



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PATLATMADA HARCANAN FAYDALI ENERJİ İLE
PATLATMA VERİMİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**Maden Müh. Ülkü KALAYCI
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Ümit ÖZER**

Temmuz, 2011

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**PATLATMADA HARCANAN FAYDALI ENERJİ İLE
PATLATMA VERİMİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Maden Müh. Ülkü KALAYCI
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Ümit ÖZER

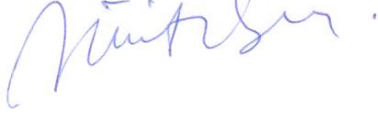
Temmuz, 2011

İSTANBUL

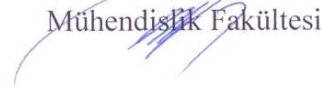
Bu çalışma 05 / 07 / 2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Maden Mühendisliği programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Yrd.Doç.Dr. Ümit ÖZER (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



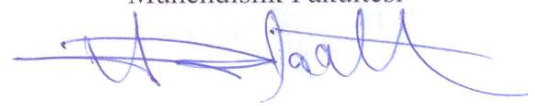
Prof.Dr. Şafak G. ÖZKAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof.Dr. Ataç BAŞÇETİN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof.Dr. Alaettin KILIÇ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof.Dr. Süleyman DALGIÇ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin T-10296 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam **Yrd. Doç. Dr. Ümit ÖZER**'e, bölüm başkanımız **Prof. Dr. Şafak G. ÖZKAN**'a, anabilim dalı başkanımız **Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN**'e, değerli hocalarım **Yrd. Doç. Dr. Abdulkadir KARADOĞAN**'a ve **Dr. Mehmet AKSOY**'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca benden yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarım **Araş. Gör. Deniz ADIGÜZEL**'e, **Araş. Gör. Serkan TÜYLÜ**'ye, **Araş. Gör. Zeynep SERTABIPOĞLU**'na, **Araş. Gör. İsmail DEMİR**'e, **Araş. Gör. Can GÜNGÖREN**'e, **Araş. Gör. Aşkın MUTLU**'ya, **Araş. Gör. Savaş KARABULUT**'a ve çalışmamın uygulama kısmını destekleyen **İstanbul Üniversitesi**'ne teşekkürü borç bilirim.

Saha çalışmalarım sırasında bana çalışma olanağı sağlayan **Akyol Mıcır ve Mermer A.Ş.**, **Haktaş Madencilik San. ve Tic. Ltd. Şti.** ve **Akdağlar Madencilik San. ve Tic. A.Ş.** yetkilileri ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında benden desteğini esirgemeyen **aileme** çok teşekkür ederim.

Temmuz, 2011

Ülkü KALAYCI

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
TABLO LİSTESİ	XII
SEMBOL LİSTESİ	XIV
ÖZET	XVII
SUMMARY	XIX
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	2
2.1. DELME PATLATMA İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER.....	2
2.1.1. Delme ve Patlatmanın Önemi	3
2.1.2. Delme Patlatmanın Kullanıldığı Alanlar	8
2.1.2.1. Madencilik Sektörü	8
2.1.2.2. İnşaat Sektörü	9
2.1.2.3. Petrol ve Doğalgaz Sektörü.....	9
2.1.2.4. Enerji Sektörü	9
2.1.2.5. Tarım Sektörü.....	9
2.1.2.6 Askeri Faaliyetler	9
2.1.2.7. Diğer Faaliyetler	10
2.2. PATLAYICI MADDE ÖZELLİKLERİ	10
2.2.1. Patlatma Gücü Ve Verimi	11
2.2.1.1. Patlama (Detonasyon) Hızı.....	11
2.2.1.2. Patlamanın Stabilesi	14

2.2.1.3. Patlama Basıncı	14
2.2.1.4. Patlama Isısı	16
2.2.1.5. Özgül Gaz Hacmi	16
2.2.1.6. Patlayıcı Gücü (Kuvveti)	16
2.2.1.7. Patlayıcı Yoğunluğu	19
2.2.2. Kolay Patlama ve Duyarlılık	19
2.2.3. Oksijen Dengesi	19
2.2.4. Enerji Aktarma Oranı	20
2.2.5. Emniyet	20
2.2.6. Suya Karşı Direnç	21
2.2.7. Depolanma Özellikleri	21
2.2.8. Patlatma Ürünü Gazlar	22
2.3. PATLAYICI MADDE TÜRLERİ	22
2.3.1. Ateşli Patlayıcılar	22
2.3.2. Yüksek Hassasiyetli Patlayıcılar	23
2.3.2.1. Nitrogliserin Bazlı Patlayıcılar	23
2.3.2.2. Kapsüle Duyarlı Emülsiyon Patlayıcılar	24
2.3.3. Patlayabilir Karışımlar	24
2.4. PATLAYICI MADDE SEÇİMİ	27
2.5. PATLATMA TASARIM PARAMETRELERİ	29
2.5.1. Çalışılan Kaya Birimlerinin Madde ve Kütle Özellikleri	31
2.5.2. Patlayıcı Maddenin Cinsi, Özellikleri ve Dağılımı	31
2.5.3. Patlatma Geometrisi	32
2.5.3.1. Delik Çapı	32
2.5.3.2. Kaya Katsayısı	33
2.5.3.3. Delik Taban Zorluğu	33
2.5.3.4. Basamak Yüksekliği	34
2.5.4. Özgül Şarjın Belirlenmesi İçin Bazı Yöntemler	36
2.5.5. Dilim Kalınlığının Belirlenmesine Yönelik Yaklaşımlar	38
2.5.6. Diğer Patlatma Tasarım Büyüklükleri	40
2.5.6.1. Delik Çapı Tahmini	40
2.5.6.2. Delik Eğiminin Belirlenmesi	41

2.5.6.3. Delikler Arası Mesafenin Belirlenmesi.....	41
2.5.6.4. Delik Taban Payının Belirlenmesi	42
2.5.6.5. Sıkılama Boyunun Belirlenmesi.....	43
2.5.6.6. Yemleme Yeri ve Miktarının Belirlenmesi	44
2.5.6.7. Gecikme Zamanının Belirlenmesi.....	44
2.5.6.8. Dip Şarj ve Kolon Şarj Boylarıyla Miktarlarının Belirlenmesi.....	45
2.5.6.9. Delik Hata Payının Belirlenmesi.....	47
2.6. PATLATMA İLE KAYA KIRILMA MEKANİZMASI.....	47
2.6.1. Patlatma İle Kaya Parçalanmasında Gerilme Dalgası Yayılması	50
2.6.1.1. Patlatma Sonucu Oluşan Gerilme Dalgalarının Farklı Kayaç Ara Yüzeylerinde Kırılma Ve Yansıması	51
2.6.1.2. Gerilme Dalgası Yayılması	51
2.7. PATLATMA ENERJİ DENGESİ VE BÖLÜŞÜMÜ.....	58
2.7.1. Sismik Enerji	59
2.7.2. Kinetik Enerji.....	61
2.7.2.1. Kayaç Parçalarının Aerodinamiği.....	62
2.7.3. Kırılma Enerjisi.....	63
2.8. PATLATMA SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	65
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	67
3.1. AKYOL TAŞOCAĞI.....	67
3.1.1. Genel Jeoloji	68
3.1.2. Stratigrafik Jeoloji	69
3.1.2.1. Mahya Şisti.....	69
3.1.2.2. Kırklareli Kireçtaşı.....	69
3.1.2.3. Gürpınar Formasyonu	69
3.2. HAKTAŞ TAŞOCAĞI.....	72
3.2.1. Stratigrafik Jeoloji	74
3.2.1.1. Trakya formasyonu	74
3.2.1.2. Küçükköy Kumtaşı Üyesi	74
3.2.1.3. Çamurluhan Şeyl Üyesi	75
3.2.1.4. Cebeciköy kireçtaşı üyesi	75
3.2.1.5. Belgrad formasyonu.....	75

3.2.1.6. <i>Alüvyon</i>	75
3.3. AKDAĞLAR TAŞOCAĞI	76
3.3.1. Bölgenin Genel Jeolojisi.....	77
3.3.2. Stratigrafik Jeoloji	79
3.3.1.1. <i>Gözdağ Formasyonu</i>	79
3.3.1.2. <i>Dolayoba Formasyonu</i>	80
3.4. ÇALIŞMA YÖNTEMİ.....	81
3.4.1. Arazi Çalışmaları	81
3.4.2. Laboratuar Çalışmaları.....	83
4. BULGULAR	85
4.1. ARAZİ ÇALIŞMALARI	85
4.1.1. Akyol Taşocağında Yapılan Çalışmalar	85
4.1.1.1. <i>Düzenlenen Atım Paternleri</i>	85
4.1.1.2. <i>Atım Sonuçlarının İstatistiksel Analizi</i>	88
4.1.1.3. <i>Basamak Profilinin Belirlenmesi</i>	91
4.1.2. Haktaş Taşocağında Yapılan Çalışmalar	92
4.1.2.1. <i>Düzenlenen Atım Paternleri</i>	92
4.1.2.2. <i>Atım Sonuçlarının İstatistiksel Analizi</i>	93
4.1.1.3. <i>Basamak Profilinin Belirlenmesi</i>	95
4.1.3. Akdağlar Taşocağında Yapılan Çalışmalar	96
4.1.3.1. <i>Düzenlenen Atım Paternleri</i>	96
4.1.3.2. <i>Atım Sonuçlarının İstatistiksel Analizi</i>	98
4.1.3.3. <i>Basamak Profilinin Belirlenmesi</i>	99
4.2. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI.....	100
4.2.1. Akyol Taşocağı Numuneleri Üzerinde Yapılan Laboratuar Çalışmaları.....	101
4.2.1.1. <i>Yoğunluk Tayini</i>	101
4.2.1.2. <i>Ultrasonik Ses Geçirgenliği Deneyi</i>	101
4.2.1.3. <i>Tokluk Dayanımı Tayini</i>	102
4.2.1.4. <i>Nokta Yük Dayanımı Tayini</i>	102
4.2.2. Haktaş Taşocağı Numuneleri Üzerinde Yapılan Laboratuar Çalışmaları.....	103

4.2.2.1. Yoğunluk Tayini.....	103
4.2.2.2. Ultrasonik Ses Geçirgenliği Deneyi.....	103
4.2.2.3. Tokluk Dayanımı Tayini.....	104
4.2.2.4. Nokta Yük Dayanımı Tayini	104
4.2.3. Akdağlar Taşocağı Numuneleri Üzerinde Yapılan Laboratuvar Çalışmaları.....	106
4.2.3.1. Yoğunluk Tayini.....	106
4.2.3.2. Ultrasonik Ses Geçirgenliği Deneyi.....	106
4.2.3.3. Tokluk Dayanımı Tayini	106
4.2.3.4. Nokta Yük Dayanımı Tayini	107
4.3. ENERJİ BÖLÜŞÜMLERİNİN ANALİZİ.....	108
4.3.1. Kinetik Enerjinin Belirlenmesi	108
4.3.1.1. Akyol Taşocağında Kinetik Enerjinin Belirlenmesi	108
4.3.1.2. Haktaş Taşocağında Kinetik Enerjinin Belirlenmesi.....	111
4.3.1.3. Akdağlar Taşocağında Kinetik Enerjinin Belirlenmesi	113
4.3.2. Kırılma Enerjisinin Belirlenmesi.....	114
4.3.2.1. Akyol Taşocağında Atım Sonrası Parça Boyut Dağılımının Belirlenmesi.....	114
4.3.2.2. HaktaşTaşocağında Atım Sonrası Parça Boyut Dağılımının Belirlenmesi.....	124
4.3.2.3. Akdağlar Taşocağında Atım Sonrası Parça Boyut Dağılımının Belirlenmesi.....	126
4.3.2.4. Kırılma Enerjileri	130
4.3.3. Sismik Enerjinin Belirlenmesi	131
4.3.4. Patlayıcı Enerjisi Hesabı	132
4.3.5. Enerji Bölüşümleri	133
4.3.6. Faydalı Enerji İle Patlatma Verimi Arasındaki İlişki	134
4.3.6.1. Parçalanma Verimliliği.....	134
4.3.6.2. Sismik Verimlilik.....	135
4.3.6.3. Kinetik Verimlilik	135
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	137

KAYNAKLAR.....	141
ÖZGEÇMİŞ	147

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Delme-patlatmayı esas alan kazı işleminin genel planlaması.....	3
Şekil 2.2: Kaya parçalanmasında patlatma maliyeti ve ardışık işlem maliyetleri arasındaki ilişki	4
Şekil 2.3: Delme ve patlatmanın üretim sürecindeki yeri ve önemi.	5
Şekil 2.4: Başarılı bir atımın başlıca göstergeleri	8
Şekil 2.5: Delik çapının fonksiyonu olarak patlama hızı	13
Şekil 2.6: Patlamanın şematik gösterimi.....	15
Şekil 2.7 Basınç – Hacim eğrisi	17
Şekil 2.8: Patlayıcı madde seçimi sonuçları.....	29
Şekil 2.9: Delik çapının, maliyet ve parçalanma boyuna etkisinin şematik olarak gösterilmesi	33
Şekil 2.10: Eğimli deliklerin taban zorluğunu yenmesi	34
Şekil 2.11: Basamak patlatması terimleri.....	35
Şekil 2.12: Kırılma mekanizması aşamaları.....	49
Şekil 2.13: P ve S dalgalarının serbest yüzey ile etkileşimi sonucu ürettikleri gerilme dalgaları.....	51
Şekil 2.14: Bir kolon sarjından dalga yayılmasının şematik gösterimi.....	53
Şekil 2.15: Detonasyonun ardından birim deformasyon dalgalarının yayılması	54
Şekil 2.16: Çatlak oluşumunun gaz basıncı ile olan ilişkisi.....	55
Şekil 2.17: Patlatma sonrası oluşan parçalanma mekanizması.	55
Şekil 2.18: Kütle taşınmaları.....	57
Şekil 2.19: Atış hareketinde bir parçacığa etki eden kuvvetler.....	63
Şekil 3.1: Çalışma sahaları yer bulduru haritası.....	67
Şekil 3.2: Akyol Taşocağı yer bulduru haritası.....	68
Şekil 3.3: İnceleme alanının genel jeoloji haritası	70
Şekil 3.4: İnceleme alanı jeolojik kesiti	71
Şekil 3.5: İnceleme alanının genelleştirilmiş sütun kesiti	71

Şekil 3.6: Haktaş Taşocağı yerbulduru haritası.....	72
Şekil 3.7: İnceleme alanının genel jeoloji haritası	73
Şekil 3.8: İnceleme alanı jeolojik kesiti	74
Şekil 3.9: İnceleme alanının genelleştirilmiş sütun kesiti	76
Şekil 3.10: Akdağlar Taşocağı yerbulduru haritası.....	77
Şekil 3.11: İnceleme alanının genel jeoloji haritası	78
Şekil 3.12: İnceleme alanı jeolojik kesiti	79
Şekil 3.13: İnceleme alanının genelleştirilmiş sütun kesiti.....	81
Şekil 3.14: Deneylerde kullanılan numunelerden bazıları	83
Şekil 3.15: Ultrasonik ses geçirgenliği deney düzeneği.....	84
Şekil 3.16: Tokluk dayanımı deney düzeneği	84
Şekil 4.1: Maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe değerlerinin grafiksel yorumu (Akyol taşocağı).....	91
Şekil 4.2: Patlatma öncesi basamak modeli (Akyol taşocağı atım no:2-3).....	92
Şekil 4.3: Patlatma öncesi basamak modeli (Akyol taşocağı atım no:8)	92
Şekil 4.4: Maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe değerlerinin grafiksel yorumu (Haktaş taşocağı).....	95
Şekil 4.5: Patlatma öncesi basamak modeli (Haktaş taşocağı Atım no:1).....	96
Şekil 4.6: Maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe değerlerinin grafiksel yorumu (Akdağlar taşocağı)	99
Şekil 4.7: Patlatma öncesi basamak modeli (Atım no:1)	100
Şekil 4.8: Patlatma öncesi basamak modeli (Atım no:3)	100
Şekil 4.9: Patlatma esnasında yığın hareketi (Akyol taşocağı atım no:2).....	109
Şekil 4.10: Patlatma esnasında yığın hareketi (Akyol taşocağı atım no: 3).....	109
Şekil 4.11: Patlatma esnasında yığın hareketi (Akyol taşocağı atım no:8).....	110
Şekil 4.12: Patlatma esnasında yığın hareketi (Akyol taşocağı atım no: 10).....	110
Şekil 4.13: Patlatma esnasında yığın hareketi (Haktaş taşocağı atım no:1).....	112
Şekil 4.14: Patlatma esnasında yığın hareketi (Akdağlar taşocağı atım no:1).....	113
Şekil 4.15: Patlatma esnasında yığın hareketi (Akdağlar taşocağı atım no:3).....	113
Şekil 4.16: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğraflar (Akyol taşocağı atım no: 2).....	115

Şekil 4.17: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların gray-scale görüntüleri (Akyol taşocağı atım no: 2).	115
Şekil 4.18: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların Split Desktop programı ile işlenmiş görünümü (Akyol taşocağı atım no: 2).	116
Şekil 4.19: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların kümülatif parça boyut dağılımları (Akyol taşocağı atım no:2).	116
Şekil 4.20: Yığının kümülatif parça boyut dağılımı (Akyol taşocağı atım no:2).	117
Şekil 4.21: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğraflar (Akyol taşocağı atım no: 3).	118
Şekil 4.22: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların gray-scale görüntüleri (Akyol taşocağı atım no: 3).	118
Şekil 4.23: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların Split Desktop programı ile işlenmiş görünümü (Akyol taşocağı atım no: 3).	118
Şekil 4.24: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların kümülatif parça boyut dağılımları (Akyol taşocağı atım no:3).	119
Şekil 4.25: Yığının kümülatif parça boyut dağılımı (Akyol taşocağı atım no: 3).	119
Şekil 4.26: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğraflar (Akyol taşocağı atım no: 8).	120
Şekil 4.27: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların gray-scale görüntüleri (Akyol taşocağı atım no: 8).	120
Şekil 4.28: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların Split Desktop programı ile işlenmiş görünümü (Akyol taşocağı atım no: 8).	120
Şekil 4.29: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların kümülatif parça boyut dağılımları (Akyol taşocağı atım no:8).	120
Şekil 4.30: Yığının kümülatif parça boyut dağılımı (Akyol taşocağı atım no:8).	121
Şekil 4.31: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğraflar (Akyol taşocağı atım no: 10).	122
Şekil 4.32: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların gray-scale görüntüleri (Akyol taşocağı atım no: 10).	122
Şekil 4.33: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların Split Desktop programı ile işlenmiş görünümü (Akyol taşocağı atım no: 10).	122

Şekil 4.34: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların kümülatif parça boyut dağılımları (Akyol taşocağı atım no:10).	123
Şekil 4.35: Yığının kümülatif parça boyut dağılımı (Akyol taşocağı atım no:10).	123
Şekil 4.36: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğraflar (Haktaş taşocağı atım no: 1).	124
Şekil 4.37: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların gray-scale görüntüleri (Haktaş taşocağı atım no: 1).	124
Şekil 4.38: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların Split Desktop programı ile işlenmiş görünümü (Haktaş taşocağı atım no: 1).	125
Şekil 4.39: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların kümülatif parça boyut dağılımları (Haktaş taşocağı atım no:1).	125
Şekil 4.40: Yığının kümülatif parça boyut dağılımı (Haktaş taşocağı atım no:1).	125
Şekil 4.41: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğraflar (Akdağlar taşocağı atım no: 1).	126
Şekil 4.42: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların gray-scale görüntüleri (Akdağlar taşocağı atım no: 1).	127
Şekil 4.43: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların Split Desktop programı ile işlenmiş görünümü (Akdağlar taşocağı atım no: 1).	127
Şekil 4.44: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların kümülatif parça boyut dağılımları (Akdağlar taşocağı atım no:1).	127
Şekil 4.45: Yığının kümülatif parça boyut dağılımı (Akdağlar taşocağı atım no:1).	128
Şekil 4.46: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğraflar (Akdağlar taşocağı atım no: 3).	129
Şekil 4.47: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların gray-scale görüntüleri (Akdağlar taşocağı atım no: 3).	129
Şekil 4.48: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların Split Desktop programı ile işlenmiş görünümü (Akdağlar taşocağı atım no: 3).	129
Şekil 4.49: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların kümülatif parça boyut dağılımları (Akdağlar taşocağı atım no:3).	129
Şekil 4.50: Yığının kümülatif parça boyut dağılımı (Akdağlar taşocağı atım no:3).	130

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1: Bazı patlayıcı maddelerin kritik çapları.....	12
Tablo 2.2: Dinamitlerin su direncine göre sınıflandırması	21
Tablo 2.3: Başlıca ateşleyici patlayıcılar	23
Tablo 2.4: ANFO' nun teknik özellikleri.....	25
Tablo 2.5: ANFO' nun delik çapına bağlı olarak patlatma hızı ve metre başına şarj miktarı.	26
Tablo 2.6: Delik eğimine göre taban zorluğu.....	34
Tablo 2.7: Detonasyon, yoğunluk ve patlayıcı madde ilişkisi.	54
Tablo 4.1: Akyol taşocağında izlenen atımların paterni	86
Tablo 4.2: Atım noktalarının koordinatları	87
Tablo 4.3: İstasyon noktasının koordinatları.....	87
Tablo 4.4: Titreşim veri kaydı.....	88
Tablo 4.5: Haktaş taşocağında izlenen atımların paterni	93
Tablo 4.6: Atım noktalarının koordinatları	93
Tablo 4.7: İstasyon noktasının koordinatları.....	93
Tablo 4.8: Titreşim veri kaydı.....	94
Tablo 4.9: Akdağlar taşocağında izlenen atımların paternleri	97
Tablo 4.10: Atım noktalarının koordinatları	97
Tablo 4.11: İstasyon noktasının koordinatları.....	97
Tablo 4.12: Titreşim veri kaydı.....	98
Tablo 4.13: Akyol Taşocağı yoğunluk deneyi sonuçları.	101
Tablo 4.14: Akyol Taşocağı ultrasonik ses geçirgenliği deneyi sonuçları.	102
Tablo 4.15: Akyol Taşocağı tokluk dayanımı deney sonuçları.	102
Tablo 4.16: Akyol Taşocağı nokta yükleme deney sonuçları.	103
Tablo 4.17: Haktaş Taşocağı yoğunluk deneyi sonuçları.	104
Tablo 4.18: Haktaş Taşocağı ultrasonik ses geçirgenliği deneyi sonuçları.	104
Tablo 4.19: Haktaş Taşocağı tokluk dayanımı deney sonuçları.....	105

Tablo 4.20: Haktaş Taşocağı nokta yük dayanımı deney sonuçları.....	105
Tablo 4.21: Akdağlar Taşocağı yoğunluk deneyi sonuçları.	106
Tablo 4.22: Akdağlar Taşocağı ultrasonik ses geçirgenliği deneyi sonuçları.....	107
Tablo 4.23: Akdağlar Taşocağı tokluk dayanımı deney sonuçları.....	107
Tablo 4.24: Akdağlar Taşocağı nokta yük dayanımı deney sonuçları.	108
Tablo 4.25: İzlenen atımlara ait mesafe süre ve hız bilgileri.	111
Tablo 4.26: İzlenen atımlarda tespit edilen kinetik enerji miktarları.	111
Tablo 4.27: İzlenen atıma ait mesafe süre ve hız bilgileri.	112
Tablo 4.28: İzlenen atımlarda tespit edilen kinetik enerji miktarları.	112
Tablo 4.29: İzlenen atımlara ait mesafe süre ve hız bilgileri.	114
Tablo 4.30: İzlenen atımlarda tespit edilen kinetik enerji miktarları.	114
Tablo 4.31: Parça boyut dağılım analizi (Akyol taşocağı atım no:2).	117
Tablo 4.32: Parça boyut dağılım analizi (Akyol taşocağı atım no: 3).	119
Tablo 4.33: Parça boyut dağılım analizi (Akyol taşocağı atım no:8).	121
Tablo 4.34: Parça boyut dağılım analizi (Akyol taşocağı atım no:10).	123
Tablo 4.35: Parça boyut dağılım analizi (Haktaş taşocağı atım no:1).	126
Tablo 4.36: Parça boyut dağılım analizi (Akdağlar taşocağı atım no:1).....	128
Tablo 4.37: Parça boyut dağılım analizi (Akdağlar taşocağı atım no:3).....	130
Tablo 4.38: Akyol Taşocağı atımlarına ait kırılma enerjileri.....	130
Tablo 4.39: Akdağlar Taşocağı atımlarına ait kırılma enerjileri.....	131
Tablo 4.40: Haktaş Taşocağı atımına ait kırılma enerjisi	131
Tablo 4.41: Akyol Taşocağı atımlarına ait sismik enerjiler.....	131
Tablo 4.42: Akdağlar Taşocağı atımlarına ait sismik enerjiler.....	131
Tablo 4.43: Haktaş Taşocağı atımına ait sismik enerjiler.....	132
Tablo 4.44: Akyol Taşocağı delik sayısı ve şarj bilgileri.....	132
Tablo 4.45: Haktaş Taşocağı delik sayısı ve şarj bilgileri.	133
Tablo 4.46: Akdağlar Taşocağı delik sayısı ve şarj bilgileri.....	133
Tablo 4.47: Akyol Taşocağı wnerji bölüşümü özet tablosu.....	133
Tablo 4.48: Haktaş Taşocağı enerji bölüşümü özet tablosu.....	134
Tablo 4.49: Akdağlar Taşocağı enerji bölüşümü özet tablosu.....	134
Tablo 4.50: Enerji bölüşümleri toplu değerlendirme özeti.	134

SEMBOL LİSTESİ

ANFO : amonyum nitrat + fueloil karışımı patlayıcı madde
BBD : birim deformasyon dalgası
ÇDD : çekme deformasyon dalgası
VOD : patlayıcının detonasyon hızı
PETN : pentaeritritol tetranitrat
AN : amonyum nitrat
TNT : trinitrotoluen
TAN : teknik amonyum nitrat
DDA : süreksiz deformasyon analizi
q : özgül şarj
Co : kaya patlatma katsayısı
K : basamak yüksekliği
N : delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı oranı
B : dilim kalınlığı
f : delik eğim faktörü
 $\Phi+i$: etkin içsel sürtünme açısı
 σ_b : kayanın tek eksenli basma dayanımı
 σ_c : kayanın endirekt çekme dayanımı
 ϕ : kayanın içsel sürtünme açısı
c : kohezyon
DD : darbe dayanımı
dr : kayanın yoğunluğu
I : empedans
Vp : sismik (P-dalga) hız
RQI : kaya kalite indeksi
Ed : dinamik elastisite modülü
Qer : referans patlayıcı maddenin ısı enerjisi
Bmax : maksimum dilim kalınlığı
d : delik çapı
lb : şarj yoğunluğu
R1 : delik eğimi düzeltme faktörü
R2 : kaya düzeltme faktörü
de : patlayıcı maddenin çapı
SGe : patlayıcı maddenin özgül ağırlığı
SGr : kayanın özgül ağırlığı
P : patlayıcı maddenin delik içindeki yoğunluğu
s : patlayıcı maddenin ağırlıkça kudreti
f : atım güçlük katsayısı
S : delikler arası mesafe
E : delik hata payı

Qb : dip şarj miktarı
Qp : kolon şarj miktarı
K : basamak yüksekliği
Ktp : teknik şarj faktörü
Kr : kaya faktörü
Pp : delikteki patlama basıncı
Pd : detonasyon basıncı
 σ_c min: minimum çekme gerilmesi
 σ_c max: maksimum çekme gerilmesi
 α : süreksizlik düzleminin aynaya göre olan açısı
 η : enerji iletim verimi
 μ : kırılma enerjisi ile maksimum basınç deformasyon enerjisi arasındaki oran
Qe : patlayıcı ısı enerjisi
 θ : kırılma açısı
hp : kolon şarj boyu
hb : dip şarj boyu
d : delik çapı
ho: sıkılama boyu
Stv : patlayıcı maddenin hacimce kudreti
Z : kaya fırlaması ile ilgili bir faktör
Rf : kaya faktörü
We : sekiz kartuş çapındaki patlayıcı maddenin miktarı
Stw : patlayıcı maddenin ağırlıkça kudreti
Ve : patlama hızı
PC: ateşlenecek kolon boyu
B : dilim kalınlığı
U : delik taban payı
TH : delikten deliğe gecikme sabiti
b : sıralar arası gecikme zamanı
TR : delik sıraları arasında gecikme sabiti
H : delik uzunluğu
Ip : kolon şarj konsantrasyonu
 δ_0 : patlayıcı yoğunluğu.
D : detonasyon hızı.
W : detonasyon cephesi arkasındaki gazların hızı.
V0 : patlatılmış kayanın hacmi
Q : şarj miktarı
E : patlayıcı maddenin gücü (% ANFO)
A : kaya faktörü
RMD : kaya kütlelerinin cinsi
JF : eklem Faktörü
JPS : eklem düzlem aralıkları
JPA : eklem düzlem açısı
RDI : kaya yoğunluğu etkisi
HF : sertlik Faktörü
P(x) : X büyüklüğünden daha az boyutlu malzeme yüzdesi
N : üniformite indeksi
X : malzeme boyutu

X50 : ortalama parça boyutu
W : delme hassasiyetindeki standart sapma
BCL : taban şarj boyu
CCL : kolon şarj boyu
L : toplam şarj uzunluğu
E_S : patlatma kaynaklı titreşim enerjisi
R : patlatma noktası ve ölçüm noktası arası mesafe
ρ : yoğunluk
C_L : p dalgası hızı
v : bileşke parçacık hızı
λ, μ : lame sabitleri
E_K : kinetik enerji
S : delikler arası mesafe
B : dilim kalınlığı
H : basamak yüksekliği
V₀ : ilk hız
E_F : kırılma enerjisi
E_T : toplam patlayıcı enerjisi
E_{NM} : llemeyen enerji
AF : patlatma sonucunda ortaya çıkan parçaların yüzey alanı
GF : Özgül kırılma enerjisi
f(x) : birim hacimdeki parçanın boyut dağılım yoğunluğu
V : parçalanmış kaya hacmi
A : kırılmadaki yüzey alanı pasa yığını boyut dağılımı
α : düzlemler arasındaki sürtünme açısı
x_k^s, x_k^t : k sınıfındaki mesh boyut limiti
P(x) : parçaların kümülatif boyut dağılımı
x : kenar uzunluğu
c : sınıfların sayısı
x_k : k sınıfındaki boyut sınırının logaritmik ortalama
A_F : patlatma sonucu oluşan parçaların alanı
A_{IS} : yerinde spesifik alan

ÖZET

PATLATMADA HARCANAN FAYDALI ENERJİ İLE PATLATMA VERİMİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI

Başarılı bir patlatmadan beklenebilecek en önemli sonuçlar; yersarsıntısı ve hava şokundan kaynaklanan çevre problemlerinin elimine edilmesi, maliyetin en uygun değerlere indirilmesi, üretimin istenen miktarlarda yapılabilmesi ve iş güvenliği açısından tehlike yaratabilecek durumların ortadan kaldırılması olarak sıralanabilir.

Enerji, iş yapabilme kabiliyetini tanımlar. Patlayıcının bu kabiliyetinin ise kaya parçalamaya harcanması istenir. Kaya parçalama işlemlerinde ise optimum parçalanma, tamamen enerjinin optimum kullanımına ve dolayısı ile patlatma tasarımına bağlıdır.

Patlatma sırasında açığa çıkan enerjinin (E_t) bir kısmı kayaya basınç uygulayarak kırılmasına harcanırken (E_f), bir kısmı kaya kütlelerinin ötelenmesine dolayısıyla kinetik enerji olarak (E_k), kırma ve ötelenmeye yetmediği durumlarda sismik enerji olarak (E_s) ve bir kısmı da ısı, ışık ve gürültü (E_{nm}) olarak atmosfere yayılmaktadır. Enerjinin korunumu ilkeleri doğrultusunda, bu kademelerde harcanan enerji oranlarının lineer toplamalarının, başlangıçta patlayıcı maddenin kimyasal yapısı sebebiyle sahip olduğu enerji miktarına eşit olması gerekir.

Bu çalışmada, İstanbul Çatalca Bölgesi Akyol taşocağı, Cebeci Bölgesi Haktaş taşocağı ve Cendere Bölgesi Akdağlar taşocağı çalışma bölgesi olarak seçilmiştir. Akyol taşocağında 14 atım, Akdağlar taşocağında 4 atım ve Haktaş taşocağında 2 atım izlenmiştir.

Bu atımlardan Akyol taşocağında dört, Haktaş taşocağında bir, Akdağlar taşocağında iki olmak üzere toplam yedi adet atımda, patlatma sonucu her enerji bölüşüm kademesinde yaptırılan işlerden, o bölüşüm kademesine ne kadar enerji harcadığı hesaplanmıştır.

Hesaplamalar, arazi çalışmaları ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen bulgulardan hareketle ve literatürde kabul görmüş yaklaşım ve bağıntılar kullanılarak yapılmıştır. Çalışma kapsamında arazide yapılan her bir atım için atım paternleri incelenmiş, atım öncesinde basamak profili belirlenmiş, patlatma sırasında her bir atım için farklı noktalardan olmak üzere toplam 20 atımda 99 olay titreşim ölçer cihazlar ile kaydedilmiştir.

Detaylı analizi yapılan yedi tane atımda, kinetik enerjiyi belirlemek için atım esnasında yüksek çözünürlüklü kamera ile ötelenme hareketi kaydedilmiş ve incelenmiştir. Her bir atım sonrası parçalanmaya ayrılan enerji kademesini belirlemek için patlatma sonrası yığından fotoğraflar alınmış ve sayısal görüntü işleme tekniği ile yığın parça boyutu analiz edilmiştir. Sismik enerjiyi belirleyebilmek için titreşim ölçer cihazlarla alınan kayıtlar detaylı olarak analiz edilmiştir.

Bu analizlerde kullanılmak üzere gerekli olan kaya parametrelerini belirlemek amacıyla laboratuvar deneyleri (tokluk dayanımı, yoğunluk, P dalga hızı, nokta yük dayanımı) yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda detaylı çalışılan yedi adet atım için sismik enerji, kinetik enerji, parçalanma enerjisi bölüşüm kademeleri belirlenmiş ve faydalı iş yapabilen enerji oranları hesaplanmıştır. Buna göre izlenen atımlarda genel olarak parçalanmaya harcanan enerji kademesinin Haktaş taşocağında yapılan atım hariç çok düşük seviyelerde olduğu, buna karşın sismik enerjiye harcanan enerji kademesinin çok daha yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir.

SUMMARY

THE INVESTIGATION OF RELATIONSHIP BETWEEN SPENDING USEFUL ENERGY IN BLASTING WITH THE EFFICIENCY OF BLASTING

The most important results that can be anticipated from a successful blasting can be sorted as eliminating the environmental problems developed in the form of seismic movements and air shock, reducing the costs of production, realizing the planned amounts of production and preventing the hazardous conditions in terms of work safety.

Energy is defines as the ability to do work. So this ability of the explosives is desired to spend to rock fragmentation. The efficient usage of explosive energy is required for a successful blasting design.

A part of the explosive energy (E_{exp}), (E_{frag}), is consumed for the rock fragmentation by exerting the pressure on the rocks, another part, (E_{kin}), is consumed for the movement of the rock in cases which it is insufficient for breakage and movement, another part, (E_{sis}), is spent as seismic energy through the rock and the rest of the energy, (E_{nm}), is released to atmosphere as heat, light and noise. In accordance with principle of conservation of energy, the total of these consumed energies should be equal to the chemical energy of the explosive material at the beginning.

Akyol Quarry in Catalca Region, Haktaş Quarry in Cebeci Region and Akdaglar Quarry in Cendere Region of Istanbul were chosen as study areas for this study. 14 shots in Akyol Quarry, 4 shots in Akdaglar Quarry and 2 shots in Haktaş Quarry were followed.

The energy consumptions for each component were calculated, considering the useful work for these components in four shots in Akyol Quarry, one shot in Haktaş Quarry and 2 shots in Akdağlar Quarry.

Data from field and laboratory studies and also accepted approaches and correlations in the literature are used during calculations. Blasting patterns for each shot were observed and bench profile was determined before the blasting. 99 different located events in 20 shots were recorded with vibration monitor during the blasting.

Kinetic action was observed and recorded with high definition camera to determine the kinetic energy in carefully analysed seven shots. After each shot, photos were taken from the muckpile and they were analyzed for particle size distribution with digital image analysis to determine the energy share for fragmentation. The records which were taken with vibrating monitor analyzed carefully to determine seismic energy.

Laboratory experiments (fracture toughness, density, p wave velocity, point load test) were carried out to determine the rock parameters to use in these analyses. As the result of the studies, energy distributions in seismic energy, kinetic energy, fragmentation energy were determined and energy rates which can do useful work were calculated for the carefully analyzed seven shots. Thus, it was determined that energy share used for fragmentation was at very low levels except the shot which was made in Haktaş Quarry, despite that the energy share consumed for seismic energy values was much more.

1. GİRİŞ

En eski patlayıcı madde olan barutun bulunmasından günümüze kadar çeşitli amaçlarla kullanılan patlayıcı maddeler, 17. yy'dan itibaren kaya kazısında da kullanılmaya başlanmıştır. Teknolojinin ilerlemesiyle beraber patlayıcı madde kullanımı artmış, farklı türlerde üretilen patlayıcı maddeler madencilikte de önemli uygulama alanı bulmuştur. Madencilikte uygulanan patlatma işlemlerindeki gelişmeler; baraj, yüksek standartlı karayolları, tünel ve diğer yapılar için yapılan kazılarda kolaylık olmasını sağlamıştır. Günümüzde madencilik uygulamalarında makina ile kazının mümkün olmadığı durumlarda patlatma işlemleri yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Bir patlatmanın verimli sonuçlanması kaya tipi, patlayıcı madde ve dizayn değişkenlerinin birbirine uyumluluğuna bağlıdır. Verimli bir patlatma sonucu ise; ikincil patlatmaya gerek görmeyecek, kırıcıyı durdurmaya meydan bırakmayacak bir kırılma, kazmaya uygun ve kazma-yükleme işlemleri esnasında harcanacak zamanı ve maliyeti en aza indirecek yığın, askıda kaya kalmamış ve geri yığılma yapmamış emniyetli bir ayna, eğer patlatma yerleşim merkezi etrafında yapılıyorsa, çevre binalara zarar vermeyecek bir yer titreşimi ve hava şoku elde edilmesi gibi özelliklerle ölçülür (Atlas Powder Co., 1987; Naapuri, 1988; Erkoç, 1990; Tosun, 1991; Konya, 1991; Persson ve Diğ., 1994; Jimeno ve Diğ., 1995; Kahraman 1997; Özdemir, 2004).

2. GENEL KISIMLAR

Bu bölümde, konuyla ilgili yapılmış olan çalışmalar, gerekli literatür araştırması yapılmış ve alt başlıklar halinde sunulmuştur. Kullanılan patlayıcı madde enerjisinin, patlatma enerjisine dönüşümünde açığa çıkan parçalanma enerjisi, sismik enerji ve kinetik (ötelenme) enerjinin, hesaplanması ve patlatma sonuçlarının değerlendirilmesindeki önemi vurgulanmıştır.

2.1. DELME PATLATMA İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

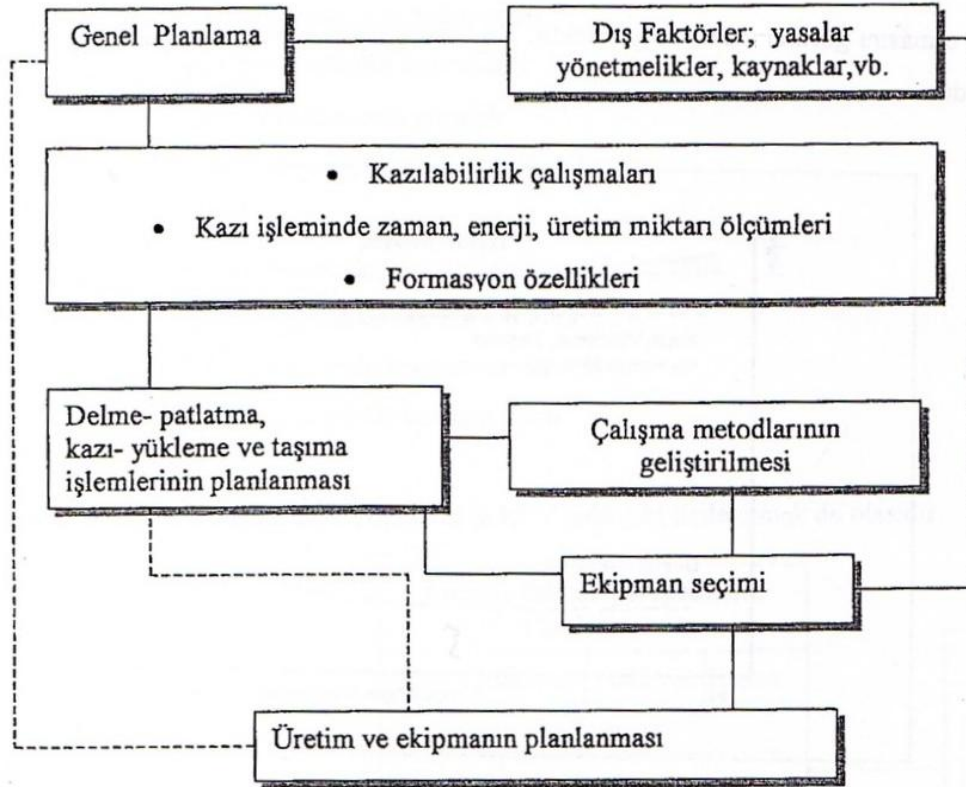
Patlatma mühendisliğinin temel amaçlarından biri, konforlu bir yaşam için gerekli alt yapı kazılarıyla birlikte; insanoğlunun gereksinim duyduğu endüstri hammaddesini içinde bulunduğu ana kütleden faydalanabilir bir büyüklükte, ekonomik olarak, minimum bir zaman diliminde ve emniyetli bir biçimde ayırmaktır. Bu amaca ulaşmak için genel olarak aşağıdaki metotlar uygulanmaktadır (Kahriman, 2003).

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

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

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

Bu faaliyetlere paralel olarak yürütülen diğer tüm işlemler ise, yardımcı prosesler olarak genel planlama kapsamında yer almaktadır (Kahriman, 2003).



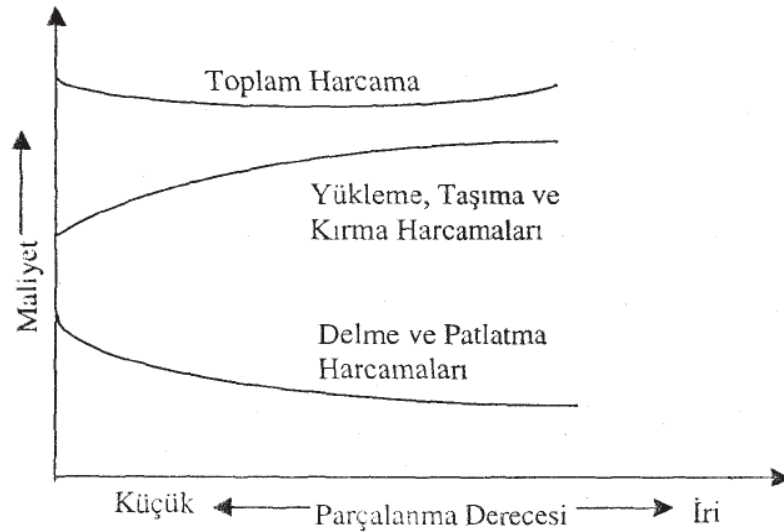
Şekil 2.1: Delme-patlatmayı esas alan kazı işleminin genel planlaması (Ceylanoğlu ve diğ. 1993).

2.1.1. Delme ve Patlatmanın Önemi

Maden ve taş ocağı faaliyetlerinde temel ve en önemli prosesi oluşturan kazı işlemlerinin, makine ve yukarıda değinilen diğer yöntemlerle gerçekleştirilmesi, kayaçların madde/kütle özellikleriyle ve kullanılmakta olan teknoloji ile sınırlı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, bu sınırı aşan delme ve patlatma teknolojisi doğrudan kazı

veya gevşetme kazısı olarak büyük bir önem arz etmekte ve ekonomik ölçüleri içinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Ceylanoğlu ve diğ. 1993).

Bu kullanım önemini, bir yandan işletme faaliyetlerinin göstergesini oluşturan maliyet analizlerinde, öte yandan söz konusu faaliyetlerin hızlı bir şekilde yapılabilmesinde görmek mümkündür. Ancak işletmelerdeki maliyet analizlerinde, delme ve patlatma maliyetlerinin tek başına değerlendirilmesi; elde edilen başarının açık bir şekilde gösterilmesine yetmemektedir. Faaliyetler ardışık olarak gerçekleştiğinden dolayı; delme ve patlatma etkisinin diğer işlemlerde de analiz edilmesi zorunludur. Bu husus ise; ancak her teknolojik işlemde görev alan makine ve ekipmanlara ait performansların ayrı ayrı değişik durumlar için analiz edilmesiyle mümkün olmaktadır. Sadece delme ve patlatma faaliyetlerinde hedeflenecek maliyet minimizasyonu düşüncesi, birbirini izleyen teknolojik işlemlerin maliyetinde önemli artışların olmasını görmemezlikten gelecektir. Bu hususu Şekil 2. 2’de açık bir şekilde izlemek mümkündür (Kahriman, 2003).



Şekil 2.2: Kaya parçalanmasında patlatma maliyeti ve ardışık işlem maliyetleri arasındaki ilişki (Olofsson, 2002).

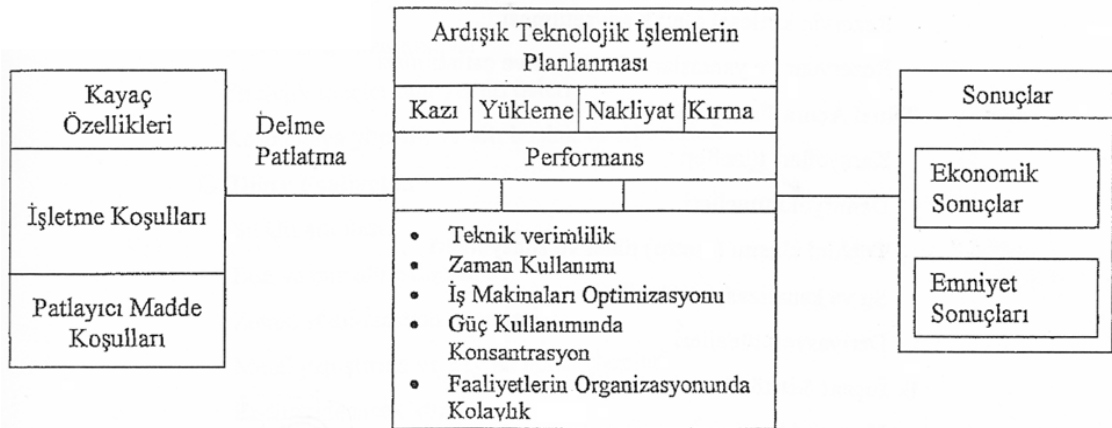
Şekil 2.2’de ifade edildiği gibi, patlatma sonrası işlemlerin maliyeti, genel olarak parçalanma derecesinin bir fonksiyonudur.

