İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PARÇALANMANIN İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK PATLATMA TASARIMLARININ ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

Türker HÜDAVERDİ

Anabilim Dalı : Maden Mühendisliği

Programı : Maden Mühendisliği

MAYIS 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PARÇALANMANIN İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK PATLATMA TASARIMLARININ ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

Türker HÜDAVERDİ
(505042001)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 Nisan 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Mayıs 2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cengiz KUZU (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Erkin NASUF (İTÜ)
Prof. Dr. Ali KAHRİMAN (Okan Ü.)
Prof. Dr. Gündüz ÖKTEN (İTÜ)
Doç. Dr. Ataç BAŞÇETİN (İÜ)

MAYIS 2010

ÖNSÖZ

İTÜ Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü bünyesinde gerçekleştirmiş olduğum doktora çalışmalarım sırasında, tezimin danışmanlığını yürüten Sn. Prof. Dr. Cengiz KUZU'ya, tezimin sonuçlanmasında yardımları olan hocalarım; Sn. Prof. Dr. Ali KAHRİMAN ve Sn. Prof. Dr. Erkin NASUF'a, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Arizona Üniversitesi'nde gerçekleştirdiğim araştırmalar sırasında desteğini esirgemeyen Sn. Prof. Dr. P. H. S. W. KULATILAKE ve Sn. Prof. Dr. John M. KEMENY'e şükranlarımı sunarım. Çalışmalarım sırasındaki yardımları nedeniyle Akdağlar, Özmert ve Lafarge Taş Ocakları işletme sahiplerine, başta meslektaşlarım Ertunç KARADUMAN ve Faruk ÖRÜCÜ olmak üzere tüm ocak personeline teşekkürü borç bilirim.

Desteklerinden her zaman yararlandığım başta değerli arkadaşım Sn. Yrd. Doç. Dr. Abdullah FİŞNE olmak üzere, tüm İTÜ Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü personeline teşekkür ederim.

Ayrıca, beni her zaman destekleyen aileme ve sevgili eşim Sn. Hatice HÜDAVERDİ'ye minnet duygularımı sunarım.

Mayıs 2010

Türker HÜDAVERDİ

Y. Maden Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
KISALTMALAR ..... **vii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **ix**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xi**
SEMBOL LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
2. PARÇALANMA KAVRAMI **5**
2.1 Parçalanma Prosesi 5
2.2 Parçalanma ve Patlatılabilirlik Üzerinde Etkili Olan Parametreler 6
2.3 Parçalanmanın Patlatma Sonrası Operasyonlara Etkisi 8
2.4 Parçalanmanın Tespiti ve Görüntü İşleme Yazılımları 11
2.5 Parçalanmanın İfade Edilmesi 12
3. PARÇALANMA VE PATLATILABİLİRLİK İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR **15**
3.1 Kuz-Ram Modeli 15
3.1.1 Kuz-Ram modelinin esasları 15
3.1.2 Kuz-Ram modelindeki kayaç faktörü üzerine yorumlar 19
3.2 Swebrec Denklemi ve KCO (Kuznetsov-Cunningham-Ouchterlony) Modeli 21
3.3 JKMRC Tarafından Geliştirilen Modeller 22
3.4 Chung ve Katsabanis'in Modeli (CK Model) 27
3.5 Larsson'un Denklemi 28
3.6 Saroblast Denklemi 30
3.7 Patlatılabilirlik ve Özgül Şarj Kestirimi 30
4. PATLATMA TASARIM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ **37**
4.1 Patlatma Tasarımı Kavramı 37
4.2 Delikler Arası Mesafe / Dilim Kalınlığı Oranı (S/B) 39
4.3 Basamak Yüksekliği / Dilim Kalınlığı Oranı (H/B) 42
4.4 Sıkılama Mesafesi / Dilim Kalınlığı Oranı (T/B) 43
4.5 Dilim Kalınlığı / Delik Çapı Oranı (B/D) 44
4.6 Özgül Şarj (Pf) 48
5. PARÇA BOYUT DAĞILIMININ VE SÜREKSİZLİKLERİN BELİRLENMESİ **53**
5.1 Atım Sonrası Parça Boyut Dağılımının Görüntü İşleme Yazılımları Yoluyla Belirlenmesi 53
5.1.1 Yazılımların geri planı 53
5.1.2 Fotoğraf tekniği ve örnekleme 55
5.1.3 Örnekleme lokasyonu 56
5.1.4 Örnekleme ölçeği 57

5.1.5 Görüntü işleme yazılımlarında düzeltme 58
5.1.6 Görüntü işleme yazılımı için laboratuar ölçekli test 60
5.2 Görüntü İşleme Yazılımları ve Hat Etüdü ile Süreksizliklerin Belirlenmesi ... 64
5.2.1 Patlatma açısından süreksizliklerin önemi 64
5.2.2 Klasik yöntemler ile süreksizliklerin belirlenmesi 65
5.2.3 Görüntü işleme yazılımları ile süreksizlik analizinin temelleri 67
5.2.4 Süreksizliklerin tespitinde WipJoint yazılımı 69
6. CENDERE BÖLGESİ TAŞ OCAKLARINDA GERÇEKLEŞTİRİLEN İNCELEMELER 79
6.1 Bölgenin Genel Jeolojisi 79
6.2 Kayaç Özellikleri ve Ocakların Konumu 79
6.3 Cendere Bölgesinde İncelenen Atımlar 82
7. ÇOK DEĞİŞKENLİ ANALİZE DAYALI PARÇA BOYUTU KESTİRİM MODELİ 89
7.1 Çok Değişkenli Analize Dayalı Modelleme 89
7.1.1 Çok değişkenli analizin esasları ve amacı 89
7.1.2 Patlatma ve yerbilimleri ile ilgili çok değişkenli analize dayalı çalışmalar 91
7.2 Parça Boyutu Kestirim Modelinin Yapısı 92
7.3 Atım Veritabanının Oluşturulması 93
7.4 Kümeleme Analizi (1. Aşama) 104
7.4.1 Kümeleme analizinin esasları ve amacı 104
7.4.2 Kümeleme analizinin uygulanması 108
7.5 Ayırma Analizi (2. Aşama) 116
7.5.1 Ayırma analizi yönteminin amacı ve esasları 116
7.5.2 Ayırma analizinin uygulanması 117
7.6 Çok Değişkenli Regresyon Analizi (3.Aşama) 124
7.6.1 Çok değişkenli regresyon analizi yönteminin amacı ve esasları 124
7.6.2 Çok değişkenli regresyon modelinin oluşturulması 125
7.7 Parçalanma Modelinin Testi 127
7.8 Geliştirilen Modelin Getirdiği Yenilikler ve Üstünlükler 130
8. PARÇALANMA İNDEKSİ KESTİRİM MODELİ 131
8.1 Parçalanma İndeksi Kavramı 131
8.2 Parçalanma İndeksi Kestirim Modelinin Geliştirilmesi 136
8.3 Parçalanma Gruplarının Analizi 145
8.4 Model İçin Test Atımları ve Sonuçlar 147
8.5 Bütünleşik Değerlendirme ve Tahmini Boyut Aralığı 151
8.6 Modelin Getirdiği Yenilikler ve Üstünlükler 155
9. TEMEL PARÇALANMA KILAVUZU 157
9.1 Adım Adım Regresyon (Stepwise Regresyon) 157
9.2 Yer Bilimlerinde Adım Adım Regresyon Tekniği 158
9.3 Adım Adım Regresyon Modelinin Oluşturulması 161
9.3.1 Düşük elastisite modülüne sahip kayaç atımları için adım adım regresyon .. 162
9.3.2 Yüksek elastisite modülüne sahip kayaç atımları için adım adım regresyon. 165
9.4 Modellerinin Değerlendirilmesi ve Patlatma Kılavuzu 167
9.5 Modelin Getirdiği Yenilikler ve Üstünlükler 170
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 171
KAYNAKLAR 179

KISALTMALAR

ANFO : Amonyum nitrat-Fuel oil
ANOVA : Varyans Analizi
CZM : Crushed Zone Model
ISRM : International Society for Rock Mechanics
JKMRC : Julius Kruttschnitt Mineral Research Center
MANOVA : Çok değişkenli varyans analizi
RMR : Rock Mass Rating
RMSE : Root Mean Square Error
RQD : Rock Quality Designation
SPSS : Statistical Package for the Social Sciences
SveBeFo : Svensk Bergteknisk Forskning
SVEDEFO : Swedish Detonic Research Foundation
Swebrec : Swedish Blasting Research Centre
TCM : Two Components Model
TKİ : Türkiye Kömür İşletmeleri
TNT : Trinitrotoluen
USBM : United States Bureau of Mines

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Kuznetsov (1973) tarafından değerlendirilen atımlar. 16
Çizelge 3.2 : Patlatılabilirlik indeksi tespitinde kullanılan parametreler 31
Çizelge 3.3 : Patlatılabilirlik indeksi özgül şarj ilişkisi. 31
Çizelge 3.4 : Parçalanabilirlik ve patlatılabilirlik modelleri üzerine görüşler / tartışmalar. 36
Çizelge 4.1 : Ash'ın (1973) gerçekleştirdiği deneysel atımlar.....38
Çizelge 4.2 : Araştırmacılara göre S/B oranının değişimi. 39
Çizelge 4.3 : Farklı delik çapları için patlatma tasarımı 40
Çizelge 4.4 : Konya ve Walter' a (1990) göre H/B oranına bağlı olarak S/B oranının değişimi. 41
Çizelge 4.5 : Araştırmacılara göre H/B oranının değişimi. 43
Çizelge 4.6 : Araştırmacılara göre T/B oranının değişimi. 44
Çizelge 4.7 : Kayaç–Patlayıcı eşleşmesine göre B/D oranı. 45
Çizelge 4.8 : Farklı delik çaplarına göre B/D oranının değişimi 47
Çizelge 4.9 : Araştırmacılara göre B/D oranının değişimi. 48
Çizelge 4.10 : Sen'e (1995) göre kayaç tipine bağlı olarak özgül şarjın belirlenmesi. 49
Çizelge 4.11 : Bhandari'ye (1997) göre kazı operasyonuna bağlı olarak özgül şarjın değişimi. 50
Çizelge 4.12 : Jimeno ve diğ. (1995) göre kayaç tipine karşılık gelen özgül şarj değeri. 50
Çizelge 4.13 : Morhard'a (1987) göre taş ocaklarında uygulanması gereken özgül şarj. 51
Çizelge 5.1 : WipFrag yazılımının kullandığı farklı üniformite değerleri için düzeltme katsayıları 58
Çizelge 5.2 : Elek analizi sonuçları. 61
Çizelge 5.3 : Deney sonuçlarının karşılaştırılması. 62
Çizelge 5.4 : Ortalama çatlak aralığının tespiti. 67
Çizelge 6.1 : Kumtaşının fiziksel ve mekanik özellikleri. 82
Çizelge 6.2 : Cendere Bölgesi ocaklarında ölçülen atımlar I.....83
Çizelge 6.3 : Cendere Bölgesi ocaklarında ölçülen atımlar II. 86
Çizelge 6.4 : Ocaklarda atım büyüklüklerinin değişimi. 87
Çizelge 7.1 : Analiz yöntemleri ve amacı. 93
Çizelge 7.2 : Veritabanını oluşturan 97 atım. 96
Çizelge 7.3 : Soma İşletmesi'nde gerçekleştirilen atımların geometrisi. 99
Çizelge 7.4 : Atım veritabanı için tanımlayıcı istatistikler. 103
Çizelge 7.5 : 1. Grup atımları (Küme I).....113
Çizelge 7.6 : 2. Grup atımları (Küme II). 114
Çizelge 7.7 : Grup istatistikleri. 115
Çizelge 7.8 : Ayırma analizinin özet tablosu. 118
Çizelge 7.9 : Grup ortalamalarının eşitlik testi. 118
Çizelge 7.10 : Standartlaştırılmış kanonik ayrım fonksiyonu katsayıları. 120
Çizelge 7.11 : Yapı matrisi. 120

Çizelge 7.12 : Standartlaştırılmamış ayrım fonksiyonu katsayıları. 121
Çizelge 7.13 : Sınıflandırma sonucu. 121
Çizelge 7.14 : Grupları tespit edilmemiş beş örnek atım. 123
Çizelge 7.15 : Beş örnek atımın grup tespit çizelgesi. 123
Çizelge 7.16 : Model istatistikleri ve varyans analizi I. 125
Çizelge 7.17 : Model istatistikleri ve varyans analizi II. 126
Çizelge 7.18 : Test atımlarının değerlendirilmesi. 128
Çizelge 7.19 : Model denetleme parametreleri. 129
Çizelge 8.1 : İndeks değere göre atımların sınıflandırılması. 138
Çizelge 8.2 : Parçalanma indeksi seviyelerine göre gruplandırılmış atımlar. 139
Çizelge 8.3 : Grup istatistik değerleri. 140
Çizelge 8.4 : Grup ortalamalarının eşitlik testi. 141
Çizelge 8.5 : Ayırma analizinin özeti. 141
Çizelge 8.6 : Sınıflandırma sonuçları. 142
Çizelge 8.7 : Standartlaştırılmış kanonik ayrım fonksiyonu katsayıları. 142
Çizelge 8.8 : Yapı matrisi. 143
Çizelge 8.9 : Standartlaştırılmamış ayrım fonksiyonu katsayıları. 143
Çizelge 8.10 : Grup merkezleri. 144
Çizelge 8.11 : Parçalanma seviyesi bulunmak istenen örnek atım. 145
Çizelge 8.12 : Parçalanma indeksi modelinin test atımları ile denenmesi. 149
Çizelge 8.13 : Parçalanma indeksi ve pratik parçalanma indeksi aralığı. 151
Çizelge 8.14 : Parça boyutu tahmin modeli ile parçalanma indeksi tahmin modeli. 154
Çizelge 8.15 : İki farklı modelin karşılaştırılması. 156
Çizelge 9.1 : Kayaç tipine göre parçalanmanın iyileştirilmesi için yapılması gerekenler 160
Çizelge 9.2 : Adım adım regresyon modelinin özeti (I). 162
Çizelge 9.3 : Model dışı bırakılan değişkenler için kısmi korelasyonlar (I). 163
Çizelge 9.4 : Varyans analizi. 164
Çizelge 9.5 : Regresyon analizinde katsayılar (I). 165
Çizelge 9.6 : Adım adım regresyon modelinin özeti (II). 166
Çizelge 9.7 : Model dışı bırakılan değişkenler için kısmi korelasyonlar (II). 166
Çizelge 9.8 : Regresyon analizinde katsayılar (II). 167
Çizelge 9.9 : Parçalanmanın iyileştirilmesi için patlatma kılavuzu. 169
Çizelge 9.10 : Taş ocağında ölçülen örnek bir atım. 170

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Patlayıcı enerjisinin kullanımı. 5
Şekil 2.2 : Deliğin etki alanında bulunan kayaç zonları 6
Şekil 2.3 : Patlatma kaynaklı parçalanmanın operasyonlar üzerindeki etkisi 10
Şekil 2.4 : Parça boyut dağılım eğrisi. 12
Şekil 3.1 : RMS parametresinin belirlenmesi için kullanılan diyagram 20
Şekil 3.2 : Swebrec tarafından gerçekleştirilen deneysel ve tam ölçekli atımlar 22
Şekil 3.3 : Farklı zonların net olarak görüldüğü patlatılmış beton silindir 23
Şekil 3.4 : Ufalanma zonunu gösteren grafik. 24
Şekil 3.5 : CZM modelinde ince ve iri boyutlu malzeme eğrilerinin birleştirilmesi. 25
Şekil 3.6 : Delikler arası gecikmenin parça boyutuna etkisi. 27
Şekil 3.7 : Larsson'un blok boyutunu belirlemek için kullandığı nomogram 29
Şekil 3.8 : Özgül Şarj–Delme İndeksi ilişkisi 33
Şekil 3.9 : Kayaç özelliğine göre uygun patlayıcıyı gösteren grafik 34
Şekil 4.1 : Basamak patlatmasında tasarım parametreleri. 37
Şekil 4.2 : H/B oranına bağlı olarak S/B oranının değişimi 41
Şekil 4.3 : Ash'a (1963) göre farklı B/D oranları için, delik çapına karşılık gelen dilim kalınlığı değeri. 45
Şekil 4.4 : Farklı kayaç tipleri için delik çapı (D) , B/D eşleşmesi 46
Şekil 4.5 : Jimeno ve diğ. (1995) göre delik çapına göre dilim kalınlığının değişimi. 47
Şekil 4.6 : Gustafsson'un (1997) Özgül şarj–Parçalanma grafiği. 50
Şekil 4.7 : Strelec ve diğerlerinin (2000) özgül şarjın tahmini için geliştirdiği grafik. 51
Şekil 5.1 : WipFrag yazılımıyla gerçekleştirilen parça boyut analizi. 54
Şekil 5.2 : Kamera ekseni yığına dik olarak elde edilmiş fotoğraf. 55
Şekil 5.3 : Görüntü işlemedeki iki önemli hata, birleşme ve parçalanma. 56
Şekil 5.4 : Taş ocağından alınmış ölçekli resim. 59
Şekil 5.5 : Düzeltme uygulanmış parça boyut dağılımı. 60
Şekil 5.6 : Elek analizi için hazırlanmış numuneler. 60
Şekil 5.7 : WipFrag programıyla analiz edilen görüntü. 61
Şekil 5.8 : Birinci deney için elek analizi ve WipFrag sonuçları. 62
Şekil 5.9 : İkinci deney için elek analizi ve WipFrag sonuçları. 62
Şekil 5.10 : Çatlaklı yapının parçalanma üzerine etkisi 64
Şekil 5.11 : Çatlaklı yapıda uygulanabilecek iki farklı patlatma paterni 65
Şekil 5.12 : Ayna görüntüsünden hat etüdü ölçümü. 66
Şekil 5.13 : Çatlak görüntüsünden çatlak izlerine geçiş 68
Şekil 5.14 : Gri tonda kaya yüzey görüntüsünün parlaklığa göre topografik yüzeye benzetilmesi 68
Şekil 5.15 : Süreksizliklerin çok net olarak tespit edildiği yapı. 70
Şekil 5.16 : Akdağlar ocağında atım öncesi basamak aynasının görünümü. 71
Şekil 5.17 : 10. Örnek atıma ait basamak. 71
Şekil 5.18 : WipJoint yazılımı ile tespit edilen görünür bloklar. 72
Şekil 5.19 : 10. Örnek atım aynasının WipJoint ile analiz sonucu. 72

Şekil 5.20 : 10. Örnek atımın parça boyut dağılımı. 73
Şekil 5.21 : 10. Örnek atımın yığınından analiz amaçlı alınan fotoğraflar. 73
Şekil 5.22 : 9. Örnek atıma ait basamak. 74
Şekil 5.23 : 9. Örnek atım aynasının WipJoint ile analiz sonucu. 74
Şekil 5.24 : 9. Örnek atımın parça boyut dağılımı. 75
Şekil 5.25 : 9. Örnek atımın yığınından analiz amaçlı alınan fotoğraflar. 75
Şekil 5.26 : 21 Nolu örnek atıma ait basamak görüntüsü 76
Şekil 5.27 : 34 Nolu örnek atıma ait basamak görüntüsü 76
Şekil 5.28 : 36 Nolu örnek atıma ait basamak görüntüsü 77
Şekil 5.29 : 71 Nolu örnek atıma ait basamak görüntüsü 77
Şekil 6.1 : İstanbul Paleozoyik istifi 80
Şekil 6.2 : Ocakların konumu. 81
Şekil 6.3 : Akdağlar ocağından bir görünüm. 81
Şekil 7.1 : Çok değişkenli analiz akım şeması. 94
Şekil 7.2 : Dongri−Buzurg madeninde atım öncesi basamak aynasının görünümü. 100
Şekil 7.3 : Parça boyutu−özgül şarj grafiği 102
Şekil 7.4 : Tek bağlantı ve tam bağlantı metodunun prensibi. 107
Şekil 7.5 : Ortalama bağlantı metodunun prensibi. 111
Şekil 7.6 : Kümeleme analizi sonucu elde edilen dendrogram. 112
Şekil 7.7 : İki grup için ortalama vektör grafiği. 119
Şekil 7.8 : Ayırma analizi sonrası iki grup için elde edilen ayrım skorları. 122
Şekil 8.1 : Kaya kırma prosesi. 131
Şekil 8.2 : Aler ve Du Mouza'nın (1996) Kırka Bor Madeni'nde ölçtüğü atımlar. .. 134
Şekil 8.3 : RMR, Pf ve S/B'nin parçalanma indeksi üzerindeki etkisi 135
Şekil 8.4 : Parçalanma indeksi kestirim modelinin akım şeması. 137
Şekil 8.5 : Bölgesel ayrım haritası. 144
Şekil 8.6 : Ortalama değişken vektörleri grafiği. 146
Şekil 8.7 : Model süresince veri değişimini gösteren grafik. 152
Şekil 9.1 : Düşük elastisite modülüne sahip kayaç için belirlilik katsayıları. 168
Şekil 9.2 : Yüksek elastisite modülüne sahip kayaç için belirlilik katsayıları. 169

SEMBOLLER

ρc	**:** Empedans
B	**:** Dilim kalınlığı
c	**:** Kaya sabiti
D	**:** Delik çapı
df	**:** Serbestlik derecesi
E	**:** Elastisite modülü
FI	: Parçalanma indeksi
GPa	**:** Gigapascal
H	**:** Basamak Yüksekliği
L	**:** Delik boyu
MPa	**:** Megapascal
n	**:** Üniformite İndeksi
Pd	**:** Pearson mesafesi
Pf	**:** Özgül Şarj
R	**:** Korelasyon katsayısı
R^2	**:** Belirlilik katsayısı
S	**:** Delikler arası mesafe
S_J	**:** Çatlaklar arası mesafe
T	**:** Sıkılama mesafesi
U	**:** Alt delme
x_{50}	**:** Ortalama parça boyutu
X_B	**:** Ortalama yerinde blok boyutu
x_c	**:** Karakteristik boyut
x_{max}	**:** Maksimum parça boyutu

PARÇALANMANIN İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK PATLATMA TASARIMLARININ ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Patlatma operasyonu kendinden sonraki prosesleri de büyük ölçüde etkileyen bir madencilik faaliyetidir. Modern madencilik anlayışına göre patlatma, yükleme, nakliyat, kırma, öğütme faaliyetleri bir bütün olarak ele alınmaktadır. Patlatma işlemindeki verimlilik artışı, takip eden operasyonlarda daha düşük maliyetle çalışma imkanı sağlayacaktır. Parçalanmanın iyileştirilebilmesi ve patlatılabilirlik konusunda birçok araştırma mevcuttur. Parçalanmaya etki eden parametreler genel olarak kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen parametreler olarak ikiye ayrılmaktadır. Kontrol edilebilen parametreler, patlayıcı özellikleri ve patlatma tasarım parametreleridir. Kontrol edilemeyen parametreler ise kayaç özellikleridir. Parçalanmanın iyileştirilmesi için, kayaç özelliklerini en doğru şekilde anlama ve patlatma tasarımını en iyi şekilde uygulama zorunluluğu vardır.

Parçalanma kavramı çok sayıda parametrenin aynı anda etkilediği bir yer bilimleri problemidir. Bu nedenle çözümü güçtür ve bu karmaşık problemin çözümünde çok değişkenli analizin kullanılmasında büyük yarar vardır. Bilgisayar yazılımlarının da yardımıyla çok değişkenli analizin daha kolay uygulanması mümkün olmaktadır.

Tez kapsamında arazi ölçümleri İstanbul Cendere Bölgesi'ndeki üç komşu taş ocağında gerçekleştirilmiştir. Arazide patlatma tasarım parametreleri ölçülmüş; görüntü işleme yoluyla değerlendirmek için atım sonrası yığın ve atım öncesi basamak aynası dijital kamerayla görüntülenmiştir. Görüntülenen basamak aynasının yerinde blok boyutu WipJoint yazılımı ile belirlenmiştir. Yığının parça boyut dağılımı ise WipFrag yazılımı ile belirlenmiştir. Analizler sırasında görüntü işleme yazılımlarının parçalanmanın belirlenmesi konusunda çok faydalı olduğu görülmüştür.

Çok değişkenli analiz gerçekleştirmek için öncelikle bir atım veritabanı oluşturulmuştur. Bu amaçla parçalanmayla ilgili olarak tüm literatür dikkatle taranmıştır. Dokuz farklı ocakta gerçekleştirilmiş yüze yakın atımın bir araya geldiği bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu atım veri tabanında literatür kaynaklı atımlar olduğu gibi Cendere Bölgesi'nde ölçülen atımlar da mevcuttur. Böylece tez kapsamında oluşturulan modellerde yüksek atım çeşitliliği sağlanmıştır.

Farklı atımları bir araya getirirken ortak parametreler çerçevesinde birleştirme zorunluluğu vardır. Çok değişkenli analize tabi tutmak için yedi adet temel patlatma parametresi göz önüne alınmıştır. Bunlar sırasıyla delikler arası mesafe-dilim kalınlığı oranı, dilim kalınlığı-delik çapı oranı, sıkılama mesafesi-dilim kalınlığı oranı, basamak yüksekliği –dilim kalınlığı oranı, özgül şarj, elastisite modülü ve yerinde blok boyutudur. Modele dahil olacak kayaç parametreleri olan elastisite modülü ve yerinde blok boyutu, literatürde parçalanma ile ilgili yaklaşımlar geliştirilirken sıkça kullanılan ve güvenilen parametrelerdir. Tüm önemli patlatma tasarım parametreleri de mümkün olduğunca modele dahil edilmiştir.

Ortalama parça boyutunu veren bir model ortaya koymak için üç farklı çok değişkenli analiz yöntemi birbirini takip edecek şekilde uygulanmıştır. Öncelikle kümeleme analizi kullanılarak atımlar sınıflandırılmaya çalışılmıştır. Kümeleme yöntemi olarak, yerbilimlerinde sıkça kullanılan hiyerarşik kümeleme yöntemi uygulanmıştır. Kümeleme analiziyle atımlar düşük elastisite modülüne sahip kayaç atımları ve yüksek elastisite modülüne sahip kayaç atımları olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup 35 atım, daha büyük olan ikinci grup 62 atım içermektedir. Gerçekleşen bu sınıflandırmanın güvenilirliğini test etmek için çok değişkenli ayırma analizi uygulanmıştır. Ayırma analizi sonucunda kümeleme analiziyle ortaya konan iki gruplu ayrımın yüzde yüz doğru olduğu ortaya çıkmıştır.

Ayırma analizi sonucunda bir lineer ayrım denklemi elde edilmiştir. Lineer ayrım denklemi yoluyla modele dahil edilmeyen atımların hangi gruba girdiğini tespit etmek mümkündür. Grubu bilinmeyen 5 örnek atıma lineer ayrım denklemi uygulanmış ve atımlar başarılı bir şekilde gruplandırılmıştır.

Üçüncü aşamada, oluşturulan iki farklı atım grubuna çok değişkenli regresyon analizi uygulanmıştır. Böylece farklı kayaç yapıları için ortalama parça boyutunu veren formüller geliştirilmiştir. Geliştirilen formüllerde korelasyon katsayıları 0,80'in üzerindedir. Atım veritabanına dahil olmayan test atımları kullanılarak geliştirilen ortalama parça boyutu kestirim formüllerinin yetkinliği test edilmiştir. Özellikle düşük elastisite modülüne sahip kayaç için geliştirilen formül 40'dan fazla atım üzerinde denenmiştir. Ek olarak Kuznetsov denklemi de test atımlarına uygulanmış, geliştirilen formüller ile Kuznetsov denkleminin sonuçları karşılaştırılmıştır. Geliştirilen parçalanma kestirim formülleri büyük ölçüde başarılıdır. 51 test atımının 28 tanesinde ±3 cm hata ile parça boyutu tahmin edilmiştir. Geliştirilen parça boyutu kestirim modeli karmaşık parametreler içermemekte olup, pratik kullanıma uygundur.

İkinci bir model olarak parçalanma indeksi kestirim modeli oluşturulmuştur. Parçalanma indeksi yerinde blok boyutunun atım sonrası yığının blok boyutuna oranıdır. Parçalanma indeksi yoluyla atım verimliliğini değerlendirmek mümkündür. Öncelikle, düşük elastisite modülüne sahip kayaçta gerçekleştirilen atımların parçalanma indeksleri tespit edilmiştir. Parçalanma indeksi değerlerine göre atımlar üç ayrı parçalanma seviyesine ayrılmıştır. Bunlar yetersiz parçalanma, orta seviyede parçalanma ve yüksek seviyede parçalanmadır. Bu üç gruba çoklu ayırma analizi uygulanarak iki farklı ayrım denklemi elde edilmiştir. Bu denklemler yoluyla atımların parçalanma seviyesi tahmin edilmiştir.

Parçalanma seviyesi bulunmak istenen 40'ın üzerinde test atımına parçalanma formülleri uygulanmıştır. Atımların parçalanma seviyesi %83 oranında doğru olarak tahmin edilmiştir. Ek olarak parçalanma indeksi kestirim modelinden yararlanarak atımlar için ortalama parça boyut aralığı kestirimi yapılmıştır.

Parçalanma indeksi kestirim modeli ortalama parça boyutu kestirim modeline göre daha esnektir. Parçalanmayı bir boyut aralığı veya parçalanma seviyesi ile tahmin etmek tahmin hatalarını azaltabilir. Parçalanma indeksi tahmin modeli ortalama parça boyutu kestirim modeline alternatif olmuştur. Her iki modelin birbirlerini tamamlayacak şekilde kullanılabileceği ortaya konmuştur.

Üçüncü bir model olarak bir parçalanma kılavuzu oluşturulmuştur. Parçalanma kılavuzu farklı kayaç yapılarında ön plana çıkan patlatma tasarım parametrelerini ve kayaç parametrelerini ortaya koymaktadır. Bu yolla parçalanmayı adım adım iyileştirmek mümkündür.

Parçalanma kılavuzunu oluşturmak için adım adım regresyon tekniğinden yararlanılmıştır. Adım adım regresyon yoluyla baskın parametreler belirlenmiştir. Düşük elastisite modülüne sahip ve yüksek elastisite modülüne sahip kayaçlar için iki farklı kılavuz oluşturulmuştur. Her kayaç tipi için en önde gelen 4 patlatma tasarım ve kayaç parametresi göz önüne alınmıştır.

THE INVESTIGATON OF THE BLAST DESIGNS FOR IMPROVEMENT OF FRAGMENTATION

SUMMARY

Blasting is an important mining operation that affects the following operations substantially. According to modern mining concept, blasting, hauling, transporting, breaking, and milling operations are the parts of an integrated system. The improvement of the blasting operation enables to perform the following mining operations with lower cost. There are many researches related the improvement of the fragmentation and the blastability. The parameters have an effect on blasting were divided into two groups; controllable parameters and uncontrollable parameters. Controllable parameters are explosive and blast design parameters. Uncontrollable parameters are rock mass specifications. Rock properties should be determined properly and blast design should be applied accurately to improve fragmentation.

The blast fragmentation is a complex earth science problem that consists of many parameters. Thus, it is difficult to solve the problem. The usage of the multivariate analysis to solve that problem is very helpful. Computer software makes it possible to use multivariate analysis techniques easily.

In this study, site investigations were carried out in three neighbor quarries in Istanbul Cendere Region. All blast design parameters were measured. Additionally, the bench faces and the muckpiles were photographed to use for image analysis. In-situ block size of the bench faces was determined by WipJoint software. Particle size distributions of the muckpiles were determined by WipFrag software. It was proven that the image analysis software were very useful for fragmentation evaluation.

As a first step, a blast database was created to perform multivariate analysis. All blasting literature was searched completely for that purpose. A blast database contains almost one hundred blasts performed in nine different mines was formed. The database contains the blasts compiled from the blasting literature and the blasts measured in Cendere Region Quarries. Thus, high blast diversity was achieved.

The blasts compiled for blast database have to be bunch together according to the common parameters. Seven main blasting parameters were considered to apply multivariate analysis. These are spacing-burden ratio, burden-hole diameter ratio, stemming-burden ratio, bench height-burden ratio, specific charge, modulus of elasticity and in-situ block size. Modulus of elasticity and in-situ black size are reliable and frequently used rock parameters for fragmentation modeling. All important blast design parameters were included the developed fragmentation model.

Three different multivariate analysis procedures were used respectively to create a mean particle size prediction model. In first step, cluster analysis was performed to classify the blasts. Hierarchical clustering method, which is widely used in earth sciences, was chosen as clustering method. Cluster analysis enables to classify the

blasts into two groups, as the blasts performed in high elastic modulus rock and the blasts performed in low elastic modulus rock. First group contains 35 blasts; the second group contains 62 blasts. Multivariate discriminant analysis was applied to test the accuracy of the classification. Discriminant analysis proved that the classification of the blasts into two groups was correct 100%.

Discriminant analysis created a linear discriminant function. Linear discriminant function was used to determine the group of the blasts that is not included the model. The linear discriminant function was applied to five sample blasts and the sample blasts were grouped successfully.

As a third stage, multivariate regression analysis was applied to two blast groups. Thus, mean particle size prediction equations were developed for particular rock masses. The correlation coefficients of the equations are higher than 0.80. The prediction ability of the equations was tested on the blasts that was not included the blasting database. Particularly, the equation developed for the low elastic modulus rocks was tested on more than 40 blasts. Additionally, Kuznetsov Equation was applied to test blasts and the results of the Kuznetsov Equation and developed particle size prediction equations were compared. The developed mean the particle size prediction equations are substantially successful. The particle size prediction error is ±3 cm for 28 of 51 test blasts. The particle size prediction model does not contain complex parameters. It is suitable for practical usage.

The second developed model is fragmentation index prediction model. Fragmentation index is the ratio of in-situ block size to blasted block size. It is possible to evaluate fragmentation efficiency of blasts by fragmentation index. As a first step, the fragmentation indexes of the blasts performed in low elastic modulus rock were calculated. The blasts were divided into three groups based on the fragmentation indexes. These are insufficient fragmentation, moderate fragmentation and highly efficient fragmentation. The linear discriminant analysis was applied to the three fragmentation groups and two different discriminant functions were obtained. The fragmentation levels of the blasts were predicted by the discriminant function.

The fragmentation equations were applied to more than forty test blasts. The fragmentation level of the test blasts is predicted with %83 accuracy. Additionally, the mean particle size intervals were predicted using the fragmentation index prediction model.

Fragmentation index prediction model is more flexible technique than particle size prediction model. It may reduce the prediction error to predict the fragmentation as a size interval or as a fragmentation level. The fragmentation index prediction model is an alternative way for the mean particle size prediction model.

A fragmentation guideline was formed as the third model. The fragmentation guideline indicates dominant blast design parameters and rock parameters for different rock types. The fragmentation guideline enables to improve the fragmentation stepwise.

Stepwise regression technique was used to create the fragmentation guideline. Dominant blasting parameters are determined based on stepwise regression. Two different guidelines are prepared for low elastic modulus rock and high elastic modulus rock. Four main blast design and rock parameters are determined for each rock groups.

1. GİRİŞ

Parçalanmanın kestirimi, patlatılabilirliğin belirlenmesi, patlatmaya etki eden parametrelerin ortaya konması her zaman yerbilimlerinin ve madenciliğin önemli uğraşlarından biri olmuştur. Verimli, en düşük maliyetle patlatma işlemini gerçekleştirmek kuşkusuz temel hedeftir. Buna ek olarak patlatma sonuçlarının kendinden sonra gelen prosesler üzerinde de etkin olduğu göz ardı edilmemelidir. Taşıma, yükleme, kırma ve hatta öğütme operasyonlarındaki verimlilik doğrudan atım sonrası elde edilen parça boyut dağılımı ile ilişkilidir. Modern yaklaşımlarda madencilik faaliyeti bir süreç olarak düşünülmekte; ocaktaki tüm operasyonlar bir arada değerlendirilmektedir. Bu sürecin başlangıç noktası patlatma faaliyetidir. Uygun parça boyut dağılımına sahip malzeme elde edilirse, patlatma sonrası işlemler daha sorunsuz işleyecektir.

Atım sonrası parça boyut dağılımının kestirimi ve parçalanmanın iyileştirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiş çok sayıda çalışma mevcuttur. Halen başta Kanada, Avustralya ve Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere bu konuda çalışmalar devam etmektedir. Problemin çözümü oldukça karmaşıktır ve bunun nedenini problemin yapısında aramak gerekmektedir. Parçalanmaya etki eden parametreler çok çeşitlidir. Bu parametreler kısaca kayaç parametreleri, patlatma tasarımı ile ilgili parametreler ve patlayıcı ile ilgili parametreler olarak gruplandırılabilir. Bu durum, patlatma ile ilgilenen mühendis için kimi zaman disiplinler arası düşünme zorunluluğu getirmektedir.

Teknolojinin gelişmesiyle patlayıcı çeşitleri artmakta daha verimli patlayıcıların üretimi üzerinde çalışılmaktadır. Kayaç−patlayıcı eşleşmesi verimli bir patlatmanın temel unsurlarından biri olarak gözükmektedir. Su durumuna göre, kayacın dayanım ve deformasyon özelliklerine göre uygun patlayıcının seçilmesi zorunluluğu mevcuttur.

Parçalanmaya etki eden bir diğer parametre patlatma tasarımıdır. Kayaç özelliklerine en uygun tasarımın gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Patlatma tasarımı konusunda birçok araştırmacının yorum ve önermeleri bulunmakta olup, Bölüm 4'de ön plana

çıkan araştırmacılara ait tüm patlatma tasarımı önerileri sunulmuştur. Patlatma tasarım parametreleri parçalanmaya etki eden kontrol edilebilir parametreler grubundandır. Patlatma mühendisi gelişen şartlara göre bu büyüklüklerde değişiklik yaparak, tasarım parametrelerini değişen kayaç özelliklerine uyarlayabilmektedir.

Problemi karmaşıklaştıran en önemli parametre kuşkusuz kayaç özellikleridir. Patlatmaya etki eden kayaç özellikleri çok sayıdadır ve kontrol edilemeyen parametrelerdir. Elastisite modülü, basınç dayanımı, yoğunluk gibi belli başlı parametrelerde araştırmacılar arasında uzlaşma mevcut iken, araştırmacıların ayrıldıkları birçok nokta da mevcuttur. Parçalanma veya patlatma ile ilgili yorum geliştiren araştırmacılar, çoğunlukla kullandıkları örnek atımların izin verdiği parametreleri göz önüne almışlardır. Kuşkusuz tüm kayaç özeliklerini ortaya koyan modeller geliştirmek güçtür. Çalışmalar patlatma prosesinde öncelikle göz önüne alınması gereken parametreleri tespit etme noktasında yoğunlaşmaktadır. Bugün birçok araştırmacı, kayaç özelliklerinin patlatma tasarım parametrelerinden daha fazla önem taşıdığı fikrini öne sürmektedir.

Kuşkusuz bir çalışmaya başlamadan önce konu ile ilgili literatürü tespit etmek, problemi tam anlamıyla ortaya koymak açısından önemlidir. Parçalanma ile ilgili daha önce gerçekleştirilmiş çalışmaları belirlemek gidilmesi gereken yönü aydınlatacaktır. Ek olarak geliştirilen modellerin değerlendirilmesi aşamasında da literatürde yer alan çalışmalar örnek teşkil edecektir. Bu tez çalışmasında konu ile ilgili literatür derinlemesine taranmıştır. Bölüm 2 ve 3'te konuya etraflıca bir bakış ortaya konmuştur.

Parçalanma modelleri geliştirme çabasında olan araştırmacılar son yıllarda özellikle görüntü işleme yazımlılarının getirdiği kolaylıklardan faydalanmışlardır. Yığını elemenin çok maliyetli ve zaman alıcı olduğu düşünülürse atım sonrası parça boyut dağılımının tespiti amacıyla kullanılan yazılımların önemi ortaya çıkar. Bu tez kapsamında da İTÜ envanterinde bulunan görüntü işleme yazılımları kullanılmıştır.

Özellikle son 10 yılda çatlaklar arası mesafe, çatlak yönelimi gibi kaya kütle özeliklerinin de görüntü işleme yazılımları yoluyla değerlendirilmesi düşünülmektedir. Tez kapsamında, tez çalışması başladığında tek ticari yazılım olan bir görüntü işleme yazılımı, basamak aynasındaki süreksizlikleri tespit etmek amacıyla kullanılmıştır. Parçalanma açısından önem arz eden yerinde blok boyutu

büyüklüğünün belirlenmesi de görüntü işleme yazılımıyla gerçekleştirilmiştir. Böylece bir bakıma yeni, gelişmiş yazılımların kullanımına ön ayak olunduğu söylenebilir. Patlatma araştırmalarına yazılım teknolojisindeki ilerlemelerin dahil edilmesi, daha verimli çalışmaların yapılmasını sağlayacaktır.

Bölüm 5'de tez çalışması kapsamında kullanılan görüntü işleme yazılımları ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Detaylı bir şekilde görüntü işleme yazılımlarının nasıl kullanılacağı üzerinde de durulmuş; ayrıca yazılımların yetkinliği ve kapasiteleri de açıklanmaya çalışılmıştır.

Arazi ölçümlerinin gerçekleştirildiği ocaklar İstanbul çevresindeki taş ocaklarıdır. Günden güne büyüyen İstanbul'un agrega ihtiyacı sürekli artmaktadır. Bu durum ocakların daha yüksek kapasitede ve daha yüksek verimlilikle çalışmasını zorunlu kılmaktadır. Tez kapsamında geliştirilen modeller, parçalanma verimliliğinin diğer bir deyişle üretim verimliliğinin artırılmasını hedeflemektedir. Kuşkusuz geliştirilen modeller ile evrensel bir kriterler ortaya konmaya çalışılmıştır. Bununla beraber, İstanbul çevresi taş ocaklarının incelenmesi ve bu ocaklarda parçalanma verimliliğinin artırılması İstanbul için azami önem taşıyan bir konunun bilimsel olarak incelenmesi anlamına gelmektedir. Taş ocaklarında ölçülen atımlar Bölüm 6'da ayrıntılı olarak verilmiştir.

Parçalanmanın tespiti için çok değişkenli analiz esas alınıp istatistiksel analizin en komplike yöntemleri kullanılmaya çalışılmıştır. Yukarıda değinildiği gibi parçalanmaya etki eden parametreler çok sayıdadır. Bütün bu parametreleri bir arada değerlendirmek için çok değişkenli analize başvurmak kaçınılmazdır. Tez kapsamında çok değişkenli analizin farklı yöntemleri bir arada ve ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu durum, farklı ve birbirini tamamlayan modellerin geliştirilmesine imkan sağlamıştır. Aynı zamanda bu modeller, bir yer bilimleri problemine çok değişkenli analizin uygulanması konusunda da örnek teşkil edecektir. Tez kapsamındaki en karmaşık analizler dahi açıklanırken; patlatmayla ilişkili olarak açıklanmaya çalışılmış, mümkün olduğunca gereksiz teorik bilgiden kaçınılmıştır. Gerçekleştirilen modeller Bölüm 7, 8 ve 9'da ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Geliştirilen modellerde farklı ekolleri takip etmek, farklı yaklaşımlar oluşturmak yoluyla; konuya mümkün olan en yüksek katkı sağlanmaya çalışılmıştır. Bölüm 7'deki model ortalama parça boyutunu kestirmeyi amaçlamaktadır. Bölüm 8'de

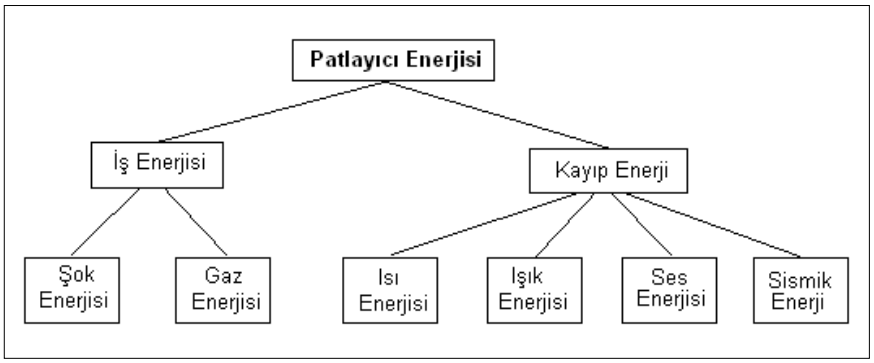
geliştirilen model parçalanma indeksi kavramı üzerine kurulmuştur. Bölüm 9'da ortaya konan model ise parçalanma kavramına daha bütüncül bir açıdan bakmakta, nispeten daha pratik bir açıdan konuya eğilmektedir. Çalışılan modellerin aynı zamanda saha mühendisine katkı sağlar olması üzerinde de durulmuştur.

2. PARÇALANMA KAVRAMI

2.1 Parçalanma Prosesi

Parçalanma veya parçalanma derecesi, patlatma sonrası ortaya çıkan malzemenin boyut dağılımını ifade eden bir deyimdir. Parçalanma kavramıyla beraber, çoğu zaman yan yana yürüyen bir diğer kavram patlatılabilirliktir. Patlatılabilirlik kayacın patlayıcı enerjisine karşı gösterdiği direnç, tepki olarak adlandırılabilir (Jimeno ve diğ, 1995).

Patlatmanın sonuçları bu tez kapsamında temel olarak parçalanma kavramı çerçevesinde değerlendirilecektir. Bunun dışında patlatmanın gaz emisyonu, titreşim, hava şoku gibi olumsuz çevresel etkileri de vardır. Ek olarak patlatma sonrası çalışılan kayaca verilen zarardan da söz edilebilir. Patlayıcı enerjisinin patlatma prosesinde nasıl kullanıldığı Şekil 2.1'de özet olarak gösterilmiştir.

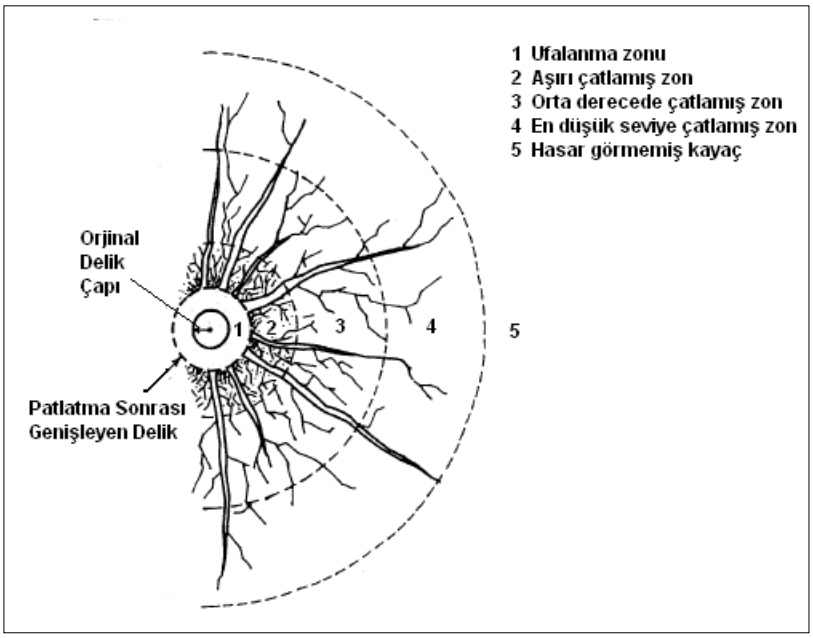


Şekil 2.1 : Patlayıcı enerjisinin kullanımı.

Parçalanmayı sağlayan şok enerjisi ve gaz enerjisinden oluşan iş enerjisidir. Öncelikle parçalanma işini yapan kısa sürede etki eden şok dalgasıdır. Daha sonra patlama kaynaklı gazların yol açtığı gaz basıncı ön plana çıkmaktadır. Öncelikle hemen deliğin çevresinde bir ufalanma zonu oluşmakta, parçalanma ve çatlamanın yoğunluğu delikten uzaklaşıldıkça düşmektedir. Parçalanmanın bittiği noktada patlatmanın diğer etkileri devam etmektedir. Patlamayla oluşan şok, silindirik veya küresel bir dalga olarak kayacın içinde ilerlemekte ve eksenel basınç gerilmesi yanında, çembersel çekme gerilmesi yaratır. Bu gerilme kayacın çekme gerilmesinin

üzerine çıktığı zaman çatlaklar oluşmaya başlar. Çatlak oluşumunun şiddeti delikten uzaklaştıkça yavaşlamaya başlar ve bir noktadan sonra çatlak oluşumu durur (Şekil 2.2). Deliğin içinde deliğin genişlemesine yardımcı olan ve ek olarak çatlak yüzeylerinde etkili olan gaz basıncı nedeniyle de çatlak oluşumu ve yayılımı ilerler. Oluşan gaz eksenel çatlaklar arasında kendine yol bulur. Ek olarak gazın içinde bulunduğu boşluk ve serbest yüzey arasında genişleyen gazın etkisiyle, serbest yüzey dışına doğru bükülme hareketi görülür. Sonuç itibariyle parçalanan kaya serbest yüzeyin dışına doğru atılmaktadır. Bu sırada parçaların birbirine çarpmasından dolayı ekstra bir parçalanma oluşmaktadır (Bhandari, 1997).

Kayaç içinde çatlakların olması durumunda kayacın blok yüzeylerinden koparak ayrılması da söz konusudur. Bazı durumlarda patlatma kaynaklı geçici gerilme dalgaları parçalanma üzerinde yüksek derecede etkilidir. Bazen özellikle zayıf çatlaklı formasyonda, gaz basıncı parçalanma üzerinde daha etkili olmaktadır (Morhard ve diğ., 1987, Bhandari, 1997).



Şekil 2.2 : Deliğin etki alanında bulunan kayaç zonları (Morhard ve diğ., 1987).

2.2 Parçalanma ve Patlatılabilirlik Üzerinde Etkili Olan Parametreler

Parçalanmaya etki eden parametreler kontrol edilebilen parametreler ve kontrol edilemeyen parametreler şeklinde iki gruba ayrılmaktadır. Kontrol edilemeyen parametreler patlatılabilirlik kavramının da özünü oluşturan kayaç parametreleridir. Tüm patlatma tasarım parametreleri ve patlayıcı parametreleri ise kontrol edilebilen

parametreler arasındadır. Delik çapı, delik boyu, alt delme, delik eğimi, sıkılama mesafesi, sıkılama malzemesi, basamak yüksekliği, dilim kalınlığı–delikler arası mesafe oranı, ateşleme sisteminin tipi, gecikme aralığı, serbest yüzeyin durumu, patlayıcı tipi, patlayıcı enerjisi vb. kontrol edilebilir parametrelerdir. Bu parametrelerin sayısının çokluğu patlatma mühendisinin titiz çalışmasını zorunlu kılmaktadır (Morhard ve diğ., 1987).

Patlatılabilirlik üzerinde etkisi olan kayaç parametrelerinin başta gelenleri, Capehart ve Lilly (2002) tarafından aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır:

- Elastisite modülü, basınç dayanımı, çekme dayanımı, poisson oranı, bulk modülü, kaya materyalin basınç dalgalarını ve kesme dalgalarını iletim hızı.
- Çatlak tokluğu, çatlaklar arası mesafe, çatlakların boyu ve yönelimi, çatlakların içindeki dolgu malzemesi, çatlak açıklığı, kesme direnci, basınç direnci.

Genel olarak masif, süreksizlik içermeyen kayacın parçalanmasının, süreksizlik içeren kayaca oranla daha zor olduğu (daha fazla enerji gerektirdiği) bilinmektedir. Çatlaklar arası mesafe yerinde blok boyut dağılımının belirleyen temel unsurdur. Çatlak aralığı azaldıkça (çatlaklar sıklaştıkça) daha düşük enerji ile parçalanmanın gerçekleştirilebileceği öngörülür. Yine kuşkusuz yoğunluğu daha yüksek olan kayacın parçalanması daha güç olacaktır.

