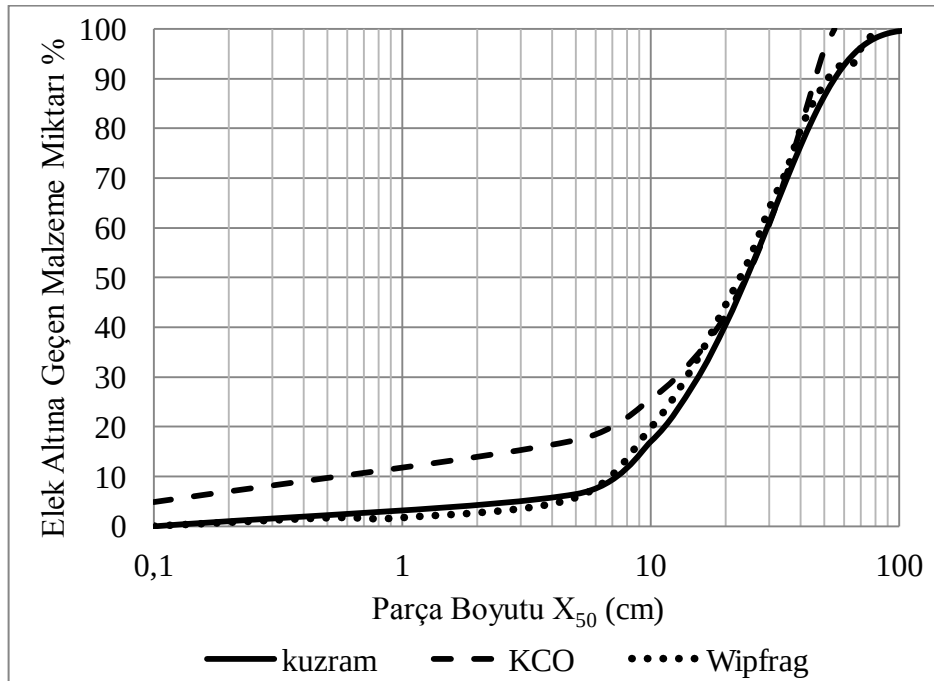
Şekil 9.5’de 5. atım için KuzRam, KCO modelleri ve görüntü işleme tekniği yoluyla elde edilen atım sonrası yığının parça boyut dağılım eğrileri sunulmuştur. Görüldüğü gibi KCO ve KuzRam modelleri uyum içinde olup WipFrag yazılımı ile aralarında 3,6 cm. fark bulunmaktadır. Ayrıca, malzemenin %10’unun geçtiği boyut KCO yaklaşımına göre 0,7 cm., KuzRam yaklaşımına göre 4 cm ve WipFrag programına göre ise 6 cm.’dir.



Şekil 9.5: 5. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri

9.1.6 Altıncı Atım

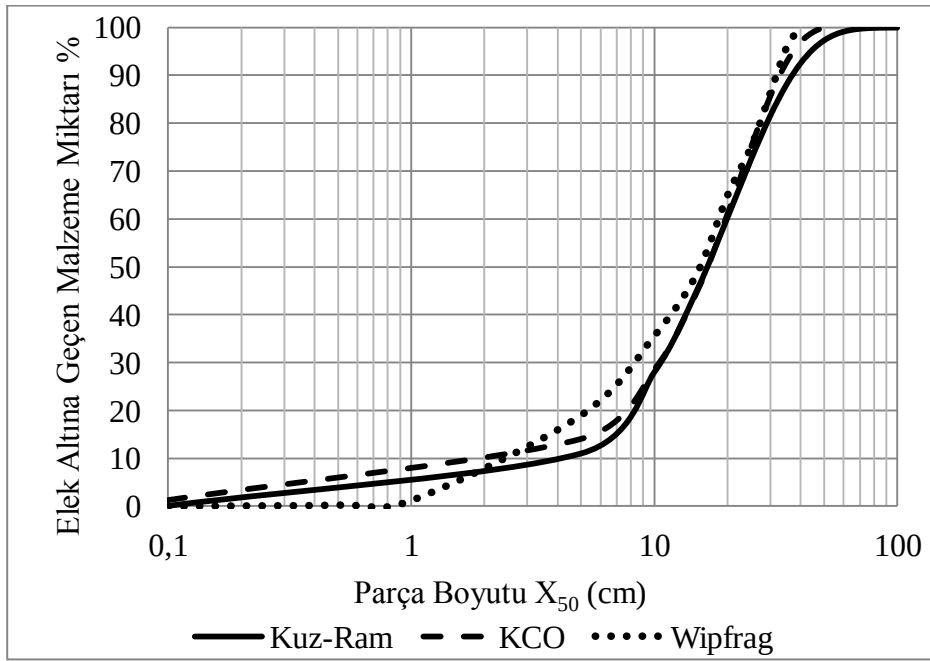
Şekil 9.6'da 6. atım için KuzRam, KCO modelleri ve görüntü işleme tekniği yoluyla elde edilen atım sonrası yığının parça boyut dağılım eğrileri sunulmuştur. Ortalama parça boyutu üç yaklaşımda da benzer boyuttadır. İnce parça boyutlu malzeme dağılımında WipFrag ve KuzRam modeli benzer sonuçlar vermiştir. KCO modeli ile ince boyutlu malzeme oranı daha fazla tespit edilmiştir. Örneğin; malzemenin %20'sinin geçtiği boyut KCO yaklaşımına göre 7 cm., KuzRam yaklaşımına göre 10,1 cm ve WipFrag programına göre ise 10 cm.'dir.



Şekil 9.6: 6. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri

9.1.7 Yedinci Atım

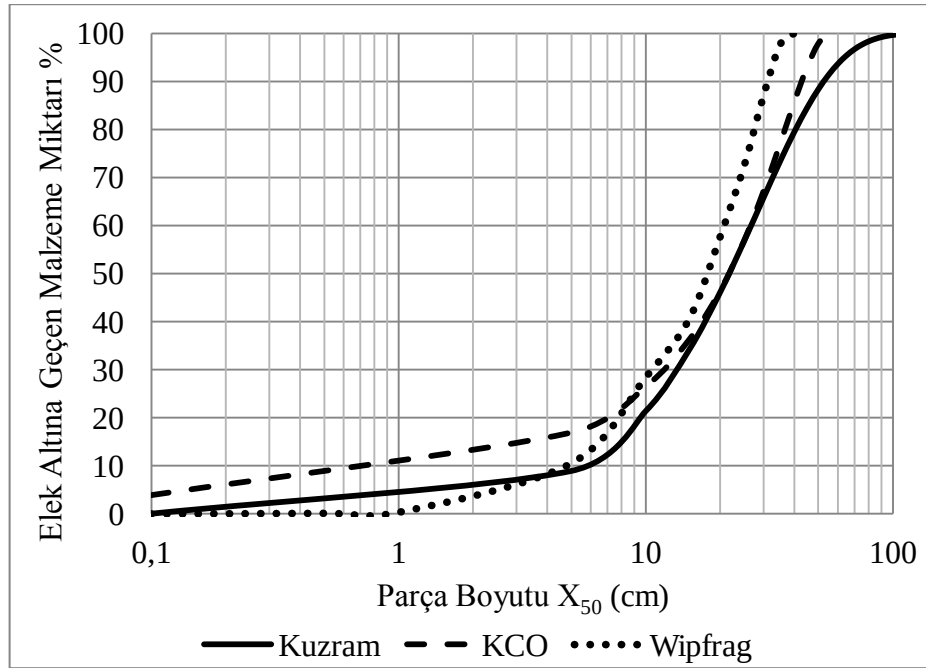
Şekil 9.7’de 7. atım için KuzRam, KCO modelleri ve görüntü işleme tekniği yoluyla elde edilen atım sonrası yığının parça boyut dağılım eğrileri sunulmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere hem ortalama parça boyutu hem iri hem de ince parça boyut dağılımları üç yaklaşımda da oldukça benzerdir. Ortalama parça boyutu ortalama 16 cm. olarak belirlenmiştir. Ayrıca, malzemenin %20’sinin geçtiği boyut KCO yaklaşımına göre 8 cm., KuzRam yaklaşımına göre 8,5 cm ve WipFrag programına göre ise 5,2 cm.’dir.