Toplam maliyetin değerlendirilmesi her haliyle, söz konusu unsurlara yönelik sonuçların göz önüne alınmasıyla mümkün olabilecektir. Bu vesileyle, en uygun sonucun ne olacağının belirlenmesi, hem patlatma ve hem de ardışık işlemlerin birlikte

ele alınmasıyla mümkündür. Delme ve patlatma faaliyetleri optimal koşullarda gerçekleştiğinde; yükleme, taşıma, kırma - öğütme ve hatta reklamasyon işlemlerinde maliyetlerin azalmasına, dolayısıyla işletmenin toplam sonucunun pozitif bir gelişim göstermesine neden olmaktadır.

Bir yandan delme teknolojisiyle ilgili yeni araştırmalar yaparak çözülememiş sorunlara yanıt aramaya ve tüm operasyonlar için uygun makine tip ve kapasite optimizasyonuna gereksinim vardır. Burada özellikle primer kırıcıların devreden kaldırılmasını ve kütle ötelenmesini hedefleyebilmek mühendisler için nihai bir ideal olmalıdır. Yukarıda değinilen hususların ışığı altında, delme ve patlatmanın önemi aşağıdaki detaylarla ortaya çıkmaktadır (Kahriman, 2003).

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

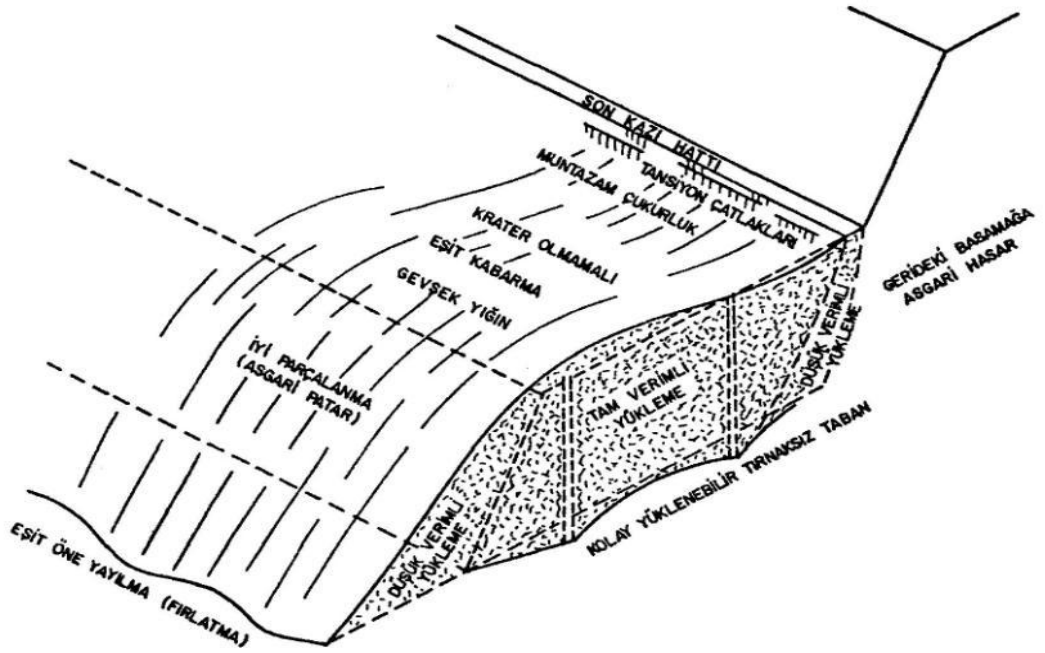


Şekil 2.3: Delme ve patlatmanın üretim sürecindeki yeri ve önemi (Kahriman, 2003).

Bu kapsamda, patlatma verimliliğinin belirlenmesinde; aşağıda belirtilen unsurların birlikte kullanımı anlamlı sonuçlar verebilmektedir (Kahriman, 1999):

- Ekskavatör periyodu
- Ekskavatör kazı - yükleme süresi
- Ekskavatör kepçe dolma faktörü
- Ekskavatör beklemesiz saatlik kapasitesi
- Ekskavatör saatlik kazı - yükleme kapasitesi
- Ekskavatör saatlik kapasitesi

Patlatma esnasındaki kinetik enerjinin yarattığı ötelenme işlemi ile patlatılan yığının düzenli ve istenen boyutta yayılması, bu aşamada en önemli etkisini göstermektedir. Yığının durumu alana çok yayılmış bir şekilde ise ekskavatörün saatlik kapasitesinde önemli bir düşüş, parçalanmaya bağlı olarak kepçe dolma faktöründe azalma, ekskavatörün ve kamyonun, yükleme ve bekleme sürelerinde ise önemli bir artış gözlenecek, bununla birlikte ekskavatörün yükleme esnasında kamyon kuyruğunda bir artış beklenecektir. Yığının durumu çok iri boyutlu ve aynaya çok bitişik halde kalırsa burada da ekskavatörün ve kamyonun verimliliği yine düşer. Ekskavatör kepçesinde ve kamyon da parça iriliğinden dolayı boşluklar kalır dolma faktörü etkin kullanılamaz, kamyonların daha hızlı bir şekilde dolmasından dolayı ekskavatörde boş durma problemi oluşur. Bu gibi problemleri önleyebilmek adına, atım sırasında ki enerji optimizasyonu en iyi şekilde ayarlamalıdır.



Şekil 2.4: Başarılı bir atımın başlıca göstergeleri (Kahriman, 1995).

2.1.2. Delme Patlatmanın Kullanıldığı Alanlar

Günümüz koşullarında, delme-patlatma teknolojisi özellikle madencilik sektörü başta olmak üzere, inşaat sektöründe, petrol arama ve üretim faaliyetlerinde, tarım ve ormancılık sektöründe, altyapı hizmetlerinde, diğer endüstriyel ve askeri alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu genel ve özel kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır (Erkoç, 1990; Kahriman, 2003).

2.1.2.1. Madencilik Sektörü

Maden Arama Faaliyetleri: Sismik aramalar, yarma, yol ve lokasyon hazırlığı, arama kuyu ve galerileri.

Açık İşletme Faaliyetleri: Genel hazırlıklar, gevşetme patlatmaları, basamak patlatması, yapı taşı üretimi ve taşocakları.

Yeraltı İşletme Faaliyetleri: Hazırlık işleri, üretim işleri, tavan göçertme çalışmaları.

Özel Üretim Yöntemleri: Rezervin kütleli olarak gevşetilmesi, rezervuar ve yantaşların kırılması ve çatlatılması.

Tünel Açma Faaliyetleri: Karayolları tünelleri, demiryolu tünelleri, toplu ulaşım tünel ve istasyonları, su ve kanalizasyon tünelleri, derivasyon tünelleri.

2.1.2.2. İnşaat Sektörü

- Hammadde temini
- Temel kazıları
- Kanal açma çalışmaları
- Yol yapımı
- Baraj ve gölet yapımı
- Kontrollü Yıkımlar
- Bina ve beton yapılar
- Çelik konstrüksiyon
- Köprü
- Yüksek fırın bacaları
- Yeraltı ev, çarşı, depo ve büro yapımı

2.1.2.3. Petrol ve Doğalgaz Sektörü

- Sismik aramalar
- Rezervuarların gevşetilmesi
- Boru hatlarının açılması

2.1.2.4. Enerji Sektörü

- Yeraltı güç santralleri (hidro-elektrik ve nükleer)
- Yeraltı petrol ve gaz depoları
- Yeraltı nükleer artık depoları
- Yeraltı basınçlı hava depoları

2.1.2.5. Tarım Sektörü

- Tabakalara su geçirme özelliği sağlayacak çatlak oluşturma çalışmaları
- Ağaç köklerinin çıkarılması
- Ağaç kesimi

2.1.2.6 Askeri Faaliyetler

- Tahrip ve imha faaliyetleri
- Mevzilerin hazırlanması
- Stratejik füzeler için yeraltı üsleri
- Korunmaya yönelik yeraltı boşluk ve sığınakları

2.1.2.7. Diğer Faaliyetler

- Su altı atımları
- Buz ve buz altı çalışmaları
- Zemin stabilizasyon işlemleri
- Metal yapıştırma ve kaynaklama işlemleri
- Endüstride sıcak atımlar
- Kuyu ve silo tıkanıklıklarının giderilmesi
- Nükleer atımlar yaparak işletilebilir yeni hammadde kaynaklarının oluşturulması

2.2. PATLAYICI MADDE ÖZELLİKLERİ

Patlayıcı maddeler ısı, darbe, sürtünme ya da bunların bileşimi ile dışarıdan herhangi bir elemanın kimyasal katkısı olmaksızın çok hızlı bir reaksiyona giren ve genellikle gaz ürünler veren organik veya inorganik bileşimlerdir. Reaksiyon sonucu 4500°C civarında hızlı bir ısı ve 250000bar'a kadar gaz çıkışı olur. Bu yüksek basınçlı gaz parçalama, kesme ve çatlatmaya sebep olmaktadır (Erkoç, 1990; Naapuri, 1990; Atlas Powder Co.,1987).

Çözünme reaksiyon hızları patlayıcı maddelerin türünü tayin eder. Reaksiyon hızı sesaltı (subsonik) olursa patlayıcı maddeler, sesüstü (süpersonik) olursa patlayıcı maddeler olarak tanımlanırlar. Sesüstü reaksiyona patlama denilmektedir (Erkoç, 1990).

Yerüstü kayaç kazısında kullanılan patlayıcıların teknik özellikleri şöyle sıralanabilir (Kahraman, 1997):

1-Patlatma gücü ve verimi;

- Patlatma hızı
- Patlatma stabilitesi
- Patlatma basıncı
- Patlatma ısısı
- Özgül gaz hacmi
- Patlayıcı gücü
- Patlayıcı yoğunluğu

2-Kolay patlatma ve duyarlılık

- 3-Oksijen dengesi
- 4-Enerji aktarma oranı
- 5-Emniyet
- 6-Suya karşı direnç
- 7-Depolanma enerjisi
- 8-Patlatma ürünü gazlar.

2.2.1. Patlatma Gücü Ve Verimi

2.2.1.1. Patlama (Detonasyon) Hızı

Detonasyon, ateşleme anından itibaren reaksiyon noktasının ilerleme çabukluğuna denmektedir veya başka bir anlamda yaratılan şok dalgasıdır. Patlatma hızı, patlayıcı maddenin cinsine göre değişmektedir. Özellikle patlayıcı maddenin yoğunluğu, enerji konsantrasyonu ve fiziki nitelikleri, lokum çapı, delikte sıkılama derecesi ve ilk ateşleme şiddetine bağlı olarak değişmektedir (Dinçer, 1993).

Patlama dalgasının patlayıcı kartuşu içinde ilerleme hızıdır. Patlama dalgası patlayıcı kolonunda ateşleme noktasında başlar ve sesüstü hızda hareket eder. Bu hız belli bir patlayıcıda sabit olup, ürün tipi ve bileşim, tane boyutu, yoğunluk, çap doldurma oranı, ısı ve ateşleme derecesi gibi birçok faktöre bağlıdır. Günümüz ticari patlayıcılarının patlama hızları 1500 - 7900 m/s arasında değişmektedir. Yüksek patlama hızlı patlayıcılar sert kayalar için uygundur. Yumuşak formasyonlarda ise düşük patlama hızlı patlayıcılar daha iyi sonuç verirler. Genellikle düşük patlama hızlı patlayıcılarda reaksiyon uzun süre içinde olur. Yüksek patlama hızlı patlayıcılarda ise reaksiyon kısa bir zaman süreci içinde olur. Sonuç olarak, düşük patlama hızlı patlayıcılar daha çok itici özellikte olup, gevşetme işleri için uygundurlar (Atlas Powder Co, 1987; Naapuri, 1990).

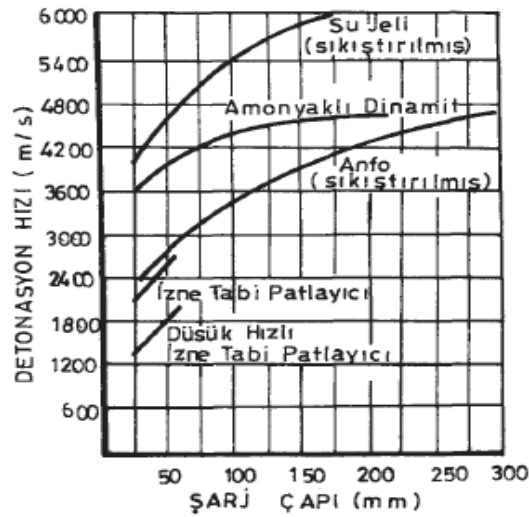
Kritik Çap: Patlayıcı maddelerin detonasyona uğramaları için şarj kolonunun belirli çaptan daha kalın olması gerekir. Dolayısıyla patlatmanın oluşması için gerekli en küçük çap ölçüsüne kritik çap denir. Kritik çap bütün patlayıcılar için aynı olmayıp, patlayıcının duyarlılık derecesiyle ters orantılıdır. Bir başka deyişle, detonasyona karşı duyarlılık yükseldikçe kritik çap küçülmektedir (Dinçer, 1993)

Örneğin bazı sıvı patlayıcılar pompalanırken, hortum çapları kritik çapın altında tutulur. Böylelikle pompalama sırasında detonasyonun oluşması önlenmiş olur. Öte yandan da, uygulama sırasında patlatma delikleri kritik çap değerinden büyük tutularak detonasyonun optimum verimde gerçekleşmesi sağlanmış olur. Örneğin, çok kullanılan ANFO ve Emülsiyon tipi patlayıcıların detonasyon hızları çap ile değişmektedir. Günümüzde bunların kritik çapları 51 mm (2 inç) nin altına düşmüştür. Bununla beraber en verimli detonasyon hızlarına 89 mm nin üstünde ulaşmaktadırlar. Birçok üretici ürünlerinin detonasyon hızlarını 102 veya 115 mm çaplarında vermektedirler. Tablo 2.1.'de bazı patlayıcı maddelerin kritik çapları verilmiştir (Yılmaz, 2010).

Patlayıcı türüne bağlı olarak belirli bir çapa kadar ürün çapı patlama hızını etkiler. Genellikle çap büyüdükçe, patlayıcının hidrodinamik hızına ulaşmaya kadar patlama hızı yükselir. Ayrıca, her patlayıcı için bir kritik çap vardır ki, bu çap, reaksiyonun başlaması ve devamı için gerekli minimum çaptır. Bu çapın altında patlama olmaz veya çok yavaş olur, ya da kısmi olur. Çeşitli patlayıcılarda çapa bağlı olarak değişen patlama hızı şekil 2.5' de görülmektedir (Naapuri, 1990; Erkoç, 1990).

Tablo 2.1: Bazı patlayıcı maddelerin kritik çapları (Coşkun, 2001).

Tip	1 inç'ten küçük	1-2 inç	2 inç'ten büyük
Granül dinamit	*		
Jelatin dinamit	*		
Ambalajlı slurry	*	*	*
Bulk slurry		*	*
Sıkılaştırılmış ANFO	*		
ANFO		*	
Ambalajlı ANFO		*	*
ANFO-Slurry karışımı			*



Şekil 2.5: Delik çapının fonksiyonu olarak patlama hızı (Naapuri, 1990).

Patlayıcı cinsine bağlı olarak ısı değişimi patlama hızını etkiler. Tipik olarak, normal sıcaklıkta katı olan ve hiç ya da çok az sıvı içeren patlayıcılar fazla düşük olmayan ısıdan etkilenmezler. Ayrıca, patlamanın mümkün olduğu kadar hızlı olabilmesi için yeterli miktarda ateşleyici (primer) gereklidir. Aksi halde patlama yavaş olur (Naapuri, 1990).

Patlama hızı farklı yöntemlerle ölçülebilir. Bu yöntemlerden bir kaç aşağıda anlatılmıştır (Atlas Powder Co., 1987).

Elektrik Prob Yöntemi: Yöntemde 0.1 s zaman aralığını ölçebilen elektronik kronograf kullanılır. Kronograf, patlayıcı kartuşuna belli mesafelerde yerleştirilen bakır tellerden oluşan özel prob' lar ile beraber kullanılır. Patlama dalgası ilk prob ile kontakt haline geldiğinde kısa devre yapar ve kronografı çalıştırır. İkinci prob ile kontakt durumunda kronograf durur. Böylece belli mesafeyi katetme süresi ölçülmüş olur ve buradan patlama hızı hesaplanır.

Sürekli Rezistans Yöntemi: Bu yöntemde tek prob kullanılır. Prob ya kartuş içine ya da kartuş eksenine paralel olarak dışa yerleştirilir. Patlama, kartuş içinde ilerlerken prob' u da tüketir. Prob' un değişen rezistansı osiloskop ekranında görüntülenir. Görüntü doğru şeklinde olup, eğimi patlama hızını verir.

Hızlı Kamera Yöntemi: Mikrosaniyede 51 mm film çekme hızına sahip kamera kullanılır. Kartuş uzunluğu ve kamera hızından faydalanılarak patlama hızı bulunur.

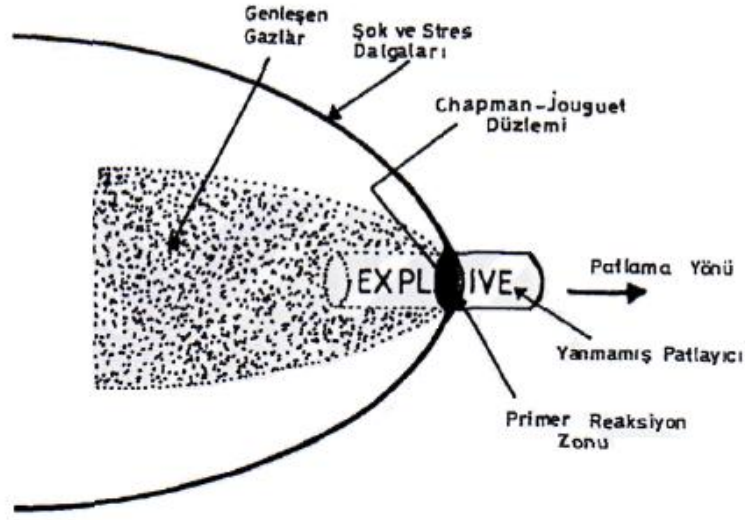
D'Autriche Yöntemi: Yöntemde patlama hızı bilinen infilaklı fitil kullanılır. Uzunluğu belli olan fitilin iki ucu belli aralıklarla (minimum 15.2 cm) kartuşa bağlanır, infilaklı fitilin orta kısmı bir kurşun plaka üzerine yerleştirilir. Reaksiyon kartuş içinde ilerlerken infilaklı fitilin önce 1., sonra 2. ucunu ateşler. İki patlama dalgası infilaklı fitil içinde birbirine doğru ilerler. Dalgaların karşılaştığı yerde kurşun plaka üzerinde çarpışma izi meydana gelir. Fitilin uzunluğu bilindiği ve fitilin uçları belli mesafede yerleştirildiği için patlama hızı kolayca hesaplanabilir.

2.2.1.2. Patlamanın Stabilitesi

Patlayıcı şarjının tamamında patlamanın kesintisiz olarak devam etmesi anlamına gelir. Delik çapı büyüdükçe patlama sürekliliği artmaktadır. Çok hassas patlayıcılarda delikler arasında oldukça fazla mesafe olsa da patlama yayılabilmektedir; bu formasyona, patlayıcıya, şarj boyutuna, delikler arası mesafeye ve diğer faktörlere (su vs.) bağlıdır. Fakat genellikle her şarj ayrı ayrı ateşlenmektedir (Gustafsson, 1973; Naapuri, 1990).

2.2.1.3. Patlama Basıncı

Genellikle kbar olarak ölçülen patlama basıncı, Chapman - Jourquet(C-J) düzleminde patlama hattı arkasında bulunan reaksiyon zonundaki basınçtır (Şekil 2.6). Bu, istenilen parçalanmayı elde etmede bir patlayıcının yeteneğinin önemli bir göstergesidir. Yemleme olarak kullanılacak bir patlayıcıda yüksek patlama basıncı anahtar karakteristiklerden biridir.



Şekil 2.6: Patlamanın şematik gösterimi (Atlas Powder Co., 1987).

Patlama basıncı akvaryum testinden aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir (Atlas Powder Co., 1987);

$$P_d = 129.1 V_d V_p \quad (2.1)$$

Burada, P_d = Patlama basıncı (kbar)

V_d = Patlama hızı (m/s)

V_p = Patlayıcı partikül hızı (m/s)

Patlama basıncı aşağıdaki formül yardımıyla da hesaplanabilir. Fakat bu akvaryum testi formülü kadar hassas değildir (Atlas Powder Co., 1987).

$$P_d = 2.5 \times 10^{-6} V_d^2 \rho_e \quad (2.2)$$

Burada, P_d = Patlama basıncı (kbar)

V_d = Patlama hızı (m/s)

ρ_e = Patlayıcı yoğunluğu (g/cm^3)

Genellikle artan yoğunlukla patlama basıncı, dolayısıyla performans artar. Fakat, özellikle ANFO ve slurry gibi patlayıcılarda yoğunluğun ters etkileri de gözlenmiştir. Yoğun priller halinde hazırlanan ANFO' nun patlama hızı, gözenekli priller halinde hazırlanan ANFO' dan düşük ölçülmüştür. Yine birincisinin duyarlılığı ikincisinden daha azdır. Slurry patlayıcılarda karışıma cam baloncukları, hava veya gaz kabarcıkları

katılmadığı takdirde patlama olmamaktadır. Bu gibi elemanların miktarı karışımın yoğunluğunu azalttığı gibi, patlama hızını, duyarlılığını ve kritik çapın etkilemektedir. Olayın tek açıklanabilir yolu, düşen yoğunluk ve artan porozite ile patlayıcı maddenin yüzey alanının artması ve dolayısıyla reaksiyon hızının artmasıdır (Erkoç, 1990; Özer, 2001).

2.2.1.4. Patlama Isısı

Patlayıcı ateşlendiği zaman verdiği ısı enerji miktarını gösterir ve genellikle "kJ/kg" şeklinde ifade edilir. Yapılan iş, ya da gaz basıncının etkisi, oluşan gaz hacmine ve ısı miktarına bağlıdır. Ortaya çıkan ısıнын % 30-40' ı ısı genişmesi olarak mekanik işe çevrilir. Artan ısı gazları genişlettiği için gaz hacmi artmakta ve patlama daha etkin olmaktadır (Naapuri, 1990).

2.2.1.5. Özgül Gaz Hacmi

Özgül gaz hacmi normal şartlarda (0°C ve 760 mmHg) 1 kg patlayıcının litre olarak verdiği gaz miktarıdır ve patlayıcı maddenin bileşim elemanları yardımıyla hesaplanabilir. Bilindiği gibi gaz hacminin fazla olması, patlamanın daha güçlü ve etkili olması sonucunu getirecektir (Naapuri, 1990; Gustafson, 1973; Özer, 2001).

2.2.1.6. Patlayıcı Gücü (Kuvveti)

Patlayıcı enerjisi kimyasal olarak depolanmış olup, patlama ile ortaya çıkar. Bu enerjinin kullanımı, enerjinin korunumu kanunu, kütle ve zaman ile kontrol edilir. Bir delikteki patlama enerjisi, delik çevresini ezme, çatlak oluşturma, kesme, ısı ve ışık, kütle hareketi, vibrasyon ve hava şoku etkilerini meydana getirir. Patlayıcı enerjisi iki farklı şekilde ortaya çıkar; patlama basıncı ve delik basıncı. Patlama ya da şok basıncı kayaç üzerinde bir parçalama etkisi meydana getirir. Delik basıncı ise gaz artışından dolaydır ve yavaş hareketlidir. Biraz parçalanma yapsa da asıl görevi öteleme yapmaktır (Atlas Powder Co., 1987).

Bir patlayıcının performansı sadece patlamayla ortaya çıkan enerji ile belirlenmez; performans aynı zamanda enerji çıkış hızına ve bu enerjinin kayacı parçalama ve ötelemede ne kadar etkin olarak kullanıldığına bağlıdır. Yani, patlayıcı performansını patlayıcı özelliği ve kayaç özellikleri birlikte belirlemektedir (Naapuri, 1990).

Patlayıcı kolonu şarjının hacmi (V_e), delikteli patlayıcı miktarı (M_e), açığa çıkacak toplam enerji (E) ve patlayıcı gücü (P_{ow}) arasında aşağıdaki ilişkiler vardır (Hustrulid, 1999).

$$V_e = (\pi \cdot D^2 \cdot L_e) / 4 \quad (2.3)$$

D = Delik çapı (mm)

L_e = Şarj boyu (m) dur.

$$M_e = \rho_e \cdot V_e \quad (2.4)$$

ρ_e = Patlayıcı yoğunluğu (gr/cm^3)

$$E = Q \cdot M_e \quad (2.5)$$

Q = Patlatma ısısı (cal/gr)

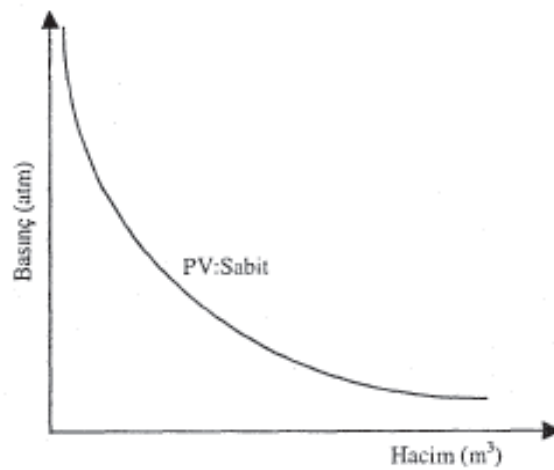
$$t_e = L_e / \text{VOD} \quad (2.6)$$

VOD = Patlayıcı infilak hızı (m/sn)

t_e = patlayıcı kolonu detonasyon süresi (sn)

$$P_{ow} = E / t_e \quad (2.7)$$

Patlayıcıların basınç ve hacim ilişkisini şekil 2.7’ de görmek mümkündür.



Şekil 2.7 Basınç – Hacim eğrisi (Hustrulid, 1999).

Bu eğrinin altındaki alan (A) toplam enerjiyi verir. Patlatma basıncı (P_e); patlatmadan sonra delik cidarına yapılan basıncı ifade eder ve

$$P_e = (1/2) \cdot P_{DET} \quad (2.8)$$

P_{DET} = Detonasyon basıncı

şeklinde ifade edilir (Hustrulid, 1999).

Eğrinin altındaki alan ile (toplam enerjiyi) teorik enerjinin oranı kullanılabilir enerji miktarını (e) verir yani;

$$e = A/Q \quad (2.9)$$

dur (Hustrulid, 1999).

Buradan patlayıcının gücü;

$S_{WT} = Q$ olarak ağırlıkça güç şeklinde ifade edilir.

Hacimce güç ise,

$$S_{BULK} = \rho_e \cdot S_{WT} \quad (2.10)$$

Şeklinde ifade edilir (Hustrulid, 1999).

Herhangi bir patlayıcının ANFO' ya göre ağırlıkça gücü (S_{ANFO}),

$$S_{ANFO} = Q_{PAT}/Q_{ANFO} \quad (2.11)$$

Şeklindedir. Burada,

Q_{PAT} = Kullanılacak patlayıcının ağırlıkça gücü

Q_{ANFO} = ANFO nun ağırlıkça gücünü ifade etmektedir.

Diğer yandan herhangi bir patlayıcının ANFO ya göre hacimce gücü (B_{ANFO}),

$$B_{ANFO} = (Q_{PAT} \cdot \rho_{PAT}) / (Q_{ANFO} \cdot \rho_{ANFO}) \quad (2.12)$$

Şeklinde tanımlanır (Hustrulid, 1999; Özer, 2001).

2.2.1.7. Patlayıcı Yoğunluğu

1 cm³ patlayıcının gram olarak ağırlığı demektir. Granüler patlayıcılarda genellikle yoğunluk artışı ile patlayıcı enerjisi artar. Ancak, emülsiyon ya da watergel gibi patlayıcılarda enerji yoğunluğa bağlı değildir. Çoğu ticari patlayıcıların yoğunluğu 0.8 g/cm³ ile 1.65 g/cm³ arasında değişmektedir.

Şarj yoğunluğu ise, belli delik hacmindeki patlayıcı miktarı olup, patlatma dizaynında çok önemli bir özelliktir. Şarj yoğunluğuna göre, deliğin metresi başına şarj ve özgül şarj her boyuttaki patern için dizayn edilebilir (Atlas Powder Co., 1987; Naapuri, 1990).

2.2.2. Kolay Patlama ve Duyarlılık

ANFO, amonit ve slurry dışındaki tüm ticari patlayıcılar kapsüle duyarlıdır. Bazı durumlarda ANFO ve amonit de kapsülle patlatılabilir, fakat yoğunlukla yemlemeye (primer) gerek duyulur. Genellikle dinamit gibi yüksek patlama hızına sahip yemlemeler tercih edilmektedir (Naapuri, 1990).

Duyarlılık önemli bir patlayıcı özelliğidir. Duyarlılığın düşük olması durumunda, eğer patlayıcı kolonunda boşluk ya da bir engel varsa reaksiyon kesilebilir. Duyarlılığın fazla olması durumunda, eğer delikler birbirine çok yakın ise, bir delikteki patlama şoku komşu delikteki patlayıcıyı da ateşleyebilir. Bu durumda gecikmeli düzen bozulur ve kötü parçalanma, aşın hava şoku ve vibrasyon olur (Atlas Powder Co., 1987).

2.2.3. Oksijen Dengesi

Oksijen dengesi, patlayıcı maddelerin CO₂, H₂O, Al₂O₃ ve N₂ gibi dengeli ürünler oluşturmak üzere salabilecekleri oksijen miktarının kendi ağırlığı içindeki yüzdesidir. AN bozuştığında,



denkleminde göre bir atom O₂ i serbest bırakmaktadır. Bir atom O₂, 16 g olduğuna göre, 80 g olan AN içinde % 20' ye eşdeğerdir. Bu durumda AN oksijen dengesi +20 olmaktadır. Oksijen denge değerinin önünde yer alan pozitif işaret sistemin oksijen verdiği, negatif işaret de sistemin oksijene gerek duyduğu anlamına gelir (Erkoç, 1990).

Oksijenin yeterli olmaması durumunda CO, oksijen fazlalığında ise azot oksitleri meydana gelmektedir. Bu gazların fazla miktarda oluşumunu önlemek için, iyi karıştırılmış ve paketlenmiş oksijen dengeli patlayıcılar kullanılmalı ve ateşleme sistemi uygun olmalıdır (Gustafsson, 1973). Örneğin, ANFO içindeki mazot % 5.7' den az olduğu zaman AN' in saldığı oksijenin hepsi karbon tarafından kullanılamaz ve serbest kalan oksijen de azot gazı ile birleşerek azot oksitlerin oluşmasına neden olur. Bu olay kendisini, kahverengiden sarıya kadar değişen renkler ile gösterir. Mazotun % 5.7' den fazla olması durumunda ise karbon miktarı fazla olacak ve çok zehirli olan CO gazı oluşacaktır. Her iki durumda da enerji kaybı söz konusudur (Erkoç, 1990).

2.2.4. Enerji Aktarma Oranı

Patlayıcı maddeler tüm enerjilerini kayaya iletmezler. Bu, bir ölçüde patlayıcının özellikleri ile kayanın özelliklerinin uyuşmamasından kaynaklanır. Örneğin, kartuş çapının delik çapından küçük olması aktarma oranını düşürecektir.

Enerji aktarma oranı empedans ile açıklanabilmektedir. Empedans, fizik olarak bir sistemin uygulanan bir kuvvete gösterdiği tepkidir. Teorik olarak patlayıcı empedansı/kayaç empedansı oranı ne kadar 1'e yaklaşırsa ideal enerji aktarımı gerçekleşmektedir. Marn ve benzeri kayaçlarda yoğunluk ve dalga yayılma hızı düşüktür. Dolayısıyla empedansları da düşüktür. Böyle kayaçlarda yüksek patlama hızlı patlayıcılar kullanmak fayda vermemektedir. Aksine, bu tür patlayıcılar pahalı olduğu için maddi kayıplara sebep olmaktadır. Demir cevheri, granit gibi kayaçlarda ise yüksek patlama hızlı patlayıcılar daha iyi sonuç vermektedir (Erkoç, 1990; Özer, 2001).

2.2.5. Emniyet

Patlayıcılarda aranan önemli özelliklerden biri de taşıma ve şarj esnasında emniyetli olmaları ve insanların hayatını riske sokmamalarıdır. Emniyet derecesini ölçmek için birçok yöntem geliştirilmiştir; darbe duyarlılığı testi, mermi testi, sürtünme testi, ısı testi, yanma testi, statik elektrik testi bu testlerdendir (Naapuri, 1990; Atlas Powder Co., 1987).

2.2.6. Suya Karşı Direnç

Birçok durumda su altında patlatma yapmak gerekmektedir. Ayrıca, normal patlatmada da su dolu deliklere sık sık rastlanmaktadır. Su sızması öncelikle patlayıcı verimini düşürür. Kötü su şartlarında uzun süre kalma ile duyarlılık azalır ve patlama özelliği yok olur. Plastik patlayıcılar suya karşı yüksek dirençlidirler. Diğer bazı patlayıcılar da suya dayanıklı malzeme ile kaplanarak su dirençleri artırılmaktadır. Ayrıca, su direnci sadece patlayıcı ve paketleme özelliğine bağlı değildir. Yüksek basınçlı dinamik su, düşük basınçlı statik suya göre patlayıcıyı daha fazla etkiler.

Bir patlayıcının su direnci, su sızmasına karşı dayanıklılığı olarak tanımlanır. Dayanıklılık, statik sudaki dayanma süresi olarak ifade edilmektedir. Standart su direnç testi öncelikle dinamitlerin sınıflandırılmasında kullanılmaktadır. Test, 41.3 cm uzunluğundaki deliklerde 3.2x20.3 cm kartuşlar ile yapılmaktadır. Kartuşlar farklı sürelerde su içinde bekletilir ve No.8 elektrikli kapsül ile patlatılabilirliği test edilir. Sınıflandırma Tablo 2.2' de verilmiştir (Atlas Powder Co., 1987; Naapuri, 1989; Gustafsson, 1973).

Tablo 2.2: Dinamitlerin su direncine göre sınıflandırması (Anon, 1987).

Sınıf	Saat
1	Belirsiz
2	32 - 71
3	16 - 31
4	8 - 15
5	4 - 7
6	1 - 3
7	<1

2.2.7. Depolanma Özellikleri

Patlayıcılar nem, yüksek ve düşük ısı gibi olumsuz şartlar altında bile uzun süre depolanabilir özellikte olmalıdırlar. Patlayıcıların depolanabilme özellikleri sürekli gelişmesine rağmen depolardaki patlayıcılar devamlı yenilenmelidir. Yani, depoya daha önce gelenler öncelikli olarak kullanılmalıdır. Ayrıca, depolar temiz ve kuru tutulmalı, depolanma süresi mümkün olduğunca kısa olmalıdır.

Patlayıcının depolandığı ortam ısısı önemlidir. Plastik patlayıcılar yüksek ısıli yerlerde depolanmamalıdır. Örneğin, dinamit 90° F' in üzerinde uzun süre bırakılmamalıdır. Aksi halde patlayıcıdaki tuzlar eriyerek kartuşun deforme olmasına neden olur. Dondurucu soğukta ise dinamit donar ve kullanılamaz duruma gelebilir (Gustafsson, 1973; Atlas Powder Co., 1987; Naapuri, 1990).

2.2.8. Patlatma Ürünü Gazlar

Patlatma sonucu bir takım gazlar oluşmaktadır. Bunların içerisinde karbondioksit, azot, su buharı bulunmaktadır. Bunun yanı sıra azda olsa karbonmonoksit, nitrojen gazları, katı halde oksitleri sülfatlar ve diğer maddelerin yanma ürünleri bulunmaktadır. Karbonmonoksit en zehirli gaz olup, patlatma sonucunda miktarını düşürmek için ilk ateşlemenin iyi yapılması gerekmektedir (Dinçer, 1993).

2.3. PATLAYICI MADDE TÜRLERİ

Günümüz patlayıcıları eskiye nazaran daha emniyetli, daha dayanıklı ve daha etkindir. Klasik dinamitten yakın geçmişte geliştirilen emülsiyon türü patlayıcılara kadar pek çok çeşit mevcuttur. Her patlayıcının kendine has özellikleri olup buna uygun kullanılma yerleri vardır. Uygun patlayıcı kullanılmadığında ya da yanlış kullanım durumunda maliyet artar, tehlikeli ve istenmeyen durumlar ortaya çıkabilir (Kahraman, 1997).

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

- Ateşli Patlayıcılar
- Yüksek Hassasiyetli Patlayıcılar
- Patlayabilir Karışımlar

2.3.1. Ateşli Patlayıcılar

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

patlayıcı maddeyi patlatır (Atlas Powder Co., 1987). Kapsül imalatında kullanılan başlıca ateşli patlayıcılar Tablo 2.3’de verilmiştir.

Tablo 2.3: Başlıca ateşleyici patlayıcılar (Yılmaz, 2010).

Adı	Formül	Kullanışı	Patlatma hızı (m/sn)
Pentaeritrol tetra nitrat	$C_5H_8N_4O_{12}$	Kapsül infilaklı fitil	830°
Kurşun Azit	$Pb(N_3)_2$	Kapsül	-
Civa Tulmanit	$Hg(ONC)_2$	Kapsül	-
RDX		Kapsül	835°

Kapsül imalatında kullanılan bu patlayıcılar büyük miktarda gaz çıkarmaz ve doğrudan kaya patlatma işlerinde kullanılmaz. Ancak yerel ve çok kuvvetli şok yarattıklarından dinamitleri ateşlemekte kullanılırlar (Yılmaz, 2010).

2.3.2. Yüksek Hassasiyetli Patlayıcılar

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

2.3.2.1. Nitrogliserin Bazlı Patlayıcılar

Alfred Nobel’in insanlığın hizmetine sunduğu nitrogliserin esaslı patlayıcılar, günümüzde bile temel patlayıcı madde olarak kullanılmaktadır. İlk olarak diatomit toprağı ile karıştırılıp duyarlılığı kontrol altına alınan nitrogliserin esaslı patlayıcılarda, daha sonraları jelatinleştirici, donmayı önleyici katkıları katılmaya başlanmıştır. Zaman zaman gereğinden kuvvetli patlayıcı üretmemek, buna bağlı olarak gereksiz maliyet artışından kaçınmak için, amonyum nitrat katkılı olanları üretilmeye başlanmıştır.

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

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

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

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

2.3.2.2. Kapsüle Duyarlı Emülsiyon Patlayıcılar

Suya dayanıklı amonyum nitrat esaslı patlayıcı üretebilme çabaları sonucu emülsiyon patlayıcılar gündeme gelmiştir. Genelde organik veya mineral yağların çok büyük bir yüzdesi, su içinde çözünmezler. Ancak özel katkı maddeleri ile emülsiyon haline getirilebilirler. Nitrogliserin, TNT ve diğer patlayıcı hammaddeleri içermediğinden, kullanımı diğer patlayıcılara nazaran çok daha emniyetlidir.

2.3.3. Patlayabilir Karışımlar

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

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

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

Kuru patlayıcı karışımlar, yapımında su kullanılmayan ve 8 nolu kapsülle patlatılmayan her karışım kuru patlayıcı karışım olarak adlandırılacaktır. En bilinen örneği ANFO

olarak adlandırılan amonyum nitrat (AN) ve fuel oil (veya mazot) karışımıdır. Amonyum nitrat, amonyak ile nitrik asitin reaksiyonundan elde edilen organik bir tuzdur ve bünyesine yakıt katıldığı zaman patlayıcı haline gelmektedir. Patlayıcı maddelerin en önemli oksijen taşıyıcı maddesi olmakla birlikte, gübre olarak da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. ANFO en basit ifade ile amonyum nitrat ile fueloilin (mazot) belli ağırlık oranlarında karıştırılması sonucu elde edilen patlayabilir bir karışımdır. Kimyasal bir reaksiyondan değil, fiziksel bir karıştırma ile elde edilmektedir. Üretimi için kompleks bir tesis gerektirmez. ANFO en basit biçimde ağırlıkça % 94,3 oranında AN ve % 5,7 oranında mazot karıştırılarak yapılır. Yakıt oranı % 5,5 ile % 6 arasında ANFO en yüksek enerji verimine ve patlatma hızına ulaşır. ANFO' nun Teknik özellikleri Tablo 2.4 'te verilmiştir. ANFO patlatıldığında açık sarı duman vermesi iyidir. Portakal rengi, açık kahverengi duman ise yetersiz yakıt durumunu gösterir ki bu iyi karıştırılmamaktan veya ANFO bekleyince mazotu süzülerek ayrıldığından veya AN suda çözüldüğünden olabilir. ANFO'dan iyi verim almak için nitratı iyice ezerek topraksız ve toz halinde olmasını sağlamak ve doğru oranda mazot ile iyice karıştırmak gereklidir. ANFO'nun başarılı kullanılması başka bazı faktörlere de bağlıdır (Atlas Powder Co., 1987; Jimeno ve diğ., 1995).

Bunların başında şarj çapı gelir (Tablo 2.4). ANFO deliklere dökülerek konuyorsa şarj çapı delik çapına eşit olur.

Tablo 2.4: ANFO' nun teknik özellikleri (Naapuri, 1990).

Yoğunluk	g/cm ³	0.9
Patlatma Hızı	m/s	2000 – 4000
Gaz Ürün Miktarı	lt/kg	970
Patlatma Isısı	Mj/kg	3.8
Güç/Birim Ağırlık	-	0.9
Güç/Birim Hacim	-	0.7 – 0.8

ANFO'nun verimli patlamasında önemli bir diğer husus şarj yoğunluğudur. Delik dışında yoğunluğu 0,8–0,85 gr/cm³ olan ANFO deliğe basınçlı hava ile püskürtülerek delik içi (şarj) yoğunluğu 1,2 gr/cm³ kadar arttırılabilir. Bu durumda ANFO en yüksek

verimle patlar. ANFO doğrudan 8 nolu kapsülle ateşlenemez. Bu nedenle bir yem kullanmak gereklidir. Yemler her çeşit dinamit olabilir.

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

Tablo 2.5: ANFO' nun delik çapına bağlı olarak patlatma hızı ve metre başına şarj miktarı (Tamrock, 1984).

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

Yukarıda sayılan yararların yanı sıra ANFO'nun sakıncaları da vardır. Bunlar suya dirençsiz oluşu, düşük patlatma hızı, düşük yoğunluğu delik doldurma süresinin uzunluğu, iyi ezilmez ve karıştırılmaz ise verim düşüklüğüdür (Atlas Powder Co., 1987; Jimeno ve diğ., 1995).

Sıvı Patlayabilir Karışımlar (Slurry, Watergel, Emülsiyon), sulu deliklerde patlamayan çok verimli ve güvenli bir patlayıcı madde olan ANFO'ya bir seçenek olarak geliştirilmişlerdir. Başlıca türleri;

- Çamurumsu Karışımlar (Slurry)
- Yarı-Akışkan Karışımlar (WATERGEL)
- Krema Tipi Karışımlar (Emülsiyon)

Çamurumsu karışımlarda su oranı %5 ile %40 arasında değişir. Diğer katkı maddeleri de örneğin AN %40-%70, TNT %20-%35 oranlarında konulabilir. Diğer bir deyişle sonsuz çeşitte çamursu patlayıcı karışım yapmak mümkündür.

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

Yoğunlukların fazla olmasının bir yararı da belirli çaptaki (hacimdeki) deliğe daha fazla patlayıcı enerjisi yerleştirmeyi mümkün kılmasıdır. Böylece kaya iyi parçalanabilecek veya aynı deliğe daha fazla enerji yerleştirilebildiği için delikler arası mesafeler büyütülebilecek ve daha randımanlı madencilik yapılabilecektir.

Çamursu patlayıcı karışımların yararları suya dirençli oluşları, delik doldurma işleminin hızlı olması, deliği tamamen doldurması ve sudan ağır olması olarak sayılabilir.

Sakıncaları ise ANFO'dan pahalı olması ve çok çatlaklı boşluklu kayalarda formasyona sızarak maliyeti arttırmasıdır (Atlas Powder Co., 1987, Jimeno ve diğ., 1995).

2.4. PATLAYICI MADDE SEÇİMİ

Patlayıcı madde, patlatma tasarımında kontrol edilebilen en önemli parametrelerden birisidir. Patlayıcı madde seçiminde dikkate alınması gereken faktörler; maliyet, delik çapı, kayaç özellikleri, iklim durumu, delikteki su durumu, çevresel sorunlar, gaz çıkışı, güvenlik durumu ve temin edilebilirlik olarak sıralanabilir.

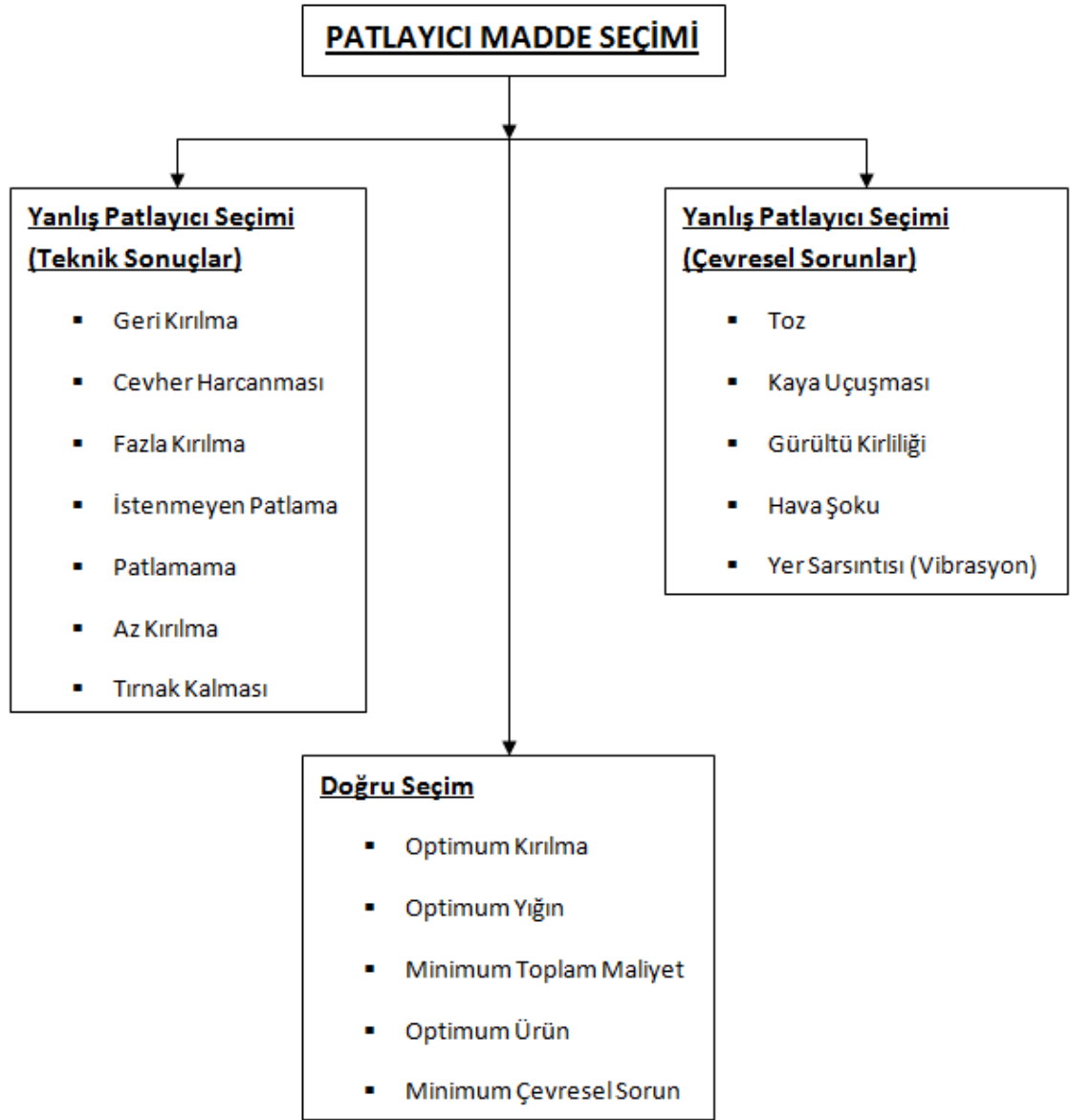
Yüksek dayanıma sahip masif kayaların patlatılmasında etkili kırma enerjisi en önemli performans parametresidir. Bu uygulamalarda, daha yüksek etkili kırma enerjisine sahip

(ideale yakın) patlayıcı madde seçilmelidir. Çatlaklı ve düşük dayanıma sahip kayaların patlatılmasında ise etkili itme enerjisi en önemli performans parametresidir. Bu uygulamalarda, daha yüksek etkili itme enerjisine (idealden uzak) sahip patlayıcı maddeler seçilmelidir. Patlatmalarda blok oluşumu söz konusu ise bu tür patlatmalarda daha dengeli kırma ve itme enerjisine sahip patlayıcı madde tercih edilmelidir (Esen ve Bilgin,1998).