Jimeno ve diğerleri (1995) ise patlatılabilirlik üzerinde en yüksek etkisi olan kayaç parametrelerini; kayacın dayanımı, zayıflık düzlemleri arası mesafe, yönelim, sedimanter yataklanma tabakalarının kalınlığı, dalga iletim hızı, kayacın elastik özellikleri, çatlakların sıklığı ve çatlak dolgu malzemesinin tipi, kaya kütlesinin homojenliği ve yapısı vb. şeklinde tanımlarlar. Bhandari (1997) parçalanma üzerinde etkili olan kayaç parametrelerini; dayanım özellikleri, elastik özellikler, yoğunluk, dalga iletim hızı, porozite, yapısal süreksizlikler, tabakalanma özellikleri, yeraltı suyu ve nem içeriği olarak sıralamaktadır.

Patlatma işleminde bir boyut küçültme eyleminin gerçekleştirildiği düşünülebilir. Yerinde blok boyut dağılımından, patlatma sonrası yığında, patlatılmış blok boyut dağılımına geçilmektedir (Lu ve Latham, 1998). Yerinde blok boyut dağılımını arazide gerçekleştirilen ölçmelerle veya son yıllarda kullanımı artan dijital görüntü işleme teknikleriyle belirlemek mümkündür.

2.3 Parçalanmanın Patlatma Sonrası Operasyonlara Etkisi

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

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

Parçalanma verimliliğindeki artışın kendinden sonra gelen prosesler üzerindeki etkisini belirtmek için ABD Minnesota eyaletindeki Mesabi Havzası'ndan örnek verilebilir. Bir çok yayında belirtilen bu örnek proje Mesabi Havzası'ndaki takonit (hematit ve manyetit) demir cevheri madeninde gerçekleştirilmiştir (Eloranta 1995, Hustrulid, 1999, Eloranta ve diğ., 2007).

Demir madeninde yapılan çalışmada özellikle üç nokta üzerinde durulmuştur: Patlatmada ortaya konan toplam enerji, enerji dağılımı ve enerji kullanımı. Burada deliklerin çevresinde parçalanmanın iyi olduğu, deliklerden yani enerji kaynağından

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

Delme ve patlatma: Ton başına %28 maliyet düşüşü.

Cevher yükleme: Aynı ekipmanla yükleme verimliliğinde %29 artış, ton başına maliyette %33 düşüş.

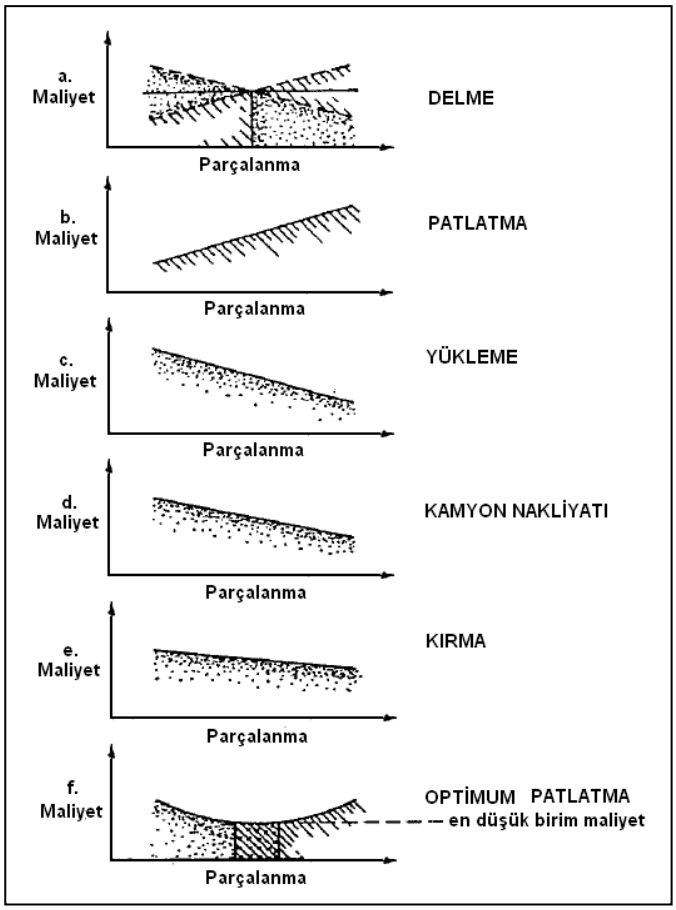
Cevher nakliyatı: Ton başına maliyette %48 azalma.

Birincil kırma: Kırıcı verimliliğinde %34 artış (kırılan malzeme/saat).

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

İnce öğütme: Genel öğütme maliyetinde %42 düşüş.

Parçalanmanın patlatma operasyonlarının maliyetine etkisi Şekil 2.3'deki temel grafikte görülmektedir. Patlatma operasyonunda patlatma tasarım parametrelerinin tamamen doğru uygulandığı varsayılırsa; parçalanmayı iyileştirme yönünde hareket edildiği zaman birim patlatma maliyeti artacaktır. Bununla beraber yükleme, nakliyat ve kırma operasyonlarında maliyet düşüşü sağlanmaktadır. Burada madendeki tüm operasyonlar göz önüne alınarak maliyetin minimum olduğu bir parçalanma noktası vardır. Bu nokta tespit edilmelidir.



Şekil 2.3 : Patlatma kaynaklı parçalanmanın operasyonlar üzerindeki etkisi (Mckenzie, 1967).

Parçalanmadaki iyileşmenin kırıcı verimliliğini artırdığı gerçeği ifade edilirken, özellikle boyut küçültmede beslenen malzemenin enerji sarfiyatı ile ilişkisini ortaya koyan Bond'un formülüne burada değinilebilir. Formül direkt olarak patlatma sonrası parça boyut dağılımının neden önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Bond'un 3. Boyut Küçültme Teorisi'ne göre malzemenin boyutunu küçültmek için gerekli olan enerji aşağıdaki şekilde hesaplanabilir (Bond, 1952).

$$W = 10 \times W_i \left[\frac{1}{\sqrt{x_{p80}}} - \frac{1}{\sqrt{x_{f80}}}\right] \qquad \textbf{(2.1)}$$

Burada,

W = Gerekli enerji (iş) miktarı (kWh/ton)

W_i = Kayaç için iş indeksi

x_{p80} = Ürünün %80'inin geçtiği elek açıklığı (µm)

x_{f80}= Beslenen malzemenin %80'inin geçtiği elek açıklığıdır. (µm)

2.4 Parçalanmanın Tespiti ve Görüntü İşleme Yazılımları

Genel olarak bir yığının parça boyut dağılımını tespit etmek için en iyi sonuç veren yol, tüm yığını elemektir. Ancak bu pratikte pek mümkün değildir, büyük maddi külfete ve zaman kaybına yol açabilir. Bunun dışında genel olarak aşağıdaki yöntemler uygulanır.

- Görsel analiz
- Fotografik yöntem
- Yüksek hızlı fotoğraflama
- Yükleme verimliliğinin incelenmesi
- İkincil patlatmaya gerek duyan malzeme miktarının tespiti
- Kırıcı verimliliği, kırıcılardaki tıkanma
- Kısmi olarak yığının elenmesi
- Bilgisayar yoluyla dijital görüntü işleme (Jimeno ve diğ., 1995).

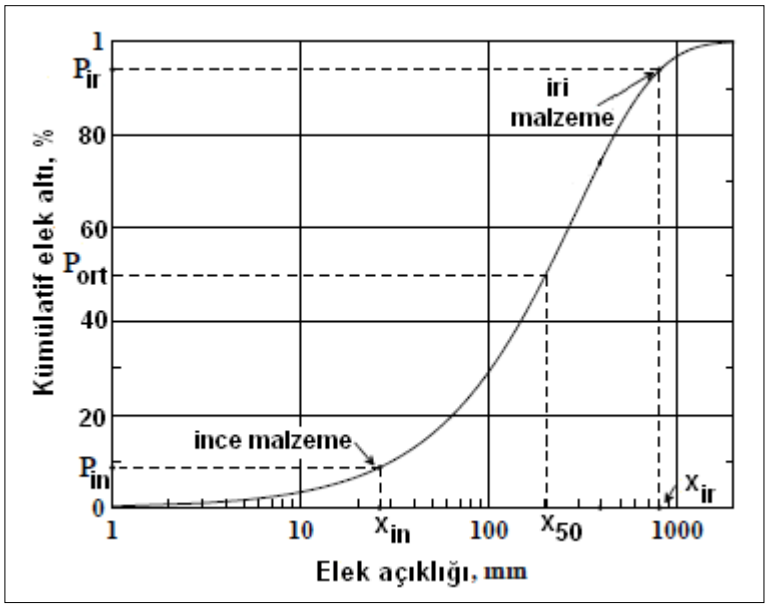
Bunlar arasında günümüzde en yüksek verimlilikle, sıkça uygulanan yöntem kuşkusuz dijital görüntü işlemedir. Parça boyut dağılımının belirlenmesi amacıyla dijital görüntü işleme yöntemi 1980'lerin başında ortaya çıkmış; 1990'lar boyunca geliştirilmiştir. Bugün bu sistemler üniversitelerin yanı sıra birçok madende kurulu haldedir ve kullanılmaktadır. Yöntem hızlı bir şekilde, üretimi kesintiye uğratmadan parça boyut dağılımının belirlenmesini sağlamaktadır. Yeni geliştirilen sistemler vasıtasıyla gerçek zamanlı olarak parça boyut dağılımının belirlenmesi de mümkün olmaktadır.

Görüntü işleme yazılımları konusunda tüm dünyada çalışmalarda bulunan farklı araştırma grupları mevcuttur. Maerz ve arkadaşları (1996) kendi kurdukları Wipware Inc. Şirketi bünyesinde WipFrag programını geliştirmişlerdir. Bu program dijital dosyalar, fotoğraflar, video görüntüleri üzerinden çalışabilmektedir. Program dijital görüntüdeki parçaları sahip olduğu algoritma ile otomatik olarak belirlemekte ve geometrik olasılıklardan yararlanarak iki boyutlu parça boyut dağılımından üç boyutlu dağılıma geçmektedir. Fragscan sistemi Schleifer ve Tessier (1996) tarafından Ecole des Mines de Paris bünyesinde geliştirilmiştir. Split programı Kemeny ve arkadaşları (1996) tarafından 1993–1995 yılları arasında Arizona Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. Split Engineering adlı ABD Tuscon şehrinde bulunan şirket aracılığıyla ticari dağıtımı yapılmaktadır. Bu program da gerçek

zamanlı görüntü işleme yeteneğine sahiptir. Ipacs, S. Dahlhielm (1996) tarafından İsveç'te geliştirilmiş bir görüntü işleme programıdır. Tucips ise Almanya'da Technical University Clausthal'da, Havermann ve Vogt (1996) tarafından geliştirilmiştir. Üreticileri programın gerçek verilerden %5 sapma ile parça boyut dağılımını belirlediğini öne sürmektedir. Cias, ABD Madencilik Bürosu (USBM) ve Noramco Enginnering Corparation tarafından ortaklaşa olarak geliştirilmiş bir programdır (Downs ve Kettunen, 1996). Goldsize programı Kleine ve Cameron (1996) tarafından, Kanada kökenli Golder Associates Inc. şirketi bünyesinde geliştirilmiştir.

2.5 Parçalanmanın İfade Edilmesi

Parçalanmayı tanımlamak için parçalanma eğrisi kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında ortalama parça boyutu tahmin modelleri geliştirecektir. Ortalama parça boyutu kavramını parçalanma eğrisi öznelinde değerlendirmekte fayda vardır.



Şekil 2.4 : Parça boyut dağılım eğrisi.

Şekil 2.4'de patlatma sonrası parçalanmayı ifade etmek için kullanılan parça boyut dağılım eğrisi görülmektedir. Eğrinin 'x' ekseni malzemenin geçtiği elek açıklığını, 'y' ekseni ise belirli bir elek açıklığından geçen malzemenin % olarak oranını göstermektedir. Burada;

x_{50} = Ortalama parça boyutu, malzemenin %50'sinin geçtiği elek açıklığıdır.

1-P_{ir} = 'x_{ir}' olarak belirtilebilecek belirli bir boyuttan büyük olan iri parçaların yüzdesidir. İri malzeme olarak tabir edilen bu malzemenin ebadı ocaktan ocağa değişiklik gösterebilir.

P_{in} = 'x_{in}' olarak adlandırılabilecek belirli bir parça boyutunun altında olan parçaların yüzdesidir. İnce malzeme miktarı olarak adlandırılabilir. İnce malzeme tanımlaması da ocaktan ocağa değişebilir.

Kümülatif parça boyut dağılım eğrisini ifade etmek için Rosin-Rammler, Weibull veya yakın zamanda ortaya konan Swebrec fonksiyonu gibi fonksiyonlar mevcuttur (Ouchterlony, 2003, Ouchterlony, 2005a). Üniformite indeksi değeri ve ortalama parça boyutu biliniyorsa herhangi bir elek açıklığından geçen malzeme miktarının tahmini yapılabilmektedir. Üniformite indeksinin patlatma parametrelerinden bulunması mümkündür (Cunningham, 1987).

$$R(x) = 1 - e^{-0{,}693.\left(\frac{x}{x_{50}}\right)^n} \quad \textbf{(2.2)}$$

R(x) = 'x' elek açıklığından geçen malzemenin oranı

x = Elek açıklığı

x_{50} = Ortalama boyut

n = Üniformite indeksi

3. PARÇALANMA VE PATLATILABİLİRLİK İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

3.1 Kuz-Ram Modeli

3.1.1 Kuz-Ram modelinin esasları

Kuz-Ram modeli ortalama parça boyutunu veren bir denkleme, kayaç yapısını belirleyen bir yaklaşıma ve parça boyut dağılım eğrisinin çizilmesinde yararlanılan Rosin–Rammler denklemine dayanır. Günümüzde en sık başvurulan ve güvenilirliğini kanıtlamış olan yaklaşım olarak nitelendirilebilir (Kuzu ve Hüdaverdi, 2006). Kuz-Ram modelinin temelini oluşturan Kuznetsov denklemi, 1973 yılında V. M. Kuznetsov tarafından 'Fizikotekhnicheskie Problemy Razrabotki Poleznykh Iskopaemykh' adlı dergide Rusça yayınlanan bir makale ile ortaya konmuştur. Kuznetsov ünlü bağıntısını geliştirirken Novosibirsk bölgesinde bir taş ocağında gerçekleştirilen atımların verilerinden yararlanmıştır. Bu makalede patlatma sonrası kayaçların ebadının 0,8 gram ile 5000 kg arası değiştiği belirtilmektedir. Kuznetsov'un denklemini geliştirmek için kullandığı atımlar Çizelge 3.1'de verilmiştir. Toplam 4 seri halinde gerçekleştirilen atımlar 26 tanedir. Kuznetsov'un deneysel olarak elde ettiği parça boyut dağılımı ile kendi hesaplamaları ile elde ettiği parça boyut dağılımı karşılaştırmalı olarak bu Çizelgede görülebilir. Özellikle 4. Seri atımlarda özgül şarj birinci seriye göre nerdeyse iki katına yakındır. Ortalama özgül şarj 0,49 kg/m^3'tür. Standart sapma ise 0,13 olarak gerçekleşmiştir. Kuznetsov'un atımlarda kullanmış olduğu patlayıcı TNT' dir (Kuznetsov, 1973).

Ortalama parça boyutunu veren Kuznetsov denklemi şu şekilde ifade edilir:

$$x_{50} = A\,(V_o / Q_e)^{0,8}.Q_e^{0,167}.(115 / E)^{0,633} \qquad \textbf{(3.1)}$$

Burada,

x_{50} = Ortalama parça boyutu (cm)

A = Kaya faktörü (1–13)

Q_e = Delik içindeki patlayıcının miktarı (kg)

V_o = Delik başına kayaç hacmi: BxSxH

B = Dilim kalınlığı (m)

S = Delikler arası mesafe (m)

H = Basamak yüksekliği (m)

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

Çizelge 3.1 : Kuznetsov (1973) tarafından değerlendirilen atımlar.

Seri 1−Atım No		1	2	3	4	5	7
Özgül şarj, kg/m^3		0,31	0,34	0,37	0,39	0,39	0,32
Toplam şarj, kg		260	285	352	320	270	293
Ortalama parça boyutu (cm)	Deneysel	34,7	58,4	57,6	62,9	55,5	63,9
	Teorik	60	56	59	56.6	55	64,5

Seri 2−Atım No		1	3	5	7	9	17
Özgül şarj, kg/m^3		0,37	0,38	0,33	0,47	0,36	0,30
Toplam şarj, kg		390	400	480	350	320	410
Ortalama parça boyutu (cm)	Deneysel	37	40	55	46	59	45
	Teorik	42	41	48	34	41	38

Seri 3−Atım No		1	3	5	7	9	11	13
Özgül şarj, kg/m^3		0,74	0,49	0,59	0,55	0,49	0,62	0,63
Toplam şarj, kg		675	625	557	600	710	730	533
Ortalama parça boyutu (cm)	Deneysel	59	50	48	47	64	53	58
	Teorik	38	51,5	44,5	47	48	44	41

Seri 4−Atım No		1	2	3	4	5	6	7
Özgül şarj, kg/m^3		0,62	0,59	0,62	0,60	0,65	0,66	0,51
Toplam şarj, kg		440	465	440	540	530	485	560
Ortalama parça boyutu (cm)	Deneysel	46,2	43,9	38,1	32,7	36	59	51,4
	Teorik	44,5	42,3	44,5	43	40	39	49

Kuznetsov denklemini TNT için yazmıştır. Denklemin sonundaki Cunningham (1983) tarafından eklenen ifade diğer patlayıcılarında kullanımına imkan vermektedir. Parçalanma eğrisinin çiziminde Rosin-Rammler eşitliği olarak adlandırılan aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$R = e^{-(x/x_c)^n} \quad \textbf{(3.2)}$$

Burada;

R :Elek üzerinde kalan malzemenin oranı

x :Elek açıklığı

x_c :Yüzde miktarı bulunacak tane boyutu

n :Üniformite indeksi olmaktadır.

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

Üniformite indeksi için Cunningham (1983), 3.3 No'lu bağıntıyı ortaya koymuştur.

$$n = (2{,}2 - 14B/D)\,[(1+S/B)^{0{,}5}/2]\,(1-W/B)\,(L/H) \quad \textbf{(3.3)}$$

Bu bağıntıda;

D :Delik şarj çapı (mm)

B :Dilim kalınlığı (m)

S :Delikler arası mesafe (m)

W:Delik sapmalarının standart sapması (m)

H :Basamak yüksekliği (m)

L :Şarj uzunluğu (m)' dur.

Cunningham (1987) ilk makalesinden dört sene sonra yayınladığı ikinci makalesinde üniformite indeksi konusunda şu tespitlerde bulunmuştur:

- Üniformite indeksinin 0,75'ten küçük olduğu durum toz malzemeyi ve patar olarak tanımlanan istenmeyen iri parçaların ortaya çıkışını belirtir.
- Üniformite indeksinin 1'den küçük olduğu durumda indeksteki değişim iri parçalar ve çok ince malzeme için kritik bir hal alır. Üniformite indeksi 1,5 civarında veya daha yüksekse yığının yapısında çok fazla değişim beklenmemelidir.
- Üniformite indeksinin normal aralığı 0,75 ile 1,5 arasında değişmektedir. Genellikle patlatma kaynaklı parçalanma inceleniyorsa bu değer 1 civarıdır.

- Patlatma sonrası kayaç parçalarının şekli patlatılan kayaca göre değişik biçimlerde olabilmektedir. Yığın elek analizinden geçiriliyorsa parçaların şekil faktörü önem kazanmaktadır. Örneğin boyu enine göre çok daha uzun bir parça kısa ekseni elek açıklığından küçükse elekten rahatlıkla geçebilmektedir.

Lilly (1986) tarafından geliştirilmiş olan Patlatılabilirlik İndeksi, Cunningham tarafından modele dahil edilmiş ve kaya faktörünün bulunması kolaylaşmıştır (Cunningham, 1987):

$$A = 0{,}06\,(RMD + JPS + JPA + RDI + HF) \quad \textbf{(3.4)}$$

Burada;

- RMD: Kaya kütle sınıflaması: Çok çatlaklı parçalanmış kaya=10, Bloklu kaya kütlesi =20, masif kaya kütlesi = 50
- JPS: Eklem düzlemi aralığı: <0,1 m = 10, 0,1–1,0 m = 20, >1 m = 50
- JPA: Eklem düzlemi yönelimi: Yatay = 10, Aynanın dışına doğru dalan = 20, aynaya paralel = 30, aynanın içine doğru dalan = 40
- RDI: Özgül ağırlık etkisi: (25 RD –50) RD: Kayaç özgül ağırlığı (t/m^3)
- HF: Sertlik katsayısı:

  Elastisite modülü (E)<50 GPa ise HF = E/3

  E>50 GPa ise HF = UCS/5 UCS = Tek eksenli basınç dayanımı (MPa)'dır.

Cunningham (1983) Kuz-Ram modelinin genel işleyişi hakkında ise şu hususlara değinmiştir:

- Üniformite indeksi bulunurken elde edilen S/B oranı delme paterni üzerinden ifade edilmektedir, ateşleme düzeni göz önüne alınmamaktadır. Ayrıca S/B oranının mümkünse 2'yi geçmemesi istenir.
- Ateşleme ve gecikme zamanlaması parçalanmanın daha iyi gerçekleşmesi ve patlamamış deliğin kalmaması için dikkatle ayarlanmalıdır.
- Patlama sırasında patlayıcının verdiği enerji yukarıda formüllerde kullanılan patlayıcının karşılaştırmalı ağırlıkça gücüne yakın olmalıdır. Patlayıcı hesaplanandan daha düşük bir enerji ile detone olursa Kuznetsov formülünün doğru sonuç vermesi güçleşecektir. Cunningham delik çapının patlayıcının kritik

çapından en az 3 kat daha fazla olması gerektiğini belirtmektedir. Patlayıcı yapısı homojen olmalıdır, ayrıca sıkılama etkin şekilde gerçekleştirilmelidir. Patlayıcının suya dayanıklılığı doğru şekilde tespit edilmeli, sulu delik için uygun patlayıcı seçimi yapılmalıdır. Bu parametreler göz önüne alınırsa Kuznetsov formülünde kullanılan karşılaştırmalı ağırlıkça kuvvet, patlayıcının kuvvetini doğru şekilde ortaya koyan bir parametreye dönüşür. Küçük sapmalar parça boyut dağılımını büyük ölçüde etkilemeyecektir.

- Çatlak yapısı, kayacın homojenliği arazide son derece dikkatle incelenmelidir. Özellikle çatlak aralığı delme paterninden daha küçükse (delikler arası mesafeden daha küçükse) dikkatli olunmalıdır.

3.1.2 Kuz-Ram modelindeki kayaç faktörü üzerine yorumlar

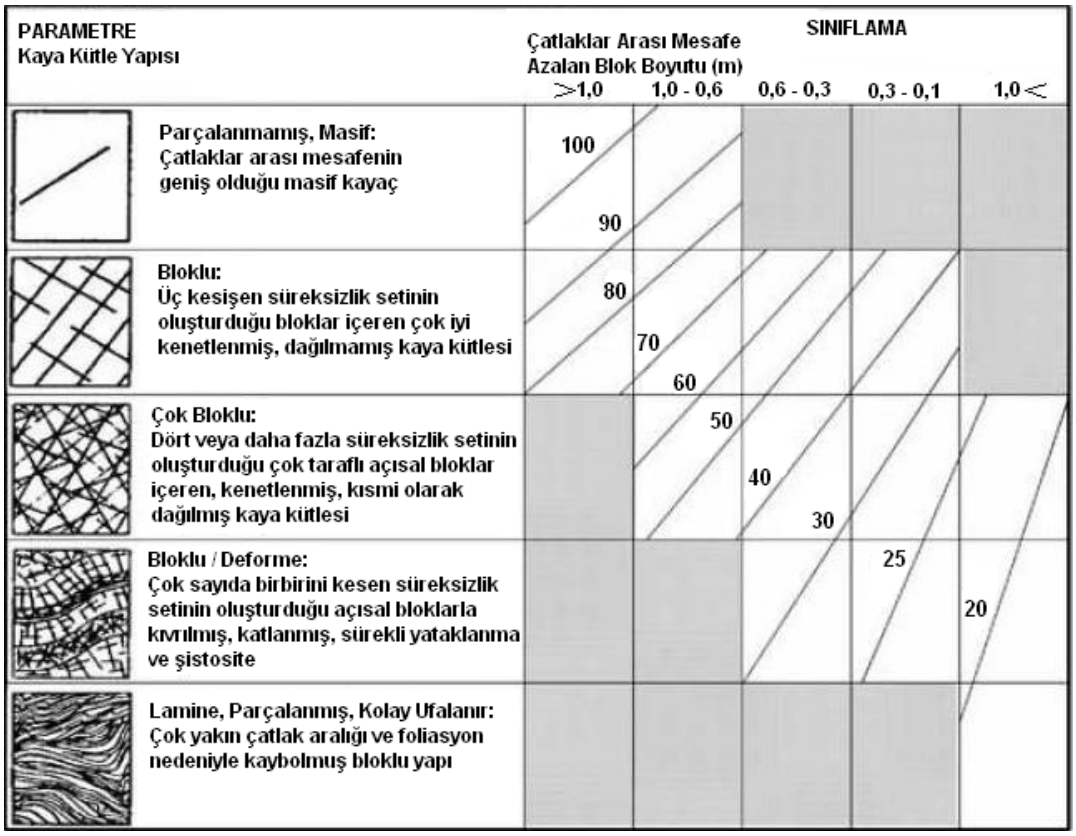
Kuz-Ram modelinin verimli olarak kullanılabilmesi için kayaç faktörünün (A) doğru olarak belirlenmesi gereklidir. Kayayı tanımlayan bu faktörün belirlenmesi içerdiği karmaşık parametreler nedeniyle pek de kolay değildir. Bu faktör belirlenirken Lilly'nin geliştirdiği patlatılabilirlik indeksi kullanılmaktadır.

Patlatılabilirlik indeksinin belirlenmesi konusundaki bir değişiklik Bickers ve arkadaşları (2002) tarafından ortaya konmuştur. Bickers ve arkadaşları patlatılabilirlik indeksini belirlerken kullanılan kaya kütle tanımlaması (RMD) ve çatlak düzlemi aralığı (JPS) parametrelerini birleştirerek yerine RMS (Kaya Kütle Yapısı) parametresini kullanmışlardır. Böylece iki parametre birleştirilerek tek bir parametre olmaktadır. Çatlak düzlemi yönelimi (JPA), özgül ağırlık etkisi (RDI) ve sertlik katsayısı (S) sabit kalmıştır. Aslında Bickers'in kullandığı RMS parametresi, Hoek ve arkadaşları tarafından geliştirilen ve kaya kütlesini tanımlamak için kullanılan bir parametredir. Aşağıda Şekil 3.1'de RMS parametresinin elde edilmesi için kullanılan diyagram sunulmuştur (Bickers ve diğ., 2002).

Bu durumda Bickers'in kullandığı Patlatılabilirlik İndeksi şu hali alır:

$$\text{Patlatılabilirlik indeksi (BI)} = 0{,}5 \times (\text{RMS} + \text{JPA} + \text{RDI} + \text{S}) \qquad \textbf{(3.5)}$$

Çatlak düzlemi yönelimi (JPA) 10 ile 40 arasında değişen bir değer almaktadır. RDI = (25 x kayaç yoğunluğu) – 50, S= 0,5 x Kayaç Dayanımı'dır (Bickers ve diğ., 2002).



Şekil 3.1 : RMS parametresinin belirlenmesi için kullanılan diyagram (Bickers ve diğ., 2002).

Kayaç faktörü A'nın belirlenmesi zaman alıcı ve güç olduğu için kimi araştırmacılar delme sırasında elde edilecek verilerden kayaç faktörünü hesaplanmayı düşünmüşlerdir. Raina ve diğerleri (2003) delme sırasında elde edilen verileri kullanılarak bir delme indeksi geliştirmişlerdir.

$$DI = \left(\frac{V_P}{E.N_r}\right).Q_h^2 \qquad \textbf{(3.6)}$$

Burada,

DI = Delme İndeksi

V_P = Delici uç ilerleme oranı (m/sa)

E = Delici uç üzerindeki baskı kuvveti (klb)

N_r= Delici ucun dönme hızı (dev/dk)

Q_h = Delme çapı (inç)'dir (Raina ve diğ., 2003).

Kaya faktörü ile delme indeksi arasında ise 3.7 ilişkisi bulunmuştur:

$$A = 6{,}6942(\mathrm{DI})^{0{,}4852} \qquad \textbf{(3.7)}$$

A değeri 3 ile 9 arasında değişmekte olup yukarıdaki ilişkinin korelasyon katsayısı (r) 0,86 seviyesindedir. A ile DI arasında çok yüksek bir ilişki olmamakla birlikte, bu tür mühendislik yaklaşımları kaya parametresinin belirlenmesinde kolaylık sağlamaktadır (Raina ve diğ., 2003).

3.2 Swebrec Denklemi ve KCO (Kuznetsov-Cunningham-Ouchterlony) Modeli

Kuz-Ram modelinde parçalanma eğrisini elde etmek için Rosin-Rammler eşitliği kullanılmaktadır. Swebrec'in (İsveç Patlatma Araştırmaları Merkezi) araştırmacıları Rosin-Rammler denkleminin parçalanma eğrisini doğru tanımlamadığını öne sürmektedirler. Daha evvel SveBeFo adıyla var olan İsveç Kaya Mühendisliği Araştırma Kurumu'nun gerçekleştirdiği araştırmalardan yararlanarak parçalanma eğrisini yeniden tanımlamışlardır. Bu çalışma Avrupa Birliği tarafından finanse edilen 'Less Fines Production in Aggregate and Industrial Minerals Industry' projesi kapsamında ortaya konmuştur.

Araştırmaya göre birçok dağılım Rosin-Rammler'den iki noktada sapmaktadır. Öncelikle dağılım içinde X_{max} olarak adlandırılabilecek bir en büyük parça boyutu mevcuttur. Ayrıca parçalanma eğrisinin ince boyutlu malzemeyi gösteren kısmı log-log skalada çizildiği zaman, Rosin-Rammler eğrisinde olduğu gibi lineer bir şekil almaz. Şekil 3.2'de araştırmacıların bir taş ocağında gerçekleştirilen atımlardan elde ettikleri parçalanma eğrileri görülmektedir. Şekilde görülen tam ölçekli atımlarda özgül şarj 0,55 kg/m^3 olarak sabittir. Delik çapı 38-76 mm arasındadır. Atımlar 5 m yükseklikteki basamaklarda tek sıra halinde gerçekleştirilmektedir. Şeklin üst kısmında görülen model atımlar ise 1-2-90 mm arası deliklerde gerçekleştirilen laboratuar atımlarıdır. Parçalanma eğrisini daha iyi tanımlamak için geliştirilen Swebrec fonksiyonu, üç temel parametreyi kullanmaktadır. Bunlar ortalama parça boyutu, maksimum parça boyutu ve eğri şekil katsayısıdır (Ouchterlony, 2005a, b).

$$P(x) = 1 / \{1+[\ln (x_{max} / x) / \ln(x_{max} / x_{50})]^b\} \quad \textbf{(3.8)}$$

Burada;

$0 < x < x_{max}$

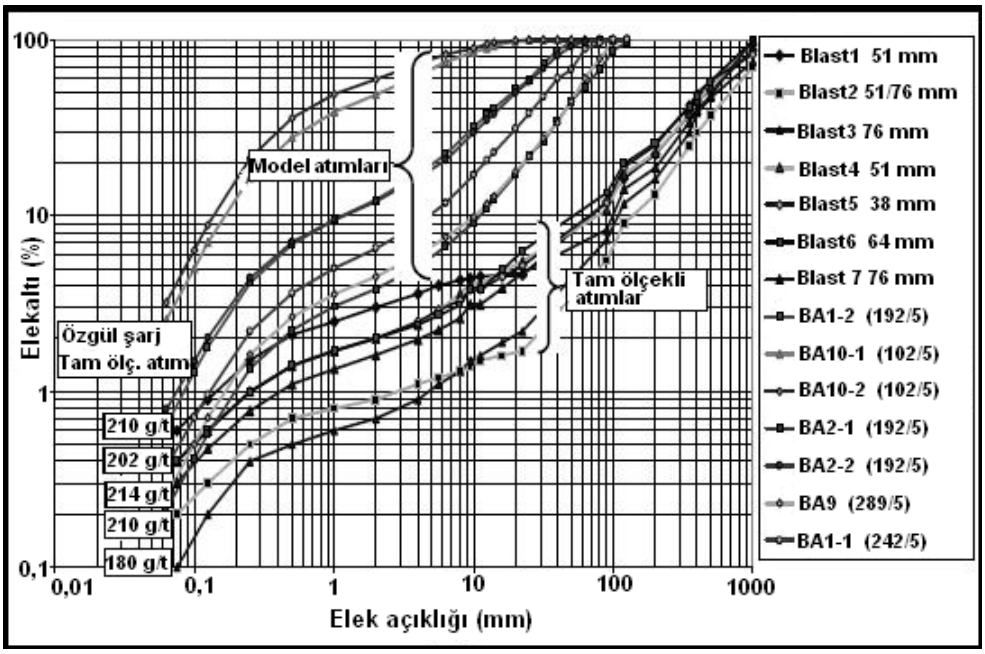
$b = 0{,}5x_{50}{}^{0,25}.\ln[x_{max} / x_{50}]$

x_{50} = Ortalama parça boyutu (mm)

x_{max}= Maksimum parça boyutu (mm)

b = Eğri şekil katsayısı'dır.

Araştırmacılar fonksiyonun θ500 m m parça boyut aralığında iyi sonuç verdiğini belirtmektedirler. Ayrıca Rosin-Rammler eğrisi yerine kendi geliştirdikleri eğrinin kullanımını önermekte, yeni modeli KCO (Kuznetsov-Cunningham-Ouchterlony) modeli olarak adlandırmaktadırlar (Ouchterlony, 2005b).



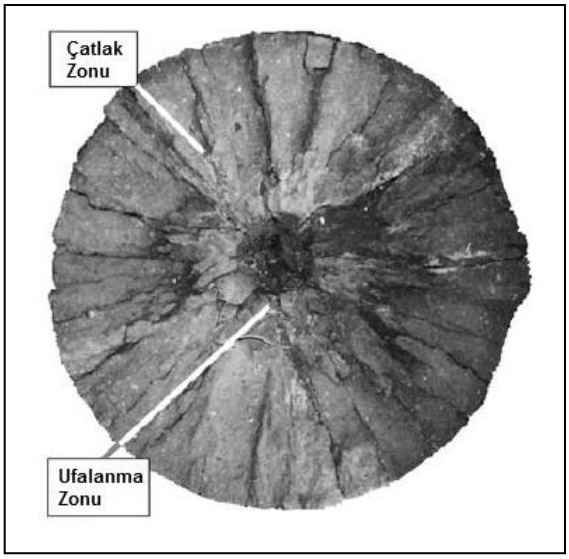
Şekil 3.2 : Swebrec tarafından gerçekleştirilen deneysel ve tam ölçekli atımlar (Ouchterlony, 2005b).

3.3 JKMRC Tarafından Geliştirilen Modeller

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

Ufalanma (Parçalanma) zonu modelinde (CZM) patlatma sonrası ortaya çıkan ince malzemenin kaynağının deliğin çevresindeki ufalanma zonu olduğu öngörülür (Şekil 3.3). İnce boyutlu malzeme ve iri boyutlu malzeme eğrileri ayrı ayrı hesaplanıp, parça boyut dağılım eğrisi bu iki parçanın birleştirilmesiyle elde edilmektedir (Kanchibolta ve diğ., 1999, Djordevic, 1999).

Deliğin çevresindeki radyal gerilmenin kayacın dinamik basınç dayanımından fazla olduğu kısım ufalanma zonudur. Ufalanma zonundaki malzeme miktarının bulunması için radyal gerilmenin basınç dayanımından fazla olduğu bu kısmın hacminin bulunması gerekmektedir.



Şekil 3.3 : Farklı zonların net olarak görüldüğü patlatılmış beton silindir (Thornton ve diğ., 2002).

Deliğin çevresindeki radyal gerilmeyi bulmak için 3.9 bağıntısı kullanılır (Thornton ve diğ., 2002).

$$\sigma_x = p_b \left(\frac{r}{x}\right)^2 \quad \textbf{(3.9)}$$

Burada;

σ_x= Deliğin merkezinden 'x' mesafesine kadar olan radyal gerilme (Pa)

r =Deliğin yarıçapı (mm)

P_b =Delik içi basınç'tır (Pa).

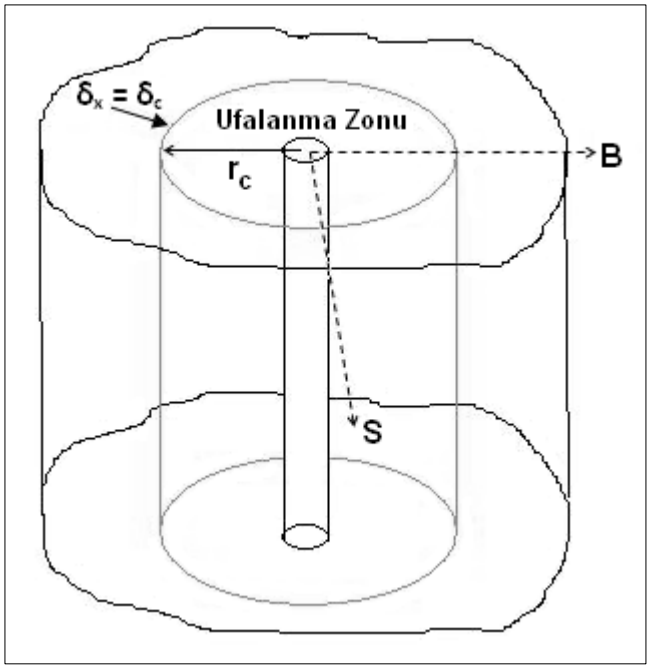
Delik içi basınç ise aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabilir (Thornton ve diğ., 2002).

$$P_b = \frac{\rho_e C_d^2}{4} \quad \textbf{(3.10)}$$

ρ_e= Patlayıcı yoğunluğu (kg/m^3)

C_d = Patlayıcının detonasyon hızı (m/s)

Şekil 3.4' de anlatılanları grafiksel olarak görmek mümkündür. 'r_c' ufalanma zonunun yarıçapıdır. B ve S hesaplama yapılan delik için dilim kalınlığı ve delikler arası mesafedir. Deliğin metresi başına ufalanma zonunun hacmini 'v_c' olarak nitelenirse, bu değerin toplam delikten çıkan malzemeye (BxS) oranı çok ince boyutlu malzemenin yüzdesini verir.



Şekil 3.4 : Ufalanma zonunu gösteren grafik (Thornton ve diğ., 2002).

$F_c = v_c / (BxS)$ **(3.11)**

F_c= Çok ince boyutlu malzemenin yüzdesi

Burada dikkat edilmesi gereken JKMRC modelinde çok ince boyutlu malzemenin boyutudur. Bu modelde çok ince boyutlu malzemede üst sınır 1 mm'dir. Boyutu 1 mm'den küçük malzeme çok ince boyutlu malzeme (fines) olarak nitelendirilmektedir.

İnce boyutlu malzeme yüzdesi (F_c) bulunduktan sonra ince boyutlu malzeme eğrisi ile iri malzeme eğrisi birleştirilerek tek bir parçalanma eğrisi elde edilmektedir. İki eğrinin birleştirilme noktası, eğer sağlam kayaçta çalışılıyorsa veya diğer bir deyişle kayacın basınç dayanımı 50 MPa'dan yüksek ise x_{50} (ortalama parça boyutu) noktasıdır. Çok zayıf bir kayaçta çalışılıyorsa (basınç dayanımı < 10 MPa ise) iki eğrinin birleştirilme noktası x_{90} seviyesine kadar çıkabilmektedir (Şekil 3.5).

Burada Şekil 3.5'de görüldüğü üzere malzemenin %50'sinin geçtiği noktanın (x_{50} boyutu) altında kalan eğri ince boyutlu malzeme için üniformite indeksini (indeks n_{ince}) verir. Bu indeks ortalama parça boyutu ve çok ince boyutlu malzemenin oluştuğu ufalanma noktası (F_c) kullanılarak şu şekilde formüle edilmektedir (Kanchibolta ve diğ., 1999):

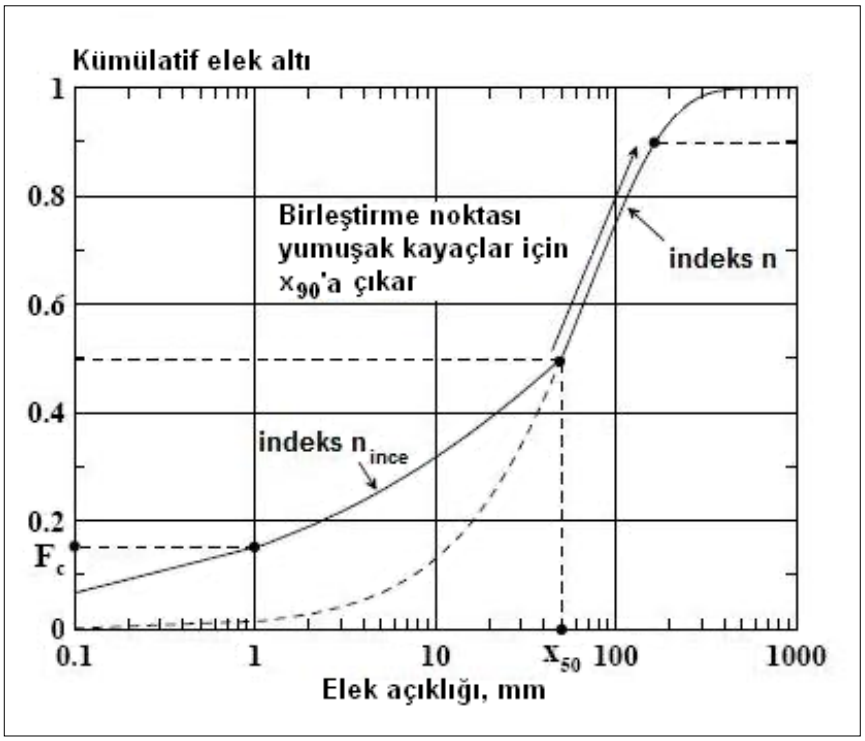
$$F_C = e^{-ln2(0.001/x_{50})^{n_{ince}}} \quad \textbf{(3.12)}$$

$$n_{ince} = ln[-ln(1-F_C)/ln2]\ /ln(0{,}001/x_{50}) \quad \textbf{(3.13)}$$

Benzer şekilde eğer yumuşak kayaçta çalışılıyorsa;

$$n_{ince} = ln[-ln(1-F_C)/ln10]\ /ln(0{,}001/x_{90}) \quad \textbf{(3.14)}$$

bağıntısıyla hesaplanabilmektedir. Burada orta sertlikte kayaçlar için kuşkusuz iki eğrinin birleşme noktası x_{50} ile x_{90} arasında bir yerde olacaktır. Araştırmacılar pratikte bunun nasıl gerçekleştirileceği konusunda tereddüt olduğunu bildirmektedir. (Kanchibotla ve diğ., 1999).



Şekil 3.5 : CZM modelinde ince ve iri boyutlu malzeme eğrilerinin birleştirilmesi (Thornton ve diğ., 2002).

İki bileşenli model de (TCM) ufalanma zonu modeline benzemektedir. Bu modelde parçalanma eğrisini oluşturmak için aynı anda iki Rosin-Rammler eğrisi tanımlanır.

Parçalanma eğrisi birleştirilmeden sürekli bir eğri olarak elde edilir. İki bileşenli model yoluyla elde edilen parçalanma eğrisinin denklemi aşağıda gösterilmiştir.

$$P(X) = 1 - (1 - F_C).e^{-ln2(\frac{x}{a})^b} - F_C.e^{-ln2(\frac{x}{c})^d} \quad \textbf{(3.15)}$$

Denklemdeki ‘a’ ve ‘b’ parametreleri parçalanma eğrisinin iri malzeme kısmını tanımlar. ‘c’ ve ‘d’ parametreleri ise parçalanma eğrisinin ince malzeme kısmını tanımlamak için kullanılmaktadır. Burada da ‘Fc’ eğride kırılma noktası olarak ifade edilen 1 mm altı malzemenin miktarıdır. Bu durumda görüldüğü üzere 5 ayrı parametrenin tanımlanması gerekliliği vardır. (Djordevic, 1999, Ouchterlony, 2003). Ancak burada da önce Fc parametresi belirlenmelidir. Bunun için öncelikle ufalanma zonu tahmin edilmektedir. Ufalanma zonunu tahmin etmek için matematiksel yaklaşım veya laboratuar ölçekli test atımları yapılabilir. Laboratuar ölçekli atımların verilerinden daha sonra tam ölçekli atıma geçmek mümkündür.

Hall ve Burton 2001 yılında bu iki modelin geçerliliğini ve etkinliğini patlatma verileri kullanarak incelemiştir (Hall ve Burton, 2002). Orta sert (81 MPa) ve sert (162 MPa) arasında değişen iki ayrı kayaçta gerçekleştirilen 14 atım değerlendirme amacıyla kullanılmıştır. Atımların parça boyut dağılımı Split programı ile tespit edilmiş; CZM ve TCM modellerinden elde edilen parça boyut dağılım sonuçları ile Split programı kullanılarak elde edilen parça boyut dağılımı karşılaştırılmıştır. Buna göre:

- Analiz sonucunda CZM’nin TCM’ye göre sonuçları daha iyi tahmin ettiği görülmüştür.
- Genel olarak iki model de ölçülenden daha iri bir parça boyutu vermektedirler.
- Modellenen parça boyut dağılımının iri kısmı ince kısmına oranla CZM ve TCM tarafından daha iyi kestirilmiştir.
- CZM modeli ince ve orta boyutlu malzeme aralığında (1 mm – 100 mm) Split programı sonuçlarına daha yakın sonuçlar vermiştir.
- CZM modeli, TCM modeline oranla daha az ve elde edilmesi daha kolay olan parametrelere ihtiyaç duymaktadır (Hall ve Burton, 2002).

3.4 Chung ve Katsabanis'in Modeli (CK Model)

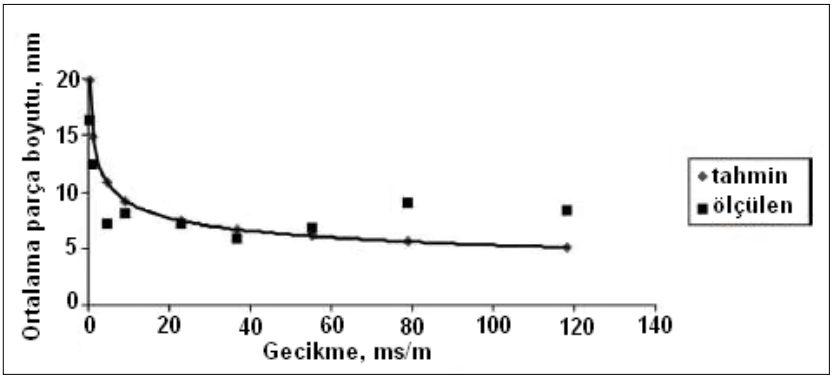
Chung ve Katsabanis (2000) literatürde yer alan atımlardan yararlanarak Kuz-Ram modelinin modifikasyonu şeklinde yorumlanabilecek yeni bağıntılar ortaya koymuşlardır. Kuznetsov denklemi belirli bir kayaç tipi ve patlayıcı için, özgül şarj ve delik başına düşen patlayıcı miktarını kullanarak ortalama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

$$k_{50} = AQ_e^{\alpha} B^{\beta} (S/B)^{\gamma} H^{\delta} t^{\varepsilon} \qquad \textbf{(3.16)}$$

Burada sırasıyla A kaya faktörü, B dilim kalınlığı, S/B delikler arası mesafe dilim kalınlığı oranı, H basamak yüksekliği, t ise aynı sırada bulunan delikler arası gecikmeyi belirtmektedir. α, β, γ, δ, ε ise sabitlerdir. Nonlineer regresyon analizi sonucunda aşağıdaki eşitliği geliştirmişlerdir.

$$k_{50} = AQ_e^{-1.176} B^{2.271} (S/B)^{1.165} H^{1.185} t^{-0.231} \qquad \textbf{(3.17)}$$

Chung ve Katsabanis gecikmenin etkisi konusunda Stagg ve Rholl'un (1987) yaptığı çalışmaya atıfta bulunmuşlardır. Şekil 3.6'da bu çalışmada ortaya konan grafik görülmektedir.



Şekil 3.6 : Delikler arası gecikmenin parça boyutuna etkisi (Stagg ve Rholl, 1987).

Grafikte görüldüğü gibi düşük gecikme aralıklarında gecikmenin parça boyutuna etkisi oldukça yüksektir. Ancak bir süre sonra gecikme aralığının değişiminin parçalanma üzerine etkisi çok az olmaktadır. Bu durumu göz önüne alan Chung ve Katsabanis, gecikme aralığının parçalanma üzerine etkisini ortaya koyacak yeterli çalışma olmadığını belirterek, geliştirdikleri formülden gecikme ile ilgili parametreyi çıkarmışlardır (Chung ve Katsabanis, 2000).

Bu durumda denklem, 3.18'deki şekli alır:

$$k_{50} = AQ_e^{-1,193}B^{2,461}(S/B)^{1,254}H^{1,266} \quad \textbf{(3.18)}$$

Araştırmacılar yukarıdaki denkleme ek olarak malzemenin % 80'inin geçtiği parça boyutu için de bir eşitlik ortaya koymuşlardır:

$$k_{80} = AQ_e^{-1,073}B^{2,43}(S/B)^{1,013}H^{1,111} \quad \textbf{(3.19)}$$

Malzeme için k_{50} ve k_{80} boyutlarını bulan araştırmacılar, bu iki boyutu kullanarak üniformite indeksini ve Rosin-Rammler denklemindeki karakteristik boyutu aşağıdaki şekilde yeniden tanımlamışlardır:

$$n = 0,842(lnx_{80} - lnx_{50}) \quad \textbf{(3.20)}$$

$$x_c = e^{0.565lnk_{50}+0.435lnk_{80}} \quad \textbf{(3.21)}$$

Chung ve Katsabanis modellerini test edecek yeterli veriye sahip olmadıklarını belirtmektedirler. Modelleri genel olarak deneysel atımların verilerine dayanmaktadır ve Kuz-Ram modelinin modifikasyonu şeklindedir. Kuz-Ram modeli tam ölçekli atımlara dayanılarak geliştirilmiş bir modeldir ve daha inandırıcı bir model olarak gözükmektedir.