Şekil 9.7: 7. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri

9.1.8 Sekizinci Atım

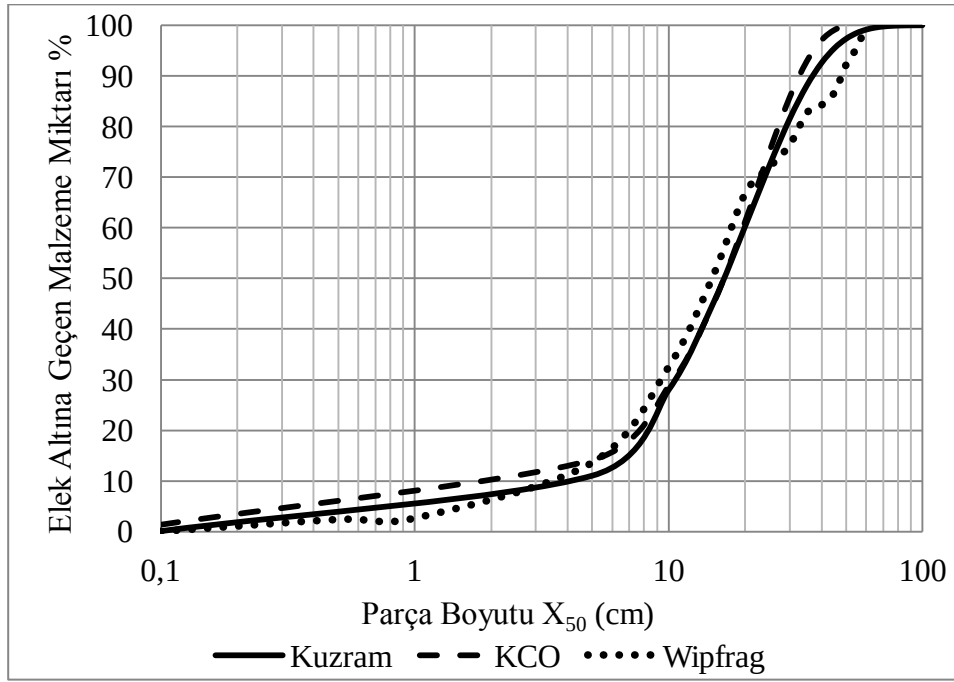
Şekil 9.8’de 8. atım için KuzRam, KCO modelleri ve görüntü işleme tekniği yoluyla elde edilen atım sonrası yığının parça boyut dağılım eğrileri sunulmuştur. Burada KuzRam ve KCO tahmin modelleri ortalama parça boyutu için oldukça benzer sonuçlar vermiştir. Ayrıldıkları noktalar iri ve ince malzemenin parça boyut dağılımıdır. KuzRam ve KCO modelleri ortalama parça boyutunu 21,8 cm. bulmuştur. WipFrag yazılımı ise 19,3 cm. olarak belirlemiştir. Malzemenin %10’unun geçtiği boyut KCO yaklaşımına göre 0,8 cm., KuzRam yaklaşımına göre 6 cm ve WipFrag programına göre ise 4,9 cm.’dir. Ayrıca, malzemenin %20’sinin geçtiği boyut KCO yaklaşımına göre 7 cm., KuzRam yaklaşımına göre 9,5 cm ve WipFrag programına göre ise 8 cm.’dir.



Şekil 9.8: 8. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri

9.1.9 Dokuzuncu Atım

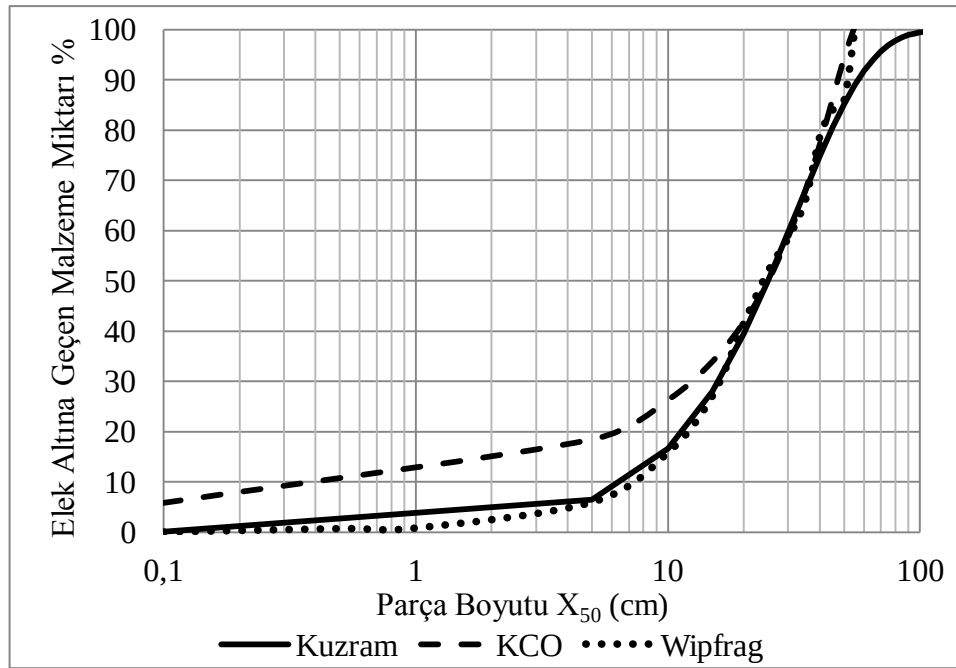
Şekil 9.9’da 9. atım için KuzRam, KCO modelleri ve görüntü işleme tekniği yoluyla elde edilen atım sonrası yığının parça boyut dağılım eğrileri sunulmuştur. Görüldüğü gibi üç eğri de birbirine benzer olup ortalama parça boyutu 15,5 cm. olarak tespit edilmiştir. İri ve ince parçaların dağılımında ise dikkate değer bir fark gözlemlenmemiştir. Parçalanma modelleri boyut dağılımını başarılı bir şekilde tahmin etmiştir.



Şekil 9.9: 9. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri

9.1.10 Onuncu Atım

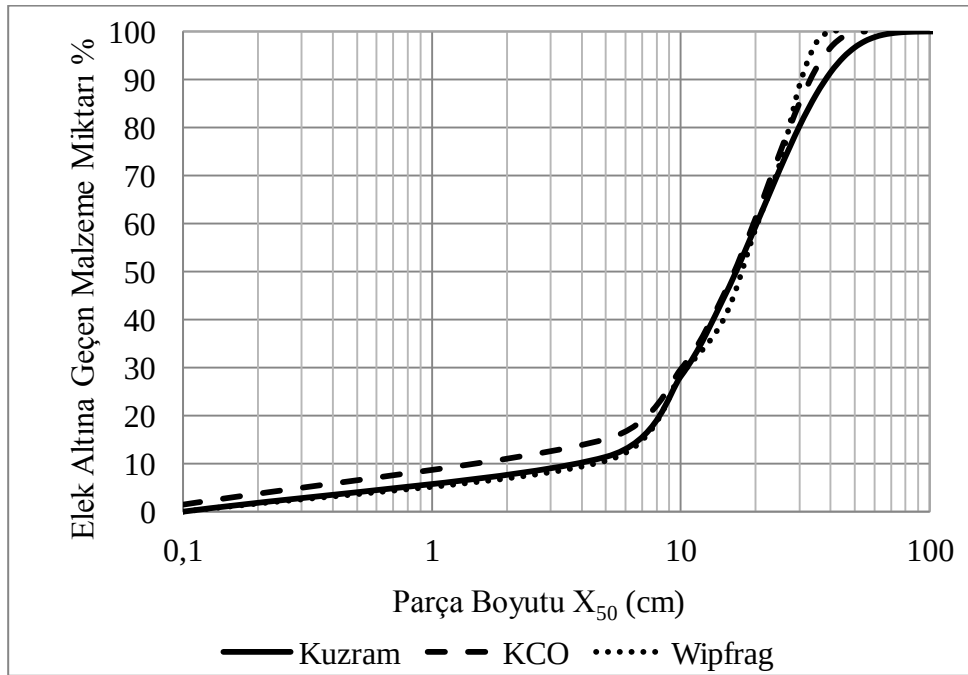
Şekil 9.10'da 10. atım için KuzRam, KCO modelleri ve görüntü işleme tekniği yoluyla elde edilen atım sonrası yığının parça boyut dağılım eğrileri sunulmuştur. Bu atımda KuzRam, KCO modelleri ve WipFrag yazılımı ortalama parça boyutu için çok yakın sonuçlar vermiş; d_{50} 25 cm. olarak tespit edilmiştir. Ancak KCO modeli özellikle ince boyut dağılımları için KuzRam modeli ve WipFrag yazılımından oldukça farklı bir tahminde bulunmuştur. Ayrıca, malzemenin %20'sinin geçtiği boyut KCO yaklaşımına göre 6 cm., KuzRam yaklaşımına göre 10,1 cm ve WipFrag programına göre ise 10,2 cm.'dir.