Açık ocaklarda ve taş ocaklarında çok değişik şartlar altında değişik patlayıcıların kullanılması mümkündür. Patlayıcı maddenin kullanılacağı alan için en uygun patlayıcının veya patlayıcı kombinasyonunun seçimi birçok faktöre bağlıdır. İyi bir seçim ancak bu faktörlerin incelenmesi ile mümkün olabilir. Patlayıcı madde seçiminin doğuracağı sonuçlar Şekil 2.8’de görülmektedir (Özer, 2001).

Yüksek infilak hızına sahip patlayıcılar genellikle yüksek dayanıma sahip masif kayalarda, düşük infilak hızına sahip patlayıcılar ise düşük dayanıma sahip kayalarda daha iyi patlatma performansı verir. Buna göre; infilak hızının artmasıyla patlayıcının kırma enerjisinin de artacağı söylenebilir (Tosun, 1991; 1993; Hagan ve Duval, 1993; Esen ve Bilgin, 1998; Bilgin ve diğ., 2000; Özer 2001).

Başarısız bir patlatmanın, zaman kaybı, ek maliyet, çevresel sorunlar ve teknik sorunlar gibi doğuracağı olumsuz sonuçlar unutulmamalıdır.



Şekil 2.8: Patlayıcı madde seçimi sonuçları (Tosun, 1991’den değiştirilerek, Özer, 2001).

2.5. PATLATMA TASARIM PARAMETRELERİ

Açık ocak işletmeciliğinde, birbirini izleyen delme – patlatma, kazı - yükleme, nakliye, kırma (özellikle primer kırma) ve/veya tumba gibi faaliyetlerin tümünü birden dikkate almak kaydıyla, ekonomik ve emniyetli bir patlatmanın gerçekleşmesi, ancak güvenilir bir patlatma tasarımı ile mümkün olabilmektedir. İyi ve güvenilir bir patlatma tasarımından kastedilen; yükleyici ekipmanın verimliliği ve/veya müteakip kullanım açısından arzu edilen parçalanma derecesinde, yeterince kabarmış, kısmen ötelenmiş, gevşek bir yığının elde edilmesine izin veren ve yer sarsıntısı, hava şoku, fırlayan kaya

gibi çevresel sorunları olmayan ya da en aza çekilmiş bir patlatmanın sonuçlarını önceden tahmin, etmektir. Öte yandan doğrudan veya riperleme ile yapılabilecek kaya kazısının, ancak belirli değerlere kadar olan dayanımlarda mümkün olabildiği bilinmektedir. Bu nedenle delme ve patlatma, çoğu işletmede, üretim sürecinin ilk istemini oluşturmaktadır. Genel olarak daha fazla delik delmek ve/veya daha fazla patlayıcı madde kullanmak, delme ve patlatmanın maliyetini arttırırken, daha homojen ve daha küçük parça boyutunda bir yığın oluşturulması ihtimalini arttıracaktır. Ancak bu şekilde elde edilen bir yığınla ilgili olarak, müteakip işlemlerin maliyetlerinde belirgin bir azalma söz konusu olabilecektir. Bununla birlikte, yalnızca kullanılan patlayıcı maddenin enerjisi arttırılabilirse, delik delme ve patlatma işleminde ek bir maliyete gerek kalmaksızın istenen parçalanma elde edilebilecektir. Bu çerçevede, patlatma tasarımında; iki temel soruna yanıt aranmaktadır.

Bunlardan birincisi, her bir deliğe konacak optimum patlayıcı madde miktarının ne olacağı, ikincisi ise, istenen parçalanma derecesinde ve arzu edilen konumda bir yığını oluşturmak için delik paterninin nasıl olacağıdır. Başka bir deyişle, herhangi bir kaya ortamında yapılacak basamak patlatması için yanıt aranacak iki temel parametre: özgül şarj ve dilim kalınlığıdır. Bu iki unsurun belirlenmesi durumunda diğer parametreler, bunlara bağlı olarak hesaplanabilmekte ve tasarım tamamlanabilmektedir.

Maden üretim sürecinde patlatmanın önemi bilindiğinden, konuyla ilgili değişik çalışmalar çeşitli araştırmacılar tarafından uzun süreden beri yoğun bir biçimde sürdürülmektedir. Ancak konunun karmaşıklığı ve koşulların zorluğu nedeniyle hala yanıtlanması gereken pek çok husus mevcuttur. Teknik, ekonomik ve emniyet açısından iyi ve güvenilir bir patlatma tasarımı üzerinde etkili olan pek çok parametre söz konusudur. Bu parametreleri aşağıdaki şekilde özetlemek mümkündür (Hoek & Bray, 1995; Dick ve Ark., 1983; Tamrock, 1984; Atlas Powder Co., 1987; Bilgin, 1986; Olofsson, 2002; Konya ve Walter, 1990; Bilgin ve Paşamehmetoğlu, 1993; Singh, 1993).

2.5.1. Çalışılan Kaya Birimlerinin Madde ve Kütle Özellikleri

Maden ve inşaat mühendisliği kazılarının tasarımında, kayaçların kütle ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi en önemli safhalardan biridir. Maden mühendisliğinde, kayaçların mühendislik özellikleri, üretim yöntemi ve kazı ekipmanı seçimi, patlatma geometrisinin tasarımı, şev stabilitesi ve yeraltı açıklıklarının boyutlandırılması çalışmalarında temel tasarım parametreleri olarak kullanılmaktadır. Yakın zamana kadar kayaçların basınç dayanımları, ölçülmesi daha basit, hızlı ve güvenilir olması nedeniyle mühendislik kazılarının dizaynında daha yaygın olarak kullanılmıştır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, kayaçların çekme dayanımlarının da değinilen konularda tasarım parametresi olarak etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir (Arıoğlu ve Tokgöz, 1993; Bilgin 1982), kayaçların nokta yükü dayanımlarının, kazı mekaniğinde delme ve kazı makinalarının performanslarının tahmininde güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Bu nedenle çalışma alanında yapılacak ön incelemeler ile kaya birimlerinin şu özellikleri incelenir;

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

2.5.2. Patlayıcı Maddenin Cinsi, Özellikleri ve Dağılımı

- Yoğunluk
- Patlama hızı
- Kudret (güç)
- Hassasiyet

- Suya dayanım
- Dona dayanım
- Patlama ısısı ve özgül gaz hacmi
- Depolama şekli ve süresi

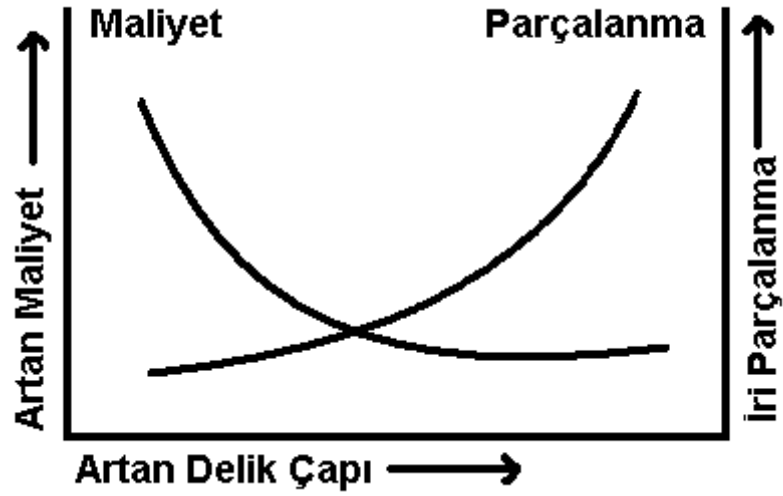
2.5.3. Patlatma Geometrisi

Patlatma geometrisi ile ilgili parametreler aşağıda sıralanmış ve ayrı başlıklar altında ilerleyen kısımlarda açıklanmıştır.

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

2.5.3.1.Delik Çapı

Delik çapında genel kural olarak bilinir ki, patlayıcı, kaya yapısının içine ne kadar iyi dağıtılırsa, o kadar iyi verim alınır. Diğer bir değişle küçük delik çapı ve dar geometri her zaman için, büyük delik çapı ve geniş geometriden daha iyi verim sağlar. Kolayca anlaşılabileceği gibi, artan delik çapı, içine konabilecek patlayıcı miktarını arttıracak, bu ise delik geometrisinin genişlemesine yol açacaktır. Genişleyen geometride, patlayıcı maddenin kaya yapılarını daha geniş açı ile etkilemesine ve elde edilen pasada, tane boyunun, jeolojik etkenlere bağlı olarak artmasına neden olacaktır (Erkoç, 1990). Bu parametrelerin ilişkisi Şekil 2.9'da şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.9: Delik çapının, maliyet ve parçalanma boyuna etkisinin şematik olarak gösterilmesi (Erkoç, 1990).

2.5.3.2 Kaya Katsayısı

Elementler fiziksel özelliklerin değerlendirilmesi, yeterli bulunmamakta, yapısal özellikleri saptama ise, hesaplamalarda kullanılacak duyarlılıkta mümkün olmamaktadır.

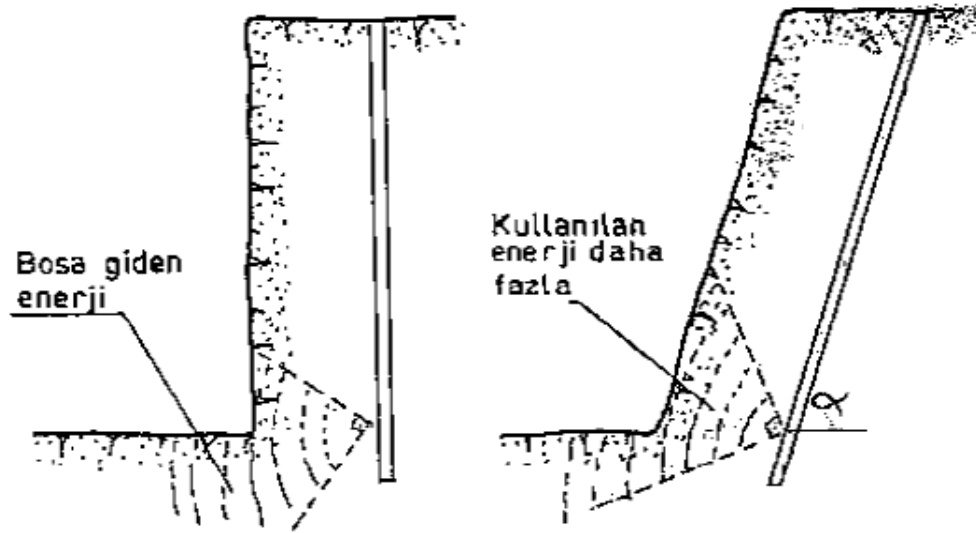
İsveç graniti üzerinde yapılan çalışmalar, bu yapıdaki kaya katsayısını 0.4 olarak belirlemiştir. Patlama planı yapılan kaya yapısı, İsveç graniti ile kıyaslanmalı, daha sağlam kaya yapılarında katsayının büyümesi, aksine durumlarda da küçülmesi gereklidir (Erkoç, 1990).

2.5.3.3. Delik Taban Zorluğu

Uygulamada daha çok dik delik kullanılmasına rağmen basamak aynaları genellikle eğimli bir şev oluştururlar. Bu durumda deliğe doldurulmuş patlayıcı maddenin önündeki parçalanması ve atması istenen yük delik dip tarafında fazla, üst tarafında az olur. Bu ise gürültü, hava şoku, kaya fırlatması ve yetersiz parçalanma sorunu yaratır. Bu sorunun çözümü aynaya paralel eğimli deliklerin delinmesidir (Erkoç, 1990).

Eğimli delik delmek daha zordur ancak aşağıda sıralanan pek çok yararı vardır. Patlatma sonunda daha ufak parça ve daha gevşek yığın elde edilir. Sabit dilim kalınlığı vererek tabanda B_{max} açısı riskini yok eder. Alt basamaktaki aşırı çalışmalar nedeni ile bu basamakta oluşabilecek delme zorluklarını azaltır. Şarjın geri tepmesini önleyerek,

geri çatlamayı azaltır. Böylece düzgün ayna, duyarlı şev oluşur. Daha fazla sayıda delik ve delikler arası atım mümkün olur. Dilim kalınlığı ve delikler arası mesafenin artmasına neden olacak patlatma randımanları artışına neden olur. Tabanda tırnak kalması sorununu azaltır veya yok eder. Şekil 2.17’ de eğimli deliklerdeki enerji durumunun önemi açıkça görülmektedir (Dağçimen, 2006).



Şekil 2.10: Eğimli deliklerin taban zorluğunu yenmesi (Erkoç, 1990).

Tablo 2.6: Delik eğimine göre taban zorluğu (Langefors, 1963).

Eğim (°)	90 - 83	82 - 75	74 - 67	64 - 59	58 - 50
Taban Zorluğu	1,11	1,075	1,00	0,95	0,83

Tablo 2.6’ da görüldüğü gibi artan eğimle birlikte Taban zorluğu da artmaktadır. Bununla beraber delinen deliğin boyu fazlalaşmaktadır. Diğer bir deyişle bir metre küp kaya kırmak için delik metrajı artmaktadır (Özgül Delik). Özellikle aşındırıcı kaya yapılarında önemli bir olaydır (Erkoç, 1990).

2.5.3.4. Basamak Yüksekliği

Basamak yüksekliğinin, hem patlatma, hem de yükleyici makinelerin verimli kullanılması açısından çok büyük önemi vardır. Patlatma açısından bakıldığında basamak yüksekliği gerektiğinden uzun ya da kısa seçilirse delici makinelerin verimi düşer, delgi ve patlayıcı madde doldurma hataları baş gösterebilir. Ayrıca artan basamak yüksekliği ile basınç dağılımları etkilerini arttırmaktadır. Normal patlatmalarda, kural

2.5.4. Özgül Şarjın Belirlenmesi İçin Bazı Yöntemler

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

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

$$q = [(1,4 \times C_O \times B^3 + 0,4 \times C_O \times B^2 \times (K - 2B))]/(n \times K \times B^2) \text{ (kg / m}^3\text{)} \quad (2.18)$$

Özgül şarj ve sismik hız arasındaki ilişki Broadbent (1974) tarafından geliştirilmiştir. Ülkemizdeki bazı demir ve linyit işletmelerinde araştırmalarda bulunan Paşamehmetoğlu ve Arkadaşları özgül şarj ile basma dayanımı, çekme dayanımı, yoğunluk, empedans, darbe dayanımı, sismik dalga hızı (P dalga hızı) gibi bazı kaya özellikleri arasında oldukça yüksek korelasyon katsayılı çeşitli ilişkiler geliştirmişlerdir (Bilgin ve Paşamehmetoğlu, 1986). Söz konusu araştırmacılarca geliştirilen bu ilişkiler aşağıdaki gibidir.

Basma dayanımı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0,474 + 0,004 \times \sigma_b \quad (r = 0,56) \quad (2.14)$$

Çekme dayanımı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0,369 + 0,0224 \times \sigma_{\text{ç}} \quad (r = 0,82) \quad (2.15)$$

İçsel sürtünme açısı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0,2349 \times (\tan\Phi)^{0,5570} \quad (r = 0,68) \quad (2.16)$$

Kohezyon ve darbe dayanımı ilişkisi:

$$DD = 0,1156 + c \times 0,0072 \quad (r = 0,95) \quad (2.17)$$

Darbe dayanımı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0,414 + 9,55 \times 10^{-7} \times DD \quad (r = 0,99) \quad (2.18)$$

Yoğunluk ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0,019 + 2,038 \times 10^{-4} \times d_r \quad (r = 0,99) \quad (2.19)$$

Kaya empedansı ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = 0,02 + 3,97 \times 10^{-8} \times I \quad (r = 0,99) \quad (2.20)$$

Sismik hız ve özgül şarj ilişkisi:

$$q = -1,9928 + 0,2904 \times \ln V_p \quad (r = 0,89) \quad (2.21)$$

$$q = (RQI - 24,9) / 7,1 \quad (\text{kg} / \text{ton}) \quad (2.22)$$

$$q = 0,208 + 0,0224 \times RQI \quad (r = 0,82) \quad (2.23)$$

Kou ve Rustan (1992), özgül şarj kavramına yakın bir kavram olarak kabul edilen patlayabilirlik faktörünün (C_o), kayanın tek eksenli basma dayanımını, dinamik elastisite modülünü ve referans patlayıcı maddenin ısı enerjisini dikkate alan aşağıdaki formülle tahmin edilebileceğini belirtmektedir.

$$C_o = (\sigma_b)^2 / (2 \times E_d \times Q_{er}) \quad (2.24)$$

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

Burada kullanılan semboller:

q = Özgül şarj, (kg/m^3)

C_o = Kaya patlatma katsayısı, (kg/m^3)

K = Basamak yüksekliği, (m)

n = Delikler arası mesafe ve dilim kalınlığı oranı

B = Dilim kalınlığı, (m)

f = Delik eğim faktörü

$\Phi + i$ = Etkin içsel sürtünme açısı, (derece)

σ_b = Kayanın tek eksenli basma dayanımı, (MPa)

σ_c = Kayanın endirekt çekme dayanımı, (MPa)

φ = Kayanın içsel sürtünme açısı, (derece)

c = Kohezyon, (MPa)

DD = Darbe dayanımı, (kg.m / m³. J 0-5)

d_r = Kayanın yoğunluğu, (kN/m³)

$\dot{I}$ = Empedans, ((MN-m) / (m³ -sn))

V_p = Sismik (p-dalga) hız, (m/sn)

RQI = Kaya kalite indeksi, (Mpa-dak/m)

E_d = Dinamik elastisite modülü, (MPa)

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

2.5.5. Dilim Kalınlığının Belirlenmesine Yönelik Yaklaşımlar

Patlatma geometrisi tasarımı konusunda yapılan araştırmalar göstermiştir ki dilim kalınlığı, diğer tüm tasarım parametreleri üzerinde etkindir. Bir başka ifade ile, delikler arası mesafe, sıkılama boyu, delik taban payı, gecikme aralığı, dip şarjı boyu, kolon şarjı boyu gibi diğer tasarım büyüklüklerinin, dilim kalınlığının fonksiyonu olarak ifade edilebildiği ve bu şekilde anlamlı tasarımlar yapılabileceği konusu çoğu araştırmacılarca vurgulanmıştır (Gustafsson, 1973; Pukkila ve Tamrock, 1984; Bilgin ve Ark., 1986; 1994; Arıoğlu, 1988; Olofsson, 1988; Konya ve Walter, 1990; Zeigler, 1991; Rustan, 1993; Singh, 1993).

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

önerdikleri bağıntılar, Arıoğlu (1990) tarafından ayrıntılı bir şekilde sınıflandırılmıştır. Bunlardan bir kısmı sadece basamak ve delik geometrisiyle pratik ilişkiler geliştirmişlerdir. Diğer bir kısmı ise, bu büyüklüklerle birlikte, kaya koşullarını ve patlayıcı madde özelliklerini de dikkate alan yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Bu yaklaşımlara geniş bir şekilde aşağıda yer verilmiştir.

$$B = 0,024 \times d + 0,85 \quad (\text{Arıoğlu, 1990}) \quad (2.25)$$

$$B = (25 - 35) - 12 \times d_e \quad (\text{Atlas Powder Co., 1985}) \quad (2.26)$$

$$B_{\max} = 0,045 \times d \quad (\text{Gustaffson, 1973}) \quad (2.27)$$

$$B_{\max} = 1,36 \times (I_b)^{0.5} \times R_1 \times R_2 \quad (\text{Oloffson, 1985}) \quad (2.28)$$

$$B_{\max} = (d/33) \times (P \times S_t) / [C_0 \times f \times (S/B)]^{0.5} \quad (\text{Langefors ve Kihlstrom, 1978}) \quad (2.29)$$

$$B = B_{\max} - E \quad (2.30)$$

Burada kullanılan semboller:

$B_{\max}$ = Maksimum dilim kalınlığı, (m)

d = Delik çapı, (mm)

I_b = Şarj yoğunluğu, (kg/m)

R_1 = Delik eğimi düzeltme faktörü

R_2 = Kaya düzeltme faktörü

d_e = Patlayıcı maddenin çapı, (inç)

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

S_t = Patlayıcı maddenin ağırlıkça kudreti

C_0 = Kaya patlatma katsayısı

f = Atım güçlük katsayısı

S = Delikler arası mesafe, (m)

E = Delik hata payı, (m)

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

ifade eden yaklaşımların pratik kolaylıklar sağladığı ve hemen tümünün birbirine oldukça yakın değerler olduğu (minimum ve maksimum aralıkları içinde) görülmektedir.

Langefors ve Kihlstrom tarafından verilen formülün; (özellikle sağlam kayalarda) kaya özelliklerini (kaya patlatma katsayısı şeklinde), delik çapı ile diğer delik geometrisi unsurlarını ve patlayıcı madde özelliklerini (yoğunluk ve kudretini) dikkate alması nedeniyle pratikte çok başarılı sonuçlar verdiği birçok araştırmacı ve uygulamacı tarafından pek çok yayında ifade edilmektedir. Aynı yaklaşımın esas alındığı bu çalışma kapsamında yapılan tasarımlarla da başarılı sonuçlar alınmıştır. Ancak formülün başarısı için, kaya patlatma katsayısının çok iyi bir şekilde (gerekirse test atımlarıyla) tayin edilmiş olması gerekmektedir (Kahriman, 1994).

2.5.6. Diğer Patlatma Tasarım Büyükleri

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

2.5.6.1. Delik Çapı Tahmini

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

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

Bazı araştırmacılar da açık işletmelerde seçilebilecek delik çapları (d) için pratik olarak aşağıdaki verilen aralıkları önermektedirler.

$$d = 51\text{mm} - 425\text{mm} \quad (\text{Dick ve diğ., 1973}) \quad (2.31)$$

$$d = 30\text{mm} - 400\text{mm} \quad (\text{Olofsson, 1988}) \quad (2.32)$$

$$d \text{ (m)} = K / (100-200) \quad (\text{Tamrock, 1978}) \quad (2.33)$$

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

2.5.6.2. Delik Eğiminin Belirlenmesi

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

2.5.6.3. Delikler Arası Mesafenin Belirlenmesi

Delikler arası mesafe patlatma tasarımında önemli bir unsurdur. Bazı araştırmacılar delikler arası mesafeyi, basit bir şekilde yan yana iki delik (aynı sırada) arası mesafe olarak kabul ederken, bazıları delikler arasındaki (bitişik delikler) gecikme aralığı olarak tanımlamaktadırlar. Delikler arası mesafenin belirlenmesinde başka birçok faktör etkin olmakla birlikte, yaygın bir kabul ile, daha çok dilim kalınlığının fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Formüllerde daha çok delikler arası mesafe dilim kalınlığının bir fonksiyonu olarak belirlenmektedir. Çeşitli araştırmacıların konuya yaklaşımları aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Kahriman, 2004).

$$S = 1,25 \times B \quad (\text{Olofsson, 1988}) \quad (2.34)$$

$$S = 1,8 \times B \text{ (Tek sıra delik için)} \quad (\text{Hemphill, 1981}) \quad (2.35)$$

$$S = [B \times (h_b + h_p)]^{0.5} \text{ (çok sıralı ve gecikmesiz)} \quad (h_b + h_p) \leq 4 \text{ ise} \quad (2.36)$$

$$S = 2 \times B \text{ eğer } (h_b + h_p) \geq 4 \text{ ise,} \quad (\text{Hemphill, 1981}) \quad (2.37)$$

Burada:

h_p = Kolon şarj boyu, (m)

h_b = Dip şarj boyu, (m)

$$S = (1,15 - 1,25) \times B \quad (\text{Langefors, 1978}) \quad (2.38)$$

$$S = (1 - 1,8) \times B \quad (\text{Atlas Powder Co., 1987}) \quad (2.39)$$

$$S = 2 \times B \quad (\text{Dick ve Ark, 1983}) \quad (2.40)$$

Genel bir değerlendirme olarak, araştırmacıların birçoğunun, basamak patlatması için önerdikleri delikler arası mesafenin dilim kalınlığına oranı 1 ila 1,8 arasında değişmektedir. Öte yandan araştırmacıların hemfikir olduğu başlıca konular aşağıda ifade edilmiştir. Eğer delikler arası mesafenin dilim kalınlığına oranı 1 den küçük olursa; sıkılama malzemesinin erken boşalması nedeniyle delikler arasında çok erken çatlaklar oluşacaktır. Bunun sonucu, gaz kaçışının hızlanması, hava şoku, gürültü ve iri blok oluşumu gibi sorunlar ortaya çıkacaktır. Tersine bu oran çok büyük olursa, uygun olmayan parçalanma ve/veya hiç parçalanmama nedeniyle iri bloklar ortaya çıkacaktır.

2.5.6.4. Delik Taban Payının Belirlenmesi

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

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

$$U = (0,2 - 0,3) \times B, \quad (\text{Hoek ve Bray, 1991}) \quad (2.41)$$

$$U = (0,1 - 0,5) \times B, \quad (\text{Dick ve Ark., 1983}) \quad (2.42)$$

$$U = (0,2 - 0,5) \times B, \quad (\text{Atlas Powder Co., 1987}) \quad (2.43)$$

$$U = 0,3 \times B, \quad (\text{Tamrock, 1984}) \quad (2.44)$$

$$U = 0,3 \times B_{\max}, \quad (\text{Langefors, 1973}) \quad (2.45)$$

$$U = 8 \times d, \quad (\text{Bilgin ve Ark, 1986}) \quad (2.46)$$

d = Delik çapı, (m)

U = Delik Taban Payı, (m)

B = Dilim Kalınlığı, (m)

2.5.6.5. Sıkılama Boyunun Belirlenmesi

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

$$h_o = (0.7 - 1) \times B, \quad (\text{m}) \quad (\text{Tamrock, 1987}) \quad (2.47)$$

$$h_o = (0.67 - 2) \times B, \quad (\text{m}) \quad (\text{Hoek ve Bray, 1990}) \quad (2.48)$$

$$h_o = B, \quad (\text{m}) \quad (\text{Langefors, 1978}) \quad (2.49)$$

$$h_o = (20 - 60) \times d, \quad (\text{m}) \quad (\text{Bilgin ve diğ., 1986}) \quad (2.50)$$

$$h_o = 0.7 \times d, \quad (\text{feet}) \quad (\text{Konya, 1990}) \quad (2.51)$$

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

$$h_o = 0.45 \times d_e \times (S_{tv} / SG_r)^{0.33} \quad (\text{Konya, 1990}) \quad (2.52)$$

Burada:

d_e = Delik çapı, (inç)

S_{tv} = Patlayıcı maddenin hacimce kudreti

SG_r = Kayanın özgül ağırlığı

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

$$h_o = Z \times (12/R_f) \times (W_e \times S_{tw} / 100)^{0,33} \quad (\text{Zeigler, 1991}) \quad (2.53)$$

Burada:

Z = Kaya fırlaması ile ilgili bir faktör

R_f = Kaya faktörü

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

S_{tw} = Patlayıcı maddenin ağırlıkça kudreti

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

2.5.6.6. Yemleme Yeri ve Miktarının Belirlenmesi

Delige şarj edilen patlayıcı madde kolonunun zamanında ve güvenilir bir şekilde ateşlenmesinde, yem sayısı ve konumu önem taşımaktadır. Gereğinden uzun şarj kolonunda, yem detonasyonun sönümlenmesi nedeniyle yeterli olmayabilir. Tabana konan bir yemlemenin uygun nitelikte ateşleyebileceği şarj kolonu uzunluğunun tahmin edilmesi, dolayısıyla delikteki yem sayısının belirlenmesi amacıyla bazı ampirik yaklaşımlar geliştirilmiştir (Kahriman, 2003).

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

2.5.6.7. Gecikme Zamanının Belirlenmesi

Güvenilir ve istenilen parçalanmaya cevap veren bir atımın gerçekleştirilmesi bakımından gerek aynı sıradaki delikler arasında, gerekse delik sıraları arasında uygun bir gecikme süresinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu gereklilik, yersarsıntısı, hava şoku ve fırlayan kaya gibi çevresel etkileri de en aza indirmek bakımından zorunludur. Konuyla ilgili çalışma yapan araştırmacılar gecikme zamanını dilim kalınlığının bir fonksiyonu olarak ifade etmişlerdir. Bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir (Kahriman, 2003).

Delikler arası gecikme zamanı (t_h)

$$t_h = T_H \times S, \text{ (Konya, 1990)} \quad (2.54)$$

$$t_h = 5 \times B, \text{ (Larsson ve diğ., 1985)} \quad (2.55)$$

Burada:

T_H = Delikten deliğe gecikme sabiti

V_e = Patlayıcı kolonu şarjının hacmi

Sıralar arası gecikme zamanı (t_r)

$$t_r = T_R \times B, \text{ (Konya, 1990)} \quad (2.56)$$

$$t_r = 12 \times B, \text{ (Olofsson, 1988)} \quad (2.57)$$

$$t_r = (333 \times 3^{2,17}) / (K \times I_b^{0,39}), \text{ (Larsson, 1985)} \quad (2.58)$$

$$t_r = (3 - 5) \times B, \text{ (Langefors, 1978)} \quad (2.59)$$

T_R = Delik sıraları arasında gecikme sabiti

2.5.6.8. *Dip Şarj ve Kolon Şarj Boylarıyla Miktarlarının Belirlenmesi*

Genel olarak, basamak patlatma delikleri iki farklı şekilde şarj edilmektedir. Bunlar, sürekli ve kısmi şarjdır. Kısmi şarj özel durumlar için geçerlidir. Buna karşılık sürekli şarj kapsamında ifade bulan kolon şarjı ise en genel uygulama biçimidir. Sürekli şarj durumunda; delikteki şarj boyu; kaya özellikleri ve patlayıcı madde cinsi dikkate alınarak ikiye ayrılmıştır.

-Dip şarjı

-Kolon şarjı

Delik taban kısmında daha fazla enerji ihtiyacı nedeniyle; genellikle delik tabanına konacak patlayıcı madde gücünün daha fazla olması gerekir. Ayrıca; patlayıcı maddenin ayna boyunca iyi dağılımını sağlamak için patlayıcı madde kolonunun belirli bir uzunlukta olması hususu; patlama teorisi açısından gereklidir. Konuyla ilgili olarak

çalışmalar yapan bazı araştırmacılar, dip ve kolon şarjının boylarını dilim kalınlığının fonksiyonu olarak aşağıda verildiği gibi ifade etmişlerdir.

Dip şarjı uzunluğu;

$$h_b = B + U = 1.3 \times B , \text{ (Langefors ve diğ., 1978)} \quad (2.60)$$

$$h_b = (0.3 - 0.5) \times B + U , \text{ (Atlas Powder Co., 1985)} \quad (2.61)$$

$$h_b = (0.3 - 0.6) \times B + U , \text{ (Dick ve diğ., 1983)} \quad (2.62)$$

Q_b = Dip şarj miktarı (kg)

$$l_b = C_O \times B^2 , \text{ (Tamrock, 1984)} \quad (2.63)$$

$$l_b = (f/s) \times (S/B) \times 0.8 \times C_O \times B^2 \text{ (Langefors, 1978)} \quad (2.64)$$

$$l_b = d^{2^{T/1000}} , \text{ (Gustafsson, 1973)} \quad (2.65)$$

l_b = Dip şarj konsantrasyonu (kg)

$$Q_b = l_b \times h_b , \text{ (kg)} \quad (2.66)$$

Kolon şarjı uzunluğu (h_p);

$$h_p = H - 2.3 \times B , \text{ (Langefors, 1978)} \quad (2.67)$$

$$h_p = H - h_b - h_o , \text{ (Atlas Powder Co., 1985)} \quad (2.68)$$

H = Delik uzunluğu, (m)

Q_p = Kolon şarjı miktarı, (kg)

$$I_p = 0.4 \times l_b , \text{ (Tamrock, 1984)} \quad (2.69)$$

$$I_p = (0.4 - 0.5) \times l_b , \text{ (Langefors, 1978)} \quad (2.70)$$

$$Q_p = I_p \times h_p , \text{ (kg)} \quad (2.71)$$

I_p = Kolon şarj konsantrasyonu

2.5.6.9. Delik Hata Payının Belirlenmesi

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

$$E = 0.05 + 0.03 \times K, \text{ (Langefors, 1978)} \quad (2.72)$$

$$E = 0.05 + 0.03 \times H, \text{ (Tamrock, 1984)} \quad (2.73)$$

$$E = (d/1000) + 0.03 \times H, \text{ (Olofson, 1988)} \quad (2.74)$$

Burada;

E = Delik hata payı, (m)

d = Delik çapı, (mm)

H = Delik Uzunluğu, (m)

K = Basamak yüksekliği, (m)

2.6. PATLATMA İLE KAYA KIRILMA MEKANİZMASI

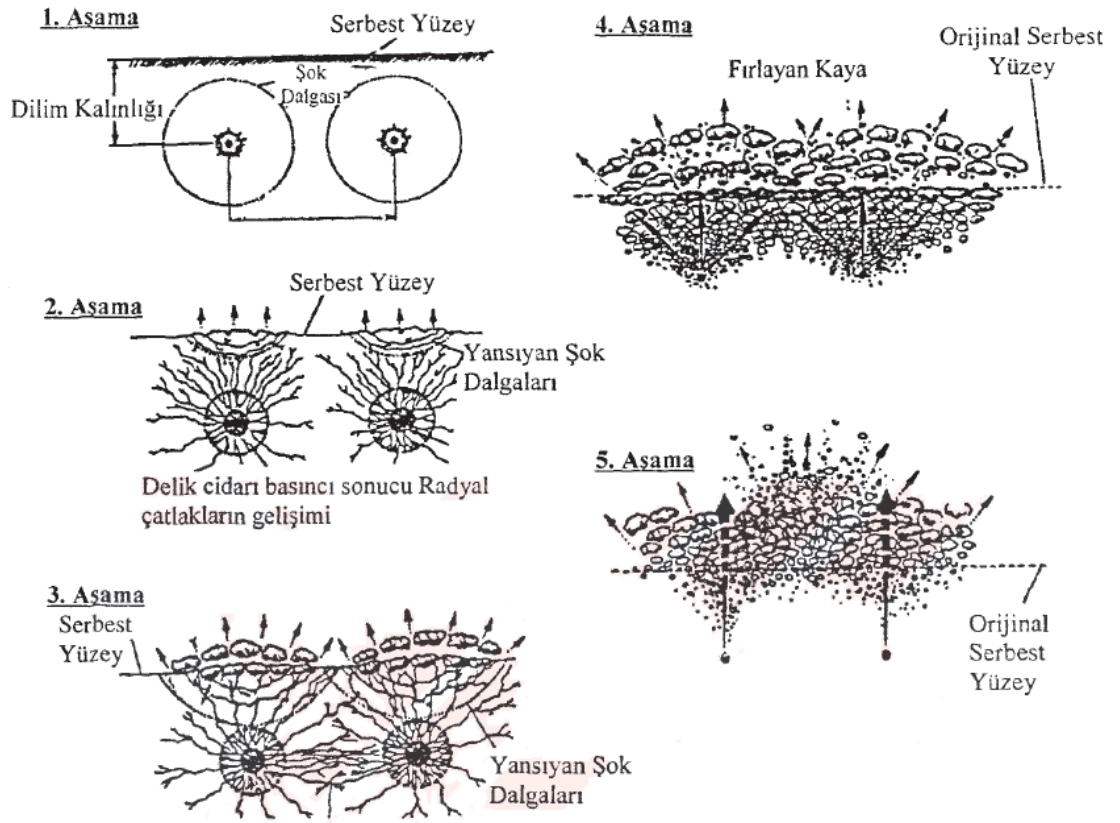
Patlatma tekniği normal olarak kayaç içerisinde delici makinelerle açılmış olan patlatma deliklerinin, patlayıcı madde ile doldurulması (Şarjı) ve bu patlayıcı maddenin patlatılmasından (yani detone olmasından) ibarettir. Bu esnada patlayıcı potansiyel enerjisinin açığa çıkması ile deliklerin açıldığı kaya kütlesi hızlı bir şekilde parçalanır ve serbest yüzeye doğru yer değiştirir. Açık işletme patlatma çalışmalarında serbest yüzey sayısının birden fazla olması enerjinin daha fazla verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Özellikle açığa çıkan uygun kinetik enerji miktarıyla, yığının düzgün ötelenmesi optimum patlatma verimini sağlayacaktır.

Bir patlatma olayında, kaya sürekli bir yapıdan süreksiz bir yapıya dönüşür. Kaya parçalanmalarının basit bir nümerik modelinde, sürekli ortam ve süreksiz ortam bulunabilir. Patlatma ile parçalanma olayı iki adımda incelenebilir.

Birinci adımda; sürekli kaya ortamında patlayıcı madde patlar ve şok dalgaları kayaç içerisinde hareket eder ve çatlaklar oluşturur (Britton ve diğ., 1984; Chernigovski, 1986).

İkinci adımda; kayaç parçalanması başlar, bu aşamada, şok dalgaları ve residuel gaz basıncından dolayı parçalanmış kaya, momentumları sıfırlanana kadar harekete devam eder, karışır ve yuvarlanır. Bu problem kayaç hareket problemi olarak isimlendirilir (Kuszmaul, 1987).

Bir patlayıcı sarjı patladığında, çok yüksek gaz basıncı açığa çıkarır ve bu gaz basıncı delik cidarlarına çarpar ve yoğun basınç, kayaç içerisinde dışa doğru yayılır. Patlatma ürünü olan gerilme çok hızlı bir şekilde kaya gerilme dayanımını gerçerek delik etrafındaki kayayı parçalar ve kırar ve plastik, toz haline gelmiş bir zon oluşturur. Bu zonun dışında plastik davranış elastik bir davranışa dönüşür ve kırıklı bir zon oluşturur. Teğetsel gerilme sonucu radyal çatlaklar oluşur. Bu radyal çatlak zonundaki teğetsel çekme gerilmesi kayacın çekme gerilmesini aşana kadar yayılmaya devam eder. Açığa çıkan radyal basınç dalgaları serbest bir yüzeye çarptığında geri yansır. Bu esnada kaya kütlesi serbest yüzeye doğru şişer (Şekil 2.12) (Britton ve diğ., 1984; Chernigovski, 1986; Kuszmaul, 1987; Fourny, 1993; Petrosyan, 1994; Jimeno ve diğ., 1995; Borowikov ve Vanyagin, 1995; Djardjevic, 1999).



Şekil 2.12: Kırılma mekanizması aşamaları (Jimeno ve Diğ.,1995).

Bununla birlikte yüzyıllardır çalışan araştırmacılar bu konu ile ilgili bir takım teoriler ileri sürmüşlerdir.

- 1.Kayaç içerisinde ilerleyen geniş gerilme genliğine sahip dalgalar süresince kırılma mekanizması, bu en eski teoridir.
- 2.Çok yüksek gaz basıncı süresince kırılma mekanizması, daha yeni bir teoridir.
- 3.İlk iki teorinin bileşiminden oluşan teoridir.

Basınç dalgaları ve bu dalgaların serbest yüzeyden yansıması sonucu oluşan çekme gerilmesi dalgası sonucu, önce delik etrafındaki kaya kırılır, daha sonra delik çapının dört katı kadar radyal çatlaklar oluşur. Daha sonra yüksek basınçlı gaz radyal çatlakların içerisine girerek çatlaklar oluşur. Daha sonra yüksek basınçlı gaz radyal çatlakların içerisine girerek çatlakları serbest yüzeye kadar ilerletir ve kayayı parçalar. Son onlarakta parçalanmış kayayı ötelere (Ash, 1968; Hagan ve Cameron, 1994; Britton ve diğ., 1984; Chernigovski, 1986; Kuzmaul, 1987; Fournay, 1993; Petrosyan, 1994; Jimeno ve diğ., 1995; Borowikov ve Vangayin, 1995; Djardijevic, 1999).

2.6.1. Patlatma İle Kaya Parçalanmasında Gerilme Dalgası Yayılması

Hino (1956) parçalanma olayında dinamik dalgalardan bahsetmiş ve kaya parçalanmasında gerilme dalgaları teorisini sunmuştur. Buna göre krater deneyi yapmış ve dilim kalınlığını,

$$B_t = \frac{L}{2} \left(\frac{\sigma_t}{\sigma_p} \right) \quad (2.75)$$

formülü sunulmuştur. Burada,

L = Çarpma boyu

σ_t = kayanın çekme dayanımı

σ_p = etkili dalga gerilmesi dir.

Buna bağlı olarakta dilim sayısını,

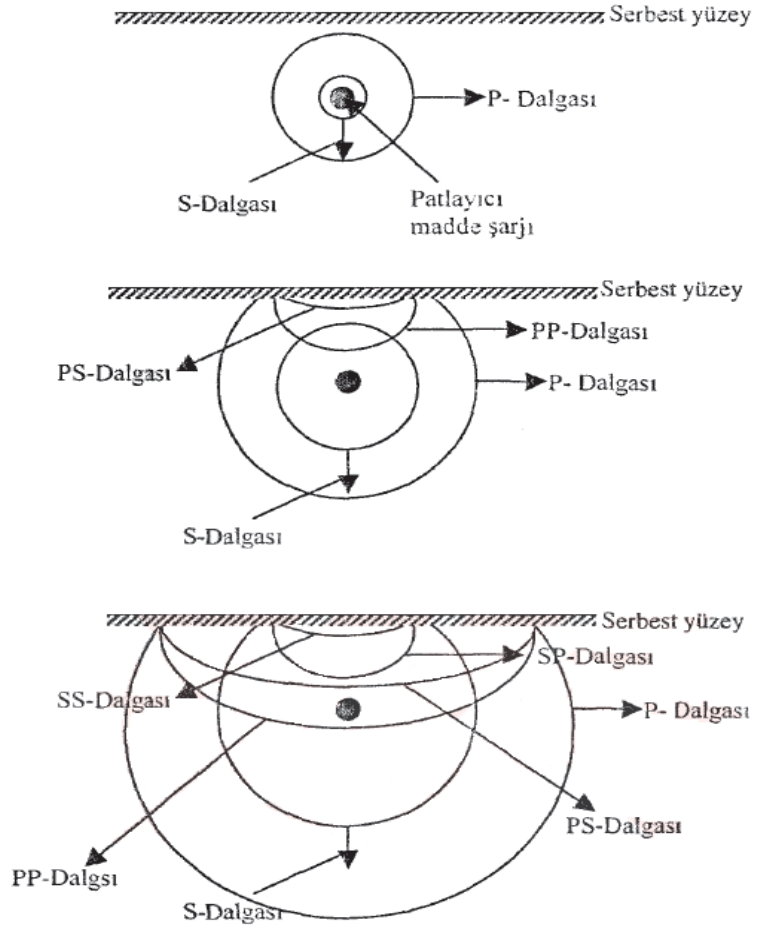
$$N = \frac{\sigma_t}{\sigma_p} \quad (2.76)$$

şeklinde sunmuştur. Şekil 2.20' de bir patlatma kaynağından yayılan gerilme dalgalarının bir serbest yüzeyle karşılaşması durumunda oluşan P ve S dalgalarının durumunu gösterir (Özer, 2001).

Duvall ve Atkinson (1957), dört tip farklı kaya için gerilme dalgası yayılmasını deneysel olarak araştırılmışlardır. Farklı kaya ve farklı patlayıcı kullanarak yaptıkları çalışmalarında aşağıdaki formülü elde etmişlerdir (Özer, 2001).

$$\text{Gerilme} = 31250^{(-1.5d)} \quad (2.77)$$

Burada, d = patlayıcı şarjından uzaklık' dır.



Şekil 2.13: P ve S dalgalarının serbest yüzey ile etkileşimi sonucu ürettikleri gerilme dalgaları (Fourney, 1993).

2.6.1.1. Patlatma Sonucu Oluşan Gerilme Dalgalarının Farklı Kayaç Ara Yüzeylerinde Kırılma Ve Yansıması

Patlatma sonucu açığa çıkan enerji, gerilme dalgaları olarak kaya kütlesi içerisindeki eklem ve kırıklara geldiğinde yansır ve kırılır. Yansıyan ve kırılan gerilme enerjileri, kayacın dinamik davranışını etkiler ve bunlardan etkilenirler, kırılan ve yansıyan dalgalardan dolayı kaya stabilitesi bozulur.

2.6.1.2. Gerilme Dalgası Yayılması

Bir elastik yapı üzerindeki gerilme dalgası, elastik yapıdan geçerken bazı deformasyonlara yol açar. Bu esnada iki tür dalga etkili olur.

- İlki, birincil dalgalar olarak adlandırılan P dalgalarıdır ki bunlar, boyuna dalgalar olarak göze çarpar (dilatational dalgalar).
- İkincisi, distortional dalgalar olarak adlandırılır ki bunlar, makaslama dalgası olarak tanımlanır ve S dalgası olarak ifade edilirler.

Bu birincil (P dalgası) dalgalar ve ikincil dalgalar (S dalgaları) taneciklerin ortam içerisindeki davranışlarını tanımlar. Taneciklerin hareketi birincil dalga yayılma yönündedir. İkincil dalga ise dalga yayılma yönünün normali doğrultusundadır. Her dalga tipi kendi karakteristik özellikleri ile hareket ederler. P - dalgaları C_p hızı ile, S dalgaları C_s hızı ile hareket ederler.

Burada C_p ve C_s aşağıdaki şekilde ifade edilir (Daehnke ve Rosmanith, 1997);

$$C_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (2.78)$$

$$C_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} \quad (2.79)$$

Burada;

λ = Lamé sabiti

E = Elastisite modülü

μ = Makaslama modülü

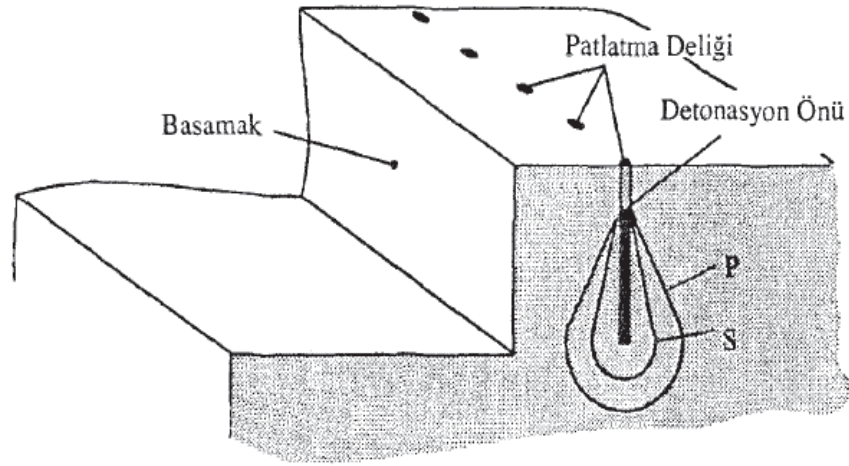
ν = Poisson oranı

ρ = Malzeme yoğunluğu

Genellikle kayalara ait dalga hızları saniyede birkaç yüz metredir. S dalgası hızı (C_s) daima P dalgası hızından küçüktür ve tipik olarak kayada ;

$C_p = 1,7 C_s$ dir.