3.5 Larsson'un Denklemi

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

$$K_{50} = S \times e^{(0,58\times lnB - 0,145\times ln(S/B) - 1,18\times ln(Ce/c) - 0,82)} \quad \textbf{(3.22)}$$

Burada;

B = Dilim kalınlığı (m)

S/B = Delikler arası mesafe / Dilim kalınlığı oranı

Ce= Özgül şarj (kg/m^3)

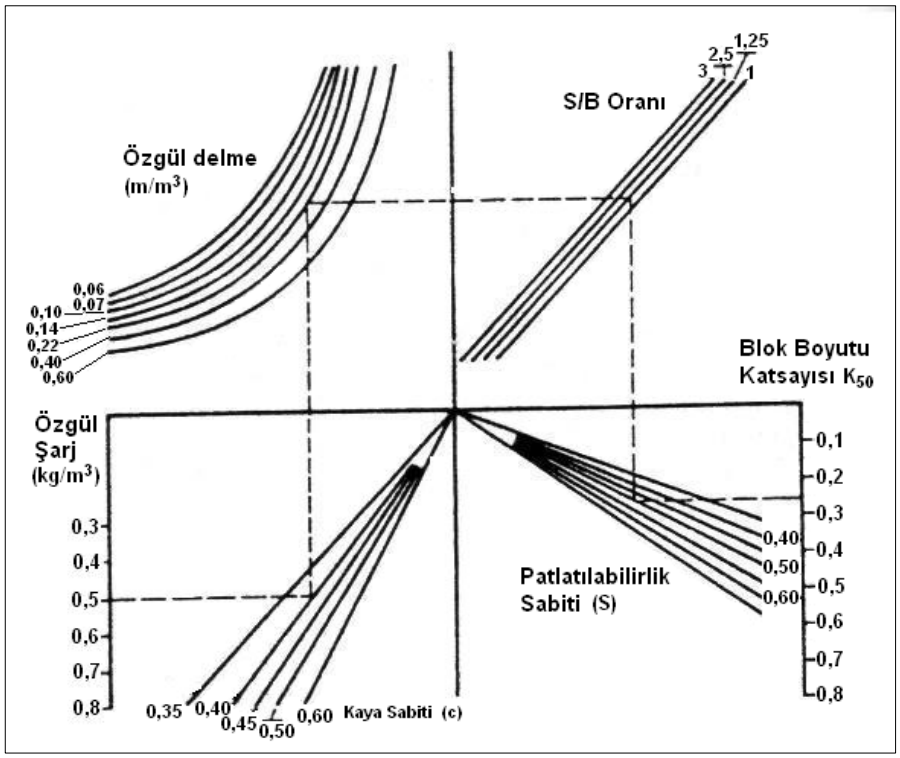
c =Kaya sabiti

S = Patlatılabilirlik, olarak tanımlanmaktadır.

Kaya sabiti değeri kayacı parçalamak için gerekli olan jelatin dinamitin özgül şarj değeri olarak tanımlanmaktadır. Bu değerin 0,3-0,5 kg/m^3 arasında değiştiği belirtilmektedir. Görüldüğü üzere kaya sabiti olarak Langefors'la aynı değer

kullanılmıştır. Kaya sabiti değeri, kayacın patlamaya karşı direncini, sertliğini, sıkılığını ortaya koyan bir değerdir. Dikkat edilmesi gereken Langefors'un da Larsson'un da bu değeri jelatin dinamiti göz önüne alarak önermiş olduğudur (Jimeno ve diğ., 1995).

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



Şekil 3.7 : Larsson'un blok boyutunu belirlemek için kullandığı nomogram (Jimeno ve diğ., 1995).

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

$$K_{50} = S \times \left[1 + 4{,}67\left(\frac{T}{L}\right)^{2,5}\right] \times e^{0,29lnB^2\sqrt{\frac{S}{1,25}} - 1,18ln\left(\frac{Ce}{c}\right)^{-0,82}} \quad \textbf{(3.23)}$$

Burada, T sıkılama mesafesini (m), L delik boyunu (m) göstermektedir (Jimeno ve diğ., 1995). Larsson'un bu çalışması SVEDEFO'nun katkısıyla bir nomogram olarakta ifade edilmeye çalışılmıştır (Şekil 3.7).

3.6 Saroblast Denklemi

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

$$x_{50} = \frac{0.01}{B^{0.8}} . \frac{(\rho c^{0.6}).(BS^{0.5})}{n^{0.7}.D^{0.4}.q} \quad \textbf{(3.24)}$$

x_{50} =Ortalama parça boyutu (cm)

B = Dilim kalınlığı (m)

S= Delikler arası mesafe (m)

D= Patlayıcının detonasyon hızı (m/s)

q = Özgül şarj (kg/m^3)

n = L_{tot}/H (sıkılama etkisi için)

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

ρc = Empedans

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

3.7 Patlatılabilirlik ve Özgül Şarj Kestirimi

Ghose (1988) kömür madeninde gerçekleştirmiş olduğu çalışmalardan yaralanarak ve jeomekanik verilere dayanarak bir patlatılabilirlik indeksi geliştirmiştir. Daha sonra bu indeksi özgül şarj ile ilişkilendirmiştir. Bu patlatılabilirlik indeksi yalnızca açık ocak patlatmalarının verilerine dayanmaktadır.

$$BI = DR + DSR + PLR + JPO + AF1 + AF2 \quad \textbf{(3.25)}$$

BI = Patlatılabilirlik indeksi

DR = Yoğunluk oranı

DSR = Süreksizlikler arası mesafe oranı

PLR = Nokta yük dayanım indeksi oranı

JPO = Çatlak düzlemi yönelimi oranı

AF1 = 1. Düzeltme faktörü, AF2 = 2. Düzeltme faktörü'dür. Aşağıdaki Çizelge Ghose'un kullandığı parametrelerin değişim aralığını vermektedir.

Çizelge 3.2 : Patlatılabilirlik indeksi tespitinde kullanılan parametreler (Ghose, 1998).

Parametre		Değişim Aralığı				
Yoğunluk oranı (DR, t/m^3)	Değişim	<1,6	1,6-2,0	2,0-2,3	2,3-2,5	>2,5
	Değer	20	15	12	6	4
Süreksizlikler arası mesafe oranı (DSR, m)	Değişim	<0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-2,0	>2,0
	Değer	35	25	20	12	8
Nokta yük dayanım indeksi oranı (PLR, MPa)	Değişim	<1	1-2	2-4	4-6	>6
	Değer	25	20	15	8	5
Çatlak düzlemi yönelimi oranı (JPO)	Değişim	DIF	SAF	SNF	DOF	HOR
	Değer	20	15	12	10	6
1. Düzeltme faktörü (AF1)		Serbest Yüzeyin olmadığı ayna Büyük ölçüde serbest yüzey var				-5 0
2. Düzeltme faktörü (AF2)		Delik boyu/Dilim kalınlığı >2 Delik boyu/Dilim kalınlığı 1,5-2 Delik boyu/Dilim kalınlığı 1,5<				0 -2 -5
DIF; aynaya doğru dalan süreksizlik, DOF; Aynanın dışına doğru dalan süreksizlik, HOR; yatay süreksizlik, SNF; Aynaya paralel süreksizlik, SAF; Aynayla 90 dereceden düşük açı yapan süreksizlik						

Ghose'un özgül şarj ile patlatılabilirlik indeksi arasında bulduğu ilişki Çizelge 3.3'de ortaya konmuştur. Beş grup patlatılabilirlik indeksi için özgül şarj aralığı önerilmektedir.

Çizelge 3.3 : Patlatılabilirlik indeksi özgül şarj ilişkisi.

Patlatılabilirlik indeksi	30-40	40-50	50-60	60-70	70-85
Özgül Şarj (kg/m^3)	0,7-0,8	0,6-0,7	0,5-0,6	0,3-0,5	0,2-0,3

Gupta (1990) belirli sayıda arazi verilerine dayanarak farklı dayanıma sahip kayaçlar için özgül şarjı veren bir eşitlik ortaya koymuştur. Burada kayacın dayanımı Protodyakanov dayanım indeksi ile ifade edilmektedir. Bu bağıntıda özellikle kaya kütle durumunu (süreksizlikleri) tanımlayan herhangi bir değer olmadığı için, bağıntının yeterli olmadığı düşünülebilir. Bağıntıda patlatma tasarım parametreleri yalnızca dilim kalınlığıyla temsil edilmektedir.

Özgül Şarj = $0{,}278 \times B^{-0{,}407} \times F^{0{,}62}$ **(3.26)**

B = Dilim kalınlığı (m)

F = Protodyakanov dayanım indeksi = $C^2/1{,}06xE$

C = Kayacın basınç dayanımı (kg/cm^2)

E = Elastisite modülü (kg/cm^2)

Jimeno ve diğerleri (1995) çalışılan kaya kütlesini karakterize etmek için bir delme indeksi ortaya koymuş, delme indeksi ile özgül şarj arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Arazideki delik delme gözlemlerine dayanan ilişki şu şekildedir:

$$IP = \left(\frac{V_P}{\frac{E.N_r}{D^2}} \right) \quad \textbf{(3.27)}$$

IP = Delme indeksi

V_P = Delicinin ilerleme oranı (m/sa)

E = Üç konili matkap üzerindeki baskı (1000 libre olarak)

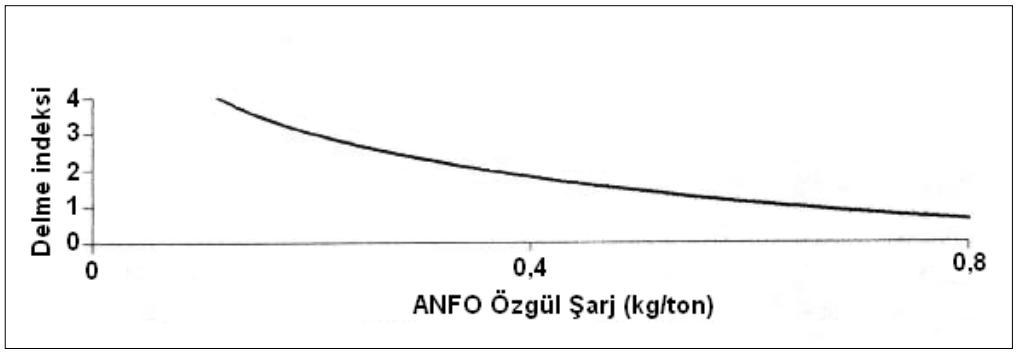
N_r = Delme hızı (dev/dk)

D = Delik çapı (inç)

Bu ilişkiyi doğrulamak için birçok kabul gerekmektedir. Öncelikle formasyon için en uygun delici ucun kullanıldığı varsayılmaktadır. Delik kırıntılarını deliğin dışına alan hava yeterli miktarda verilmelidir. Delik kırıntılarından dolayı delik dibinde sıkışma olmamalıdır. Formülde net ilerleme oranı kullanılmıştır. Uç değiştirme, delicinin diğer delik üzerinde konumlanması için geçen zaman dikkate alınmamıştır.

Burada dikkat edilirse inceleme üç konili matkapla yapılan delme faaliyeti için yapılmıştır. Daha küçük çaplı deliklere uyum sağlayıp sağlamayacağı tartışma konusudur. Bulunan delme indeksi ile çeşitli madenlerde gerçekleştirilen atımlarda uygulanan özgül şarj regresyona tabi tutulmuş ve aşağıdaki ilişki bulunmuştur (Şekil

3.8). Burada regresyon için kullanılan atım verilerindeki özgül şarjın doğru olarak uygulandığı da kabul edilmek durumundadır. Analiz için kullanılan atımlar ANFO kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bağıntıda özgül şarj kg/ton olarak hesaplanmıştır (Jimeno ve diğ., 1995).



Şekil 3.8 : Özgül Şarj–Delme İndeksi ilişkisi (Jimeno ve diğ., 1995).

Özgül Şarj (CE) = 1,124 x $e^{-0,5727.IP}$ **(3.28)**

Hansen 1968 yılında, Marrow Point Baraj ve Hidroelektrik santral projesinde gerçekleştirilen patlatmalarda optimum parçalanma için gerekli olan patlayıcı miktarını araştırmış ve aşağıdaki eşitliği geliştirmiştir (Dey ve Phalguni, 2003).

$$Q = 0{,}0236 \times \left(\frac{H}{B} + 1{,}5\right) + 0{,}1984 \times C \times \left(\frac{H}{B} + 1{,}5\right) \quad \textbf{(3.29)}$$

Q = Serbest yüzeye sahip bir delikteki toplam patlayıcı miktarı (kg)

B = Dilim kalınlığı (m)

H = Serbest yüzeyin yüksekliği (m)

C = Deneme atımları ile elde edilecek olan kaya sabiti

Buradaki bağıntı dinamit kıllanılarak gerçekleştirilen atımlar için bulunmuştur. Kayaç özelliklerini veren kaya sabiti arazideki deneme atımlarıyla belirlenecektir. Bu deneyim isteyen bir uğraştır. Patlatılabilirlik için en önemli parametrelerden biri olan kaya sabiti ile ilgili bir yorum ortaya konmamıştır.

Langefors ve Kihlstrom (1978) Modern Kaya Patlatma Tekniği adlı ünlü kitaplarında, patlatmada kayaç faktörünü tanımlamak için öncelikle C_0 adlı bir parametre tanımlamışlardır. Verimli bir kırma için hesaba katılması gereken C faktörü (yani kayaç faktörü) C_0'ın 1,2 katıdır. Langefors ve Kihlstrom'a göre C_0, 0,08 ile 0,35 arasında değişmektedir. Kaya faktörü (C) pratikte 0,4 kg/m^3 olarak hesaba

katılır. Genel olarak 0,4 kg/m^3 değerinden %25 aşağı veya yukarı doğru sapma göstereceği düşünülür. Kaya faktörünü tam olarak hesaplamak için deneme atımları yapma gereği vardır. Langefors'ta belirli bazı kayaçlar için deneme atımları gerçekleştirmiştir.

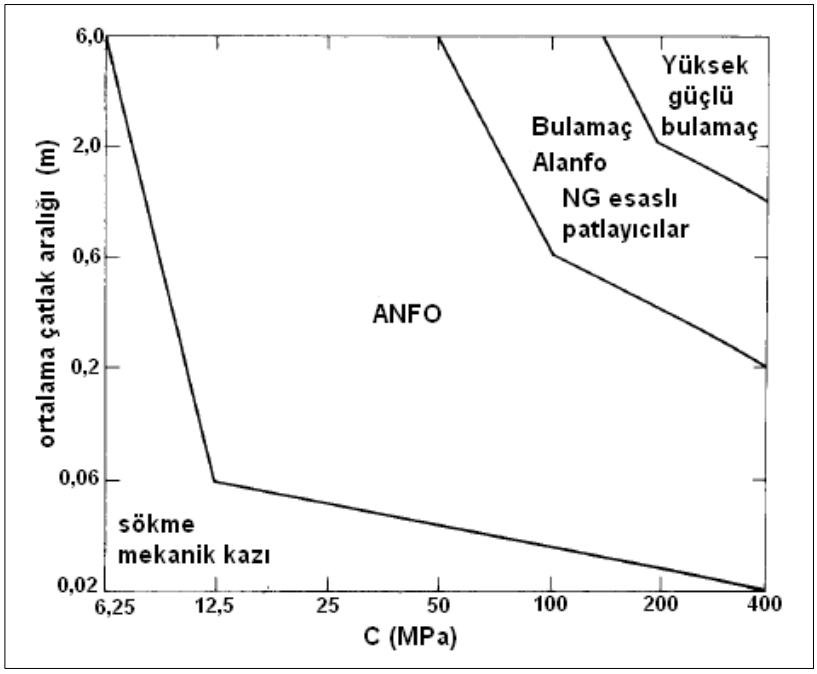
Ashby 1977 yılında, özgül şarjın hesaplanabilmesi için Bougainville Bakır Madeni'nde gerçekleştirilen atımlara dayanarak deneysel bir eşitlik geliştirmiştir. Ashby'nin kullandığı temel parametre çatlaklardır. Çatlak sıklığı ve sürtünme açısı geliştirdiği eşitliğin temel parametreleridir. Çatlak sıklığını (çatlak frekansını) metre başına çatlak adedi olarak ifade etmektedir (Dey ve Phalguni, 2003).

$$spesifik\ şarj(kg/m^3) = \frac{0{,}56 \times Tan(\varphi + i)}{\sqrt[3]{\frac{çatlak}{metre}}} \qquad \textbf{(3.30)}$$

φ = Sürtünme açısı

i = Pürüzlülük açısı (roughness angle)

Brady ve Brown (1993) birçok çalışmada da atıf yapılan ünlü abaklarında farklı formasyonlar için uygun olan patlayıcının ne olacağı üzerinde düşünmüşler ve ortalama çatlak aralığı ile kayacın basınç dayanımını kullanarak, kayaçlar için uygun patlayıcıyı ortaya koymaya çalışmışlardır . Şekil 3.9'da, Brady ve Brown'un kayaç özelliğine göre uygun patlayıcıyı gösteren grafiği görülmektedir.



Şekil 3.9 : Kayaç özelliğine göre uygun patlayıcıyı gösteren grafik (Brady ve Brown, 1993).

Burada izlendiği üzere ANFO çok geniş aralıktaki kayaç özellikleri için uygun ve yeterli bir patlayıcıdır. Çok yüksek basınç dayanımında veya çok masif kayada yoğunluğu yüksek bulamaç patlayıcıların veya nitrogliserin esaslı patlayıcıların kullanımına gerek vardır. Kuşkusuz bu genel bir grafiktir, patlatma öncesi genel bir fikir oluşturmak için kullanılabilir.

Han ve diğerleri (2000) yapay sinir ağı yöntemi kullanarak kayacın patlatılabilirliğini tespit etmeye çalışmışlardır. Bu amaçla kayaç özelliklerini ve patlatma sonrası yığının parça boyut dağılımını kullanmışlardır. İnceledikleri atımlar 88 farklı açık ocak atımıdır. Kullandıkları yapay sinir ağı geri yayılım ağı (back propagation) türündendir:

$K=\{L, S, R_{cd}, E_d, P_c, d_{cp}\}$

L: 2x2 m^2'lik alandaki toplam çatlak uzunluğu (m)

S: 2x2 m^2'lik alandaki çatlaklar arası ortalama mesafe (m)

R_{cd}: Kayacın dinamik basınç dayanımı (MPa)

E_d: Kayacın dinamik elastisite modülü (Gpa)

P_c: Uygun olmayan blokların yüzdesi (%)

d_{cp}: Ortalama parça boyutu (mm)

Yapay sinir ağında 6 giriş işlem elemanı, 5 gizli işlem elemanı, bir de çıkış işlem elemanı vardır. Yapay sinir ağının girdileri kaya kütle özellikleri ve parça boyut dağılımı ile ilgili veriler, çıkış parametresi ise patlatılabilirlik değeridir. Yapay sinir ağının sonuçlarına bakıldığı zaman çatlak parametrelerinin (L, S) ve parçalanma ile ilgili iki parametrenin (P_c, d_{cp}) basınç dayanımı ve elastik modüle göre daha etkin olduğu görülmüştür. Çatlakları tanımlamak için 2x2 m^2'lik pencerelerde hücresel ölçüm yapılmıştır. Parça boyut dağılımının, patlatabilirliği kestirmeyi amaçlayan bir çalışmada kullanılması daha önce rastlanılmış bir durum değildir. Han ve arkadaşlarının (2000) gerçekleştirmiş olduğu atımlar hakkında hiçbir bilgi yoktur. Uygun olmayan blokların yüzdesi derken ne kastedildiği belli değildir. Kuşkusuz farklı atımlar için uygun olmayan blok yüzdesi tanımı değişmektedir.

Buraya kadar anlatılan parçalanma ve patlatılabilirlikle ilgili yaklaşımlar üzerine bir çok karşıt görüş ve tereddüt belirten yorumlar mevcuttur. Kuşkusuz hiçbir yaklaşım nükemmel değildir. Çizelge 3.4'de Bu bölümde anlatılan yaklaşımların büyük bölümüyle ilgili karşıt görüşler, üzerinde durulan noktalar özetlenmiştir.

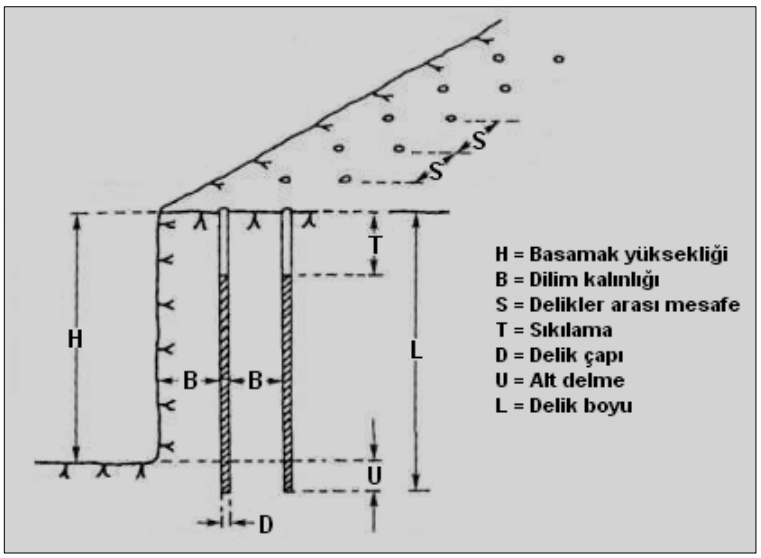
Çizelge 3.4 : Parçalanabilirlik ve patlatılabilirlik modelleri üzerine görüşler/tartışmalar.

Model	Modele dair karşıt görüşler / Üzerinde durulan noktalar
Kuz-Ram (1973, 1983, 1987)	• Kayaç sabitinin belirlenmesi zordur ve kullanıcı yorumu gerektirmektedir. • Patlayıcı enerjisinin hesaplanan ağırlıkça kuvvete yakın bir şekilde ortaya çıkması gerekmektedir.
KCO (Kuznetsov-Cunningham-Ouchterlony) Modeli (2005)	• Kuz-Ram Modelinin modifikasyonu şeklindedir. Büyük bir yenilik içermemektedir. Modelde Rosin-Rammler denklemi yerine Ouchterlony tarafından geliştirilen Swebrec denklemi kullanılmaktadır. • Yeni bir modeldir; modelin kanıtlaması için belirli bir süreçte denenmesi gerekmektedir.
Ufalanma Zonu Modeli (CZM) (1999)	• Kuz-Ram modelinin bir uzantısı şeklindedir. • İnce boyutlu malzemenin kaynağının yalnızca delik çevresindeki ufalanma zonu olduğu kabulüne dayanmaktadır. • İnce boyutlu malzeme tanımı yalnızca 1 mm'nin altındaki malzemeyi içermektedir.
İki Bileşenli Model (TCM) 1999	• Parça boyutunu olağandan daha iri tahmin etme eğilimindedir. • Parçalanma eğrisini oluşturmak için çok sayıda parametreye ihtiyaç vardır.
Chung ve Katsabanis (CK) Modeli (2000)	• Kuz-Ram modelinin modifikasyonu şeklindedir. • Deneysel atımlara dayanılarak geliştirilmiştir. • Modelin doğrulanmasına, pratik uygulamasına dair örnek yoktur.
Larsson−SVEDEFO denklemi (1973, 1974)	• Pratik uygulamasına dair örnek azdır. • Geliştirildiği kayaç yapısı itibariyle parça boyutunu olduğundan iri kestirme eğilimindedir.
Saroblast Denklemi (1993)	• Kaya kütlesindeki süreksizlikleri göz önüne almamaktadır. • Empedans gibi kullanımı zor bir kayaç parametresi içerir.
Ghose'un patlatılabilirlik indeksi (1998)	• Yalnızca bir kömür madeninde izlenen atımlara dayanır.
Gupta'nın özgül şarj denklemi (1990)	• Kaya kütle durumunu (süreksizlikleri) tanımlayan parametre içermez.
Jimeno ve diğ.'nin delme indeksi (1995)	• Yalnızca üç konili matkapla açılan geniş çaplı deliklere dayanarak geliştirilmiştir.
Hansen denklemi (1966)	• Kayaç özelliğini veren belirgin bir parametre yoktur. Kayaç parametresinin arazide deneme atımlarıyla belirlenmesi gerekmektedir.

4. PATLATMA TASARIM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

4.1 Patlatma Tasarımı Kavramı

R. L. Ash'ın (1963, 1973) araştırmaları, oranlar yoluyla patlatma tasarım parametrelerinin incelenmesi ve tasarım büyüklüklerin tahmini konusunda önde gelen çalışmalar arasındadır. Patlatma büyüklüklerinin birbirine oranı konusunda Ash'ın 'Pit and Quarry' dergisinde yayınladığı 'Kaya Kırmanın Mekaniği' adlı çalışması dikkat çekmiştir (1963). Ash burada delikler arası mesafe / dilim kalınlığı (S/B), basamak yüksekliği / dilim kalınlığı (H/B), sıkılama mesafesi / dilim kalınlığı (T/B), dilim kalınlığı / delik çapı (B/D) oranlarının ne olması gerektiğini, yani doğru bir patlatmada tasarım parametrelerinin büyüklüklerini tanımlamıştır. Birçok araştırmacı halen patlatma tasarım parametrelerinin belirlenmesinde Ash'ın çalışmalarını referans göstermektedir. Şekil 4.1'de bu bölümde sıkça kullanacak olan basamak patlatması ile ilgili terminoloji basitçe gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Basamak patlatmasında tasarım parametreleri.

Ash'ın Minnesota Üniversitesi'nde 1973 yılında tamamladığı 'Jeolojik Süreksizliklerin Kaya Patlatma Üzerine Etkisi' adlı tezi de patlatma tasarım parametrelerinin tespiti konusundadır. Ash, delikler arası mesafe/dilim kalınlığı (S/B) oranını değiştirerek bir agrega ocağında küçük çaplı deneme atımları yapmıştır.

Bu atımlarda delik çapı 1,27 cm, basamak yüksekliği 76 cm, dilim kalınlığı 38 cm'dir. Çalışılan kayaç dolomitik kireçtaşıdır ve patlayıcı olarak amonyum dinamit kullanılmıştır. Burada bir yandan süreksizliklerin patlatma sonucuna etkisi incelenirken, bir yandan da değişen S/B oranının patlatma sonucuna etkisi incelenmiştir. Atımlar sonrası parça boyut dağılımını eleme yoluyla tespit edilmiştir. Ash'ın gerçekleştirmiş olduğu atımlara ait seçilmiş örnekler Çizelge 4.1'de verilmektedir.

Çizelge 4.1 : Ash'ın (1973) gerçekleştirdiği deneysel atımlar.

Basamak lokasyonu	Dilim kalınlığı (cm)	Delikler arası mesafe (cm)	Sıkılama (cm)	Şarj yüksekliği (cm)	S/B oranı	Patlayıcı ağırlığı (gr)	Özgül şarj (gr/cm^3)	x_{50} (cm)
Kuzey	38	38	30,5	45,7	1,00	173,3	0,001579	8,89
Güney	38	48,3	30,5	45,7	1,27	175,1	0,001255	8,13
Güney	38	76,2	30,5	45,7	2,00	186	0,000845	9,14
Güney	38	76,2	30,5	45,7	2,00	187,8	0,000853	22,30
Güney	38	76,2	30,5	45,7	1,27	196,4	0,000892	8,13
Doğu	38	48,3	30,5	45,7	1,27	156,5	0,001122	8,59
Doğu	38	76,2	30,5	45,7	2,00	192,3	0,000874	11,30

'Basamak lokasyonunun değişimi', süreksizlik tipinin değişimini gösterir, 'x_{50}', ortalama parça boyutu

Benzer çalışma Ash'ın ardından S. N. Taylor tarafından 1976 senesinde University of Missouri Rolla'da gerçekleştirilmiştir. Taylor deneme atımlarında, S/B oranının yanı sıra 'stiffness' olarak nitelediği, basamak yüksekliği dilim kalınlığı (H/B) oranını da değiştirerek parçalanma üzerindeki etkisini incelemiştir. Taylor'un çalıştığı kayaç dolomittir ve patlayıcı olarak Ash'ın kullandığı % 60'lık amonyum dinamiti kullanmıştır.

Bu konuda bir diğer önemli referans kuşkusuz Langefors'tur (1978). Özellikle İsveç ekolünden gelen araştırmacılar Langefors'u takip etme ve referans gösterme eğilimindedirler.

Bu tez çalışmasında; inceleme yapılan agrega ocaklarında patlatma parametreleri literatürdeki araştırmacıların ışığında takip edilmektedir. Parçalanmaya etki eden temel patlatma tasarım parametreleri; dilim kalınlığı, delikler arası mesafe, basamak yüksekliği, sıkılama mesafesi, delik çapıdır. Aşağıda Bölüm 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 'de patlatma tasarım parametrelerinin ne olması gerektiği konusunda araştırmacıların

incelemelerine değinilmiştir. Ek olarak başlı başına bir parametre olarak düşünülerek patlatma işleminde özgül şarjın ne olması gerektiği konusundaki öngörüler de Bölüm 4.6'da ortaya konmuştur. Özgül şarj, parçalanma üzerindeki direkt ve büyük etkisiyle önem arz etmektedir.

4.2 Delikler Arası Mesafe / Dilim Kalınlığı Oranı (S/B)

Gecikmeli ateşlemede Ash (1963) S/B = 1,2–1,8 gibi geniş bir aralık vermektedir. Ona göre patlatma sonrası ortaya çıkan birçok problemin temeli uygun S/B oranının belirlenmesindeki hatadır. Olofsson (1988) S/B oranını 1,25 olarak belirlemektedir. Naapuri de (1990) 'Basamak Delme ve Patlatma' adlı kitabında Olofsson gibi S/B=1,25 olarak önermektedir. Gour C. Sen'e (1995) göre S/B=1,8 aralığında değişmektedir. Burada 1,5'den fazla bir oranın aşırı olduğunu söylemek mümkündür. Arazi ölçmelerinde bu tür bir orana rastlamak güçtür.

Gustafsson'da (1997) Langefors'un (1978) çalışmalarını esas alarak gerçekleştirdiği çalışmada S/B oranını 1,25 olarak tanımlar. Hagan (1983) S/B=1,15 olarak önermektedir. Ek olarak şeşbeş paternin kare veya dikdörtgen paterne göre daha verimli sonuçlar vereceğini belirtmektedir. Araştırmacılara göre S/B oranının değişimi özet olarak Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Araştırmacılara göre S/B oranının değişimi.

	$\frac{S}{B}$	Açıklama
Ash (1963)	1,2−1,8	
Hagan (1983)	1,15	
Olofsson (1988)	1,25	
Morhard ve diğ. (1987)	1−1,8	
Naapuri (1990)	1,25	
Konya ve Walter (1990)	1,4–2	(H/B≥ 4 ise)
Sen (1995)	1−1,8	
Jimeno ve diğ. (1995)	1,15−1,30	(65−165 mm delik çapı için)
	1,14−1,22	(180−450 mm delik çapı için)
Gustafsson (1997)	1,25	Langefors'a atıf yapar
Bhandari (1997)	1−2	Kare patern
	1,1−1,4	Çok sert olamayan kayaç, orta ve düşük özgül şarj
Hustrilid (1999)	1,15	Şeşbeş patern
	1−1,5	Kare patern

Hustrilid S/B oranını şeşbeş paternde 1,15 olarak önermektedir. Bununla birlikte 1 ile 1,5 oranı arasında değişimin çok büyük fark yaratmadığını belirtmektedir. Kare patern için ise oran 1 ile 1,5 arasında değişmektedir. Eğer şarj gecikmesiz ateşleniyorsa S/B oranı 2 olarak seçilebilir. Morhard ve diğerleri (1987) S/B oranının 1−1,8 arasında değişebileceğini belirtmektedirler. Bhandari (1997) 'S' değerini regresyon analizleri yoluyla elde ettiği bir formül ile ifade etmektedir. S/B oranını ise şeş beş ve kare patern için farklı aralıklarda ifade etmektedir. Kare patern için 1−2 arasında değişen çok geniş aralıklı bir değer verirken; gecikmeli ateşlemede, çok sert olamayan orta ve düşük özgül şarj için S/B = 1,1−1,4 önerisinde bulunmaktadır. Çok sert bir kayaçta S/B oranının 1,4 değerinin üstüne çıkması da mümkündür.

Jimeno ve diğerleri (1995) S/B oranını açık ocaklarda delik çapına göre iki ayrı kategoride belirlemektedir (Çizelge 4.3). 165 mm arasındaki delik çapıyla yapılan atımlar küçük çaplı atımlar, 180 mm arasındaki delik çapıyla yapılan atımlar büyük çaplı atımlar olarak tanımlanmaktadır. Ek olarak sınıflandırmaya kayaç sertliği de eklenerek S/B oranı belirlenmektedir. Bu şekilde, delik çapına göre basamak patlatması tasarımının ikiye ayrılarak incelenmesi Livingston veya Amerikan kıstası olarak adlandırılmaktadır. Jimeno ve arkadaşlarının öne sürdüğü farklı delik çapları için patlatma tasarımı Çizelge 4.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.3 : Farklı delik çapları için patlatma tasarımı (Jimeno ve diğ., 1995).

Küçük çaplı deliklerle patlatma (65−165 mm)	Sert kayaç		Yumuşak kayaç
	S/B =1,15		S/B=1,30
Geniş çaplı deliklerle patlatma (180−450 mm)	Kayacın basınç dayanımı (MPa)		
	Yumuşak <70	Orta sert 70−180	Sert >180
	S/B =1,18	S/B =1,22	S/B =1,14

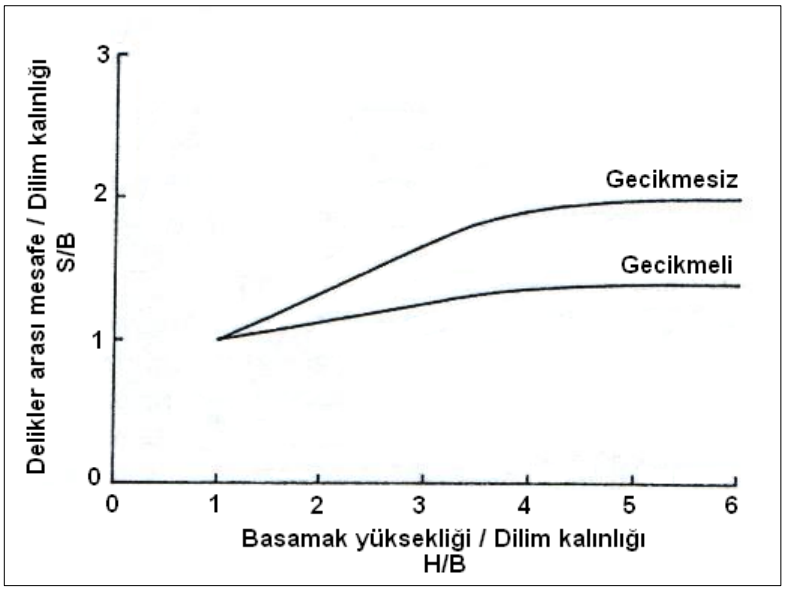
Konya ve Walter (1990) S/B oranını tanımlarken, direnç oranı olarak tanımladıkları H/B oranı üzerinde durmaktadırlar. Delikler arası mesafe belirlenirken, gecikme paternine ve H/B oranına bakılması gerektiğini öne sürmektedirler. Konya ve Walter'ın çalışmalarında H/B oranı 4'ten küçükse hesaplamalarda basamak yüksekliği göz önüne alınmaktadır, H/B oranı 4'ten yüksekse delikler arası mesafeyi hesaplarken basamak yüksekliği kullanılmaz. Yani gerçekleştirilen deneysel çalışmaya göre, H/B oranı 4 olana kadar H/B'nin değişimi S/B oranının değişimine etki etmektedir. Bu yaklaşım Konya ve Walter'ın 1968'de gerçekleştirdiği küçük

ölçekli patlatma çalışmalarına dayanır. Deneme atımları gerçekleştirilen malzeme pleksiglas, beton ve dolomit'tir. Konya ve Walter (1990) gerçekleştirmiş oldukları çalışmalara dayanarak aşağıda Çizelge 4.4'deki denklemleri ortaya koymuşlardır. Burada parçalanmadan çok, delikler arası çatlakların ilerlemesi (kırma etkisi) göz önüne alınarak bir yaklaşım oluşturulmuştur.

Çizelge 4.4 : Konya ve Walter'a (1990) göre H/B oranına bağlı olarak S/B oranının değişimi.

	H/B<4	H/B ≥ 4
Gecikmesiz	S = (H+2B)/3	S/B = 2
Gecikmeli	S = (H+7B)/8	S/B = 1,4

Konya ve Walter (1990) diğer bir çalışmada araziden elde edilen gerçek verilere dayanarak bir inceleme yapmıştır. Maden, taş ocağı atımlarından ve inşaat patlatmalarından toplanan verilerle analiz gerçekleştirilmiştir. Arazi verilerini model deneyden farklı olarak, hem delikler arası kırma hem de atım sonrası parçalanmayı göz önüne alarak değerlendirmişlerdir. Bu analizin sonucu Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4. 2 : H/B oranına bağlı olarak S/B oranının değişimi (Konya ve Walter, 1990).

Şekilde görüldüğü üzere eğer gecikmesiz ateşleme yapılıyorsa H/B oranının değişiminin S/B oranı üzerinde etkin olduğu söylenebilir. Ateşleme gecikmeli ise H/B'nin S/B üzerindeki etkisi düşük kalmaktadır.

4.3 Basamak Yüksekliği / Dilim Kalınlığı Oranı (H/B)

Bir basamakta patlatma işlemi gerçekleşince deliğin önündeki kısım bükülerek kırılmaktadır. Deliğin önündeki kısım yük altında kırılma sırasında bir kiriş gibi hareket etmektedir. Bu kiriş, alt ucundan sabit üst ucundan kayar mesnetli bir kiriştir. Ayırıcı kuvvetler dilim kalınlığını zorlayarak deliğin önündeki kolonu 3. boyutta kırmaya çalışır. Burada delik eksenine dik ve paralel kuvvetler birlikte çalışırlar. Bu kırma işleminde H/B oranı önemlidir. Patlatılan kısım bir kolon olarak düşünülürse basamak yüksekliğinin dilim kalınlığına oranı (H/B) arttıkça bu kolonu kırmak kolaylaşacaktır (Konya ve Walter, 1990).

Bhandari (1997) H/B oranını 2,5 olarak önermektedir. H/B oranı 4'ün üzerine çıkarsa delmedeki sapmaya dikkat edilmesi gerekmektedir. Naapuri ve arkadaşları (1990) basamak yüksekliğinin delik çapının 70 katından küçük olması (H<70D) durumunda H/B oranını bir abakla ifade etmektedirler. Bu yaklaşım 3,5 metreye kadar olan çok kısa basamakları ve 76 mm'ye kadar olan çok düşük delik çaplarını içerdiği için, geleneksel açık ocak atımları için çok fazla bir anlam ifade etmemektedir. Basamak yüksekliğinin delik çapının 70 katından büyük olması durumunda Langefors'un formülü kullanılarak dilim kalınlığı hesaplanmaktadır.

Hustrulid (1999) birçok ocakta H/B oranının 1,6 ve üzerinde olduğunu ifade etmektedir. Ash (1963) basamak yüksekliği yerine delik boyunu (L) esas almakta; L/B oranının 1,5 ile 4 arasında değiştiğini belirtmektedir. 1977' de gerçekleştirdiği bir çalışmada ise optimum H/B oranının 3 ve üstü olduğunu ifade etmektedir. Arazi verilerine dayanarak kendi gerçekleştirdiği bir incelemede sıklıkla L/B=2,6 civarında uygulanır olarak bulmuştur.

Konya ve Walter (1990) daha öncede belirtildiği gibi H/B oranı konusunda kesin bir değer vermemekle birlikte; H/B ≥ 4 durumunda atımları yüksek basamaklı atımlar olarak, H/B<4 durumunda ise atımları alçak basamaklı atımlar olarak tanımlamaktadırlar. Sen'e (1995) göre H/B oranı 2 ve daha fazla olmalıdır. Morhard ve arkadaşlarına (1987) göre de H/B oranı 2'dir. Jimeno ve diğerleri de (1995) Ash'a (1963) atıf yaparak H/B ≥ 3 olması gerektiğini belirtmektedir. Jimeno ve diğerlerine (1995) göre H değeri ile B ve S'in en küçük değişimi parçalanmayı etkilemektedir. Basamak yüksekliği arttıkça dilim kalınlığı değişmeden, delikler arası mesafe maksimum seviyeye kadar artırılırsa; bu durumun parçalanmayı etkilemediğini öne

sürmektedirler. Hemphill'e (1980) göre uygun H/B oranı 3'tür. Hemphill de basamak yüksekliği yerine delik boyunu kullanmaktadır. Araştırmacılara göre H/B oranının değişimi özet olarak Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Araştırmacılara göre H/B oranının değişimi.

	$\frac{H}{B}$	Açıklama
Ash (1963)	1,5−1,4	Delik boyunu kullanır
	3	Geniş delikli atımlarla ilgili bir çalışmada
Hemphill (1980)	3	Delik boyunu göz önüne alır
Morhard ve diğ. (1987)	2	
Naapuri (1990)		(H<70D) durumunda H/B bir abakla ifade edilir
Konya ve Walter (1990)		H/B≥ 4 yüksek basamaklı atımlar H/B<4 alçak basamaklı atımlar
Sen (1995)	≥ 2	
Jimeno ve diğ. (1995)	H/B ≥ 3	Ash'a atıf yapar
Bhandari (1997)	2,5	
Hustrilid (1999)	≥ 1,6	

4.4 Sıkılama Mesafesi / Dilim Kalınlığı Oranı (T/B)

Ash (1963) T/B=0,7 oranının genel olarak birçok kayaçta iyi sonuç verdiğini belirtmektedir. Konya ve Walter'a (1990) göre uygun düzenlenmiş bir atım için T/B oranı 0,7'ye eşittir. Buna ek olarak, delikten çıkan kırıntıların sıkılama malzemesi olarak kullanılabileceğini, ama zayıf etki gösteren çok ince toz halindeki kırıntıların kullanılmaması gerektiğini belirtmektedirler. Eğer toz halinde kırıntılar kullanılıyorsa sıkılama mesafesi %30 kadar artırılmalıdır. Hagan (1983) T/B ≥ 1 yaklaşımını önermektedir. Jimeno ve diğerleri (1995) sıkılama malzemesi üzerinde durmakta ve uygun sıkılama malzemesi çapının 1/25D ile 1/17D arasında olması gerektiğini belirtmektedir. Sıkılama mesafesi için T/B ≥ 0,75 oranı önerilmektedir.

Olofsson (1988) T/B oranını 1 olarak belirlemektedir. Hemphill'e göre T/B oranı 0,7 ile 1 arasında değişmektedir. Sıkılama mesafesi patlatılan kayaca göre değişebilmektedir. Örneğin granit gibi bir kayaçta çalışıyorsa patlatma enerjisinden tam yararlanmak için sıkılama 0,7 B olarak uygulanır. Eğer çatlaklı bir kayaç içinde çalışılıyorsa T/B oranı 1'e kadar çıkarılabilir. Hustrulid (1999) geniş deliklerle yapılan üretim atımları için T/B=0,7 oranını önermektedir. Sen'de (1995) T/B

oranının 1 ve üzerinde olması gerektiğini ifade etmektedir. Gustafsson (1997) Langefors'a atıf yaparak T/B=1 önerisinde bulunmaktadır. Bhandari (1997) 0,7–1,5 arasında geniş bir aralık önermektedir. T/B oranının 1'in altında olmaması gerektiğini hatırlatmakta ve sert, masif kayaçta sıkılama mesafesinin düşürülmesi gerektiğini belirtmektedir.

Morhard ve diğerleri (1987) sıkılma mesafesi için T/B=0,7–1,3 olmak üzere geniş bir aralık önermektedir. Ayrıca delik çapı arttıkça sıkılama malzemesinin çapının da artması gerektiğini belirtmektedirler. Persson ve diğerleri (1994) T/B oranının 1 ve altında olması gerektiğini ifade etmektedir. Normal şartlarda bu oran 1 olarak uygulanabilir. Geniş çaplı deliklerle sert kayaçta gerçekleştirilen atımlarda patlatma enerjisinden daha fazla yararlanmak için T/B oranı 1'in altına indirilmelidir. Araştırmacılara göre T/B oranının değişimi özet olarak Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Araştırmacılara göre T/B oranının değişimi.

	$\frac{T}{B}$
Ash (1963)	0,7
Hagan (1983)	≥ 1
Hemphill (1980)	0,7-1
Morhard ve diğ. (1987)	0,7–1,3
Olofsson (1988)	
Konya ve Walter (1990)	0,7
Persson ve diğ. (1994)	≤ 1
Sen (1995)	
Jimeno ve diğ. (1995)	0,75
Gustafsson (1997)	1
Bhandari (1997)	0,7-1,5
Hustrilid (1999)	0,7

4.5 Dilim Kalınlığı / Delik Çapı Oranı (B/D)

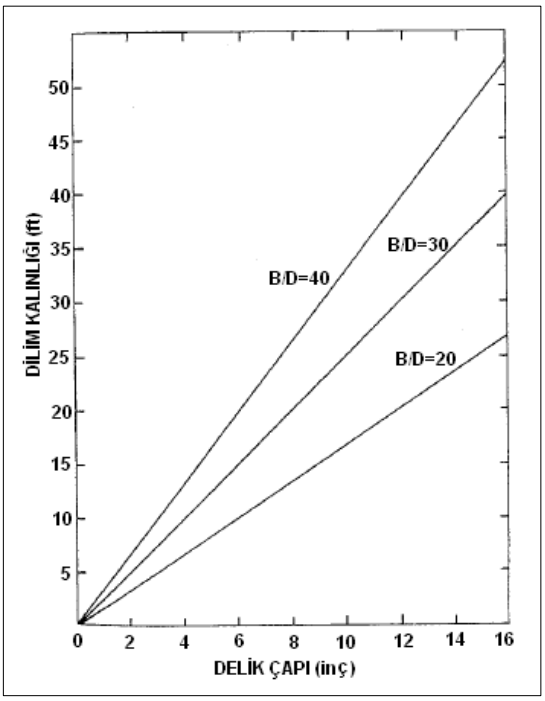
Ash (1963) genel olarak B/D değeri için ortalama şartlarda 30 değerini ortaya koymakta ve patlayıcı ve kayaç özelliklerine göre farklı oranlar öne sürmektedir. Eğer daha ince bir parçalanma isteniyorsa B/D oranı 30'un altına inebilir. Ash'ın ifade ettiği ticari patlayıcıların yoğunluğu 0,8 ile 1,6 gr/cm^3 arasında değişmektedir. Ticari patlayıcıların yoğunluğunun 1,6 gr/cm^3'ün üzerine çıkması çok nadirdir. Günümüzde de bu durum doğruluğunu korumaktadır. Kayaç yoğunluğu ise 2,2 ile

3,2 gr/cm^3 arasında değişmektedir. Bu değerlerin altına inilmesi veya üstüne çıkılması nadir karşılaşılan bir durumdur. Ash (1963) arazi gözlemlerine dayanarak; karşılaşılan ortalama kayaç yoğunluğunun 2,7 gr/cm^3 civarında olduğunu belirtmektedir. Patlayıcı ve kayaç eşleşmesine göre B/D oranını daha hassas olarak Çizelge 4.7'de görüldüğü şekilde belirlemektedir.

Çizelge 4.7 : Kayaç–Patlayıcı eşleşmesine göre B/D oranı.

Kayaç–Patlayıcı Eşleşmesi	$\frac{B}{D}$
Yüksek yoğunluklu kayaç–Düşük yoğunluklu patlayıcı	20
Düşük yoğunluklu kayaç–Yüksek yoğunluklu patlayıcı	40
Ortalama kayaç–Düşük yoğunluklu patlayıcı	25
Ortalama kayaç–Yüksek yoğunluklu patlayıcı	35

Şekil 4.3'de Ash (1963) farklı B/D oranlarına göre dilim kalınlığının değişimini göstermektedir. Şekilde birimler orijinalinde olduğu gibi İngiliz sisteminde verilmiştir.



Şekil 4.3 : Ash'a (1963) göre farklı B/D oranları için, delik çapına karşılık gelen dilim kalınlığı değeri.

Hustrilid (1999) patlayıcı olarak ANFO kullanılıyorsa (0,80 gr/cm^3) ve ortalama yoğunlukta bir kayaçta çalışılıyorsa (2,65 gr/cm^3) B/D oranının 25 civarında olması gerektiğini belirtmektedir. ANFO dışında bir patlayıcıyla çalışılıyorsa, patlayıcı yoğunluğu ve gücüne göre B/D oranı 4.1 bağıntısıyla hesaplanır:

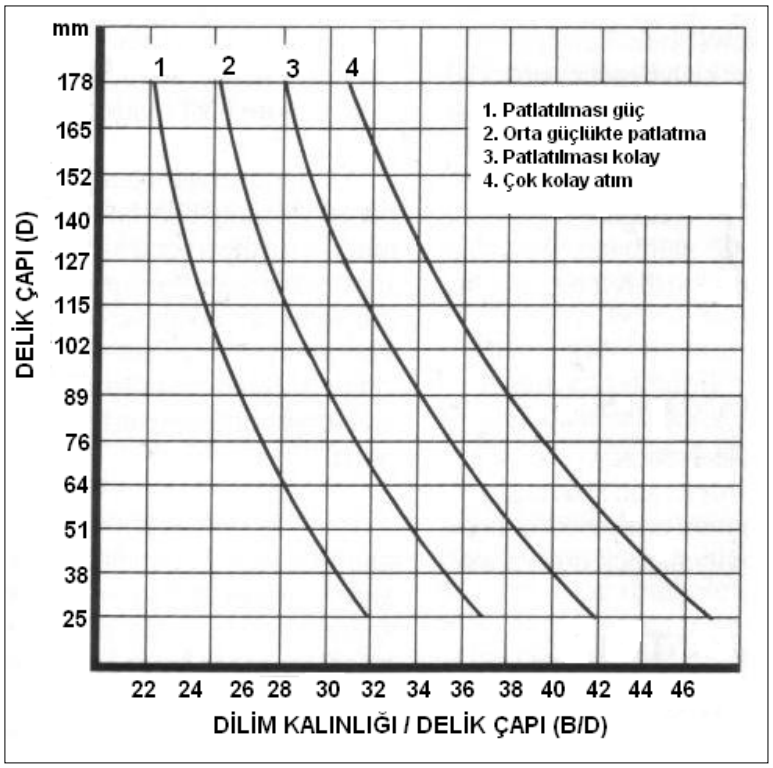
$$\frac{B}{D} = \sqrt[25]{\frac{q \times S_{ANFO}}{0{,}8 \times 1}} \qquad \textbf{(4.1)}$$

Burada,

q = Patlayıcının yoğunluğu, gr/cm^3

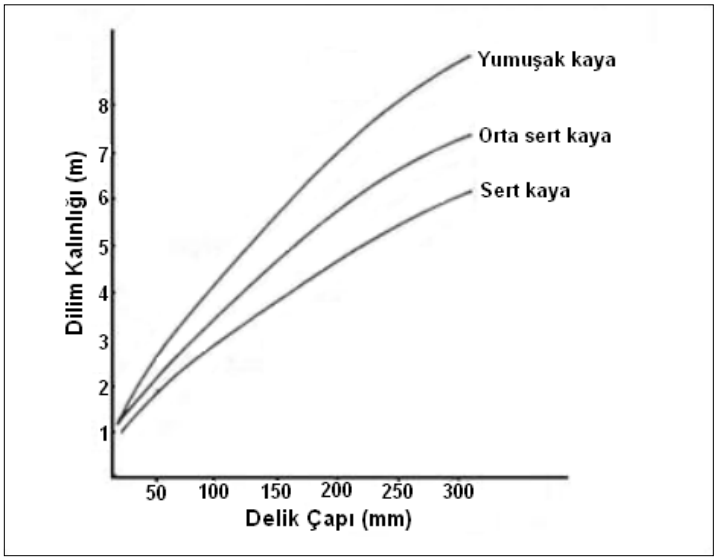
S_{ANFO} = Patlayıcının ANFO'ya göre ağırlıkça kuvvetidir.

Naapuri (1990) B/D=25 40 önermesinde bulunmaktadır. Bu oranın kayacın patlatılabilirliğine göre değişim gösterdiğini belirtmektedir. Şekil 4.4'de Naapuri'nin önerdiği farklı kayaç tiplerinde delik çapına karşılık gelen B/D oranı görülmektedir. 4 farklı eğri, patlatılabilirlik özelliğine göre sınıflanmış 4 farklı kayaç tipi için seçilmiştir. Naapuri grafiği 1520 derece eğime sahip delikler için çizmiştir. Dikey deliklerde dilim kalınlığı %5−10 arttırılmalıdır. Şekilde görüldüğü gibi, kayaç parçalanması zorlaştıkça B/D oranı düşmektedir.



Şekil 4.4 : Farklı kayaç tipleri için delik çapı (D) , B/D eşleşmesi (Naapuri, 1990).