Şekil 9.10: 10. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri

9.1.11 On Birinci Atım

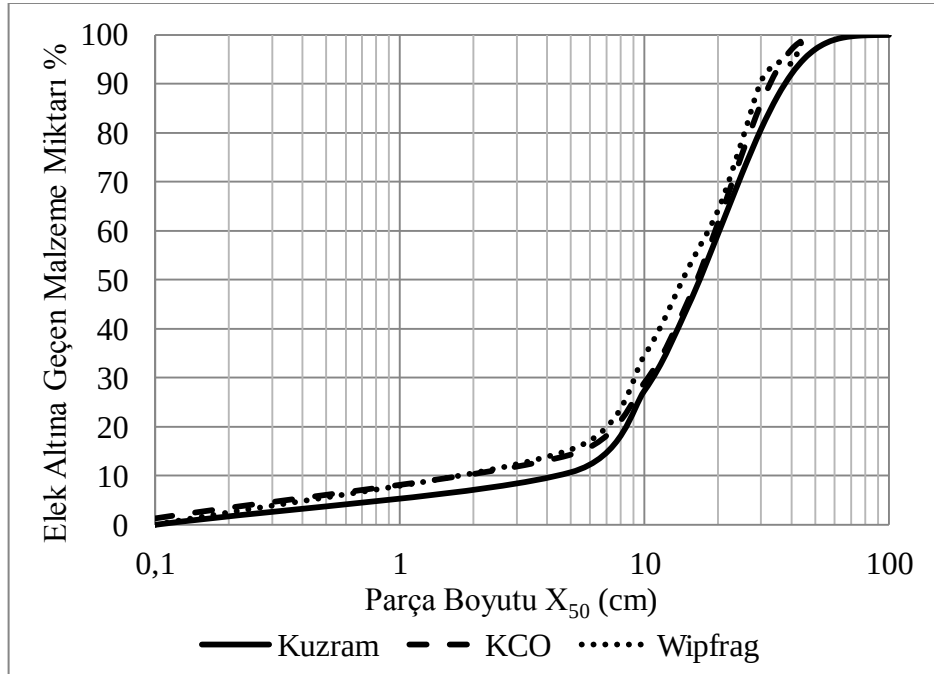
Şekil 9.11’de 11. atım için KuzRam, KCO modelleri ve görüntü işleme tekniği yoluyla elde edilen atım sonrası yığının parça boyut dağılım eğrileri sunulmuştur. Bu atımda KuzRam, KCO modelleri ve WipFrag yazılımı ortalama parça boyutu için çok yakın sonuçlar vermiş; d_{50} 17 cm. olarak tespit edilmiştir. WipFrag yazılımı en büyük tane boyutunu 40 cm. olarak hesaplamışken, KuzRam modelinde 40 cm.’den büyük parça boyutu %8,52’dir. İnce parça boyutu dağılımında ise belirgin bir ayrışma söz konusu değildir.



Şekil 9.11: 11. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri

9.1.12 On İkinci Atım

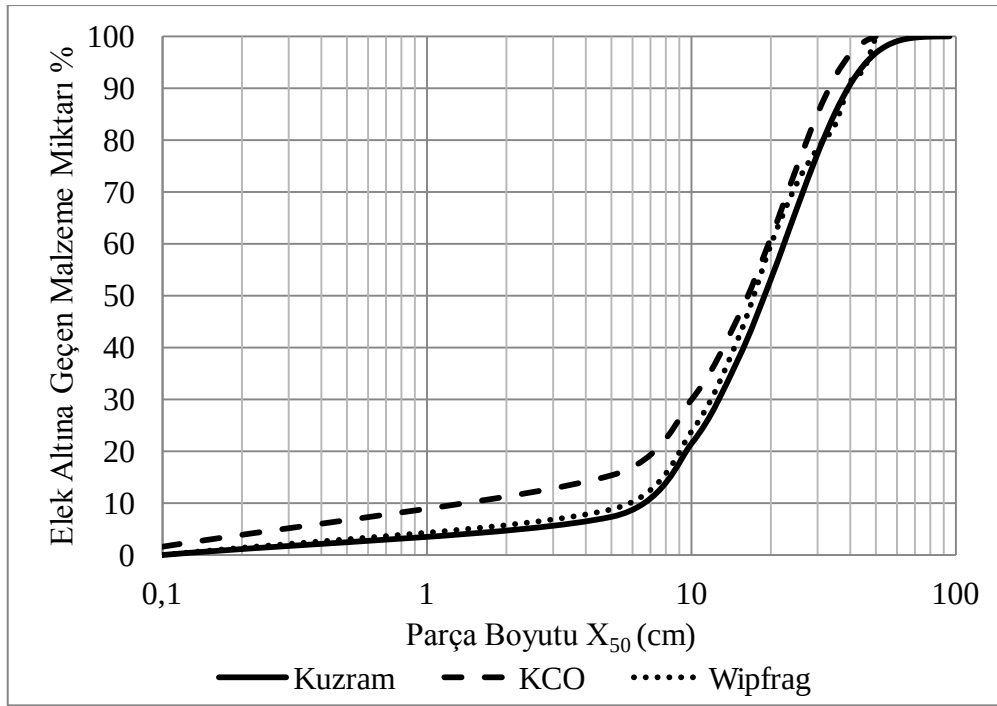
Şekil 9.12’de 12. atım için KuzRam, KCO modelleri ve görüntü işleme tekniği yoluyla elde edilen atım sonrası yığının parça boyut dağılım eğrileri sunulmuştur. Burada WipFrag yazılımı ve KuzRam modeli ortalama parça boyutunu neredeyse aynı tahmin etmiştir. KCO modeli ise bu iki yaklaşımın bulunduğu ortalama parça boyutundan yaklaşık olarak 1,5 cm sapma göstermiştir. Bu sapma durumu iri ve ince parçaların dağılımında da geçerlidir. WipFrag yazılımı en büyük parça boyutunu boyutu 45 cm. olarak ölçmüştür. Ayrıca, malzemenin %20’sinin geçtiği boyut KCO yaklaşımına göre 7,5 cm., KuzRam yaklaşımına göre 8,5 cm ve WipFrag programına göre ise 7 cm.’dir.



Şekil 9.12: 12. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri

9.1.13 On Üçüncü Atım

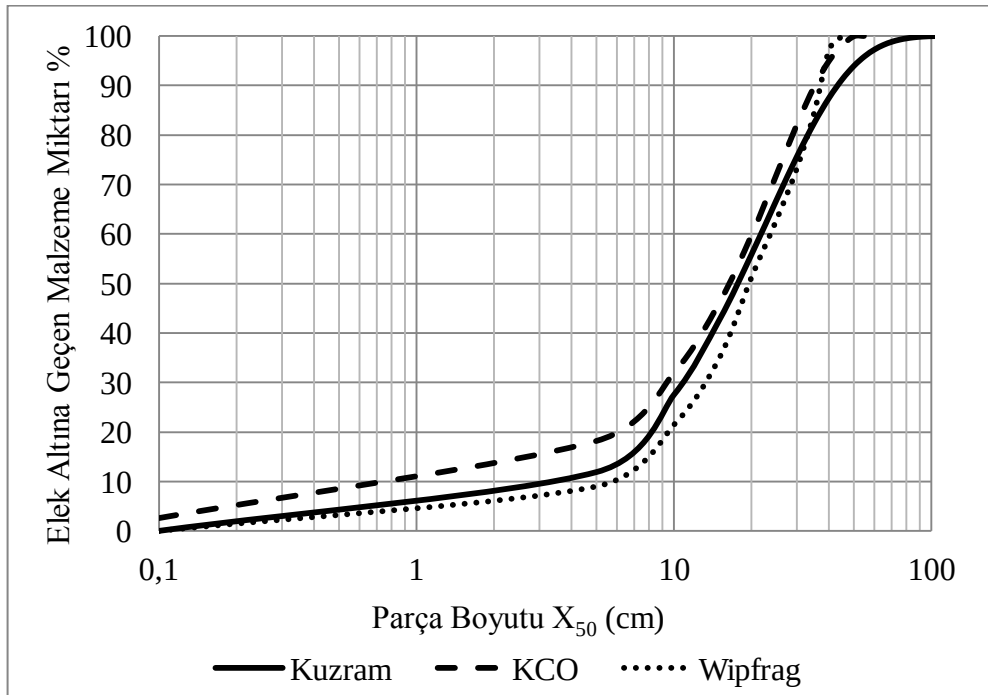
Şekil 9.13’de 13. atım için KuzRam, KCO modelleri ve görüntü işleme tekniği yoluyla elde edilen atım sonrası yığının parça boyut dağılım eğrileri sunulmuştur. Bu atımda grafikten de görülebileceği üzere ince ve ortalama boyuttaki tahminler benzer olup, iri parça boyut dağılımında ayrışma söz konusudur. X_{50} 18 cm. olarak belirlenmiştir. WipFrag yazılımı en büyük parça boyutunu 50 cm. olarak tespit etmiştir. Ayrıca, malzemenin %20’sinin geçtiği boyut KCO yaklaşımına göre 7,3 cm., KuzRam yaklaşımına göre 10 cm ve WipFrag programına göre ise 9,2 cm.’dir.