Bir basamak patlatması incelendiğinde, kolon şarjının patlaması sonucu iki tür dalga yayılır (Şekil 2.14). Bu şekilde bir açık maden ocağındaki basamak patlatmasında (üretim patlatması), kolon sarjı etrafınca patlama sonucu, P ve S dalgalarının yayılması görülmektedir. Şekilde P ve S dalgaları yalnızca, kontolsüz izotropik ortam içerisinde yayılırlar. Serbest yüzeylerin varlığı veya ara yüzeylerin varlığı, yeni dalga tiplerini doğurur (Daehnke ve Rosmanith, 1977; Özer, 2001).



Şekil 2.14: Bir kolon sarjından dalganın yayılmasının şematik gösterimi (Daehnke ve Rosmanith, 1977).

Rayleigh dalgaları yüzey dalgaları olarak göze çarparlar, onlar serbest yüzey boyunca S dalgalarından daha düşük bir hızla yayılırlar. Rayleigh dalgasının genişliği, yüzeyden derinliği artması ile, hızla azalır ve bu dalgalar yayılmazlar ve bu dalgaların yapıları değişmez (Daehnke ve Rosmanith, 1977). Bu dalgalar yalnızca iki boyutta yayılırlar. Bunlar sismik çalışmalarda önemli rol oynarlar (Özer, 2001).

Delğe konulan ve sıkılaması yapılan patlayıcı maddenin parçalanma ve ötelenmeye kadar geçen zaman 4 aşamaya ayrılabilir;

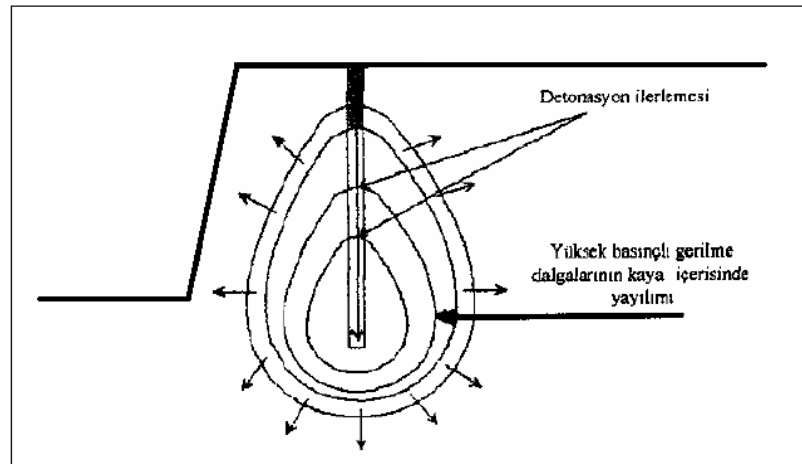
1. Detonasyon,
2. Şok ya da birim deformasyon dalgalarının yayılması,
3. Gaz basıncının yayılımı ve
4. Kütle taşınması.

Detonasyon: Detonasyon patlayıcı maddelerin yanma hızıdır. Kırılma işlemi detonasyonla başlar. Delik içerisindeki patlayıcı karışım, detonasyondan hemen sonra yüksek basınç ve sıcaklıktaki gazlara dönüşmektedir. Detonasyondaki sıcaklık aralığı yaklaşık olarak 1650 - 3875°C ve basınçlar ise 9 - 275 kbar arasındadır. Tablo 2.7’de bazı patlayıcıların detonasyon basınçları verilmiştir (Onargan ve diğ., 2003; Ünal, 2005; Çebi, 2007).

Tablo 2.7: Detonasyon, yoğunluk ve patlayıcı madde ilişkisi (Onargan ve diğ., 2003).

Patlayıcı Madde	Yoğunluk (gr/cm ³)	Detonasyon Hızı (m/s)	Detonasyon Basıncı	
			(kbar)	(psi)
ANFO	0,81	3657,6	27	3.969.000
Powermax 420	1,19	5791,2	100	1.470.000
Hi-Prime	1,40	6096	130	1.911.000
“G” Booster	1,60	7924,8	251	3.689.700

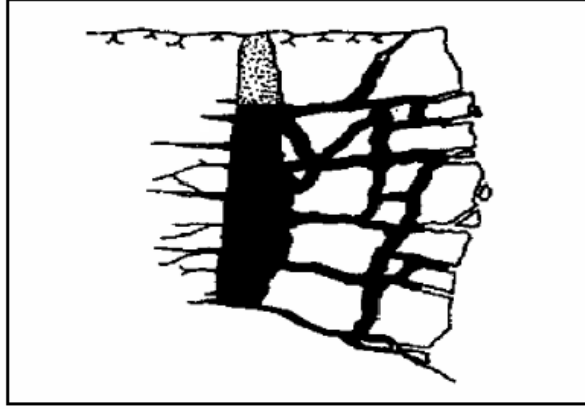
Birim Deformasyon ya da Şok Dalgalarının Yayılması: Detonasyonun hemen ardından şok ya da birim deformasyon dalgaları kaya kütlesi içerisinde yayılır. Ortaya çıkan yüksek basınçlı gazlar delik cidarına çarparak basınç dalgalarının oluşmasına neden olur. Bu durum Şekil 2.15’te gösterilmiştir.



Şekil 2.15: Detonasyonun ardından birim deformasyon dalgalarının yayılması (Kahriman, 2003).

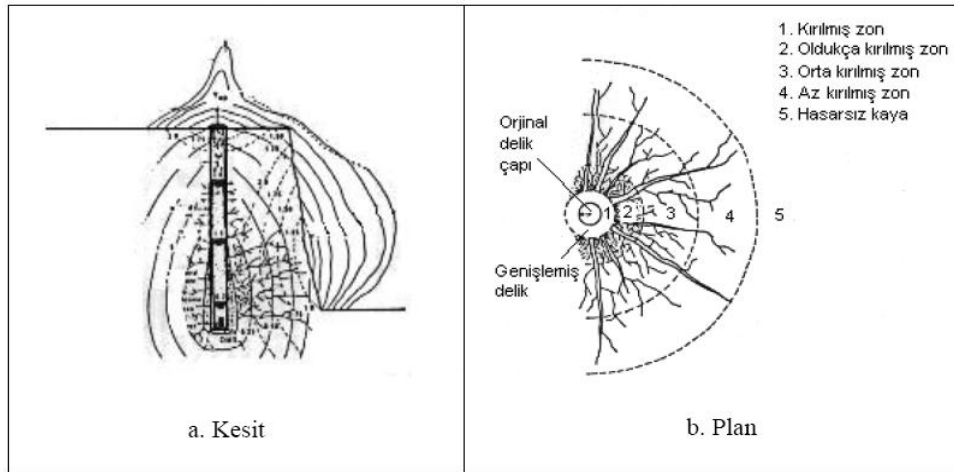
Patlayıcı madde ateşlendikten sonra delik cidarındaki basınç anlık olarak tepe değerine ulaşacak ve daha sonra doğrusal olmayacak şekilde bozulacaktır. Bu hızlı bozulma sonucu delik genişleyecek ve gaz soğuyacaktır. Delik cidarının genişlemesi malzemede çatlamlar ve/veya malzemenin yer değiştirmesine neden olmaktadır (Ünal, 2005).

Gaz basıncının yayılımı: Arazi gerilmeleri haline dönüşen yüksek sıcaklıktaki gazların basıncı süreksizlikler içerisine girerek radyal çatlakların ilerlemesine ve orijinal deliğin bozulmasına neden olmaktadır. Bu durum şekil 2.23’te verilmiştir (Ünal, 2005).



Şekil 2.16: Çatlak oluşumunun gaz basıncı ile olan ilişkisi (Olofsson 2002).

Bu yüksek gaz basınçları sayesinde parçalanmış malzeme yer değiştirmektedir. Gazlar, direncin en düşük olduğu yöne doğru (çatlaklar, eklemler, faylar, süreksizlikler, düşük kohezyonlu tabakalar) hareket edeceklerdir (Ünal, 2005). Eğer bu süreksizlikler yüzeye kadar devam ediyorsa gaz basıncı atmosfere çıkacak, basınç düşecek, malzemenin parçalanması ve kırılmış malzemenin yer değiştirmesi azalacaktır (Onargan ve diğ., 2003). Delik doldurulup ateşlendikten sonra basamak ve kaya ortamında oluşan parçalanma olayları kesit ve plan görünüş olarak şekil 2.17’de görülmektedir.

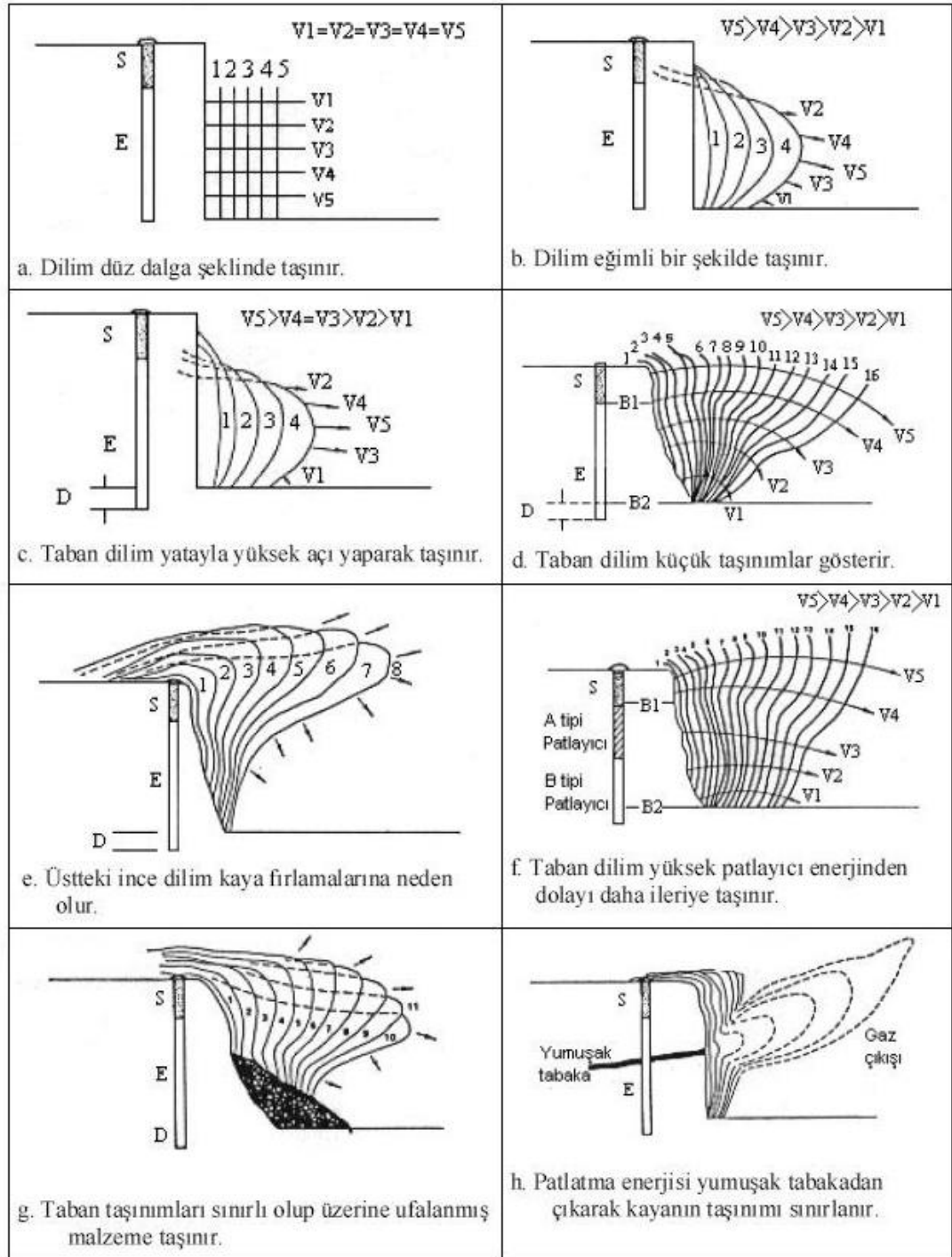


Şekil 2.17: Patlatma sonrası oluşan parçalanma mekanizması (Olofsson 2002).

Kütle taşınması: Malzemenin hareketi parçalanma işlemindeki son aşamadır. Temel parçalanma gaz basıncı ya da basınç ve çekme dalgaları sonucu oluşmaktadır. Parçalanmış malzeme etki hızına bağlı olarak basamak tabanına düşmektedir. Kütle taşınmasındaki en önemli faktör delik yükü, delik boyu ve delik önündeki malzeme

miktarı olmaktadır. Değişik durumlara göre malzeme taşınmaları Şekil 2.18’de gösterilmiştir (Anon, 1986; Onargan ve diğ., 2003).

Diğer faktörler sabit kalmak üzere, deliğin önündeki yük miktarının uzunluğu arttıkça yığının taşınma (kinetik enerji etkisi) uzaklığı azalır. Bu yük miktarı azaldıkça enerjinin etki edeceği miktarında azalması sonucu kırılma daha etkili, bununla birlikte taşınan yığınca daha çok ayrılmış olacaktır. Sonuçta parça fırlaması ve yere daha fazla yayılı yığın şeklinde olacaktır. Basamak yükü az olan ve özellikle basamak yüksekliği fazla olan aynalarda bu gibi durumlarda, patlama enerjisinin kolon şarj boyunca etkileyemeyerek enerjinin yoğunlaştığı yemleme ve yakın bölgelerde herhangi bir kırık çatlak zonundan ayna dışına kaçmasıyla, patlama enerjisinin kinetik vasıtasıyla taş fırlaması şeklinde kayıba sözkonusudur.



Şekil 2.18: Kütle taşınımları (Anon, 1986).

S: Sıkılama,

E: Patlayıcı,

D: Delik taban payı.

2.7. PATLATMA ENERJİ DENGESİ VE BÖLÜŞÜMÜ

Enerji patlayıcı tarafından serbest bırakıldığında, patlama kaynaklı enerji ürünleri tarafından oluşturulan kimyasal reaksiyon tamamlandığında, termodinamiğin birinci ilkesine göre çevreye ısı ve iş olarak dönüştürülür.

Bir patlayıcı şarjı patladığında, çok yüksek gaz basıncı açığa çıkarır ve bu gaz basıncı delik cidarlarına çarpar ve yoğun basınç, kayaç içerisinde dışa doğru yayılır. Patlatma ürünü olan gerilme çok hızlı bir şekilde kaya gerilme dayanımını geçerek delik etrafındaki kayayı parçalar ve kırar ve plastik, toz haline gelmiş bir zon oluşturur. Bu zonun dışında plastik davranış elastik bir davranışa dönüşür ve kırıklı bir zon oluşturur. Teğetsel gerilme sonucu uzun radyal çatlaklar oluşur. Bu radyal çatlak zonundaki teğetsel çekme gerilmesi kayacın çekme gerilmesini aşana kadar yayılmaya devam eder. Açığa çıkan radyal basınç dalgaları serbest bir yüzeye çarptığında geri yansır. Bu esnada kaya kütlesi serbest yüzeye doğru şişer (Spathis, 1999; Sanchidrian ve diğ., 2006).

Basınç dalgaları ve bu dalgaların serbest yüzeyden yansımalarıyla oluşan çekme gerilmesi dalgaları sonucu, önce delik etrafındaki kaya kırılır, daha sonra delik çapının dört katı kadar radyal çatlaklar oluşur. Daha sonra yüksek basınçlı gaz radyal çatlakların içerisine girerek çatlakları serbest yüzeye kadar ilerletir ve kayayı parçalar. Son olarak da parçalanmış kayayı öteler (Spathis,1999; Sanchidrian ve diğ., 2006).

Bu enerji bölümleri patlatma sonundaki etkilerine dayandırılmaktadır ve bir ölçüde kesin değildir. Örneğin, iş içinde kırılmanın olduğu bölüm, ilk aşamada çok yakın olduğundan delik içinde ve civarında şok dalgaları hareket eder, daha sonraki aşamalarda, kırıklar hızlıca açılır ve sonucunda kaya hareketi başlar. Bu parçalanma esnasında, her bir bileşenin ölçülebilmesi, uygun fiziksel büyüklükler ile ilişkilidir.

Patlatma enerjisinin bölüşümü patlatmanın sonuçlarından analiz edilebilir. Örneğin, kırılma enerjisi detonasyon başlangıcında delik cidarında şok dalgaları olarak yayılır. Bu şok dalgalarının frekanslarının ölçülmesiyle kırılma enerjisine ulaşılır. Sismik enerjiyi ise sismik dalgaların yardımıyla yer titreşimlerinin jeofonlar vasıtasıyla

kaydedilmesiyle hesaplanabilir. Kinetik enerji ise ayna hareketinin hızlı kameralar vasıtasıyla kaydedilerek, patlama süresince kırılan kayaçların kat ettiği yolun hızın ve sürenin belirlenmesiyle hesaplanır.

Böylece patlamanın enerji dengesi şu şekilde ifade edilebilir (Spathis, 1999) ;

$$E_T = E_S + E_K + E_F + E_{Nm} \quad (2.80)$$

Burada; E_T Patlatma sırasında açığa çıkan enerjiyi, E_F kaya kırılma enerjisini, E_S sismik enerjiyi, E_K kütle taşınmasını sağlayan kinetik enerjiyi, E_{Nm} ise ölçülemeyen yani ısı, ışık ve ses olarak atmosfere yayılan enerjiyi simgeler. Bu terimler, parçalanma, sismik ve kinetik verimlilik için kullanılır, bu enerjilerin belli oranlardaki toplamaları patlayıcı enerjisini oluşturur.

2.7.1. Sismik Enerji

Patlatma ile çevreye verilen olumsuzlukların en önemlisi yer sarsıntısıdır. Çünkü gerek taş savrulması ve gerekse hava şoku patlatma noktasına yakın bölgelerde etkin olabilirken, yer sarsıntısı çok uzaklarda da kendini hissettirebilmektedir. Yer sarsıntıları depremler ile benzer etkiler yaparlar (Karadoğan, 2008). Bu nedenle, enerji bölüşümünde sismik enerji olarak harcanan enerji miktarının belirlenmesi önemlidir. Bu da sarsıntı gibi çevresel sorunları minimize edebilmek bakımından patlatma tasarımı sırasında göz önünde bulundurulmalıdır.

Patlatma ile oluşan sarsıntılar taşıdıkları enerji düzeyi oranında hasara neden olurlar. Sarsıntıların enerji düzeyleri şu parametreler ile ölçülmeye çalışılır;

- Parçacık deplasmanı (mm)
- Parçacık hızı (mm/sn)
- Parçacık ivmesi (mm/sn²)
- Dalga frekansı (Hz)

Patlatmalı kazı çalışmasının yürütüldüğü sahanın jeolojisi ve jeoteknik özellikleri, yer sarsıntılarının oluşumu ve yayılımı üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Homojenlik arz eden masif bir kaya kütleğinde yapılan patlatma sonucu oluşan yer sarsıntıları bütün

yönlerde yayılırlarken, kompleks jeolojik yapılara sahip sahalarda yapılan patlatmalardan kaynaklanan yer sarsıntılarının yayılımı, yönle değişebilmekte ve farklı yayılım kuralları vermektedir (Dowding, 1985; Jimeno ve Diğ., 1995).

Patlatma gibi işlemler, daima sismik dalga veya titreşime yol açacaklardır. Bunun sebebi çok basittir. Patlatmadan veya benzer diğer işlemlerden amaç; kayadan parça koparmaktır. Kayanın elastiklik sınırını veya kayanın dayanma gücünü aşmak için büyük miktarda yeterli enerjiye gerek duyulur. Bu enerji sağlandığı zaman kaya parçalanır. Parçalanma sürdükçe enerji tükenir ve sonunda kayanın dayanma gücünden daha düşük seviyelere düşer ve parçalanma işlemi durur. Geri kalan enerji kayaya geçer ve onu deforme eder. Fakat kayanın elastiklik sınırını aşmadığı için parçalanmaya yol açamaz. Sadece elastik deformasyon oluşturur. Ancak bu enerji sonucunda sismik dalgalar meydana gelmekte ve içinden geçtikleri kaya ortamlarının madde ve kütle özelliklerine göre farklı yayılım karakteristikleri göstermektedirler.

Kaya kütlesi içinde patlatılan bir patlayıcı maddenin yarattığı sismik dalgalar; kaya ortamında bir noktadan bir noktaya ulaşan enerji transferini temsil etmektedir. İlk başta ortama yeni giren enerji, ortamdaki denge konumunu bozarak yer değiştirmeye neden olmaktadır. Eğer, ortam yeni gelen enerjiye elastik özellik göstermezse, enerji sönümlenmekte ve sadece titreşimi azalmış dalgalar yansımaktadır. Elastik özellik gösterdiğinde ise, bozulan ortamın sonucu olarak komşu ortamlar denge konumundan ayrılarak yay-ağırlık mekanizmasına benzer bir şekilde salınım meydana getirmektedir. Böylece bozulan ortamın her elemanı, salınım özelliklerini diğer elemanlara da geçirerek ortamda dalga hareketi oluşturmaktadır (Dowding, 1985).

Dalga hareketi sırasında toplu bir hareket söz konusu olmamaktadır. Ortamı oluşturan parçacıklar denge pozisyonlarında salınım ve dönme hareketi yapmakta dolayısıyla da ortam boyunca herhangi bir yer değiştirme olmamaktadır. Bu özellikleri taşıyan olayda iki hız bulunmaktadır. Birincisi bozulan ortamın yoğunluğuna bağlı olarak dalga veya faz hızı, ikincisi ise dalga enerjisini etkileyerek denge durumunun bozulması ile parçacığın küçük salınımları olarak tanımlanan parçacık hızı olmaktadır. Parçacık hızı her zaman dalga hızından daha küçük olmakta ve patlatmadan kaynaklanan titreşimlerin analizinde, dalga hızına göre daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Boyuna dalgalar, yayıldıkları doğrultuyla aynı yönde parçacık hareketi meydana getirmektedir. Diğer taraftan makaslama dalgaları yayılım yönüne dik yönde hareket oluşturmaktadır. Parçacık hareketi tam olarak üç bileşeni (boyuna (L), enine (T) ve düşey (V)) ile tanımlanmaktadır (Dowding, 1985; Adıgüzel, 2006; Karadoğan, 2008). Patlatma kaynaklı titreşimleri oluşturan enerjinin hesaplanabilmesi için aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır (Hinzen, 1998; Catusus, 2004; Sanchidrian ve diğ., 2007).

$$E_s = 4\pi r^2 \rho C_L \int_0^\infty v^2 dt \quad (2.81)$$

$$C_L = ((\lambda + 2\mu)/\rho)^{1/2} \quad (2.82)$$

Burada, C_L : P dalgası hızı, r : patlatma noktası ve ölçüm noktası arası mesafe, ρ :yoğunluk, v : bileşke parçacık hızı, λ ve μ lame sabitleridir.

2.7.2. Kinetik Enerji

Patlayıcı maddeler kaya kütlelerini kırmak amacı ile kullanıldığında temel olarak öncelikli, ses üstü hızda gelişen kimyasal reaksiyonun yarattığı şok enerjisi etkin olur. İkincil olarak da, reaksiyon sonucu oluşan gaz ürünlerin çok büyük basınçlar ile çatlaklara doluşması parçalama işlemini tamamlar ve parçalanmış kütleyi gevşetir ve öteler.

Malzemenin hareketi parçalanma işlemindeki son aşamadır. Temel parçalanma gaz basıncı ya da basınç ve çekme dalgaları sonucu oluşmaktadır. Parçalanmış malzeme etki hızına bağlı olarak basamak tabanına düşmektedir. Kütle taşınmasındaki en önemli faktör patlayıcının kinetik enerjisinin, seçilmiş olan dilim kalınlığı, delik boyu ve basamak yüksekliği ile uyumlu olarak belirlenmesidir (Catusus, 2004; Sanchidrian ve diğ., 2007; Çebi, 2007). Patlatmada kütle ötelenmesini sağlayan kinetik enerji aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$E_K = \frac{1}{2} S B \int_0^H \rho V_0^2 dy \quad (2.83)$$

Burada;

Ek: kinetik enerji,

S: delikler arası mesafe,

B: dilim kalınlığı,

H: basamak yüksekliği,

ρ : yoğunluk,

V_0 : ilk hızdır.

2.7.2.1. Kayaç Parçalarının Aerodinamiği

Patlatma esnasındaki kaya hareketinin açıklanmasında, kolon şarjının uzunluğu, kırılan kayanın kütlesi, basamak yüksekliği ve yatayla yapılan eğim açısı arasında çok yüksek bir korelasyon vardır.

Kolon şarjlarının boyları kaya kütlesinin taşınmasında çok önemlidir, eğer kolon şarj boyları basamak yüksekliğine göre nispeten daha kısa yada uzun olursa verim düşer. Patlatma sonunda kütle taşınması, patlatma deliklerine paralel bir şekilde bir sınır meydana getirerek, olası bir süreksizlik çizgisi ile ayna arasındaki küttele meydana gelir. Patlama sırasında genişleyen gaz odası, aynaya paralel, yuvarlak kenarlı ve ince boru şeklinde bir boşluk ve bununla birlikte harekete başlayan bir kütle yapısı meydana getirir (Şekil 2.28 -a). Sonuç olarak, patlatılmış yığının neredeyse tüm noktasında, şarj sonları gibi bazı önemsiz noktalar hariç, tüm yığının taşınma hızı ve ötelenme doğrultusu eşit orandadır. Burada bunun kabul edilebilir kalması için, bütün patlatma süresi boyunca kayanın tüm dış hattının, başlangıç pozisyonuna paralel bir şekilde kalarak hareketini koruması gerekmektedir.

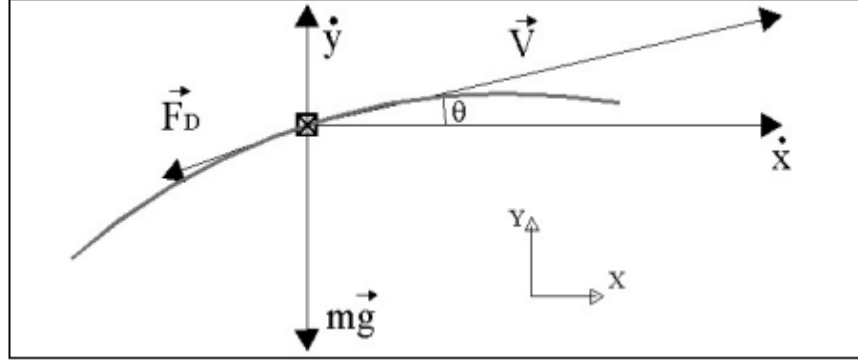
Görsel incelemeler, teorik analizler ve video kayıt çalışmalarıyla, patlatma prosesi süresince uygulanan kolon şarjı sistemi izlenmektedir, patlatma esnasında ayna yüzeyi düzleme paralel bir şekildedir. Serbest yüzeyi tekrar elde etmek için, aşağıdaki koşulları yerine getirmek gereklidir (Chernigovski, 1986) :

$$\xi = \frac{L}{q \cdot u \cdot W} \geq 4 \quad (2.84)$$

$$\chi = \frac{B}{q \cdot u \cdot W} \geq 4 \quad (2.85)$$

Burada; L ve B sırasıyla kolon şarjının boyu ve enidir, q: spesifik patlayıcı tüketimi, u: patlamadan sonra oluşan ürünlerin spesifik hacimlerinin atmosferik basınç altındaki adyabatik genişlemesi, W: patlatılmış kaya tabakasının kalınlığı, ξ ve χ sırasıyla relatif

(izafi) uzunluk ve genişliktir. Bu şartlar altında, düzleme paralel olarak gerçekleşen patlatmaya karşılık, ateşleme derinliği $W > 4m$ ve spesifik patlayıcı tüketimi $q < 6 \text{ kg/m}^3$ tür.



Şekil 2.19: Atış hareketinde bir parçacığa etki eden kuvvetler.

$$V_o^2 = V_{ox}^2 + V_{oy}^2 \quad (2.86)$$

$$V_o = V_{oy} * \sin\theta \quad (2.87)$$

$$V_o = V_{ox} * \cos\theta \quad (2.88)$$

Herhangi bir h yüksekliğinde parçacığın y yönündeki hızı aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$h_x = V_{oy}(t) - \frac{1}{2} g(t)^2 \quad (2.89)$$

2.7.3. Kırılma Enerjisi

Kayaya uygulanan ve onun dayanımını ve elastik sınırlarını aşan bir enerji durumunda, kaya parçalanmakta ve bu enerji devam eden parçalanma sonucu giderek tüketilmekte, enerji seviyesinin kayanın dayanımının altına düşmesi ile kırılma olayı sona ermektedir (Kuzu, 2010).

Yeni kırılma yüzeyleri oluşturmak için belli bir miktar enerji gereklidir. Birim yüzey başına düşen özgül kırılma enerjisini belirlemek gerekir. Kırılma enerjisi şu şekilde hesaplanır (Catusus, 2004; Lopez , 2006; Sanchidrian ve diğ., 2007).

$$E_F = A_F \cdot \gamma_F \quad (2.90)$$

$$\gamma_F = \frac{K_{IC}^2}{2 \cdot \rho \cdot v_p^2} \quad (2.91)$$

Burada (A_F) Patlatma sonucunda ortaya çıkan parçaların yüzey alanı, (γ_F) ise özgül kırılma enerjisidir. K_{IC} : tokluk dayanım, v_p ise P dalgası hızı, ρ : yoğunluk dur. Deney amaçlı kırılma testleri kontrolünde; mekanik parçalanma yoluyla girdisi, Rittinger Katsayısı (Kırıcı Verimliliği, birim yüzey alanı başına enerji girdisi) ya da malzeme özelliklerinden elde edilen kaya kırılma sertliği ve elastik modül göz önüne alınarak hesaplanır. Birinci yöntem, kırılma sertliği testlerinden elde edilen sadece bir kırık referans alınarak kaya içerisindeki milyonlarca kırıkları temsil eder. Patlatmadaki parçalanma verimliliğinin tahmini için, Rittinger katsayısının tersine özgül kırılma enerjisi kullanılır.

Kırılmadaki yüzey alanı pasa yığını boyut dağılımı, küresel yada kübik varsayılarak çap ve kenar uzunlukları (x) bulunarak tahmin edilir.

$$A = 6V \int_0^\alpha \frac{f(x)}{x} dx, \quad (2.92)$$

Burada V parçalanmış kaya hacmi $f(x)$ ise birim hacimdeki parçanın boyut dağılım yoğunluğudur. Sürekli artan bir versiyon olan (2.93) nolu denklem, parça boyut eğrisindeki süreksizlik formlarının kendi sınıfı içindeki hacim oranları P_k ile gruplandırılır.

$$Pk = \int_{x_k^I}^{x_k^S} f(x) \cdot dx = P(x_k^S) - P(x_k^I) \quad (2.93)$$

Burada x_k^S ve x_k^I K sınıfındaki mesh boyut limitleri ($x_k^S = x_{k+1}^I$) ve $P(x)$ ise parçaların kümülatif boyut dağılımıdır. Denklem (2.94)'te her sınıf için integrallerin toplamı yazılabilir.

$$A = 6V \sum_{k=1}^C \int_{x_k^I}^{x_k^S} \frac{f(x)}{x} dx \quad (2.94)$$

Burada c sınıfların sayısıdır. $f(x)$ fonksiyonu her sınıf için integraller kullanılarak bulunur (Denklem 2.94). İntegral hesabı yapılarak her sınıf için ortalama f_k değeri hesaplanır (Denklem 2.95).

$$f_k = \frac{Pk}{(x_k^S - x_k^I)} \quad (2.95)$$

(2.96) numaralı denklemdeki integraller içinde kullanılan yaklaşık f_k değerleri ile A hesaplanabilir.

$$A = 6V \sum_{k=1}^C \int_{x_k^I}^{x_k^S} \frac{fk}{x} dx = 6V \sum_{k=1}^C \frac{Pk}{(x_k^S - x_k^I)} \int_{x_k^I}^{x_k^S} \frac{dx}{x}$$

$$= 6V \sum_{k=1}^C \frac{Pk}{(x_k^S - x_k^I)} \ln \frac{x_k^S}{x_k^I}, \quad (2.96)$$

ya da,

$$A = 6V \sum_{k=1}^C \frac{P_k}{X_k} \quad (2.97)$$

Tokluk dayanımı ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilmektedir.

$$K_{IC} = 2 \times \sqrt{\frac{D}{2a}} \times \left(\frac{P_V}{2 \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \times \frac{1 - \mu \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{1 + \mu \cot\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \right) \times \left(\frac{a}{0.355715(D-a)^{3/2}} + \frac{1}{0.966528(D-a)^{1/2}} \right) \times \frac{1}{t} \quad (2.98)$$

Burada;

K_{IC} : Tokluk dayanımı (MPa*m^{1/2})

P_V : Kırılma yükü (N)

α : Kama açısı (°)

μ : Sürtünme katsayısı (tan ϕ)

a : Çentik boyu (m)

D : Numune çapı (m)

t : Disk kalınlığı (m)

2.8. PATLATMA SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Patlatmanın verimi çeşitli yollarla değerlendirilebilir. Madencilikte ise bu verim, patlatmanın cevherde veya dekapaj malzemesinde yapılmasına bağlıdır. Cevherdeki patlatma, boyut küçültme işleminin ilk adımı olup cevherin çıkarılması ve cevher hazırlama tesisine (yükleme, nakliye, kırma ve öğütme üniteleri dahil) uygun parça boyutunda üretim yapmayı hedefler.

Cevherleşmenin olmadığı zonda istenen boyut dağılımı ise yükleme ve döküm için gerekli olan boyuttur, buda kullanılan yükleyici makine ve nakliye vasıtalarının özellik ve kapasitelerine bağlıdır. Genellikle patlatma verimini ölçen yöntemler, patlatma

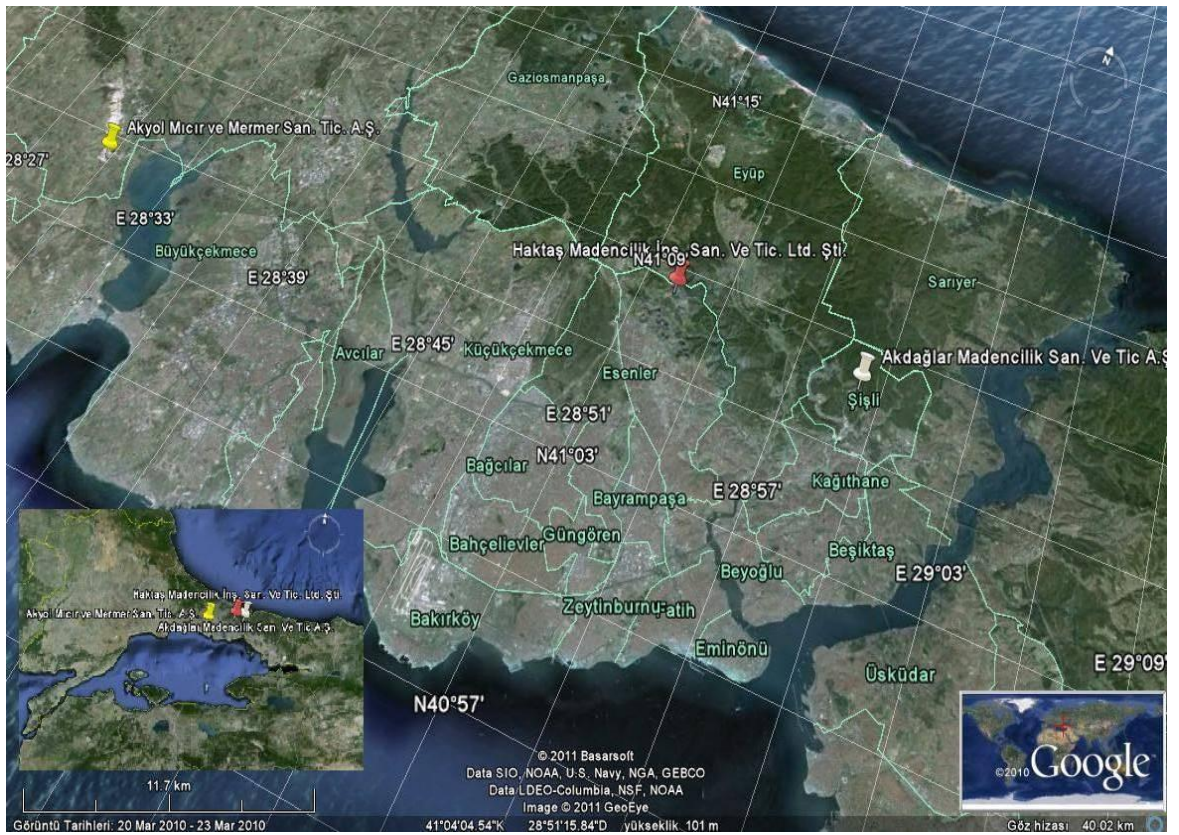
sonucu oluşan parçalanma derecesinin değerlendirilmesi üzerine kurulmuştur. Blok boyutlarını tahmin etmenin en kolay yolu olan görsel yöntemlerde, ya yığındaki önceden tanımlanan boyutların sahip olduğu blok sayısı belirlenir, ya da blok boyutu bilinen standardize edilmiş fotoğraf grubu ile blok boyutları kıyaslanır. Bu metotların ikisi de sübjektiftir. Bununla beraber patlatma sonucu elde edilen yığının yerinden kaldırılmasının izlenmesine dayanan diğer yöntemler de mevcuttur. Bu genellikle çeşitli verimlilik parametrelerinin ölçülmesiyle ve kullanılan makinelerin motor performanslarının izlenmesi ile yapılır. Patlatmanın başarısını gösteren bazı özellikler kısaca şöyle sıralanabilir;

- Kaya savrulması fazla ise
- İstenmeyen boyutta blok çıkıyor ise,
- Yer sarsıntısı fazla ise,
- Hava şoku fazla ise,
- Tabanda ırmak kalıyor ise,
- Geri tarafla aşırı çatlak ve kırık oluşuyor ise,
- Yığın düzensiz ve dağınık ise,
- Makinelerin performansı düşük ise,

patlatma işleminin başarılı olmadığı söylenebilir. Patlatma yapıldıktan sonra elde edilen sonuçların incelenmesi ve elde edilen sonuçlara göre gerekiyorsa bazı parametrelerde değişiklik yaparak iyileştirme yapılması mümkündür (Esen ve diğ., 2000).

3. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışma yapılacak sahalar Çatalca Bölgesi Akyol taşocağı, Cebeci Bölgesi Haktaş taşocağı, Cendere Bölgesi Akdağlar taşocağı olarak belirlenmiştir. Bahsedilen ocakların yer bulduru haritaları Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1: Çalışma sahaları yer bulduru haritası

3.1. AKYOL TAŞOCAĞI

1994 yılından beri faaliyette bulunan Akyol Mıncır ve Mermer San. Tic. A.Ş.’nin kireçtaşı ocağı, Marmara Bölgesinin Trakya kesiminde İstanbul ili sınırları içerisinde bulunan Çatalca ilçesinin Muratbey Beldesinin hemen güneyinde yer almaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Akyol Taşocağı yer bulduru haritası

3.1.1. Genel Jeoloji

İnceleme alanında temeli teşkil eden birim şistlerdir. Şistlerin üzerinde Kırklareli formasyonuna ait kireçtaşı ve marn düzeyleri bulunmaktadır. İnceleme alanında en üstte Gürpınar formasyonuna ait kömür bantları içeren kil, kumlu kil ve çok zayıf dayanımlı kumtaşı ve kilaşı ardalanması bulunmaktadır (Şekil 4).

Ocağın güney batısında şistler faylanmadan dolayı değişik kotlarda yüzeylenmektedir. Ayrıca şist düzeyleri ocağın kuzey batı kenarında da bulunmaktadır. Ocakta ana litoloji yaklaşık 100 m kalınlıktaki kireçtaşlarıdır. Ocağın batı kenarında 3-4 m kalınlıkta Gürpınar formasyonuna ait mostralalar varken, bu düzeyler ocaktan 25 m uzaklıkta bir alanda 54 metreden daha kalın bir istif sunmaktadır. Bu istif saha gözlemlerine göre tahmin edilemeyen bir özelliktir (Dalgıç ve Özer, 2009).

3.1.2. Stratigrafik Jeoloji

3.1.2.1. Mahya Şisti

Mahya şisti başlıca, külrengi-koyu külrengi, mavimsi, biyotit ve beyaz mikalı fillat ile yeşilimsi külrengi klorit-şistlerden oluşur; değişik düzeylerinde kristalize kireçtaşı, kalkşist ve koyu karakülrengi renkli lilit arakatkılıdır. Çatalca-Muratbey köyü hattının güneybatısında ve Akalan-Çanakkale-Okul köyleri arasında yüzlemeleri vardır. Altta, Şermat Kuvarsiti ile dereceli geçişli olduğu belirtilmektedir. Triyas yaşta olduğu varsayılan birim, Eosen ve daha genç Tersiyer yaşlı birimler tarafından aşıl uyumsuzlukla üstlenir (Örgün ve diğ. 2003).

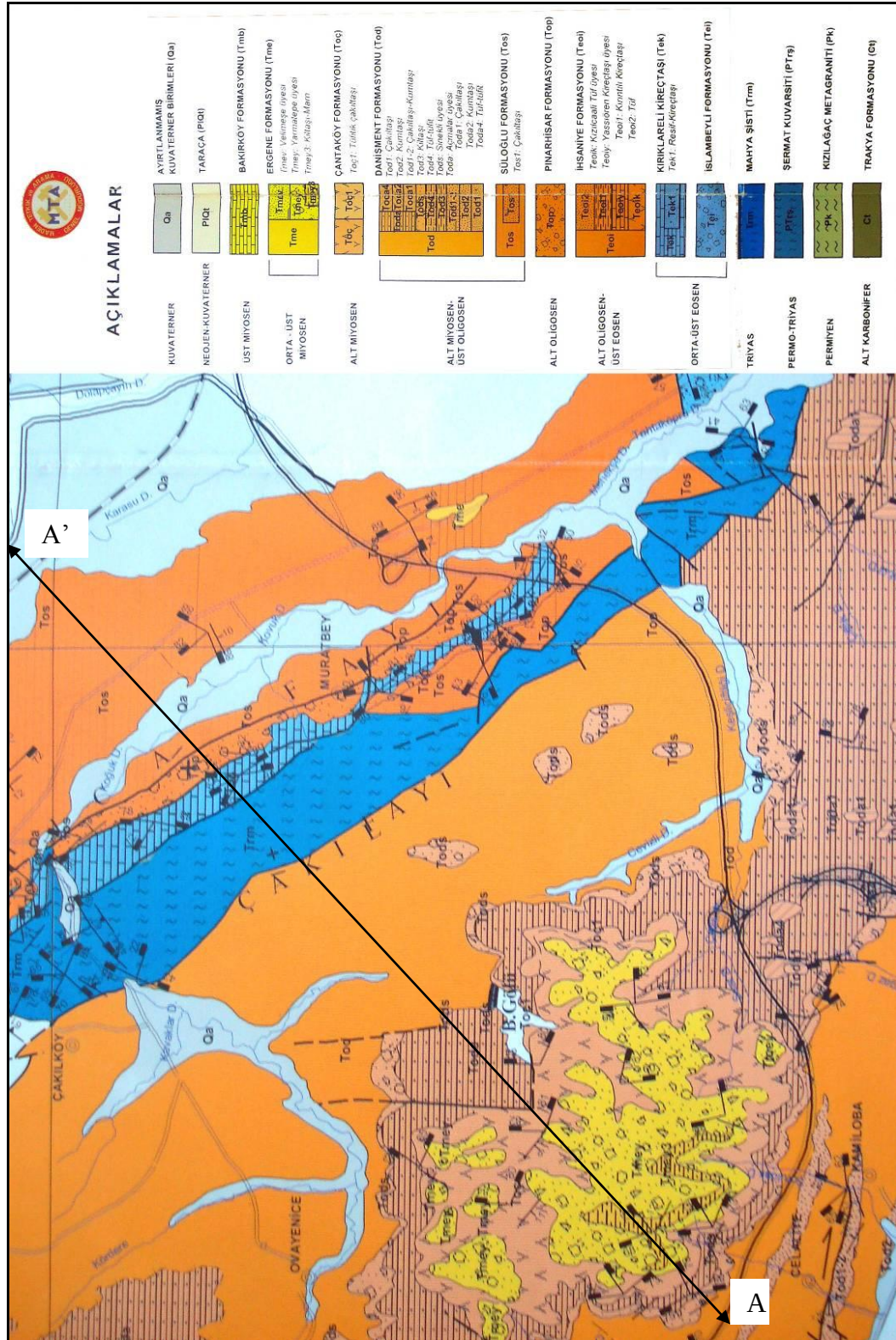
3.1.2.2. Kırklareli Kireçtaşı

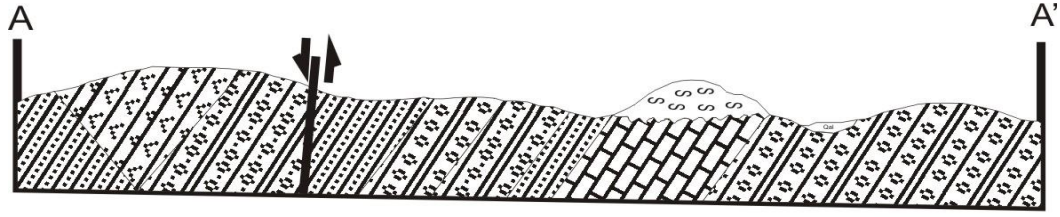
Kırklareli Kireçtaşı, resif ortamının çeşitli fasiyeslerini temsil eden karbonatlardan oluşur. Çatalca ilçesi ile güneyindeki Muratbey köyü arasında taş ocaklarının bulunduğu alanda Bahçeşehir'in doğusunda Karanlık dere vadisinde, Çatalca masifinin doğu yamacında ve Çatalca'nın doğusunda Altınşehir-Kayabaşı-Şamlar arasında dar kuşaklar boyunca yer yer temiz yüzeylemeleri görülür. Kırklareli Kireçtaşı, başlıca resif çekirdeği, resif önü ve resif gerisi gibi resif ortamının çeşitli fasiyeslerini temsil eden istifleri kapsar. Kireçtaşı kirli beyaz, açık krem, boz, orta-kalın çok kalın katmanlı, bol makrofosil ve bentonik foraminiferli kireçtaşından oluşur. Kovuklu ve gözenekli dokuya sahiptir, yer yer dolomitleşme gösterir. İrili ufaklı paleokarstik erime boşlukları yaygındır. Bol algli, mercanlı bağlamtaşı ve tanetaşı türünden kireçtaşı egemendir.