Jimeno ve diğerleri (1995) öncelikle B/D= −25 şeklinde geniş bir aralık önermektedirler. Buna ek olarak B/D oranını belirlerken patlayıcı özelliklerinin ve kayaç özelliklerinin dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır. Şekil 4.5, Jimeno ve arkadaşlarının (1995) önerdiği farklı kayaç tipleri için delik çapına karşılık gelen dilim kalınlığı değerini göstermektedir.



Şekil 4.5 : Jimeno ve diğ. (1995) göre delik çapına göre dilim kalınlığının değişimi.

Jimeno ve diğerleri (1995) B/D oranını belirlerken daha evvel belirtildiği gibi Livingston kriterini esas alarak basamak patlatma tasarımını delik çapına göre ikiye ayırarak incelemektedir (Çizelge 4.8). 65-165 mm arasındaki delik çapıyla yapılan atımlar küçük çaplı atımlar, 180-450 mm arasındaki delik çapıyla yapılan atımlar büyük çaplı atımlar olarak tanımlanmaktadır. Aşağıdaki Çizelgede bu detaylı değerlendirme görülmektedir.

Çizelge 4.8 : Farklı delik çaplarına göre B/D oranının değişimi (Jimeno ve diğ., 1995).

Küçük çaplı deliklerle patlatma (65−165 mm)	Kayacın basınç dayanımı (MPa)			
	Düşük (<70)	Orta (70-120)	Yüksek (120-180)	Çok Yüksek (>180)
	B/D =39	B/D =37	B/D =35	B/D =33
Geniş çaplı deliklerle patlatma (180−450 mm)	Kayacın basınç dayanımı (MPa)			
		Yumuşak <70	Orta sert 70−180	Sert >180
	ANFO	B/D =25	B/D =23	B/D =21
	Emülsiyon/Bulamaç	B/D =38	B/D =32	B/D =30

Konya ve Walter (1990) arazi çalışmalarına dayanarak, B/D oranını hesaplamak için kayacın ve patlayıcının yoğunluğunu kullanmaktadır. Eşitlik şu şekildedir:

$$B/D = (2SGe / SGr) + 1,5 \quad \textbf{(4.2)}$$

SGe patlayıcı yoğunluğu, SGr kayaç yoğunluğudur. Eğer patlayıcı için ANFO (0,80 gr/cm^3), kayaç yoğunluğu için ortalama 2,7 gr/cm^3 değeri esas alınırsa, B/D = 25 sonucu bulunmaktadır.

Hagan (1983) B/D= 20-35 şeklinde bir aralık öne sürmektedir. Gustaf sson (1997) Langefors'a atıf yaparak B/D oranını 45 olarak belirlemektedir. Ancak burada ifade edilen dilim kalınlığı maksimum dilim kalınlığıdır. Pratik dilim kalınlığı, F (delmedeki sapma) değerinin hesaplanarak maksimum dilim kalınlığından çıkarılmasıyla elde edilir ve;

$$F=0,05+0,03xH \qquad \textbf{(4.3)}$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

Morhard ve diğerleri (1987) B/D= 25–35 şeklinde bir aralık önermektedirler. Sen (1995) 25 ile 40 arasında değişen daha geniş bir aralık önermektedir. Bhandari (1997) B/D= 20–35 önerisinde bulunmaktadır. Ona göre kayacın sertliği, çatlaklılık, kullanılan patlayıcı türü ve istenen parçalanma dilim kalınlığı üzerinde belirleyici parametrelerdir. Çizelge 4.9 araştırmacılara göre B/D oranının değişimini gösteren özet çizelgedir.

Çizelge 4.9 : Araştırmacılara göre B/D oranının değişimi.

	B/D	Açıklama
Ash (1963)	30	Kayaç ve patlayıcıya göre detaylandırır
Hagan (1983)	20–35	
Morhard ve diğ. (1987)	25–35	
Konya ve Walter (1990)	25	ANFO ve orta yoğunlukta kayaç için
Naapuri (1990)	25–40	
Sen (1995)	25–40	
Jimeno ve diğ. (1995)	25–40	Kayaç ve patlayıcıya göre detaylandırır
Gustafsson (1997)	45	Maksimum dilim kalınlığı için
Bhandari (1997)	20–35	
Hustrilid (1999)	25	Kayaç ve patlayıcıya göre detaylandırır

4.6 Özgül Şarj (Pf)

Özgül şarjın ne olması gerektiğine dair çeşitli araştırmacıların yaklaşımları mevcuttur. Araştırmacılar kayaç türü ve çalışma şartlarının değişimine göre çeşitli öneriler yapmaktadırlar. Bütün bu önermeler araştırmacıların da üzerinde durduğu gibi yalnızca yol gösterici yaklaşımlar olarak kullanılmalıdır; kesin kuralları ifade etmemektedirler. Patlatma büyüklükleri konusunda yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında direkt olarak özgül şarjla ilgili yapılan çalışmalar daha kısıtlıdır.

Sen (1995) kayaç tipi ve kayaç dayanımına göre özgül şarjın kestirimi için Çizelge 4.10'da gösterilen yaklaşımı önermektedir. Çizelgede Kuz-Ram modelinde kullanılan kayaç faktörü kayacı tanımlamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu değer 6−12 arasında değişmektedir. Kayaç tipi örnek olarak verilmiştir. Araştırmacı sertlik ve kayaç faktörü dikkate alınarak diğer kayaçlar için de bu yaklaşımın kullanılabileceğini belirtmektedir.

Çizelge 4.10 : Sen'e (1995) göre kayaç tipine bağlı olarak özgül şarjın belirlenmesi.

Genel kategori (Tek eksenli basınç dayanımı, MPa)	Kayaç tipi	Özgül şarj, kg/m^3 (Referans olarak)	Kaya faktörü, A (Kuz-Ram model)
Sert (+200)	Andezit Dolerit Granit Siderit	0,70	12−14
Orta (100-200)	Dolomit Hornfles Kuvarsit Serpantin Şist	0,45	1−11
Yumuşak (50-100)	Kumtaşı Kireçtaşı Şeyl	0,30	8−9
Çok yumuşak (-50)	Kömür	0,15−0,25	6

Bhandari (1997) tarafından ortaya konan çalışmada özgül şarj değerleri kazı operasyonuyla ilişkilendirilmiştir (Çizelge 4.11). Ayrıca atım sonrası vibrasyon oluşumu konusu göz ardı edilmiştir. Çok büyük kepçe hacmine sahip büyük draglayn ile kazı yapılmıyorsa atım sonrası büyük parçalar mazur görülebilir. Yani özgül şarj bu tür yüklemede düşük tutulabilir. Atım sonrası kepçe kapasitesi düşük yükleyiciler ile yükleme yapılıyorsa özgül şarj yüksek tutulmalıdır.

Bhandari'ye (1997) göre yumuşak ince tabakalanmış (lamine) bir kayaçta, tek sıra atım yapılıyorsa özgül şarj 0,05 kg/m^3'e kadar düşürülebilir. Daha sert sedimanter kayaçta çalışılıyorsa, özgül şarj genelde 0,45 kg/m^3 olarak uygulanır. Eğer çatlaklı volkanik kayaçta çalışılıyorsa 0,60 kg/m^3 değerine kadar çıkılabilir. Mika şist gibi patlatma enerjisini absorblayan (yutan) metamorfik kayaçlarda özgül şarj iyi parçalanma elde edebilmek için yüksek miktarlara çekilebilir.

Jimeno ve diğerleri (1995) kayaç tipine göre özgül şarjın değişeceğine değinerek, genel olarak Çizelge 4.12'deki değerleri önermektedirler. Buna ek olarak, serbest yüzeyin varlığına ve ateşleme paternine göre özgül şarj değerinin değiştirilebileceği belirtilmektedir.

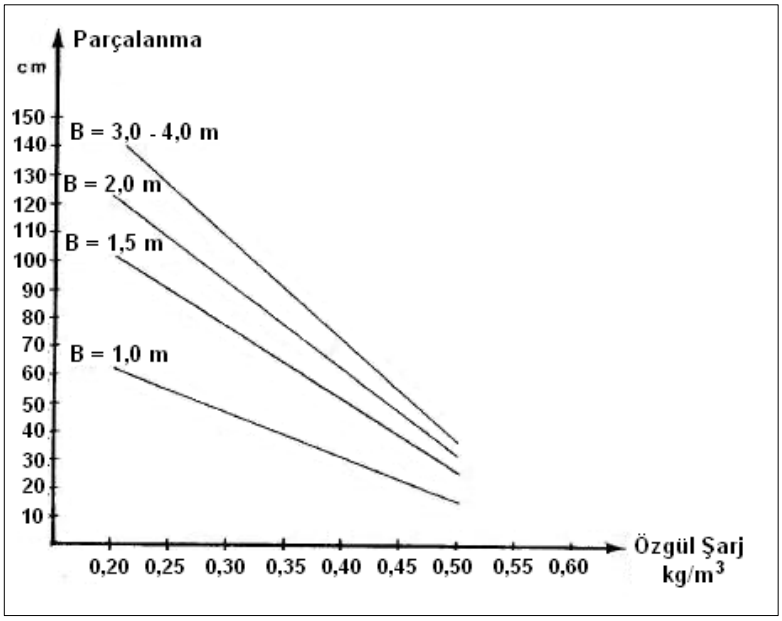
Çizelge 4.11 : Bhandari'ye (1997) göre kazı operasyonuna bağlı olarak özgül şarjın değişimi.

Yükleme-Kaldırma Ekipmanı	Baskın jeolojik yapı	Özgül şarj, (kg/m^3)	Basamak Yüksekliği (m)
Büyük draglayn	Şeyl	0,30	15,0
	Şeyl	0,35	23,0
	Şeyl	0,40	–
	Kumtaşı	0,35	18,0
Küçük draglayn	Şeyl	0,20	6,0
	Şeyl	0,50	7,6
	Şeyl	0,35	18,0
	Kumtaşı	0,65	26,0
Kepçeli yükleyici	Şeyl	0,35	9,0
	Kumtaşı	0,65	16,0
	Kumtaşı	0,40	20,0
	Kumtaşı	0,95	15,0

Çizelge 4.12 : Jimeno diğ. (1995) göre kayaç tipine karşılık gelen özgül şarj değeri.

Kayaç tipi	Özgül şarj (kg/m^3)
Masif yüksek dayanımlı kayaç	0,6−1,5
Orta dayanımlı kayaç	0,30−0,60
Çok çatlaklı, yumuşak kayaç	0,1−0,30

Gustafsson (1997) farklı kayaçlardaki atımlar için uygun özgül şarjın ne olduğunu belirtmemekte, bunun yerine özgül şarjın değişiminin parçalanmanın değişimine olan etkisine değinmektedir. Aynı zamanda dilim kalınlığı ile özgül şarj arasındaki ilişkiyi sergilemektedir. Şekil 4.6'da Gustafsson'un teorik yorumu gözükmektedir.



Şekil 4.6 : Gustafsson'un (1997) özgül şarj–parçalanma grafiği.

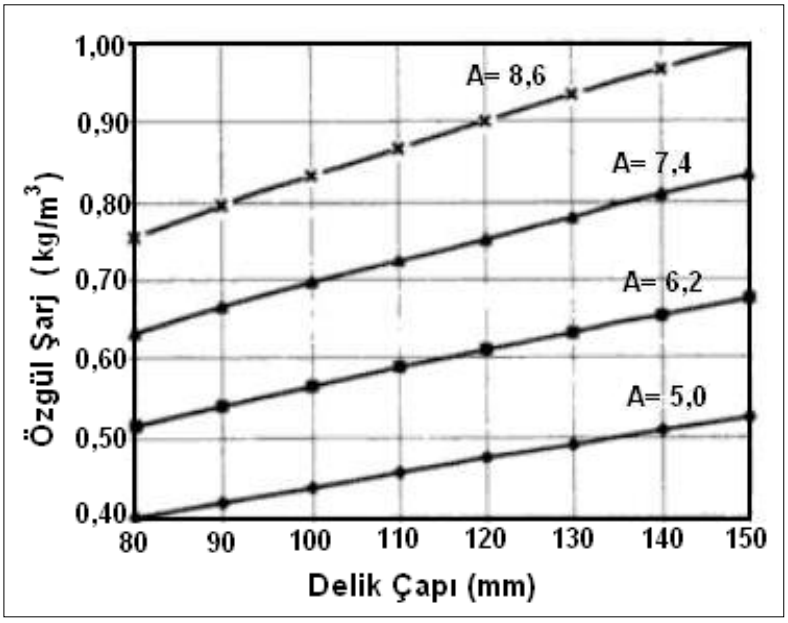
Gustafsson 'B' ile dilim kalınlığını göstermektedir. Özgül şarj artıkça parça boyutu küçülmektedir. Farklı dilim kalınlığı değerlerine bakılırsa, sabit özgül şarj değeri için, dilim kalınlığı arttıkça parça boyut dağılımının da arttığı görülür. Şekildeki yorumda patlayıcı olarak ANFO göz önüne alınmıştır.

Morhard ve diğerleri (1987) taş ocakları için tipik özgül şarjı aşağıdaki Çizelgede görüldüğü şekilde belirtmiştir. Çizelge 4.13'de özgül şarj kg/ton olarak verilmiştir.

Çizelge 4.13 : Morhard'a (1987) göre taş ocaklarında uygulanması gereken özgül şarj.

Kayaç tipi	Özgül şarj (kg/ton)
Granit	0,68−0,90
Bazalt	0,68−1,59
Kireçtaşı	0,90−1,36
Çok çatlaklı kireçtaşı	1,36−2,26

Strelec ve arkadaşları (2000) taş ocaklarında optimum verimlilik için parçalanmanın kestirimi ve parçalanmaya etki eden parametreler üzerinde çalışmışlardır. Bu amaçla bir yazılım geliştirmişlerdir. Çalışmaları sırasında farklı kayaçlarda özgül şarjın tahmini için kullanılabilecek bir diyagram ortaya koymuşlardır (Şekil 4.7). Diyagramdan farklı delik çapına ve Kuz-Ram kayaç faktörüne göre özgül şarjın ne olması gerektiği izlenebilir. Dikkat edilirse grafikteki kayaç faktörü yalnızca yumuşak ve orta sert kayaç için verilmiştir.



Şekil 4.7 : Strelec ve diğerlerinin (2000) özgül şarjın tahmini için geliştirdiği grafik.

5. PARÇA BOYUT DAĞILIMININ VE SÜREKSİZLİKLERİN BELİRLENMESİ

5.1 Atım Sonrası Parça Boyut Dağılımının Görüntü İşleme Yazılımları Yoluyla Belirlenmesi

5.1.1 Yazılımların geri planı

Parça boyut dağılımının belirlenmesi amacıyla kullanılan programlar zaman içinde gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bugün bu programlar dünya üzerinde bir çok madende kurulu haldedir ve masaüstü kullanımının yanısıra online parça boyut dağılımının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Programların genel çalışma prensibine İTÜ envaterinde bulunan WipFrag programı kullanılarak değinilecektir. Bölüm 2'de parçalanmanın belirlenmesi için kullanılan yöntemler ve eleme yöntemi kısaca tanıtılmıştır. Elemeye nazaran görüntü analizinin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

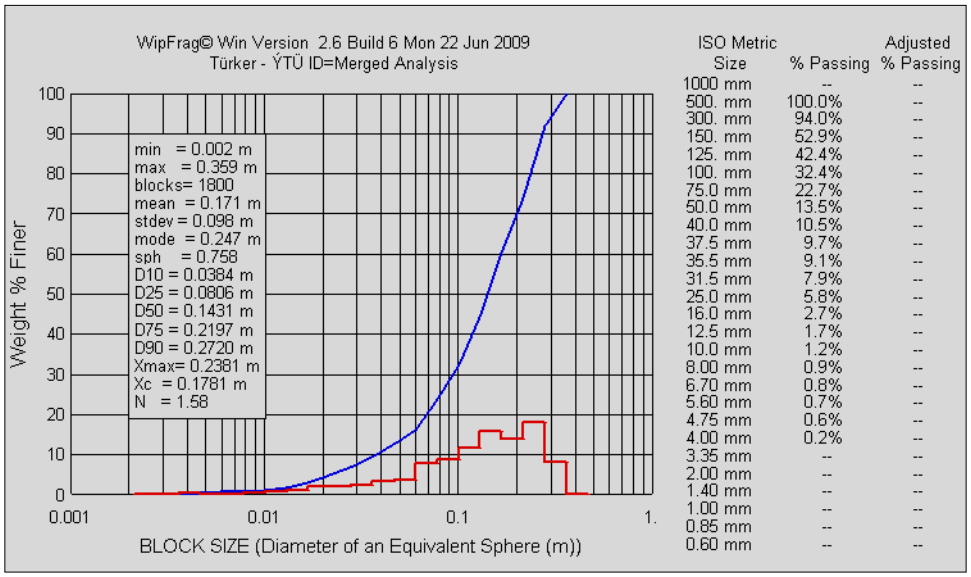
1. Görüntü işleme hızlı bir yöntemdir. Birden fazla görüntü hızlı bir şekilde analiz edilebilmektedir.
2. Görüntü işleme yönteminde üretimin durdurulmasına, kesintiye uğratılmasına gerek duyulmaz.
3. Görüntü işleme ucuz bir yöntem olduğu için, bir çok örnek rahatlıkla analiz edilebilir. Bu sayede örnekleme hatasını minimuma indirmek mümkün olmaktadır.
4. Atım sonrası ortaya çıkan büyük bir yığının araştırma amaçlı bile olsa, elek analizine tabi tutulması oldukça güç ve maliyetlidir. Görüntü analizi için böyle bir kısıtlama yoktur.
5. Zayıf kayaçlar (jips, kömür) eleme sırasında kırılıp parçalanabilirler. Görüntü analizinde malzeme ile temas halinde olunmadığı için böyle bir sorun ortadan kalkmaktadır (Maerz ve diğ., 1996).

Yazılımlar görüntü programa yüklendikten sonra otomatik bir algoritma yoluyla parça sınırlarını belirlemekte ve bir parça boyut ağı oluşturmaktadır. Ölçüm duyarlılığını artırmak için oluşturulan bu parça boyut ağına kullanıcı elle müdahale edebilmektedir. Programın otomatik olarak oluşturduğu ağ ile gerçek görüntü

arasındaki farklar kullanıcı tarafından düzeltilir. Bu iki boyutlu parça ağını kullanan yazılım, geometrik olasılıkları ve stereoloji (stereology) bilimini kullanarak üç boyutlu parça boyut dağılımına geçiş yapmaktadır. Stereoloji, katı cisimlerin iki boyutlu kesitlerini veya projeksiyonlarını kullanarak, bu cisimlere ait üçüncü boyutu araştıran bilim dalıdır. Burada parçaların iki boyutlu profillerinin boyutu kullanılarak, üç boyutlu gerçek parça boyutu kestirilir. Bu işleme açılım (unfolding) adı verilmektedir (Maerz, 1996a). Steorolojinin dayandığı temel parametreler şunlardır:

- Hacim içindeki parçaların dağılımı rastlantısal olarak gerçekleşmiştir.
- Eğer parçalar düzenli bir şekle sahip değillerse (küresel değillerse) rastgele olarak şekillenmişlerdir.
- Parçalar dışbükey olarak şekillenmiştir.
- Buna ek olarak parçaların şekli konusunda en yakın şekil çözümü temel bir kabul olarak ortaya konmaktadır. Parçaların şekilleri küre, küp gibi temel şekillerle tanımlanır. Bir basitleştirme yapılarak hangi parçanın ona en benzer olan temel şekille tanımlanacağı kararlaştırılır. Parçaların büyük bölümü genel olarak küre şekliyle tanımlanmaktadır. Bugün birçok görüntü işleme programı parça boyutunu eşdeğer kürenin çapıyla vermektedir (Maerz, 1996a).

Şekil 5.1'de WipFrag programıyla gerçekleştirilmiş parça boyut analizinin sonuçları gözükmektedir. Burada da görüldüğü üzere parça boyutu eşdeğer kürenin çapı esas alınarak verilmektedir.



Şekil 5.1 : WipFrag yazılımıyla gerçekleştirilen parça boyut analizi.

Patlatma sonrası yığının parça boyut dağılımı izlenirken steorolojide temel olan bir takım kabullerin dışına çıkılır. Bunlardan ilki rastgele olarak seçilmiş iki boyutlu örnekleme düzlemi kuralıdır. Rastgele olarak seçilmiş düzlem yerine, patlatma sonrası yığının yüzeyi bir düzlem olarak düşünülerek örnekleme yüzeyi olarak fotoğraflanır. Bu örnekleme yüzeyi steorolojik çözümlerde önerildiği gibi ince bir yüzey değildir ve kuşkusuz kalınlığı değişmektedir. Fotoğraflanan yığındaki parçalar arasında boşluklar vardır. Bu boşluklardan alttaki parçalar da görülmektedir. Bu demektir ki, örneklenen yüzeyin altındaki yüzeylerden gelen parçalarda görünmekte, tek bir ince kesit yüzey yerine birden fazla yüzey devreye girmektedir. Örneklenen katmanın altındaki katmanlarda gözüken parçalar, altta kaldıkları için kısmi olarak gözükebilmekte veya en üstteki ana örnekleme katmanının parçalarının üstünü kapatabilmektedir. Görüntü işleme programlarının yaratıcıları bu sorunları kendi geliştirdikleri açılım formülleriyle ve düzeltmelerle büyük ölçüde aştıklarını belirtmektedirler (Maerz, 1996a, Latham ve diğ., 2003).

5.1.2 Fotoğraf tekniği ve örnekleme

Patlatma sonrası yığından alınan fotoğrafın içinde mümkünse 300'den fazla parçanın bulunması istenmektedir. Ebatları bilinen bir nesne ölçek olarak kullanılmaktadır. Açılı fotoğraflar genel olarak tercih edilmemektedir. Mümkünse sıfır açıyla kamera ekseni yığın yüzeyine dik bir şekilde fotoğraflar alınmalıdır. Eğer açılı fotoğraf isteniyorsa, pasanın tümü fotoğraflanacaksa iki ayrı ölçek kameraya yakın ve kameraya uzak olarak yerleştirilerek görüntü alınır. Daha sonra kullanılan yazılımların otomatik eğim düzeltme özelliğinden yararlanarak ölçüm gerçekleştirilir (Şekil 5.2).

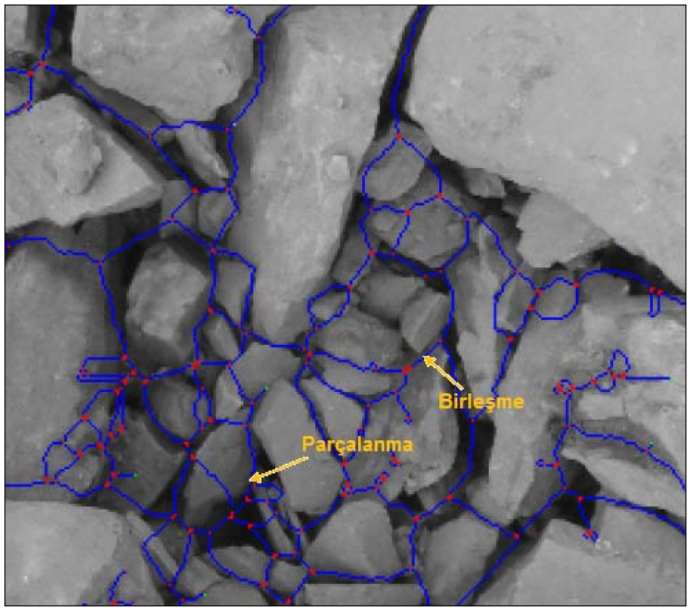


Şekil 5.2 : Kamera ekseni yığına dik olarak elde edilmiş fotoğraf.

Fotoğraflarda gölgelendirmeden ve aşırı ışıktan kaçınılmalıdır. Yazılımlar genellikle her parçanın eşit şekilde parlak olduğu ve parçaların çevresinin üniform ince bir gölgeyle çevrili olduğu durumda en verimli şekilde çalışmaktadır (Maerz, 1996b).

Eğer görüntüde karşıtlık (kontrast) çok fazlaysa parçaların yüzeyi yazılım tarafından yanlış yorumlanmakta ve tek bir parça küçük parçalara bölünmektedir. Bu görüntü işleme yazılımları kullanılırken karşılaşılan önemli hatalardan biridir ve fizyon (parçalanma-bölünme) olarak adlandırılmaktadır (Palangio, 2000).

Diğer yandan kontrast çok düşükse parçaların etrafındaki onları ayıran gölge kaybolur, birden fazla parça birleşerek tek bir parça gibi görünür. Bu durum bir diğer önemli hatadır ve füzyon (birleşme-kaynaşma) olarak adlandırılmaktadır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 : Görüntü işlemedeki iki önemli hata, birleşme ve parçalanma.

5.1.3 Örnekleme lokasyonu

Genel olarak örnek fotoğraflar yığından, yükleme sırasında kamyonun üzerinden veya bant nakliyatı sırasında bant üzerinden alınabilir. En kolay ve sık uygulanan atım sonrası yığından fotoğraf alma yaklaşımıdır. Burada yığının yüzeyi örnekleme yüzeyidir. Yığın yüzeyinin altında bulunan yüzeyden örnek almak için yükleme sırasında farklı zamanlarda fotoğraf alınabilir. Fakat bu durumda yükleme operasyonunun kesintiye uğraması söz konusu olabilmektedir. Ek olarak yükleme sırasında parçaların ufalanarak daha küçük parçalara bölünebileceği ve yükleme sırasında ortaya çıkacak olan tozun parçaların üstünü kapatabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Sistematik hatalardan kaçınmak için bir örnekleme stratejisiyle sahaya gitmekte fayda vardır. Belirli bir strateji uygulanmıyorsa, genellikle fotoğrafı çeken kişinin kişisel hataları da görüntüye dahil olmaktadır. Fotoğrafi çeken kişi büyük parçaların olduğu yerden görüntü alma eğiliminde olmakta veya görüntüleri üniform dağılım gösteren bölgelerden alabilmektedir.

Genel olarak rastgele ve sistematik olmak üzere iki farklı örnekleme tekniğinden söz etmek mümkündür. Her iki durumda da yığın yüzeyi araştırmacı tarafından gridlere ayrılır ve hangi gridin fotoğraflanacağına karar verilir. Çok büyük bir yığında çalışılıyorsa tüm yığının fotoğraflanması güçtür. Rastlantısal olarak örnekleme değerlendirmede kolaylık sağlamaktadır. Buna karşın sistematik örneklemede ise, yönlere göre parça boyut dağılımının değişimi tam olarak görülmüş olur (Palangio, 2000).

5.1.4 Örnekleme ölçeği

Eğer yığından tek bir resim alınarak parça boyut dağılımı analiz ediliyorsa parça boyutundan kaynaklanan bir takım sorunlarla karşılaşılmaktadır:

- Yığında bulunan büyük bloklar resimde görülmeyebilir. Çünkü bu bloklar resme sığmayacak kadar büyüktür.
- Küçük parçalar görülemeyebilir. Çünkü çözünürlük nedeniyle resimde görülemeyecek kadar küçüktürler.
- Küçük parçalar resimde görülemeyebilir. Çünkü daha büyük parçaların arkasında bulunabilirler.

Örnekleme boyutu yani fotoğrafın alındığı mesafe önemlidir. Çok yakından çekilmiş az sayıda parçayı içeren bir resimde büyük parçalar resmin dışında kalabilir ve görülmeyebilir. Bu durumda gerçekleştirilen analiz sonucunda, yığının parça boyut dağılımı gerçekten daha ince tespit edilmektedir. Tam tersine geniş bir çerçeveden yani örnekleme düzlemine uzak bir mesafeden fotoğraf alınırsa küçük parçalar gözükmeyebilir. Analiz sonunda küçük parçalar devre dışı kaldığı için daha iri bir parça boyut dağılımıyla karşılaşılmaktadır.

Bu sorunlar çoklu görüntü analiziyle bir nebze de olsa çözülebilmektedir. İTÜ envanterinde bulunan WipFrag yazılımının çoklu görüntü analizi (merge technique) yapma kapasitesi mevcuttur. Öncelikle aynı gözlem ölçeğiyle yığından çok sayıda fotoğraf alınır. Mümkün olduğunca görüntü alma mesafesinin de sabit kalması

sağlanır. Her bir fotoğraf analiz edildikten sonra sonuçlar tek bir dosyada birleştirilerek analiz edilebilmektedir. Böylece örnekleme çerçevesi çok büyütülmekte, yani yığının çok büyük bir bölümü, çok sayıda parça analiz edilmiş olmaktadır.

İnce boyutlu parçaların görülmesi bir sorun olarak ortaya çıkıyorsa 'zoom merge' tekniğine başvurulabilir. Burada fotoğraflar yığından farklı ölçeklerle alınmaktadır. İnce boyutlu malzemenin gözükmesi için çok yakından da fotoğraf çekilmektedir. Daha sonra farklı ölçekteki bu fotoğraflar çoklu görüntü analizi özelliği kullanılarak birleştirilmektedir. Böylece çok ince boyutlu malzeme de hesaba katılmış olmaktadır. Bununla birlikte bu uygulama çok kesin bir çözüm değildir. Daha öncede belirtildiği gibi çok ince parçaların bir kısmı iri parçaların arkasına düşerek gizlenmektedir. Ayrıca uygulaması zaman alan bir tekniktir (Maerz, 1996b, Palangio, 2000).

5.1.5 Görüntü işleme yazılımlarında düzeltme

WipFrag programı iki boyutlu yüzey ölçümlerini matematik açılım fonksiyonları kullanarak hacme ve ağırlığa dönüştürmekte ve bu şekilde malzemeyi boyuta göre sınıflamaktadır. Bu hesaplama sırasında üç önemli problem belirli ölçüde program algoritmaları tarafından çözülmektedir. Bunlar parçaların üst üste gelmesi durumu, ince malzeme sorunu ve şekil etkisidir. Ölçümden sonra Rosin-Rammler veya Swebrec fonksiyonlarına bağlı olarak düzeltme yapılabilir. Program Rosin-Rammler düzeltmesi için Fn ve Fxc olarak iki düzeltme faktörü tanımlamaktadır. Görüntü işleme sonucu elde edilen ham verinin 'n' (üniformite katsayısı) ve 'x_c' (karakteristik boyut) değerleri Fn ve Fxc parametreleriyle çarpılarak düzeltme yapılmaktadır. (Maerz ve Zhou, 1998, 2000).

Çizelge 5.1 : WipFrag yazılımının kullandığı farklı üniformite değerleri için düzeltme katsayıları (WipFrag 2.6, 2007).

n	Fn düz.	Fxc düz.	b düz.	Xmax düz.	x_{50} düz.
0,5	0,30	0,50	1,75	0,75	0,75
0,75	0,45	0,90	2,00	0,75	1,00
1	0,48	1,00	2,15	0,75	1,25
1,25	0,60	1,00	2,30	1,00	0,75
1,5	0,65	1,00	2,45	1,00	1,00
2	0,78	1,00	2,60	1,00	1,25
3	1,15	1,00	2,75	1,25	0,75
3	1,15	1,00	2,90	1,25	1,00
3	1,15	1,00	3,25	1,25	1,25

0,5 ten 3'e kadar değişen farklı üniformite değerleri için farklı düzeltme katsayıları kullanılmaktadır (Çizelge 5.1). Üniformite indeksi ve karakteristik boyut düzeltmesinden sonra yazılım düzeltilmiş eğriyi çizmektedir (Maerz ve Zhou, 1998, 2000).

Çizelge 5.1'deki b, Xmax ve x_{50} Swebrec fonksiyonu ile ilgili düzeltmelerdir. Bilindiği gibi Swebrec (İsveç Patlatma Araştırmaları Merkezi) Rosin-Rammler eğrisinin parçalanmayı doğru bir şekilde tanımlamadığını öne sürerek yeni bir eğri tanımlamıştır. Buna Swebrec Fonksiyonu adı verilmektedir (Ouchterlony, 2005a,b). WipFrag yazılımı bu fonksiyona bağlı olarak da düzeltme yapabilir. Xmax maksimum parça boyutunu, x_{50} ortalama parça boyutunu, b ise Swebrec eğrisi için şekil katsayısını vermektedir. Bu çalışma kapsamında yalnızca Rosin-Rammler düzeltmesi üzerinde durulacaktır.

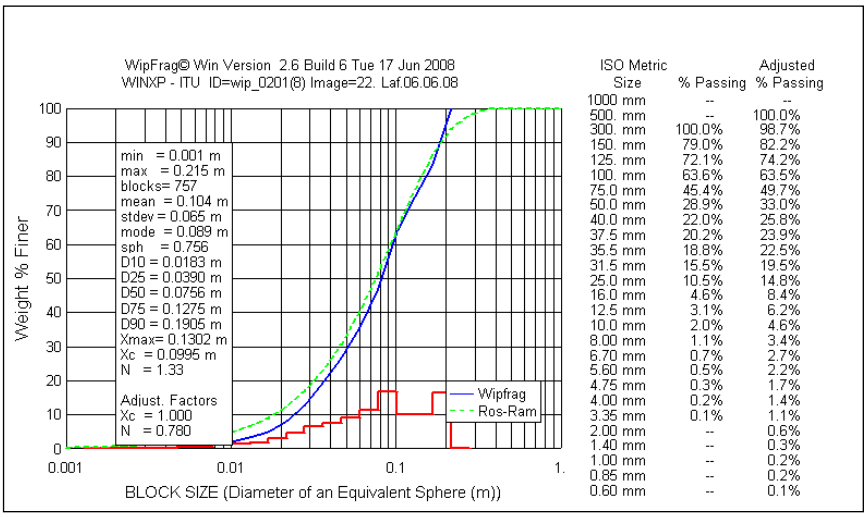
Şekil 5.4'de görülen görüntü, yazılım kullanılarak analiz edilmiş ve Şekil 5.5'deki parça boyut dağılım eğrisi elde edilmiştir. Şekildeki mavi düz çizgi ile verilen eğri düzeltilmemiş parça boyut dağılımını göstermektedir. x_{50} boyutu 0,081 m ve üniformite indeksi 1,7'dir. Şekil'de düzeltilmiş eğri kesikli çizgi ile gösterilmektedir. Düzeltme faktörleri üniformite indeksi için 0,78, karakteristik boyut için 1'dir. Düzeltilmiş üniformite indeksi 1,33'tür. Bu yeni eğriye göre x_{50} boyutu 0,076 m'ye düşmüştür.



Şekil 5.4 : Taş ocağından alınmış ölçekli resim.

Programın kalibre edilmesi için atım sonrası yığının elenmesi ve sonuçların görüntü işleme ile karşılaştırılması en doğru tekniktir. Fakat bu uygulama pratikte pek mümkün değildir. Alternatif yol olarak laboratuar ölçekli deneme önerilebilir.

Laboratuarda elenerek parça boyut dağılımı tespit edilen bir yığın görüntü işleme yazılımıyla analiz edilerek, sonuçlar karşılaştırılabilir. Böylece programın kullandığı Fn ve Fxc düzeltme faktörleri yerine spesifik düzeltme faktörleri bulunabilir.



Şekil 5.5 : Düzeltme uygulanmış parça boyut dağılımı.

5.1.6 Görüntü işleme yazılımı için laboratuar ölçekli test

WipFrag programının yetkinliğinin denenmesi için İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü Kırmataş ve Briketleme Laboratuarı'nda agrega malzeme elek analizine tabi tutulmuştur. Elek analizi sonucu parça boyut dağılımı tespit edilen malzeme dijital kamerayla fotoğraflanmış; parça boyut dağılımı WipFrag yazılımı ile de belirlenmiştir. Elek analizi ve WipFrag yazılımı ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak yazılımın yetkinliği test edilmiştir. 12 farklı elekten elenerek 25 mm altı malzeme sınıflara ayrılmış, her bir boyut aralığındaki malzeme miktarı saptanmıştır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 : Elek analizi için hazırlanmış numuneler.

Daha sonra bu malzeme Şekil 5.7'de görüldüğü gibi harmanlanmıştır. İki ayrı deney ortaya konmuştur. Birinci deneydeki toplam elenen malzeme miktarı 5468 gr, ikinci deneydeki malzeme miktarı 4158 gr'dır. Elek analizi sonuçları Çizelge 5.2'de verilmiştir. Ölçek olarak 16,71 mm çapında bir bilye kullanılmıştır. Burada yapılan analiz sırasında programla uyum sağlamak için ölçek 10 kat büyük olarak verilmiştir.

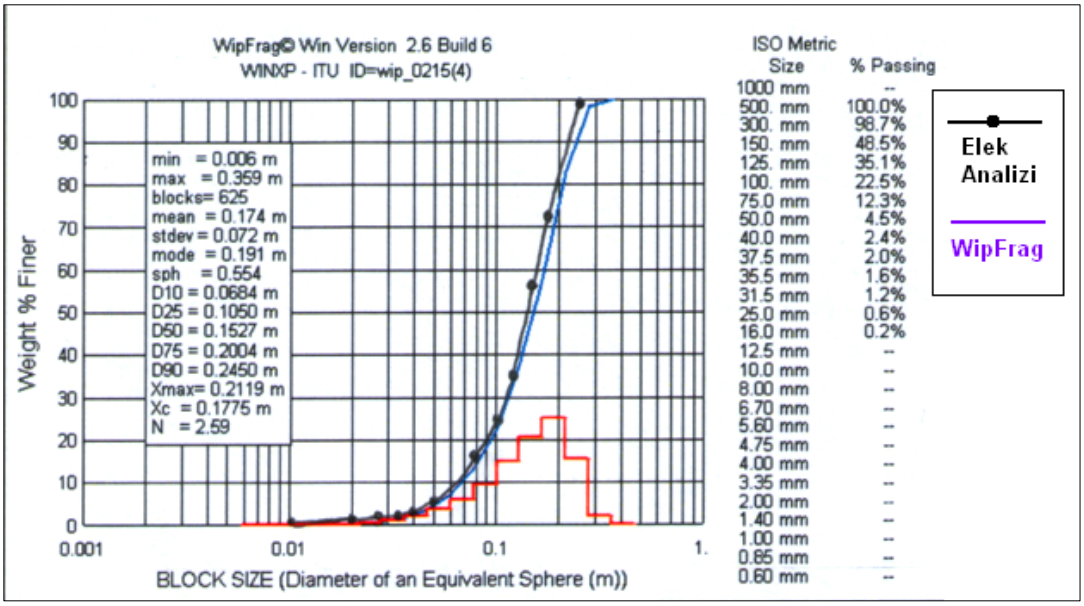


Şekil 5.7 : WipFrag programıyla analiz edilen görüntü.

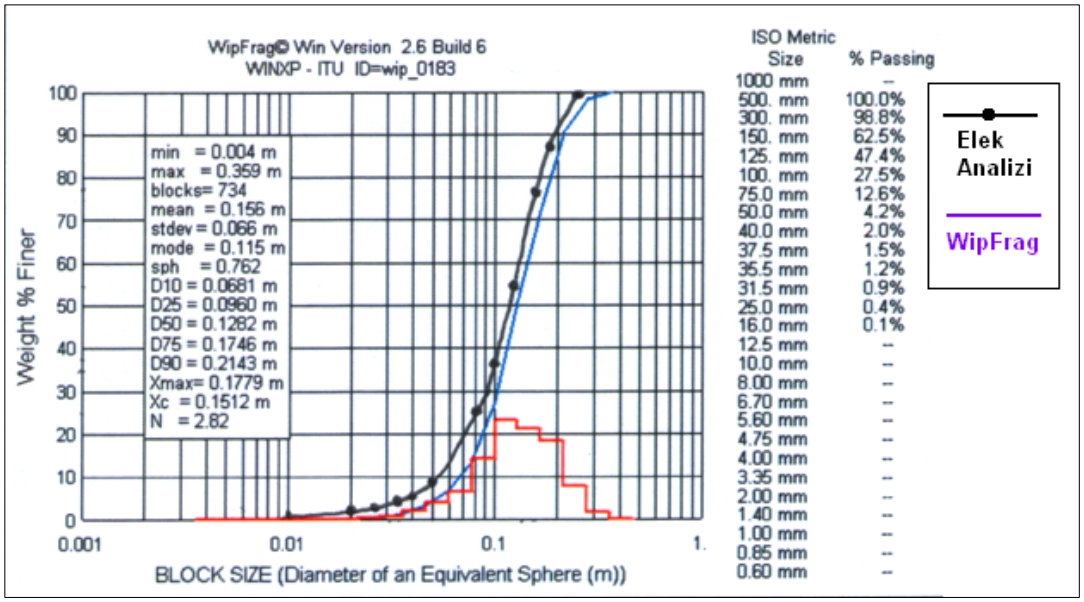
Çizelge 5.2 : Elek analizi sonuçları.

Elek açıklığı (mm)	Deney 1 % Elek altı	Deney 2 % Elek altı
25	100,00	100,00
19	70,61	87,08
16	57,57	78,34
12,5	35,80	54,32
10	23,60	37,26
8	15,17	24,84
5	5,21	9,12
4	3,24	5,89
3,35	2,22	4,02
2,5	1,35	2,35
2	0,91	1,48
1	0,42	0,50

Şekil 5.8 ve 5.9'de elek analizi sonucu elde edilen parçalanma eğrisi ile WipFrag yazılımı kullanılarak elde edilen parçalanma eğrisi karşılaştırma amacıyla aynı grafikte gösterilmektedir. Çizelge 5.3 tüm sonuçları ve sapmayı çizelge halinde ortaya koymaktadır.



Şekil 5.8 : Birinci deney için elek analizi ve WipFrag sonuçları.



Şekil 5.9 : İkinci deney için elek analizi ve WipFrag sonuçları.

Çizelge 5.3 : Deney sonuçlarının karşılaştırılması.

	Deney 1			Deney 2		
Boyut	Elek analizi (cm)	WipFrag (cm)	Sapma	Elek analizi (cm)	WipFrag (cm)	Sapma
x10	0,063	0,068	%8	0,052	0,068	%30
x25	0,103	0,105	%2	0,079	0,096	%21
x50	0,147	0,153	%4	0,118	0,128	%8
x75	0,198	0,2	%1	0,153	0,175	%14
x90	0,229	0,245	%7	0,202	0,214	%6
Xc	0,171	0,177	%4	0,136	0,151	%11
n	2,39	2,59	%8	2,57	2,82	%10

Çizelge 5.3'de de görüldüğü gibi WipFrag programıyla bulunan sonuçlar ile elek analizi ile bulunan sonuçlar birbirine oldukça yakındır. x_{50} boyutunda, WipFrag programı ile elek analizi sonuçları arasındaki sapma %4–8 mertebesinde olmuştur. Bu çok düşük bir orandır. İkinci deneyde x10 ve x25 boyutunda (küçük boyutta) nisbi olarak yüksek sapma görülmüştür. Karakteristik boyutta sapma birinci deneyde % 4 ikinci deneyde %11 olmuştur. Burada program oldukça başarılı gözükmektedir. Programın başarısına etki eden nedenlerden biri yüksek üniformite indeksi olabilir. Deneyler düşük üniformite indeksine sahip malzemeyle tekrar edilmelidir. Belirli üniformite indeksi değerleri için deneyler tekrar edilir ve her üniformite indeksi değeri için WipFrag'ın kullandığı gibi bir düzeltme değeri bulunur. WipFrag ile yapılan analizden elde edilen üniformite indeksi değeri bu düzeltme değeri ile çarpılarak düzeltilmiş üniformite indeksi değeri elde edilir. Gerekirse aynı şekilde karakteristik boyut için de bir düzeltme değeri hesaplanır. Daha sonra yeni düzeltilmiş üniformite indeksi ve karakteristik boyut kullanılarak parça boyut dağılımı yeniden belirlenir. İşte WipFrag'ın Rosin–Rammler düzeltmesinde yaptığı işlem tam olarak budur.

Yazılımın düzeltme değerleri yerine, istenirse deneyle geliştirilen düzeltme değerleri kullanılabilir. Deney 1 ve 2'de üniformite indeksindeki ortalama sapma yaklaşık %9 olmuştur. Karakteristik boyutlara bakılırsa, program ile elek analizi arasındaki ortalama sapma %7,5 mertebesindedir. Yani yazılım kullanılarak elde edilen ölçümde n değeri %9 daha fazla, Xc değeri elek analizine göre %7,5 daha fazladır. Burada her iki deneyde de üniformite indeksi sapmasının yakın çıkması rastlantısaldır.

Bu durumda 2,5 ve üzeri üniformite indeksi için, düzeltme değerleri Fn ve Fxc 0,91 ve 0,925 olarak bulunmuştur. WipFrag'dan elde edilen 'n' ve 'Xc' değerleri bu düzeltmelerle çarpılarak düzeltilmiş üniformite indeksi ve karakteristik boyut bulunabilir, düzeltilmiş eğri çizilebilir.

Deney 1 için;

$n_{düz} = 2,59 \times 0,91 = 2,36$

$Xc_{düz} = 0,177 \times 0,925 = 0,164$

Deney 2 için;

$n_{düz} = 2,82 \times 0,91 = 2,57$

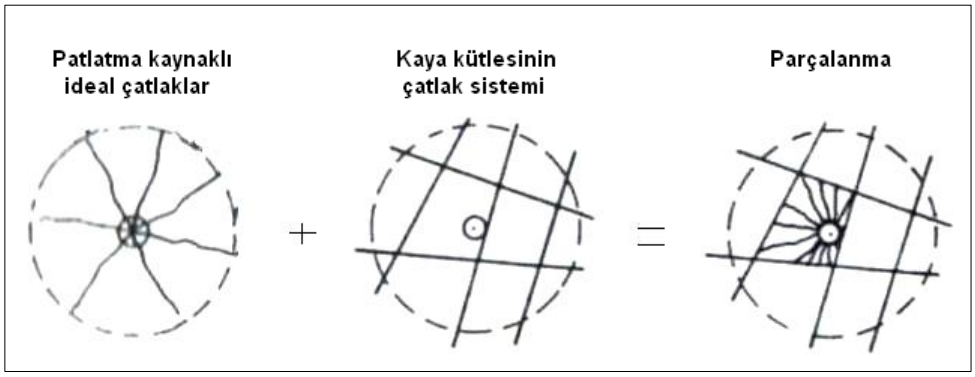
$Xc_{düz}$ = 0,151 x 0,925 = 0,140

Burada $n_{düz}$, düzeltilmiş üniformite indeksi; $Xc_{düz}$ ise düzeltilmiş karakteristik boyuttur. Ancak burada laboratuar ölçekli çalışmada WipFrag düzeltmeye ihtiyaç duymayacak kadar başarılıdır.

5.2 Görüntü İşleme Yazılımları ve Hat Etüdü ile Süreksizliklerin Belirlenmesi

5.2.1 Patlatma açısından süreksizliklerin önemi

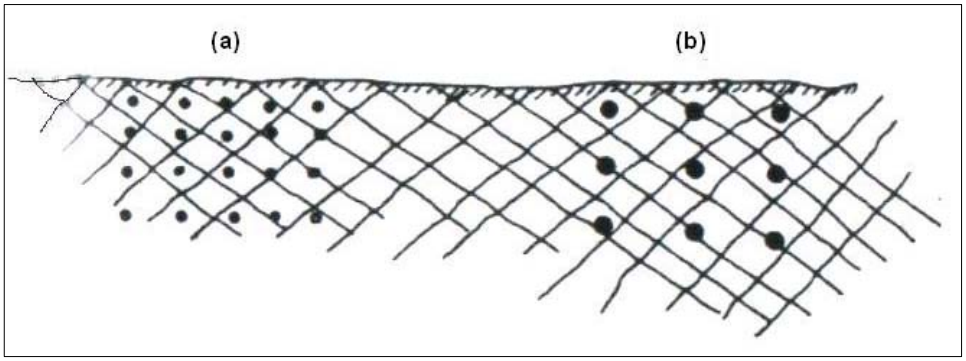
Kaya kütlesi genellikle farklı özelliklerde birçok süreksizlik içerir. Çalışılan ocaklardaki kaya kütlesi de süreksizliklerle parçalanmıştır. Masif, çatlakların olmadığı bir yapı içinde patlama gerçekleşince, patlama basıncıyla birlikte delik çevresinde eksenel çatlaklar oluşmaktadır. Delik çevresinde uzun çatlakların sayısı nispeten azdır, kısa çatlakların sayısı çok daha fazladır ve bunlar hemen delik çevresinde toplanmaktadır. Süreksizliklerin devreye girmesiyle parçalanma prosesi karmaşık bir hal alır. Kayacın içerisindeki doğal çatlaklar, deliğin çevresindeki patlatmanın etkili olduğu alan üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Kayacın içindeki çatlaklar nedeniyle patlatma deliğinin etkin olduğu çap azalabilir. (Şekil 5.10). Kayacın içinde bulunan doğal çatlaklar patlatma işlemiyle oluşan gazların kaçması için boşluk yaratmaktadır. Bununla birlikte bu çatlakların böldüğü blokların kolay kopma-ayrılma durumu, çatlaklı kayaçta parçalamanın masif kayaca göre daha kolay olmasını yani özgül şarjın daha düşük olmasını sağlamaktadır (Hustrulid, 1999).



Şekil 5.10 : Çatlaklı yapının parçalanma üzerine etkisi (Hustrulid, 1999).

Şekil 5.11'de çatlaklı yapıdaki iki ayrı delme paterni görülmektedir. Küçük deliklerle yapılan atımda delikler arası mesafe daha düşüktür, yani delikler birbirine daha yakındır. Burada hemen hemen her bloğa bir delik düşmektedir. İyi bir parçalanma

beklenmektedir. Şeklin ‘b’ kısmında gösterilen büyük deliklerle yapılan atımda, bloklar deliklerin arasında kalıp patlayıcı etkisinden uzak kalmaktadır. Bu durum atım sonrası parçalanmanın yetersiz olmasına, iri blokların ortaya çıkmasına neden olabilir. Burada kuşkusuz küçük çaplı deliklerle yapılan ‘a’ paterninde delme-patlatma maliyeti büyük çaplı deliklerle yapılan atıma göre daha yüksektir. Spesifik delme ve özgül şarj miktarları daha yüksek olacaktır. En doğru yaklaşım, parçalanmanın iyi olduğu ve maliyetin de uygun olduğu optimum bir noktanın bulunmasıdır.



Şekil 5.11 : Çatlaklı yapıda uygulanabilecek iki farklı patlatma paterni (Hustrulid, 1999).

5.2.2 Klasik yöntemler ile süreksizliklerin belirlenmesi

Kaya mühendisliği uygulamalarında süreksizliklerin özelliklerinin, yönelimlerinin ve dağılımlarının belirlenmesi için; yüzey ve sondaj çalışmalarını kapsayan iki farklı yöntem uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden en önemlileri hat etüdü, pencere haritası, sondaj karotlarının jeoteknik olarak loglanması, yönlendirilmiş karot veya sondaj kamerası gibi tekniklerdir (Ulusay ve Sönmez, 2007).

Bu çalışma sırasında çatlakların belirlenmesi için hat etüdü (line sampling) olarak adlandırılan metot kullanılmıştır. Bu yöntem süreksizliklerin, dolayısıyla kaya kütlelerinin özellikleriyle ilgili veri toplanmasında istatistiksel anlamda en tatmin edici sonuçların alındığı yöntemlerden biridir. Yöntem Jennins (1970) tarafından önerilmiş, Attawel ve Farmer (1976), Priest ve Hudson (1981) gibi araştırmacılar ile ISRM (1978) tarafından tartışılmış ve sınırları belirlenmiştir (Ulusay ve Sönmez, 2007). Hat etüdü için AutoCad yazılımından yararlanılmıştır. Araziden alınan ölçekli ayna görüntüleri AutoCad yazılımına aktarılmakta, çatlak ölçümleri bu şekilde gerçekleştirilmektedir. Burada süreksizliklerin doğal süreksizlikler mi, yoksa patlatma sonrası oluşmuş yapay kırıklar mı olduğu dikkatlice belirlenmelidir.