Şekil 9.13: 13. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri

9.1.14 On Dördüncü Atım

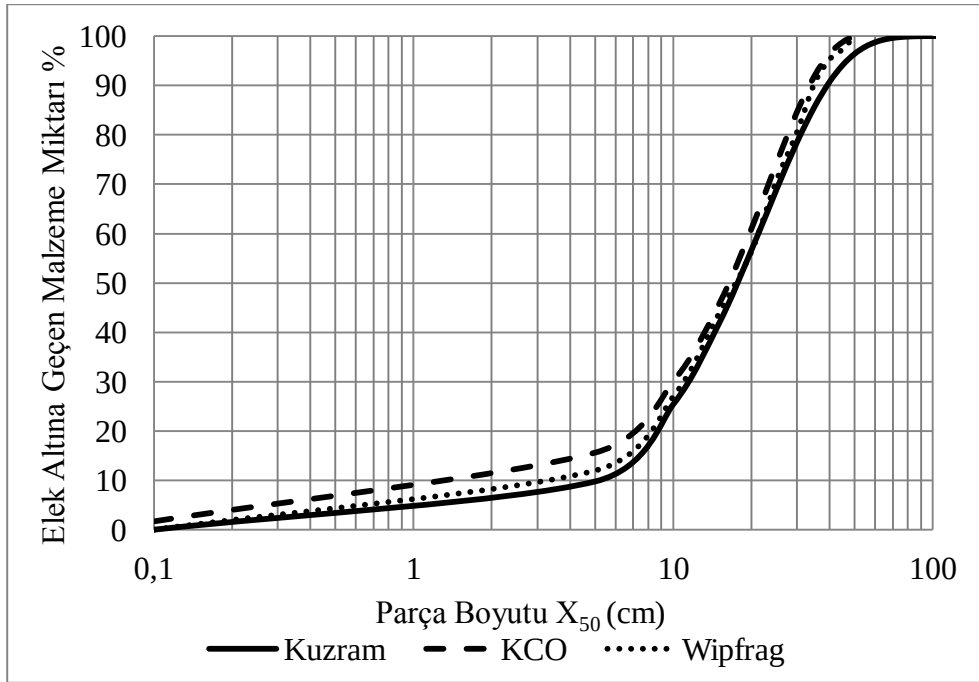
Şekil 9.14’de 14. atım için KuzRam, KCO modelleri ve görüntü işleme tekniği yoluyla elde edilen atım sonrası yığının parça boyut dağılım eğrileri sunulmuştur. Yapılan analizlerde özellikle KuzRam modeli ve WipFrag yazılımı oldukça benzer bulunmuştur. WipFrag yazılımı en büyük parça boyutunu 45 cm. olarak belirlemiştir. Ortalama parça boyutu yaklaşık olarak 19 cm. bulunmuştur. Ayrıca, malzemenin %20’sinin geçtiği boyut KCO yaklaşımına göre 6,2 cm., KuzRam yaklaşımına göre 8 cm ve WipFrag programına göre ise 9,6 cm.’dir.



Şekil 9.14: 14. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri

9.1.15 On Beşinci Atım

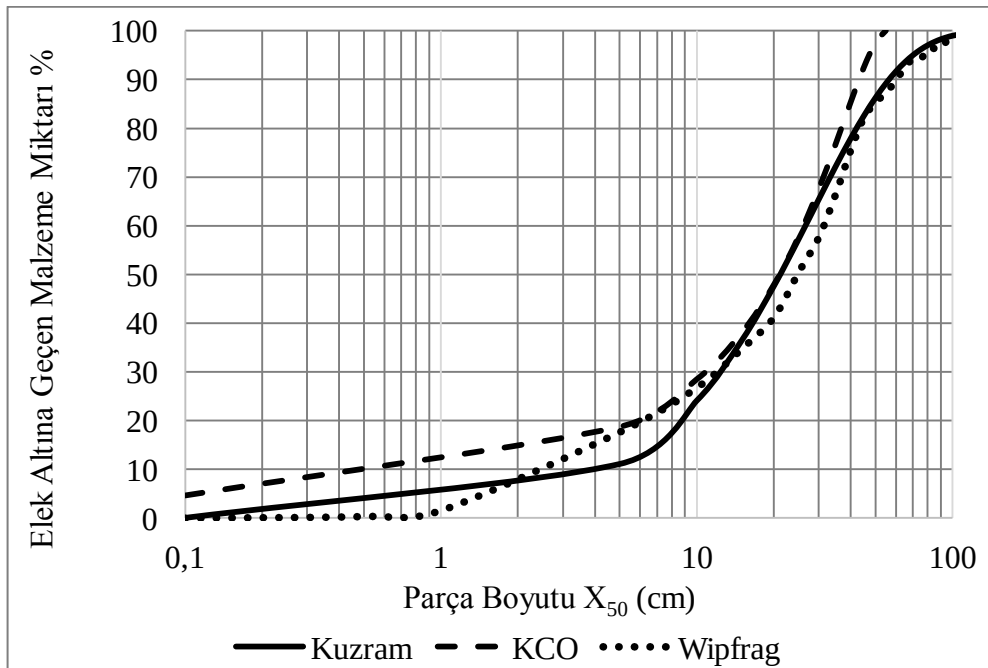
Şekil 9.15’de 15. atım için KuzRam, KCO modelleri ve görüntü işleme tekniği yoluyla elde edilen atım sonrası yığının parça boyut dağılım eğrileri sunulmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere hem ortalama parça boyutu hem de ince parça boyut dağılımları üç yaklaşımda da oldukça benzerdir. WipFrag yazılımı en büyük parça boyutunu 50 cm. olarak belirlemiştir. Ortalama parça boyutu yaklaşık olarak 18 cm. bulunmuştur. Teorik tahmin modelleri parçalanmayı başarıyla tahmin etmiştir. Malzemenin %10’unun geçtiği boyut KCO yaklaşımına göre 1,3 cm., KuzRam yaklaşımına göre 5 cm ve WipFrag programına göre ise 3 cm.’dir. Ayrıca, malzemenin %20’sinin geçtiği boyut KCO yaklaşımına göre 7 cm., KuzRam yaklaşımına göre 9 cm ve WipFrag programına göre ise 8,5 cm.’dir.



Şekil 9.15: 15. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri

9.1.16 On Altıncı Atım

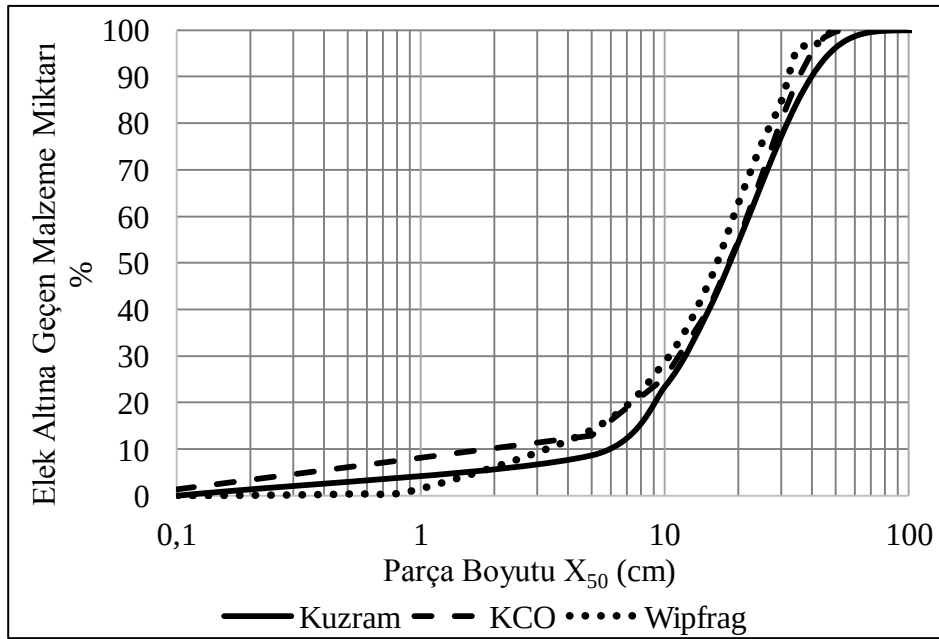
Şekil 9.16'da 16. atım için KuzRam, KCO modelleri ve görüntü işleme tekniği yoluyla elde edilen atım sonrası yığının parça boyut dağılım eğrileri sunulmuştur. Bu atımda KCO ve KuzRam modelleri ortalama parça boyutunu oldukça yakın tahmin etmişlerdir. WipFrag yazılımı ortalama parça boyutunu 25 cm. bulmuştur. Malzemenin %10'unun geçtiği boyut KCO yaklaşımına göre 0,5 cm., KuzRam yaklaşımına göre 4 cm ve WipFrag programına göre ise 2,4 cm.'dir. Ayrıca, malzemenin %20'sinin geçtiği boyut KCO yaklaşımına göre 6 cm., KuzRam yaklaşımına göre 9 cm ve WipFrag programına göre ise 6 cm.'dir.