3.1.2.3. Gürpınar Formasyonu

Başlıca, gevşek tuturulmuş kumtaşı ve miltaşı arakatkılı kilitaşı-şeyil türü ince kırıntılılardan oluşur; ince linyit ve tuf-tüfit ara düzeylerini kapsar. Terkos, Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri arasında ve Gürpınar yerleşim alanı dolayında çoğunlukla vadi tabanı ve yamaçlarında açığa çıkar. Başlıca ince kum-mil arakatkılı kilitaşları, Gürpınar Formasyonu'nun egemen kaya türünü oluşturur; seyrek olarak çakıl-çakılcık merceklerini kapsar. Kilitaşı, taze iken yeşilimsi-koyu külrengi, ayrıışmış boz, açık külrengi, ince-orta katmanlı ve laminealidir; katmanlanmaya koşut dizilmiş kireçli konkresyon ve kil topaklarını kapsar. Kumtaşı ara katmanları kalınlığı 20 cm'yi geçmeyen ara düzeyler oluşturur. Genellikle küçük boyutlu, ince kavkılı, beyaz renkli lamellibrans ve gastropod kavkı yığınlarını kapsayan, 5-10 cm kalınlıkta makrofosilli

ara düzeyler ve seyrek olarak Congeria'lı beyaz kireçtaşı arakatmanlarını kapsar (Örgün ve diğ. 2003).





A-A' Boyunca Alınan Jeolojik Enine Kesit

Şekil 3.4: İnceleme alanı jeolojik kesiti

YAS	FORMASYON	KALINLIK	SEMBOL	İSTİF	LİTOLOJİ VE AÇIKLAMALAR
KUVATERN		0-25m.	QaQy		Yamaç molozu: Kötü boylanmış, köşeli çakıl, blok Alüvyon: Kum, kil, silt, çakıl
OLİGOSEN - MİYOSEN	Pınarhisar FM. DANIŞM. FM.	20-150m.	Td		Kömür seviyeleri içeren kilitaşı, miltası, kumtaşı
		50-700m	Ts		Şeyl, kumtaşı, kilitaşı, miltası
		5-80	Tp		Kumtaşı, çakıllı kumtaşı, çakıltaşı, konjeryalı kireçtaşı, kili kireçtaşı
		15-60m	Ti		Karbonat pimentolu kumtaşı - çakıltaşı, kili - kumlu kireçtaşı - marn. Yer yer tuf ara seviyeli.
		40-150m.	Tk		Kireçtaşı, kumlu, mikro ve makro fosilli, algli kireçtaşı Resifal kireçtaşı
PALEOZOYİK - MESOZOYİK	ISTRANCA GRUBU	>2000m	PzMzık		Kuvarsit
			PzMzım		Metapelit - metabazit ardalanması, yer yer mermer mercekli.
			PzMzıfş		Metapelitik fillat - şist

Şekil 3.5: İnceleme alanının genelleştirilmiş sütun kesiti (Örgün ve Diğ. 2003).

Özellikle, Karadeniz'in Karaburun-Kilyos arasında kalan kıyı şeridinde yaygın olan, kömürlü düzeyleri kapsamıyla karakteristik olan kil-kum-çakıl- birimi, yaş ve fasiyes birlikteliğinden dolayı Gürpınar Formasyonu içinde düşünülmekte olup kömür arakatkılı yeşilimsi-külrengi kil düzeyleri ile sarımsı-boz, kirli beyaz-açık külrengi, orta zayıf boylanmalı, yuvarlanmış-yarı yuvarlanmış kum-çakıl düzeylerini kapsamaktadır. Kömürlü (linyit) düzeylerin killi düzeyler içinde, kalınlığı birkaç mm'den onlarca cm'ye değin değişen kömürlü ince arakatkılar görülür (Örgün ve diğ. 2003).

3.2. HAKTAŞ TAŞOCAĞI

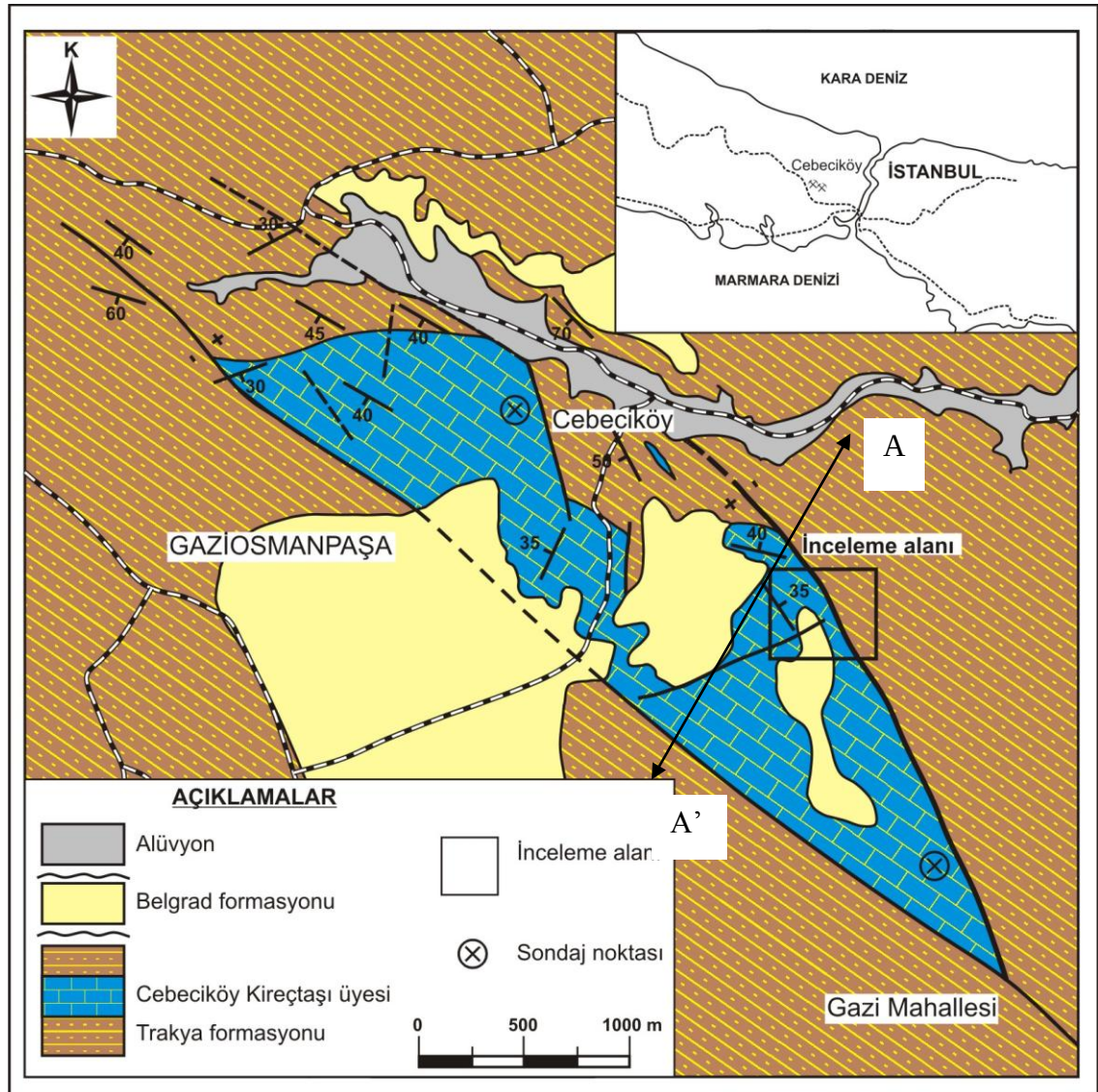
Cebeciköy kireçtaşı üyesi İstanbul'un kuzeybatısında yayılım sunmakta olup, kalite ve rezerv yönünden İstanbul'un önemli bir kırmataş agrega kaynağıdır. Çalışmada cebeci yöresinde bulunan Haktaş İnşaat Mıdır A.Ş.'ne ait Haktaş taşocağı incelenecektir. Bahsedilen ocaklara ait yerbulduru haritası Şekil 3.6'da verilmiştir.



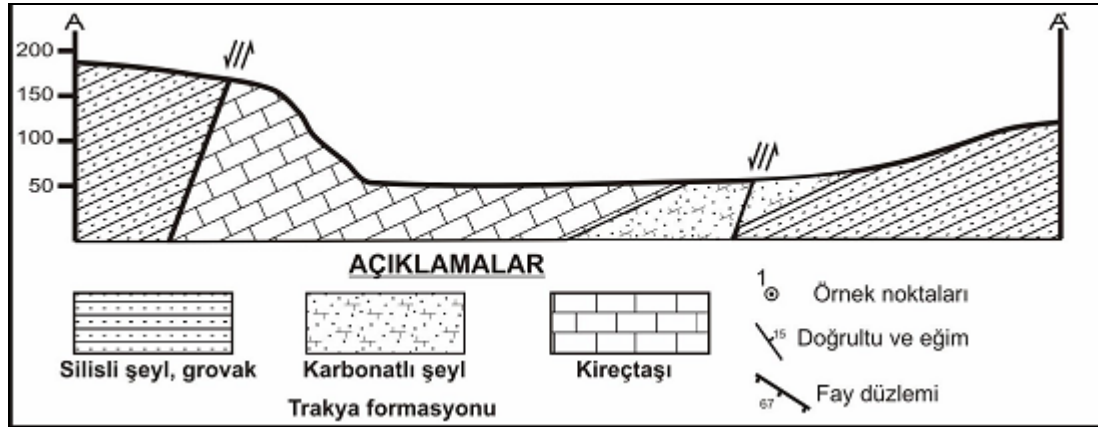
Şekil 3.6: Haktaş Taşocağı yerbulduru haritası.

3.2.1. Genel Jeoloji

İnceleme alanı batısında yer alan ocakta, altta silisli kumtaşı ve şeyllerle başlayan istif giderek organik maddece zengin karbonatlı şeyllerle ve oradan da kireçtaşlarına geçmektedir (Şekil 3.7). Yer yer yeşil renkli şeyl düzeylerine de rastlanan istif K50B-K65B doğrultulu fay düzlemleriyle kesilmiştir. Ocak güneyden K50B doğrultulu bir fay düzlemiyle sınırlanmıştır. Fay düzleminin güneyinde Trakya formasyonunun grovak ve şeylleri yüzeylemektedir. Bu ocakta işletme sınır koşulları güneyden fay düzlemiyle, kuzeyden ise kireçtaşlarından karbonatlı şeyllere geçişle sınırlanmıştır. Karbonatlı şeyller çok ince tabakalı yer yer laminalı olmaları, yüksek miktarda organik madde içermeleri ve düşük dayanımları nedeniyle tercih edilmemektedir. İnceleme alanı jeolojik kesiti Şekil 3.8’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7: İnceleme alanının genel jeoloji haritası (Gözübol ve Aysal, 2009).



Şekil 3.8: İnceleme alanı jeolojik kesiti

3.2.1. Stratigrafik Jeoloji

3.2.1.1. Trakya formasyonu

İstanbul Boğazı'nın batı yakasında çoğunlukla Trakya formasyonu izlenir. İnceleme alanında da ağırlıklı olarak İstanbul Paleozoyik istifine ait Trakya formasyonu yayılım sunmaktadır. Trakya formasyonu İstanbul Paleozoyik istifinin üst seviyelerini oluşturmaktadır ve Karbonifer yaşlıdır (Kaya, 1971). Formasyon ayrışma zonunda ağırlıklı olarak kahverengi gri, yeşilimsi kahve renkli ince tabakalı ve laminalı şeyllerden oluşmaktadır. Birim içerisinde grovak ve şeyllerin yanı sıra kumtaşı, çakıltaşı ve yer yer de kireçtaşı ara seviyeleri izlenmektedir ve birimin 2000 m'den daha kalın olduğu düşünülmektedir (Kaya, 1971). İnceleme alanında birim Belgrad formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir. Trakya formasyonu yanal ve düşey yönlerde değişim gösteren kalın şeyl, grovak ve litik konglomera ardışıklı istiftten yapılı olup hakim olarak fliş fasiyesindedir. Karadan türeme materyalin ve karbonatların dağılımına göre Trakya formasyonu başlıca üç üyeden oluşur, bu üyelerden sadece Cebeciköy kireçtaşı üyesi haritalama esnasında ayırtlanmıştır. Kumtaşlarının üye düzeyinde ayırtılması yapılmamıştır.

3.2.1.2. Küçükköy Kumtaşı Üyesi

Trakya formasyonunun büyük kısmını meydana getiren şeyl ve grovaklar Küçükköy kumtaşı üyesi olarak ayırtlanmıştır. Trakya formasyonu içinde, yüksek kumtaşı oranıyla ayırt edilen Küçükköy kumtaşı üyesi devamlı kumtaşı-şeyl ardalanması ve masif kumtaşı tabakalarıyla ayrılır. Altta türbidit kumtaşı istifiyle başlar; çökeltme alanında dereceli gelişen bir türbidit fasiyesi yansıtır. Orta kesime ait kireçtaşlarının ilksel mikrit

ve biomikrit bileşimi, bol Radiolaria kapsamı batimetrik değişim ve türbidit çökelimde duraklamaları yansıtır (Kaya, 1971).

3.2.1.3. *Çamurluhan Şeyl Üyesi*

Altın ve kısmen yandan Küçükköy kumtaşı üyesi, üstten Cebeciköy kireçtaşı ile sınırlanmış, başlıca şeylden yapıları stratigrafi seviyesi Çamurluhan üyesi olarak ayırt edilmiştir. Tipik kesit, Cebeciköy güneyinde yer alır başlıca şeyl, az miktarda grovak, litik konglomera-kuvars konglomera ve yerel kireçtaşı kapsar. Kuzeye doğru kumlu ve çakıllı fasiyeslere geçiş gösterir (Kaya, 1971).

3.2.1.4. *Cebeciköy kireçtaşı üyesi*

Trakya formasyonu içerisindeki Cebeciköy kireçtaşları gri-siyah, sert ve kırılması zor, kalın-masif tabakalı yaygın sparit damarlıdır. Cebeciköy civarındaki kireçtaşı mostralari yaklaşık 1 km genişliğinde, 3,5 km uzunluğunda KB-GD uzanımındadır. Başlıca kireçtaşı ile az miktarda killi kireçtaşı, karbonatlı şeyl, ikincil dolomit ve enderolarak çörtlerden oluşmaktadır. İlk olarak Baykal ve Kaya (1963) formasyon bazında ve Trakya formasyonunun üzerinde tanımlamıştır. Ancak Kaya (1971) tarafından Trakya formasyonunun bir üyesi olarak kabul edilmiştir. Cebeciköy kireçtaşı üyesi özellikle foraminifer, mercan, ve brakiyopod bakımından zengindir (Kaya ve Lys, 1982). İnceleme alanında su sondajı amacıyla açılmış olan iki kuyuda birimin kalınlığının yaklaşık 350-400 m olduğu belirlenmiştir.

3.2.1.5. *Belgrad formasyonu*

Trakya formasyonu üzerine uyumsuz olarak yerleşmiş olan Neojen yaşlı kırıntılı çökeller, tipik özellikleri ile Belgrad formasyonu olarak haritalanmıştır. İnce bir örtü şeklinde Paleozoyik birimleri üzerinde diskordan olarak yer alır. Maksimum kalınlığı 20 m kadardır. Kil ara seviyeli kum ve çakıllar ile tabanda yer yer çapraz tabakalı kumtaşlarından oluşur. Birim içerisinde yer yer 20 cm'ye kadar değişen boyutlarda çeşitli kayaç blok ve çakılları bulunmaktadır (Şekil 3.9).

3.2.1.6. *Alüvyon*

Cebeciköyden geçerek Alibeyköy Barajı'na akan yayvan vadi boyunca alüvyon çökelmiştir. Trakya formasyonu kumtaşları ve kireçtaşlarının dayanımı sebebiyle vadi yamaçları oldukça dik gelişmiştir. Alüvyon çökelleri de daha çok kum ve çakıllardan oluşmaktadır.

YAŞ	FORMASYON	ÜYE	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR
HOLOSEN	ALÜVYON	0-15 m		Alüvyon: Güncel dere çökelleri, blok, çakıl, kum, silt ve kil.
MİYOSEN	BELGRAD	10-20 m		Belgrad formasyonu: Kil ara seviyeli, çakıl, kum, kil, tabanda yer yer çapraz tabakalı kumtaşlarından oluşur.
KARBONİFER	TRAKYA	CEBECİKÖY KIREÇTAŞI ~ 400 m		Trakya formasyonu: Gri renkli kumtaşı - şeyl ardalanması, Gri renkli ince katmanlı kumtaşı
				Cebeci kireçtaşı üyesi: Kireçtaşı, orta - kalın tabakalı, yer yer dolomitleşmiş kireçtaşı, alt düzeyleri kumlu kireçtaşı ve karbonatlı şeyl. Yer yer karstik dolgular içerir.
				Açık yeşil renkli silisli kumtaşı, kalın tabakalı.
				Gri renkli silisli şeyl, grovak, çakıltası. İnce - orta tabakalı

Şekil 3.9: İnceleme alanının genelleştirilmiş sütun kesiti (Gözübol ve Aysal, 2009)

3.3. AKDAĞLAR TAŞOCAĞI

Çalışma sahası olarak İstanbul Cendere bölgesinde, beton üretimine yönelik agrega malzemesi üreten Akdağlar Madencilik San ve Tic. A.Ş.'ye ait Akdağlar taşocağı seçilmiştir. Çalışma sahasının uydu görüntüsü Şekil 3.10'da verilmektedir.



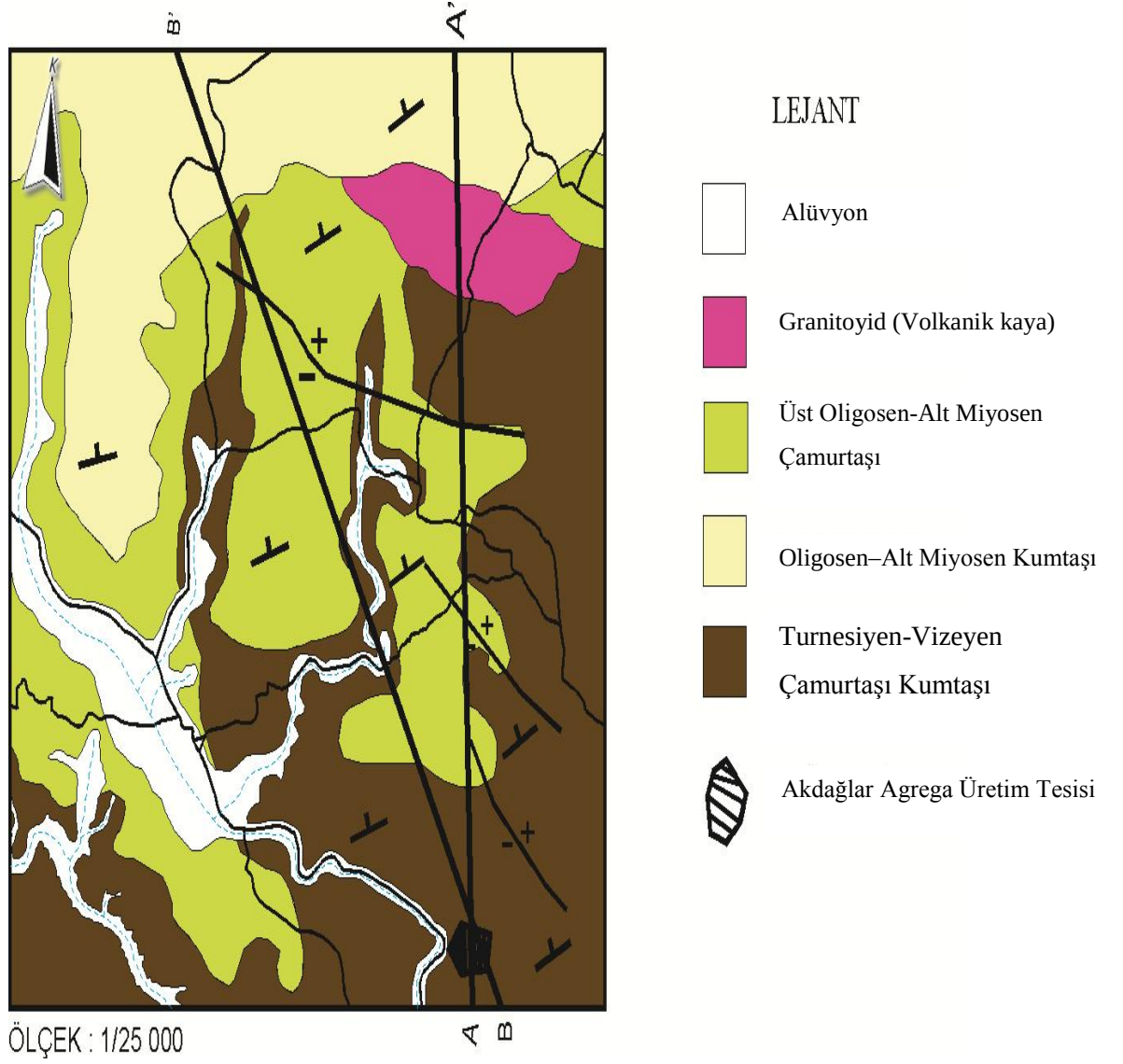
Şekil 3.10: Akdağlar Taşocağı yerbulduru haritası.

3.3.1. Bölgenin Genel Jeolojisi

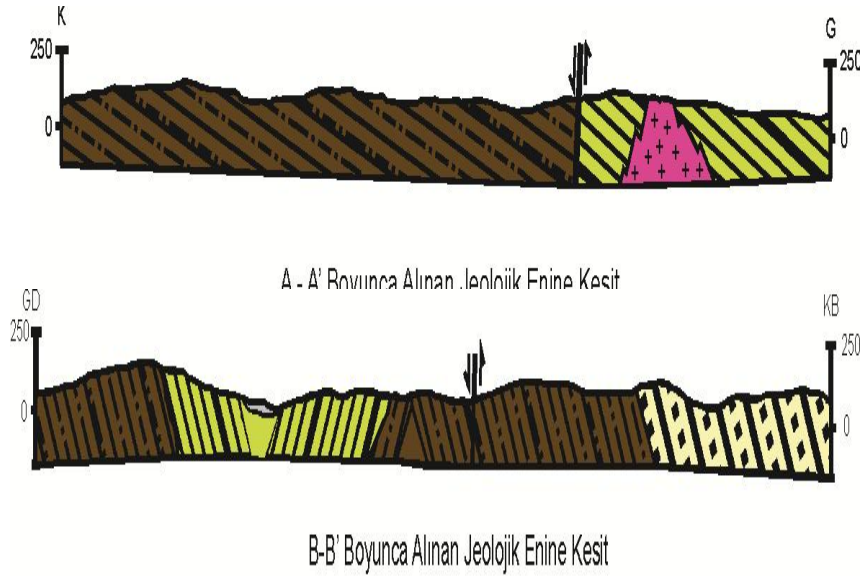
İnceleme alanı, Cendere Havzası ve civarı jeolojik yönden temel "Grovağ – Killi şist - Gre Serisi" "Trakya Serisi" veya "İstanbul temeli" olarak adlandırılmıştır.

İnceleme alanı, "Cendere Havzası", "Kemberburgaz - Ayazağa" arasında, yaklaşık 10 km aralıkta, KB-GD yönünde, temeli oluşturan "Grovağ - kumtaşı" formasyonu içinde doğal bir vadi konumundadır. Bu cendere vadisi Ayazağa civarında yüksek tepe ve sırtlarla sınırlanırken, Kemberburgaz'a doğru bu yükselti giderek azalarak devam etmekte, daha sonra "Kemberburgaz-Karadeniz" az yüksek Neojen (kum - kil - kömür) düzlükleri ile denize doğru sıfırlanmaktadır. İnceleme alanı Trakya Formasyonu üzerinde yer almaktadır. Bölgede hakim olan birim Trakya Formasyonunun karakteristiği killi kumtaşlarıdır. Sedimentler genelde tabakalı bir yapı göstermekte ve yer yer faylara, sıkışma zonlarına rastlanmaktadır. Bu nedenle ocakta ezilmiş, kırılmış, kıvrılmış yapılar sıkça görülmektedir. Bölgenin genelleştirilmiş jeolojik haritası

Şekil 3.11’de verilmektedir. Şekilde A ve B düzlemlerinden alınmış jeolojik kesitler Şekil 3.12’de verilmektedir.



Şekil 3.11: İnceleme alanının genel jeoloji haritası



Şekil 3.12: İnceleme alanı jeolojik kesiti

3.3.2. Stratigrafik Jeoloji

Cendere bölgesi ve yakın çevresi tamamen İstanbul Paleozoyik istifı içerisinde kalmaktadır. Bu istif, yaşları Ordovisiyen ile Karbonifer arası dönemde gelişmiş çökel kayalarını kapsar. İstanbul Paleozoyik istifinin tabanında Orta Ordovisiyen ve öncesi yaşlı Kurtköy Formasyonu bulunur. Kurtköy formasyonu mor renkli, çoğunlukla kaotik içyapılı, tabakalanması belirsiz çakıltaşları ile mor renkli, çapraz tabakalı kumtaşı-çamurtaşı ardalanmasından oluşur. Kurtköy formasyonu üzerinde bulunan çapraz tabakalı şeyl-silttaşı ara tabakalı pembe-alacalı ve beyaz renkli feldspatça zengin kuvars arenitler Aydos Formasyonunu meydana getirir. Orta Ordovisiyen yaşlı olan Aydos Formasyonu, üstten uyumlu bir ilişki ile orta Ordovisiyen -Landroveriyen yaşlı Gözdağ Formasyonuna geçer.

3.3.1.1. Gözdağ Formasyonu

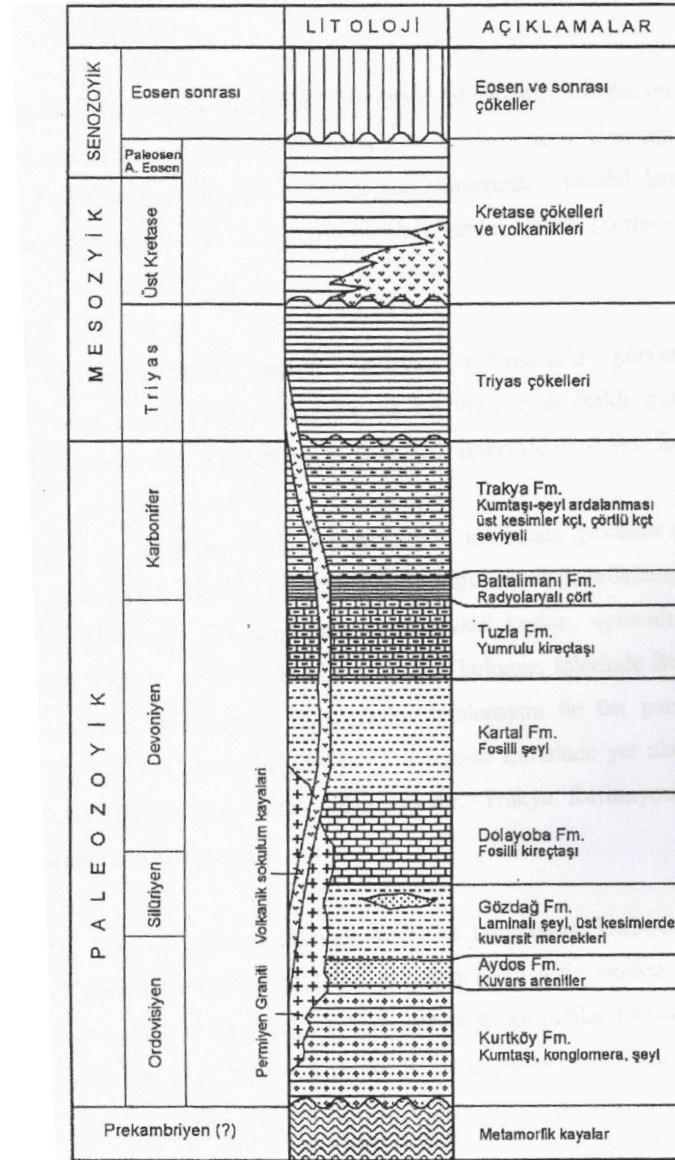
Alt kesimde ince lamine ve yeşilimsi-koyu gri renkli dilingen şeyller, bunların aralarında görülen feldspatik kumtaşı tabakaları ile şamozit ara katkılarını kapsar. Gözdağ Formasyonu'nun kuvars arenit mercekli şeylleri ile girik, koyu mavi-mavimsi koyu gri renklerde ve çeşitli karbonat fasiyeslerinden oluşan birim Dolayoba Formasyonu olarak bilinmektedir. Dolayoba Formasyonu içerisinde gri-koyu gri resifal kireçtaşları, ince şeyi ara tabakalı, koyu mavimsi, gri pembemsi gri renklerde mercekli ve tabakalı kireçtaşları, lamine, koyu mavimsi gri miktirik ile pembemsi renkli

laminallı çamurtaşı ardalanmaları yer almaktadır. Birim Alt Silüriyen-Alt Devoniyen yaşındadır.

3.3.1.2. *Dolayoba Formasyonu*

Üzerine sarımsı kahve-gri renkli, iyi yapraklanmalı, bol fosilli, mikalı ve feldspatlı silttaşı ile kumtaşı ara katkılı şeylerden oluşan Alt-Orta Devoniyen yaşlı Kartal Formasyonu gelmektedir. Kartal formasyonu içindeki kırıntılı kireçtaşı ara tabakalarının kalınlaşması ve sayıca artması, şeylerin de giderek yok olmasıyla birim sarımsı-mavimsi-gri renkli masif kireçtaşlarına geçer. Aynı kireçtaşları üste doğru mikritik kireçtaşı ile alacalı-sarımsı kahve renkli şeyi ardalanması haline gelir ki bu birim İstanbul Paleozoyik istifi içerisinde Tuzla formasyonu olarak tanımlanmıştır. Tuzla formasyonunu takiben yeşilimsi gri renkli, ince tabakalı ve paralel laminallı şeyi, mercekli çakıltası ve türbiditik kumtaşı ardalanmasından oluşan Trakya Formasyonu yer almaktadır. İstanbul Paleozoyik istifi ve üzerindeki birimlerin genelleştirilmiş stratigrafi kesiti Şekil 3.13’de verilmiştir (Uz, 2007).

Söz konusu taşocağındaki ana kaya kumtaşı olarak tanımlanmıştır. Sahada kumtaşının yanısıra önemli bir miktarda grovak ve dolerit türü sokulumlar da mevcuttur.



Şekil 3.13: İnceleme alanının genelleştirilmiş sütun kesiti (Uz, 2007)

3.4. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

3.4.1. Arazi Çalışmaları

Çalışma kapsamında arazide yapılan çalışmalar,

- Atım paterninin incelenmesi
- Titreşim ölçer cihazlar ile titreşim ölçümleri
- Total station ve Laser Scanner ile basamak profilinin taranması
- Video kamera ile atımların kaydedilmesi
- Parça boyut dağılımı belirlenmesi için yığın fotoğrafı alınması

olarak sıralanmış ve sınıflandırılmıştır.

Atımlarda uygulanan patlatma paterni, delik düzeni ve patlayıcı şarjı; şantiye yetkililerince sistematik olarak uygulanagelen şekliyle (herhangi bir müdahalede bulunulmadan) gözlemlenmiş ve ölçümler bu şekildeki çalışmalara spontane olarak uygulanmıştır. Titreşim ölçümlerine esas olacak söz konusu atımlarda, sadece gerekli kantitatif ölçüm ve gözlemler yapılmıştır. Firma yetkililerinin atımlarla ilgili uygulama patern ve protokolleri gerekli verilerin türetilmesinde kullanılmıştır.

Her bir gecikme başına düşen patlayıcı madde miktarı, her bir delik için planlanan patlayıcı maddenin kontrollü bir şekilde şarj edilmesiyle belirlenmiştir. Atım kaynağı ile yersarsıntısı ve hava şoku kayıt istasyonu arasındaki mesafe ise GPS kullanılarak belirlenmiştir.

Arazi çalışmalarında yer sarsıntısı ve hava şoku ölçümlerinde, Instantel firmasının ürettiği toplam 8 adet patlatma titreşim ölçer cihazı kullanılmıştır.

Patlatma ile açığa çıkan sismik enerjiyi hesaplamam amacıyla alınan titreşim kayıtları ve ölçülen mesafe ve şarj bilgileri literatürde ilgili kısımda verilen formüller yardımıyla gözlenen her bir atım için hesaplanmıştır.

Basamak profilinin taranması için üniversite olanakları nedeniyle bazı atımlarda total station bazı atımlarda ise MDL Quarryman Laser Scanner kullanılmıştır. Ölçümler atım noktasının karşısında bilinçli bir şekilde seçilen istasyona kurulan cihazlar ile yapılmıştır. alınan ölçüm sonuçları ve koordinat bilgileri “Surfer” Programı ile değerlendirilip basamak profilinin katı modeli oluşturulmuştur.

Kinetik enerjinin hesaplanması için atım yapılan basamağı paralelden görecektir şekilde, bilinçli olarak seçilmiş bir istasyonda yüksek çözünürlüklü video kamera ile atım esnasında kayıt alınmıştır. Atım kayıtlarının değerlendirilmesinde video kameranın görüntü kalitesini arttırmak için AVS Video Converter programı, kütle hızını belirtmek için ise Kinovea programı kullanılmıştır. Programda kullanılmak üzere ölçek oluşturabilmek için basamak gerisine 5 m aralık göstermek üzere iki kazık çakılmış ve

bu ölçek programa tanıtılmıştır. Bulunan kütle hızı ile literatürde verilen kinetik enerji formülünden kinetik enerji miktarı her bir atım için hesaplanmıştır.

Atım sonrası parça boyut dağılımı analizi için ölçek olarak 1 adet ve 2 adet top kullanılarak yığın görüntüsü alınmıştır. Elde edilen görüntüler Split Desktop programı ile değerlendirilerek parça boyut dağılımı belirlenmiştir. Daha sonra arazi verileri ve programdan elde edilen sonuçlar literatürde verilen eşitlikler vasıtasıyla beraber değerlendirilip patlatma sonucu kırılmaya harcanan enerjiler gözlenen her bir atım için hesaplanmıştır.

3.4.2. Laboratuvar Çalışmaları

Çalışma sahalarından, atımdan önce ve sonra alınan numuneler İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya mekaniği laboratuvarına getirilmiştir.

Getirilen numunelerden karot numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler numaralandırılmış; boy ve çapları kaydedilmiştir. Hesaplamalarda kullanmak için gereken Tokluk Dayanımı, Nokta Yük Dayanımı, Yoğunluk Tayini ve Ultrasonik Ses Geçirgenliği Deneyleri yapılmıştır. Deneyde kullanılan numunelerden bazıları (sağdan sola Akyol, Haktaş ve Akdağlar taşocağı numuneleri) Şekil 3.14'te, ultrasonik ses geçirgenliği deney düzeneği Şekil 3.15'te, Tokluk dayanımı deney düzeneği Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.14: Deneylerde kullanılan numunelerden bazıları



Şekil 3.15: Ultrasonik ses geçirgenliği deney düzeneği

Yapılan nokta yük dayanımı deneyi sonucu elde edilen verilerden hareketle tek eksenli basma dayanımı ve tek eksenli çekme dayanımı değerleri endirekt olarak literatürde (Ceylanoğlu, 1991) belirtildiği gibi hesaplanmıştır.



Şekil 3.16: Tokluk dayanımı deney düzeneği

4. BULGULAR

4.1. ARAZİ ÇALIŞMALARI

Çalışma sahası olarak seçilen Çatalca bölgesi Akyol taşocağında, Cendere bölgesi Akdağlar taşocağında ve Cebeci bölgesi Haktaş taşocağında yapılan çalışmalar ve sonuçları aşağıdaki bölümlerde açıklanmaktadır. Yapılan bu çalışmalar sırasıyla;

- Atım paterninin kaydedilmesi
- Total station ve Laser Scanner ile basamak profilinin taranması
- Titreşim ölçümleri
- Video kamera ile atımların kaydedilmesi
- Parça boyut dağılımı belirlenmesi için yığın fotoğrafı alınması
- Jeolojik gözlem ve ölçümlerdir.

Bu çalışmalarda Akyol taşocağında 14 atım, Haktaş taşocağında 2 atım ve Akdağlar taşocağında 4 atım izlenmiş, izlenen atımlarda atım izleme formları kullanılarak patern bilgileri kayıt altına alınmış, titreşim ölçer cihazlar ile titreşim ölçümleri yapılmıştır.

Akyol taşocağında izlenen 14 atımdan 2, 3, 8 ve 10 no'lu atımlar, Akdağlar taşocağında izlenen 4 atımdan 1 ve 3 no'lu atımlar ve Haktaş taşocağında izlenen 2 atımdan 1 no'lu atım enerji değerlerini hesaplamak için seçilmiş, yukarıda bahsedilen çalışmalar detaylı olarak yapılmıştır. Yapılan çalışmalar ilerleyen bölümlerde alt başlıklar halinde verilmiştir.

4.1.1. Akyol Taşocağında Yapılan Çalışmalar

4.1.1.1. Düzenlenen Atım Paternleri

Söz konusu ocakta gözlemlenen toplam 14 atımın, atım bilgileri, tasarım parametreleri, delik geometrisi ve ateşleme bilgileri, patlayıcı madde bilgileri, istasyon noktalarının koordinatları ve titreşim ölçümleri oluşturulan patlatma veri formlarına her atım için ayrı ayrı kaydedilmiştir.

Bu atımlara ait basamak patlatma paterni parametreleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Atım noktalarının koordinatları da Tablo 4.2’de, ölçüm alınan istasyonların koordinatları ise tablo 4.3’te verilmektedir.

Atımlarda, patlayıcı olarak ANFO yemleyici olarak POWERGEL ve ateşleyici olarak da gecikmeli elektriksiz kapsüller kullanılmıştır.

Tablo 4.1: Akyol taşocağında izlenen atımların paterni

Atım No	Atım Tarihi	Atım Saati	Delik Sayısı	Delik Çapı (mm)	Basamak Yüksekliği (m)	Delik Boyu (m)	Dilim Kalınlığı (m)	Delikler Arası Mesafe (m)	Toplam Şarj (kg)	Gec. Baş. Top. Şarj (kg)
1	25.04.11	12:59	8	89	9	10	2,7	2,7	398	49,75
2	25.04.11	13:00	9	89	10,5	11,5	2,7	2,7	454,5	50,5
3	25.04.11	13:01	6	89	10,5	11,5	2,7	2,7	298	49,66
4	25.04.11	13:02	3	89	9	10	2,7	2,7	151,5	50,5
5	25.04.11	13:03	9	89	11	12	2,7	2,7	529	58,77
6	03.05.11	12:38	7	89	9	10	3	3	277	39,5
7	03.05.11	12:40	7	89	2,5	3,5	2,7	2,7	63,5	9,07
8	03.05.11	12:40	13	89	10,5	11,5	2	2	601,5	46,26
9	03.05.11	12:42	9	89	12	13	2,7	2,7	479	53,22
10	03.06.11	12:28	8	89	10,5	11,5	2,7	2,7	359	50
11	03.06.11	12:30	4	89	10,5	11,5	2,7	2,7	154	38,5
12	03.06.11	12:30	6	89	9	10	2,7	2,7	131	21,83
13	03.06.11	12:32	3	89	8	9	2,7	2,7	101,5	25,37
14	03.06.11	12:33	10	89	9	10	2,7	2,7	375	37,5

Tablo 4.2: Atım noktalarının koordinatları

Atım no	Y	X	Z
1	625945	4549923	15
2	625932	4550023	35
3	625961	4550032	35
4	626011	4549980	45
5	625763	4550102	35
6	625974	4549929	25
7	626000	4549881	25
8	625927	4550030	35
9	625753	4550097	35
10	625925	4550002	26
11	625961	4549955	26
12	625963	4549866	25
13	626022	4549948	45
14	625727	4550114	25

Tablo 4.3: İstasyon noktasının koordinatları

İstasyon no	Y	X	Z
1	626004	4549891	44
2	625882	4549839	50
3	625971	4549814	59
4	626031	4549858	56
5	626022	4549967	44
6	625997	4549814	54
7	625637	4550314	52
8	626023	4549866	40
9	425997	4548906	44
10	625982	4549842	38
11	626022	4549965	43
12	625906	4549853	25
13	625975	4550011	25

14	626022	4549867	26
15	625948	4550031	25

4.1.1.2. Atım Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

Araştırma kapsamında; Akyol Taş Ocağı'nda toplam 14 adet atım izlenmiş ve bu atımlara ait 75 olay titreşim ölçer cihazlar ile kaydedilmiştir. Parçacık hızı tahmini için gecikme başına düşen en fazla patlayıcı miktarı ve kaynak ile ölçüm istasyonu arasındaki uzaklıklar dikkate alınarak türetilen ölçekli mesafe ile parçacık hızı arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu bilgileri toplu halde Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4: Titreşim veri kaydı

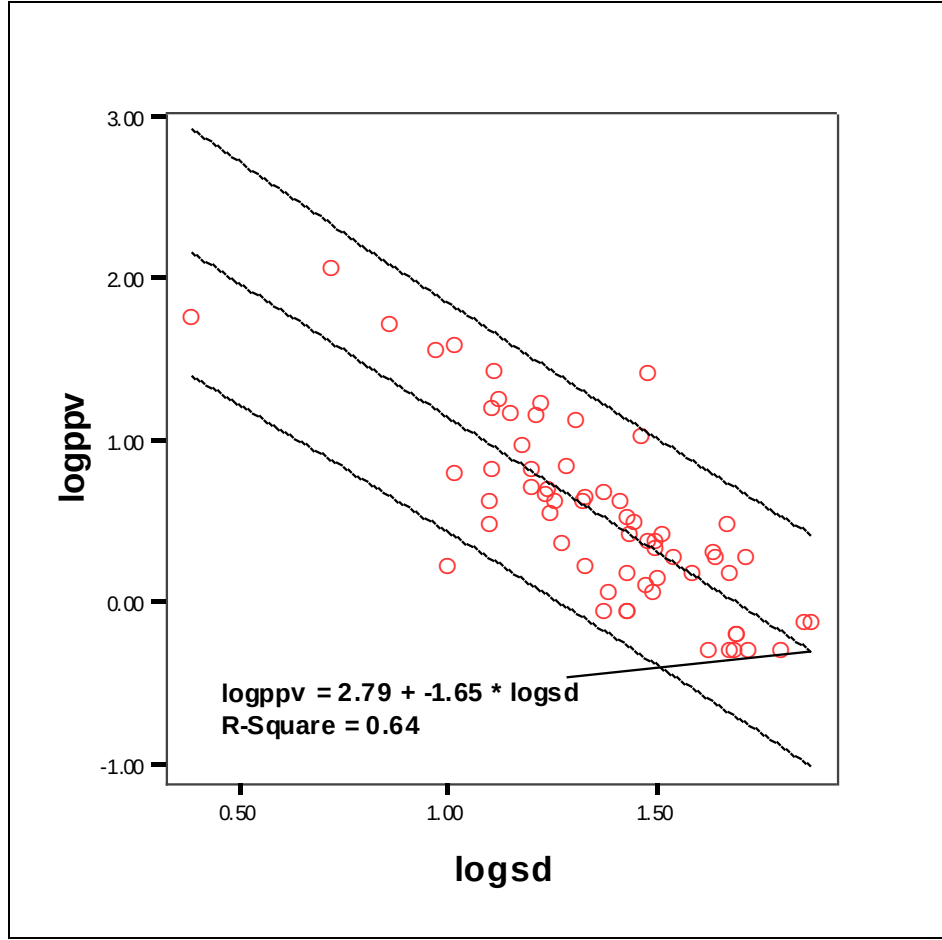
Atım No	Tarih	Max. Parçacık Hızı (PPV) (mm/s)	Frekans f (Hz)	Hava Şoku (dB)	Toplam Şarj (kg)	Gecikme Başına Toplam Şarj (W) (kg)	Mesafe (R) (m)	Ölçekli Mesafe (SD)
1	25.04.2011	39	73.1	125.2	398	49.8	73.12	10.37
		5.21	85.3	126.6		49.8	110.68	15.69
		4.7	19	122.3		49.8	120.39	17.07
		6.6	73.1	114.2		49.8	110.66	15.69
		18.3	26.9	121.5		49.8	93.31	13.23
		4.19	25.6	122.3		49.8	126.91	17.99
		*	*	*		49.8	499.11	70.76
2	25.04.2011	4.57	73.1	133.1	455	50.5	150.63	21.20
		0.889	26.9	132.1		50.5	191.26	26.91
		2.41	22	120.2		50.5	213.96	30.11
		2.67	25.6	122.8		50.5	192.49	27.09
		9.4	32	126		50.5	106.38	14.97
		1.14	28.4	129.6		50.5	219.7	30.92
		0.762	24.4	115.6		50.5	505.47	71.13
3	25.04.2011	4.19	46.5	135.8	298	49.7	147.69	20.96
		1.27	34.1	136.4		49.7	209.08	29.67
		2.41	20	126.8		49.7	219.54	31.15
		3.3	26.9	126.8		49.7	187.62	26.62
		16	28.4	128.8		49.7	89.59	12.71
		1.4	16	130.9		49.7	221.77	31.47
		0.762	23.3	109.9		49.7	522.24	74.11
4	25.04.2011	4.19	73.1	128.8	152	50.5	89.28	12.56
		0.889	32	128.4		50.5	191.17	26.90

		1.14	13	120.3		50.5	171.32	24.11
		3.56	>100	121.9		50.5	123.73	17.41
		57.4	9.48	135.1		50.5	17.06	2.40
		0.889	39.4	124.2		50.5	166.83	23.48
		*	*	*		50.5	593.05	83.45
		0.508	39.4	115.9		58.8	320.44	41.80
		*	*	*		58.8	289.06	37.71
		2.98	18	114.6		58.8	356.07	46.45
5	25.04.2011	0.508	25.6	115.9	529	58.8	362.47	47.28
		1.52	26.9	116.9		58.8	292.21	38.12
		0.508	21.3	126.5		58.8	371.57	48.47
		2.03	28.4	113.5		58.8	330.18	43.07
		26.7	73.1	119.4		39.6	81.21	12.91
		13.2	42.7	120.5		39.6	126.57	20.12
6	03.05.2011	6.86	24	121.1	277	39.6	119.96	19.07
		14.7	56.9	128.3		39.6	88.33	14.04
		1.65	51.2	88		39.6	62.64	9.96
		6.35	51.2	108		9.1	31.29	10.39
		4.19	39.4	111.8		9.1	77.43	25.71
7	03.05.2011	1.52	51	110.2	64	9.1	80.54	26.74
		*	*	*		9.1	44.88	14.90
		*	*	*		9.1	88.68	29.45
		3.17	25.6	121.9		46.3	190.1	27.95
		1.9	30.1	124		46.3	234.86	34.53
8	03.05.2011	2.67	24	123.2	602	46.3	221.74	32.60
		10.7	100	119.6		46.3	195.9	28.80
		*	*	*		46.3	115.39	16.97
		0.635	100	95.9		53.2	355.37	48.71
		0.508	64	112.8		53.2	379.87	52.07
9	03.05.2011	0.63	17	114	479	53.2	358.03	49.08
		1.52	100	128.7		53.2	342.75	46.98
		*	*	*		53.2	299.75	41.09
		1.65	10.4	88		50	150.21	21.24
		52.1	73.1	98.8		50	50.81	7.19
10	03.06.2011	4.83	27	111.2	359	50	166.23	23.51
		116	42.7	95.9		50	37.03	5.24
		2.29	64	88		38.5	115.89	18.68
11	03.06.2011	36.4	64	94	154	38.5	57.73	9.30

		4.95	39	115.9		38.5	107.07	17.26
		*	*	*		38.5	77.11	12.43
		3.05	25.6	88		21.83	58.46	12.51
12	03.06.2011	2.16	100	88	131	21.83	145.5	31.14
		6.6	47	112.8		21.83	59.02	12.63
		*	*	*		21.83	165.68	35.46
		26	85.3	88		25.37	151.26	30.03
13	03.06.2011	14.5	73.1	91.5	101.5	25.37	81.1	16.10
		17.1	73	119.6		25.37	83.2	16.52
		*	*	*		25.37	112.98	22.43
		1.9	51.2	88		37.5	316.48	51.68
14	03.06.2011	1.9	85.3	88	375	37.5	268.54	43.85
		0.51	57	113.5		37.5	384.75	62.83
		*	*	*		37.5	236.07	38.55
*İşaretli istasyonlarda yeterli genlikte frekans alınamadığından kayıt yapılamamıştır.								