Patlatma kaynaklı çatlaklar ölçümlere dahil edilmemelidir. Kimi süreksizliklerin gözden kaçırılması örnekleme yönü için tercihli ölçüm alınması yapılan hatalar arasındadır. Görüntü işleme tekniğiyle gerçekleştirilen çatlak ölçümü yüksek hassasiyet sağlamaktadır. Ölçüm dijital görüntü üzerinde gerçekleştirildiği zaman arazide karşılaşılan hareket kısıtlaması ortadan kalkmaktadır. İstenen her yönde, istenilen mesafeler dahilinde ölçüm gerçekleştirmek mümkün olmaktadır. Bu çalışmada aynada yatay ve dikey olmak üzere iki hat ölçümü gerçekleştirilmiş, iki ölçümün ortalaması ortalama çatlaklar arası mesafe olarak belirlenmiştir. Hat etüdünde çatlaklar arası mesafe (S_J) ölçülen hat uzunluğunun, o hat boyunca tespit edilen çatlak sayısına oranlanmasıyla elde edilmektedir (Ulusay ve Sönmez, 2007).

$$S_J = \frac{L}{N} \qquad \textbf{(5.1)}$$

L: Ölçüm hattının uzunluğu (m)

N: Ölçülen çatlak sayısı

Çatlak ölçümü bir örnekle açıklanabilir. Şekil 5.12'de görülen ayna İstanbul Cendere Bölgesi'nde bulunan Akçansa ocağında atım öncesinde fotoğraflanmıştır. Burada gösterim kolaylığı açısından çok büyük olmayan ve çok çatlaklı olmayan bir ayna seçilmiştir. Önce ölçeğin boyutu belirlenmekte sonra sırasıyla çatlakların boyutu ölçülmektedir.



Şekil 5.12 : Ayna görüntüsünden hat etüdü ölçümü.

Aynada görülen beyaz renkli karton kutu ölçektir. Ölçeğin boyutu 29 cm'dir. Ölçeğin boyutu bilindiğinden AutoCad yazılımında ölçülen büyüklüklerin gerçek boyutu doğru orantı yoluyla kolaylıkla bulunmaktadır. Şekilde görüldüğü üzere AutoCad yazılımıyla çatlaklar arası mesafe duyarlı bir şeklide tespit edilebilmektedir.

Çizelge 5.4'de görüldüğü gibi hat uzunluğunun o hatta sayılan toplam çatlak sayısına oranı ortalama çatlaklar arası mesafeyi vermektedir. Yatay ve dikey hatlar boyunca ortalama çatlaklar arası mesafe bulunduktan sonra, bu değerlerin ortalaması alınarak kayaç için ortalama çatlaklar arası mesafe bulunur. Yatay ve dikey ölçümlerin ortalamasının alınması, çatlak yöneliminden kaynaklanan ölçüm hatasını azaltmaktadır (Kulatilake, 2008).

Çizelge 5.4 : Ortalama çatlaklar arası mesafenin belirlenmesi.

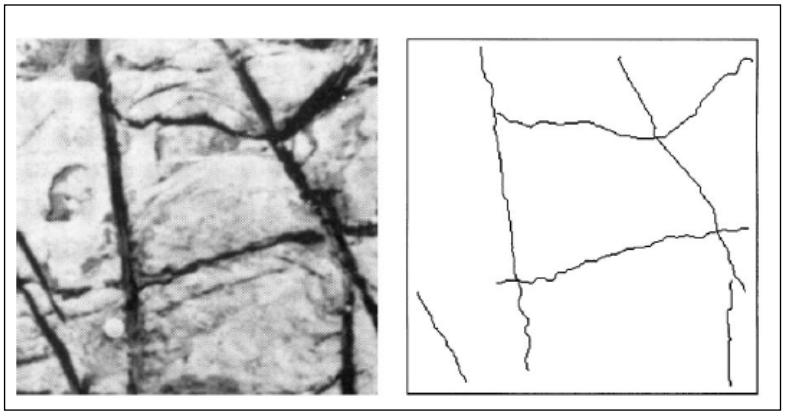
Yatay hat boyu (cm)	995
Yatay hat çatlak sayısı (adet)	13
Yatay hat ortalama çatlaklar arası mesafe (cm)	76,54
Dikey hat boyu (cm)	745
Dikey hat çatlak sayısı (adet)	6
Dikey hat ortalama çatlaklar arası mesafe (cm)	124,17
Ortalama çatlaklar arası mesafe (cm)	100,35

5.2.3 Görüntü işleme yazılımları ile süreksizlik analizinin temelleri

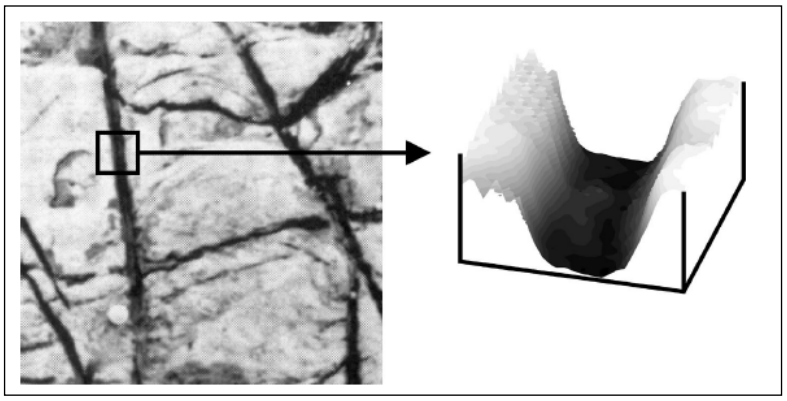
Görüntü işleme yoluyla süreksizlik tespiti konusunda gerçekleştirilmiş birçok çalışma mevcuttur. Görüntü işleme yoluyla görünür çatlaklar arası mesafeyi, görünür blok boyutunu, çatlakların ayna üzerinde görünen yönelimini belirlemek mümkündür. Maerz (1990) iki boyutlu sayısal görüntüyü bir koordinat düzlemi olarak tanımlamış ve grinin tonlarını f(x,y) fonksiyonunun bir değeri olarak kullanarak süreksizlikleri tespit etmeye çalışmıştır. Reid ve Harrison (2000) süreksizlik izlerinin tespiti için yarı otomatik yöntem geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri yöntemde gri tonlamalı görüntüler kullanmakta ve her bir çatlak izini ayrı birer obje olarak değerlendirmektedirler. Süreksizlikleri değerlendirmek için filtreler kullanmışlar daha sonra bunları gerçek görüntü ile karşılaştırmışlardır. Şekil 5.13'de Reid ve Harrison'un (2000) yaptığı çalışmada gri tonlamalı görüntüden süreksizlik haritasına geçiş görülmektedir. Bütün görüntü işleme yaklaşımlarında temel mantık hemen hemen aynıdır. Ton farklılıklarından çizgisel değerler tespit edilmeye

çalışılmaktadır. Şekil 5.14'da gri tonlar esas alınarak çatlağın olduğu kısım bir vadiye benzetilmiştir. Programda gri tonun koyulaşması derinlik artışını yani çatlağı temsil etmektedir.

Split FX, Kemeny ve arkadaşları tarafından geliştirilen bir yazılımdır. Kemeny (2006) lazer kullanarak şev aynasını taramış, daha sonra elde edilen 3 boyutlu görüntüyü Split FX yazılımına yerleştirmiştir. Yazılım yoluyla çatlak kümeleri 'stereonet' üzerine yerleştirilebilmektedir.



Şekil 5.13 : Çatlak görüntüsünden çatlak izlerine geçiş (Reid ve Harrison, 2000).



Şekil 5.14 : Gri tonda kaya yüzey görüntüsünün parlaklığa göre topografik yüzeye benzetilmesi (Reid ve Harrison, 2000).

Çatlak izlerinin tespiti amacıyla kullanılan bütün görüntü işleme programlarında görüntüyü tanımlamak için üç temel kavramın öne çıktığı görülmektedir:

- Kenar: Rölatif olarak birbirinden farklı gri tona sahip bölümleri ayıran sınırdır.
- Çizgi: Çatlakları temsil edilen eğrisel (çizgisel) yapılar.
- Topografik özellik: Gri tonlamalı görüntü bir topografik yapı gibi düşünülür. Koyu renkli pikseller yükseltinin düşüşünü, açık renkli pikseller yükseltinin artışını temsil eder.

Yukarıda da değinilen çalışmalarda en önemli problem görüntüdeki köşeleri ve süreksizlikleri otomatik olarak tespit edebilmektedir. Bu amaçla kullanılan farklı filtreleme teknikleri Hadjigeorgiou ve diğerleri (2003) tarafından ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Hadjigeorgiou ve arkadaşları süreksizlikleri otomatik olarak tespit eden bir algoritma geliştirmişler, daha sonra otomatik yöntemi yarı otomatik ve manuel yöntemle karşılaştırmışlardır.

Daha ileri aşamalara gidilerek süreksizliklerin uydu görüntülerinden yararlanarak görüntü işleme ile belirlenmesi konusunda da çalışmalar vardır. Koçal (2004) yüksek lisans tezinde yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanarak Ankara Gölbaşı'nda bulunan andezit ocağının hakim süreksizliklerini tespit etmeye çalışmıştır. Bu amaçla özel bir yazılım kullanarak, süreksizlikleri otomatik ayırt etme (automatic lineament) olarak adlandırdıkları işlemle tespit etmektedirler.

5.2.4 Süreksizliklerin tespitinde WipJoint yazılımı

WipJoint yazılımı kayaç yüzeyindeki süreksizliklerin haritalanması amacıyla kullanılmaktadır. WipJoint kullanılarak patlatma tasarımında iki önemli parametre olan çatlak yönelimini ve yönlere göre çatlak aralığındaki değişimi ölçmek mümkündür. Bu yazılım kullanılarak patlatma öncesi görünür blok boyutunu da hesaplamak mümkündür. Patlatma prosesi de aslında kendi içinde bir boyut küçültme prosesidir. Yerinde blok boyutundan patlatılmış (yığının) blok boyutuna geçilmektedir. Bu nedenle yerinde blok boyutunun tespiti önem kazanmaktadır. Bu tür yazılımların madencilik sektöründe ve araştırma kurumlarında kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

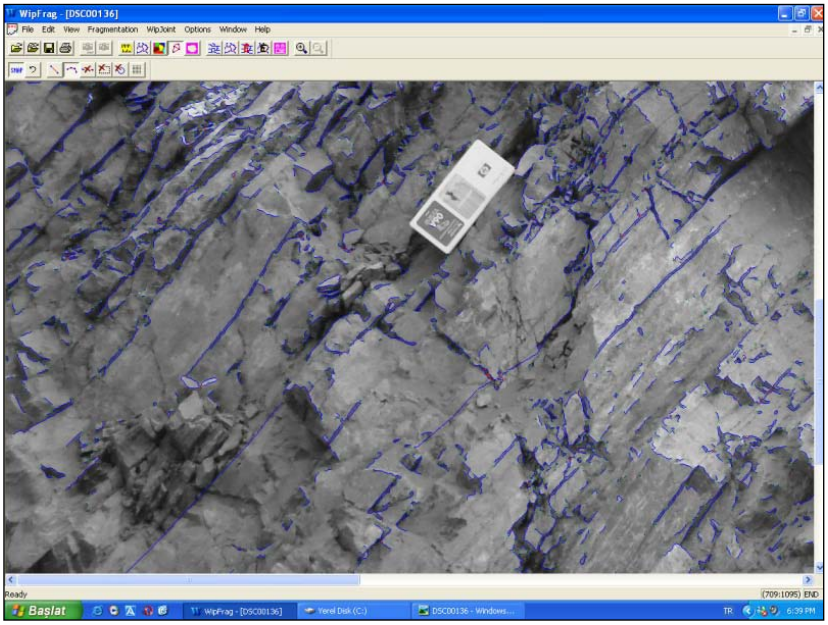
Bu çalışmada aynada yerinde blok boyutunu tespit etmek için WipJoint yazılımı kullanılmıştır. WipJoint yazılımının algoritması ile WipFrag yazılımın algoritması farklıdır. Bu yazılım WipFrag yazılımından daha sonra geliştirilmiştir. Bununla birlikte bazı çalışmalarda parça boyut dağılımı tespit programlarının yerinde blok boyutunun tespiti için kullanıldığı da görülmüştür. Bunlardan biri Kim'in (2006) Virginia Politeknik Enstitüsü'de (Virginia Tech) gerçekleştirdiği yüksek lisans tezidir. Bu tezin başlığı "Çatlak Tokluğu, Basamak Aynası ve Yığının Görüntü İşlenmesi Yoluyla Patlatma Dizaynı" dır. Bu amaçla taş ocaklarında toplam 12 ayrı atım incelenmiştir. Split programı kullanan Kim, basamak aynasında ve atım sonrası yığında blok boyutu belirlemek için görüntü işleme tekniğinden yararlanmıştır.

Bu tez çalışması gerçekleştirilirken WipJoint benzeri bir süreksizlik işleme programı olan Split FX, Split programının yaratıcıları tarafından ticari olarak geliştirilmektedir (Kemeny, 2008). Bu yazılım da yerinde blok boyutunu ve çatlak yönelimini ölçebilmektedir.

WipFrag programında olduğu gibi WipJoint yazılımında da görüntülerin arşivlenmesi ve daha sonra tekrar kullanılması mümkündür. Bu programda da öncelikle ölçek yerleştirilmiş yeterli çözünürlüğe sahip fotoğraflar elde edilir. Yazılım kullanılarak önce görüntü ölçeklenir yani görüntü içindeki ölçeğin boyutu belirlenir. Daha sonra kenar belirleme ve poligon yaratma işlemi gerçekleştirilir. Kenarlar çatlakların yönelimini tespit etmek amacıyla belirlenir. Poligonlar ise kapalı elementleri yani kaya bloklarını tespit etmek amacıyla tesis edilir. Sonuç itibariyle blokları ortaya koyan bir çatlak ağı oluşturulur. Kullanıcı isterse düzenleme komutu yardımıyla oluşturulan kenar ve poligonlara müdahale edebilir ve düzeltmeler yapılabilir. Son olarak analiz seçeneği seçilince, program sonuçları istatistiksel veriler ve grafik olarak ortaya koymaktadır (WipFrag 2.6, 2007). Aşağıda WipJoint programının kullanım kılavuzunda yer alan örnek şev aynası fotoğrafı görülmektedir (Şekil 5.15). Tabakalanma çok net doğu batı doğrultusundadır. Çatlak açıklıkları çok geniştir. Bu tür bir resimde programın başarısı çok yüksektir. Şekil 5.16'da ise İstanbul Cendere Bölgesi Akdağlar ocağından alınmış bir fotoğraf görülmektedir. Bu görüntüde çatlak aralıkları nispeten daha dardır. Burada görüntü analiz işleminin ilk aşaması olan çizgisel elemanların belirlenmesi işlemi görülmektedir. Görüntüdeki mavi renkli çizgisel elemanlar çatlaklardır.



Şekil 5.15 : Süreksizliklerin çok net olarak tespit edildiği yapı.



Şekil 5.16 : Akdağlar ocağında atım öncesi basamak aynasının görünümü.

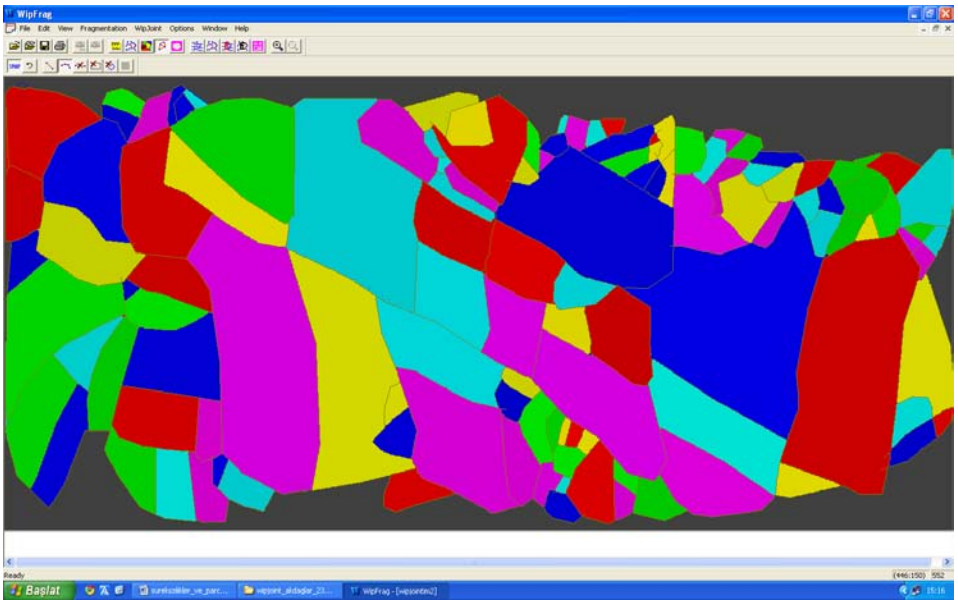
Bu bölümde atım numarası ile verilen basamak aynaları ve atımlara ait tüm ölçümler takip eden bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir. Şekil 5.17'de görülen basamak aynası WipJoint ile analiz edilirken, önce ölçek tespit edilir. Daha sonra yazılım çatlak izlerini belirlemektedir.



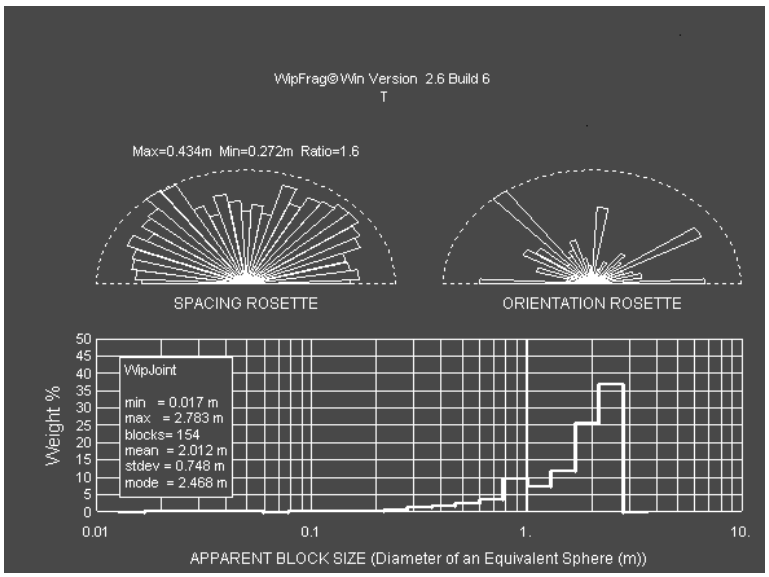
Şekil 5.17 : *10.* Örnek atıma ait basamak.

Çatlak ağı oluşturulduktan sonra program aynadaki blokları tespit etmektedir (Şekil 5.18). Yazılım her bir bloğu farklı renge boyamaktadır. Şekil 5.19'da analizin sonucu görülmektedir. Program, sonuçları yarım gül diyagramına benzer bir şekille sunmaktadır. Çatlaklar 10 derece aralıklarla her yönde 180 derecelik bir açı tamamlanacak şekilde ölçülür. Ölçülmüş olan maksimum ve minimum çatlak

aralıkları belirtilir. Şekil 5.19'da üst sol tarafta yönlere göre çatlak arası mesafe, üst sağ tarafta ise çatlak yönelimleri görülmektedir. Aşağıdaki histogram ise bu tezde model geliştirirken kullanılacak olan görünür blok boyutunu vermektedir. Burada ortalama yerinde blok boyutu yaklaşık 2 metredir.

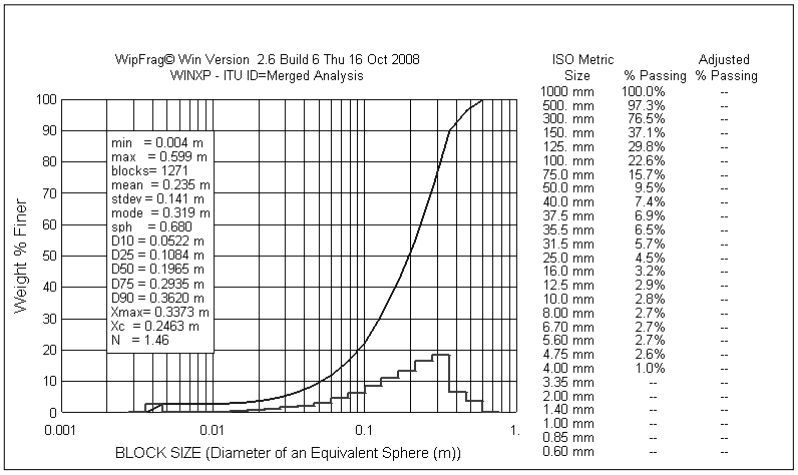


Şekil 5.18 : WipJoint yazılımı ile tespit edilen görünür bloklar.



Şekil 5.19 : *10.* Örnek atım aynasının WipJoint ile analiz sonucu.

Şekil 5.20' de 10 Nolu örnek atımın parça boyut dağılım sonucu, Şekil 5.21'de ise atım sonrası parça boyutu analizi amacıyla yığından elde edilen fotoğraflar görülmektedir. Ayna fotoğraflanırken kamera ekseni mümkün olduğunca ayna yüzeyine dik olmalıdır. Kameranın eğik tutulması sonucu oluşan açılı görüntülerden kaçınılmalıdır.



Şekil 5.20 : *10.* Örnek atımın parça boyut dağılımı.



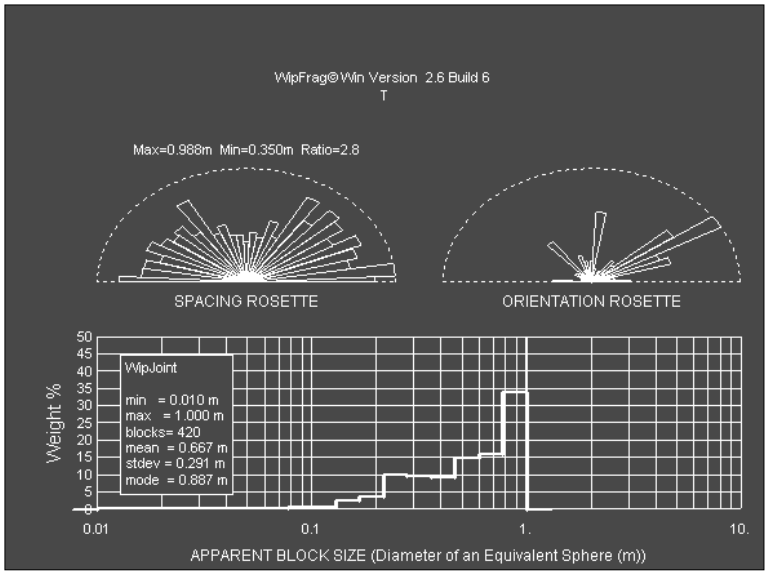
Şekil 5.21 : *10.* Örnek atımın yığınından analiz amaçlı alınan fotoğraflar.

Parça boyutu tespiti için yığından fotoğraf alma işleminde olduğu gibi burada da bir örnekleme stratejisi oluşturulmalıdır. Şekil 5.22–5.25 arasında sırayla örnek bir atıma ait analiz sonuçları görülmektedir.



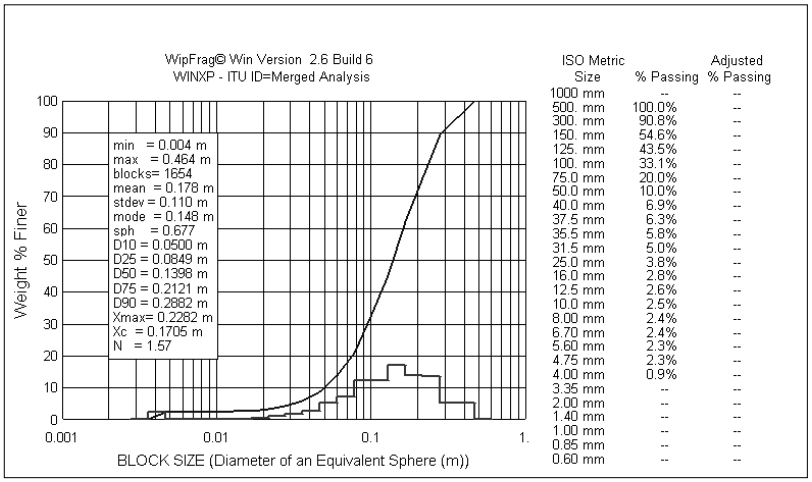
Şekil 5.22 : *9.* Örnek atıma ait basamak.

Tek bir fotoğrafla aynanın bütününün fotoğraflanmasında fayda vardır. Çok büyük bir atımda atım boyu çok artacağı için aynanın tek bir fotoğrafla tespiti zorlaşabilmektedir. Şeve yakınlık ve uzaklık çözünürlüğü etkileyecektir. Çok küçük çatlakların da ölçülebilmesi için fotoğraflar yakından çekilmelidir. Ana (hakim) çatlaklar ölçülmek isteniyorsa fotoğraf uzaktan çekilebilir.



Şekil 5.23 : *9.* Örnek atım aynasının WipJoint ile analiz sonucu.

Düşük açılı aydınlatma çatlak izlerinin kolay görülmesini sağlayabilmektedir. Bununla birlikte böyle bir aydınlatma çatlakların yönelimi belirlenirken sorunlara yol açabilmektedir. Islak veya kısmi olarak kurumuş kaya yüzeyinde çatlak izleri daha belirgin olmaktadır (WipFrag 2.6, 2007).



Şekil 5.24 : *9.* Örnek atımın parça boyut dağılımı.

Mümkün mertebe gün ışığında fotoğraflama gerçekleştirilmelidir. Gölgeler bilgisayarla gerçekleştirilen ölçümlerde sorun çıkarmaktadır. Gölge sınırları yazılım tarafından çatlak olarak algılanmaktadır. Gerektiğinde (fotoğraflanan yüzeyin çok geniş olduğu durumlarda) tek ölçek yerine iki ölçek kullanılması yararlı olabilmektedir.



Şekil 5.25 : *9.* Örnek atımın yığınından analiz amaçlı alınan fotoğraflar.

Fotoğraf çerçevesinin içine yalnızca kaya yüzeyinin alınmasına çalışılmalıdır. İmaj içine giren gökyüzü veya basamak üzerinde duran patlatılmış kaya görüntüsü, daha sonra yazılımla gerçekleştirilen analiz sırasında sorun çıkarmaktadır. Kaya yüzeyinin parçası olmayan bu kısımlar kaya yüzeyi olarak nitelendirilip analize katılmaktadır. Bunu düzeltmek kullanıcı için ekstra bir yük getirmektedir.

Şekil 5.26–5.29'da Cendere bölgesinde ölçümü gerçekleştirilen atımlara ait dört adet örnek basamak aynası görülmektedir. Takip eden bölümde bu atımalara ait tüm ölçümler sunulmuştur.



Şekil 5.26 : *21* No'lu örnek atıma ait basamak görüntüsü.



Şekil 5.27: *34* No'lu örnek atıma ait basamak görüntüsü.

Burada program verimliliğinin çatlakların tek yönde olduğu basit aynalarda daha fazla olduğunu söylemek mümkündür. Çatlak sayısı arttıkça, çatlak takımları artıkça programın başarısı azalmakta elle müdahale zorunluluğu artmaktadır. Program çatlak izlerini takip ederek yönelimi belirlemektedir.



Şekil 5.28 : *36* No'lu örnek atıma ait basamak görüntüsü.



Şekil 5.29 : *71* No'lu örnek atıma ait basamak görüntüsü.

6. CENDERE BÖLGESİ TAŞ OCAKLARINDA GERÇEKLEŞTİRİLEN İNCELEMELER

6.1 Bölgenin Genel Jeolojisi

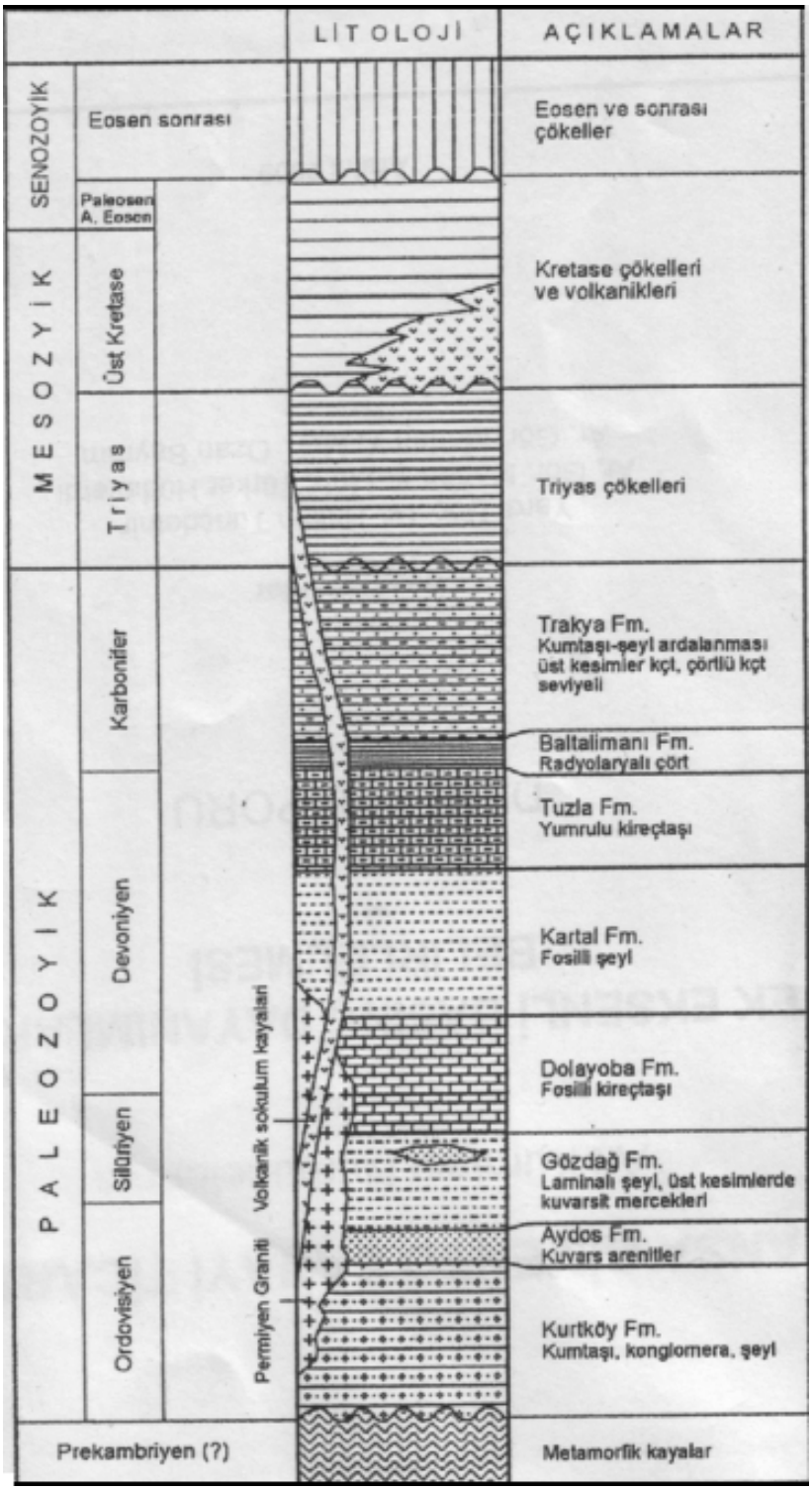
Bölgedeki hakim formasyon, Trakya Formasyonu'dur. Trakya Formasyonu İstanbul Paleozoyik istifinin üst birimini oluşturmakta ve genellikle İstanbul Boğazı'nın batı yakasında (Trakya'da) yer almaktadır. Ayrıca boğazın doğu yakasında yer yer Üsküdar–Kadıköy–Maltepe kıyı bölgesinde ve Beykoz'un kuzeyinde de gözlenmektedir (Ketin ve Güner, 1988, Uz ve diğ., 2007).

Fliş ve molas niteliğindeki formasyon önce Hersiniyen Orojenez döneminde ve daha sonra Alpin dönemde şiddetle deforme olmuş, kıvrılmış, kırılmış, farklı doğrultularda çatlak sistemleri ve kayma düzlemleriyle parçalanmıştır. Şekil 6.1'de İstanbul Paleozoyik istifinin içinde Trakya Formasyonu görülmektedir (Ketin ve Güner, 1988).

Trakya formasyonunu meydana getiren çeşitli tortul kayaç tabakalarının kalınlıkları genellikle 5 cm ile 50 cm arasında değişmektedir. Bazı kısımlarda ise, özellikle kumtaşlarında tabaka kalınlığı 50-100 cm'yi bulmaktadır. Bu tortul istif içerisine yer yer andezit ve diyabaz damarları sokulmuştur.

6.2 Kayaç Özellikleri ve Ocakların Konumu

Bölgede birbirine komşu çok sayıda ocak vardır. Bu ocaklar arasında Akdağlar, İslamoğlu, Kapıcıoğlu, Özmert (Lafarge), Akçansa ocakları sayılabilir. Bu tez kapsamında ölçümler, Akdağlar, Özmert ve Akçansa tarafından işletilen taş ocaklarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.2'de ölçüm yapılan ocakların konumu görülmektedir. Şekil 6.3'de ise Akdağlar ocağından bir görüntü verilmiştir. Taş ocaklarında kayaç cinsi kumtaşıdır. Genellikle açık renkli ve kalın tabakalı olan kumtaşının silis içeriği yüksektir. %50-70 arası SiO_2 içermektedir (Uz ve diğ, 2007).



Şekil 6.1 : İstanbul paleozoyik istifi (Ketin ve Güner, 1988).



Şekil 6.2 : Ocakların konumu.

Söz konusu taş ocaklarında tüm kademelerde farklı yoğunlukta (az-çok) olmak üzere; faylanmalar, kırıklanmalar, deformasyonlar, ezilmeler, laminalaşmalar, kıvrımlaşma ve bindirmeler izlenmektedir. Komşu olan ocaklarda kayacın fiziksel ve mekanik özellikleri aynıdır. Çeşitli araştırmacılar tarafından kayacın fiziksel ve mekanik özellikleri ile ilgili olarak gerçekleştirilen ölçümler Çizelge 6.1'de özetlenerek verilmiştir (Ketin ve Güner, 1988, Uz ve diğ., 2003, Uz ve diğ., 2007, Vardar ve diğ., 2007, Tunçdemir ve diğ., 2009).



Şekil 6.3 : Akdağlar ocağından bir görünüm.

Çizelge 6.1 : Kumtaşının fiziksel ve mekanik özellikleri.

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

6.3 Cendere Bölgesinde İncelenen Atımlar

Çizelge 6.2 ve 6.3'de Cendere Bölgesi agrega ocaklarında ölçülen atımlardan 72 tanesi sunulmuştur. Çizelgede ilk yedi sütunda ölçülen patlatma tasarım parametreleri, daha sonra gelen ilk dört sütunda ise bu parametrelerden oluşturulan oranlar verilmiştir. Bu yolla ölçülen değerleri literatürdeki verilerle karşılaştırmak da kolaylaşacaktır. Bundan sonra sırasıyla özgül şarj, bir atımda ateşlenen delik sayısı ve sıra sayısı verilmiştir. Son dört sütunda basamak aynasında ölçülen ortalama çatlaklar arası mesafe (S_j), yerinde blok boyutu (X_B), atım sonrası ölçülen yığının ortalama parça boyutu (x_{50}) ve parçalanma indeksi (FI) görülmektedir. Parçalanma indeksi ortalama yerinde blok boyutunun, atım sonrası ölçülen yığının ortalama blok boyutuna oranıdır. Bu konudaki analizler ilerideki bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

Çizelge 6.2 ve 6.3'deki atımların ilk 43 tanesi Akdağlar Ocağı'nda, 44–60 arası 17 atım Akçansa Ocağı'nda, 61–72 arası 12 atım ise Özmert Firması tarafından işletilen ocakta gerçekleştirilmiştir. Birbirine komşu ocaklarda gerçekleştirilen atımlarda patlatma tasarım parametreleri genel olarak birbirine yakın değerler almaktadır. Bütün patlatmalarda gecikmeli ateşleme uygulanmakta olup; ateşleme gecikmeli elektrikli kapsüller ve Nonel sistemleri ile gerçekleştirilmektedir.

Ocaklarda ölçülen S/B değeri ortalama 1,17 olarak tespit edilmiştir. Literatürdeki öngörülerin ortalama 1,25 civarında değiştiği düşünülürse genel olarak uygulanan değerlerin literatür ile uyumlu olduğu söylenebilir. 1,17 değeri S/B değerini aralık olarak tanımlayan araştırmacıların öngörülerine de uygundur. Detaylı karşılaştırma için Bölüm 4'de Tablo 4.2'ye bakılabilir.

H/B değeri ortalama 3,39 olarak bulunmuştur. Bu da Ash'ın (1963), Hustrilid'in, (1999) Jimeno ve diğerlerinin (1995) ve Konya ve Walter'ın (1990) öngörülerine tamamen uygundur (Bakınız Bölüm 4).

Çizelge 6.2 : Cendere Bölgesi ocaklarında ölçülen atımlar I.

	No	B (m)	S (m)	D (mm)	H (m)	L (m)	T (m)	U (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m^3)	Delik sayısı	Sıra sayısı	S_J (m)	X_B (m)	x_{50} (m)	FI
AKDAĞLAR	1	2,5	3	89	11	12	3	1	1,20	4,40	28,09	1,20	0,58	9	1	0,53	0,77	0,15	5,13
	2	2,5	3	89	12	14	3	2	1,20	4,80	28,09	1,20	0,66	9	1	0,33	0,56	0,17	3,29
	3	2,5	3	89	12	14	3	2	1,20	4,80	28,09	1,20	0,72	7	1	0,54	0,29	0,14	2,07
	4	2,5	3	89	10	11	4	1	1,20	4,00	28,09	1,60	0,49	14	1	0,33	0,81	0,16	5,06
	5	2,2	2,5	89	14	15	3	1	1,14	6,36	24,72	1,36	0,82	8	1	1,12	1,43	0,21	6,81
	6	2,2	2,5	89	15	16	3	1	1,14	6,82	24,72	1,36	0,84	8	1	0,98	1,77	0,21	8,43
	7	2	2,5	89	7	7,5	2,5	0,5	1,25	3,50	22,47	1,25	0,75	14	2	0,66	1,03	0,15	6,87
	8	2	2,5	89	6,5	7	2,5	0,5	1,25	3,25	22,47	1,25	0,71	13	2	0,69	0,83	0,19	4,37
	9	2,2	2,5	89	7	7,5	2,5	0,5	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	19	2	0,3	0,67	0,14	4,79
	10	2,2	2,5	89	7	7,5	2,5	0,5	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	22	2	1,39	2,01	0,20	10,05
	11	2,5	2,8	89	7	7,5	2,5	0,5	1,12	2,80	28,09	1,00	0,54	23	2	0,46	0,96	0,15	6,40
	12	2	2,5	89	7	7,5	2,5	0,5	1,25	3,50	22,47	1,25	0,76	21	2	2,33	1,68	0,18	9,33
	13	2	2,5	89	7	7,5	2,5	0,5	1,25	3,50	22,47	1,25	0,76	23	2	1,64	1,24	0,15	8,27
	14	2	2,5	89	7	7,5	2,5	0,5	1,25	3,50	22,47	1,25	0,76	21	2	2,33	3,11	0,22	14,14
	15	2	2,5	89	7	7,5	2,5	0,5	1,25	3,50	22,47	1,25	0,76	23	2	0,93	2,72	0,15	18,13
	16	2,2	2,5	89	7	7,5	2,5	0,5	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	16	2	0,97	2,86	0,17	16,82
	17	2,2	2,7	89	5,5	6	2,5	0,5	1,23	2,50	24,72	1,14	0,57	13	2	1,17	1,85	0,21	8,81
	18	2,5	3	89	10	11	3	1	1,20	4,00	28,09	1,20	0,56	9	1	1,00	1,41	0,20	7,05
	19	2,5	2,8	89	7	7,5	3	0,5	1,12	2,80	28,09	1,20	0,49	17	2	1,38	1,48	0,23	6,43
	20	2,5	2,5	89	7	7,5	2,5	0,5	1,00	2,80	28,09	1,00	0,60	15	2	1,08	1,58	0,19	8,32
	21	2,5	3	89	13	14	4	1	1,20	5,20	28,09	1,60	0,61	13	2	1,19	1,62	0,21	7,71
	22	2,2	2,5	89	7	7,5	2,5	0,5	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	20	2	2,41	2,72	0,23	11,83
	23	2,5	2,8	89	7	7,5	3	0,5	1,12	2,80	28,09	1,20	0,49	19	2	0,41	0,96	0,15	6,40
	24	2,2	2,5	89	7	7,5	2,5	0,5	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	23	2	0,66	0,47	0,15	3,13
	25	2,5	3	89	7	7,5	2,5	0,5	1,20	2,80	28,09	1,00	0,50	25	2	1,10	1,49	0,17	8,76

Çizelge 6.2 (devam) : Cendere Bölgesi ocaklarında ölçülen atımlar I.

	No	B (m)	S (m)	D (mm)	H (m)	L (m)	T (m)	U (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m^3)	Delik sayısı	Sıra sayısı	S_j (m)	X_B (m)	x_{50} (m)	FI
AKDAĞLAR	26	2,5	2,8	89	6	6,5	2,5	0,5	1,12	2,40	28,09	1,00	0,50	26	2	2,75	2,7	0,20	13,50
	27	2	2,5	89	6	6,5	2	0,5	1,25	3,00	22,47	1,00	0,79	15	2	0,26	0,76	0,14	5,43
	28	2	2,5	89	5	6	2,5	1	1,25	2,50	22,47	1,25	0,74	14	2	0,72	0,78	0,15	5,20
	29	2	2,5	89	7	7,5	2,5	0,5	1,25	3,50	22,47	1,25	0,76	18	2	0,61	0,9	0,13	6,92
	30	2,2	2,5	89	7	7,5	2,5	0,5	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	18	2	1,26	0,98	0,14	7,00
	31	2,5	2,8	89	6	6,5	2,5	0,5	1,12	2,40	28,09	1,00	0,50	15	2	0,33	1,24	0,17	7,29
	32	2,2	2,7	89	7	7,5	2,5	0,5	1,23	3,18	24,72	1,14	0,64	15	2	0,61	0,97	0,15	6,47
	33	2,2	2,7	89	5,5	6	2,5	0,5	1,23	2,50	24,72	1,14	0,57	14	2	2,62	2,94	0,23	12,78
	34	2,5	2,8	89	7	7,5	2,5	0,5	1,12	2,80	28,09	1,00	0,54	20	2	1,39	0,91	0,13	7,00
	35	2,2	2,5	89	7	7,5	2,5	0,5	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	22	2	0,82	1,16	0,13	8,92
	36	2,5	3	89	10	11	3	1	1,20	4,00	28,09	1,20	0,56	8	1	0,43	0,62	0,12	5,17
	37	2,5	3	89	8	8,5	3	0,5	1,20	3,20	28,09	1,20	0,48	16	2	1,25	1,76	0,20	8,80
	38	2	2,5	89	6,5	7	2,5	0,5	1,25	3,25	22,47	1,25	0,71	17	2	1,76	1,82	0,18	10,11
	39	2,5	2,8	89	7	7,5	2,5	0,5	1,12	2,80	28,09	1,00	0,54	23	2	0,79	0,6	0,13	4,62
	40	2,2	2,7	89	5,5	6	2,5	0,5	1,23	2,50	24,72	1,14	0,57	15	2	2,13	1,98	0,21	9,43
	41	2	2,5	89	6,5	7	2,5	0,5	1,25	3,25	22,47	1,25	0,71	17	2	2,52	2,13	0,17	12,53
	42	2	2,5	89	7	7,5	2,5	0,5	1,25	3,50	22,47	1,25	0,76	19	2	1,23	1,42	0,14	10,14
	43	2,5	3	89	11	12	3	1	1,20	4,40	28,09	1,20	0,58	10	1	1,68	1,46	0,21	6,95
AKÇANSA	*44*	2,5	2,5	89	6	6,5	2,5	0,5	1,00	2,40	28,09	1,00	0,56	23	2	0,29	0,83	0,14	5,93
	45	2	2,2	95	7,5	8	2	0,5	1,10	3,75	21,74	1,00	1,02	28	2	1,25	1,64	0,15	10,93
	46	2	2,2	89	7	7,5	2,5	0,5	1,10	3,50	22,47	1,25	0,86	19	2	2,6	2,35	0,15	15,67
	47	1,6	2	89	6	7	2,5	1	1,25	3,75	17,98	1,56	1,24	23	2	1,34	1,53	0,19	8,05
	48	1,75	1,75	95	7	7,5	3	0,5	1,00	4,00	18,42	1,71	1,26	29	2	0,99	0,73	0,15	4,87
	49	1,75	1,75	95	7	7,5	3	0,5	1,00	4,00	18,42	1,71	1,26	28	2	1	1,47	0,17	8,65
	50	*1,75*	2	95	7	7,5	3	0,5	1,14	4,00	18,42	1,71	1,10	26	2	1,23	1,19	0,19	6,26

B/D değeri genel olarak 20-40 arasında değişmektedir. Arazide yapılan ölçümlerde B/D oranı ortalama 24,99 olarak elde edilmiştir. B/D değeri içinde ortalamayı düşüren atımlar Akçansa Ocağı'nda gerçekleştirilen atımlardır. Bu ocakta izlenen örnek atımlarda B/D değeri 20'nin altındadır.

T/B değeri 1,2 ortalama ile literatürde öne sürülen değerin bir miktar üzerindedir. Bununla birlikte T/B değeri; Hagan (1983), Bhandari (1997), Morhard ve diğerlerinin (1987) öngörülerine uymaktadır. Detaylı karşılaştırma için Bölüm 4'de Tablo 4.6'ya bakılabilir.

Atımlarda ortalama özgül şarj değeri 0,70 kg/m^3 olarak gerçekleşmiştir. Özgül şarj değerinde Strelec ve diğerlerinin (2000) Bölüm 4, Şekil 4.7'de gösterilen grafiğine yakın sonuçlar görülmektedir. Delik çapının 89 mm, kayacın da orta sert (7-8 kaya faktörü) olduğu düşünülürse, Strelec'in grafiğinden özgül şarjın 0,65-0,75 kg/m^3 olması gerektiği görülmektedir. Bölüm 4'deki diğer çizelgelere bakılırsa özgül şarjın öngörülerden bir miktar yüksek olduğu düşünülebilir. Ancak burada özgül şarj konusunda literatürdeki önerilerin sınırlı olması dikkate alınmalıdır. Kayaç yapısının değişimi, kullanılacak patlayıcı miktarına karar verilmesinde büyük ölçüde etkindir. Bu nedenle araştırmacıların özgül şarj konusunda kesin hükümler belirtmeleri güçleşmektedir.

Çizelge 6.2 ve 6.3'deki atımlardan ölçümü diğerlerinden önce gerçekleştirilen 29 atım ortalama parça boyutu kestirim modeline dahil edilmiştir. Geri kalan atımlar modelde test atımı olarak kullanılmıştır. Model oluşturmak için kullanılan atımlar üç farklı ocakta ölçülen atımlardan oluşmuştur. Çizelge 6.4'de ise her atım için ölçülen değerlerin tanımlayıcı istatistikleri yer almaktadır. Ölçümü gerçekleştirilen 72 atıma ait parametrelerin ortalamalarını ve değişim aralığını görmek mümkündür.

Çizelge 6.3 : Cendere Bölgesi ocaklarında ölçülen atımlar II.

	No	B (m)	S (m)	D (mm)	H (m)	L (m)	T (m)	U (m)	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m^3)	Delik sayısı	Sıra sayısı	S_J (m)	X_B (m)	x_{50} (m)	FI
AKÇANSA	*51*	1,8	2	95	8	9	3	1	1,11	4,44	18,95	1,67	1,25	32	3	1,25	1,71	0,22	7,77
	52	1,8	2,3	95	6,5	7	3	0,5	1,28	3,61	18,95	1,67	0,89	30	3	0,76	0,56	0,20	2,80
	53	1,8	2	95	8	9	3	1	1,11	4,44	18,95	1,67	1,25	28	3	1,33	1,63	0,21	7,76
	54	1,8	2,3	95	6,5	7	3	0,5	1,28	3,61	18,95	1,67	0,89	24	3	0,87	0,62	0,20	3,10
	55	2	2,5	89	6	6,5	2,5	0,5	1,25	3,00	22,47	1,25	0,70	17	2	0,71	0,66	0,12	5,50
	56	2	2,2	95	7	7,5	2,5	0,5	1,10	3,50	21,05	1,25	0,98	31	2	1,32	1,38	0,20	6,90
	57	2	2,2	95	7	7,5	2,5	0,5	1,10	3,50	21,05	1,25	0,91	28	3	1,24	1,87	0,16	11,69
	58	2,5	2,5	89	6	6,5	2,5	0,5	1,00	2,40	28,09	1,00	0,56	23	2	0,8	1,37	0,14	9,79
	59	2,2	2,5	89	7	7,5	2,5	0,5	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	27	2	2,07	1,96	0,18	10,89
	60	2	2,5	89	6	6,5	2,5	0,5	1,25	3,00	22,47	1,25	0,70	25	2	1,37	0,98	0,13	7,54
ÖZMERT	*61*	3	3	89	8,5	10	3	1,5	1,00	2,83	33,71	1,00	0,48	47	4	0,38	0,45	0,27	1,67
	62	2,5	3	89	6	7	2,5	1	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	13	2	0,23	0,86	0,14	6,14
	63	2,5	3	89	6	7	2,5	1	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	20	2	0,12	0,44	0,14	3,14
	64	2	2,5	89	9	9,5	3	0,5	1,25	4,50	22,47	1,50	0,76	15	1	0,32	0,66	0,20	3,30
	65	2,7	3	89	9	9,5	3	0,5	1,11	3,33	30,34	1,11	0,47	10	1	0,15	0,47	0,17	2,76
	66	2,5	3	89	8	8,5	3	0,5	1,20	3,20	28,09	1,20	0,48	9	1	1,09	1,11	0,30	3,70
	67	2,5	3	89	6	7	2,5	1	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	32	3	0,57	0,88	0,12	7,33
	68	2,5	3	89	6	7	2,5	1	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	20	2	0,93	0,82	0,23	3,57
	69	2,7	3	89	9	9,5	3	0,5	1,11	3,33	30,34	1,11	0,47	10	1	0,41	0,54	0,17	3,18
	70	2,5	3	89	8	8,5	3	0,5	1,20	3,20	28,09	1,20	0,48	9	1	1,95	1,9	0,24	7,92
	71	2,5	3	89	6	7	2,5	1	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	20	2	1,35	1,65	0,20	8,25
	72	2,5	3	89	6	7	2,5	1	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	14	2	2,15	2,62	0,23	11,39

Çizelge 6.4 : Ocaklarda atım büyüklüklerinin değişimi.

	Değişim aralığı	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart sapma
S/B	0,28	1,00	1,28	1,17	0,074
H/B	4,42	2,40	6,82	3,39	0,862
B/D	15,73	17,98	33,71	24,99	3,503
T/B	0,71	1,00	1,71	1,22	0,207
Pf (kg/m^3)	0,79	0,47	1,26	0,70	0,207
S_J (m)	2,63	0,12	2,75	1,10	0,668
X_B (m)	2,82	0,29	3,11	1,34	0,688
x_{50} (m)	0,18	0,12	0,30	0,18	0,038
FI	16,46	1,67	18,13	7,54	3,448

7. ÇOK DEĞİŞKENLİ ANALİZE DAYALI PARÇA BOYUTU KESTİRİM MODELİ

7.1 Çok Değişkenli Analize Dayalı Modelleme

7.1.1 Çok değişkenli analizin esasları ve amacı

Tez çalışması kapsamında parça boyutu kestirimi için bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model esas olarak çok değişkenli analiz yöntemlerine dayandırılmıştır. Mühendislik problemlerinin ve buna bağlı olarak veri setlerinin karmaşıklaşması çok değişkenli analizi çoğu zaman zorunlu kılmaktadır. Özellikle patlatma tasarım probleminin ve veri setlerinin yapısı bakımından, çok değişkenli analiz yöntemlerinin kullanımı oldukça işlevsel bir karakter göstermektedir.