Şekil 9.16: 16. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri

9.1.17 On Yedinci Atım

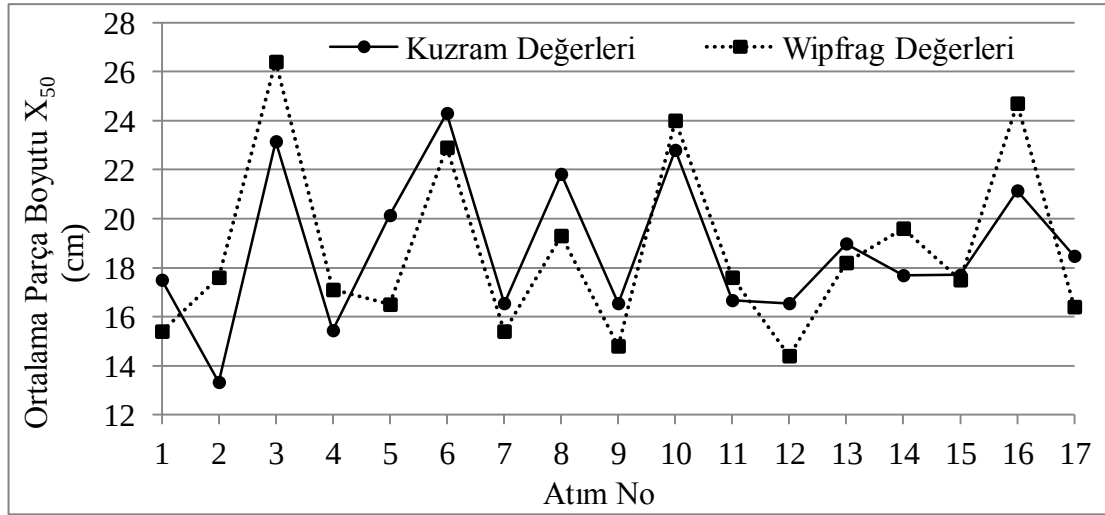
Şekil 9.17’de 17. atım için KuzRam, KCO modelleri ve görüntü işleme tekniği yoluyla elde edilen atım sonrası yığının parça boyut dağılım eğrileri sunulmuştur. Grafikten de anlaşılacağı üzere hem ortalama parça boyutu hem de ince parça boyut dağılımları üç yaklaşımda da oldukça benzerdir. Ortalama parça boyutu yaklaşık olarak 18 cm. olarak tespit edilmiştir. Malzemenin %10’unun geçtiği boyut KCO yaklaşımına göre 2 cm., KuzRam yaklaşımına göre 6 cm ve WipFrag programına göre ise 3,1 cm.’dir.



Şekil 9.17: 17. Atıma ait parça boyut dağılım eğrileri

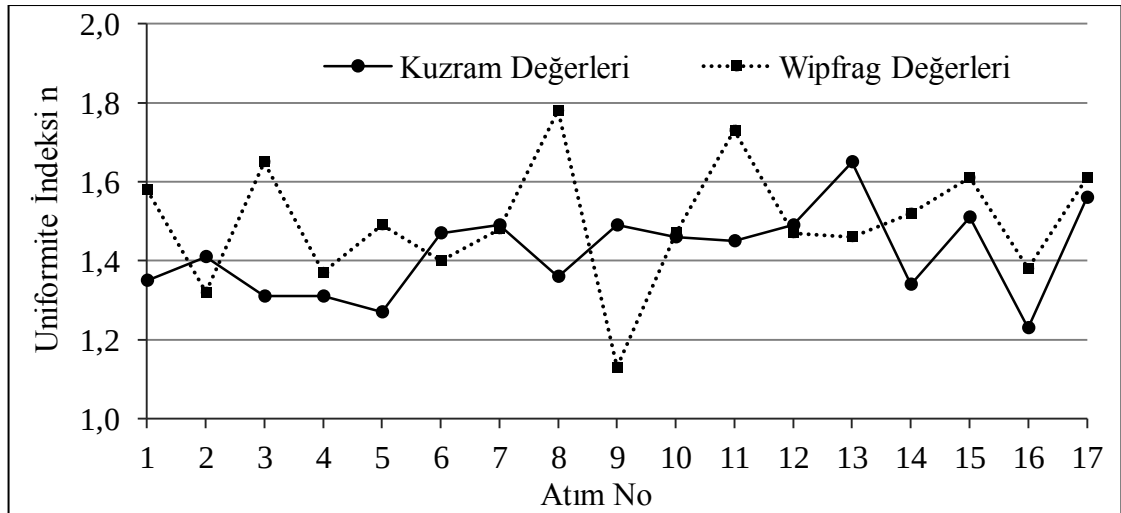
9.2 Ölçülen Atımlar İçin Parça Boyutu ve Üniformite İndeksinin İncelenmesi

Şekil 9.18’de WipFrag yazılımı ve KuzRam Modeli ile hesaplanan ortalama parça boyutu değerleri sunulmuştur. Kuznetsov denklemi ortalama parça boyutu için oldukça yakın tahminlerde bulunmuştur. Ölçülen ve tahmin edilen boyutlar arasındaki fark ortalama olarak 2,03 cm. olarak hesaplanmıştır. Grafikten de görüldüğü üzere 2., 3., 5. ve 16. atımlarda model ile yazılımın ölçtüğü ortalama parça boyutu arasında 3 cm. ’den büyük farklar mevcuttur. Kuznetsov denklemi ile yapılan en başarılı ortalama parça boyutu tahminleri 11, 13 ve 15 numaralı atımlardır. Bu atımlarda ölçülen değerler ile hesaplanan değerler arasındaki fark sırasıyla 0,93, 0,78 ve 0,20 cm.’dir.



Şekil 9.18: WipFrag yazılımı ve KuzRam Modeli ile hesaplanan ortalama parça boyutu değerleri

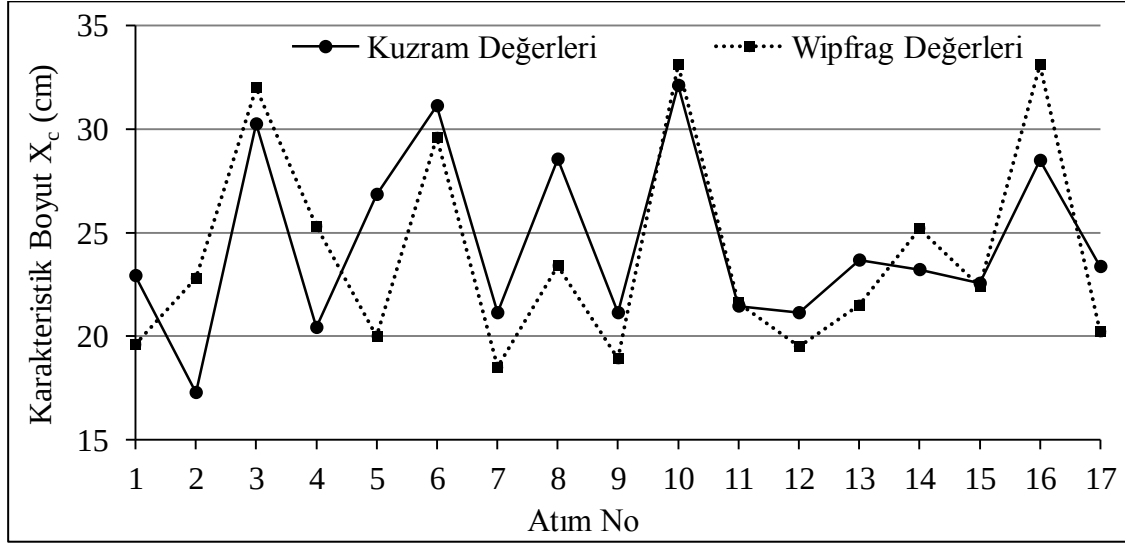
Şekil 9.19’da WipFrag yazılımı ve KuzRam modeli ile hesaplanan üniformite indeksi değerleri sunulmuştur. KuzRam modeli ve WipFrag yazılımı değerleri arasında ortalama fark 0,16 olarak tespit edilmiştir. Özellikle 7, 10 ve 12 numaralı atımlarda üniformite indeksi değerleri birbirine çok yakındır. KuzRam modeli ile hesaplanan ortalama değer 1,42 olup standart sapma 0,11’dir. WipFrag yazılımı ile ölçülen ortalama üniformite indeksi değeri 1,50 olup standart sapma 0,16 bulunmuştur. Üniformite indeksi parçalanma eğrisinin eğimidir. Ortalama parça boyutu birbirine yakın olsa dahi eğri eğimleri farklı olduğundan üniformite indeksi farklı olabilir.