Ölçülen maksimum parçacık hızı (PPV) ile ölçekli mesafe (SD) veri çiftleri arasında SPSS programı kullanılarak basit regresyon analizi yapılmış ve sahaya ait sarsıntı yayılım denklemi elde edilmiştir. PPV-SD ilişkisine ait kabul edilebilir bir korelasyon katsayısıyla elde edilen ilişkinin grafiksel görünümü Şekil 4.1’de verilmektedir.

Elde edilen eşitliğin korelasyon katsayısı ilişkinin sahayı doğru olarak temsil edebileceğini göstermektedir (Eşitlik 4.1).

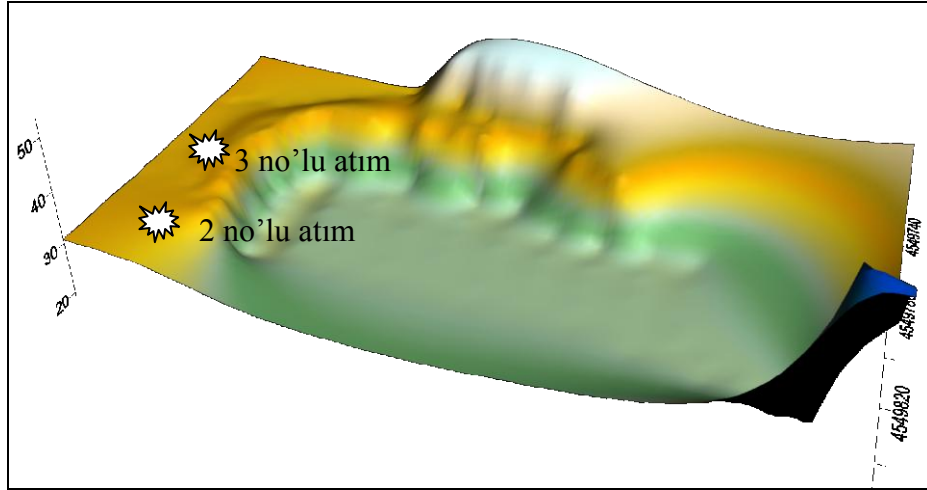


Şekil 4.1: Maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe değerlerinin grafiksel yorumu (Akyol taşocağı)

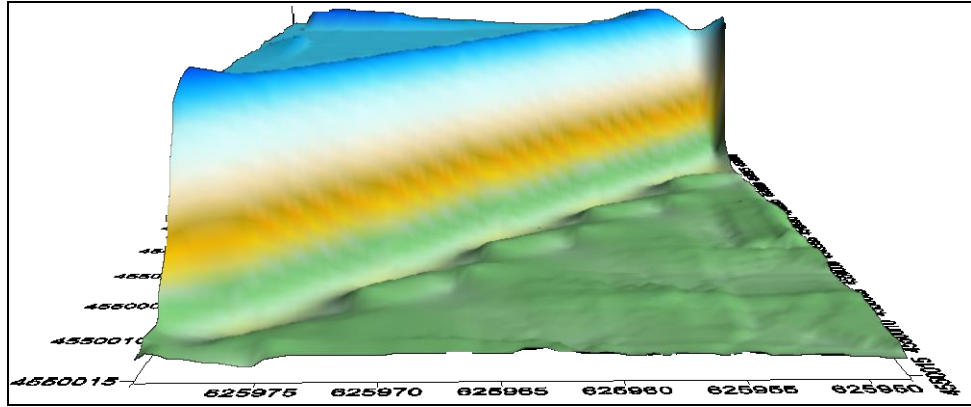
$$PPV = 623,14 SD^{-1,653} \quad (r = 0.8) \quad (4.1)$$

4.1.1.3. Basamak Profilinin Belirlenmesi

Basamak profilini belirlemek amacıyla 25 Nisan 2011 tarihinde izlenen atımda total station topografik aleti ile, 3 Mayıs 2011 tarihinde izlenen atımda MDL Quarryman Lazer profil çıkarma cihazı ile basamak üst ve alt seviyelerindeki koordinatlar alınmış ve basamak profili modellenmiştir (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3).



Şekil 4.2: Patlatma öncesi basamak modeli (Akyol taşocağı atım no:2-3)



Şekil 4.3: Patlatma öncesi basamak modeli (Akyol taşocağı atım no:8)

4.1.2. Haktaş Taşocağında Yapılan Çalışmalar

4.1.2.1. Düzenlenen Atım Paternleri

Söz konusu ocakta gözlemlenen toplam 4 atımın, atım bilgileri, tasarım parametreleri, delik geometrisi ve ateşleme bilgileri, patlayıcı madde bilgileri, istasyon noktalarının koordinatları ve titreşim ölçümleri oluşturulan patlatma veri formlarına her atım için ayrı ayrı kaydedilmiştir.

Bu atımlara ait basamak patlatma paterni parametreleri Tablo 4.5’de verilmiştir. Atım noktalarının koordinatları da Tablo 4.6’da, ölçüm alınan istasyonların koordinatları ise Tablo 4.7’de verilmektedir.

Atımlarda, patlayıcı olarak ANFO yemleyici olarak POWERGEL ve ateşleyici olarak da gecikmeli elektriksiz kapsüller kullanılmıştır.

Tablo 4.5: Haktaş taşocağında izlenen atımların paterni

Atım No	Atım Tarihi	Atım Saati	Delik Sayısı	Delik Çapı (mm)	Basamak Yüksekliği (m)	Delik Boyu (m)	Dilim Kalınlığı (m)	Delikler Arası Mesafe (m)	Toplam Şarj (kg)	Gec. Baş. Top. Şarj (kg)
1	01.06.11	13:53	5	89	14	12	3	2	275	41,5
2	01.06.11	13:56	4	89	14	12	3	2	160	40

Tablo 4.6: Atım noktalarının koordinatları

Atım no	Y	X	Z
1	656796	4556197	7
2	656812	4556077	58

Tablo 4.7: İstasyon noktasının koordinatları

İstasyon no	Y	X	Z
1	656825	4556276	17
2	656822	4556272	16
3	656797	4556233	7
4	656819	4556251	13

4.1.2.2. Atım Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

Araştırma kapsamında; Haktaş Taşocağı'nda toplam 2 adet atım izlenmiş ve bu atımlara ait 8 olay titreşim ölçer cihazlar ile kaydedilmiştir. Parçacık hızı tahmini için gecikme başına düşen en fazla patlayıcı miktarı ve kaynak ile ölçüm istasyonu arasındaki uzaklıklar dikkate alınarak türetilen ölçekli mesafe ile parçacık hızı arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu bilgileri toplu halde Tablo 4.8'de verilmiştir.

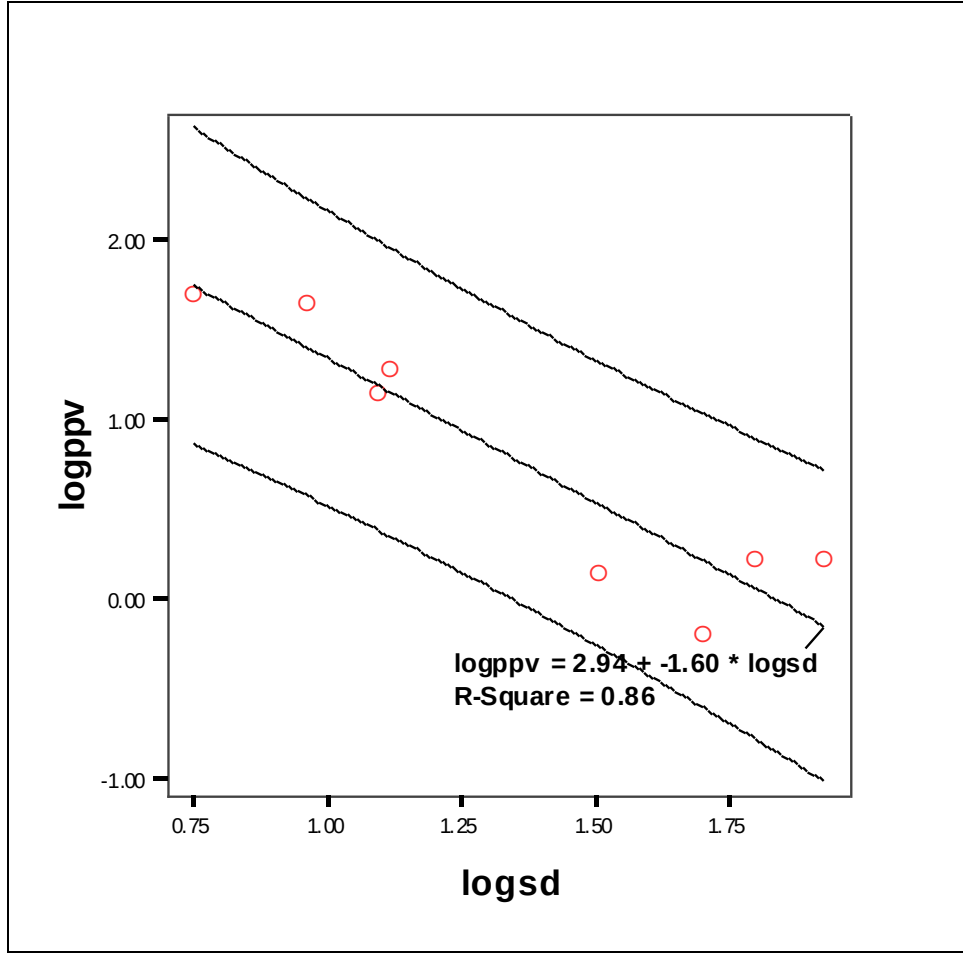
Ölçülen maksimum parçacık hızı (PPV) ile ölçekli mesafe (SD) veri çiftleri arasında SPSS programı kullanılarak basit regresyon analizi yapılmış ve sahaya ait sarsıntı yayılım denklemi elde edilmiştir. PPV-SD ilişkisine ait kabul edilebilir bir korelasyon katsayısıyla elde edilen ilişkinin grafiksel görünümü Şekil 4.4'te verilmektedir.

Tablo 4.8: Titreşim veri kaydı

Atım No	Tarih	Max. Parçacık Hızı (PPV) (mm/s)	Frekans f (Hz)	Hava Şoku (dB)	Toplam Şarj (kg)	Gecikme Başına Toplam Şarj (W) (kg)	Mesafe (R) (m)	Ölçekli Mesafe (SD)
1	01.06.11	18.7	32	124.3	207.5	41.5	84.75	13.16
		13.6	26.9	88		41.5	79.89	12.40
		49.8	11.6	134.4		41.5	36.01	5.59
		43.2	39.4	95.9		41.5	59	9.16
2	01.06.11	1.4	22.3	122.4	207.5	40.0	203.6	32.19
		0.635	23.3	88		40.0	317.94	50.27
		1.65	20.5	123.9		40.0	399.55	63.17
		1.65	26.9	88.0		40.0	535.94	84.74
*İşaretili istasyonlarda yeterli genlikte frekans alınamadığından kayıt yapılamamıştır.								

Elde edilen eşitliğin korelasyon katsayısı ilişkinin sahayı doğru olarak temsil edebileceğini göstermektedir (Eşitlik 4.2).

Çalışmanın asıl amacı saha sarsıntı yayılım denklemini ortaya çıkarmaktan ziyade enerji bölüşümünü ve enerjinin verimli kullanılabilirliğini irdelemek olduğundan ve ocak şartları yetersiz olduğundan dolayı bu ocakta daha fazla titreşim verisi alınamamıştır. Mevcut veriler ile yapılan saha sarsıntı yayılım değerlendirmesi aşağıda sunulmaktadır.

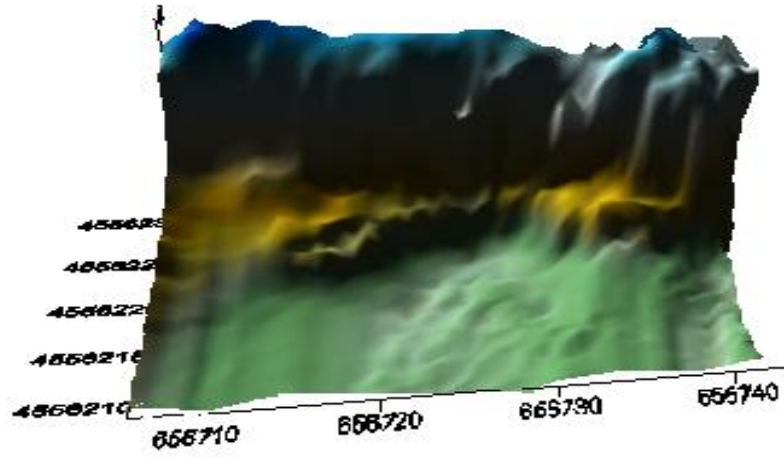


Şekil 4.4: Maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe değerlerinin grafiksel yorumu (Haktaş taşocağı)

$$PPV = 868,07 \text{ SD}^{-1,601} \quad (r = 0.92) \quad (4.2)$$

4.1.1.3. Basamak Profilinin Belirlenmesi

Basamak profilini belirlemek amacıyla 1 Haziran 2011 tarihinde izlenen atımda MDL Quarryman Lazer profil çıkarma cihazı ile basamak aynasında, üst ve alt seviyelerindeki koordinatlar alınmış ve basamak profili modellenmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5: Patlatma öncesi basamak modeli (Haktaş taşocağı Atım no:1)

4.1.3. Akdağlar Taşocağında Yapılan Çalışmalar

4.1.3.1. Düzenlenen Atım Paternleri

Söz konusu ocakta gözlemlenen toplam 4 atımın, atım bilgileri, tasarım parametreleri, delik geometrisi ve ateşleme bilgileri, patlayıcı madde bilgileri, istasyon noktalarının koordinatları ve titreşim ölçümleri oluşturulan patlatma veri formlarına her atım için ayrı ayrı kaydedilmiştir.

Bu atımlara ait basamak patlatma paterni parametreleri Tablo 4.9’da verilmiştir. Atım noktalarının koordinatları da Tablo 4.10’da, ölçüm alınan istasyonların koordinatları ise tablo 4.11’de verilmektedir.

Atımlarda, patlayıcı olarak ANFONİT yemleyici olarak POWERGEL ve ateşleyici olarak da gecikmesiz kapsüller kullanılmıştır.

Tablo 4.9: Akdağlar taşocağında izlenen atımların paternleri

Atım No	Atım Tarihi	Atım Saati	Delik Sayısı	Delik Çapı (mm)	Basamak Yüksekliği (m)	Delik Boyu (m)	Dilim Kalınlığı (m)	Delikler Arası Mesafe (m)	Toplam Şarj (kg)	Gec. Baş. Top. Şarj (kg)
1	27.05.11	12:30	9	89	12	13	2,5	2,5	300	300
2	27.05.11	13:30	4	89	12	13	2,5	2,5	150	150
3	31.05.11	12:37	14	89	12	13	2,5	2,5	750	750
4	31.05.11	12:37	13	89	12	13	2,5	2,5	676	676

Tablo 4.10: Atım noktalarının koordinatları

Atım no	Y	X	Z
1	665753	4555528	60
2	665848	4555350	90
3	665796	4555357	38
4	665833	4555395	65

Tablo 4.11: İstasyon noktasının koordinatları

İstasyon no	Y	X	Z
1	665830	4555563	115
2	665865	4555293	90
3	665618	4555560	58
4	665851	4555253	90
5	665709	4555553	60
6	665862	4555335	60
7	665766	4555450	46
8	665872	4555293	60
9	665764	4555464	37
10	665772	4555431	47

4.1.3.2. Atım Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

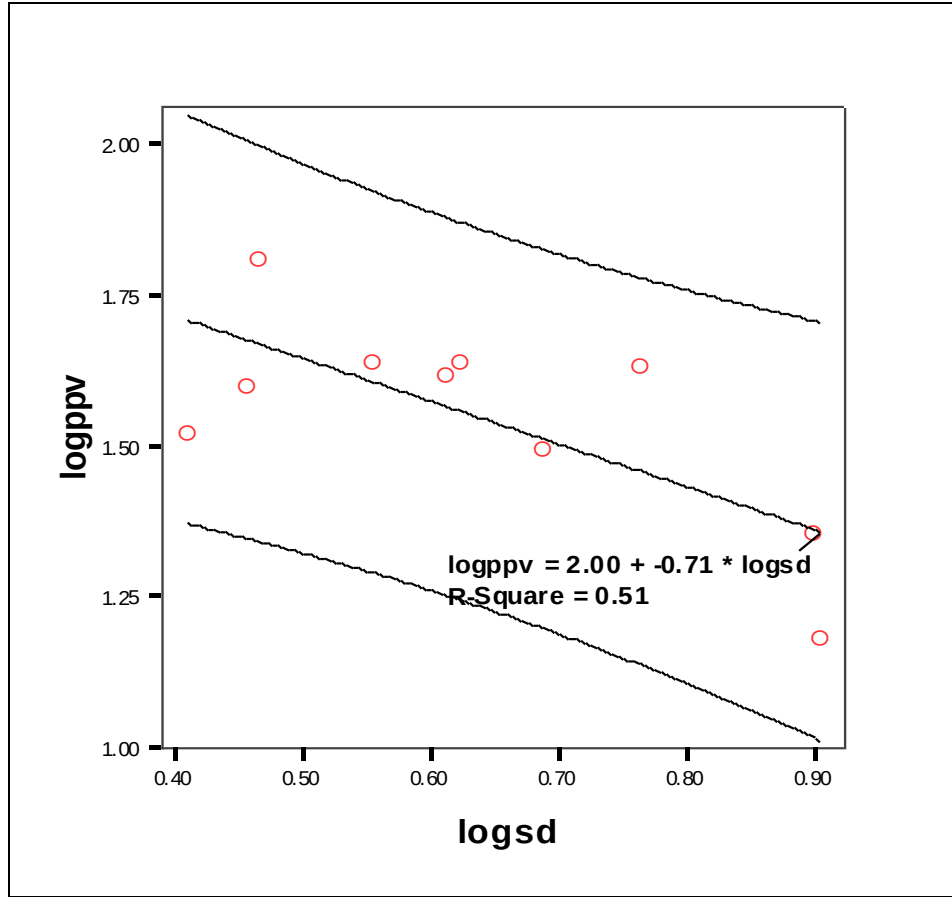
Araştırma kapsamında; Akkdağlar Taşocağı'nda toplam 4 adet atım izlenmiş ve bu atımlara ait 16 olay titreşim ölçer cihazlar ile kaydedilmiştir. Parçacık hızı tahmini için gecikme başına düşen en fazla patlayıcı miktarı ve kaynak ile ölçüm istasyonu arasındaki uzaklıklar dikkate alınarak türetilen ölçekli mesafe ile parçacık hızı arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu bilgileri toplu halde Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.12: Titreşim veri kaydı

Atım No	Tarih	Max. Parçacık Hızı (PPV) (mm/s)	Frekans f (Hz)	Hava Şoku (dB)	Toplam Şarj (kg)	Gecikme Başına Toplam Şarj (W) (kg)	Mesafe (R) (m)	Ölçekli Mesafe (SD)
1	27.05.2011	42.8	11.6	98.8	403.2	300.0	100.57	5.81
		*	*	*		300.0	262.05	15.13
		15.2	18.3	91.5		300.0	138.76	8.01
		*	*	*		300.0	293.48	16.94
		64.6	17.7	101.9		300.0	50.61	2.92
2	27.05.2011	*	*	*	420	150.0	215.22	17.57
		31.2	25.6	95.9		150.0	59.48	4.86
		*	*	*		150.0	313.09	25.56
		22.7	22.3	95.9		150.0	97.05	7.92
		*	*	*		150.0	247.85	20.24
3	31.05.2011	*	*	*	469	750.0	72.97	2.66
		43.6	24.4	95.9		750.0	98.05	3.58
		*	*	*		750.0	101.76	3.72
		41.3	28.4	100		750.0	111.69	4.08
		39.6	23.3	100		750.0	78.31	2.86
4	31.05.2011	33.1	32	87.5	653	676.0	66.83	2.57
		*	*	*		676.0	88.74	3.41
		43.6	42.7	129.2		676.0	109.32	4.20
		*	*	*		676.0	101.52	3.90
		*	*	*		676.0	73.08	2.81
*İşaretli istasyonlarda yeterli genlikte sismik dalga oluşmadığından kayıt yapılamamıştır.								

Ölçülen maksimum parçacık hızı (PPV) ile ölçekli mesafe (SD) veri çiftleri arasında SPSS programı kullanılarak basit regresyon analizi yapılmış ve sahaya ait sarsıntı yayılım denklemi elde edilmiştir. PPV-SD ilişkisine ait kabul edilebilir bir korelasyon katsayısıyla elde edilen ilişkinin grafiksel görünümü Şekil 4.6'da verilmektedir.

Elde edilen eşitliğin korelasyon katsayısı ilişkinin sahayı doğru olarak temsil edebileceğini göstermektedir (Eşitlik 4.3).



Şekil 4.6: Maksimum parçacık hızı ile ölçekli mesafe değerlerinin grafiksel yorumu (Akdağlar taşocağı)

$$PPV = 101,54SD^{-0,719} \quad (r=0.73) \quad (4.3)$$

Çalışmanın asıl amacı saha sarsıntı yayılım denklemini ortaya çıkarmaktan ziyade enerji bölüşümünü ve enerjinin verimli kullanılabilirliğini irdelemek olduğundan ve ocak şartları yetersiz olduğundan dolayı bu ocakta daha fazla titreşim verisi alınamamıştır. Mevcut veriler ile yapılan saha sarsıntı yayılım değerlendirmesi aşağıda sunulmaktadır.

4.1.3.3. Basamak Profilinin Belirlenmesi

Basamak profilini belirlemek amacıyla 26 Mayıs 2011 ve 31 Mayıs 2011 tarihlerinde izlenen atımlarda MDL Quarryman Lazer profil çıkarma cihazı ile basamak aynasında

4.2.1. Akyol Taşocağı Numuneleri Üzerinde Yapılan Laboratuvar Çalışmaları

4.2.1.1. Yoğunluk Tayini

Alınan numuneler laboratuvarında, Yoğunluk Tayini deneyine tabi tutulmuştur. Yerinde yoğunluk deneyi için araziden alınan numuneler yerinde nemini kaybetmeden numune saklama poşetine konmuş, aynı gün içerisinde belirlenen ağırlık aralığındaki numuneler taşıma kabı ile yoğunluk tayini deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları tablo 4.13'te gösterilmektedir.

Tablo 4.13: Akyol Taşocağı yoğunluk deneyi sonuçları.

Numune No	Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Yoğunluk (gr/cm ³)
1	143.8	46	3.13
2	130.9	50	2.62
3	177.1	65	2.72
4	60	24	2.50
5	123.6	57	2.17
6	105.3	48	2.19
7	125	44	2.84
8	196.3	78	2.52
9	150.8	59	2.56
10	107.3	39.5	2.72
11	87.4	31	2.82
12	73.5	22	3.34
13	58.3	20	2.92
14	84.3	24	3.51
Ort =			2,75

4.2.1.2. Ultrasonik Ses Geçirgenliği Deneyi

Sismik enerjinin belirlenmesinde ve kırılma enerjisinin belirlenmesinde kullanılacak P dalgası hızını belirlemek için ultrasonik ses geçirgenliği deneyi yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler Tablo 4.14'da özet olarak verilmiştir.

Tablo 4.14: Akyol Taşocağı ultrasonik ses geçirgenliği deneyi sonuçları.

Numune No	Numune Boyu (mm)	Numune Çapı (mm)	t (ms)	v(m/s)
1	183.34	67	36.1	5078.67
2	176.25	67	33.8	5214.50
3	85.42	54.4	17.2	4966.28
4	95.24	67	18.7	5093.05
5	60.39	54.4	13.5	4473.33
6	135.7	67	26.7	5082.40
7	73.4	67	14.3	5132.87
8	66.4	54.4	13.5	4918.52
9	79.8	54.4	15.1	5284.77
			Ort =	5027,15

4.2.1.3. Tokluk Dayanımı Tayini

Alınan numuneler laboratuvarında, tokluk dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucu elde edilen verilerden, tokluk dayanımı değeri literatürde bahsedilen eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.15’de verilmiştir.

Tablo 4.15: Akyol Taşocağı tokluk dayanımı deney sonuçları.

Numune No	Çentik Boy (m)	Numune Çapı (m)	F (kN)	K _{1C} (MPa.m ^{1/2})
1	0.029	0.067	2.2	1.69
2	0.028	0.067	1.7	1.18
3	0.023	0.054	3.2	2.11
4	0.028	0.067	2.7	0.91
5	0.018	0.054	1.5	1.19
6	0.030	0.067	2.6	1.41
7	0.021	0.054	1.6	0.54
8	0.018	0.054	1.7	1.42
9	0.030	0.067	1.8	1.51
			Ort =	1,33

4.2.1.4. Nokta Yük Dayanımı Tayini

Sahadan alınan numuneler üzerinde kayanın mekanik davranışı hakkında genel bir bilgi edinmek amacıyla Nokta Yük Dayanım deneyleri yapılmış, deney sonucu elde edilen değerlerden dolayı olarak Tek Eksenli Basma Dayanımı ve Tek Eksenli Çekme Dayanımı değerleri tahmin edilmiştir. Elde edilen bulgular Tablo 4.16’da sunulmaktadır.

Tablo 4.16: Akyol Taşocağı nokta yükleme deney sonuçları.

Numune No	Çap (D) mm	YenilmeYükü (P)kN	Nokta Yük İndeksi (Is) (Mpa)	Düzeltilmiş N.Y.İ. (Is50)(Mpa)	T.E.B.D. (Mpa)	T.E.Ç.D. (Mpa)
1	32	5.62	5.49	4.4897	98.77	5.61
2	28	6.94	8.85	6.819115	150.02	8.52
3	36	6.42	4.95	4.272968	94.01	5.34
4	34	7.98	6.90	5.803287	127.67	7.25
5	38	9.71	6.72	5.94317	130.75	7.43
6	8	0.52	8.13	3.561864	78.36	4.45
7	33	5.79	5.32	4.41007	97.02	5.51
8	19	3.47	9.61	6.219062	136.82	7.77
9	22	2.69	5.56	3.841144	84.51	4.80
10	25	3.65	5.84	4.27513	94.05	5.34
ORTALAMA:				4,96	109.20	6.20

4.2.2. Haktaş Taşocağı Numuneleri Üzerinde Yapılan Laboratuar Çalışmaları

4.2.2.1. Yoğunluk Tayini

Alınan numuneler laboratuvarında, Yoğunluk Tayini deneyine tabi tutulmuştur. Yerinde yoğunluk deneyi için araziden alınan numuneler yerinde nemini kaybetmeden numune saklama poşetine konmuş, aynı gün içerisinde belirlenen ağırlık aralığındaki numuneler taşıma kabı ile yoğunluk tayini deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları tablo 4.17’de gösterilmektedir.

4.2.2.2. Ultrasonik Ses Geçirgenliği Deneyi

Sismik enerjinin belirlenmesinde ve kırılma enerjisinin belirlenmesinde kullanılacak P dalgasını belirlemek için ultrasonik ses geçirgenliği deneyi yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler Tablo 4.18’de özet olarak verilmiştir.

Tablo 4.17: Haktaş Taşocağı yoğunluk deneyi sonuçları.

Numune No	Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Yoğunluk (gr/cm ³)
1	45.2	15	3.01
2	47.3	19	2.49
3	72.8	28	2.60
4	81.2	32	2.54
5	80.3	30	2.68
6	102.2	39	2.62
7	78.4	29	2.70
8	33.3	11	3.03
9	98.6	38	2.59
10	67	23	2.91
Ort =			2.71

Tablo 4.18: Haktaş Taşocağı ultrasonik ses geçirgenliği deneyi sonuçları.

Numune No	Numune Boyu (mm)	Numune Çapı (mm)	t (ms)	v(m/s)
1	116.8	67	37.41	4370
2	103.4	67	50.87	5260
3	97.8	67	51.94	5080
4	102.5	67	48.58	4980
5	136.2	67	37.00	5040
6	80.7	67	62.70	5060
7	114.7	67	44.20	5070
8	101.5	67	50.25	5100
9	128.7	67	39.32	5060
Ort =				5005

4.2.2.3. Tokluk Dayanımı Tayini

Alınan numuneler laboratuvarında, tokluk dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucu elde edilen datalardan, tokluk dayanımı değeri literatürde bahsedilen eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.19’de verilmiştir.

4.2.2.4. Nokta Yük Dayanımı Tayini

Sahadan alınan numuneler üzerinde kayanın mekanik davranışı hakkında genel bir bilgi edinmek amacıyla Nokta Yük Dayanım deneyleri yapılmış, deney sonucu elde edilen değerlerden dolayı olarak Tek Eksenli Basma Dayanımı ve Tek Eksenli Çekme

Dayanımı değerleri tahmin edilmiştir. Elde edilen bulgular Tablo 4.20’de sunulmaktadır.

Tablo 4.19. Haktaş Taşocağı tokluk dayanımı deney sonuçları.

Numune No	Çentik Boy (m)	Numune Çapı (m)	F (kN)	K1C (MPa.m ^{1/2})
1	0.023	0.067	5.5	1.00
2	0.024	0.067	4	0.77
3	0.023	0.067	4.1	0.74
4	0.024	0.067	5.5	1.11
5-1	0.023	0.067	4.1	0.70
5-2	0.023	0.067	7.2	1.24
6	0.023	0.067	7.4	1.34
7	0.023	0.067	7.4	1.34
8	0.023	0.067	7.6	1.38
9	0.023	0.067	8.8	1.60
Ort =				1,12

Tablo 4.20: Haktaş Taşocağı nokta yük dayanımı deney sonuçları.

Numune No	Çap (D) mm	YenilmeYükü (P)kN	Nokta Yük İndeksi (Is) (Mpa)	Düzeltilmiş N.Y.İ. (Is50)(Mpa)	T.E.B.D. (Mpa)	T.E.Ç.D. (Mpa)
1	44	9.55	4.93	4.66	102.46	5.82
2	32	6.73	6.57	5.38	118.28	6.72
3	24	2.78	4.83	3.47	76.31	4.34
4	9	0.55	6.79	3.14	69.05	3.92
5	25	4.77	7.63	5.59	122.91	6.98
6	26	5.08	7.51	5.60	123.18	7.00
7	17	4.31	14.91	9.18	201.91	11.47
8	21	3.24	7.35	4.97	109.39	6.22
9	29	3.4	4.04	3.16	69.61	3.95
10	17	2.91	10.07	6.20	136.33	7.75
ORTALAMA:				5.13	112.94	6.42

4.2.3. Akdağlar Taşocağı Numuneleri Üzerinde Yapılan Laboratuvar Çalışmaları

4.2.3.1. Yoğunluk Tayini

Alınan numuneler laboratuvarında, Yoğunluk Tayini deneyine tabi tutulmuştur. Yerinde yoğunluk deneyi için araziden alınan numuneler yerinde nemini kaybetmeden numune saklama poşetine konmuş, aynı gün içerisinde belirlenen ağırlık aralığındaki numuneler taşıma kabı ile yoğunluk tayini deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları tablo 4.21’de gösterilmektedir.

Tablo 4.21: Akdağlar Taşocağı yoğunluk deneyi sonuçları.

Numune No	Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Yoğunluk (gr/cm ³)
1	46.5	19	2.45
2	70	29	2.41
3	91.6	32	2.86
4	60.7	22	2.76
5	71.5	29	2.46
6	75.7	30	2.52
7	74.8	30	2.49
8	52.5	22	2.39
9	94	38	2.47
10	52.4	20	2.62
Ort=			2,54

4.2.3.2. Ultrasonik Ses Geçirgenliği Deneyi

Sismik enerjinin belirlenmesinde ve kırılma enerjisinin belirlenmesinde kullanılacak P dalgasını belirlemek için ultrasonik ses geçirgenliği deneyi yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler Tablo 4.22’de özet olarak verilmiştir.

4.2.3.3. Tokluk Dayanımı Tayini

Alınan numuneler laboratuvarında, tokluk dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucu elde edilen datalardan, tokluk dayanımı değeri literatürde bahsedilen eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.23’de verilmiştir.

Tablo 4.22: Akdağlar Taşocağı ultrasonik ses geçirgenliği deneyi sonuçları.

Numune No	Numune Boyu (mm)	Numune Çapı (mm)	t (ms)	v(m/s)
1	77.7	67	56.11	4360
2	110	67	36.09	3970
3	135.6	67	31.93	4330
4	106.3	67	38.85	4130
5	82.7	67	53.08	4390
6	105.6	67	41.67	4400
7	42.5	67	74.35	3160
8	54.4	67	72.98	3970
9	139.4	67	31.13	4340
			Ort =	4116,67

Tablo 4.23: Akdağlar Taşocağı tokluk dayanımı deney sonuçları.

Numune No	Çentik Boy (m)	Numune Çapı (m)	F (kN)	K _{1C} (MPa.m ^{1/2})
1	0.0235	0.067	4.5	1.25
2	0.024	0.067	7.6	2.22
3	0.0235	0.067	6.5	1.80
4	0.026	0.067	7.6	2.76
5	0.023	0.067	2.5	0.66
7	0.023	0.067	1.9	0.50
8	0.024	0.067	2.4	0.70
9-1	0.023	0.067	1.8	0.47
9-2	0.023	0.067	4.9	1.28
10	0.023	0.067	10.3	2.70
			Ort =	1,43

4.2.3.4. Nokta Yük Dayanımı Tayini

Sahadan alınan numuneler üzerinde kayanın mekanik davranışı hakkında genel bir bilgi edinmek amacıyla Nokta Yük Dayanım deneyleri yapılmış, deney sonucu elde edilen değerlerden dolayı olarak Tek Eksenli Basma Dayanımı ve Tek Eksenli Çekme Dayanımı değerleri tahmin edilmiştir. Elde edilen bulgular Tablo 4.24'te sunulmaktadır.

Tablo 4.24: Akdağlar Taşocağı nokta yük dayanımı deney sonuçları.

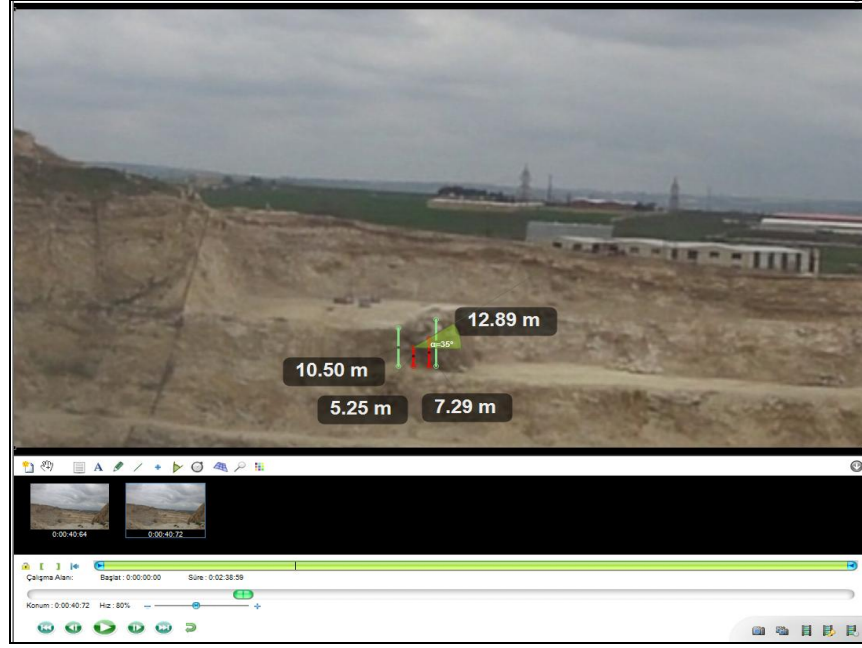
Numune No	Çap (D) mm	YenilmeYükü (P)kN	Nokta Yük İndeksi (Is) (Mpa)	Düzeltilmiş N.Y.İ. (Is50)(Mpa)	T.E.B.D. (Mpa)	T.E.Ç.D. (Mpa)
1	36	4.83	3.73	3.21	70.72	4.02
2	35	9.53	7.78	6.63	145.77	8.28
3	25	5.52	8.83	6.47	142.24	8.08
4	25	8.47	13.55	9.92	218.25	12.40
5	25	4.38	7.01	5.13	112.86	6.41
6	30	5.28	5.87	4.66	102.56	5.83
7	32	4.88	4.77	3.90	85.77	4.87
8	16	3.64	14.22	8.51	187.33	10.64
9	32	3.44	3.36	2.75	60.46	3.44
10	28	6.29	8.02	6.18	135.97	7.73
ORTALAMA:				5.74	126.19	7.17

4.3. ENERJİ BÖLÜŞÜMLERİNİN ANALİZİ

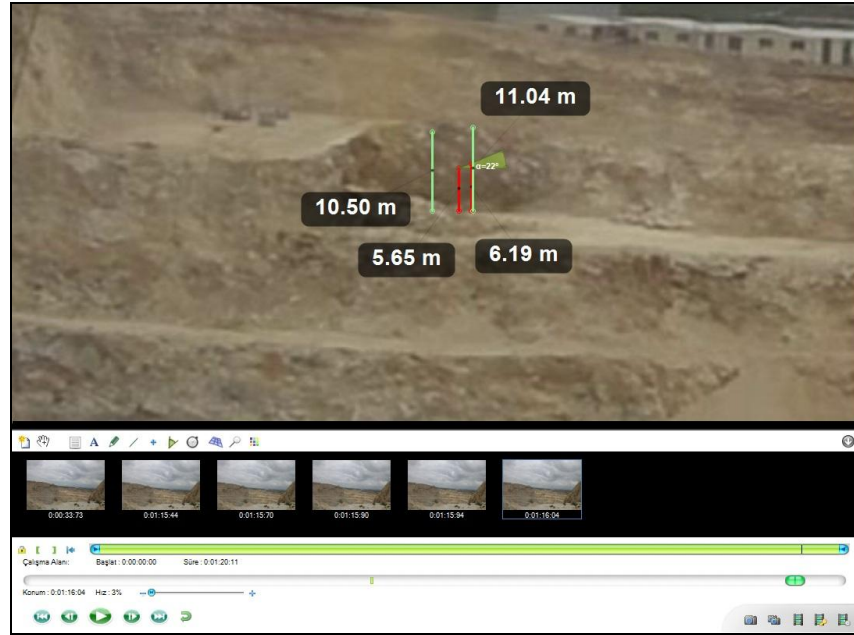
4.3.1. Kinetik Enerjinin Belirlenmesi

4.3.1.1. Akyol Taşocağında Kinetik Enerjinin Belirlenmesi

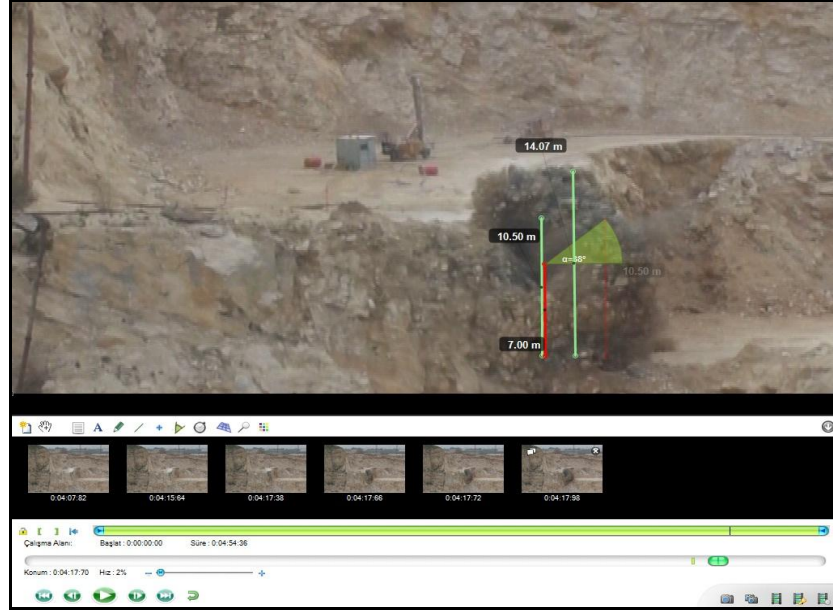
25 Nisan, 3 Mayıs ve 3 Haziran 2011 tarihlerinde izlenen atımlara ait yüksek çözünürlüklü video kamera ile alınan görüntü kayıtları Kinovea programı ile analiz edilerek kinetik enerji hesabına baz olacak veriler üretilmiştir (Şekil 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12).



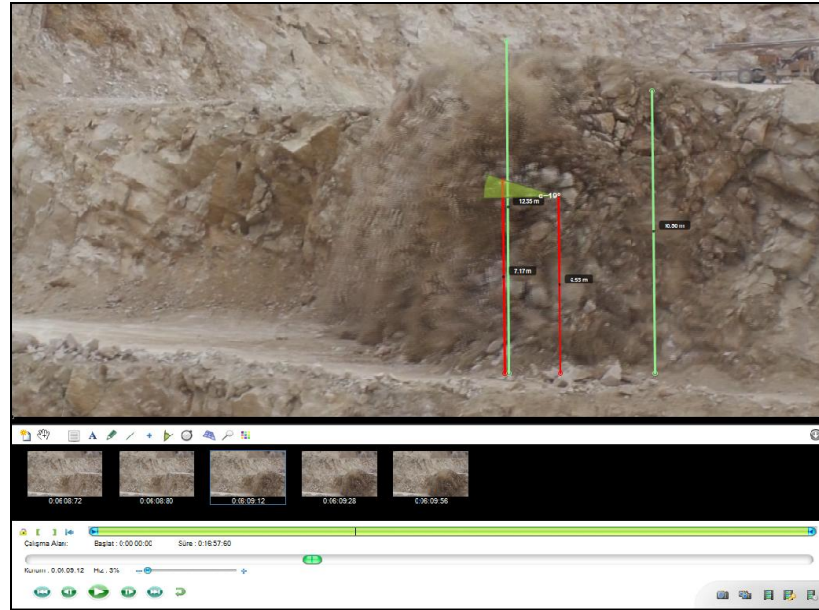
Şekil 4.9: Patlatma esnasında yığın hareketi (Akyol taşocağı atım no:2).



Şekil 4.10: Patlatma esnasında yığın hareketi (Akyol taşocağı atım no: 3).



Şekil 4.11: Patlatma esnasında yığın hareketi (Akyol taşocağı atım no:8)



Şekil 4.12: Patlatma esnasında yığın hareketi (Akyol taşocağı atım no: 10)

Analiz sonucu elde edilen hız, süre ve hareket düzlemi açısı bulguları literatürde bahsedilen eğik atış ilk hız formülünde yerine konularak kinetik enerji formülünde kullanılacak ilk hız değeri bulunmuştur. Atımlara ait bulunan mesafe süre ve hız bilgileri Tablo 4.25’de özet olarak verilmiştir.

Tablo 4.25: İzlenen atımlara ait mesafe süre ve hız bilgileri.

Atım No	t (sn)	h (m)	V _{oy}	α	V _o
2	0.25	2.03	9.346	35	16.29
3	0.18	0.54	3.88	22	10.37
8	0.41	3.5	10.54	16	18.76
10	0.41	0.64	3.57	19	12.15

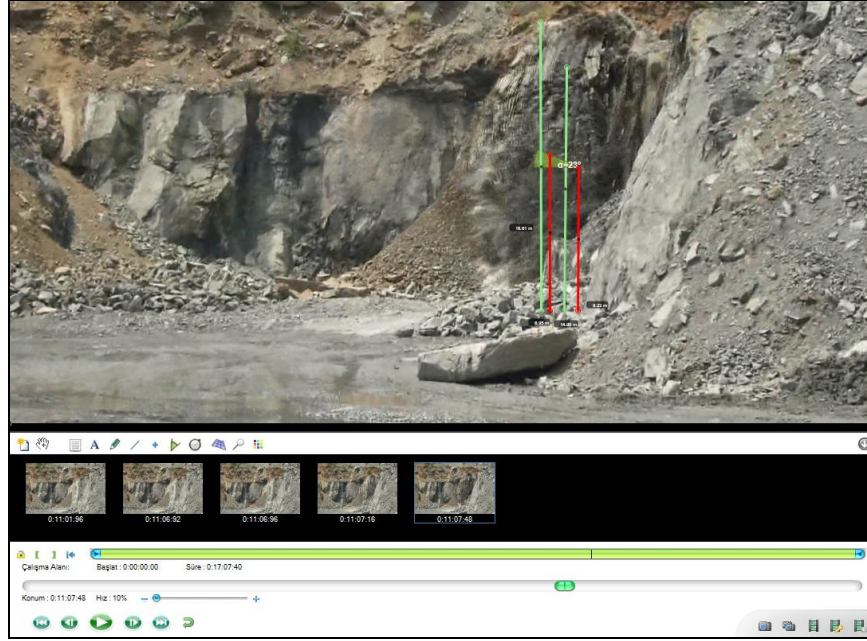
Elde edilen hız bilgileri, laboratuvar deneyleri ve atım paterninden elde edilen geometrik bilgiler kullanılarak literatürde bahsedilen kinetik enerji formülü ile kinetik enerji miktarı tespit edilmiştir. Tespit edilen bilgiler Tablo 4.26’da özet olarak sunulmuştur.

Tablo 4.26: İzlenen atımlarda tespit edilen kinetik enerji miktarları.

Atım No	V (BxSxHxn) (m3)	ρ (ton/m ³)	m (ton)	Ek (Mj)	Ek (Mj/delik)
2	688.90	2.57	1770.49	234.91	26.10
3	459.27	2.57	1180.32	63.46	10.58
8	546.00	2.57	1403.22	246.92	18.99
10	688.90	2.57	1770.49	130.68	14.52

4.3.1.2. Haktaş Taşocağında Kinetik Enerjinin Belirlenmesi

1 Haziran 2011 tarihinde izlenen atıma ait yüksek çözünürlüklü video kamera ile alınan görüntü kayıtlarının Kinovea programı ile analiz edilmiştir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13: Patlatma esnasında yığın hareketi (Haktaş taşocağı atım no:1).

Analiz sonucu elde edilen hız, süre ve hareket düzlemi açısı bulguları literatürde bahsedilen eğik atış ilk hız formülünde yerine konularak kinetik enerji formülünde kullanılacak ilk hız değeri bulunmuştur. Atımlara ait bulunan mesafe süre ve hız bilgileri Tablo 4.27’de özet olarak verilmiştir.

Tablo 4.27: İzlenen atıma ait mesafe süre ve hız bilgileri.