Karmaşık mühendislik problemlerinin tek değişkenli yöntemlerle çözümü güçtür. Çok değişkenli yöntemlerde de işlemler gittikçe karmaşıklaşmaktadır. Bu tür analizde çok sayıda bağımsız ve bağımlı değişkenler olabilmektedir. Çok değişkenli analizden sonuç çıkarmak için gerekli matematiksel işlem miktarı tek değişkenli analize göre daha fazladır. Bu karmaşıklık ve işlem yükü bilgisayar yazılımları yoluyla aşılmaktadır.

Tek bağımsız değişkenin olduğu bir regresyon analizinde sonucu yorumlamak oldukça kolaydır. Bağımsız değişkenin katsayı işareti ile bağımlı ve bağımsız değişken arasındaki ilişkinin pozitif veya negatif mi olduğu; bağımlı değişkenin bağımsız değişken değerindeki değişimlere karşı ne kadar hassas olduğu kolaylıkla görülebilir. Çok değişkenli analizde ise değişkenlerden birinin modele dahil edilmesi ve çıkarılması bağımsız değişkenlerin katsayılarını büyük ölçüde değiştirebilmektedir. Ek olarak yeni bir bağımsız değişkenin modele katılması veya modelden çıkarılması regresyon denkleminde ve korelasyon katsayısında büyük değişimlere neden olabilmektedir. Bununla beraber analizlerin geri planındaki örnekleme dağılımları gibi konularda birbirine benzerlik göstermektedirler (Tabachnick ve Fidell, 2007).

Çok değişkenli analiz yöntemlerini sınıflandırmak, yöntemlerin kimi zaman iç içe geçmesi nedeniyle pek kolay değildir. Kullanım amaçlarına göre şu şekilde sınıflandırılabilirler:

1. Veri azaltma veya basitleştirme: Bir durumu daha kolay yorumlamak için çok sayıda veri azaltılabilir. Bir problem en az veriyle ifade edilmeye çalışılabilir. Temel bileşenler analizi, faktör analizi yöntemleri bu gruba örnek olarak verilebilir.

2. Sınıflandırma ve gruplandırma: Benzer nesneler veya değişkenlerden bu nesne veya değişkenlerin ölçülmüş karakteristiklerine göre gruplar oluşturulur. Kümeleme analizi, ayırma analizi bu gruba örnek verilebilir.

3. Değişkenlerin birbirinden bağımsızlığının testi: Değişkenlerin doğası analiz edilmektedir. Değişkenler arası ilişkiler incelenir. Bütün değişkenler birbirinden bağımsız olabilir veya bazı değişkenler diğer değişkenlere bağlı olabilir.

4. Kestirim: Belirli sayıda değişken üzerine gerçekleştirilen gözlemlere dayanarak başka bir değişkenin tahmin edilmesi konusunda çalışılır. Çok değişkenli regresyon analizi bu gruba örnek verilebilir.

5. Hipotez oluşturma ve test etme: Çok değişkenli popülasyonlara ait istatistiksel hipotezler test edilir. Bu çok değişkenli popülasyonların ortalaması test edilebilir. Varyansın çok değişkenli analizi (MANOVA) bu gruba örnek verilebilir (Johnson ve Wichern, 1988, Mardia ve diğ., 1997).

Patlatma kaynaklı parçalanma incelenirken çok sayıda değişkenle karşı karşıya kalınmaktadır. Kayaç parametreleri, patlatma tasarım parametreleri, patlayıcı ile ilgili parametreler bir arada değerlendirilmeden patlatma işlemini anlamak mümkün değildir. Bu durum karmaşık bir mühendislik problemiyle karşılaşılması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla çok değişkenli analizin kullanılması zorunluluktur.

Değişkenler genel olarak üç gruba ayrılmaktadır. Kimi durumlarda bu grupları daha fazla artırmakta mümkündür:

1. Kategorik (nominal) veri: Bu değişkenler miktar olarak ölçülemez veya sıralanamaz. Renk, koku, cinsiyet bu değişkenlere örnek verilebilir.

2. Sıralı (ordinal) veri: Sıralı değişkenler ölçülmeye çalışılan değerlerin hangisinin diğerinden büyük / küçük, kaliteli / kalitesiz, düşük / yüksek olduğunu belirtirler. Fakat yine değerlerin birbirlerinden ne kadar fazla olduklarını tanımlamazlar.

Örneğin ses şiddeti ifade edilirken; düşük, orta ve şiddetli olarak sıralanabilir. Ağaçların boyutları belirtilirken; ufak, orta, ortanın üstü, büyük, çok büyük şeklinde ifade edilebilir.

3. Sürekli ve aralıklı (interval) veri: Sürekli değişkenler yalnızca ölçülen değerlerin sıralanmasına yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda değerler arasındaki farklılıkların karşılaştırılmasına ve belirlenmesine imkan sağlar. Örnek olarak, özgül şarj miktarının 0,8 kg/m^3, 1,2 kg/m^3, 1,4 kg/m^3 vb. şeklinde ifadesi düşünülebilir. Burada verilerin birbirlerinden farkları da net olarak ortaya konmaktadır (Tabachnick ve Fidell, 2007, Arıcı, 1991). Bu tez çalışmasında patlatmayla ilgili verilerin tümü aralıklı (interval) veridir.

7.1.2 Patlatma ve yerbilimleri ile ilgili çok değişkenli analize dayalı çalışmalar

Daha önce bir kısım araştırmacı çok değişkenli analizi yer bilimlerine uygulamış ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Pal Roy (1995) kümeleme analizini çatlak setlerinin yönelimini tespit etmek için kullanmıştır. Araştırmacı çatlak yönelimlerini kullanarak atım sonrası parçalanmayı ve arka kesmenin durumunu tahmin etmeye çalışmıştır.

Castro ve diğerleri (1998) kayaç kütlesinin dayanım özelliklerini ve süreksizlikleri tespit etmek için, çok değişkenli analiz yöntemini kullanarak taş ocakları için bir patlatma indeksi oluşturmuşlardır. Bu amaçla kullandıkları yöntem lineer ayırma analizidir. Buradaki patlatma indeksi kayacın süreksizlik yapısını ve dayanım özelliklerini tanımlayan tek bir değer sağlamaktadır. Böylece patlatılabilirlik özelliğine göre kayacı değerlendirmek kolaylaşmaktadır.

Hamdi ve Du Mouza (2005) kümeleme analizi yoluyla kaya kütlesini sınıflandırmışlardır. Bu çalışmada patlatma sonuçlarını iyileştirmeyi ve atım sonrası yığındaki ince malzeme miktarını azaltmayı amaçlamışlardır. Çalışmalarını üç farklı taş ocağında gerçekleştirmişlerdir. Öncelikle kayaçtaki süreksizlik ağını ve kayaç matrisinin yapısını tespit etmişlerdir. Daha sonra kümeleme analizi kullanarak taş ocaklarındaki benzer zonları tespit etmeye çalışmışlardır. Araştırmacılar kaya kütlesi ile patlayıcının uyumlu olması durumunda yığındaki ince malzemeyi kontrol edebileceklerini iddia etmektedirler. Kümeleme analizi sonucunda belirlenen her farklı kayaç grubu için uygun patlayıcıyı önermişlerdir.

Zhou ve Maerz (2001) kayaçta bulunan süreksizlikleri alt gruplara ayırmak için kümeleme analizini kullanmışlardır. Çatlak yönelimi, dalma açısı, lokasyon, çatlak açıklığı, pürüzlülük süreksizlikleri karakterize etmek için kullanılan parametrelerdir. Araştırmacılar kendi geliştirdikleri özel bir yazılımı kullanarak dört farklı kümeleme metodu uygulamışlardır.

Kulatilake ve arkadaşları (2007) hiyerarşik kümeleme analizini kullanarak Japonya'nın Sengan Bölgesi civarında bulunan volkanik aktiviteyi sınıflandırmaya çalışmışlardır. Sengan bölgesindeki tüm kara parçası 23949 adet 1 km^2'lik hücrelere bölünmüştür. Her bir hücreyi karakterize etmek için 6 ayrı jeolojik parametre kullanılmıştır. Araştırmacılar kümeleme analizi kullanarak bölgeyi en düşük volkanizmadan en yüksek volkanizmaya doğru sıralanan 5 ayrı gruba ayırmıştır. Daha sonra ayırma analizi kullanarak farklı bölgelerin hangi gruba ait olduğunu tespit eden haritalar geliştirmişlerdir.

Bir diğer araştırma Aler ve diğerlerinin (1996b) gerçekleştirdiği çalışmadır. Araştırmacılar parçalanma indeksi kavramını ve ayırma analizi metodunu kullanarak atım sonuçlarını yetersiz, orta ve iri parçalanma şeklinde gruplandırmışlardır. Daha sonra ayırma analizi kullanarak atımların parçalanma seviyesini tespit eden bir model oluşturmaya çalışmışlardır. Aler ve arkadaşlarının çalışmalarına ileride parçalanma indeksi ile ilgili bölümde daha detaylı olarak değinilecektir

7.2 Parça Boyutu Kestirim Modelinin Yapısı

Bu tez çalışmasında ortalama parça boyutunun kestirimi için bir model oluşturulurken, çok değişkenli analiz yöntemleri ardışık olarak uygulanmıştır. İleriki bölümde her bir yöntem ve nasıl uygulandığı örnek atımlar üzerinden detaylı olarak açıklanacaktır. Kullanılan yöntemlerin teorik kısımları açıklanırken mümkün olduğunca tez konusu olan patlatma faaliyeti üzerinden anlatılarak; yöntemlerin teorik ve matematiksel kısımları ile pratik uygulamaları arasında rahatlıkla bağ kurulması hedeflenmiştir. Burada her bir yöntemin ne amaçla kullanıldığı daha ileride net olarak açıklanmakla birlikte; Çizelge 7.1'de kısaca verilmiştir:

Çizelge 7.1 : Analiz yöntemleri ve amacı.

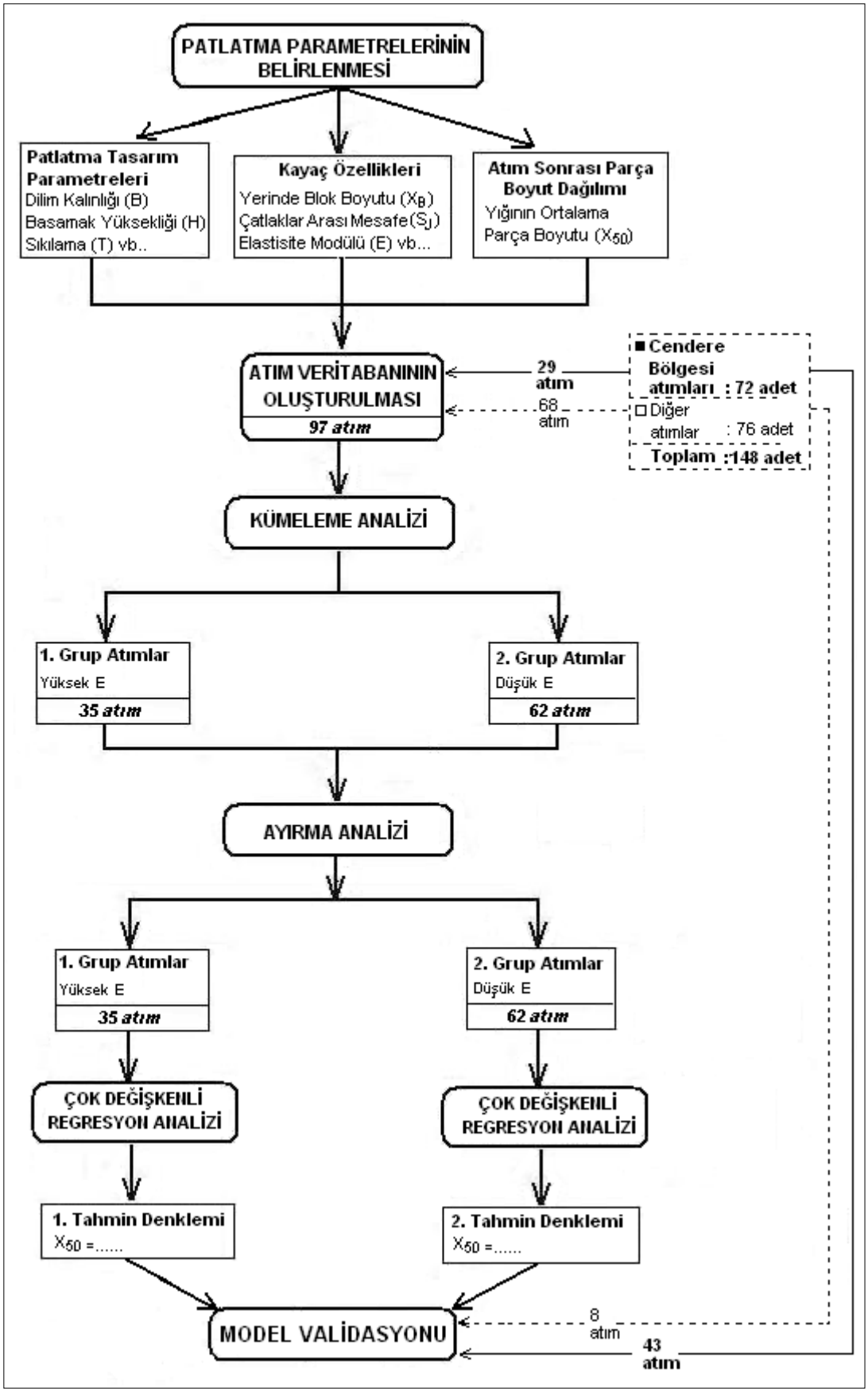
Yöntem	Amaç
Kümeleme analizi	• Atım özelliklerini anlamak • Atımların yapısını belirlemek • Atımları homojen, değerlendirilebilir gruplara ayırmak • Atımları sınıflandırmak
Ayırma analizi	• Gruplandırılmış atımların birbirinden farklılıklarını belirlemek • Farklılaşmada öne çıkan parametreleri saptamak • Yeni atımları uygun şekilde sınıflandırmak için kriter geliştirmek
Regresyon analizi	• Parça boyut dağılımı tahmin denklemi geliştirmek

Şekil 7.1'de parça boyutu kestirim modeli oluşturmak amacıyla uygulanan çok değişkenli analiz yönteminin akım şeması görülmektedir. Uygulanan analiz yöntemlerini ve atım gruplarını safhalar halinde görmek mümkündür.

7.3 Atım Veritabanının Oluşturulması

Parçalanmayı tespit eden bir model oluşturmak için çok sayıda atım verisi bir arada kullanılmıştır. Bu atımların bir kısmı Cendere Bölgesi taş ocaklarında ölçülen atımlardır. Bir kısmı ise daha önce parçalanma üzerine çalışan araştırmacıların çalışmalarından elde edilen verilerdir. Böylece çok fazla atım bir araya getirilerek, bir atım veritabanı oluşturulmuştur. Bu atım veritabanı 97 atım içermektedir. 9 farklı ocaktan gelen bu atımlar birleştirilmiş, 9 ayrı kayacın göz önüne alındığı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Kuşkusuz bu çeşitlilik modelin güvenilirliğini artıran en önemli unsurdur. Parçalanma ile ilgili verilere ulaşmak için, bu konuda günümüze kadar yapılmış olan araştırmalar uzun süreli bir çalışma ile taranmıştır. Parçalanma modeli oluşturmak için kullanılan atımlar Çizelge 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7.2'de gösterilen veritabanını oluşturan atımlara ait patlatma parametreleri, oranlar halinde verilmiştir. Oluşturulacak parçalanma modelinde de patlatma tasarım parametreleri oranlar halinde modele dahil edilecektir. Atımların bu şekilde oranlar halinde kullanılması, aynı zamanda istatistiksel analizin veri standardizasyonu kavramına hizmet etmektedir.



Şekil 7.1 : Çok değişkenli analiz akım şeması.

Patlatma tasarım parametrelerinin tümünün içerisinde yer aldığı tahmin kapasitesi yüksek bir model yaratılması düşünüldüğünden; patlama tasarımındaki tüm temel parametreler (B, S, D, T, H) göz önüne alınmıştır. Ek olarak özgül şarj miktarı da modele dahil edilmiştir.

Parçalanma modeli oluştururken kullanılacak kayaç parametrelerini belirlemek için veri alınan bütün araştırmacıların çalışmaları detaylıca taranmış; tüm kaya kütle özellikleri, kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri kaydedilmiştir. Yüze yakın atımı bir araya getirip parçalanma modeli oluştururken; modele dahil edilecek kayaç parametrelerinin belirlenmesinde doğal olarak güçlük vardır. Tüm atımların içerdiği ortak kayaç parametrelerinin bulunması gerekmektedir. Bir yandan da bu parametrelerin patlatma literatüründe kabul görmüş olan, patlatma prosesinde önemli rol oynayan kayaç parametreleri olması gerekmektedir.

Diğer yandan kayacın süreksizlik özellikleri ile fiziksel, mekanik özelliklerinin bir arada kullanılması da önem arz etmektedir. Bu bakımdan çatlak yapısını veren bir parametrenin oluşturulacak modelde yer alması istenmektedir. Kaya kütlesinin yapısı, çatlaklılığı yerinde blok boyutu parametresi ile karakterize edilecektir. Yerinde blok boyutu, araştırmacıların sıkça kullandığı bir parametredir. Çünkü patlatma prosesi aslında bir boyut küçültme prosesidir. Kayaca patlayıcı enerjisi verilerek, yerinde blok boyutundan patlatma sonrası yığındaki parçalanmış blok boyutuna geçilmektedir (Latham ve Lu, 1999).

Geliştirilecek parçalanma modelinde kayacın mekanik özellikleri elastisite modülü ile temsil edilecektir. Elastisite modülü bütün atımların ortak parametresidir. Bu parametre aynı zamanda parçalanma modellerinde sıkça kullanılan, çok öne çıkan bir parametredir. Brady ve Brown kayacın enerji transfer kapasitesinin elastisite modülü ile ilişkili olduğunu belirtmektedir (Brady ve Brown, 1993).

Bilindiği gibi Kuz-Ram modelinde de elastisite modülü göz önüne alınmaktadır. Nitekim kayaç faktörü hesaplanırken kullanılan sertlik katsayısı, elastisite modülüne göre hesaplanmaktadır. Elastisite modülünün 50 GPa'ın altında olması durumunda sertlik katsayısı elastisite modülü değerinin üçte biridir. Elastisite modülünün 50 GPa'ın üstünde olması durumunda, sertlik katsayısı kayacın basınç dayanımı 5'e bölünerek bulunmaktadır (Cunningham, 1987).

Çizelge 7.2 : Veritabanını oluşturan 97 atım.

Atım Kodu	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m^3)	X_B (m)	E (GPa)	x_{50} (m)
Mr1	1,20	6,00	32,89	0,80	0,49	1,67	32,00	0,17
Mr2	1,20	6,00	32,89	0,80	0,51	1,67	32,00	0,17
Mr3	1,20	6,00	32,89	0,80	0,49	1,67	32,00	0,13
Mr4	1,20	6,00	32,89	0,80	0,52	1,67	32,00	0,17
Mr5	1,20	6,00	32,89	0,80	0,42	1,67	32,00	0,13
Mr6	1,40	6,00	32,89	0,80	0,36	1,67	32,00	0,15
Mr7	1,20	6,00	32,89	0,60	0,56	1,03	32,00	0,18
Mr8	1,40	6,00	32,89	0,60	0,30	1,03	32,00	0,19
Mr9	1,40	6,00	32,89	0,60	0,35	1,03	32,00	0,16
Mr10	1,16	5,00	39,47	0,50	0,39	1,03	32,00	0,17
Mr11	1,16	5,00	39,47	0,50	0,32	1,03	32,00	0,21
Db1	1,25	3,50	20,00	1,75	0,73	1,00	9,57	0,44
Db2	1,25	5,10	20,00	1,75	0,70	1,00	9,57	0,76
Db3	1,38	3,00	20,00	1,75	0,62	1,00	9,57	0,35
Db4	1,50	5,50	20,00	1,75	0,56	1,00	9,57	0,55
Db5	1,75	4,75	20,00	1,75	0,39	1,00	9,57	0,35
Db6	1,25	4,75	20,00	1,75	0,33	1,00	9,57	0,23
Db7	1,25	5,00	20,00	1,75	0,44	1,00	9,57	0,40
Db8	1,20	2,40	25,00	1,40	0,28	0,50	9,57	0,35
Db9	1,40	3,20	25,00	1,40	0,31	0,50	9,57	0,29
En1	1,24	1,33	27,27	0,78	0,48	0,58	60,00	0,37
En2	1,24	1,33	27,27	0,78	0,48	0,58	60,00	0,37
En3	1,24	1,33	27,27	0,78	0,48	1,08	60,00	0,33
En4	1,24	1,33	27,27	0,78	0,48	1,11	60,00	0,42
En5	1,24	1,33	27,27	0,78	0,48	1,08	60,00	0,46
En6	1,24	1,33	27,27	1,17	0,27	1,08	60,00	0,37
En7	1,24	1,33	27,27	1,06	0,33	1,08	60,00	0,64
En8	1,24	1,33	27,27	0,91	0,41	1,11	60,00	0,42
En9	1,24	1,33	27,27	0,91	0,41	1,11	60,00	0,26
En10	1,24	1,33	27,27	0,99	0,36	1,08	60,00	0,42
En11	1,24	1,33	27,27	1,06	0,33	1,11	60,00	0,31
En12	1,24	1,33	27,27	1,06	0,33	1,11	60,00	0,38
Rc1	1,17	1,50	26,20	1,08	0,33	0,68	45,00	0,46
Rc2	1,17	1,50	26,20	1,12	0,30	0,68	45,00	0,48
Rc3	1,17	1,58	26,20	1,22	0,28	0,68	45,00	0,48
Rc4	1,17	1,96	26,20	1,30	0,34	1,56	45,00	0,75
Rc5	1,17	1,75	26,20	1,31	0,29	1,56	45,00	0,96
Rc6	1,17	1,75	26,20	1,16	0,36	1,56	45,00	0,76
Rc7	1,17	1,67	26,20	1,22	0,31	1,80	45,00	0,53
Rc8	1,17	1,83	26,20	1,34	0,30	1,80	45,00	0,56
Rc9	1,17	1,83	26,20	1,29	0,32	1,80	45,00	0,74
Rc10	1,17	1,83	26,20	1,23	0,35	1,80	45,00	0,44
Ru1	1,13	5,00	39,47	1,93	0,31	2,00	45,00	0,64
Ru2	1,20	6,00	32,89	3,67	0,30	2,00	45,00	0,54
Ru3	1,20	6,00	32,89	3,70	0,30	2,00	45,00	0,51
Ru4	1,20	6,00	32,89	4,67	0,22	2,00	45,00	0,64
Ru5	1,20	6,00	32,89	3,11	0,35	2,00	45,00	0,54
Ru6	1,20	6,00	32,89	3,22	0,34	2,00	45,00	0,69
Mi1	1,00	2,50	22,22	1,69	0,71	0,17	10,00	0,10
Mi2	1,00	1,67	33,33	0,72	0,46	0,10	10,00	0,09
Mi3	1,00	1,67	33,33	1,25	0,27	0,10	10,00	0,09

Çizelge 7.2 (devam) : Veritabanını oluşturan 97 atım.

Atım Kodu	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m^3)	X_B (m)	E (GPa)	x_{50} (m)
Mi4	1,00	1,67	33,33	0,70	0,47	0,10	10,00	0,08
Mi5	1,00	1,67	33,33	1,28	0,26	0,10	10,00	0,10
Mi6	1,00	2,50	22,22	1,69	0,71	0,02	10,00	0,02
Sm1	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	0,50	13,25	0,15
Sm2	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	0,50	13,25	0,19
Sm3	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	0,50	13,25	0,23
Sm4	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	1,50	13,25	0,22
Sm5	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	1,50	13,25	0,24
Sm6	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	1,50	13,25	0,26
Sm7	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	1,50	13,25	0,28
Mg1	1,00	2,67	27,27	0,89	0,75	0,83	50,00	0,23
Mg2	1,00	2,67	27,27	0,89	0,75	0,78	50,00	0,25
Mg3	1,00	2,40	30,30	0,80	0,61	1,02	50,00	0,27
Mg4	1,00	2,40	30,30	0,80	0,61	0,75	50,00	0,30
Mg5	1,10	2,40	30,30	0,80	0,55	1,18	50,00	0,38
Mg6	1,10	2,40	30,30	0,80	0,55	1,24	50,00	0,37
Mg7	1,10	2,40	30,30	0,80	0,55	1,33	50,00	0,38
Ad1	1,20	4,40	28,09	1,20	0,58	0,77	16,90	0,15
Ad2	1,20	4,80	28,09	1,20	0,66	0,56	16,90	0,17
Ad3	1,20	4,80	28,09	1,20	0,72	0,29	16,90	0,14
Ad4	1,20	4,00	28,09	1,60	0,49	0,81	16,90	0,16
Ad5	1,14	6,82	24,72	1,36	0,84	1,43	16,90	0,21
Ad6	1,14	6,36	24,72	1,36	0,82	1,77	16,90	0,21
Ad7	1,25	3,50	22,47	1,25	0,75	1,03	16,90	0,15
Ad8	1,25	3,25	22,47	1,25	0,71	0,83	16,90	0,19
Ad9	1,25	3,50	22,47	1,25	0,76	1,68	16,90	0,18
Ad10	1,25	3,50	22,47	1,25	0,76	1,24	16,90	0,15
Ad11	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	0,67	16,90	0,14
Ad12	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	2,01	16,90	0,20
Ad13	1,12	2,80	28,09	1,00	0,54	0,96	16,90	0,15
Ad14	1,00	2,40	28,09	1,00	0,56	0,83	16,90	0,14
Ad15	1,10	3,75	21,74	1,00	1,02	1,64	16,90	0,15
Ad16	1,10	3,50	22,47	1,25	0,86	2,35	16,90	0,15
Ad17	1,25	3,75	17,98	1,56	1,24	1,53	16,90	0,19
Ad18	1,00	4,00	18,42	1,71	1,26	0,73	16,90	0,15
Ad19	1,00	4,00	18,42	1,71	1,26	1,47	16,90	0,17
Ad20	1,14	4,00	18,42	1,71	1,10	1,19	16,90	0,19
Ad21	1,11	4,44	18,95	1,67	1,25	1,71	16,90	0,22
Ad22	1,28	3,61	18,95	1,67	0,89	0,56	16,90	0,20
Oz1	1,00	2,83	33,71	1,00	0,48	0,45	15,00	0,27
Oz2	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	0,86	15,00	0,14
Oz3	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	0,44	15,00	0,14
Oz4	1,25	4,50	22,47	1,50	0,76	0,66	15,00	0,20
Oz5	1,11	3,33	30,34	1,11	0,47	0,47	15,00	0,17
Oz6	1,20	3,20	28,09	1,20	0,48	1,11	15,00	0,30
Oz7	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	0,88	15,00	0,12

Mr: Mrica, Db: Dongri-Buzurg, En: Enusa, Rc: Reocin, Ru: Reocin yeraltı
Mi: Miami, Sm: Soma, Mg: Murgul, Ad: Akdağlar ve Akçansa, Oz: Özmert

Gupta (1996) belirli sayıda arazi verilerine dayanarak farklı dayanıma sahip kayaçlar için özgül şarjı veren bir eşitlik ortaya koymuştur. Bu eşitlikte kayaç özelliği Protodyakanov dayanım indeksi ile ifade edilmektedir. Protodayakanov dayanım indeksi kayacın basınç dayanımı ve elastisite modülü kullanılarak tespit edilmektedir.

Holmberg ve diğerleri (1983) patlatma sonrası kazı aynasına verilen zararı incelerken elastisite modülü üzerinde durmuşlardır. Onlara göre patlatmadan kaynaklı şok enerjisi, atım sonrası çevre kayacın elastisite modülünü düşüren bir etki yapmaktadır. Patlatma kaynaklı örselenmeyi incelerken çevre kayacın elastisite modülünü ölçmek zararı kestirmek için ipucu oluşturabilmektedir.

JKMRC kurumu 1996 yılında kaya kütlelerini patlatılabilirlik özelliklerine göre sınıflandırmak için bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu çalışma Avustralya'da bir kömür açık ocağındaki araştırmalara dayanmaktadır. Draglayn ve kepçe operasyonları için ayrı ayrı kayaç patlatılabilirliği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu yaklaşımda patlatma dizayn parametreleri olarak; hedeflenen parça boyutu, patlatma operasyonunun büyüklüğü, atım sonrası yığının beklenen kabarması göz önüne alınmaktadır. Kaya kütle özellikleri ile ilgili parametreler yerinde blok boyutu ve kayacın genel yapısı olup; kayacın fiziksel ve mekanik özelliklerini tanımlamak için ise kayaç yoğunluğu, dayanım ve elastisite modülü kullanılmaktadır (Scott, 1996).

Han ve diğerleri (2000) kayaç patlatılabilirliğini tespit etmek için bir yapay sinir ağı geliştirmişlerdir. Yapay sinir ağı 6 giriş parametresi, 5 gizli işlem elemanı ve bir çıkış parametresi içermektedir. Çatlak uzunluğu, çatlaklar arası mesafe ve elastisite modülü kayacı tanımlayan giriş parametreleri olarak kullanılmıştır.

Çizelge 7.2'de Sm kodu ile gösterilen atımlar, Özçelik (1998) tarafından TKİ Soma İşletmesi açık ocağında gerçekleştirilmiştir. Bu arazi çalışmasının amacı süreksizliklerin patlatma verimliliğine etkisinin tespitidir. Ocakta üç farklı alanda atımlar ölçülmüş, atım sonrası yığından alınan fotoğraflarla foto analiz yoluyla parça boyut dağılımı belirlenmiştir. Özçelik aynı zamanda Kuz-Ram modeli kullanarak ta parça boyut dağılımını tespit etmiş ve Kuz-Ram modelinin sonuçları ile kendi bulduğu sonuçları karşılaştırmıştır. Atımların gerçekleştiği arazide baskın kayaç marndır. Yer yer kireçtaşı, kiltaşı görülmektedir. Kayacın basınç dayanımı 65,5 MPa, elastisite modülü 13,25 GPa, yoğunluğu 2,46 t/m^3'tür. Çizelge 7.3'de Soma'da uygulanan patlatma tasarımı görülmektedir.

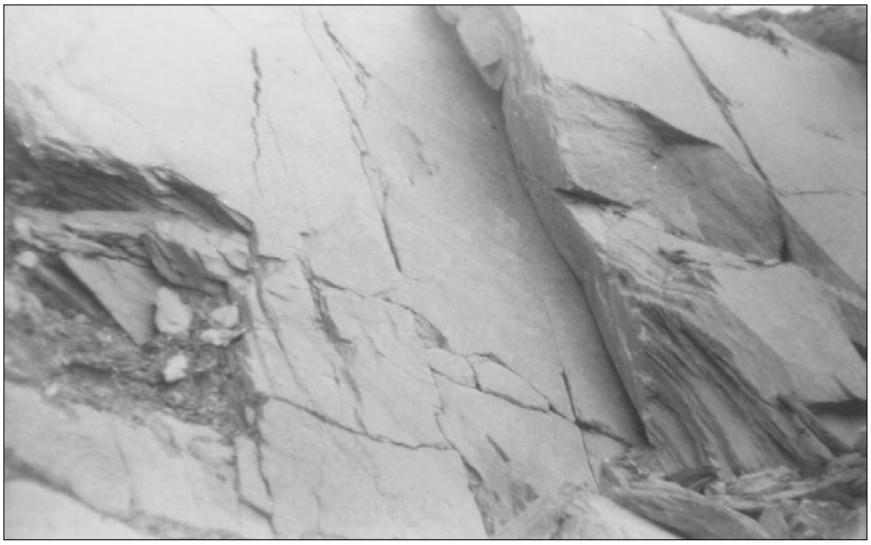
Çizelge 7.2'de Mi kodu ile gösterilen atımlar Farmer, Mojtabai ve arkadaşlarının çalışmalarına dayanmaktadır (Farmer ve diğ., 1997, Mojtabai ve diğ., 1990) Çalışmalarını Arizona'da Miami Madeni'nde gerçekleştirmişlerdir. Arizona Bölgesi'ne özgü pinal şist adı verilen kayaç baskın olarak kuvars ve serizit, ek olarak muskovit, klorit ve biyotit içermektedir. Kayaç içerisinde çok sayıda çatlak, foliasyon ve küçük faylanmalar mevcuttur. Yoğun süreksizliklerle kayaç çatlaklı bir yapı halindedir. Farmer ve arkadaşları patlatma dizaynını enerji kaynaklı bir yaklaşımla değerlendirmeye çalışmışlardır. Ocakta delik çapı 270 mm olarak uygulanmaktadır. Basamak yüksekliği 15 metredir. İki paternde atım yapılmaktadır. Birinci paternde dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe 6 m'dir. İkinci paternde ise dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe 9 m olarak belirlenmektedir. Delikler iki sıra halinde delinmektedir. Bir atımda 12–16 arası delik patlatılmaktadır ve delikler arasında 25 milisaniye gecikme vardır.

Çizelge 7.3 : Soma İşletmesi'nde gerçekleştirilen atımların geometrisi.

Delik çapı	210 mm
Dilim kalınlığı	6 m
Delikler arası mesafe	7,5 m
Basamak yüksekliği	15 m
Bir sıradaki delik sayısı	15
Sıra sayısı	2
Patlayıcı	ANFO
Alt delme	2 m
Sıkılama	4,15 m
Delik boyu	17 m
Delik düzeni	Şeşbeş
Ateşleme	Elektrikli

Çizelge 7.2'de Db ile gösterilen atımlar Jhanwar ve diğerlerinin (2000) gerçekleştirdiği çalışmadan alınmıştır. Jhanwar incelemelerini Hindistan'ın Nagpur şehri yakınlarında bulunan Dongri Buzurg açık ocak manganez madeninde gerçekleştirmiştir. Gerçekleştirilen atımlar dekapaj atımlarıdır. Formasyon kuvars mika şist, biyotit içeren gnays ve mika şist türü kayaçların birbirine temasıyla oluşan karmaşık bir yapıdır. Kayacın basınç dayanımı 20–40 MPa arasında, RQD değeri yüzde olarak 40 ile 65 arasında değişmektedir. RMR değerine göre bir değerlendirme yapıldığında çalışılan bölgedeki kayaçlar zayıf kayaç ile iyi kayaç arasında değişmekte, yani kayaç yapısı madenin farklı bölgelerinde çeşitlilik göstermektedir

(Şekil 7.2). Madendeki atımlarda basamak yüksekliği 6−11 metre arasında değişmekte olup, delik çapı 100 mm'dir. Dilim kalınlığı 2 m veya 2,5 m olarak uygulanmaktadır. Genel olarak delikler arası mesafe 2,5−3,5 metre arasındadır. Sıkılama 3,5 metre olarak uygulanmaktadır. Alt delme bazı atımlarda hiç uygulanmamakta bazılarında ise 0,5 metre olarak gerçekleştirilmektedir.



Şekil 7.2 : Dongri−Buzurg madeninde atım öncesi aynanın görünümü (Jhanwar, 2000).

Çizelge 7.2'de Rc kodu ile gösterilen Reocin Madeni ve En ile gösterilen Enusa Madeni'ndeki çalışmalar Aler, Hamdi ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiş ve farklı zamanlarda farklı yayınlarda ortaya konmuştur (Aler ve diğ., 1996a, Aler ve Du Mouza, 1996, Hamdi ve diğ., 2001). Bu araştırmacılar genel olarak istatistiksel analiz yoluyla parçalanma verimliliğini tespit etmeye çalışmışlar bu amaçla parçalanma indeksini kullanmışlardır. 2001 yılında yayınlanan yayında ise Hamdi ve arkadaşları (2001) kayaç parçalanması için kullanılan patlatma enerjisini değerlendirmeye çalışmışlardır. Bu amaçla patlatma öncesi yerinde blok boyutunu ve patlatma sonrası yığının blok boyutu dağılımını tespit ederek, blokların yüzey alanını hesaplamışlardır. Patlatma öncesi ve patlatma sonrası yüzey alanlarındaki toplam değişimi kullanarak ve atım parametrelerini de göz önüne alarak gerekli enerji miktarını hesaplamışlardır. Böylece yüzey enerji oranı olarak adlandırdıkları bir parametre ortaya koymuşlardır.

Çizelge 7.2'de Rc kodu ile gösterilen maden İspanya'da bulunan bir çinko madenidir. Reocin madeni hem açık ocak hem yeraltı ocağı olarak işletilmektedir. Çalışılan kayaç masif sayılabilecek dolomit formasyonudur. Reocin madenindeki

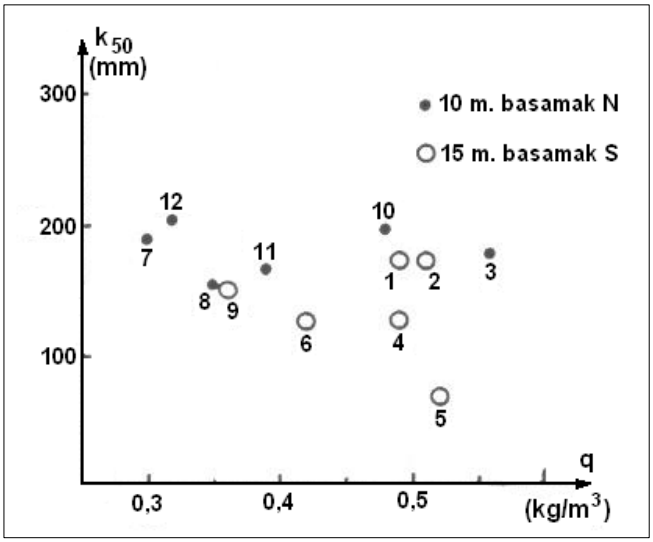
atımlar madenin üç farklı bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Reocin madeninde delik çapı 229 milimetre olarak uygulanmaktadır. Dilim kalınlığı 6 metre, delikler arası mesafe 7 metredir. Basamak yüksekliği 9-11 m arasında uygulanmaktadır. Sıkılama mesafesi ortalama delik yükünden %22 daha fazladır. Alt delme genel olarak 1 metre civarında seçilmektedir. Ateşleme 0–50 milisaniye arasında değişen gecikmeye sahip elektrikli kapsüllerle gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 7.2'de Ru ile gösterilen atımlar Reocin madeninin yeraltı kısmında gerçekleştirilmiştir. Reocin madeninin yeraltı kısmında da basamak patlatması tekniği uygulanmaktadır. Buradaki basamaklar 15 metredir. Delik çapı ise açık ocağa göre düşük olup, 76 mm'dir. İki temel delme paterni uygulanır; dilim kalınlığının 3 m delikler arası mesafenin 3 m olduğu patern ve dilim kalınlığının 3 m delikler arası mesafenin 3,4 m olduğu ikinci patern. Alt delme 3 m olarak alınmaktadır. Sıkılama mesafesi ise normal değerlerin üzerindedir (Aler ve diğ., 1996a).

Çizelge 7.2'de En kodu ile gösterilen Enusa madeni ise bir açık ocak uranyum madenidir. Kayaç yapısı orta ve yüksek derece çatlaklıdır. Enusa madeninde delik çapı 165 milimetre, basamak yüksekliği ise 6 metredir. Dilim kalınlığı 4,5 m delikler arası mesafe ise 5,6 m olarak uygulanmaktadır. Alt delme 1,5 metre olarak gerçekleştirilmektedir. 0–75 milisaniye arasında değişen gecikme aralıklarına sahip kapsüllerle ateşleme yapılmaktadır (Hamdi ve diğ., 2001).

Çizelge 7.2'de Mg kodu ile gösterilen atımlar Artvin ilinde bulunan Murgul Bakır Madeni'nde gerçekleştirilmiştir (Hüdaverdi, 2004). Bakır madeni, çalışmanın yapıldığı dönemde Karadeniz Bakır İşletmeleri tarafından işletilmektedir. Araştırmanın amacı çok sıralı patlatmalar için en uygun çalışma şartlarının bulunmasıdır. Atım sonrası parçalanmayı takip etmek için yığından alınan fotoğraflar görüntü işleme ile değerlendirilmiş, atım sonrası oluşan iri bloklar incelenmiş ve kepçe yükleme faktörü tespit edilmiştir. Atımların izlendiği Bognori bölümünde ana kayaç dasit ve altere dasittir. Kayacın basınç dayanımı 477 kg/cm^2, elastisite modülü 50 GPa, yoğunluğu 2,64 gr/cm^3 civarındadır. Ocakta delik çapı 165 mm'dir. Basamak yükseklikleri 12 metredir. Dilim kalınlığı 4,5 m veya 5 m olarak uygulanmaktadır. Delikler arası mesafe ise 4,5–5,5 m arasında değişmektedir. Sıkılama 4 m, alt delme 2 m olarak uygulanmaktadır. Genellikle bir atımda delinen delik sayısı 18–40 arasında değişmekte, delikler 3–5 sıra halinde delinmektedir. Ateşleme elektriksiz ateşleme sistemiyle gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 7.2'de Mr kodu ile gösterilen atımlar Ouchterlony ve diğerlerinin (1990) Mrica agrega ocağında gerçekleştirmiş olduğu çalışmadan alınmıştır. Mrica ocağı Endonezya'nın Java adasında bulunmaktadır. Ocaktaki atımlar İsveç Patlatma Araştırma Kurumu'nun (SveDeFo) projesi kapsamında incelenmiştir. Agrega ocağında kayaç andezittir. Kayaç yoğunluğu 2,4–2,5 kg/m^3'tür. Çekme dayanımı 7,4–8,8 MPa arasında, elastisite modülü ise 32 GPa'dır. Kaya kütlesi ocağın güneyinde kuzeyine göre daha masif yapıdadır. Ouchterlony ve arkadaşları toplam 12 atım incelemişlerdir. Sonuçta özgül şarj, çatlaklılık, spesifik delme, delik eğimi, aynadaki poroz bantların yoğunluğu gibi parametrelerdeki değişimin, parçalanma üzerindeki etkisini incelemeye çalışmışlardır. Ancak atım sayısındaki kısıtlılık nedeniyle bu incelemeler öngörü şeklindedir. Şekil 7.3'de Ouchterlony'nin gerçekleştirdiği 12 atıma ait patlatma sonrası ortalama parça boyutu ve özgül şarj grafiği yer almaktadır.



Şekil 7.3 : Parça boyutu–özgül şarj grafiği (Ouchterlony ve diğ., 1990).

Mrica ocağında delik çapı 76 mm'dir. Basamak yüksekliği ocağın kuzeyinde 10 m, güneyinde 15 m'dir. Dilim kalınlığı 2,4–3 metre arasında, delikler arası mesafe 3–3,5 m arasında değişmektedir. 15 metrelik basamaklarda sıkılama 2 m, alt delme 1,5 metre olarak uygulanmaktadır. 10 m'lik basamaklarda sıkılama 1,5 m, alt delme 1 metredir. Delikler şeşbeş olarak genellikle 4 sıra halinde delinmektedir. Ateşleme gecikmeli kapsüllerle gerçekleştirilmektedir. Burada içi boş ve içi dolu noktalarla gösterilen atımlar ocağın kuzey ve güney olmak üzere iki farklı bölgesinde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 7.4'de atım veritabanını oluşturan 97 atım için genel tanımlayıcı istatistik değerleri verilmiştir. Atımlarda izlenen 7 parametreye ait değişim aralığını ve ortalama değeri görmek mümkündür.

Çizelge 7.4 : Atım veritabanı için tanımlayıcı istatistikler.

	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
S/B	1,00	1,75	1,19	0,117
H/B	1,33	6,82	3,34	1,634
B/D	17,98	39,47	27,35	4,838
T/B	0,50	4,67	1,26	0,674
Pf (kg/m^3)	0,22	1,26	0,53	0,236
X_B (m)	0,02	2,35	1,10	0,532
E (GPa)	9,57	60,00	29,46	17,878

Daha evvelki bölümlerdeki parçalanma modellerinde de görüldüğü üzere her model belirli parametreleri içermektedir. Ana patlatma tasarım parametreleri (S ve B gibi) genel olarak sabit kalmakla birlikte, diğer parametreler modelden modele değişebilmektedir. Bu tezde gerçekleştirilen model ANFO ve eşdeğer patlayıcılar ile yapılan atımlara dayanmaktadır. Gelecekte farklı patlayıcılar ile gerçekleştirilen atımlar irdelenerek model revize edilebilir. İstenirse modele patlayıcı özelliğini katan bir parametre dahil edilebilir. Aslında arazide ANFO ve ANFO dışı bir patlayıcı kullanan araştırmacı birkaç atımdan sonra eğer gerekiyorsa düzeltme çarpanını tecrübeyle modele çok rahatlıkla ekleyebilir. Ortalama parça boyutu kestirim modeline katılacak atımların tamamı gecikmeli ateşleme ile gerçekleştirilmiştir.

Gecikme düzeninin veya gecikme aralıklarının parçalanma modellerine dahil edilmesine literatürde pek rastlanmamaktadır. Bunun nedeni, gecikme aralığının parçalanma üzerindeki etkisinin patlatma tasarım parametrelerine göre genellikle düşük gözlenmesidir. Chung ve Katsabanis (2000) Kuz-Ram modelini geliştirmek için yaptığı çalışmada, Kuz-Ram modeline gecikme ile ilgili bir parametre eklemeye çalışmışlardır. Fakat daha sonra gecikme aralığının artışı ile ortalama parça boyutunun değişeceğine dair bir sonuca ulaşamamışlardır. Literatürde de gecikme aralığı ile ilgili yeterli çalışma olmadığını belirterek, gecikme aralığı ile ilgili parametreyi geliştirdikleri formülün dışında bırakmışlardır. Chakraborty ve diğerleri (2004) patlatmaya etki eden patlatma tasarım ve kayaç parametrelerini belirlemek için adımlar halinde regresyon modelini kullanarak; çatlaklı ve masif kayaç için bir patlatma kılavuzu oluşturmuşlardır. Patlatma tasarım parametrelerini her iki kayaç

tipi için de önemli parametreler olarak değerlendirirken; ateşleme düzeni parçalanmaya küçük çaplı etki eden bir parametre olarak ortaya çıkmıştır. Gecikme aralığı ile ilgili olarak temel çalışmalardan biri sayılan Stag ve Roll'un (1987) çalışması incelenebilir. Bu çalışmada da çok düşük gecikme aralıklı ateşlemede gecikme aralığının artışının parçalanmaya etkisi var gibi gözükürken, gecikme aralığı arttıkça bu etki azalmaya başlamaktadır.

7.4 Kümeleme Analizi (1. Aşama)

7.4.1 Kümeleme analizinin esasları ve amacı

Kümeleme analizi bir popülasyon içinde nispeten homojen alt grupları bulmak için kullanılır. Yani diğer bir deyişle çok sayıda veri benzer gruplara (kümelere) ayrılır. Burada temel prensip gruplar içi farklılığı minimum kılmak, gruplar arasındaki farklılaşmayı ise maksimum hale getirmektir. Kümeleme analizinin neden kullanılması gerektiği bu tez konusuyla ilgili olarak şu şekilde açıklanabilir (Everitt, 1993):

- Veriler bir arada değerlendirildiği zaman ilişkileri bulmak güçleşebilir. Veriler gruplara ayrıldığında onları izlemek, anlamlandırmak ve değerlendirmek çok daha kolaylaşacaktır.
- Örneğin bu çalışmada olduğu gibi çok sayıda atım verisinin bulunduğu ve birçok parametre içeren bir atım veritabanı kullanarak, parça boyut dağılımını kestiren bir model geliştirileceği düşünülebilir. Tüm veriler bir arada değerlendirilerek bir model oluşturulduğunda, modelin geçerliliği (regresyon analizi kullanılıyorsa korelasyonu) düşük olacaktır. Oysa veriler alt gruplara ayrılır ve her grup için ayrı bir model geliştirilirse, modelin güvenilirliği ve tahmin kapasitesi çok artacaktır. Bunun sebebi grup içi veriler arasındaki varyansın düşük olmasıdır. Aslında yer bilimlerinde sıkça karşılaşılan kaya kütle sınıflandırmaları, değerlerin gruplandırılması ve ayrı kategorilere ayrılması mantığına göre çalışmaktadır. Ortalama parça boyutu tahmin modellerinde de (Kuz-Ram, vb.) kayaçlar genellikle araştırmacılar tarafından gruplara ayrılmaktadır. Böylece farklı kayaç grupları için formüller revize edilerek kullanılabilmektedir.
- Kümeleme analizi aynı zamanda verilerin yapısını öğrenmek için kullanılacak bir yöntemdir. Örnek olarak çok sayıda atım içeren bir veritabanı göz önüne alınabilir.

Burada her atım, farklı büyüklükte patlatma parametreleri, kayaç parametreleri ve patlayıcı parametreleri içermektedir. Bu atımların kendi içlerinde homojen olup olmadığı, aralarında bir ayrışma, bir farklılaşmanın bulunup bulunmadığı görülmek istenebilir. Atımlar arasındaki farklılığın kaynağını belirlemek için kümeleme analizi önemli bir rol oynamaktadır. Özetle verilerin doğasını öğrenmek ve buna göre bir yol çizmek için kümeleme analizine gereksinim vardır.

- Kümeleme analizi önceden zihinde uyanmış bir takım fikirlerin test edilmesinde de kullanılabilir. Örneğin, bir araştırmacı çok sayıda atımın basamak yüksekliği ve kayaç yoğunluğu değerlerine göre farklılaşma içinde olduğunu, bu farklılaşmanın dikkate alınması gerektiğini öne sürebilir. Gerçekten bu şekilde önem arz eden bir faklılaşmanın olup olmadığı, kümeleme analizi uygulanarak izlenebilir.

Kümeleme analizinde kümeleme yöntemlerini genel olarak üç gruba ayırmak mümkündür; İki Aşamalı Kümeleme Analizi, K–Ortalama Kümeleme Analizi ve Hiyerarşik Kümeleme Analizi. İki aşamalı kümeleme analizinde en uygun küme sayısını baştan seçmek mümkündür ve çok sayıda veri bu yöntemle analiz edilebilir. Hiyerarşik kümeleme analizinde veri sayısı daha kısıtlıdır ve yüzlerle ifade edilir. Kümeleme tekniği ve kümeler arasındaki benzerliği ölçmek için çok sayıda alternatif sunar. Bu hiyerarşik kümeleme analizinin en büyük üstünlüğüdür. Hemen hemen her türlü veri tipinin analizi gerçekleştirilebilir. (Everitt, 1993, Garson, 2009)

K–ortalama kümeleme analizi sürekli veri için kullanılabilir ve kullanıcının analizden önce küme sayısını belirlemesi gerekmektedir. Nispeten geniş veri setlerine uygulanabilmektedir. Bunların dışında son zamanlarda bulanık K–ortalama kümeleme gibi çeşitli değişik kümeleme yöntemleri de ortaya çıkmıştır (SPSS Base, 2008).

Genel olarak sunduğu imkanlar ve uygulanabilirlik açısından hiyerarşik kümeleme analizi diğerlerine göre daha çok tercih edilmektedir. Yer bilimlerinde de araştırmacılar hiyerarşik kümeleme analizini tercih etmektedirler (Kulatilake ve diğ., 2007). Bu tez çalışmasında da hiyerarşik kümeleme analizi, kümeleme yöntemi olarak kullanılmıştır.