Şekil 9.19: WipFrag yazılımı ve KuzRam modeli ile hesaplanan üniformite indeksi değerleri

X_c , Karakteristik boyutun parçalanma eğrisinin çiziminde kullanıldığına 5. Bölümde değinilmiştir. Şekil 9.20’de WipFrag yazılımı ve KuzRam modeli ile ölçülen

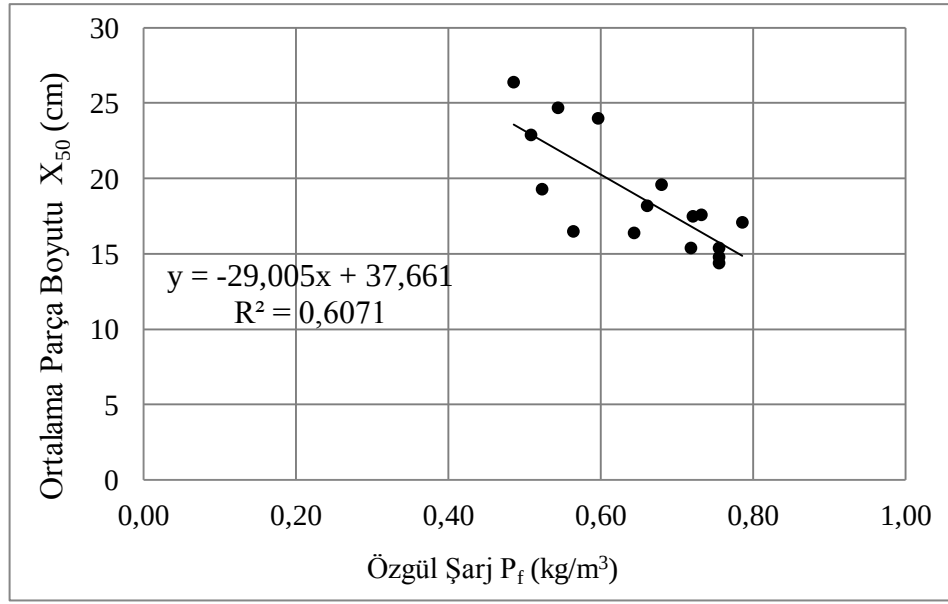
karakteristik boyut (X_c) değerleri sunulmuştur. Görüldüğü gibi genel olarak KuzRam modeli ve WipFrag yazılımı değerleri arasında uyum söz konusudur. Ölçülen ve tahmin edilen karakteristik boyutlar arasında ortalama olarak 2,9 cm.'lik bir fark hesaplanmıştır. KuzRam modeli ile hesaplanan ortalama değer 24,45 cm. olup standart sapma 4,29'dur. WipFrag yazılımı ile ölçülen ortalama karakteristik boyut 23,93 cm. olup standart sapma 5,04 cm. bulunmuştur. Özellikle 6, 10 ve 11 numaralı atımlarda karakteristik boyut değerleri birbirine çok yakındır.



Şekil 9.20: WipFrag yazılımı ve KuzRam modeli ile hesaplanan karakteristik boyut değerleri

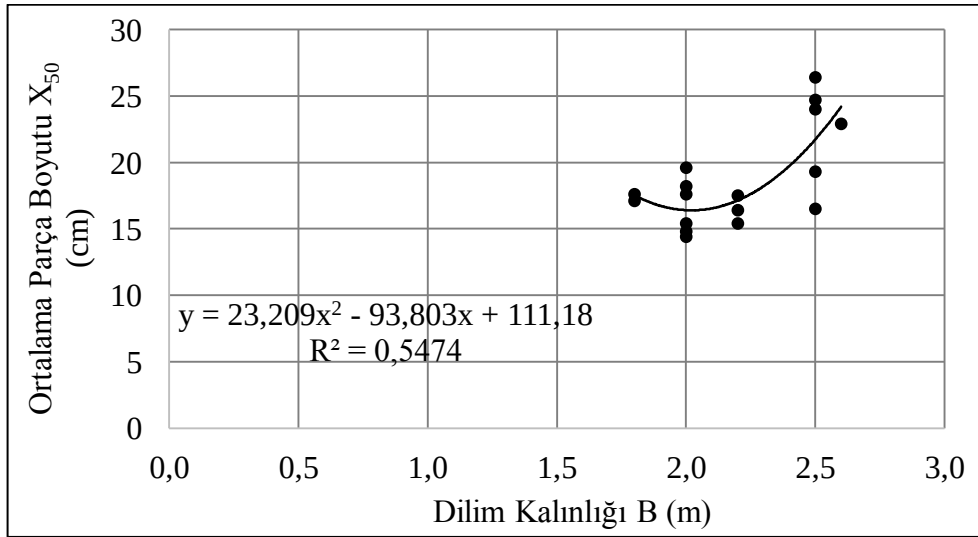
9.3. Patlatma Tasarım Parametreleri İle Parçalanma Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Bu bölümdeki tüm ortalama parça boyutu değerleri WipFrag ile ölçülen değerlerdir. Ortalama parça boyutu ile diğer değişkenler arasında ilişki kurulurken en yüksek korelasyon katsayısını veren eğri çeşidi tercih edilmiştir. Şekil 9.21 'de Özgül şarj ve ortalama parça boyutu arasındaki ilişki gösterilmiştir. X_{50} ve P_f arasında Özgül şarj ve ortalama parça boyutu arasında $y = -29,005x + 37,661$ denklemleri ile tanımlanan ve belirlilik katsayısı $R^2 = 0,6071$ olan bir ilişki söz konusudur. Buradan R , korelasyon katsayısı 0,78 olarak bulunmuştur. Teorik olarak bilindiği gibi özgül şarjın parçalanma üzerinde önemli etkisi olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 9.21: Özgöl şarj ve ortalama parça boyutu arasındaki ilişki

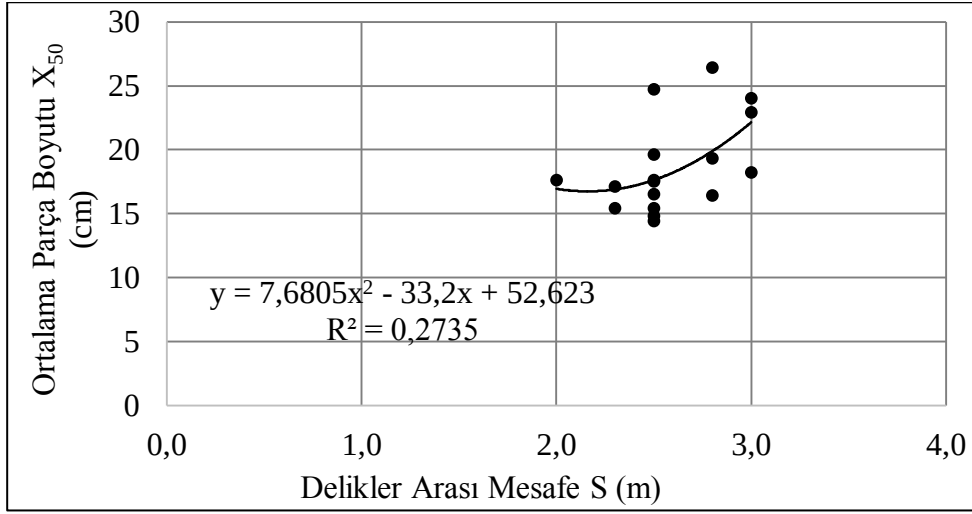
Şekil 9.22’de Dilim kalınlığı ve ortalama parça boyutu arasındaki ilişki gösterilmiştir. Dilim kalınlığı ve ortalama parça boyutu arasında $y = 23,209x^2 - 93,803x + 111,18$ denklemi ile tanımlanan ve belirlilik katsayısı $R^2 = 0,5474$ olan bir ilişki söz konusudur. Buradan R, korelasyon katsayısı 0,74 olarak bulunmuştur. En büyük R^2 değeri polinom fonksiyonla elde edilmiştir.