Atım No	t (sn)	h (m)	V_{oy}	α	V_o
1	0.18	0.72	4.88	22	13.03

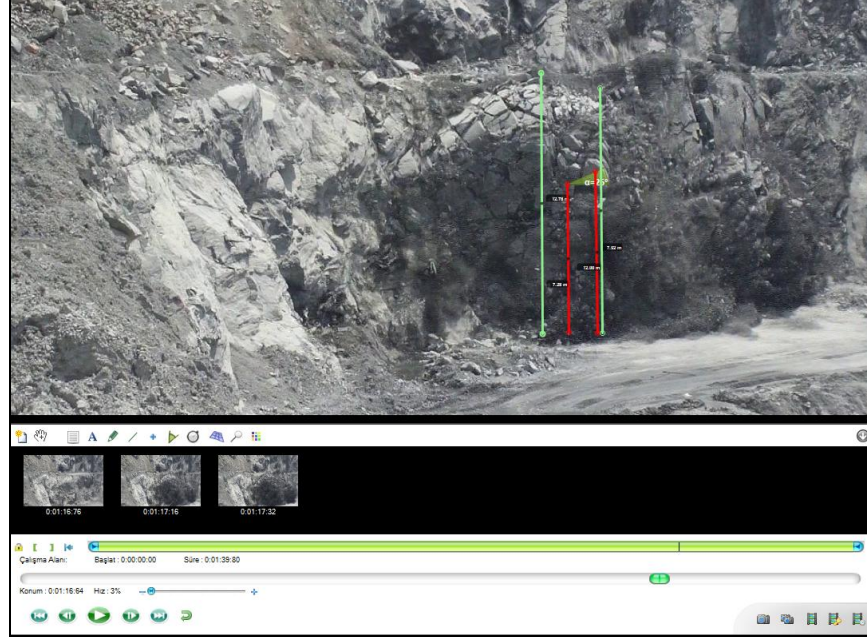
Elde edilen hız bilgileri, laboratuvar deneyleri ve atım paterninden elde edilen geometrik bilgiler kullanılarak literatürde bahsedilen kinetik enerji formülü ile kinetik enerji miktarı tespit edilmiştir. Tespit edilen bilgiler Tablo 4.28’te özet olarak sunulmuştur.

Tablo 4.28: İzlenen atımlarda tespit edilen kinetik enerji miktarları.

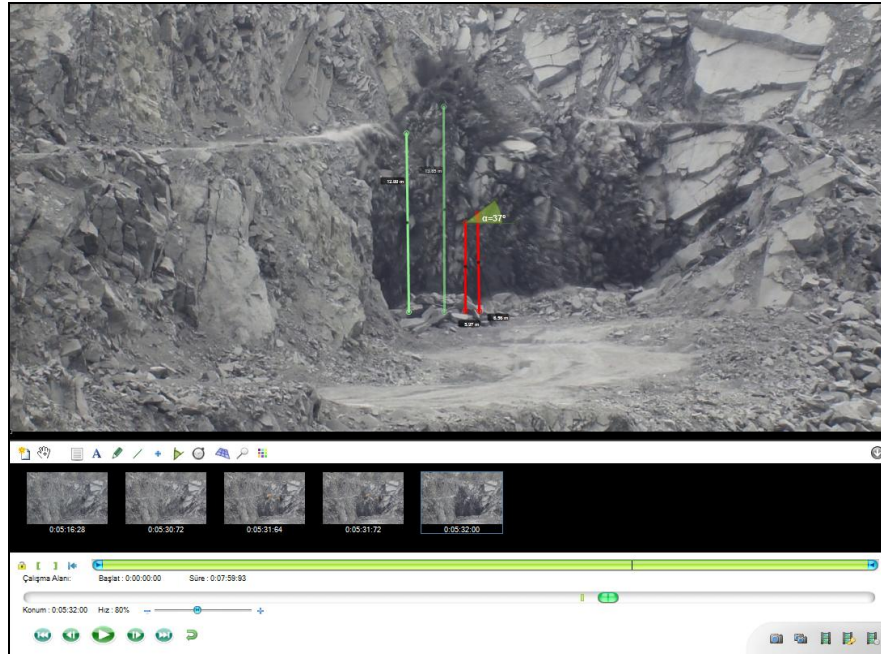
Atım No	V (BxSxHxn) (m ³)	ρ (ton/m ³)	m (ton)	E_k (Mj)	E_k (Mj/delik)
1	630	2.71	1707.3	145.0441	18.13

4.3.1.3. Akdağlar Taşocağında Kinetik Enerjinin Belirlenmesi

27 ve 31 Mayıs 2011 tarihinde izlenen atıma ait yüksek çözünürlüklü video kamera ile alınan görüntü kayıtlarının Kinovea programı ile analiz edilmiştir (Şekil 4.14 ve 4.15).



Şekil 4.14: Patlatma esnasında yığın hareketi (Akdağlar taşocağı atım no:1).



Şekil 4.15: Patlatma esnasında yığın hareketi (Akdağlar taşocağı atım no:3).

Analiz sonucu elde edilen hız ve süre bulduları literatürde bahsedilen eğik atış ilk hız formülünde yerine konularak kinetik enerji formülünde kullanılacak ilk hız değeri

bulunmuştur. Atımlara ait bulunan mesafe süre ve hız bilgileri Tablo 4.29’da özet olarak verilmiştir.

Tablo 4.29: İzlenen atımlara ait mesafe süre ve hız bilgileri.

Atım No	t (sn)	h (m)	V _{oy}	α	V _o
1	0.2	0.66	4.28	25	10.13
2	0.15	0.59	4.67	36	7.94

Elde edilen hız bilgileri, laboratuvar deneyleri ve atım paterninden elde edilen geometrik bilgiler kullanılarak literatürde bahsedilen kinetik enerji formülü ile kinetik enerji miktarı tespit edilmiştir. Tespit edilen bilgiler Tablo 4.30’da özet olarak sunulmuştur.

Tablo 4.30: İzlenen atımlarda tespit edilen kinetik enerji miktarları.

Atım No	V (BxSxHxn) (m ³)	ρ (ton/m ³)	m (ton)	E (Mj)	E (Mj/delik)
1	675	2.54	1715	87,96	9,78
2	1050	2.54	2667	84,06	6.00

4.3.2. Kırılma Enerjisinin Belirlenmesi

Kırılma enerjisi belirlenirken, tokluk dayanımı, P dalga hızı, numunelerin geometrik parametreleri ve split desktop programından sayısal görüntü işleme tekniği ile elde edilne parça boyut dağılım değerleri kullanılmıştır. Elde edilen veriler literatürde verilen eşitliklerde kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu kademelerde yapılan çalışmalar aşağıda izah edilmektedir.

Atımları izlenen taşocaklarında, ocağın genel parça boyut dağılımını belirlemek için çapı bilinen dairesel bir cisimle (22 cm) patlatma sonrası oluşan yığının çeşitli yönlerinden (sol, orta ve sağ) fotoğraflar alınmış ve bu görüntüler programa aktarılmıştır. Girilen bu bilgiler ile parça boyut dağılımı split desktop programı ile tahmin edilmiştir. Analiz sonrası elde edilen bilgiler ileriki bölümlerde açıklanmıştır.

4.3.2.1. Akyol Taşocağında Atım Sonrası Parça Boyut Dağılımının Belirlenmesi

İzlenen atımlarda sayısal görüntü işleme tekniği ile parça boyut dağılımı belirlenmiştir. Aşağıda sırasıyla 25 Nisan, 3 Mayıs ve 3 Haziran 2011 tarihlerinde izlenen atımların

parça boyut dağılım analizi aşamaları gösterilmektedir. Şekil 4.16, 4.21, 4.26 ve 4.31’de atım sonrası yığının üç ayrı yönünden ölçek (22 cm çapında 2 adet futbol topu) ile alınan fotoğraflar; Şekil 4.17, 4.22, 4.27 ve 4.32’de alınan fotoğrafların Split Desktop programıyla dönüştürülmüş görüntü işleme öncesi hali, Şekil 4.18, 4.23, 4.28 ve 4.33’de sayısal görüntü işleme sonrası hali, Şekil 4.19, 4.24, 4.29 ve 4.34’te işlenmiş fotoğrafların parça boyut analizi, Şekil 4.20, 4.25, 4.30 ve 4.35’te ise yığının farklı bölgelerinden alınmış fotoğraflardan elde edilmiş parça boyut dağılımlarının toplu olarak değerlendirilmesi gösterilmektedir.

Kuz-Ram modeline göre yapılmış analiz sonrası elde edilen dağılım sınıflarına göre parça boyut dağılımları Tablo 4.31, 4.32, 4.33 ve 4.34’te özetlenmiştir.

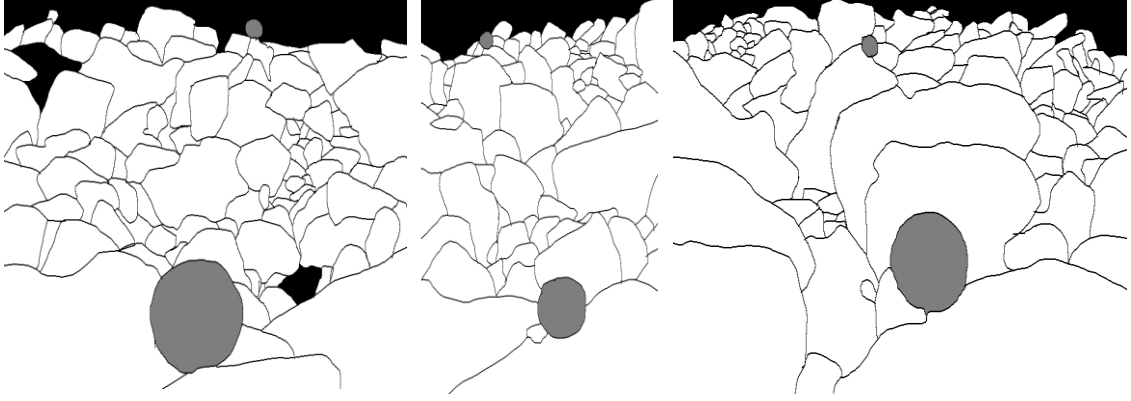
25 Nisan 2011 Tarihinde Yapılan 1 Numaralı Atım: yapılan atıma ait alınan 3 adet fotoğraf ve bu fotoğrafların Split Desktop programı ile sayısal görüntü analizi aşağıda gösterilmektedir.



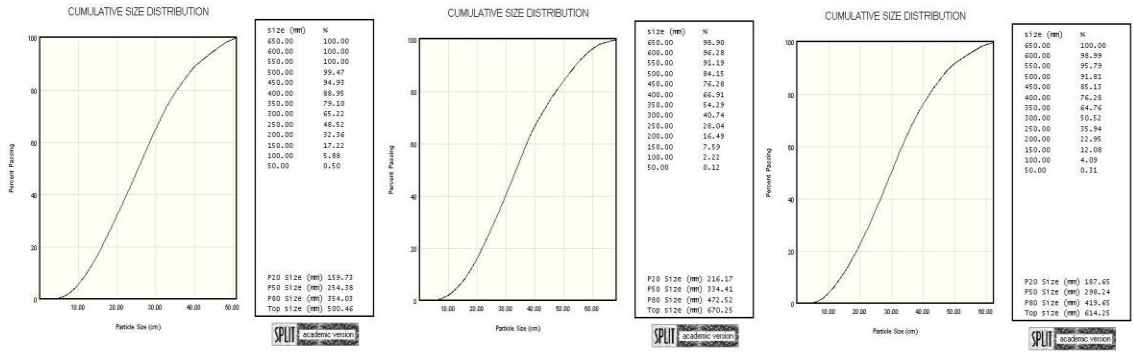
Şekil 4.16: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğraflar (Akyol taşocağı atım no: 2).



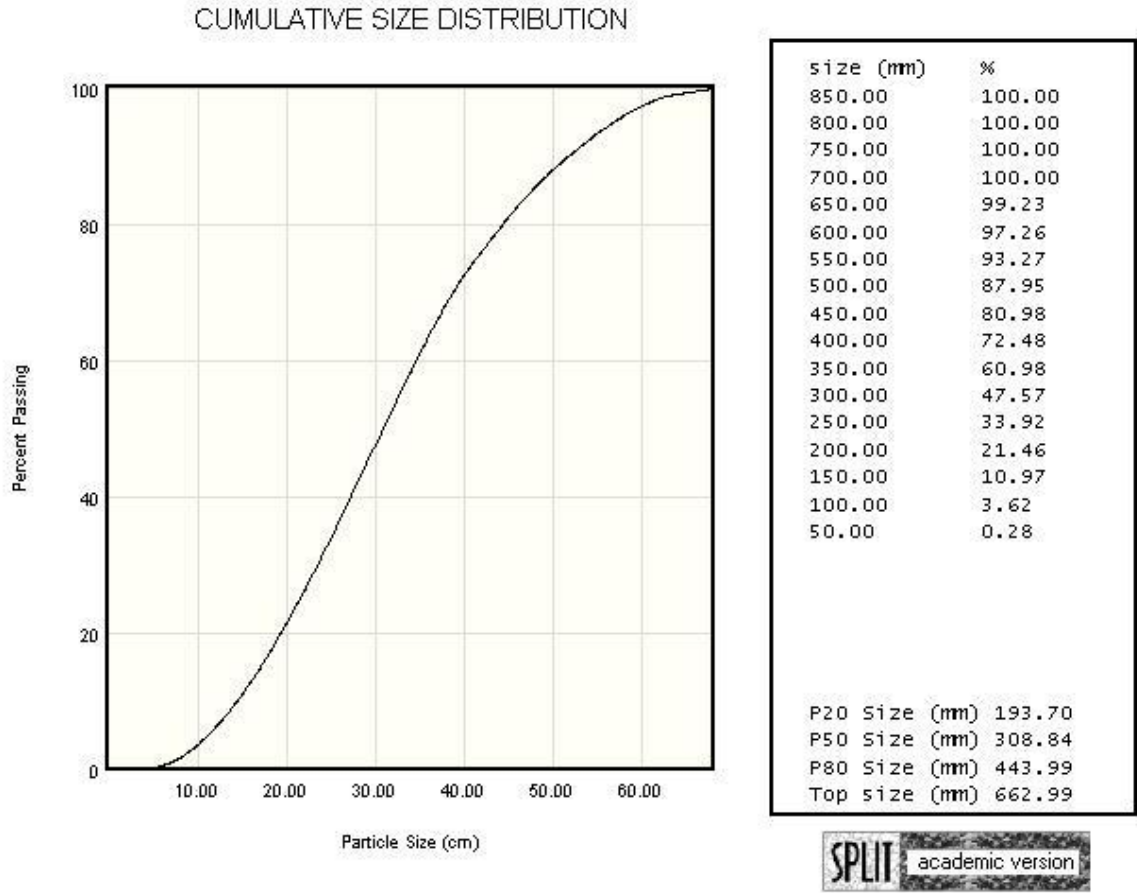
Şekil 4.17: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların gray-scale görüntüleri (Akyol taşocağı atım no: 2).



Şekil 4.18: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların Split Desktop programı ile işlenmiş görünümü (Akyol taşocağı atım no: 2).



Şekil 4.19: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların kümülatif parça boyut dağılımları (Akyol taşocağı atım no:2).



Şekil 4.20: Yığının kümülatif parça boyut dağılımı (Akyol taşocağı atım no:2).

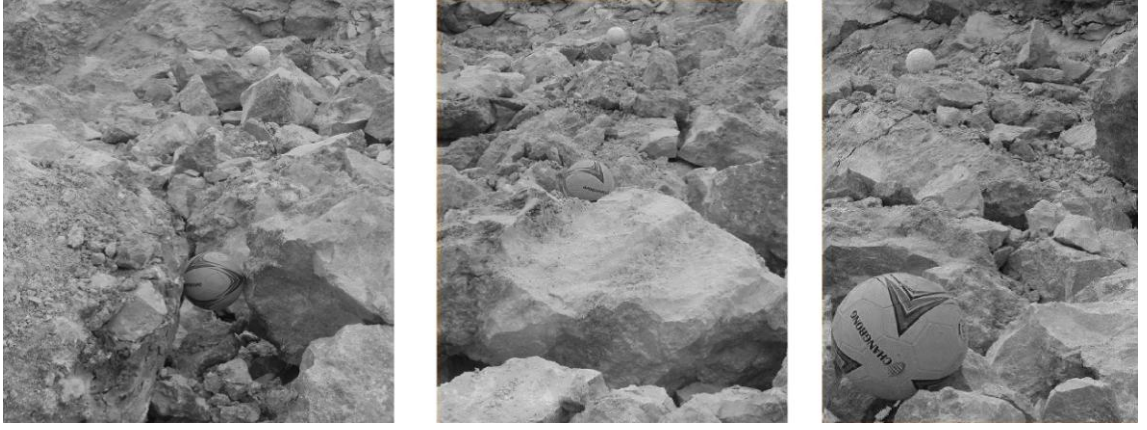
Tablo 4.31: Parça boyut dağılım analizi (Akyol taşocağı atım no:2).

Dağılım Sınıfı	Parça Boyutu (mm)
P20	193.7
P50	308.84
P80	443.99
En büyük parça	662.99

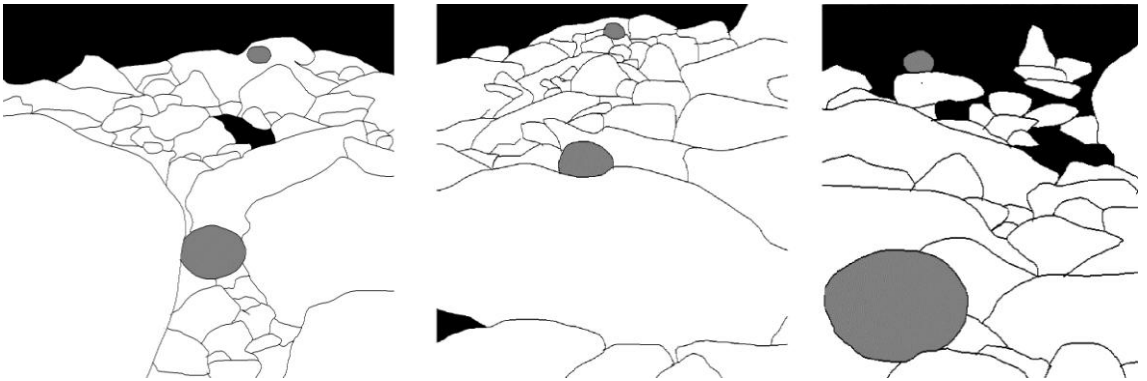
25 Nisan 2011 Tarihinde Yapılan 2 Numaralı Atım: yapılan atıma ait alınan 3 adet fotoğraf ve bu fotoğrafların Split Desktop programı ile sayısal görüntü analizi aşağıda gösterilmektedir.



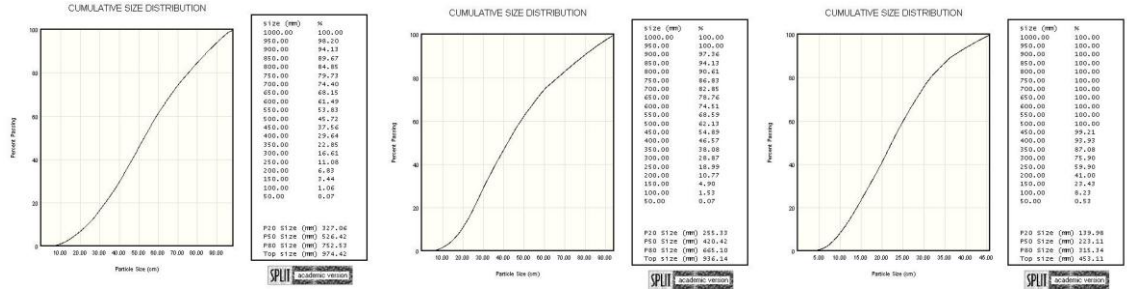
Şekil 4.21: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğraflar (Akyol taşocağı atım no: 3).



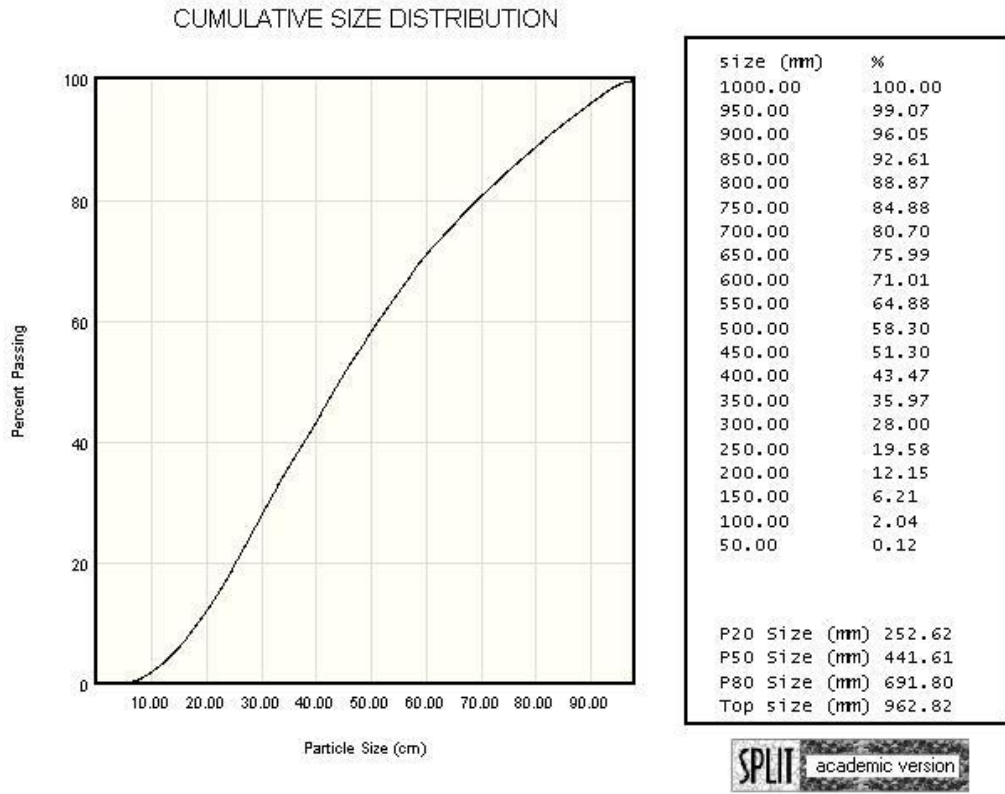
Şekil 4.22: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların gray-scale görüntüleri (Akyol taşocağı atım no: 3).



Şekil 4.23: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların Split Desktop programı ile işlenmiş görünümü (Akyol taşocağı atım no: 3).



Şekil 4.24: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların kümülatif parça boyut dağılımları (Akyol taşocağı atım no:3).



Şekil 4.25: Yığının kümülatif parça boyut dağılımı (Akyol taşocağı atım no: 3).

Tablo 4.32: Parça boyut dağılım analizi (Akyol taşocağı atım no: 3).

Dağılım Sınıfı	Parça Boyutu (mm)
P20	252.62
P50	441.61
P80	691.8
En büyük parça	962.82

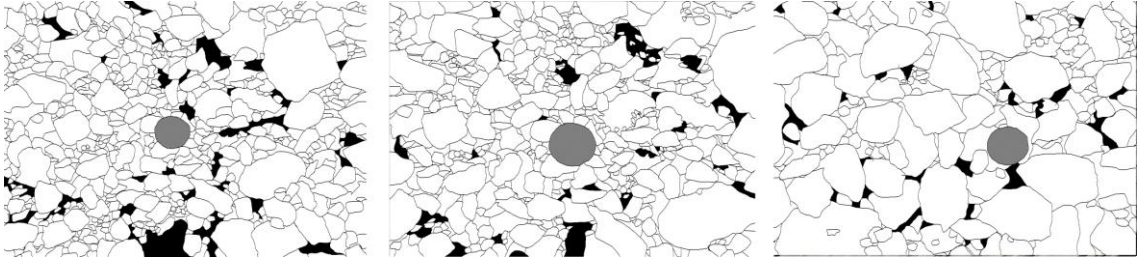
3 Mayıs 2011 Tarihinde Yapılan 8 Numaralı Atım: yapılan atıma ait alınan 3 adet fotoğraf ve bu fotoğrafların Split Desktop programı ile sayısal görüntü analizi aşağıda gösterilmektedir.



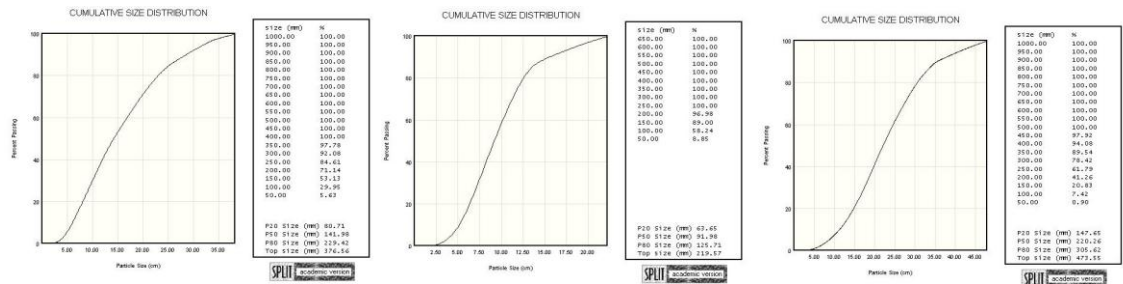
Şekil 4.26: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğraflar (Akyol taşocağı atım no: 8).



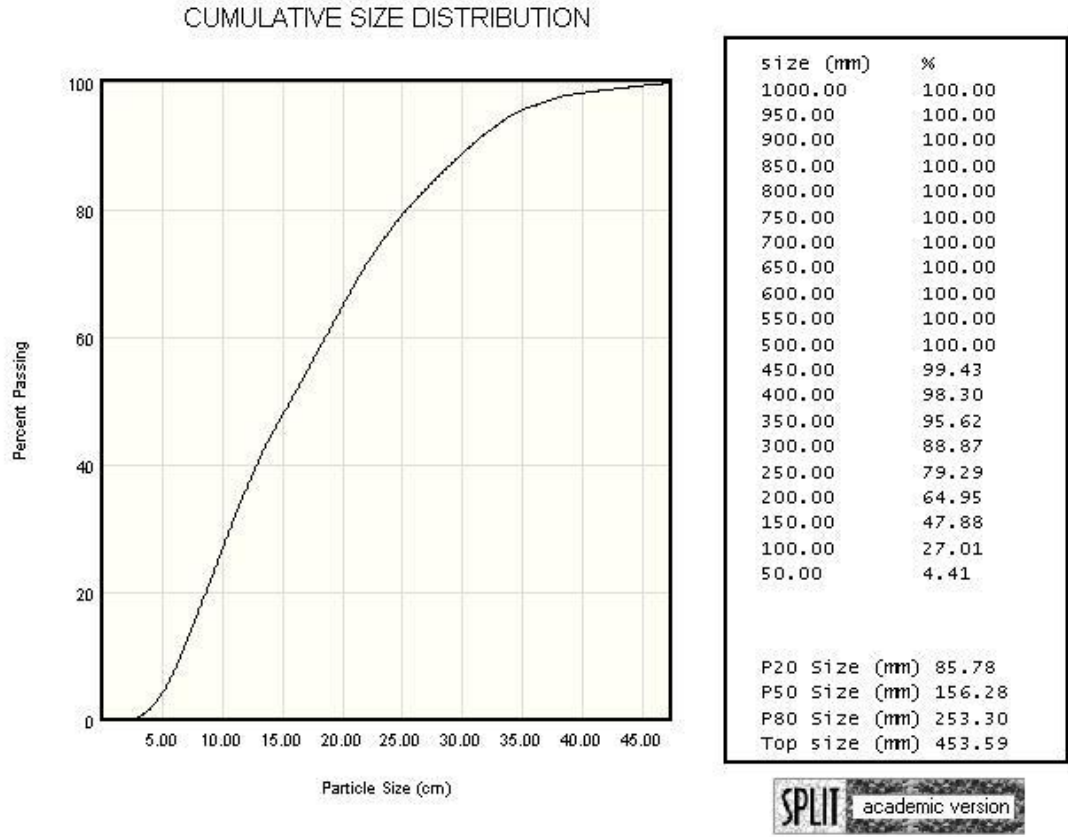
Şekil 4.27: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların gray-scale görüntüleri (Akyol taşocağı atım no: 8).



Şekil 4.28: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların Split Desktop programı ile işlenmiş görünümü (Akyol taşocağı atım no: 8).



Şekil 4.29: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların kümülatif parça boyut dağılımları (Akyol taşocağı atım no:8).



Şekil 4.30: Yığının kümülatif parça boyut dağılımı (Akyol taşocağı atım no:8).

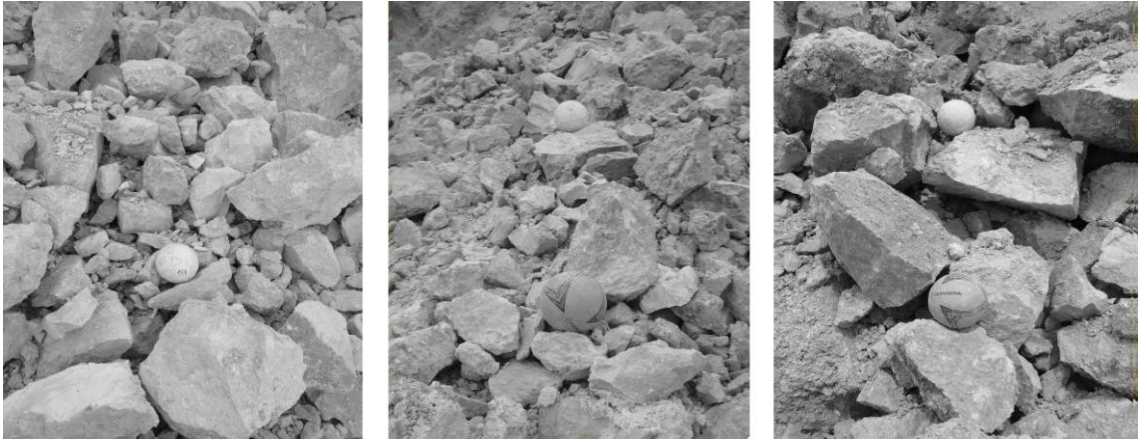
Tablo 4.33: Parça boyut dağılım analizi (Akyol taşocağı atım no:8).

Dağılım Sınıfı	Parça Boyutu (mm)
P20	85.87
P50	156.28
P80	253.3
En büyük parça	453.59

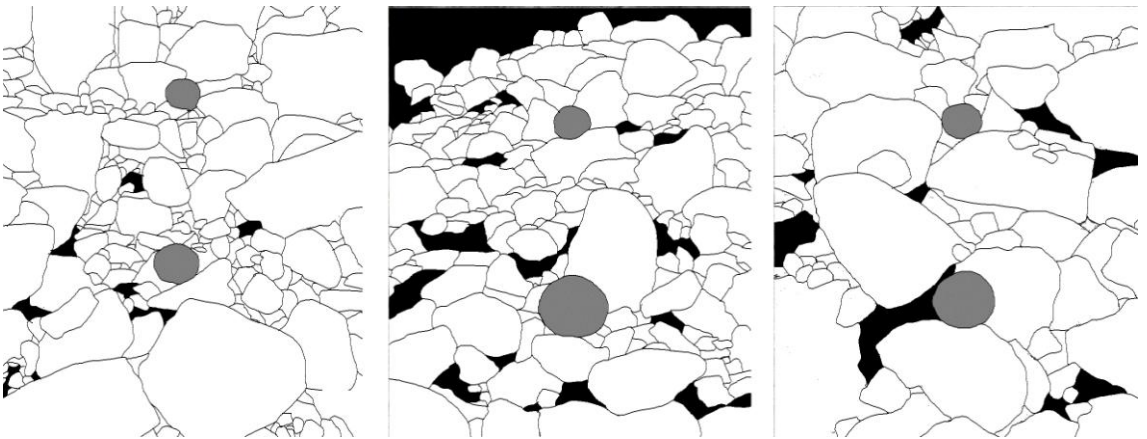
3 Haziran 2011 Tarihinde Yapılan 2 Numaralı Atım: yapılan atıma ait alınan 3 adet fotoğraf ve bu fotoğrafların Split Desktop programı ile sayısal görüntü analizi aşağıda gösterilmektedir.



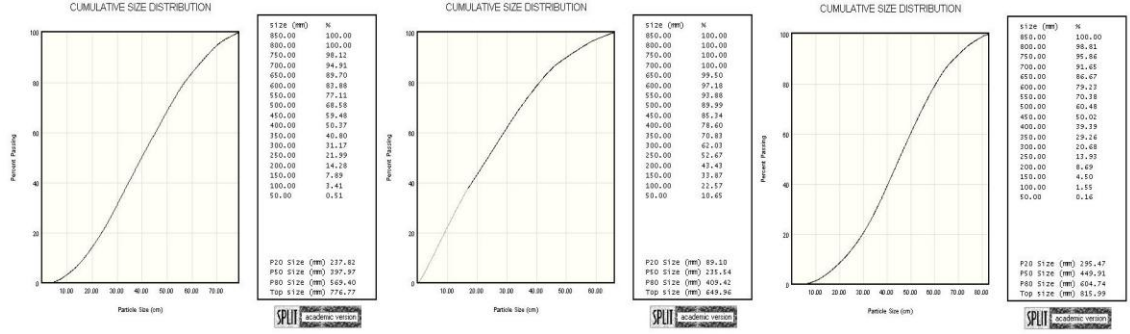
Şekil 4.31: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğraflar (Akyol taşocağı atım no: 10).



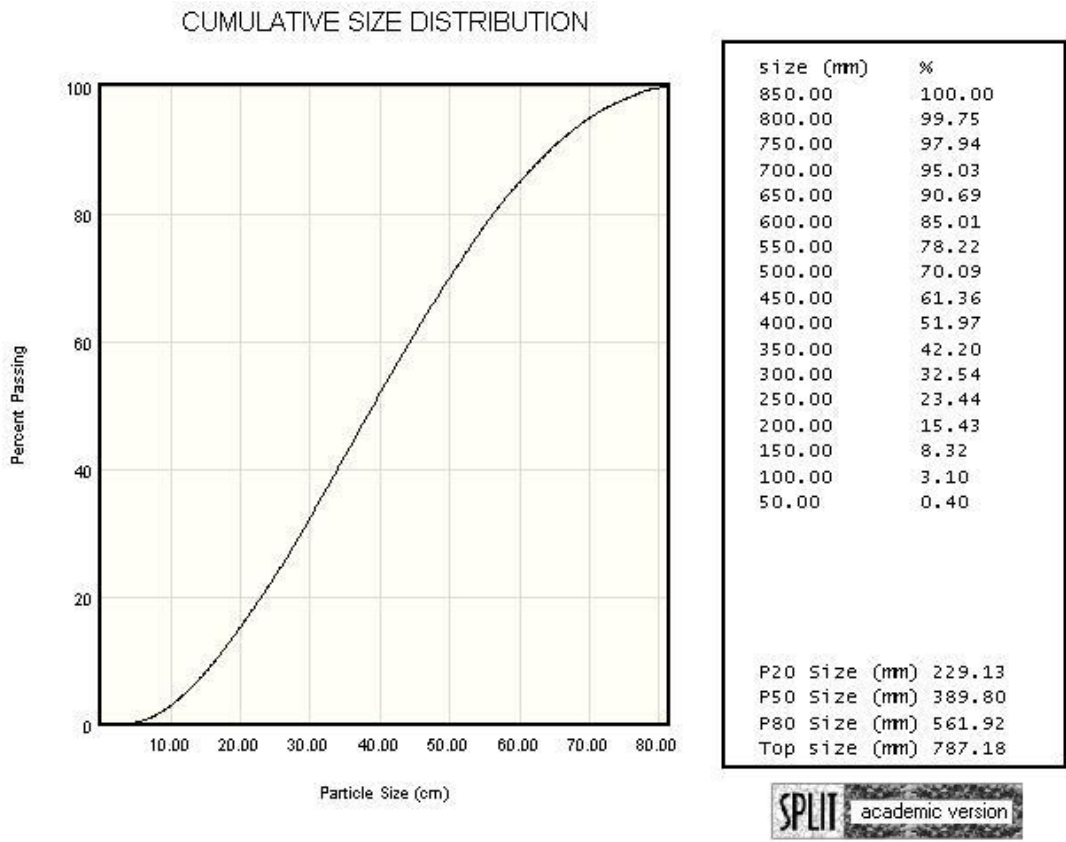
Şekil 4.32: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların gray-scale görüntüleri (Akyol taşocağı atım no: 10).



Şekil 4.33: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların Split Desktop programı ile işlenmiş görünümü (Akyol taşocağı atım no: 10).



Şekil 4.34: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların kümülatif parça boyut dağılımları (Akyol taşocağı atım no:10).



Şekil 4.35: Yığının kümülatif parça boyut dağılımı (Akyol taşocağı atım no:10).

Tablo 4.34: Parça boyut dağılım analizi (Akyol taşocağı atım no:10).

Dağılım Sınıfı	Parça Boyutu (mm)
P20	229.13
P50	389.80
P80	561.92
En büyük parça	787.18

4.3.2.2. *HaktaşTaşocağında Atım Sonrası Parça Boyut Dağılımının Belirlenmesi*

İzlenen atımda sayısal görüntü işleme tekniği ile parça boyut dağılımı belirlenmiştir. Aşağıda 1 Haziran 2011 tarihinde izlenen atımların parça boyut dağılım analizi açıklanmıştır. Şekil 4.36'da atım sonrası yığının üç ayrı yönünden ölçek (22 cm çapında 2 adet futbol topu) ile alınan fotoğraflar; Şekil 4.37'de alınan fotoğrafların Split Desktop programıyla dönüştürülmüş görüntü işleme öncesi hali, Şekil 4.38'de sayısal görüntü işleme sonrası hali, Şekil 4.39'da işlenmiş fotoğrafların parça boyut analizi, Şekil 4.40'ta ise yığının farklı bölgelerinden alınmış fotoğraflardan elde edilmiş parça boyut dağılımlarının toplu olarak değerlendirilmesi gösterilmektedir.

Kuz-Ram modeline göre yapılmış analiz sonrası elde edilen veriler Tablo 4.35'te özetlenmiştir.

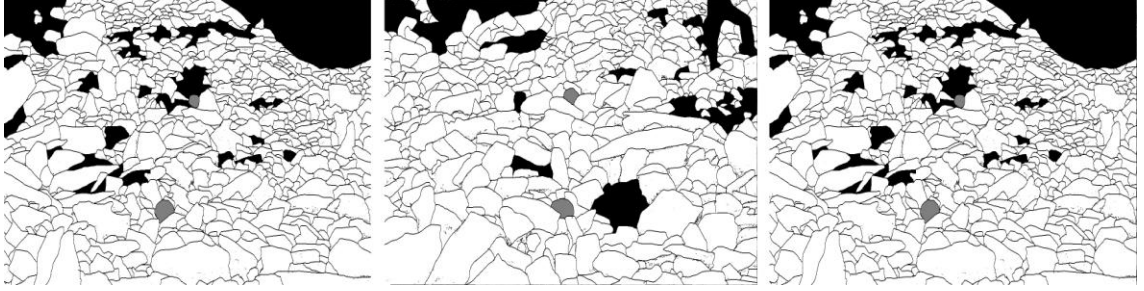
1 Haziran 2011 Tarihinde Yapılan 1 Numaralı Atım: yapılan atıma ait alınan 3 adet fotoğraf ve bu fotoğrafların Split Desktop programı ile sayısal görüntü analizi aşağıda gösterilmektedir.



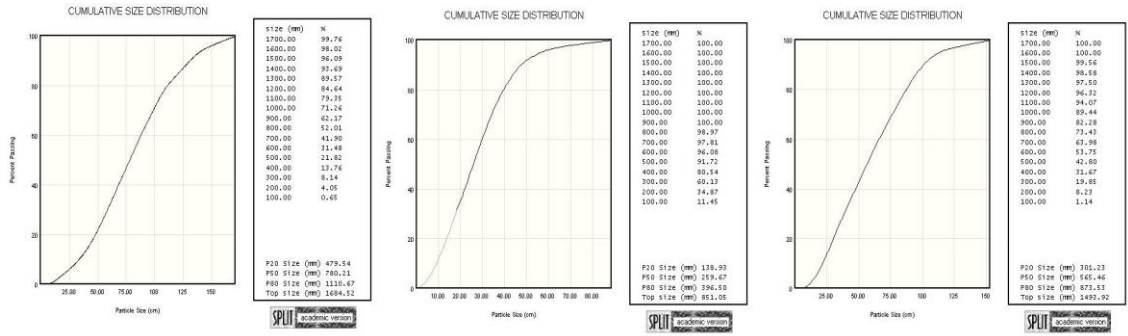
Şekil 4.36: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğraflar (Haktaş taşocağı atım no: 1).



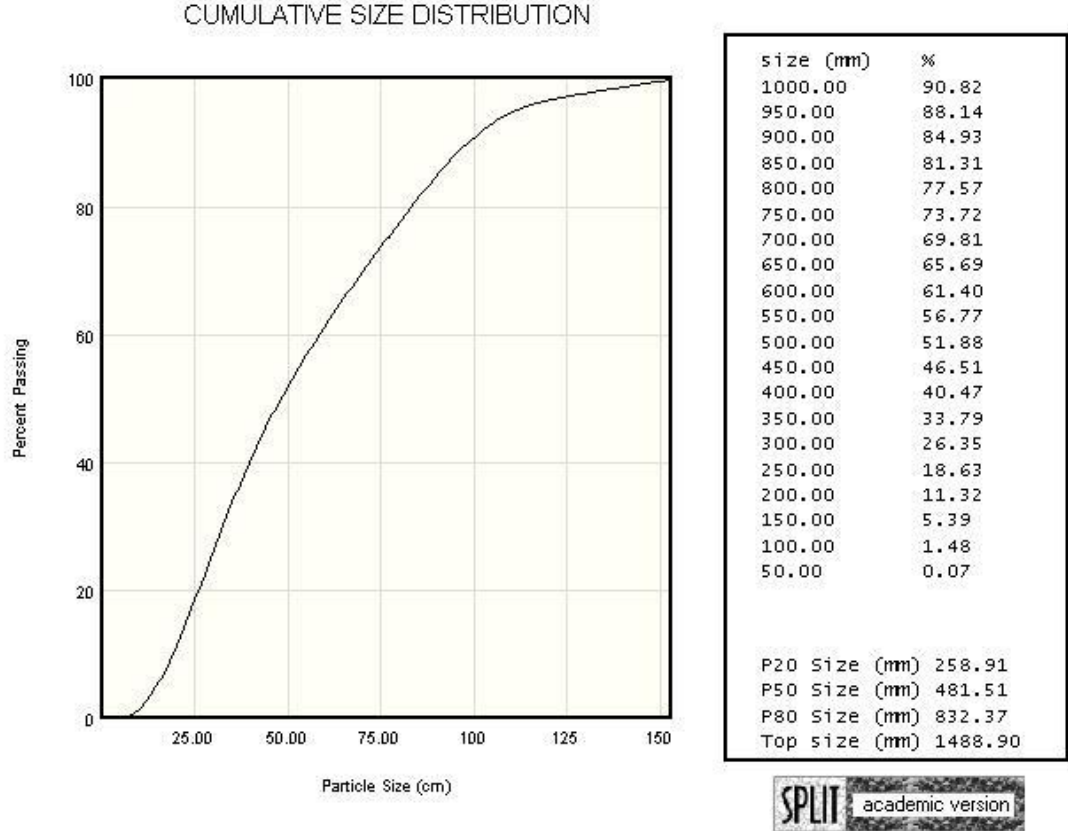
Şekil 4.37: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların gray-scale görüntüleri (Haktaş taşocağı atım no: 1).



Şekil 4.38: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların Split Desktop programı ile işlenmiş görünümü (Haktaş taşocağı atım no: 1).



Şekil 4.39: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların kümülatif parça boyut dağılımları (Haktaş taşocağı atım no:1).



Şekil 4.40: Yığının kümülatif parça boyut dağılımı (Haktaş taşocağı atım no:1).

Tablo 4.35: Parça boyut dağılım analizi (Haktaş taşocağı atım no:1).

Dağılım Sınıfı	Parça Boyutu (mm)
P20	258.91
P50	481.51
P80	832.37
En büyük parça	1448.9

4.3.2.3. Akdağlar Taşocağında Atım Sonrası Parça Boyut Dağılımının Belirlenmesi

İzlenen atımlarda sayısal görüntü işleme tekniği ile parça boyut dağılımı belirlenmiştir. Aşağıda sırasıyla 27 Mayıs ve 31 Mayıs 2011 tarihlerinde izlenen atımların parça boyut dağılım analizi açıklanmıştır. Şekil 4.41 ve 4.46’da atım sonrası yığının üç ayrı yönünden ölçek (22 cm çapında 2 adet futbol topu) ile alınan fotoğraflar; Şekil 4.42 ve 4.47’de alınan fotoğrafların Split Desktop programıyla dönüştürülmüş görüntü işleme öncesi hali, Şekil 4.43 ve 4.48’de sayısal görüntü işleme sonrası hali, Şekil 4.44 ve 4.49’da işlenmiş fotoğrafların parça boyut analizi, Şekil 4.50’de ise yığının farklı bölgelerinden alınmış fotoğraflardan elde edilmiş parça boyut dağılımlarının toplu olarak değerlendirilmesi gösterilmektedir.

Kuz-Ram modeline göre yapılmış analiz sonrası elde edilen veriler Tablo4.36 ve 4.37’de özetlenmiştir.

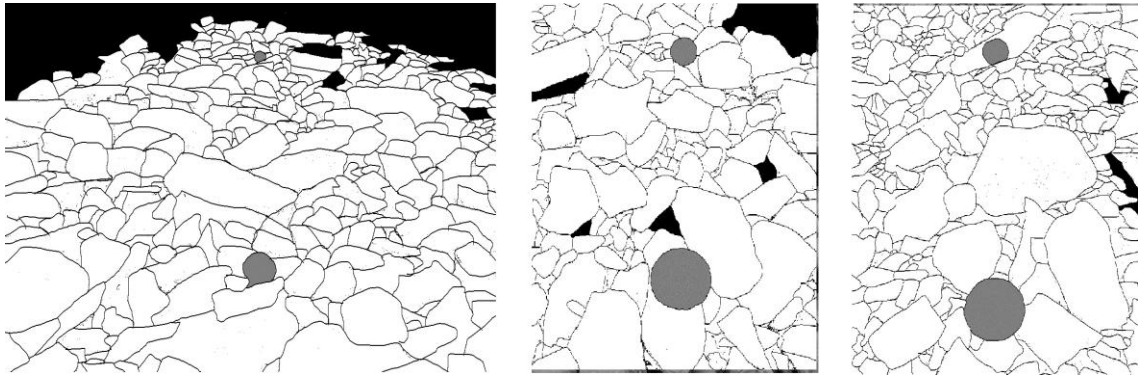
27 Mayıs 2011 Tarihinde Yapılan 1 Numaralı Atım: yapılan atıma ait alınan 3 adet fotoğraf ve bu fotoğrafların Split Desktop programı ile sayısal görüntü analizi aşağıda gösterilmektedir.