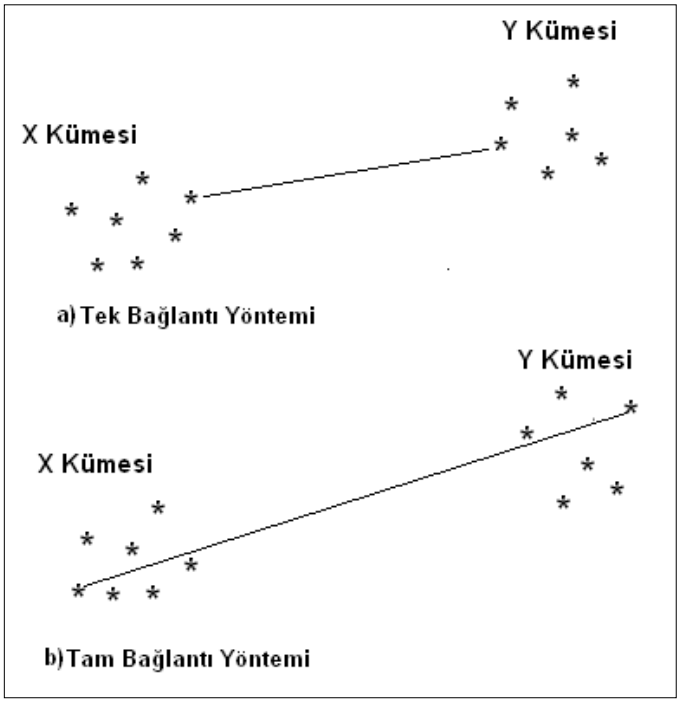
Hiyerarşik kümeleme analizinde farklı ‘kümeleme metotları’ ve ‘benzerlik (mesafe) ölçüm teknikleri’ ile veriler gruplandırılmaktadır. Hiyerarşik kümelemede benzer kümeler ardışık bir şekilde birleştirilir. Birleştirilen kümeler daha sonra birbirlerinden ayrılmazlar. Birleştirme işlemi tek bir küme kalana kadar devam eder. Araştırmacı uygun kümeleme metodunu ve ölçüm yöntemini bulmak için genellikle çok sayıda deneme yapmak zorundadır. Hiyerarşik kümeleme amacıyla kullanılan kümeleme metotları şu şekilde sınıflandırılabilir (Johnson ve Wichern, 1988, Mardia ve diğ., 1997).

- Ortalama bağlantı metodu (gruplar arası)
- Tek bağlantı metodu (en yakın komşu)
- Tam bağlantı metodu (en uzak komşu)
- Ward’s metodu
- Kitle merkezi (centroid) metodu
- Medyan metodu

Bu yöntemlerden en sık kullanılanlardan tek bağlantı metodu, ortalama bağlantı metodu ve Wards’ metodu aşağıda kısaca açıklanmıştır. Burada geliştirilen modelde kullanılan ortalama bağlantı metodu ise daha detaylı olarak ilerde atım örneği üzerinde açıklanacaktır. Şekil 7.4’de tek bağlantı ve tam bağlantı metotlarının prensibi gösterilmektedir.

En basit bağlantı metotlarından biri tek bağlantı metodu, diğer adıyla en yakın komşu metodudur. Burada kümeyi oluşturan elemanlar için birbirine en yakın ikili arasındaki mesafe iki küme arasındaki mesafedir. Şekil 7.4a’da yöntem görülmektedir. X kümesi 7 adet yıldızla gösterilen atım verisi içermektedir. Y kümesi ise 6 adet atım içermektedir. Birbirine en yakın iki atım arasındaki mesafe iki küme arasındaki mesafedir (Johnson ve Wichern, 1988, Everitt, 1993).

Şekil 7.4b’de gösterilen tam bağlantı metodu, aynı zamanda en uzak komşu metodu olarak da adlandırılır. İki atım kümesi içinde birbirine en uzak olan atım çifti arasındaki mesafe, iki küme arasındaki mesafedir. Bu yöntem tek bağlantı yönteminin tersidir (Johnson ve Wichern, 1988, Everitt, 1993).



Şekil 7.4 : Tek bağlantı ve tam bağlantı metodunun prensibi.

Wards' metodu ise bilgi kaybına dayalı bir kümeleme tekniğidir. Kümelemenin her aşamasında her olası küme çifti göz önüne alınır ve birleştirilmesi sırasında minimum bilgi kaybı oluşan kümeler bir araya getirilir. Bilgi kaybı ifadesiyle kareler toplamındaki hata ifade edilmektedir. Burada yapılmak istenen kümeler içindeki varyansı minimum seviyeye çekmektir. Tek değişkenli bakış açısıyla kareler toplamındaki hata (ESS) basitçe aşağıdaki şekilde yazılabilir. 'z_j' spesifik bir değişkendir,' $\overline{z_a}$ 'ifadesi ise bu değişkenin aldığı değerlerin ortalamasıdır (Everitt, 1993, Everitt ve Dunn, 1991).

$$ESS = \sum_{j=1}^{m} \left(z_j - \overline{z_a}\right)^2 \qquad \textbf{(7.1)}$$

İki verinin veya kümelerin birleştirilmesi birbirine olan uzaklıkları ölçülerek gerçekleştirilmektedir. Aralarındaki mesafe az olan veriler benzer olarak değerlendirilir ve birlikte gruplandırılır. Veriler veya gruplar arasındaki mesafeleri (benzerliği) ölçmek için ölçüm fonksiyonları kullanmak gerekmektedir. Bu ölçüm fonksiyonlarının en önemlileri (SPSS Base, 2008);

- Öklit mesafesi
- Pearson korelasyonu
- Chebychev

- Blok (Manhattan)
- Minkowski
- Cosine gibi ölçüm fonksiyonlarıdır.

Bu ölçüm fonksiyonlarından en sık kullanılanlar Öklid mesafesi ve Pearson korelasyon katsayısıdır. Aşağıda kısaca sık kullanılanlardan Öklid ve Blok fonksiyonları hakkında bilgi verilmiştir. Pearson korelasyon katsayısı daha ilerde atımlar üzerinde detaylı olarak anlatılacaktır.

Öklid mesafesi aslında matematikte Pisagor Bağıntısı kullanılarak bulunan iki nokta arasındaki mesafe ölçüm birimidir. Buna göre, iki boyutlu düzlemde iki nokta arasındaki mesafe basitçe iki noktanın x ve y koordinatlarının ayrı ayrı farklarının hipotenüs'üne eşittir. İki nokta yerine 'v_a' ve 'v_b' gibi iki vektörü (sayı grubunu) ele alırsak, aralarındaki mesafe 7.2 bağıntısıyla bulunur (Everitt, 1993, Mardia ve diğ., 1997).

$v_a = (v_{a1}, v_{a2}, v_{a3}, \ldots\ldots. v_{am})$, $v_b = (v_{b1}, v_{b2}, v_{b3}, \ldots\ldots. v_{bm})$ ise;

$$d = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(v_{aj} - v_{bj}\right)^2} \qquad \textbf{(7.2)}$$

Blok (Manhattan) mesafesi iki noktanın koordinatları farkının mutlak değerleri olarak düşünülebilir. Yukarıda verildiği şekilde v_a ve v_b vektörleri esas alınarak yazılırsa 7.3 eşitliği ile ifade edilebilir (Teknomo, 2009).

$$d = \sum_{j=1}^{m}\left|\left(v_{aj-}v_{bj}\right)\right| \qquad \textbf{(7.3)}$$

7.4.2 Kümeleme analizinin uygulanması

Kümeleme analizi uygulanırken öncelikle bir veri matrisi oluşturulur. Bütün analiz bu veri matrisi (benzerlik matrisi) üzerinden gerçekleştirilir. Matristeki satırların her biri veriyi, sütunlar ise veriye ait değişkenleri göstermektedir (Kaufman ve Rousseeuw, 1990, Mardia ve diğ., 1997). 'm' değişkene sahip 'n' sayıda veri mxn veri matrisi oluşturur. Bu çalışmadaki veri matrisini Çizelge 7.2'de gösterilen 97 atım oluşturmaktadır. Çizelgedeki her bir atım matristeki verileri (satırları) oluşturur. Her bir sütun ise bu verilere ait değişkenlerdir, yani bu çalışmada 7 adet patlatma tasarım parametresidir. Bu durumda geliştirilen modelde veri matrisi X = 97x7 şeklinde oluşmuştur.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{im} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad \textbf{(7.4)}$$

Genelde veri matrisi oluşturulurken öncelikle bir istatistiksel standardizasyon uygulanmaktadır. Böylece farklı değişkenlerin farklı birimlerinden kaynaklanan hata ortadan kaldırılmış ve tüm değişkenler eşit şekilde değerlendirilmiş olur. Veriler standardize edilirken her veriden bulunduğu sütunun (örneğin S sütunu veya E sütunu) ortalaması çıkarılır ve sonuç o sütunun standart sapmasına bölünür. Örneğin dilim kalınlığı (B) değerleri standartlaştırılırken her değerden dilim kalınlığının ortalaması çıkarılır ve standart sapmasına bölünür (SPSS Base, 2008):

$$z_{ij} = \frac{x_{ij-}\bar{x}_j}{\delta_{xj}} \quad \textbf{(7.5)}$$

Bu işlem genellikle 'z skor standardizasyon' olarak adlandırılır. Standartlaştırılmış yeni verilerle oluşan matris aşağıdaki gibidir.

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & \dots & z_{1j} & \dots & z_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{i1} & \dots & z_{ij} & \dots & z_{im} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{n1} & \dots & z_{nj} & \dots & z_{nm} \end{bmatrix} \quad \textbf{(7.6)}$$

Bu çalışmada daha önceki bölümde anlatılan birçok kümeleme metodu ve benzerlik ölçüm fonksiyonları kullanılmıştır. Doğru kümeleme metodunu ve kümeler arası benzerliği ölçen fonksiyonu bulmak için çok sayıda deneme yapılmıştır. Böylece başarılı olan ve en doğru kümeleme tekniği oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu ise zaman alan ve dikkat gerektiren bir işlemdir. Burada gereksiz işlem ve bilgi karmaşası yaratmamak için, üzerinde çalışılan başarısız veya daha az başarılı örneklere yer verilmeyecektir. Direkt olarak kullanılan metot ve ölçüm tekniği açıklanacaktır. Bu analizde seçilen metot 'Ortalama Bağlantı Tekniğidir'. Benzerlik ölçüm fonksiyonu ise 'Pearson Korelasyon Katsayısıdır'.

'z' skorlarına dayalı veri matrisi oluşturulduktan sonra, benzerlikleri ölçmek ve kümeleri oluşturmak için Pearson korelasyon katsayıları hesaplanır. Yine z_a ve z_b adlarında iki vektör ele alınırsa; $z_a = (z_{a1}, z_{a2}, z_{a3}, \dots\dots. z_{am})$, $z_b = (z_{b1}, z_{b2}, z_{b3}, \dots\dots. z_{bm})$ ise korelasyon katsayısı 7.7 eşitliği ile hesaplanır (Tabachnick ve Fidell, 2007).

$$r_{z_a z_b} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}\left(\frac{z_{aj}-\overline{z_a}}{\delta_{z_a}}\right)\left(\frac{z_{bj}-\overline{z_b}}{\delta_{z_b}}\right) \quad \textbf{(7.7)}$$

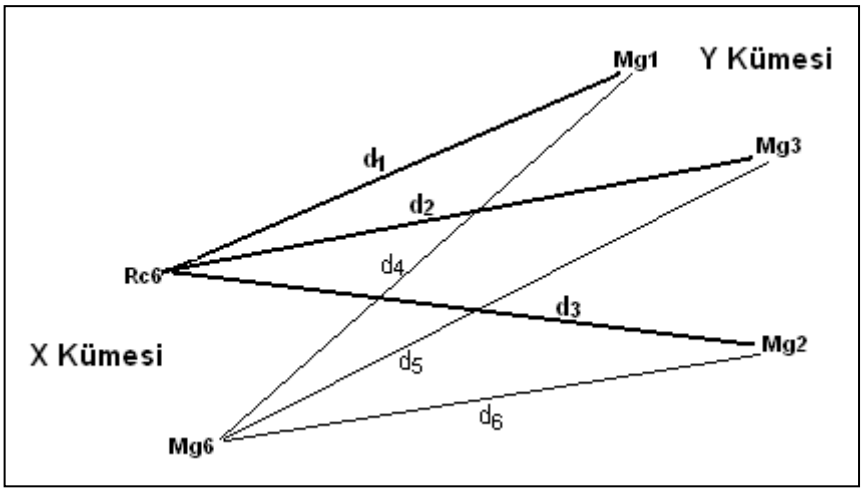
'z_{aj}', a vektörü için j'inci değişkenin z skorunu, 'z_{bj}' b vektörü için j'inci değişkenin z skorunu göstermektedir. 'm' her bir veride ölçülen değişken sayısını verir. $\overline{z_a}$, z_a vektöründe ölçülen değişkenlerin ortalamasıdır. $\overline{z_b}$ ise z_b vektöründeki değişkenlerin ortalamasıdır. δ_{z_a} ve δ_{z_b} ise sırasıyla z_a ve z_b vektörlerindeki verilerin standart sapmasıdır. $\boldsymbol{r_{z_a z_b}}$ iki vektör arasındaki korelasyon katsayısıdır. Bu çalışmada a ve b verileri atımları ifade etmektedir (örneğin Rc6 ve Mg1 atımları). $z_a = \{z_{a1}, \ldots z_{aj}, \ldots z_{am}\}$ ve $z_b = \{z_{b1}, \ldots z_{bj}, \ldots, z_{bm}\}$ vektörleri ise a ve b atımına ait değişkenlerin (patlatma dizayn parametreleri ve kayaç parametreleri) z skorlarıdır.

Bundan sonra kümeler arası benzerliği ölçmek için kullanılacak Pearson mesafesi Pd=1-r bağıntısıyla hesaplanır. Bu değer 0 (korelasyon katsayısı +1 ise) ile 2 (korelasyon katsayısı -1 ise) arasında değişmektedir (Garson, 2009).

Tüm olası çiftler arasında Pearson mesafesi ölçüldükten sonra 'M' olarak adlandırabilecek bir matris oluşur. Bu matris içinde $m_{z_a z_b}$ olarak ifade edilen katsayılar a ve b verileri (atımları) arasındaki benzerliği gösterir. Bundan sonra her bir veri bir hiyerarşi çerçevesinde bir araya getirilir. Benzer veriler yan yana gelerek kümeleri oluştururlar. Birbirine benzer olan kümeler de birleşerek daha büyük kümeleri (grupları) oluştururlar. Bu işlem bütün kümeler birleştirilene kadar devam eder. Sonuçta "Dendrogram" adı verilen bir ağaç diyagram oluşturulur (Kulatilake ve diğ., 2007).

Ortalama bağlantı tekniğinde kümeler arasındaki uzaklık, kümeyi oluşturan elemanların aralarındaki mesafelerin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Şekil 7.5, ortalama bağlantı tekniğinin temel mantığını göstermektedir. Şekildeki X kümesi Rc6 ve Mg6; Y kümesi ise Mg1, Mg2 ve Mg3 atımlarını içermektedir. 'dn' her bir atım arasındaki mesafedir. X ve Y arasındaki mesafe (D_{xy}) tüm atım çiftlerinin arasındaki mesafenin ortalamasıdır (Everitt ve Dunn, 1991, Everitt, 1993):

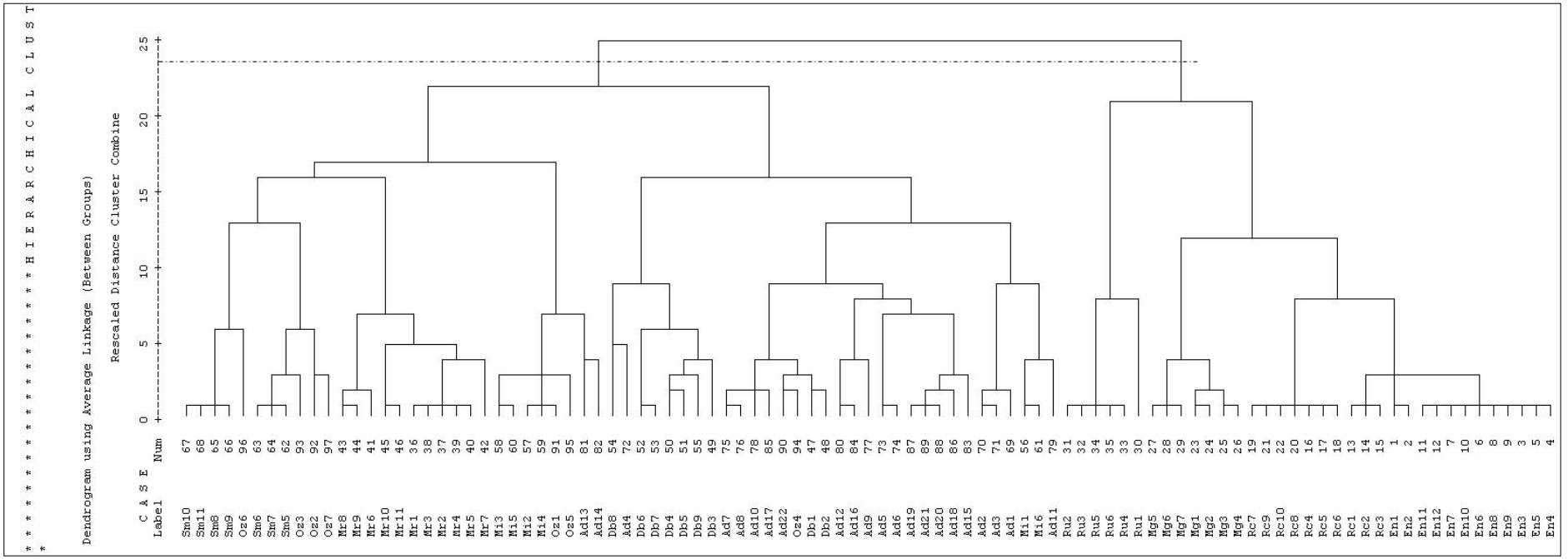
$$D_{xy} = (d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6) / 6 \quad \textbf{(7.8)}$$



Şekil 7.5 : Ortalama bağlantı metodunun prensibi.

Şekil 7.6'da gerçekleştirilen kümeleme analizi sonrası elde edilen dendrogram görülmektedir. Dendrogramın 'x' ekseni verileri yani atımları gösterir. 'y' ekseni benzerlik katsayılarını yani kümelerin birleştirildiği mesafeleri göstermektedir. Bu mesafeler Pearson mesafesi ile ölçülmüştür. Bu grafiğe bakarak atımların hangilerinin hangi mesafede (aşamada) birleştirildiğini görmek mümkündür. Birbirine benzeyen atımlar yani aralarındaki mesafe düşük olan atımlar bir aradadır. Daha kısa mesafede birleştirilen atımların veya kümelerin birbirine benzerliği daha yüksek; daha uzak mesafede birleştirilen atım veya kümelerin birbirine benzerliği daha düşüktür (Mardia ve diğ, 1997). Örneğin dendrogramın soluna bakılırsa; Sm8, Sm9, Sm10 ve Sm11 kodlu atımların benzer atımlar olduğu için, kümeleme analizinin ilk aşamasında hemen birleştirildiği görülmektedir. Bu grup daha sonra kendilerine benzer olan Oz6 kodlu atımla birleştirilmiştir. Tüm bu grup yeniden ölçeklendirilmiş mesafenin 13 civarı olduğu noktada Sm5, Sm6, Sm7, Oz2, Oz3 ve Oz7 atımlarından oluşan grupla birleştirilmiştir.

Dendrogram dikkatli incelendiğinde sonuç olarak iki ana grubun oluştuğu görülmektedir. Mesafe ekseninden 23-24 değeri civarından yatay bir çizgi çekilirse, grafiğin solunda ve sağında iki büyük grup mevcuttur. Sağdaki nispeten küçük grup 1. Grup (1. Küme) olarak, soldaki daha büyük grubu 2. Grup (2. Küme) olarak adlandırabilir. Sağdaki 1. Grup'a ait atımlar Çizelge 7.5'de gösterilmiştir.



Şekil 7.6 : Kümeleme analizi sonucu elde edilen dendrogram.

Çizelge 7.5 : 1. Grup atımları (Küme I).

Atım Kodu	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m^3)	X_B (m)	E (GPa)	x_{50} (m)
En1	1,24	1,33	27,27	0,78	0,48	0,58	60,00	0,37
En2	1,24	1,33	27,27	0,78	0,48	0,58	60,00	0,37
En3	1,24	1,33	27,27	0,78	0,48	1,08	60,00	0,33
En4	1,24	1,33	27,27	0,78	0,48	1,11	60,00	0,42
En5	1,24	1,33	27,27	0,78	0,48	1,08	60,00	0,46
En6	1,24	1,33	27,27	1,17	0,27	1,08	60,00	0,37
En7	1,24	1,33	27,27	1,06	0,33	1,08	60,00	0,64
En8	1,24	1,33	27,27	0,91	0,41	1,11	60,00	0,42
En9	1,24	1,33	27,27	0,91	0,41	1,11	60,00	0,26
En10	1,24	1,33	27,27	0,99	0,36	1,08	60,00	0,42
En11	1,24	1,33	27,27	1,06	0,33	1,11	60,00	0,31
En12	1,24	1,33	27,27	1,06	0,33	1,11	60,00	0,38
Rc1	1,17	1,50	26,20	1,08	0,33	0,68	45,00	0,46
Rc2	1,17	1,50	26,20	1,12	0,30	0,68	45,00	0,48
Rc3	1,17	1,58	26,20	1,22	0,28	0,68	45,00	0,48
Rc4	1,17	1,96	26,20	1,30	0,34	1,56	45,00	0,75
Rc5	1,17	1,75	26,20	1,31	0,29	1,56	45,00	0,96
Rc6	1,17	1,75	26,20	1,16	0,36	1,56	45,00	0,76
Rc7	1,17	1,67	26,20	1,22	0,31	1,80	45,00	0,53
Rc8	1,17	1,83	26,20	1,34	0,30	1,80	45,00	0,56
Rc9	1,17	1,83	26,20	1,29	0,32	1,80	45,00	0,74
Rc10	1,17	1,83	26,20	1,23	0,35	1,80	45,00	0,44
Ru1	1,13	5,00	39,47	1,93	0,31	2,00	45,00	0,64
Ru2	1,20	6,00	32,89	3,67	0,30	2,00	45,00	0,54
Ru3	1,20	6,00	32,89	3,70	0,30	2,00	45,00	0,51
Ru4	1,20	6,00	32,89	4,67	0,22	2,00	45,00	0,64
Ru5	1,20	6,00	32,89	3,11	0,35	2,00	45,00	0,54
Ru6	1,20	6,00	32,89	3,22	0,34	2,00	45,00	0,69
Mg1	1,00	2,67	27,27	0,89	0,75	0,83	50,00	0,23
Mg2	1,00	2,67	27,27	0,89	0,75	0,78	50,00	0,25
Mg3	1,00	2,40	30,30	0,80	0,61	1,02	50,00	0,27
Mg4	1,00	2,40	30,30	0,80	0,61	0,75	50,00	0,30
Mg5	1,10	2,40	30,30	0,80	0,55	1,18	50,00	0,38
Mg6	1,10	2,40	30,30	0,80	0,55	1,24	50,00	0,37
Mg7	1,10	2,40	30,30	0,80	0,55	1,33	50,00	0,38

Çizelge 7.5‘de 1. Grup atımları, Enusa, Reocin, Reocin yeraltı ve Murgul Madeni’nde ölçülen atımlardır. 1. Grup atımlarının diğer atımlardan farkını görmek güçtür. Dikkatlice bakılırsa genel olarak elastisite modülü yüksek atımlardan oluştuğu izlenebilir. Bu grupta toplam 35 atım vardır. Aşağıda Çizelge 7.6’da ise 2. Grup’a ait atımlar görülmektedir. Daha büyük olan 2. Grup’ta 62 atım vardır. Dikkatlice bakılırsa atımların elastisite modülünün 1. Grup’a göre daha düşük olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 7.6 : 2. Grup atımları (Küme II).

Atım Kodu	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m^3)	X_B (m)	E (GPa)	x_{50} (m)
Mr1	1,20	6,00	32,89	0,80	0,49	1,67	32,00	0,17
Mr2	1,20	6,00	32,89	0,80	0,51	1,67	32,00	0,17
Mr3	1,20	6,00	32,89	0,80	0,49	1,67	32,00	0,13
Mr4	1,20	6,00	32,89	0,80	0,52	1,67	32,00	0,17
Mr5	1,20	6,00	32,89	0,80	0,42	1,67	32,00	0,13
Mr6	1,40	6,00	32,89	0,80	0,36	1,67	32,00	0,15
Mr7	1,20	6,00	32,89	0,60	0,56	1,03	32,00	0,18
Mr8	1,40	6,00	32,89	0,60	0,30	1,03	32,00	0,19
Mr9	1,40	6,00	32,89	0,60	0,35	1,03	32,00	0,16
Mr10	1,16	5,00	39,47	0,50	0,39	1,03	32,00	0,17
Mr11	1,16	5,00	39,47	0,50	0,32	1,03	32,00	0,21
Db1	1,25	3,50	20,00	1,75	0,73	1,00	9,57	0,44
Db2	1,25	5,10	20,00	1,75	0,70	1,00	9,57	0,76
Db3	1,38	3,00	20,00	1,75	0,62	1,00	9,57	0,35
Db4	1,50	5,50	20,00	1,75	0,56	1,00	9,57	0,55
Db5	1,75	4,75	20,00	1,75	0,39	1,00	9,57	0,35
Db6	1,25	4,75	20,00	1,75	0,33	1,00	9,57	0,23
Db7	1,25	5,00	20,00	1,75	0,44	1,00	9,57	0,40
Db8	1,20	2,40	25,00	1,40	0,28	0,50	9,57	0,35
Db9	1,40	3,20	25,00	1,40	0,31	0,50	9,57	0,29
Mi1	1,00	2,50	22,22	1,69	0,71	0,17	10,00	0,10
Mi2	1,00	1,67	33,33	0,72	0,46	0,10	10,00	0,09
Mi3	1,00	1,67	33,33	1,25	0,27	0,10	10,00	0,09
Mi4	1,00	1,67	33,33	0,70	0,47	0,10	10,00	0,08
Mi5	1,00	1,67	33,33	1,28	0,26	0,10	10,00	0,10
Mi6	1,00	2,50	22,22	1,69	0,71	0,02	10,00	0,02
Sm1	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	0,50	13,25	0,15
Sm2	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	0,50	13,25	0,19
Sm3	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	0,50	13,25	0,23
Sm4	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	1,50	13,25	0,22
Sm5	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	1,50	13,25	0,24
Sm6	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	1,50	13,25	0,26
Sm7	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	1,50	13,25	0,28
Ad1	1,20	4,40	28,09	1,20	0,58	0,77	16,90	0,15
Ad2	1,20	4,80	28,09	1,20	0,66	0,56	16,90	0,17
Ad3	1,20	4,80	28,09	1,20	0,72	0,29	16,90	0,14
Ad4	1,20	4,00	28,09	1,60	0,49	0,81	16,90	0,16
Ad5	1,14	6,82	24,72	1,36	0,84	1,43	16,90	0,21
Ad6	1,14	6,36	24,72	1,36	0,82	1,77	16,90	0,21
Ad7	1,25	3,50	22,47	1,25	0,75	1,03	16,90	0,15
Ad8	1,25	3,25	22,47	1,25	0,71	0,83	16,90	0,19
Ad9	1,25	3,50	22,47	1,25	0,76	1,68	16,90	0,18
Ad10	1,25	3,50	22,47	1,25	0,76	1,24	16,90	0,15
Ad11	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	0,67	16,90	0,14
Ad12	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	2,01	16,90	0,20
Ad13	1,12	2,80	28,09	1,00	0,54	0,96	16,90	0,15

Çizelge 7.6 (devam) : 2. Grup atımları (Küme II).

Atım Kodu	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m^3)	X_B (m)	E (GPa)	x_{50} (m)
Ad14	1,00	2,40	28,09	1,00	0,56	0,83	16,90	0,14
Ad15	1,10	3,75	21,74	1,00	1,02	1,64	16,90	0,15
Ad16	1,10	3,50	22,47	1,25	0,86	2,35	16,90	0,15
Ad17	1,25	3,75	17,98	1,56	1,24	1,53	16,90	0,19
Ad18	1,00	4,00	18,42	1,71	1,26	0,73	16,90	0,15
Ad19	1,00	4,00	18,42	1,71	1,26	1,47	16,90	0,17
Ad20	1,14	4,00	18,42	1,71	1,10	1,19	16,90	0,19
Ad21	1,11	4,44	18,95	1,67	1,25	1,71	16,90	0,22
Ad22	1,28	3,61	18,95	1,67	0,89	0,56	16,90	0,20
Oz1	1,00	2,83	33,71	1,00	0,48	0,45	15,00	0,27
Oz2	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	0,86	15,00	0,14
Oz3	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	0,44	15,00	0,14
Oz4	1,25	4,50	22,47	1,50	0,76	0,66	15,00	0,20
Oz5	1,11	3,33	30,34	1,11	0,47	0,47	15,00	0,17
Oz6	1,20	3,20	28,09	1,20	0,48	1,11	15,00	0,30
Oz7	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	0,88	15,00	0,12

Atımlar net olarak iki gruba ayrılmıştır. Kayaç özelliklerine göre farklılaşmış iki grup elde etmek, bu çalışma için önemlidir. Böylece farklı kayaçlar için farklı parçalanma yaklaşımları geliştirilebilir. Çizelge 7.7'de grup istatistikleri görülmektedir. İki grubun elastisite modülleri arasında oldukça büyük fark vardır. Diğer parametreler dikkate alındığında H/B ve Pf için nispeten daha düşük bir farklılaşmadan söz etmek mümkün olabilir.

Çizelge 7.7 : Grup istatistikleri.

Grup No	Değişken	Ortalama	Standart Sapma
1.	S/B	1,17	0,08
	H/B	2,44	1,63
	B/D	28,55	3,00
	T/B	1,41	0,99
	Pf (kg/m^3)	0,41	0,13
	X_B (m)	1,29	0,47
	E (GPa)	51,14	6,76
2.	S/B	1,20	0,13
	H/B	3,85	1,41
	B/D	26,68	5,53
	T/B	1,18	0,38
	Pf (kg/m^3)	0,60	0,25
	X_B (m)	1,00	0,54
	E (GPa)	17,22	7,45

Bu aşamada gruplar arası ayrışmayı kesin olarak görmek önemlidir. İki grup arasındaki farklılık net olarak belirlenmelidir. Elastisite modülü dışında diğer parametreler arasında da farklılaşmanın olup olmadığı, farklılaşmada baskın parametrelerin mevcudiyeti araştırılmalıdır. Gruplar arasındaki ayrışmayı tam olarak görmek, veriler arasında gerçekleştirilen ayrımı test etmek için 'Ayırma Analizi' uygulamakta fayda vardır.

7.5 Ayırma Analizi (2. Aşama)

7.5.1 Ayırma analizi yönteminin amacı ve esasları

Ayırma analizi verileri gruplara ayırmak ve sınıflandırmak için kullanılan bir yöntemdir. Kümeleme analizinden farklı olarak burada gruplar önceden belirlenir. Burada 'n' sayıdaki veri, veriyi oluşturulan parametrelere göre değerlendirilir ve bir lineer ayrım fonksiyonu oluşturulur. Bu ayrım fonksiyonu regresyon analiziyle elde edilen lineer regresyon fonksiyonuna benzemektedir. Çoklu ayırma analizi genel olarak şu amaçlar için kullanılabilir (Mclachlan, 2004):

- Ayırma analizi sonucunda elde edilen ayrım fonksiyonu ile yeni bir olayın hangi gruba ait olduğu tespit edilebilir. Örneğin araştırmacı ölçtüğü atımları atım değişkenlerine göre iki gruba ayırmayı düşünebilir. Bu ayrım atım parametrelerinin herhangi bir tanesine veya birden çok parametreye dayalı olabilir. Yeni bir atıma ait veriler elde edildiğinde, bu atımın hangi gruba ait olduğunu tespit etmek için ayrım fonksiyonu kullanılır.
- Atımların doğru olarak ayrılıp ayrılmadığı kontrol edilebilir. Bir önceki bölümde kümeleme analiziyle atımlar iki gruba ayrılmıştır. Bu gruplandırmanın doğru olup olmadığı, ne derece geçerli olduğu ayırma analiziyle kontrol edilebilir.
- Farklı atım grupları söz konusu ise bu iki farklı grubun oluşmasında etkin olan parametreler ayırma analiziyle belirlenebilir. Örneğin atımlar iki farklı gruba ayrıldıysa; B, S, H parametreleri atımların gruplara ayrılmasında (farklılaşmasında) öne çıkan parametreler olarak tespit edilebilir. Bir başka deyişle iki grubu birbirinden ayıran temel patlatma parametrelerinin neler olduğu belirlenebilir, iki atım grubu arasındaki farklar bulunur.

- Grupları birbirinden ayırmak için en duyarlı yol tespit edilebilir. Örneğin 100 adet atım kaya kütle özelliklerine göre üç gruba ayrılıp değerlendirilmek istenirse, bu üç grubun en duyarlı şekilde nasıl oluşturulacağına ayırma analizi yoluyla karar verilebilir.
- Regresyon analizine benzer şekilde bağımlı değişkendeki değişimin bağımsız değişkenler tarafından ne kadar açıklanabildiği tespit edilebilir. Bu durum özellikle Bölüm 8'de atımların parçalanma indeksine göre değerlendirilmesi sırasında daha ayrıntılı anlatılacaktır.
- Atımları gruplara ayırma işlemi sırasında bağımsız değişkenlerin birbirine göre göreceli olarak önem sırası tespit edilebilir. Bu çalışmadaki atımlar örnek verilirse; S/B, H/B, T/B, elastisite modülü (E), özgül şarj (Pf) gibi parametrelerin grupların oluşmasında birbirlerine göre önem sırası ortaya konabilir.

Ayırma analizinde bağımsız değişkenler "Ayırıcı Değişkenler" olarak tanımlanmaktadır. Tez çalışmasındaki ayırıcı değişkenler 7 adet patlatma tasarım ve kayaç parametreleridir. Bağımlı değişken ise "Kriter Değişkeni" olarak tanımlanmakta ve grupları göstermektedir. Burada atımlar iki gruba ayrıldığı için 2 adet kriter değişkeni vardır. Bunlar kullanılan SPSS programında 1 ve 2 rakamlarıyla tanımlanmaktadır. Böylece daha evvel kümeleme analizinde elde edilen iki grup, ayırma analizine tabi tutulabilir (Manly, 2000).

Ayırma analizinde bağımsız değişkenlerin lineer kombinasyonuyla bir ayrım fonksiyonu (kanonik kök) elde edilir. Bu fonksiyon genel olarak doğrusal regresyon denklemine benzer:

$$L= a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3\ldots\ldots\ldots\ldots + a_nx_n + b \qquad \textbf{(7.9)}$$

Burada a'lar ayrım katsayıları, x'ler ayırıcı değişken, b ise sabittir (Manly, 2000). Ayrım denklemi sayısı grup sayısından bir eksiktir.

7.5.2 Ayırma analizinin uygulanması

Genel olarak ayırma analizi Wilks' Lambda adı verilen bir tür F testine göre çalışır. Eğer bu F testi anlamlı çıkarsa her bir bağımsız parametre incelenir. Grup ortalamaları en fazla sapan (birbirinden farklılık gösteren) parametreler bağımlı değişkeni sınıflandırmak için kullanılır. Çizelge 7.8'de gerçekleştirilen ayırma analizine ait özet değerler görülmektedir (Garson, 2009).

Çizelge 7.8 : Ayırma analizinin özet tablosu.

Fonksiyon	Eigenvalue	% Varyans	Kümülatif %	Kanonik korelasyon
1	18,095	100,0	100,0	0,973

Eigenvalue ayrım fonksiyonunun karakteristik kökü olarak tanımlanır. Her fonksiyon için bir adet eigenvalue hesaplanmaktadır. Eigenvalue ayrımı oluşturan fonksiyonların birbirine göre önemini (ayırma kapasitesini) tanımlamak için kullanılmakta; bağımlı değişkendeki değişimin açıklanma yüzdesini ortaya koymaktadır. Burada iki gruba ayırma yapıldığı için yalnızca bir tek kanonik ayrım fonksiyonu vardır. Eğer ikiden fazla gruba ayırma söz konusu olursa ayrım fonksiyonunun sayısı da artacaktır. Eigenvalue değerine bakılarak hangi fonksiyonun gruplara ayırmada daha etkin olduğu görülebilmektedir. Büyük eigenvalue'ye sahip fonksiyon ayırmada daha etkin olacaktır (Manly, 2000, Garson, 2009)

Kanonik korelasyon katsayısı regresyon analizindeki korelasyon katsayısına benzer. Ayrım fonksiyonunun iki grup arasındaki ayrımı ne derece etkin olarak ifade ettiğini göstermektedir (Kendall, 1980, Anderson, 1984). Burada görüldüğü üzere çok yüksek bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Çizelge 7.8'deki üçüncü kolon, ayrım fonksiyonunun varyansı (burada değişimi) ne derece açıkladığını göstermektedir. Dördüncü kolon ise fonksiyonun varyansı ne derece açıkladığını kümülatif olarak göstermektedir. Burada tek fonksiyon olduğu için her iki değerde 100'dür.

Çizelge 7.9 : Grup ortalamalarının eşitlik testi.

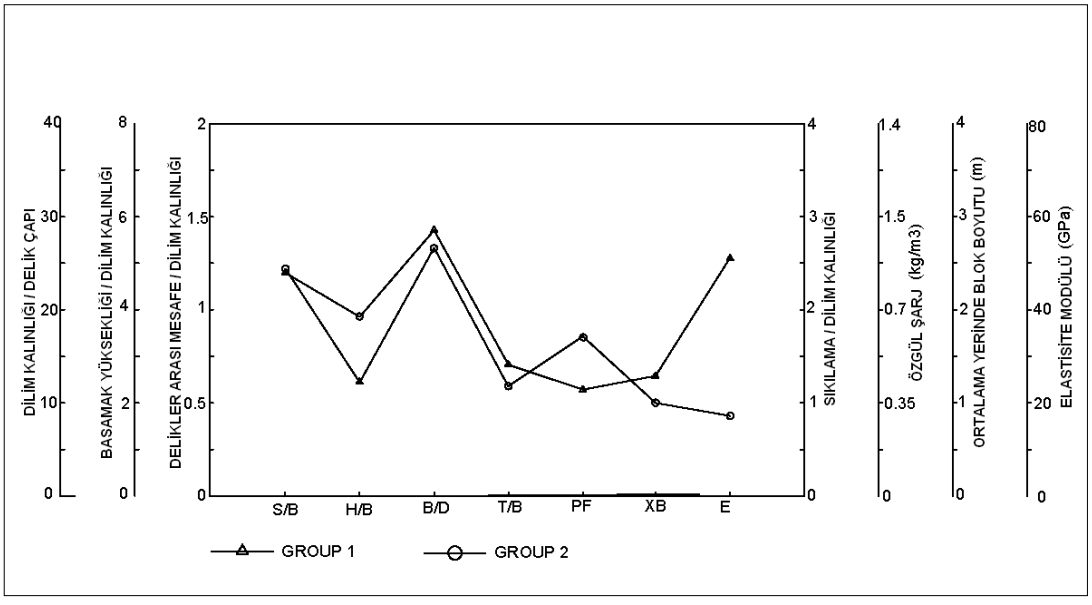
	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Anlamlılık
S/B	0,988	0,971	1	95	0,280
H/B	0,826	16,548	1	95	0,000
B/D	0,965	2,509	1	95	0,068
T/B	0,972	3,691	1	95	0,103
Pf	0,841	15,170	1	95	0,000
X_B	0,932	10,586	1	95	0,010
E	0,161	540,765	1	95	0,000

Çizelge 7.9'da grup ortalamalarının eşitliği test edilmektedir. Bu bir ANOVA yani varyans analiz tablosudur. Her satırda bağımsız değişken için tek yönlü varyans analizi gerçekleştirilmektedir. Wilks' Lambda varyansın çok değişkenli analizi için (MANOVA) kullanılan bir test istatistiğidir (Huberty ve Olejnik, 2006, Tabachnick ve Fidell, 2007). Belirlenen grup ortalamalarının eşitliği (farkı) bağımlı değişkenler göz önüne alınarak test edilmektedir.

Eğer F testi ve df1, df2 değerleri ile elde edilen anlamlılık değerleri 0,10'dan büyükse bu durum; o parametrenin ayrımın oluşmasına ve ayrım fonksiyonunun geliştirilmesine katkısının olmadığını veya düşük olduğunu göstermektedir. Buna göre S/B ve T/B 'nin grupların oluşmasında etkisi düşüktür. df1 ve df2 serbestlik dereceleridir. Bunlar veri matrisinin geometrik yapısıyla ilgili parametrelerdir. df1 toplam grup sayısının bir eksiğidir. df2 ise toplam veri sayısından grup sayısı çıkarılarak bulunmaktadır (SPSS Base, 2008).

Wilks' Lambda değeri bir parametrenin modele (ayrıma) katkısını göstermektedir. Wilks' Lambda değeri küçüldükçe, o parametrenin ayrım fonksiyonunun oluşmasındaki etkisi artmaktadır. Wilks' Lambda testi 0 ile 1 arasında değer almaktadır (Huberty ve Olejnik, 2006, Garson, 2009). Çizelge 7.9'da net olarak görüldüğü üzere elastisite modülü diğerlerine göre çok daha küçük bir Wilks' Lambda değerine sahiptir. Yani iki grup arasındaki temel fark elastisite modülü değeridir.

Bundan sonra elastisite modülüne göre nispeten çok küçük olsa da iki grup arasındaki farklılığı oluşturan parametreler H/B ve Pf olarak gözükmektedir. İki grup arasındaki farkı görsel olarak daha net izleyebilmek için, ortalama vektör grafiği incelenebilir (Şekil 7.7).



Şekil 7.7 : İki grup için ortalama vektör grafiği.

Standartlaştırılmış kanonik ayrım fonksiyonu katsayıları (Çizelge 7.10) bağımlı değişkeni hesaplarken bağımsız değişkenin göreceli olarak önemini ortaya koyar. Bir başka deyişle değişkenlerin ayrım kapasitesini ortaya koymaktadır. Genel olarak Wilks' Lambda değerine benzer sonuçlar elde edilmekle birlikte bazen ufak sapmalar görülebilmektedir (Klecka, 1980, Garson, 2009).

Çizelge 7.10 : Standartlaştırılmış kanonik ayrım fonksiyonu katsayıları.

Değişken	Katsayı
S/B	-0,521
H/B	-0,822
B/D	-0,587
T/B	1,097
Pf	-0,653
X_B	0,160
E	1,497

Çizelge 7.11'de yapı matrisi görülmektedir. Yapı matrisi her bir değişkenin kanonik ayrım fonksiyonuyla olan korelasyonunu göstermektedir. Ayrım fonksiyonuyla en yüksek korelasyona sahip değişkenlerin saptanması bu değişkenlerin daha yakından incelenmesi imkanını verebilir. Yapı matrisi birden çok fonksiyon olduğunda fonksiyonları adlandırmak için de kullanılabilmektedir. Örneğin buradaki fonksiyon, 'Elastik Modül Fonksiyonu' olarak adlandırılabilir (Perçin, 2005, Tabachnick ve Fidell, 2007).

Çizelge 7.11 : Yapı matrisi.

Değişken	Katsayı
E	0,536
H/B	-0,108
Pf	-0,102
X_B	0,063
B/D	0,045
T/B	0,040
S/B	-0,026

Çizelge 7.12'de standartlaştırılmamış ayrım fonksiyonu katsayıları görülmektedir. Standartlaştırılmamış ayrım fonksiyonu katsayıları bu çalışmada kullanılacak olan ayrım fonksiyonu denkleminin katsayılarıdır. Ayrım fonksiyonu yazılırken bu katsayılar kullanılmaktadır (SPSS Base, 2008).

Çizelge 7.12 : Standartlaştırılmamış ayrım fonksiyonu katsayıları.

Değişken	Katsayı
S/B	-4,467
H/B	-0,551
B/D	-0,123
T/B	1,642
Pf	-3,005
X_B	0,309
E	0,208
Sabit	3,577

Buna göre ayrım fonksiyonu aşağıdaki şekilde oluşmuştur:

$$L=-4,467\,(S/B) - 0,551\,(H/B) - 0,123\,(B/D) + 1,642\,(T/B) - 3,005\,(Pf) + 0,309\,(X_B) + 0,208\,(E) + 3,577 \quad \textbf{(7.10)}$$

Grup merkezleri (centroids) sırasıyla 1. Grup için 5,60, 2. Grup için -3,16 bulunmuştur. Burada grup merkezi ifadesi ortalama değeri ifade etmektedir. Yani ayrım fonksiyonu her iki gruptaki veriye uygulanıp sonuçlar (ayrım skorları) incelenirse; birinci grubun ortalama değeri 5,60, ikinci grubun ortalama değeri -3,16 olacaktır. Bu iki değer ayrım skorları arasındaki farkı, yani ayrımın keskinliğini görmek için kullanılabilir (Tabachnick ve Fidell, 2007, SPSS Base, 2008).

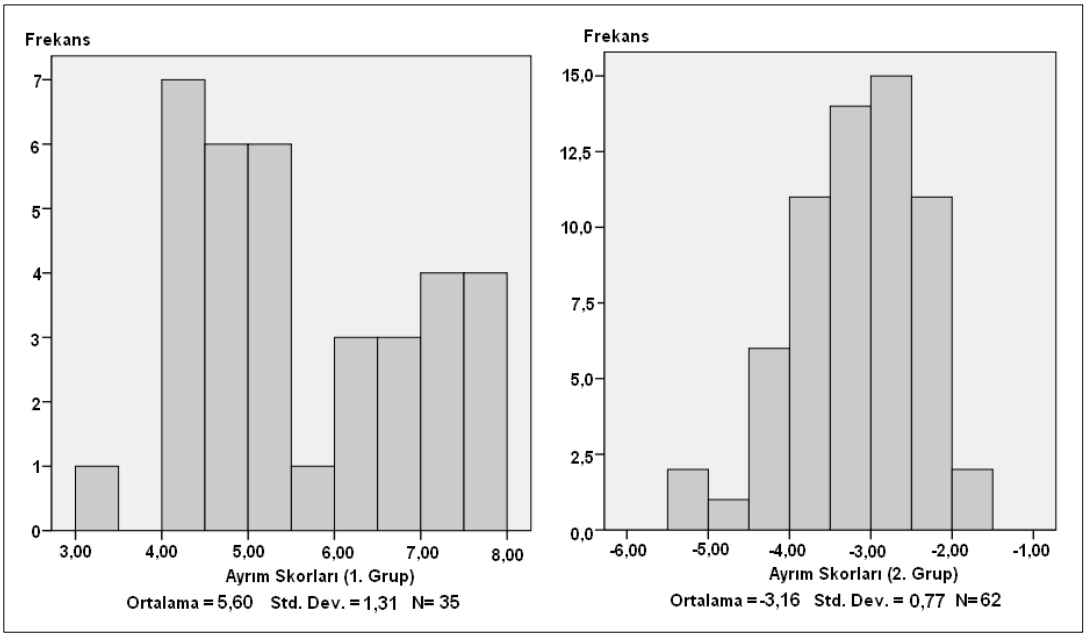
Çizelge 7.13'de ayırma analiziyle gerçekleştirilen sınıflandırmanın sonucu görülmektedir. 1. Grup'ta yer alan 35 atımında 1. Grup'ta bulunması doğrudur. 2. Grup'daki 62 atımın tamamının 2. Grup içinde olması gerektiğine karar verilmiştir. Atımlar %100 doğru bir şekilde sınıflandırılmıştır. Burada ayırma analizindeki yüksek başarı, kümeleme analiziyle atımları iki gruba ayırmanın doğru olduğunu teyid etmektedir.

Çizelge 7.13 : Sınıflandırma sonucu.

	Grup	Tahmine dilen grup üyeliği		Toplam
		1	2	
Atım sayısı	1	35	0	35
	2	0	62	62
%	1	100,0	0,0	100,0
	2	0,0	100,0	100,0

Ayrım skorları, elde edilen ayrım fonksiyonunun her bir atıma uygulanmasıyla elde edilen sonuçtur. Bu sonuçlara göre atımların hangi gruba atanacağına karar verilmektedir (Klecka, 1980, SPSS Base, 2008).

Şekil 7.8'de görüldüğü üzere, 1. Grup için ortalama ayrım skoru değeri 5,60'tır. Ayrım skoru değerleri 3,12 ile 7,85 arasında değişmektedir. 2. Grup için ayrım skorlarının ortalama değeri -3,16'dır. 2. Grup atımların ayrım skoru değerleri -5,32 ile -1,92 arasında değişmektedir. Ayrımın keskinliği grup ortalamalarındaki farktan da rahatlıkla anlaşılabilmektedir.



Şekil 7.8 : Ayırma analizi sonrası iki grup için elde edilen ayrım skorları.

Ayrım fonksiyonunun yeni atımların hangi grupta değerlendirileceğine karar verilirken kullanılabileceği belirtilmişti. Burada gerçekleştirilen ayrım oldukça nettir. Elastisite modülü ana ayırıcı parametre olduğu için, elastisite modülü değerine bakılarak (tabi ki diğer parametrelerde göz önüne alınarak) yeni bir atımın hangi grupta yer alması gerektiğine karar verilebilir. İki grubu birbirinden ayıran elastisite modülü sınır değerinin yaklaşık 40 GPa civarında olduğu söylenebilir. Ancak zor, marjinal örneklerle de karşılaşılabilir. Çizelge 7.14'de örnek olarak verilen 5 atım görülmektedir. Bu atımlar, atım veritabanında kullanılan atımlarla benzerlik göstermektedir. Yalnızca elastisite modülü değerleri değiştirilmiştir. Görüldüğü üzere elastisite modülü değerleri iki grubun net olarak içine dahil edilemeyecek sınıra yakın bir değerdir.

Çizelge 7.14 : Grupları tespit edilmemiş beş örnek atım.

No	B (m)	S (m)	D (mm)	H (m)	L (m)	T (m)	Pf (kg/m^3)	X_B (m)	E (GPa)
1	2,5	3	76	10	11	1,5	0,56	1,03	38,00
2	6	7	229	10	11	7,3	0,31	1,80	38,00
3	2,5	3	100	6	6,5	3,5	0,28	0,50	38,00
4	6	6	270	15	18	10	0,71	0,17	38,00
5	2,2	2,7	89	15	16	3	0,84	0,86	38,00

Atımların hangi gruba dahil olduğunu kestirmek için ayrım fonksiyonu atımlara uygulanarak ayrım skorlarına bakılabilir. Örnek olarak 2 nolu atım formüle uygulanırsa;

L=-4,467 (*1,17*) - 0,551 (*1,67*) - 0,123 (*26,20*) + 1,642 (*1,22*) - 3,005 (*0,31*) + 0,309 (*1,80*) + 0,208 (*38*) + 3,577

L=3,74 değeri elde edilir.

Çizelge 7.15'de 5 örnek atıma ayrım fonksiyonunun uygulanması ile elde edilen sonuçlar görülmektedir. 1. ve 5. atımların hesaplanan skor değerleri -5,32 ile -1,92 arasında değişen düşük elastisite modülü değerine sahip 2. Grup atımlara yakındır. Bu iki atım 2. Grup atım olarak değerlendirilip, parça boyutu kestirimi yapılır. 2, 3, 4 No'lu atımların skor değerleri ise 1. Grup atımlara yakındır. Bu atımlarda 1. Grup atım olarak değerlendirilerek parça boyut kestirimi yapılır.

Çizelge 7.15 : Beş örnek atımın grup tespit çizelgesi.