Şekil 9.22: Dilim kalınlığı ve ortalama parça boyutu arasındaki ilişki

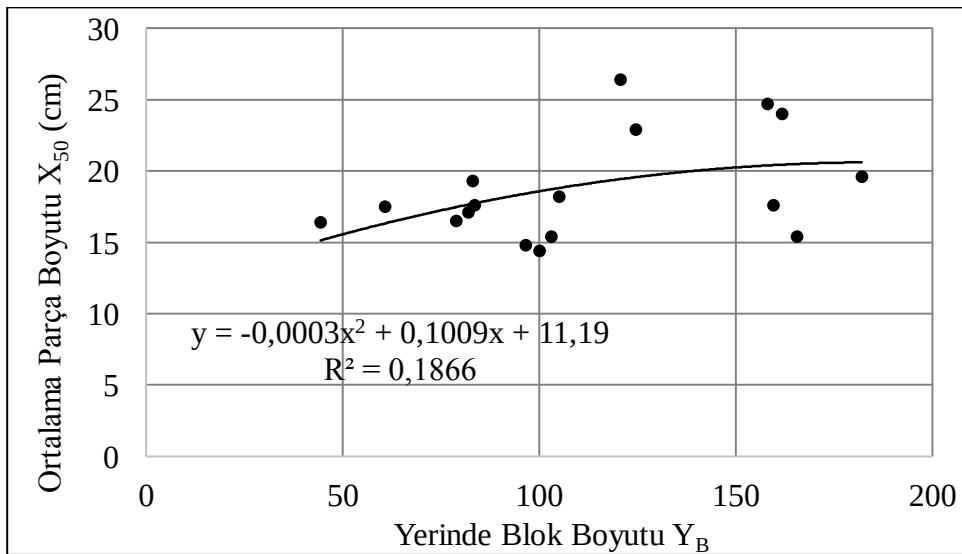
Şekil 9.23’de Delikler arası mesafe ve ortalama parça boyutu arasındaki ilişki gösterilmiştir. Delikler arası mesafe ve ortalama parça boyutu arasında $y = 7,6805x^2 - 33,2x + 52,623$ denklemi ile tanımlanan ve belirlilik katsayısı $R^2 = 0,2735$ olan bir ilişki söz konusudur. Buradan R, korelasyon katsayısı 0,52 olarak bulunmuştur.

Denilebilir ki, delikler arası mesafe ve ortalama parça boyutu arasında gözlenen atımlarda güçlü bir ilişkiye rastlanmamıştır.



Şekil 9.23: Delikler arası mesafe ve ortalama parça boyutu arasındaki ilişki

Şekil 9.24’de Yerinde blok boyutu ve ortalama parça boyutu arasındaki ilişki gösterilmiştir. Yerinde blok boyutu ve ortalama parça boyutu arasında $y = -0,0003x^2 + 0,1009x + 11,19$ denklemi ile tanımlanan ve belirlilik katsayısı $R^2 = 0,1866$ olan bir ilişki söz konusudur. Buradan R , korelasyon katsayısı 0,43 olarak bulunmuştur. Gözlenen atımlarda ortalama yerinde blok boyutu ve ortalama parça boyutu arasında güçlü bir ilişki görülmemiştir. Burada parçalanma prosesinde çeşitli kayaç özelliklerinin, patlayıcı performansının ve patlatma tasarımlarının aynı anda etkili olduğu unutulmamalıdır.



Şekil 9.24: Yerinde blok boyutu ve ortalama parça boyutu arasındaki ilişki

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında İstanbul, Kağıthane, Cendere bölgesinde bulunan taşocaklarında toplam 17 atım gözlemlenmiştir. Öncelikle atım öncesi ayna fotoğraflanmış ve WipJoint yazılımı ile incelenerek yerinde blok boyutu bulunmuştur. Gerçekleştirilen atım sonrasında ise oluşan yığını temsil edecek şekilde farklı noktalardan fotoğraflar çekilmiştir ve WipFrag yazılımı ile analiz edilerek yığının parça boyut dağılımı belirlenmiştir. Bulunan sonuçlar yığının boyut dağılımını tahmin etmek üzere üretilmiş olan modeller ile eş zamanlı olarak karşılaştırılmıştır.

Gözlemlenen atımlarda tüm deliklerin çapı 89 mm.'dir. Bölüm 8'de ayrıntılı olarak verilen tasarım parametreleri kısaca şu şekilde ölçülmüştür; delik boyu 6,5 m. ile 15 m. arasında; dilim kalınlığı ise 1,8 m. ile 2,6 m. arasında; delikler arası mesafe 2,0 ile 3,0 m.; sıkılama boyu ise 2,5 m. ile 4,0 m. arasında değişmektedir. Sıkılama mesafesi uzun deliklerde şarj miktarı daha fazla olduğundan, daha uzun tutulmuştur. Ayrıca, uzun deliklerde atımın kesintiye uğramaması için biri delik dibinde biri ortada olmak üzere çift yemleme kullanıldığı gözlemlenmiştir.

Yığının parça boyutunu tahmin için kullanılan Kuznetsov denklemi ortalama parça boyutu için oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Ölçülen ve tahmin edilen ortalama parça boyutları arasında mutlak olarak 2,03 cm. fark olarak hesaplanmıştır. Ölçülen parça boyutları ile teorik modellerin uyumlu olduğunu söylemek mümkündür. Kuznetsov denklemi ile yapılan en başarılı ortalama parça boyutu tahminleri 11, 13 ve 15 numaralı atımlardır. Üniformite indeksi için KuzRam modeli ve WipFrag yazılımı değerleri arasında ortalama fark 0,16 olarak tespit edilmiştir. Özellikle 7, 10 ve 12 numaralı atımlarda üniformite indeksi değerleri birbirine çok yakındır. KuzRam modeli ile hesaplanan ortalama değer 1,42 olup standart sapma 0,11'dir. WipFrag yazılımı ile ölçülen ortalama üniformite indeksi değeri 1,50 olup standart sapma 0,16 bulunmuştur. Karakteristik boyut (X_c) açısından KuzRam modeli ve

WipFrag yazılımı değerleri arasında uyum söz konusudur. Ölçülen ve tahmin edilen karakteristik boyutlar arasında ortalama olarak 2,9 cm.'lik bir fark hesaplanmıştır. Bu farkın çoğunlukla 2., 3., 5. ve 16. atımlardan kaynaklandığı tespit edilmiştir. KuzRam modeli ile hesaplanan ortalama değer 24,45 cm. olup standart sapma 4,29'dur. WipFrag yazılımı ile ölçülen ortalama karakteristik boyut 23,93 cm. olup standart sapma 5,04 cm. bulunmuştur. Özellikle 6, 10 ve 11 numaralı atımlarda karakteristik boyut değerleri birbirine çok yakındır.

Bu tez kapsamında incelenen atımlar sonucunda ulaşılan veriler ışığında ortalama parça boyutu ile delikler arası mesafe, dilim kalınlığı, yerinde blok boyutu ve özgül şarj arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır. Ortalama parça boyutu ile diğer değişkenler arasında ilişki kurulurken en yüksek korelasyon katsayısını veren eğri çeşidi tercih edilmiştir. Özgül şarj ve ortalama parça boyutu arasında $y = -29,005x + 37,661$ denklemi ile tanımlanan ve belirlilik katsayısı $R^2 = 0,6071$ olan bir ilişki söz konusudur. Buradan R, korelasyon katsayısı 0,79 olarak bulunmuştur. Teorik olarak bilindiği gibi özgül şarjın parçalanma üzerinde önemli etkisi olduğunu söylemek mümkündür. Dilim kalınlığı ve ortalama parça boyutu arasında $y = 23,209x^2 - 93,803x + 111,18$ denklemi ile tanımlanan ve belirlilik katsayısı $R^2 = 0,5474$ olan bir ilişki söz konusudur. Buradan R, korelasyon katsayısı 0,74 olarak bulunmuştur. En büyük R^2 değeri polinom fonksiyonla elde edilmiştir. Diğer yandan, delikler arası mesafe ve ortalama parça boyutu ile yerinde blok boyutu ve ortalama parça boyutu arasında güçlü bir ilişkiye rastlanmamıştır. Burada; en önemli temel patlatma tasarım parametreleri ile X_{50} arasındaki ilişki verilmiştir. Diğer tasarım parametreleri ile X_{50} arasında bir ilişkiye rastlanmamıştır. Parçalanma prosesinde çeşitli kayaç özelliklerinin, patlayıcı performansının ve çok sayıda patlatma tasarım parametresinin aynı anda etkili olduğu unutulmamalıdır. Ek olarak tahmin modellerinin iyi sonuçlar verebilmesi için atım öncesinde patlatma tasarım parametrelerinin dikkatli şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Ayrıca, araştırmacılar tahmin modellerini atım sırasında kullanılan patlayıcı maddelerin en verimli şekilde kullanıldığını var sayarak geliştirmişlerdir. Özellikle dilim kalınlığı ve delikler arası mesafenin titizlikle belirlenmesi gerekmektedir. Ocaklarda aynaların düzensiz olduğu gözlenmiştir. Düzensiz aynalar dilim kalınlığının hesaplanandan daha az veya fazla olmasına neden olmaktadır. Delme parametreleri delici makine operatörünün inisiyatifine bırakılmadan mühendis tarafından atım öncesinde işaretlenmelidir.