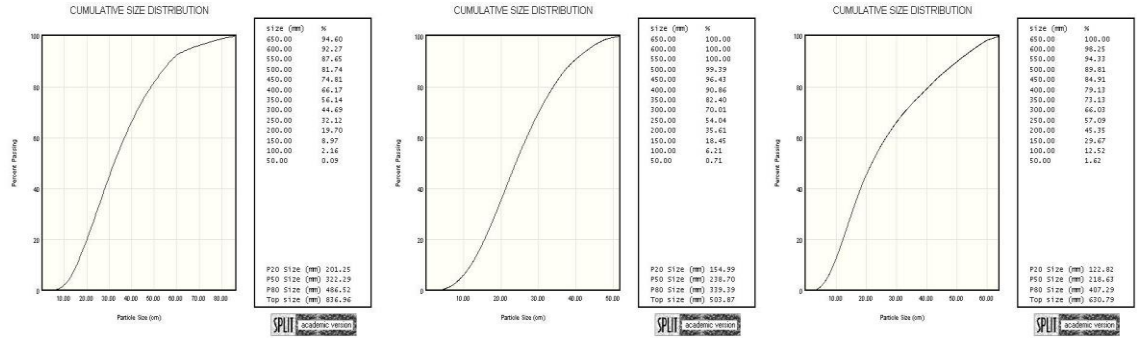
Şekil 4.41: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğraflar (Akdağlar taşocağı atım no: 1).



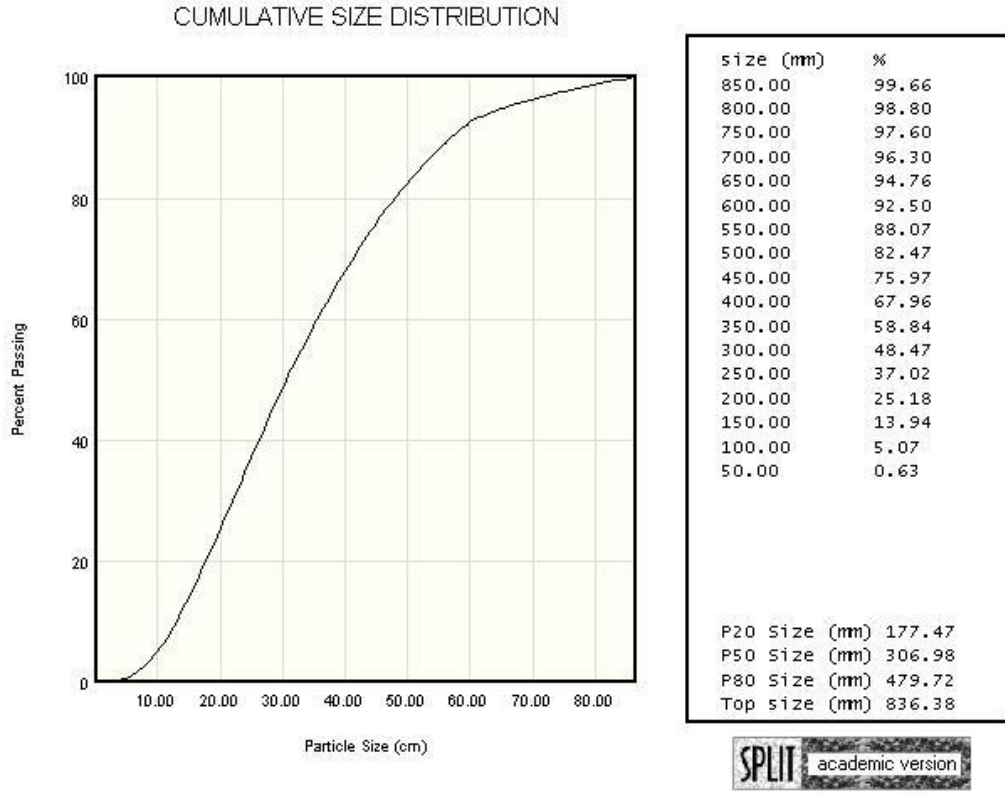
Şekil 4.42: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların gray-scale görüntüleri (Akdağlar taşocağı atım no: 1).



Şekil 4.43: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların Split Desktop programı ile işlenmiş görünümü (Akdağlar taşocağı atım no: 1).



Şekil 4.44: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların kümülatif parça boyut dağılımları (Akdağlar taşocağı atım no:1).



Şekil 4.45: Yığının kümülatif parça boyut dağılımı (Akdağlar taşocağı atım no:1).

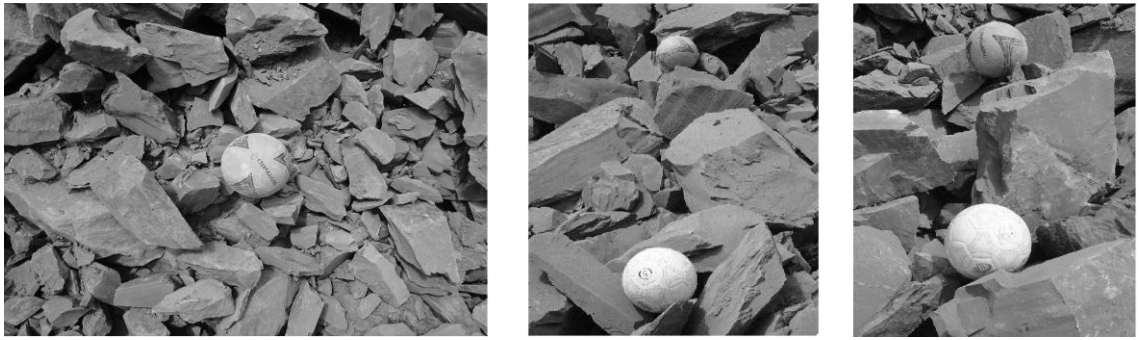
Tablo 4.36: Parça boyut dağılım analizi (Akdağlar taşocağı atım no:1).

Dağılım Sınıfı	Parça Boyutu (mm)
P20	177.47
P50	306.98
P80	479.72
En büyük parça	836.38

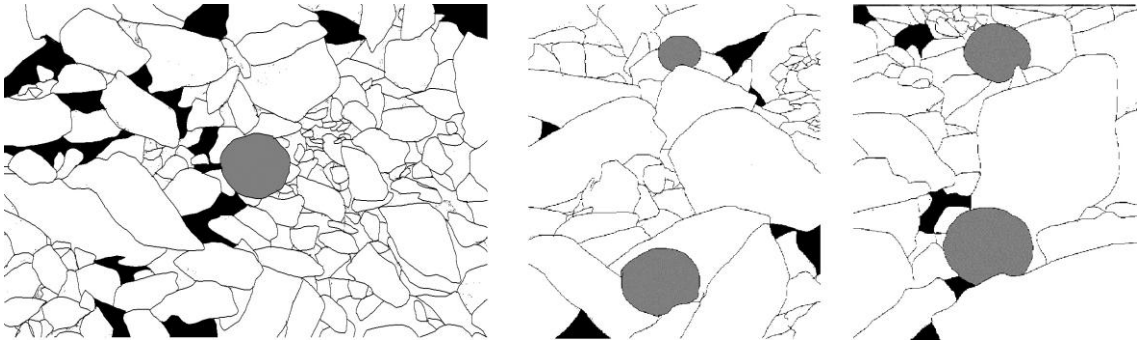
31 Mayıs 2011 Tarihinde Yapılan 3 Numaralı Atım: yapılan atıma ait alınan 3 adet fotoğraf ve bu fotoğrafların Split Desktop programı ile sayısal görüntü analizi aşağıda gösterilmektedir.



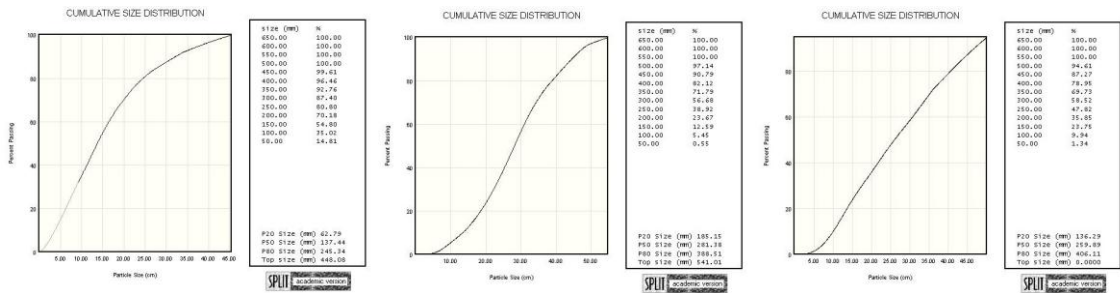
Şekil 4.46: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğraflar (Akdağlar taşocağı atım no: 3).



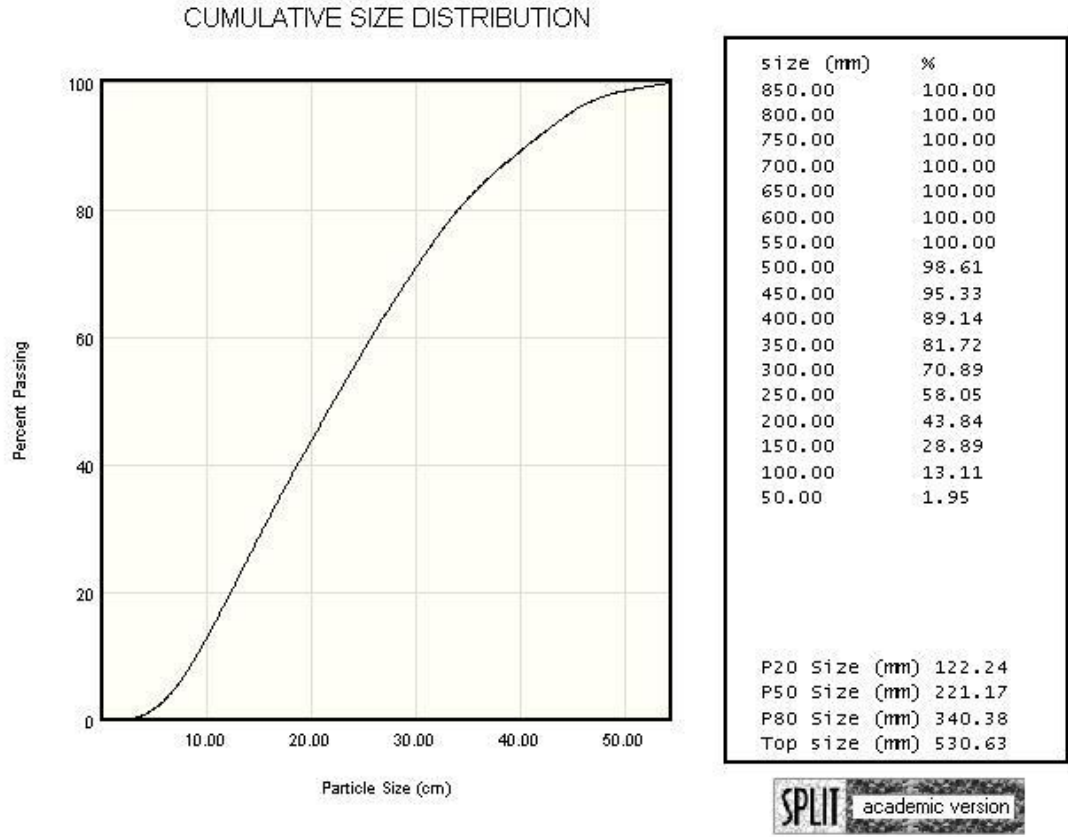
Şekil 4.47: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların gray-scale görüntüleri (Akdağlar taşocağı atım no: 3).



Şekil 4.48: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların Split Desktop programı ile işlenmiş görünümü (Akdağlar taşocağı atım no: 3).



Şekil 4.49: Yığından sırasıyla soldan, ortadan ve sağından alınan fotoğrafların kümülatif parça boyut dağılımları (Akdağlar taşocağı atım no:3).



Şekil 4.50: Yığının kümülatif parça boyut dağılımı (Akdağlar taşocağı atım no:3).

Tablo 4.37: Parça boyut dağılım analizi (Akdağlar taşocağı atım no:3).

Dağılım Sınıfı	Parça Boyutu (mm)
P20	122.24
P50	221.17
P80	340.38
En büyük parça	530.63

4.3.2.4. Kırılma Enerjileri

Çalışmaların yapıldığı ocaklarda, izlenen atımlara ait kırılma enerjileri Akyol, Akdağlar ve Haktaş Taş Ocakları için sırasıyla Tablo 4.38, 4.39 ve 4.40’da verilmiştir.

Tablo 4.38: Akyol Taşocağı atımlarına ait kırılma enerjileri.

Atım No	Yoğunluk (kg/cm ³)	p hızı (m/sn)	K _{IC}	γ _f	B (m)	S (m)	Delik Adedir	H	E _F (Mj/delik)
1	2.75	5027.15	1.33	1.27E-08	2.70	2.70	9.00	10.50	3.48
2	2.75	5027.15	1.33	1.27E-08	2.70	2.70	6.00	10.50	2.41
3	2.75	5027.15	1.33	1.27E-08	2.70	2.70	13.00	10.50	6.37
4	2.75	5027.15	1.33	1.27E-08	2.70	2.70	9.00	10.50	2.83

Tablo 4.39: Akdağlar Taşocağı atımlarına ait kırılma enerjileri

Atım No	Yoğunluk (kg/cm ³)	p hızı (m/sn)	K _{IC}	γf	B (m)	S (m)	Delik Adedir	L	H	E _F (Mj/atım)
1*	2.54	4116.70	1.43	2.38E-08	2.50	2.50	9.00	22,5	12.00	54.05
2*	2.54	4116.70	1.43	2.38E-08	2.50	2.50	14.00	35,0	12.00	121.68

* Bu atımlarda gecikme kullanılmadığından hesaplamalar atım bazında değerlendirilmiştir.

Tablo 4.40: Haktaş Taşocağı atımına ait kırılma enerjisi

Atım No	Yoğunluk (kg/cm ³)	p hızı (m/sn)	K _{IC}	γf	B (m)	S (m)	Delik Adedir	L	H	E _F (Mj/delik)
1	2.71	5005.00	1.12	9.24E-09	3.00	2.00	5.00	10.00	14.00	1,60

4.3.3. Sismik Enerjinin Belirlenmesi

Sismik enerji belirlenirken patlatma kaynaklı titreşim bileşenleri (enine, boyuna ve düşey olarak), bileşke parçacık hızı, mesafe ve kayacın fiziksel özellikleri verilerinden faydalanılmıştır. Literatür bölümünde verilen eşitlikler Excell programına HASP modülü eklenerek ASCII kodlarının eldesiyle oluşturulan hesap sistematığı ile yapılmıştır. ASAP UTILITIES programı ile elde edilen sonuçlar aşağıda Tablo 4.41, 4.42. ve 4.43'te özetlenmiştir.

Tablo 4.41: Akyol Taşocağı atımlarına ait sismik enerjiler.

İstasyon No	2.Atım		3.Atım		8.Atım		10.Atım	
	R (m)	Es (Mj)	R (m)	Es (Mj)	R (m)	Es (Mj)	R (m)	Es (Mj)
1	150.63	4.16	147.69	4.27	190.1	8.67	50.81	95.54
2	191.26	7.6	209.08	0.25	234.86	6.69	166.23	9.26
3	213.96	6.30	187.62	4.84	221.4	5.41	5	129.91
4	192.49	7.64	89.59	27.89	-	-	150.21	1.47
5	219.7	6.86	522.24	5.43	-	-	-	-
6	505.47	5.08	219.54	6.61	-	-	-	-
7	106.38	40.07	-	-	-	-	-	-

Tablo 4.42: Akdağlar Taşocağı atımlarına ait sismik enerjiler.

İstasyon No	1.Atım		3.Atım	
	R (m)	Es (Mj)	R (m)	Es (Mj)
1	98.05	151.80	100.57	35.04
2	101.76	82.56	138.76	27.33
3	78.31	186.14	50.61	193.61
4	111.69	69.52	-	-

Tablo 4.43: Haktaş Taşocağı atımına ait sismik enerjiler.

İstasyon No	1.Atım	
	R (m)	Es (Mj)
1	84.75	23.73
2	79.89	10.11
3	36.01	36.74
4	59	43.32

4.3.4. Patlayıcı Enerjisi Hesabı

Patlayıcı ile kayaca aktarılabacak toplam enerji miktarını belirlerken delik sayısı, bir atımda kullanılan toplam patlayıcı madde miktarı ve her bir delik içinde bulunan patlayıcı madde miktarı atımlar esnasında gözlemlenmiş ve firmada konu ile ilgili mühendis bilgileri ile teyit edilmiştir. İzlenen atımlara ait geometrik bilgiler ve patlatıcı madde miktarları Tablo 4.43; 4.44 ve 4.45’de özet olarak verilmiştir.

Atımlarda patlayıcı madde olarak orica firmasının üretimi olan ANFO, yemleyici olarak yine aynı firma üretimi olan Pwergel Magnum ve Power Gel 650 kullanılmıştır. Hesaplamalarda patlayıcı madde enerjisi orica firması ürün katoloğundan elde edilen bilgilere göre hesaplanmıştır. Bahsedilen katalogda ANFO’nun enerjisi 3.89 Mj/kg, yemleyicinin enerjisi ise 3.20 Mj/kg olarak kaydedilmiştir.

Tablo 4.44: Akyol Taşocağı delik sayısı ve şarj bilgileri.

Atım no	2	3	8	10
Delik Sayısı	9	6	13	9
Sıra Sayısı	1	1	1	1
Delik başına patlayıcı madde miktarı (kg)	50,5	49,66	46,26	50
Gecikme başına patlayıcı madde miktarı (kg)	50,5	49,66	46,26	50
Toplam patlayıcı madde miktarı (kg)	454,5	297,96	601,5	450
Delik başına enerji miktarı (Mj/kg)	196,45	193,18	179.95	194,5
Toplam enerji miktarı (Mj)	1768,01	1159,06	2339,35	1750,5

Tablo 4.45: Haktaş Taşocağı delik sayısı ve şarj bilgileri.

Atım no	1
Delik Sayısı	5
Sıra Sayısı	1
Delik başına patlayıcı madde miktarı (kg)	41,5
Gecikme başına patlayıcı madde miktarı (kg)	41,5
Toplam patlayıcı madde miktarı (kg)	207,5
Delik başına enerji miktarı (Mj/kg)	161,44
Toplam enerji miktarı (Mj)	807,2

Tablo 4.46: Akdağlar Taşocağı delik sayısı ve şarj bilgileri.

Atım no	1	3
Delik Sayısı	9	14
Sıra Sayısı	1	1
Delik başına patlayıcı madde miktarı (kg)	37,5	52,8
Gecikme başına patlayıcı madde miktarı (kg)	337,5	739,2
Toplam patlayıcı madde miktarı (kg)	337,5	739,2
Delik başına enerji miktarı (Mj/kg)	145,88	205,39
Toplam enerji miktarı (Mj)	1312,875	2875,49

4.3.5. Enerji Bölüşümleri

Patlatma ile kayaca aktarılan enerjinin bölüşüm kademeleri (kırma enerjisi, sismik enerji ve ötelenme enerjisi) hesaplanmış ve Tablo 4.47, 4.48 ve 4.49’da özet olarak verilmiştir.

Tablo 4.47: Akyol Taşocağı wnerji bölüşümü özet tablosu.

Atım No	E_F (MJ/delik)	E_K (Mj/delik)	E_S (Mj/delik)	E_T (Mj/delik)	E_{NM} (MJ/delik)
2	3,48	26,10	97,74	196,45	69,12
3	2,41	10,58	117,79	193,18	62,40
8	6,37	34,62	55,36	179,95	83,61
10	2,52	14,52	146,16	194,50	31,30

Tablo 4.48: Haktaş Taşocağı enerji bölüşümü özet tablosu.

Atım No	E _F (MJ/delik)	E _K (Mj/delik)	E _S (Mj/delik)	E _T (Mj/delik)	E _{NM} (MJ/delik)
1	1,60	19,34	96,16	161,44	44,33

Tablo 4.49: Akdağlar Taşocağı enerji bölüşümü özet tablosu.

Atım No	E _F (MJ/atım)	E _K (Mj/atım)	E _S (Mj/atım)	E _T (Mj/atım)	E _{NM} (MJ/atım)
1*	54.05	87.96	629,00	1312,875	541.86
3*	121.68	84.06	1184,36	2875,488	1485.38

* Bu atımlarda gecikme kullanılmadığından veriler atım bazında değerlendirilmiştir.

4.3.6. Faydalı Enerji İle Patlatma Verimi Arasındaki İlişki

Büyüklikleri hesaplanmış enerji bölüşüm kademelerinin toplam enerji içerisindeki yüzdeleri ve faydalı iş yapmaya kullanılan enerji miktarları tablo 4.50’de toplu halde verilmiş olup, verim ile ilişkileri alt başlıklar halinde açıklanmıştır.

Tablo 4.50: Enerji bölüşümleri toplu değerlendirme özeti.

İşletme Adı	Atım No	%EK	%ES	%EF	%ENM	%ET	Faydalı Enerji (%)
Akyol	2	13,29	49,75	1,77	35,19	100,00	15,06
	3	5,48	60,98	1,25	32,30	100,00	6,72
	8	19,24	30,76	3,54	46,46	100,00	22,77
	10	7,47	75,15	1,30	16,09	100,00	8,76
Akdağlar	1	6.70	47.91	4.12	41.27	100.00	10,82
	3	2.92	41.19	4.23	51.66	100.00	4,23
Haktaş	1	11,98	59,57	1,0	27,46	100,00	12,97

4.3.6.1. Parçalanma Verimliliği

Parça boyutunun ince olması verimliliği doğrudan etkiler. Çünkü parça boyutu küçüldükçe, özellikle çok ince tanelerde, yüzey alanı çok büyüyeceğinden o yüzey alanını oluşturmak için harcanacak enerji de artar. Bu çalışmada toplam faydalı enerji oranı %4-15 arasında değişirken, parçalanmaya harcanan enerji oranı çok daha küçük

değerlerde bulunmuştur. Kırmaya harcanan (EF) enerji toplam enerji oranı içerisinde % 1,25-4,23 arasında değişmektedir. Bu durum izlenen atımlarda patlatma enerjisinden yeterince faydalanılmadığının bir göstergesidir.

Akyol taşocağında izlenen sekizinci atımda dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe diğer atımlardan daha düşük seçilmiştir. Bunun sonucunda parçalanma enerjisi çok az da olsa artmış ve ikinci, üçüncü ve onuncu atımlardan daha fazla olmuştur.

Haktaş taşocağında izlenen atımda ise parçalanmaya harcanan enerji, toplam enerji içerisinde %1'lik bir değere sahiptir. Bu atımda parçalanmaya harcanan enerji miktarı da Akyol taşocağındakilere yakın düzeylerde dir. Akdağlar taşocağında ise; izlenen iki adet atımda parçalanmaya harcanan enerjiler %4 civarındadır.

İzlenen tüm atımlarda patlayıcı enerjisinin çok küçük bölümlerinin parçalanmaya harcandığı görülmüştür.

4.3.6.2. Sismik Verimlilik

Çalışmaların gerçekleştirildiği ocaklarda ve izlenen atımlarda, önceki bölümlerde sistematığı anlatılmış olan yöntemle hesaplanan sismik enerjiler incelendiğinde;

Akyol taşocağında, izlenen dört adet atımda sismik enerjiye harcanan patlayıcı enerjisi kısmı % 30-75 arasında değişmektedir. Akyol taşocağında yapılan onuncu atımda sismik enerjinin daha yüksek çıkmasının nedeni basamak aynasında tırnak olasına bağlanmıştır.

Haktaş taşocağında ise, %59, Akdağlar taşocağında da %40-47 arasında değişim göstermiştir. Bu durum aslında parçalanmaya harcanan enerji miktarlarının düşük oluş nedenini izah etmektedir. Yani sismik dalga yaratmak için harcanan enerji, parçalamaya harcanan enerjiden çok daha fazladır.

4.3.6.3. Kinetik Verimlilik

Akyol taşocağında yapılan çalışmalarda kinetik enerji olarak harcanan enerji bölümü %5 ile % 20 arasındadır. Bu durum her bir atımın farklı karakterde olduğunu, patlayıcı enerjisinden her atımda aynı oranda faydalanılmadığını göstermektedir. Akyol

taşocağında izlenen sekizinci atımda dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe diğer atımlardan daha düşük seçilmiştir. Bunun sonucunda ötelenmeye harcanan enerji daha fazla olmuştur.

Haktaş taşocağında ise, izlenen atımda kinetik enerji bölümü % 12 civarında çıkmıştır.

Akdağlar taşocağında yapılan iki atımda kinetik enerji bölümü toplam enerji içerisinde % 3-7 aralığında kalmıştır. Yani bu ocakta yapılan atımlarda ötelemeye harcanan enerji düşüktür.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, İstanbul Çatalca Bölgesi Akyol taşocağında 14 atım, Cebeci Bölgesi Haktaş taşocağında 2 atım ve Cendere Bölgesi Akdağlar taşocağında 4 atım izlenmiş, her bir atım için atım paternleri incelenmiş, atım öncesinde basamak profili belirlenmiş, patlatma sırasında her bir atım için farklı noktalardan toplam 20 atımda 99 olay titreşim ölçer cihazlar ile kaydedilmiştir.

Çalışma kapsamında Akyol Taşocağında dört, Akdağlar Taşocağında iki ve Haktaş Taşocağında bir adet atım olmak üzere toplam yedi adet atım detaylı olarak çalışılmış, patlatma sonucu her enerji bölüşüm kademesinde yaptırılan işlerden, o bölüşüm kademesine ne kadar enerji harcandığı hesaplanmış ve patlatma verimliliği irdelenmiştir.

İzlenen atımlarda bir delikteki patlayıcı madde miktarının enerji eşdeğeri alınarak, Sismik enerjiler, Kırılma ve Ötelenme enerjileri hesaplanmış ve her bir atım için kullanılmış olan faydalı enerji miktarları % cinsinden bulunmuştur. Elde edilen bulgular ve sonuçlar kısaca aşağıda özetlenmiştir.

Arazi çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları ve hesaplamalardan elde edilen bulgulardan hareketle ve literatürde kabul görmüş yaklaşım ve bağıntılar kullanılarak yapılmıştır.

Analiz edilen atımlarda toplam faydalı enerji oranı %4-23 arasında değişirken, parçalanmaya harcanan enerji oranları çok daha küçük değerlerde bulunmuştur. Kayayı kırmaya harcanan enerji toplam enerji oranı içerisinde %1,00-4,23 arasında değişmektedir.

Bu durum Akyol taşocağında izlenen atımlarda patlatma enerjisinden yeterince faydalanılmadığının bir göstergesidir. Akyol taşocağında izlenen sekizinci atımda dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe diğer atımlardan daha düşük seçilmiştir. Bunun

sonucunda parçalanma enerjisi çok az da olsa artmış ve ikinci, üçüncü ve onuncu atımdan daha fazla olmuştur. Akyol taşocağında yapılan çalışmalarda, ikinci ve üçüncü atımların paternleri aynı olmasına rağmen enerji bölüşümleri farklılık göstermiştir. Bunun nedeninin ise üçüncü atımda ayna tabanında tırnak olması düşünülmüştür. Bu da patern ve şarj miktarı uygun olsa dahi, önceki atımda ayna düzgün kesilmemiş ise yani tırnak kalmış ise patlatma veriminin olumsuz etkileneceğinin bir göstergesidir.

Akdağlar taşocağında ise; izlenen iki adet atımda parçalanmaya harcanan enerjiler %4 civarındadır. Bu atımlarda, kinetik enerji bölümü toplam enerji içerisinde %4 civarında kalmış, sismisiteye ayrılan enerji miktarı %40-47 arasında değişim göstermiştir. Bu ocakta yapılan atımlarda parçalanmaya harcanan enerji bölümünün azlığı yanında ötelemeye harcanan enerjinde düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin gecikmeli ateşleme sistemi kullanılmaması olduğu düşünülmektedir. Yani bu ocakta yapılan patlatmalarda verim oldukça düşüktür.

Haktaş taşocağında, izlenen atımda kinetik enerji bölümü % 12 civarında çıkmıştır. Bununla birlikte sismik enerjiye ayrılan kısım %59 civarındadır. Bu durum da yine şarj miktarı veya patern sorunu olduğunun bir göstergesidir. Parçalanmaya harcanan enerji ise, toplam enerji içerisinde %1 lik bir değere sahiptir. Bu atımda parçalanmaya harcanan enerji Akyol ve Akdağlar taşocağıklarında hesaplanan miktarlardan daha azdır.

Yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür ki patlatma operasyonlarında kırılma ve ötelenme enerjisi düşük, sismik enerji ise yüksektir. Yani sismik dalga yaratmak için harcanan enerji, parçalamaya harcanan enerjiden çok daha fazladır. Bu durum aslında parçalanmaya harcanan enerji miktarlarının düşük oluş nedenini izah etmektedir. Bu durum da patlatma verimliliğini olumsuz etkilemekte, ardışık işlemlerde (yükleme, taşıma, kırma gibi) oluşan ocak üretim maliyetini yükseltmektedir ve aynı zamanda sismik enerjiye daha fazla pay ayrıldığından çevresel açıdan sorunlar yaratabileceği görülmüştür.

Parçalanma enerjisinin düşük sismik enerjinin ise yüksek olması tasarımda bir hata olduğunun göstergesidir. Yani bu patlatmalarda patlayıcı enerjisinden yeterince

faaydalanılmamıştır ve patlatma verimleri düşük çıkmıştır. Bunun nedeninin ise, dilim kalınlığı, delikler arası mesafe ve/veya şarj miktarındaki hatalardan kaynaklandığı düşünölmektedir.

Yapılan literatür araştırmalarına göre, bu tür çalışmalarda sismik ölçüm yapılırken genellikle tek istasyon nokastının kullanıldığı görölmüştür. Ancak sismik enerji hesabı yapılırken tek istasyondan alınan titreşim kaydı üzerinden hesaplama yapmanın yanlış olduğı görölmüş ve birkaç noktadan alınan titreşim kayıtlarından hareketle yapılan sismik enerji hesaplarından hareketle, sismik enerji yayılım denkleminin ortaya konması gerektiğı ve hesaplamalarında buna göre yapılması gerektiğı görölmüştür.

Yapılan çalışmalar sonucunda patlayıcı ile kayaya aktarılan enerjinin yaklaşık % 70 inin hesaplanabildiğı görölmüştür. Hesaplanamayan kısmın ise gürültü, hava şoku, ısı ve ışık şeklinde atmosfere yayıldığı anlaşılmıştır.

Literatürde birçok araştırmacıya ait tasarım parametrelerini belirlemeye yönelik çeşitli yaklaşımlar mevcuttur fakat bu yaklaşımların hiçbirisi patlatma enerjisinin bölüşümüne dayandırılmamıştır. Yani patlatmada en önemli parametreler içerisinde yer alan patlayıcı enerjisinden ne ölçüde faydalandığı, patlatma sonuçları değerlendirilirken göz ardı edilmektedir.

Patlayıcı madde enerjisinden optimum derecede faydalanılamaması patlayıcı madde miktarını yani patlatma maliyetini etkilemektedir. Verimli bir patlatmadan bahsedebilmek için olabilecek en düşük maliyetle alınabilecek en yüksek sonuçları sağlamak gerekir.

Enerji bölüşümünde sabit bir oran olmadığı, bölüşüm oranlarının patern aynı kalsa bile basamak ayna profiline göre değişim gösterdiği anlaşılmıştır.

Bundan sonraki çalışmalarda, enerji paylaşım kademelerinden hareketle istenen sonuçlara ulaşılmasını sağlayacak tasarım yöntemlerinin geliştirilmesi için çalışmalar yapılması, enerjinin optimum kullanımına olanak tanıyacak, çevresel sorunları

minimize edecek ve ardışık işlemlerden oluşan ocak çalışmalarında verimi ve ekonomikliği artıracak yöntemler üzerine gidilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

Çalışmada enerji bölüşüm oranlarının aynı ocakta olsa dahi her atımda aynı olmadığı görülmüştür. Bunun sebebinin patlatma paterninden kaynaklanmasının yanında kaya kütlesinin de etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmada, patlatma veriminin, patlatma tasarım parametreleri ile ilişkisinin olduğu görülmüştür, ancak kaya kalitesinin de verim üzerinde etkili olduğu kanaatine varılmıştır. Bu nedenle, budan sonra yapılacak çalışmalarda, tasarım parametrelerinin yanında kaya kalitesi de göz önüne alınarak bir verimlilik formülünün geliştirilmesi gerekmektedir. Bu konunun ise, bir doktora çalışması veya geniş kapsamlı bir araştırma projesi ile gerçekleştirilebilecek bir konu olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- ANON, 1987, Explosives and Rock Blasting, *Atlas Powder Company*, Dallas, s.662
- ARIOĞLU, E., 1988, *Çözümlü madencilik problemleri*, MMO Yayını, Ankara.
- ARIOĞLU, E., 1990, "Açık İşletmelerde Patlatma tasarımında 'Dilim Kalınlığının Belirlenmesine İşletme Ve Jeomekanik Büyükleri Gözetten yarı Analitik Bir Yaklaşım", 2. *Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Bildiriler, 5-7 Kasım, Ankara, Sayfa 55-81
- ARIOĞLU E., TOKGÖZ N., 1993, "A Statistical Study on Relationships Between the Uniaxial Compressive and Tensile Strengths of Rocks", *Geosound*, No.23, p. 17-25, Adana.
- ASH, R., L., The Design of Blasting Rounds, Surface Mining, Editor Pfeider E. P., (1968), pp: 373-397.
- ASH, R.L., 1990, Design of Blasting Ronds, *Surface Mining*, 2nd. Edition, Editor: KENNEDY B.A., SMME, Colorado, USA.
- ATLAS POWDER CO., Explosives and Rock Blasting, Atlas Powder CO., Dallas, 662 sayfa, (1987).
- BAUER, A., CROSBY, W.A., 1990, *Drilling application*, Surface Mining 2nd. Edition, SMME, Colorado, USA
- BAYKAL, F. ve Kaya O., 1963, İstanbul Bölgesinde Bulunan Karboniferin Genel Stratigrafisi: Maden Tetkik Arama Enst. Derg., 61, 1-9.
- BİLGİN, H.A., 1986, *Açık İşletmelerde Patlatma Sorunları ve Tasarımı*, Seminer No:2, TKİ – ODTÜ, Ankara
- BİLGİN, H. A., ESEN, S., KILIÇ, M., Patlatmada Sürekli İnfilak Hızı Ölçümlerinin Yararı ve Önemi, 4. Delme ve Patlatma Sempozyumu, Ankara, 18-19 Nisan 2000, s: 47-58
- BİLGİN, H.A., PAŞAMEHMETOĞLU, A.G., 1993, Optimum Burden Determination and Fragmentation Evalutation by full scale slab Blasting, 4. *International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, 5-8 July, Vienna, Austria
- BİLGİN, H.A., PAŞAMEHMETOĞLU, A.G., ÖZKAHRAMAN, H.T., 1994, Effect of Dominant Discontinuity Oriention Of Blasting: A Case Study, *Third*

International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, 18-20 Ekim, İstanbul.

BOROVIKOV, V.A. ve VANYAGIN, I.F., “Modelling the Effects of Blasting on Rock Breakage”, A.A. Balkema, (1995), 238 sayfa.

BRITTON, R.R., KONYA, C.J. ve SKIDMORE, R.D., Primary Mechanism for Breaking Rock With Explosives, Rock Mechanics in Productivity and Protection, 25. Symp. On Rock Mech, USA,. (1984), Sayfa 942-949.

CATASUS, P.S., Experimental Analysis of Fragmentation, Vibration and Rock Movement in Open Pit Blasting, (Thesis Doctoral), Universidad Polit cnica de Madrid Escuela T cnica Superior de Ingenieros de Minas, (2004).

CEYLANOĞLU, A., “Kaya Mekaniği Deneyleri” Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, (1991).

CHERNIGOVSKII, A.A., “Application of Directional Blasting in Mining and Civil Engineering”, A.A. Balkema/Rotterdam, (1986), 309 sayfa.

COŞKUN, O., 2001, *Patlayıcı Maddelerle Kazı Tasarım Parametrelerinin İncelenmesi Ve Patas Uzman Sisteminin Denenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T. . Maden Fakültesi, İstanbul

ÇEBİ, M. A., S.L.İ.’de Yapay Süreksizliklerin Patlatma Kaynaklı Yer Sarsıntılarına Etkisinin İncelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi), D ml pınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).

DAEHKE, A. ve ROSSMANITH, H.P., 1997, *Fragmentation Estimation and Kuz-Ram Model – Four Years On*, Proceeding Second International Symposium On Rock Fragmentation by Blasting, Keystone, Colorado, pp 475-487.

DAĞ İMEN, A., 2006, *Patlatma Tasarımı İçin Geliőtirilmiş Bir Bilgisayar Programı*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, s.62-72.

DALGIÇ, S., ÖZER,  ., “Akyol Mıdır Ve Mermer San. Tic. A.Ő. Ye Ait Muratbey Kalker Ocağında Meydana Gelen Heyelanın Jeolojik - Jeoteknik  zelliklerine Ait Rapor”, İ. . Mühendislik Fakültesi, (2009).

DICK, R.A, et. al., 1983, *Explosives and Blasting Procedures Manual*, Buro of Mines, USA

DİNÇER, H., 1993, *Delme Patlatmanın Tekniği Murgul Açık İŐletmelerindeki Delme Patlatma İŐlerinin Etüdü Ve İyileştirme Olanaklarının Araştırılması*, Doktora Tezi, Dokuz Eylül  ., İzmir, s.9.

DJARDJEVIC, N., A Two-Component Model of Blast Fragmentation”, The AusIMM Proceedings, No 2, (1999), Sayfa 9-13.

- DOWDING, C.H., Blast Vibration Monitoring and Control, Prentice-Hall, USA,, (1985).
- DUVALL, W. ve ATKINSON, T.C., 1957, *Rock Breakage by Explosives*, United States Department of the Interior, United States Bureau of Mines, Report of Investigations RI 5336, USA.
- ERKOÇ, Ö. Y., Kaya Patlatma Tekniği, İstanbul s:164, (1990).
- ESEN, S., BİLGİN, H.A., Ticari Patlayıcıların İdeal İnfilak Davranışları ve Patlayıcı/Kaya Etkileşim Modelinin Geliştirilmesi, 3. Delme Patlatma Sempozyumu, (1998) Sayfa 47 – 57.
- ESEN, S., BİLGİN, H.A. VE BOBO, T., 2000, Patlayıcının Parçalanmaya Etkisi, 4. Delme – Patlatma Sempozyumu, Ankara, s.63-72.
- FOURNEY, W.L., “Mechanism of Rock Fragmentation by Blasting”, In Comprehensive Rock Engineering, J.A. Hudson (Ed)., Sayı 4, (1993), sayfa 39-69.
- GÖZÜBOL, A.M., ve AYSAL, N., “Cebeciköy Kireçtaşı Ocaklarında Litolojik Ve Yapısal Kökenli İşletme Sınırları” İstanbul Yerbilimleri Dergisi, C. 21, S. 1, SS. 25-35, (2008).
- GUSTAFSSON, R., 1973, *Swedish Blasting Technique*, Gothenburg, 323p
- HAGAN, T.N. ve CAMERON, A. R., “Selecting Explosives Systems and Monitoring Their Performance in Surface Mines”, Mine Planing and Equipment Selection, Paşamehmetoğlu et al., Balkema Rotterdam, (1994), Sayfa 635-641.
- HAGAN T.N., DUVAL, M.B., The Importance of Some Performance Properties of Bulk Explosives in Rock Blasting, Proceedings of The Fourth International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting-Fragblast-4, Viena, Austuria,(1993), pp 387 – 393.
- HEMPHILL, G.B., 1981, *Blasting operations*, Mc Graw Hill.
- HINO, K., 1956, *Fragmentation of Rock Through Blasting*, Colorado School of Mines, Report No 51, Say. 191-207
- HINZEN, K.G., Comparison of Seismic and Explosive Energy in Five Smooth Blasting Test Rounds, International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, (1998), Vol. 35, No.7, pp 957-967.
- HOEK, E., BRAY, W.J., 1991, *Kaya Şev Stabillitesi*, MMO Yayını, (Çevirenler: PAŞAMEHMETOĞLU A.G., ÖZGENOĞLU, A., KARPUZ, C.), Ankara.
- HUSTRULID, W.,Blasting Principles for Open Pit Mining", A.A.Balkema, Vol 1-2, (1999),1011 Sayfa.

- JİMENÓ, C.L., Jimeno, E.L., Carcedo, F.J.A., Translated by Ramiro, Y.V., “Drilling and Blasting of Rocks”, A.A., Balkema Publishers, Brookfield, ISBN: 90 5410 1977, Rotterdam Pp 390, (1995)
- KAHRAMAN, S., Açık İşletmelerde Uygun Delme-Patlatma Şartlarını Veren Bir Modelin Geliştirilmesi, (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (1997).
- KAHRİMAN, A., Sivas Ulaş Yöresi Sölestit Cevheri ve Yankayaçları İçin Optimum Patlatma Koşullarının Araştırılması ve Kayaç Özellikleri ile İlişkilendirilmesi, Doktora Tezi, C.Ü., Sivas, (1995).
- KAHRİMAN, A., 1999, *Açık Maden ve Taş Ocaklarında Kaya Patlatma Teknolojisi Eğitim Semineri*, Sayfa 20-38
- KAHRİMAN, A., 2003, *Maden ve taşocaklarında kaya patlatma tekniği semineri*, İstanbul.
- KARADOĞAN, A., Patlatmadan Kaynaklanan Titreşimler İçin Ulusal Yapı Hasar Kriterleri Oluşturulabilirliğinin Araştırılması (Doktora Tezi) İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi (2008).
- KAYA, O., 1971, İstanbul’un Karbonifer Stratigrafisi: Türkiye Jeol. Kur. Bült., XIV, 2, 143-199.
- KAYA, O. ve Lys, M., 1982, İstanbul Boğazının Batı Yakasında (Kilyos) Yeni Bir Triyas Bulgusu: Maden Tetkik Arama Enst. Derg., 93/94, 20-26.
- KONYA, C.J., WALTER, E.J., 1990, *Surface Blast Design*, New Jersey, USA
- KONYA, C. J., WALTER E. J., Rock Blasting and Overbreak Control, National Highway Institute, USA, 415 Sayfa, (1991).
- KOU, S.. RUSTAN, A., 1992, Burden related to blasthole diameter in rock blasting, *Int. J. R. Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, V.29, pp.543-553.
- KUSZMAUL, J.S., A New Constitutive Model for Fragmentation of Rock Under Dynamic Loading, 2nd Int. Symp. On Rock Fragmentation by Blasting, Colorado, (1987) pp 412-423.
- LANGFORS, U, KHILSTRÖM, B., Rock Blasting, John Wiley and Sons, New York, (1963), 405 sayfa.
- LARSSON, B., 1985, The role of correct interval times in rock blasting, *Paper, given at the Swedish Rock Blasting Council*, Sweden.
- NAAPURI, J., Surface Drilling and Blasting, Tamrock, Finland, 473s, (1988).

- OLOFSSON, S., Blaster's Manual, Saudi Chamical CO., 267 Sayfa, (2002).
- ONARGAN, T., YAYLA, N., GÖNEN, A., KAYA, E., GERMEN, E., 2003, *Açık Ocak Tasarımı Ve Planlaması, Delik Delme Patlayıcı Maddeler Ve Kullanımı*, Eğitim Semineri Notu, Yurt Madencilikini Geliştirme Vakfı, İstanbul.
- ÖRGÜN, Y., YALÇIN, T., BOZKURTOĞLU, E., DUMAN, E., YİĞİTBAŞ, E., KUZU, C., NASUF, E., ÖZTÜRK, A., (2003). İstanbul-Çatalca-Muratbey Civarında Yapılan Madencilik Faaliyetlerinin Büyük Çekmece Göl Havzasında Yeralan Yeraltı Yüzey Sularında Ve Çevreye Olan Etkisi. Kuvaterner Çalıştay IV. İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ÖZER, Ü., Patlatma Kinematığının Araştırılması ve Patlatma Simülasyonu, (Doktora Tezi), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2001).
- ÖZDEMİR, K., Dijital Görüntü İşleme Tekniği ile Patlatma Verimlilik Analizi, (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2004).
- PAŞAMEHMETOĞLU, A.G., 1986, *Divriği Madenleri Müessesesi Açık Ocağında Patlatma Sorunlarının Etüdü*, ODTÜ, Ankara.
- PERSSON, P. A., HOLMBERG, R., LEE, J., "Rock Blasting and Explosives Engineering, CRC Press, 538 Sayfa, 1994.
- PETROSYAN, M.I., "Rock Breakage by Blasting", A.A. Balkema/Rotterdam, (1994), 141 sayfa.
- PUKKILA, J., TAMROCK, 1978, *Handbook of Surface Drilling and Blasting*, Finland.
- RUSTAN, P.A., 1993, Minimum Distance Between Charged Boreholes For Safe Detonation, 4. *International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, 5-8 July, Vienna, Austria.
- SANCHIDRIAN, J. A., SEGARRA, P., LOPEZ, L. M., Energy Components in Rock Blasting, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol:44,issue1, p:130-147, (2007).
- SEGARRA P., SANCHIDRIAN J.A., LOPEZ L.M., PASCUAL J.A., ORTIZ R., GOMEZ A.,, 2003, *Analysis of bench face movement in quarry blasting*, Proceedings of the second world conference on explosives and blasting technique, Prague, Rotterdam, Balkema, p. 485–95.
- SINGH, S.P., 1993, Prediction and Determination of Explosive Induced Damage, 4. *International Symposium on Rock Fregmentation by Blasting*, 5-8 July, Vienna, Austria
- SPATHIS A.T., 1999, On the energy efficiency of blasting, *Proceedings of the sixth international symposium on rock fragmentation by blasting*, The South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, p. 81–90.

- TAMROCK, 1984, *Handbook on Surface Drilling and Blasting*, Painofactrit Finland, 310 page.
- TOSUN, S., Madencilikte Patlatılacak Ortama Uygun Patlayıcı Madde Seçimi, Madencilik Dergisi, cilt no: 30, sayı no:4, sayfa no: 5-11, (1991).
- TOSUN, S., Madencilikte Kullanılan Patlayıcı Maddelerin Performans Hesaplamaları ve Uygun Patlayıcı Seçimi, Türkiye 13. Madencilik Kongresi, İstanbul, 10-14 Mayıs 1993, sayfa : 124 – 135.
- UZ, B., 2007, *Akdağlar Madencilik A.Ş.'Nin Ayazağa Köyü Cendere Mevkiinde Yer Alan Kırmataş Ocak Ve Malzemenin Jeolojik/Yapısal, Mineralojik-Petrografik Ve Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Etüt Ve Değerlendirme Raporu*, İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mineraloji Petrografi ABD., İstanbul.
- ÜNAL, D., "Açık İşletmelerde Kullanılan Patlayıcılar ve Patlamalardaki Yeni Teknolojiler Ve Uygulamaları", Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi (2005).
- YILMAZ, P., 2010, *Basamak Ayna Profilinin Patlatma Performansına Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ü., İstanbul.
- ZEIGLER, K., 1991, *The Blast Design Project*, Seminer Notları, TDÇİ, Divriği, Sivas.

ÖZGEÇMİŞ

Ülkü KALAYCI 1987 yılında İstanbul Fatih’te doğdu. İlköğrenimini İstanbul Halkalı Güneş İlköğretim Okulu’nda, ortaöğrenimini İstanbul Halkalı Orhan Cemal Fersoy Lisesi’nde tamamladıktan sonra 2004 senesinde Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümüne başlayıp 2009 senesinde Maden Mühendisi ünvanıyla mezun oldu. 2009 senesinde İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Maden Mühendisliği programında Yüksek Lisans eğitimine başladı.

Ülkü Kalaycı 2010 senesinden itibaren İstanbul Üniversitesi Mühendislik fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.