Dilim kalınlığı, şarj yüksekliği gibi parametrelerin parçalanma üzerinde büyük etkisi olduğu unutulmamalıdır.

Görüntü işleme sırasında yığından alınan fotoğrafların yığını karakterize edecek şekilde farklı noktalardan alınması önem arz etmektedir. Fotoğraflarda mümkün olduğunca gölgelerden kaçınılmalıdır. Açılı fotoğraflarda örnekleme ölçeğinin konumu önemlidir. Ölçekler birbirine çok yakın veya çok uzak konumlandırılmamalıdır.

Bu tez kapsamında yapılan incelemelerde KuzRam ve KCO modellerinin taş ocaklarında başarıyla kullanılabileceği görülmüştür. Özellikle 1, 9, 15 ve 17. atımlarda KuzRam ve KCO modellerinin tahminleri görüntü işleme yazılımı ile ölçülen değerlerle büyük ölçüde uyum içindedir. KuzRam modeli son 10 yılda geliştirilmiş ve literatürde yer almaktadır. KCO modelinin genel olarak yığındaki ince malzeme miktarını daha yüksek oranda hesapladığı görülmüştür. Gözlemlerin yapıldığı işletmelerde kırıcının ağız açıklığı 80 cm.'dir. Atım sonrası oluşan yığında patar olarak adlandırılan ve boyutu 1 m.'den büyük parçalar gözlemlenmiş, sayılarının az olduğu belirlenmiştir. Genel olarak parça boyut dağılımları işletmelerin beklentisi ile uyumlu olduğunu söylemek mümkündür. Uygulama sırasında, KuzRam ve KCO Cendere bölgesinde görev yapan mühendisler tarafından revize edilmesi mümkündür. Modellerin pratik kullanımına uygun olduğu tespit edilmiştir. Kuz-Ram modelinin daha uzun süre denenmiş olduğu unutulmamalıdır.

Ülkemizde inşaat sektörü hızlı bir şekilde büyümekte ve hammadde ihtiyacı da bununla doğru orantılı olarak artmaktadır. Agregatör beton üretimi sırasında en yüksek oranda ihtiyaç duyulan girdilerden bir tanesidir. Dolayısıyla, agregatör üretiminin en verimli ve en ekonomik şekilde gerçekleştirilmesi ihtiyacı doğmaktadır. Parçalanma modelleri taşocaklarında üretimin verimli ve ekonomik olarak gerçekleştirilmesi için faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Bhandari, S.**, 1997. *Engineering Rock Blasting Operations*, A.A. Balkema, Rotterdam. Sf.65-76, 185-206.
- Badroddin M., Bakhtavar E., Khoshrou H., B. Rezaei**, 2012. *Efficiency of standardized image processing in the fragmentation prediction in the case of Sungun open-pit mine*, Saudi Society for Geosciences.
- Cunningham, CVB**, 1983. The Kuz–Ram model for prediction of fragmentation from blasting, *1st Int. Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, Lulea, Sweden, Aug. 22–26, Sf. 439–453.
- Cunningham, CVB**, 1987. Fragmentation estimations and Kuz–Ram model –four years on, *Proceedings of 2nd Int. Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, Keystone, Colorado, Aug. 23–26, Sf. 475–487.
- Cunningham, CVB**, 2005. The Kuz–Ram Fragmentation model –20 years on, *Proceedings of Brighton Conference*, South Africa, Sf. 201–205.
- Gültekin A. H., Akkaya Y., Keskin G.** 2011. *Beton Üretiminde Kullanılan Kumtaşı Agregasının Durabilite Açısından İncelenmesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi. Sf. 229.
- Hustrulid, W.**, 1999. *Blasting Principles for Open Pit Mining - General Design Concepts, Theoretical Foundations*, A.A. Balkema, Roterdam. Sf. 99.
- Hüdaverdi, T., Akyıldız Ö.**, 2015. *Agrega Ocaklarında Parçalanma Modelleriyle Patlatma Sonrası Yığının Parça Boyut Dağılımının Belirlenmesi. 7.Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul 5-6 Mart, Sf. 91.
- Hüdaverdi, T., Güçlü, E., Kuzu, C.**, 2009. *Parçalanma İndeksi İle Taş Ocaklarında Patlatma Verimliliğinin İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul.*
- J. Hadjigeorgiou, A.K. Mehmotra, R. Poulin, R.K. Singhal**, 1995. *Mine Planning and Equipment Selection*. Sf. 89.
- Jimeno, C. L., Jimeno, E. L. and Carcedo, F. J. A.**, 1995. *Drilling and Blasting of Rocks*, A. A. Balkema, Brookfield Publication, Rotterdam. Sf. 10-16, 92-97.
- Ketin, İ. and Güner, G.**, 1988. İstanbul Bölgesi’nde karbonifer yaşı Trakya formasyonunun yapısal özelliği, *Erguvanlı Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu*, İstanbul, 29-30 Eylül, Sf. 13–17.
- Kuzu, C. ve Hüdaverdi, T.**, 2006. Patlatma ile Kaya Kırmada KUZ-RAM Modelinin Değerlendirilmesi, *IV. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, 1–2 Aralık, İstanbul, Sf. 347–355.
- Kuznetsov, V. M.**, 1973. Mean diameter of fragments formed by blasting rock, *Soviet Mining Science*, 9(2), Sf. 144–148.

- Konya, C. J. and Walter, E. J., 1990.** *Surface Blast Design*, Prentice Hall, New Jersey, USA. Sf. 117-127.
- Lilly, P. A., 1986.** An Emprical method of assessing rock mass blastability, *AusIMM Large Open Pit Mining Confernce*, Melbourne, Sf. 89–92.
- Maerz, N. H., 1996b.** Image sampling techniques and requirements for automated image analysis of rock fragmentation, *Fragblast 5, Workshop on Measurement of Blast Fragmentation*, Canada, Aug. 25-29, Sf. 115–120.
- Maerz, N. H. and Palangio, T. C. and Franklin, C. A., 1996.** WipFrag image based granulometry system, *Fragblast 5, Workshop on Measurement of Blast Fragmentation*, Canada, Aug. 25-29, Sf. 91–99.
- Mckenzie, A. S., 1967.** Optimum blasting, *Proceedings of the 28th Minnesota Mining Symposium*, Duluth, USA, Sf. 181–188.
- Morhard, R. C., Chiappetta, R. F. and Borg, D. G., 1987.** *Explosives and Rock Blasting*, Atlas Powder Co., Dallas, Texas. Sf. 174-176.
- Onederra I., Esen S. and Jankovic A., 2004.** *Estimation of fines generated by blasting – applications for the mining and quarrying industries.* Mining Technology (Trans. Inst. Min. Metall. A).
- Olofsson, S. O., 1988.** *Applied Explosives Technology for Construction and Mining*, Applex, Sweden. Sf. 33-44.
- Ouchterlony, F., 2003.** *Influence of Blasting on the size distrribution and properties of muckpile fragments, a state0of-the-art review.* Swebrec, Lulea University of Technology.
- Ouchterlony, F., 2005a.** The Swebrec function: linking fragmentation by blasting and crushing, *Trans. Inst. Min. Metall. A*, Vol. 114, Sf. 32.
- Palangio, T. C. and Franklin, J. A., 1996.** WipFrag image based granulometry system, *Fragblast 5, Workshop on Measurement of Blast Fragmentation*, Canada, Aug. 25-29, Sf. 112-113.
- Palangio, T. C. and Maerz, N. H., 1999.** Case studies using the WipFrag image analysis system.. FRAGBLAST 6, Sixth International Symposium For Rock Fragmentation By Blasting, Johannesburg, South Africa, Aug. 8-12 1999, Sf. 117-120.
- University of Arizona,** Mining and Geological Engineering 415 - Rock Excavation, Course Notes – Spring 2003, Sf. 71
- Tunçdemir, H., Hüdaverdi, T. ve Bayram, O., 2009.** Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret AŞ'ye ait kayaç numunelerinin tek eksenli basınç dayanımlarının belirlenmesi, *İTÜ Araştırma raporu*, İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü.
- WipFrag 2.6 Manual,** 2007. Wipware Inc., Ontario, Canada.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Özge AKYILDIZ
Doğum Yeri ve Tarihi: Şişli-İSTANBUL / 31.01.1989
E-Posta: akyildizoz@itu.edu.tr
Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi
Maden Mühendisliği