No	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m^3)	X_B (m)	E (GPa)	Ayrım Skorları (L)	Atanılan Grup	Atanılan grubun Skor aralığı
1	1,20	4,00	32,89	0,60	0,56	1,03	38,00	-0,51	2	-5,32 – -1,92
2	1,17	1,67	26,20	1,22	0,31	1,80	38,00	3,74	1	3,12 – 7,85
3	1,20	2,40	25,00	1,40	0,28	0,50	38,00	3,33	1	3,12 – 7,85
4	1,00	2,50	22,22	1,69	0,71	0,17	38,00	3,60	1	3,12 – 7,85
5	1,23	6,81	24,72	1,36	0,84	0,86	38,00	-0,69	2	-5,32 – -1,92

Bu noktada, veri tabanındaki atımların kayaç özelliğine göre (elastisite modülü) iki gruba ayrımı gerçekleştirilmiştir. Grup farklılıkları test edilmiş ve ayırma denklemi elde edilmiştir. Bundan sonraki aşama bu iki farklı grup için uygun ortalama parça boyutu kestirim denkleminin elde edilmesi olacaktır. Böylece kayacın deformasyon özelliğine göre iki farklı yaklaşım geliştirilecektir. Parçalanma denklemlerinin geliştirilmesi için kullanılacak olan yöntem çok değişkenli regresyon analizidir.

7.6 Çok Değişkenli Regresyon Analizi (3.Aşama)

7.6.1 Çok değişkenli regresyon analizi yönteminin amacı ve esasları

Çok değişkenli regresyon genellikle bir değişkenin değişimini tahmin etmek için kullanılır. Regresyon analizi gerçekleştirirken bağımlı ve bağımsız değişkenlerden söz etmek mümkündür. Bağımlı değişkenler regresyon analizinde tahmin edilmek istenen değişkenlerdir. Bağımsız değişkenler ise bağımlı değişkenin tahmininde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, tahmin edilecek olan bağımlı değişken ortalama parça boyutudur. Bağımsız değişkenler ise sırasıyla S/B, H/B, B/D, T/B, Pf, ortalama yerinde blok boyutu (X_B) ve elastisite modülü (E) değeridir.

Regresyon analizi aslında biri bağımlı değişken diğeri bağımsız değişken (veya değişkenler) olmak üzere; değişkenler arasındaki ortalama ilişkinin matematik bir fonksiyon şeklinde yazılmasıdır (Şıklar, 2000). Belirli değişkenler arasında kurulmak istenen bu fonksiyonel ilişki mühendislik ya da bilimsel teoriye göre kurulduğunda, bu tip modeller mekanistik modeller olarak adlandırılır. Diğer yandan regresyon modelleri deneysel modeller olarak değerlendirilir. (Montgomery ve diğ, 2006). Aşağıda tipik bir lineer regresyon denklemi görülmektedir. Burada 'x' değerleri bağımsız değişkenleri, 'b' değerleri bağımsız değişkenlerin katsayılarını, 'c' değeri ise sabit sayıyı göstermektedir.

$$y = b_1x_1 + b_2x_2 + ... + b_nx_n + c \qquad \textbf{(7.11)}$$

Bu çalışmada lineer regresyon uygulanmış; ve literatürdeki genel teamüle uyarak (Kuz-Ram vb.) bir doğrusal olmayan denklem (üstel) ortaya konmuştur. Bu denklemin görünümü 7.12'deki şekilde olacaktır.

$$y= a.x_1^{b1}. x_2^{b2}\ldots\ldots\ldots\ldots x_n^{bn} \qquad \textbf{(7.12)}$$

Bunu gerçekleştirmek için üstel fonksiyon logaritmik fonksiyon değişiminden yararlanılır. Öncelikle tüm verilerin 10 tabanına göre logaritması alınır. Bu şekilde regresyon analizi gerçekleştirilir. Bu regresyon analizi sonunda elde edilen katsayılar, bağımsız değişkenlerin üs halindeki katsayılarıdır. Doğrusal regresyon analizi sonucu elde edilen sabit sayı logaritmik değerden tekrar reel sayıya dönüştürülür (ters logaritması alınır).

7.6.2 Çok değişkenli regresyon modelinin oluşturulması

Aşağıda 1. Grup ve 2. Grup atımlar için çok değişkenli regresyon ile elde edilen denklemler ortaya konmaktadır. Böylece düşük elastisite modülüne sahip ve yüksek elastisite modülüne sahip kayaçlar için ayrı ayrı ortalama parça boyutu kestirim denklemleri geliştirilecektir. Çizelge 7.16'da yüksek elastisite modülüne sahip kayaçlar için geliştirilen denklem ile, bu denkleme ait istatistikler ve varyans analizi görülmektedir.

$$x_{50} = 208.(S/B)^{2.788}.(H/B)^{0.112}.(B/D)^{0.027}.(T/B)^{-0.321}.(Pf)^{-0.360}.(X_B)^{0.233}.(E)^{-1.802} \quad \textbf{(7.13)}$$

Çizelge 7.16 : Model istatistikleri ve varyans analizi I.

Model Özeti				
R	R^2	Ayarlanmış R^2	Standart Sapma	Gözlem
0,841	0,708	0,632	0,0916	35

Varyans Analizi (ANOVA)					
	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Anlamlılık
Regresyon	0,551	7	0,079	9,356	0,000
Artık	0,227	27	0,008		
Toplam	0,778	34			

Çizelgede 'R'çoklu korelasyon katsayısı olarak adlandırılır ve bağımlı değişkenin gözlenen değerleri ile model yoluyla hesaplanan değerleri arasındaki doğrusal korelasyonu verir. Bu değerin büyüklüğü (1'e yakınlığı) iki değer arasındaki güçlü ilişkiyi göstermektedir. Çoklu regresyonun karesi (R^2) belirlilik katsayısı olarak adlandırılmaktadır. R^2 bağımsız değişkenlerin birlikte etkisiyle, bağımlı değişkendeki değişimin açıklanma yüzdesini göstermektedir. 1'e yaklaşan R^2 regresyonun etkinliğini ortaya koymaktadır (Şıklar, 2000, Tabachnick ve Fidell, 2007).

Varyans analizi bölümündeki 'Kareler Toplamı' sütununun Regresyon kısmı; bağımlı değişkendeki değişimin açıklanan kısmını; artık bölümü ise regresyon modeli ile bağımlı değişkendeki açıklanamayan değişim miktarını göstermektedir. Bu tabloya göre bağımlı değişkendeki değişimin %70'den fazlası oluşturulan modelle açıklanmıştır. F istatistiği regresyon modelinin anlamlılığını test etmek için uygulanmaktadır. Eğer anlamlılık değeri 0,05'in altındaysa, model tarafından açıklanan değişim şans eseri değildir (Montgomery ve diğ., 2006, Öztürkcan, 2009). Diğer bir ifade ile x_{50} ile 7 bağımsız değişken arasında lineer ilişki olmadığını öne

süren sıfır hipotezi reddedilir. Çizelge 7.16'da görüldüğü üzere hesaplanan F değerine göre geliştirilen modelin anlamlı olduğu sonucu çıkmıştır.

7.14 denklemi ise 2. Grup atımlar için (düşük elastisite modülü) geliştirilmiştir. Burada görüldüğü üzere R^2 değeri ilk formüle göre biraz daha yüksektir. Yine sıfıra çok yakın bir anlamlılık değeri elde edilmiştir. Bu durum, regresyon bağının güçlü olduğunu göstermektedir (Çizelge 7.17).

$$x_{50} = 0{,}60.(S/B)^{0.547}.(H/B)^{0.535}.(B/D)^{0.427}.(T/B)^{-0.101}.(Pf)^{-0.115}.(X_B)^{0.434}.(E)^{-1.202} \quad \textbf{(7.14)}$$

Çizelge 7.17 : Model istatistikleri ve varyans analizi II.

Model Özeti

R	R^2	Ayarlanmış R^2	Standart Sapma	Gözlem
0,859	0,739	0,705	0,1194	62

Varyans Analizi (ANOVA)

	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Anlamlılık
Regresyon	2,178	7	0,311	22,808	0,000
Artık	0,770	54	0,014		
Toplam	2,949	61			

Formüllere bakıldığında Pf'nin katsayısının beklenildiği üzere negatif, X_B'nin katsayısının ise pozitif olduğu görülmektedir. Yani özgül şarjın artışıyla parça boyut dağılımı küçülmekte, yerinde blok boyutunun artışıyla büyümektedir. Elastisite modülü değerinin katsayısı negatiftir. Elastisite modülünün yükselmesi ile ortalama parça boyutu küçülmektedir. Elastisite modülü kayacın sağlamlığının göstergesidir. Elastisite modülü arttıkça kayaç daha zor deforme olmakta, rijit bir yapı göstermektedir. Elastisite modülünün artışı, kayacı daha kolay parçalanır bir hale getirmektedir. (Bhandari, 1997, Kulatilake, 2008, Kemeny, 2008).

Patlatma tasarım parametrelerinin (S/B, H/B, B/D, T/B) katsayıları beklenen değerler halindedir. Bu parametrelerin katsayılarının değişimi bir ölçüde geliştirilen modellerin yapısı ile ilgilidir. Literatürde patlatma tasarım parametrelerinin katsayıları ile ilgili bir konsensüs yakalamak güçtür (Ouchterlony, 2003). Bu noktadan sonra, geliştirilen modellerin atımlar üzerinde denenerek yetkinliğinin belirlenmesi gerekmektedir.

7.7 Parçalanma Modelinin Testi

Geliştirilen formüller Çizelge 7.18'deki test atımları üzerinde uygulanmış, elde edilen tahmini ortalama parça boyutu değerleri, gerçek ortalama parça boyutu değerleriyle karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda geliştirilen modelin yetkinliğini görmek için Kuznetsov denklemiyle elde edilen tahmini ortalama parça boyutu değerleri hesaplanarak karşılaştırma yapılmıştır. Parçalanma modeli kurulurken kullanılan literatür atımlarının 8 adedi modelin testi için ayrılmıştır ve burada kullanılacaktır. Geliştirilen parçalanma kestirim denklemleri bu ayrılan atımlar üzerinde ve modele dahil edilmeyen Cendere Bölgesi Ocakları'nda ölçülen 43 atım üzerinde test edilecektir.

Çizelge 7.18'deki ilk 4 atım yüksek elastisite modülüne sahip kayaçta gerçekleştirilmiştir, dolayısıyla bu atımların parça boyutu '1. Parçalanma Tahmin Denklemi' kullanılarak hesaplanmıştır. Diğer atımlar düşük elastisite modülüne sahip kayaçta gerçekleştirilen atımlardır. Bu atımlara, düşük elastisite modülüne sahip kayaç atımları için geliştirilen '2. Parçalanma Tahmin Denklemi' tatbik edilecektir.

Çizelge 7.18'de; ölçülen ortalama parça boyutu $\mathbf{x_{50}}$ sütununda, parçalanma denklemleriyle tahmin edilen ortalama parça boyutu $\mathbf{x_{50Mod}}$ ve Kuznetsov denklemiyle tahmin edilen ortalama parça boyutu ise $\mathbf{x_{50Kuz}}$ sütunlarında gösterilmektedir.

Kuznetsov denklemindeki kayaç faktörünün tespiti için, araştırmacıların yayınları kayaç özellikleri açısından taranmış ve her atım grubu için uygun kayaç faktörü belirlenmiştir. Kayaç faktörü; masif, az çatlaklı kayaca sahip Enusa ve Reocin madenleri için 12, Murgul madeni için 10, orta kalite kayaca sahip Mrica, Soma ve Cendere Bölgesi ocakları için 7'dir. Kayaç parametresi, zayıf kayaca sahip Dongri−Buzurg ve Miami madenleri için 4 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 7.18'de görüldüğü üzere yüksek elastisite modülüne sahip kayaçlarda (ilk dört atım) Kuznetsov denkleminin de, bu tezde geliştirilen denklemin de tahmin kapasitesinin birbirine yakın olduğunu söylemek mümkündür. Düşük elastisite modülüne sahip kayaçlarda ise bu çalışmada geliştirilen modelin hassasiyeti daha yüksektir. Özellikle Mi7 ve Sm8 atımlarında çok başarılı tahminler yapılmıştır.

Çizelge 7.18 : Test atımlarının değerlendirilmesi.

	Atım Kodu	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m^3)	X_B (m)	E (GPa)	X_{50} (m)	X_{50Mod} (m)	X_{50Kuz} (m)
YÜKSEK ELASTİSİTE MODÜLÜ	En13	1,24	1,33	27,27	0,78	0,48	1,11	60,00	0,47	0,39	0,48
	Ru7	1,13	5,00	39,47	3,11	0,31	2,00	45,00	0,64	0,51	0,71
	Mg8	1,10	2,40	30,30	0,80	0,55	1,23	50,00	0,44	0,40	0,42
	Mg9	1,00	2,67	27,27	0,89	0,75	0,77	50,00	0,25	0,24	0,33
DÜŞÜK ELASTİSİTE MODÜLÜ	Mr12	1,25	6,25	31,58	0,63	0,48	1,03	32,00	0,20	0,14	0,27
	Db10	1,15	4,35	20,00	1,75	0,89	1,00	9,57	0,35	0,32	0,09
	Mi7	1,00	1,67	33,33	0,70	0,47	0,09	10,00	0,08	0,09	0,20
	Sm8	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	0,50	13,25	0,18	0,17	0,38
	1	1,25	3,50	22,47	1,25	0,76	3,11	16,90	0,22	0,28	0,17
	2	1,25	3,50	22,47	1,25	0,76	2,72	16,90	0,15	0,26	0,17
	3	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	2,86	16,90	0,17	0,26	0,18
	4	1,23	2,50	24,72	1,14	0,57	1,85	16,90	0,21	0,20	0,20
	5	1,20	4,00	28,09	1,20	0,56	1,41	16,90	0,20	0,24	0,23
	6	1,12	2,80	28,09	1,20	0,49	1,48	16,90	0,23	0,19	0,23
	7	1,00	2,80	28,09	1,00	0,60	1,58	16,90	0,19	0,19	0,20
	8	1,20	5,20	28,09	1,60	0,61	1,62	16,90	0,21	0,28	0,23
	9	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	2,72	16,90	0,23	0,25	0,18
	10	1,12	2,80	28,09	1,20	0,49	0,96	16,90	0,15	0,16	0,23
	11	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	0,47	16,90	0,15	0,12	0,18
	12	1,20	2,80	28,09	1,00	0,50	1,49	16,90	0,17	0,21	0,23
	13	1,12	2,40	28,09	1,00	0,50	2,70	16,90	0,20	0,24	0,22
	14	1,25	3,00	22,47	1,00	0,79	0,76	16,90	0,14	0,14	0,16
	15	1,25	2,50	22,47	1,25	0,74	0,78	16,90	0,15	0,13	0,17
	16	1,25	3,50	22,47	1,25	0,76	0,90	16,90	0,13	0,15	0,17
	17	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	0,98	16,90	0,14	0,16	0,18
	18	1,12	2,40	28,09	1,00	0,50	1,24	16,90	0,17	0,17	0,22
	19	1,23	3,18	24,72	1,14	0,64	0,97	16,90	0,15	0,17	0,19
	20	1,23	2,50	24,72	1,14	0,57	2,94	16,90	0,23	0,24	0,20
	21	1,12	2,80	28,09	1,00	0,54	0,91	16,90	0,13	0,16	0,22
	22	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	1,16	16,90	0,13	0,17	0,18
	23	1,20	4,00	28,09	1,20	0,56	0,62	16,90	0,12	0,16	0,23
	24	1,20	3,20	28,09	1,20	0,48	1,76	16,90	0,20	0,23	0,24
	25	1,25	3,25	22,47	1,25	0,71	1,82	16,90	0,18	0,21	0,17
	26	1,12	2,80	28,09	1,00	0,54	0,60	16,90	0,13	0,13	0,22
	27	1,23	2,50	24,72	1,14	0,57	1,98	16,90	0,21	0,20	0,19
	28	1,25	3,25	22,47	1,25	0,71	2,13	16,90	0,17	0,23	0,17
	29	1,25	3,50	22,47	1,25	0,76	1,42	16,90	0,14	0,20	0,17
	30	1,20	4,40	28,09	1,20	0,58	1,46	16,90	0,21	0,25	0,23
	31	1,11	4,44	18,95	1,67	1,25	1,63	16,90	0,21	0,19	0,12
	32	1,28	3,61	18,95	1,67	0,89	0,62	16,90	0,20	0,13	0,14
	33	1,25	3,00	22,47	1,25	0,70	0,66	16,90	0,12	0,13	0,17
	34	1,10	3,50	21,05	1,25	0,98	1,38	16,90	0,20	0,17	0,14
	35	1,10	3,50	21,05	1,25	0,91	1,87	16,90	0,16	0,20	0,14
	36	1,00	2,40	28,09	1,00	0,56	1,37	16,90	0,14	0,16	0,20
	37	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	1,96	16,90	0,18	0,22	0,18
	38	1,25	3,00	22,47	1,25	0,70	0,98	16,90	0,13	0,16	0,17
	39	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	0,82	15,00	0,23	0,17	0,22
	40	1,11	3,33	30,34	1,11	0,47	0,54	15,00	0,17	0,17	0,25
	41	1,20	3,20	28,09	1,20	0,48	1,90	15,00	0,24	0,28	0,24
	42	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	1,65	15,00	0,20	0,22	0,22
	43	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	2,62	15,00	0,23	0,28	0,22

Cendere Bölgesi'nde gerçekleştirilen atımlar incelendiğinde, geliştirilen formülün gerçek parça boyut değerine oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Özellikle atım numarası koyu ve altı çizili olarak gösterilen; 4, 7, 10, 14, 18, 20, 26, 27, 33 ve 40 no'lu atımlarda gerçek değere çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Genel olarak bakıldığında geliştirilen formülün Kuznetsov denklemine göre daha başarılı olduğu görülmektedir.

Tablo 7.19'da tez çalışması kapsamında geliştirilen formüller ile Kuznetsov denklemiyle elde edilen sonuçların karşılaştırması verilmektedir. Çizelge 7.19'a bakarak Çizelge 7.18'de sonuçları ayrıntılı olarak verilen iki modelin arasındaki fark rahatlıkla görülebilir. Çok değişkenli analiz çalışmalarında model çok sayıda veriyle test edildikten sonra; modelin tahmin kapasitesi genellikle Karekök Hata Kareleri Ortalaması RMSE (Root Mean Squared Error) kullanılarak hesaplanmaktadır. Formül 7.15 ile gösterilen RMSE'yi hesaplamak için; her seride gerçek veriden model ile hesaplanan değer çıkarılarak tahmin hatası bulunur. Negatif ve pozitif işaretten kurtulmak için karesi alınan değerler toplanıp veri sayısına bölünerek karekökü alınır. RMSE kısaca modelin yaptığı ortalama hatayı vermektedir. Düşük RMSE, düşük tahmin hatası yapıldığını göstermektedir (Grima ve Babuska, 1999, Vasques ve diğ., 2008). Aşağıdaki formülde 'y_i' her veri için ölçülen ortalama parça boyutunu, 'x_i' tahmin edilen ortalama parça boyutunu, 'n' ise veri sayısını göstermektedir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - x_i)^2} \qquad \textbf{(7.15)}$$

Çizelge 7.19 : Model denetleme parametreleri.

Denetleme Parametresi	Düşük E test atımları (47 adet)		Tüm test atımları (51 adet)	
	X_{50Mod}	X_{50Kuz}	X_{50Mod}	X_{50Kuz}
RMSE	0,048	0,068	0,051	0,067
Diğer modelden daha iyi tahmin sayısı	26	17	27	20
≤2 cm hata ile tahmin sayısı	20	18	21	20
≤3 cm hata ile tahmin sayısı	27	22	28	24
Eşit hata ile tahmin sayısı	4		4	

7.8 Geliştirilen Modelin Getirdiği Yenilikler ve Üstünlükler

- Burada ilk defa birbirini takip eden safhalar halinde çok değişkenli analiz kullanılarak bir parçalanma modeli geliştirilmiştir. Çok değişkenli analiz, kümeleme, regresyon ve ayırma analizi olmak üzere üç ayrı adımda uygulanmıştır. Çok değişkenli analiz ile kayaç deformasyon özelliğine göre sınıflandırılmıştır. Böylece veriler arası değişkenlik azaltılmış, oluşturulan denklemlerin tahmin kapasitesi yükseltilmiştir.

- Geliştirilen model karmaşık değildir, pratik uygulamaya yatkındır. Arazide görev yapan mühendisler tarafından kolaylıkla kullanılabilir. Modele dahil edilen kayaç parametrelerinin (X_B ve E) tespiti güç değildir. Modelin kullandığı kayaç parametreleri patlatmayla ilgili olarak literatürde en ileri seviyede kabul gören parametrelerdendir. Kimi modellerin içerdiği kullanımı güç kayaç parametrelerini (Örneğin Saroblast modelindeki empedans) içermemektedir.

- Model parça boyutu kestiriminde oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Modelin testi mümkün olduğunca en yüksek sayıda atıma uygulanarak gerçekleştrilmiştir.

- Bazı parçalanma modelleri kayaç faktörünü belirlemek için sınıflandırmalar kullanmaktadır. Kaya kütle sınıflandırmalarında da sıkça rastlanan bu durum kullanıcı yorumuna açıktır (Örneğin Kuz-Ram'da JPA değerinin tespiti). Geliştirilen modelde kullanıcı yorumu düşüktür. Kayacın gruplandırılması verinin doğasına uygun olarak kümeleme analiziyle gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen yeni atımların grubu yoruma gerek kalmadan lineer ayrım denklemiyle tespit edilmektedir.

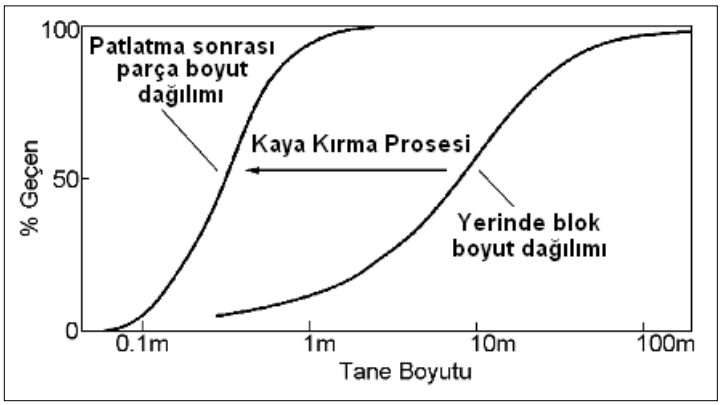
- Modeli oluşturan veri çeşitliliği çok yüksektir. 9 ayrı madenden gelen 97 atım kullanılmıştır. Atım çeşitliliği ve veri sayısının yüksekliği modelin en güçlü yönlerinden biridir.

- Model hemen hemen bütün patlatma tasarım parametrelerini içermekte ve literatürdeki birçok modelin içermediği parametreleri de bünyesinde barındırmaktadır. Örneğin iri parçaların oluşmasından sorumlu olduğu düşünülen sıkılama mesafesi (T) modele dahildir.

8. PARÇALANMA İNDEKSİ KESTİRİM MODELİ

8.1 Parçalanma İndeksi Kavramı

Patlatma ile kayaç kırma işlemi aslında bir boyut küçültme prosesidir. Patlatma öncesi yerinde blok boyut dağılımından, patlatma sonrası yığının parça boyut dağılımına geçilmektedir (Şekil 8.1). Süreksizliklerin kesişmesi kayaç içinde blokların oluşmasına neden olmaktadır. Aynadaki blok boyut dağılımı (bu dolaylı olarak çatlaklılığı ifade eder) patlatma işleminin başarısı üzerinde doğrudan etkilidir. Birçok araştırmacı yerinde blok boyutu ile atım sonrası yığının parça boyut dağılımını ilişkilendirmektedir.



Şekil 8.1 : Kaya kırma prosesi.

Latham ve Lu (1999) patlatma işlemini tanımlamak için bir enerji geçiş modeli ortaya koymuşlardır. Onlara göre patlatma işlemi tamamıyla yerinde blok boyutundan (YBB), patlatma sonrası blok boyutuna (PSBB) geçiş olarak tanımlanabilir. Bu geçiş işlemi kuşkusuz kayaca bir enerji vererek sağlanmaktadır ve bu enerji patlayıcı enerjisidir.

Benzer atımların etkinliğini karşılaştırmak için parçalanma indeksi bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Parçalanma indeksi şu şekilde tanımlanır:

$$FI = \frac{X_B}{x_{50}} \qquad \textbf{(8.1)}$$

Burada;

FI = Parçalanma indeksi

X_B = Ortalama yerinde blok boyutu

x_{50} = Patlatma sonrası (yığının) ortalama blok boyutu'dur.

Görüldüğü üzere parçalanma indeksi bir çeşit boyut küçültme oranıdır ve atımın verimliliği konusunda fikir vermektedir. Parçalanma indeksindeki artış atım verimliliğinde artış, parçalanma indeksindeki düşüş ise atım verimliliğinde düşüş anlamına gelir. Parçalanma indeksi patlatma parametreleriyle birlikte atım verimliliğini karşılaştırmak için kullanılabilecek en önemli parametredir. İki farklı atımı karşılaştırmak için bir indeks değer olarak kullanılabilir.

Burada örnek olarak iki atımı karşılaştırmak mümkündür. Karşılaştırılan bu iki atımda yerinde blok boyutu 1. atım için 130 cm, 2. atım için 85 cm olarak belirlenmiştir. Atım sonrası yığında ölçülen ortalama parça boyutu ise sırasıyla 18 cm ve 15 cm'dir.

Bu durumda;

1. Atımın indeksi FI = 130/18 =7,22

2. Atımın indeksi FI = 85/15 =5,66 olur.

Kaya kütlesinin özelliklerine bakmadan yani yerinde blok boyutunu değerlendirmeden yalnızca atım sonrası yığının parça boyutuna bakılarak, 2. atımın daha verimli oluğu düşünülebilir. Parçalanma indekslerine bakılınca 1. atımın indeksinin daha yüksek olduğu görülür.1. atım nispeten daha masif bir ortamda gerçekleştirilmiş ve daha büyük boyut küçültme oranı sağlanmıştır. 1. atımda yaklaşık %86 oranında 2 atımda ise % 82 oranında boyut küçültme söz konusudur. Parçalanma indeksi değerlerine bakarak 1. atımın daha verimli bir atım olduğunu söylemek mümkündür.

Parçalanma indeksi ile parçalanmanın değerlendirilmesi fikri ilk olarak Aler, Hamdi, Du Mouza'nın başını çektiği Fransız ekolü tarafından öne sürülmüş ve birkaç yayınla tanıtılmıştır (Aler ve diğ., 1996a,b, Aler ve Du Mouza, 1996). Aler ve arkadaşları parçalanma indeksini parçalanma verimliliğini kestirmek için kullanmışlardır. Parçalanma indeksi yoluyla atımları yorumlamışlar ve atımlarda ne gibi değişiklik yapılması gerektiğini kararlaştırmışlardır. Araştırmacılara göre parçalanma indeksi patlatma tasarım parametrelerinin atımlar üzerindeki etkisini görmek için

kullanılabilir. Ayrıca farklı arazi koşullarında gerçekleştirilen atımları karşılaştırmak için etkin bir göstergedir. Araştırmacıların takip ettiği dört basamaklı yöntem şu şekildedir:

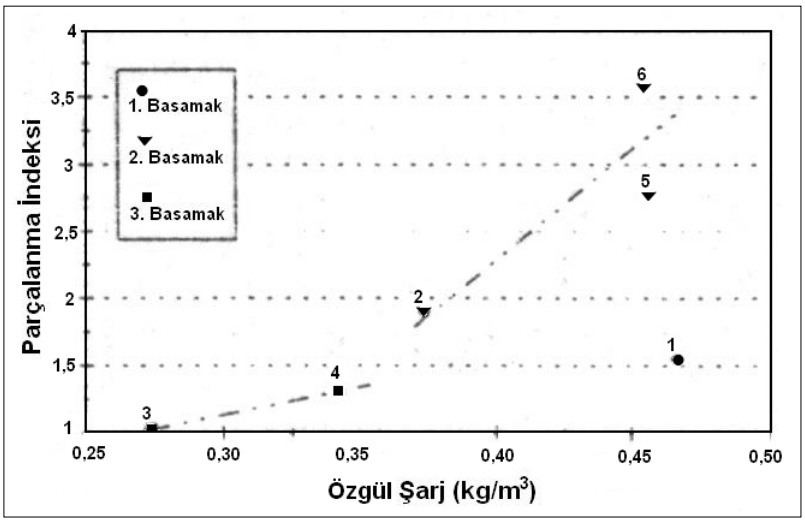
- Yerinde blok boyutunun tespit edilmesi
- Parça boyut dağılımının tespit edilmesi
- Parçalanma indeksinin oluşturulması
- Atımların indekse göre yorumlanması

Aler ve arkadaşları yaptıkları incelemeden sonra patlatma tasarım parametrelerini, parçalanmaya etki eden en güçlü parametreler olarak bulmuşlardır. Geçekleştirdikleri analizde delik boyu, delikler arası mesafe, dilim kalınlığı, sıra sayısı, atım büyüklüğü, özgül şarj, yerinde blok boyutu göz önüne alınmıştır. Çok değişkenli bir analizle atımları incelemeye çalışmışlardır. İspanya'daki çinko ve uranyum madenlerinde gerçekleştirdikleri 32 atımı değerlendirmişlerdir. Yaptıkları analizde genel eğilime pek uymayan ilginç bir sonuç da bulmuşlardır. Blok boyutu ve parçalanma indeksi arasında negatif korelasyon olması beklenirken, pozitif bir korelasyon olduğu görülmüştür. Yerinde blok boyutu büyüdükçe parçalanma indeksi yükselmektedir. Normalde beklenen yerinde blok boyutu büyüdükçe (çatlaklar azalıp, kayaç masifleştikçe); atım sonrası yığının ortalama parça boyutunun yükselmesi, parçalanma indeksinin (boyut küçültme oranı) düşmesidir. Bu durumu şu şekilde açıklamaktadırlar; çatlaklı kayaçta patlatma enerjisi çatlaklardan kaçmakta ve boşa harcanmaktadır; masif kayaçta patlatma enerjisinde kayıp azdır ve enerji kayacı kırmak için kullanılmaktadır. Yerinde blok boyutu ile yığının blok boyutu arasında da net olarak belirgin olmayan ve doğrusal olmayan bir ilişki gözlemişlerdir (Aler ve diğ., 1996a).

Bununla birlikte, araştırmacıların atımları incelediği açık ocaklar İspanya'da bulunan çinko ve uranyum madenleridir. Atımlar sınırlı sayıdadır ve büyük ölçüde geniş delikli patlatmalardır. Analizlerinde bir çeşitliliğin olduğunu söylemek pek mümkün değildir.

Aler ve Du Mouza (1996) benzer bir çalışmayı 5. Fragblast Sempozyumu'nda da sunmuşlardır. Burada da izlenen metodoloji benzerdir. Öncelikle kaya kütlesini analiz etmek için yerinde blok boyutu belirlenmiştir. Daha sonra her atımın yığınından alınan fotoğrafları analiz edilerek, yığının parça boyut dağılımı tespit

edilmiştir. Bundan sonra her atım için parçalanma indeksi belirlenmiştir. Ardından başta özgül şarj olmak üzere, sıra sayısı, gecikme aralığı gibi patlatma tasarım parametreleri ile parçalanma indeksi arasındaki ilişki incelenmiştir. Burada da incelenen atımlar İspanya'daki uranyum ve çinko madenlerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada ek olarak, Türkiye'de bulunan Kırka Bor Madeni'nde yapılan atımlar ölçülüp değerlendirilmiştir. Ancak burada da ölçülen atımların sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Şekil 8.2'de Kırka Bor Madeni'nde ölçülen atımlara ait özgül şarj–parçalanma indeksi grafiği görülmektedir.

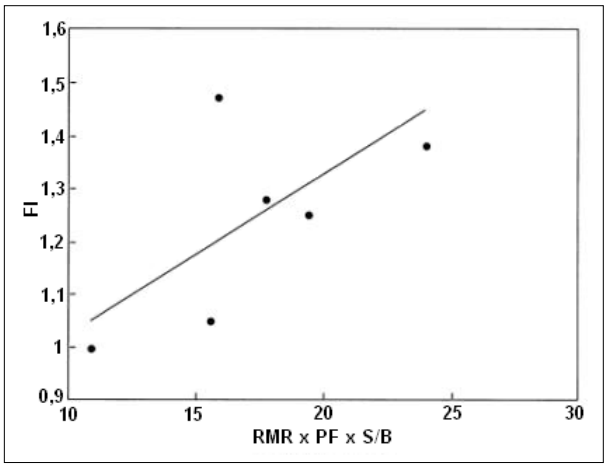


Şekil 8.2 : Aler ve Du Mouza'nın (1996) Kırka Bor Madeni'nde ölçtüğü atımlar.

Parçalanma indeksini kullanan diğer bir araştırmacı grubu Jhanwar ve diğerleridir (2000). Jhanwar parçalanma indeksini patlatma kaynaklı boyut küçültme olarak tanımlamakta ve kaya kütlesi, patlatma tasarım parametreleri ve patlayıcı şarj miktarı tarafından belirlendiğini belirtmektedir. Araştırmacılar kayacı Bianiewski'nin RMR sınıflaması ile patlatma tasarım parametrelerini S/B oranı ile ve patlayıcı şarjını da özgül şarj ile ifade etmektedirler. Özgül şarj bir patlatma tasarım parametresidir. Jhanwar daha çok bazı araştırmacıların kullandığı şekilde, kayaca uygulanan birim kuvveti veren, patlatma tasarım parametrelerinden ayrı, daha öznel bir patlayıcı parametresi olarak kullanmıştır. Kayaç masifleştikçe kayacı kırmak için gerekli patlayıcı enerjisi artmakta dolayısıyla yüksek boyut küçültme oranı için daha fazla enerji gerekmektedir. Jhanwar ve arkadaşları arazide gerçekleştirilen atımlara dayanarak bu üç parametre ile parçalanma indeksi arasındaki ilişkiye bakmışlar ve şu denklemi elde etmişlerdir.

$$FI = 0{,}03\,(RMR \times Pf \times S/B) + 0{,}73 \qquad (r = 0{,}73) \qquad \textbf{(8.2)}$$

Şekil 8.3'de, 8.2 eşitliği ile ifade edilen ilişki grafik olarak gösterilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken bu ilişkinin tamamen Jhanwar ve arkadaşlarının çalışmalarına özgü olmasıdır. Yalnızca 6 tane atım değerlendirilerek bir ilişkinin varlığından söz edilmektedir.



Şekil 8.3 : RMR, Pf ve S/B'nin parçalanma indeksi üzerindeki etkisi (Jhanwar ve diğ., 2000).

Gama (1996) Aler ile aynı dönemde teorik olarak 'parçalanabilirlik' olarak tabir edilen bir değer tanımlamıştır. Bu patlatılabilirlik gibi kayaç özelliğine bağlı bir indeks değerdir. Bu indeks değer, kayacın patlayıcı etkisi altında parçalanma eğilimini ortaya koymaktadır. Gama bu indeks değeri kullanarak patlatma sonuçlarını tahmin etme imkanının doğabileceğini belirtmektedir. Burada tanımlanan parçalanabilirlik kayaç içerisindeki blokları var olan zayıflık düzlemlerinden ayırmaya yarayan bir patlayıcı eşik enerjisi olarak tanımlanır. Parçalanabilirlik, kayacı var olan bloklar üzerinden ayıran minimum patlayıcı limit değeridir. 8.3 eşitliğinde görüldüğü üzere, Gama'da aslında formülünde parçalanma indeksini kullanmaktadır.

$$K = W\sqrt{\frac{S_a}{S_b}} \qquad \textbf{(8.3)}$$

Burada;

K: Parçalanabilirlik

W: Kayacın tonu başına tüketilen patlayıcı enerjisi (kwh/ton)

S_a: Patlatma sonrası kayacın yerinde blok boyutu

S_b: Patlatma öncesi kayacın yerinde blok boyutu'dur.

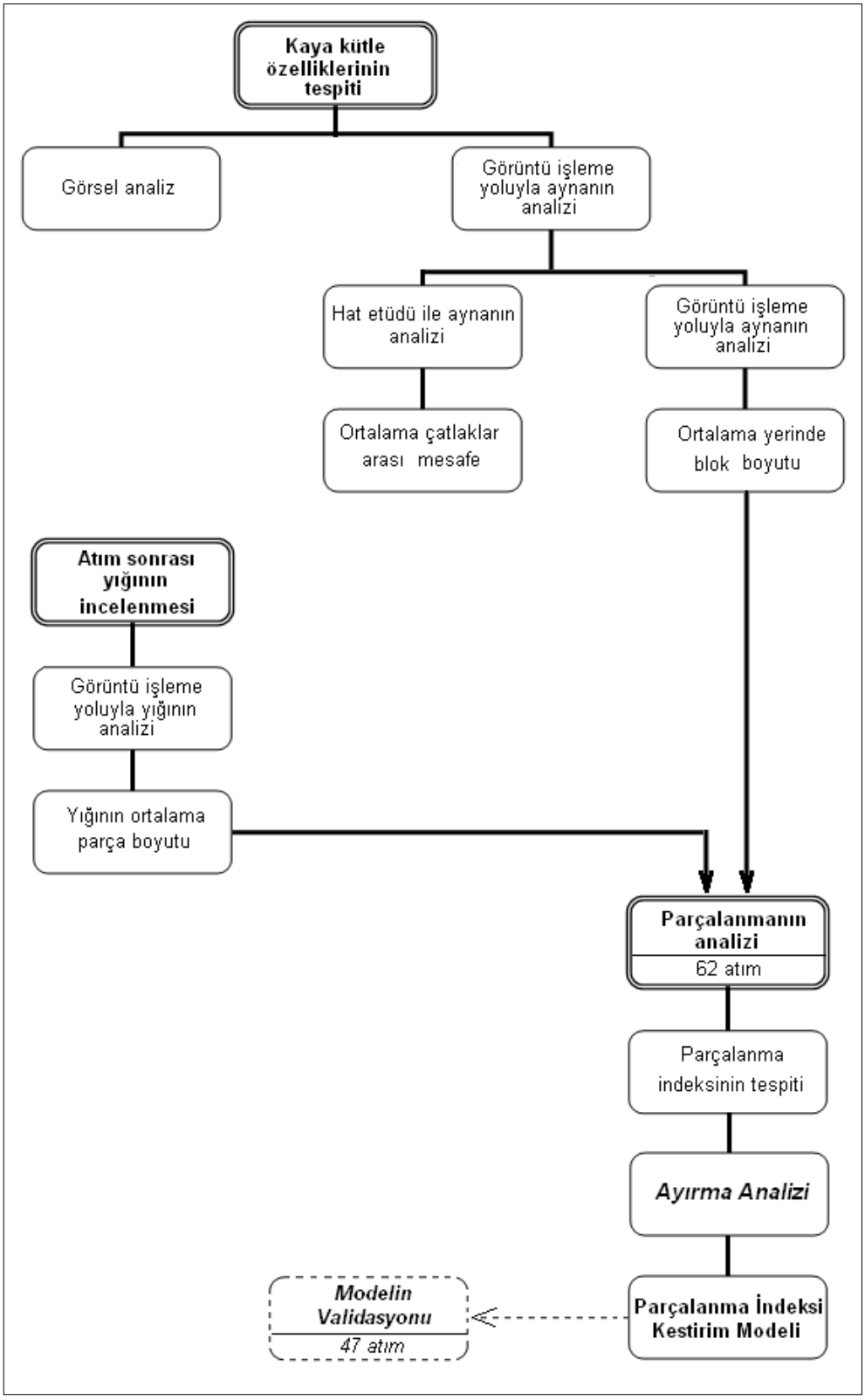
8.2 Parçalanma İndeksi Kestirim Modelinin Geliştirilmesi

Parçalanma indeksi kullanarak atımları parçalanma seviyesine göre yetersiz parçalanma, orta verimlilikte parçalanma, yüksek verimlilikte parçalanma şeklinde sınıflandırmak mümkündür. Sınıflandırma aralıkları örnekleme sayısına bağlı olarak daha da artırılabilir. Bu sınıflandırmadan yararlanarak atımların parçalanma seviyesi tahmin edilmeye çalışılabilir. Böylece ortalama parça boyutunu kesin olarak tespit etmeye çalışan modellerin yanı sıra (Kuz-Ram, Swedefo, JKMRC, Saroblast ve bu tez çalışmasında geliştirilen model), parçalanma verimliliğini kestiren alternatif bir model ortaya konulabilir. Böyle bir yaklaşımın benzeri ayrıma analizi kullanılarak Aler ve diğerleri (1996b) tarafından geliştirilip öne sürülmüştür. Parça boyutunu kestiren modeller ortalama parça boyutunu ortaya koyan kesin bir değer (x_{50}) verirler. Bu modellerin tahmin kapasitesi modelin kapasitesi ve kullanıcının yetkinliğiyle alakalıdır. Parçalanma indeksi yaklaşımında ise, bu kadar keskin olmayan bir yaklaşım ortaya konularak parçalanma tahmin edilmektedir. Sonuç ortalama parça boyutu (x_{50}) tahmini kadar kesin değildir, ancak hata olasılığı daha düşüktür ve patlatma işleminin sonucu için oldukça başarılı tahminler yapılabilmektedir. Parçalanma indeksi yoluyla atım sonuçlarının değerlendirilmesi, ortalama parça boyutunu tahmin eden modellere alternatif olabilir.

Geliştirilecek modelin akım şeması Şekil 8. 4'de görülmektedir. Görüldüğü gibi yerinde blok boyutu ve yığının ortalama parça boyutu kullanılarak her atımın parçalanma indeksi tespit edilecektir. Daha sonra bu parçalanma indeksi değerlerinden yararlanılarak atımlar ayırma analizine tabi tutulacak ve parçalanma indeksini tahmin eden bir model ortaya konacaktır.

Ayırma analizi kullanılarak yapılan bir diğer çalışmada Gong ve diğerlerinin (2008) yeraltı patlatmaları konusunda yaptıkları çalışmadır. Bu çalışma da Aler ve arkadaşlarının parçalanma indeksi tespitine benzemektedir. Bir otoyol tünelinin açılması sırasında gerçekleştirilen çalışmada, araştırmacılar ayırma analizini kullanarak yeraltı patlatmaları sırasında oluşan aşırı söküm miktarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Öncelikle aşırı söküme etki eden parametreleri belirlemişlerdir. Bu parametreler yine patlatma tasarım parametreleri ve kayaç ile ilgili parametrelerdir. Araştırmacılar üç farklı tünelden gelen aşırı söküm verilerini bir araya getirmişlerdir. Bu üç tünelin farklı bölgelerindeki kayaç yapısı da detaylı olarak incelenmiştir.

Kendi ölçtükleri ve daha önceden kayıt edilmiş verileri kullanarak ayırma analizini gerçekleştirmişleridir. Daha sonra modele dahil edilmeyen verileri kullanarak oluşturdukları modeli test etmişlerdir.



Şekil 8.4 : Parçalanma indeksi kestirim modelinin akım şeması.

Önceki bölümde atımlar kümeleme analizi yoluyla, düşük elastisite modülüne sahip kayaç atımları ve yüksek elastisite modülüne sahip kayaç atımları olarak iki gruba ayrılmıştı. Düşük elastisite modülüne sahip kayaç atımları, araştırma yapılan taş ocaklarını temsil eden atımlardır. Burada da parçalanma indeksi kestirim modeli düşük elastisite modülüne sahip 2. Grup atımlar için geliştirilecektir. Böylece geliştirilen parçalanma indeksi kestirim modeli, araştırma yapılan çok sayıda atım üzerinde test edilebilecektir. Aynı zamanda daha önce geliştirilen ortalama parça boyutu kestirim modelini parçalanma indeksi kestirim modeliyle karşılaştırma imkanı sağlanacaktır.

Yüksek elastisite modülüne sahip kayaç atımları için parçalanma indeksi geliştirme çalışması Aler ve diğerleri (1996b) tarafından Enusa ve Reocin madeninin atımları kullanılarak daha önce gerçekleştirilmiştir. Ancak bu çalışmada daha evvel değinildiği üzere atım ve kayaç çeşitliliği nispeten düşüktür.

Düşük elastisite modülüne sahip 2. Grup'a ait 62 atım incelendikten sonra; parçalanma indeksi verilerine göre uygun olan 3 grup (seviye) parçalanma durumundan bahsetmek mümkündür. Bunlar yetersiz parçalanma, orta verimlilikte parçalanma, yüksek verimlilikte parçalanma gruplarıdır. Burada parçalanma indeksi 4 ve daha küçük olan atımların yetersiz parçalanma, 4 ve 8 arasında olan atımların orta verimlilikte parçalanma, 8 ve daha yüksek indeks değerine sahip atımların yüksek verimlilikte parçalanma gösterdiği şeklinde bir tanımlama yapılmıştır. Bu karar eldeki atımlar ve parçalanma indeksi değerleri değerlendirilerek verilmektedir. Çizelge 8.1'de atımların nasıl sınıflandırıldığı özet halde gösterilmektedir. Çizelge 8.2'de ise 62 atım parçalanma indeksi değerlerine göre gruplandırılarak verilmiştir.

Çizelge 8.1 : İndeks değere göre atımların sınıflandırılması.

Grup (Parçalanma seviyesi)	Parçalanma İndeksi (FI)	Sınıflandırma
1	$FI \leq 4$	Yetersiz parçalanma
2	$4 < FI < 8$	Orta verimlilikte parçalanma
3	≥ 8	Yüksek verimlilikte parçalanma

Çizelge 8.2 : Parçalanma indeksi seviyelerine göre gruplandırılmış atımlar.

Atım No	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m^3)	X_B (m)	E (GPa)	X_{50} (m)	FI	Grup	
Mi5	1,00	1,67	33,33	1,28	0,26	0,10	10,00	0,10	1,00		
Mi6	1,00	2,50	22,22	1,69	0,71	0,02	10,00	0,02	1,00		
Mi2	1,00	1,67	33,33	0,72	0,46	0,10	10,00	0,09	1,11		
Mi3	1,00	1,67	33,33	1,25	0,27	0,10	10,00	0,09	1,11		
Mi4	1,00	1,67	33,33	0,70	0,47	0,10	10,00	0,08	1,25		
Db2	1,25	5,10	20,00	1,75	0,70	1,00	9,57	0,76	1,32		
Db8	1,20	2,40	25,00	1,40	0,28	0,50	9,57	0,35	1,45		
Oz1	1,00	2,83	33,71	1,00	0,48	0,45	15,00	0,27	1,67		
Mi1	1,00	2,50	22,22	1,69	0,71	0,17	10,00	0,10	1,70		
Db9	1,40	3,20	25,00	1,40	0,31	0,50	9,57	0,29	1,73		
Db4	1,50	5,50	20,00	1,75	0,56	1,00	9,57	0,55	1,82		
Ad3	1,20	4,80	28,09	1,20	0,72	0,29	16,90	0,14	2,08		
Sm7	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	0,50	13,25	0,23	2,17	1	FI ≤ 4 YETERSİZ PARÇALANMA
Db1	1,25	3,50	20,00	1,75	0,73	1,00	9,57	0,44	2,26		
Db7	1,25	5,00	20,00	1,75	0,44	1,00	9,57	0,40	2,50		
Sm6	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	0,50	13,25	0,19	2,64		
Oz5	1,11	3,33	30,34	1,11	0,47	0,47	15,00	0,17	2,76		
Ad22	1,28	3,61	18,95	1,67	0,89	0,56	16,90	0,20	2,80		
Db5	1,75	4,75	20,00	1,75	0,39	1,00	9,57	0,35	2,86		
Db3	1,38	3,00	20,00	1,75	0,62	1,00	9,57	0,35	2,86		
Oz3	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	0,44	15,00	0,14	3,14		
Ad2	1,20	4,80	28,09	1,20	0,66	0,56	16,90	0,17	3,29		
Oz4	1,25	4,50	22,47	1,50	0,76	0,66	15,00	0,20	3,30		
Sm5	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	0,50	13,25	0,15	3,33		
Oz6	1,20	3,20	28,09	1,20	0,48	1,11	15,00	0,30	3,70		
Db6	1,25	4,75	20,00	1,75	0,33	1,00	9,57	0,23	4,35		
Ad8	1,25	3,25	22,47	1,25	0,71	0,83	16,90	0,19	4,39		
Ad11	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	0,67	16,90	0,14	4,79		
Ad18	1,00	4,00	18,42	1,71	1,26	0,73	16,90	0,15	4,87		
Mr11	1,16	5,00	39,47	0,50	0,32	1,03	32,00	0,21	4,90		
Ad4	1,20	4,00	28,09	1,60	0,49	0,81	16,90	0,16	5,06		
Ad1	1,20	4,40	28,09	1,20	0,58	0,77	16,90	0,15	5,16		
Sm11	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	1,50	13,25	0,28	5,36		
Mr8	1,40	6,00	32,89	0,60	0,30	1,03	32,00	0,19	5,42		
Mr7	1,20	6,00	32,89	0,60	0,56	1,03	32,00	0,18	5,72		
Sm10	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	1,50	13,25	0,26	5,77		
Ad14	1,00	2,40	28,09	1,00	0,56	0,83	16,90	0,14	5,93	2	FI 4 – 8 ORTA VER PARÇALANMA
Oz2	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	0,86	15,00	0,14	6,14		
Mr10	1,16	5,00	39,47	0,50	0,39	1,03	32,00	0,17	6,06		
Sm9	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	1,50	13,25	0,24	6,25		
Ad20	1,14	4,00	18,42	1,71	1,10	1,19	16,90	0,19	6,26		
Ad13	1,12	2,80	28,09	1,00	0,54	0,96	16,90	0,15	6,40		
Mr9	1,40	6,00	32,89	0,60	0,35	1,03	32,00	0,16	6,44		
Ad5	1,14	6,82	24,72	1,36	0,84	1,43	16,90	0,21	6,81		
Sm8	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	1,50	13,25	0,22	6,82		
Ad7	1,25	3,50	22,47	1,25	0,75	1,03	16,90	0,15	6,87		
Oz7	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	0,88	15,00	0,12	7,33		
Ad21	1,11	4,44	18,95	1,67	1,25	1,71	16,90	0,22	7,77		

Çizelge 8.2 (devam): Parçalanma indeksi seviyelerine göre gruplandırılmış atımlar.

Atım No	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m^3)	X_B (m)	E (GPa)	X_{50} (m)	FI	Grup	
Ad17	1,20	3,75	17,98	1,56	1,24	1,53	16,90	0,19	8,05	3	FI ≥ 8 YÜK. VER. PARÇ.
Ad10	1,25	3,50	22,47	1,25	0,76	1,24	16,90	0,15	8,27		
Ad6	1,14	6,36	24,70	1,36	0,82	1,77	16,90	0,21	8,43		
Ad19	1,00	4,00	18,42	1,71	1,26	1,47	16,90	0,17	8,66		
Ad9	1,25	3,50	22,47	1,25	0,76	1,68	16,90	0,18	9,33		
Mr1	1,20	6,00	32,89	0,80	0,49	1,67	32,00	0,17	9,82		
Mr2	1,20	6,00	32,89	0,80	0,51	1,67	32,00	0,17	9,82		
Mr4	1,20	6,00	32,89	0,80	0,52	1,67	32,00	0,17	9,82		
Ad12	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	2,01	16,90	0,20	10,05		
Ad15	1,10	3,70	21,74	1,00	1,02	1,64	16,90	0,15	10,93		
Mr6	1,40	6,00	32,89	0,80	0,36	1,67	32,00	0,15	11,13		
Mr3	1,20	6,00	32,89	0,80	0,49	1,67	32,00	0,13	12,85		
Mr5	1,20	6,00	32,89	0,80	0,42	1,67	32,00	0,13	12,85		
Ad16	1,10	3,50	22,47	1,25	0,86	2,35	16,90	0,15	15,67		

Çizelge 8.3 grup istatistiklerini göstermektedir. Ayırma analizi sonucu her bir grubun ortalama ve standart sapma değerleri bu Çizelge'de gözükmektedir.

Çizelge 8.3 : Grup istatistikleri.

Grup		Ortalama	Std. Sapma	Geçerli Veri
1	S/B	1,21	0,179	25
	H/B	3,24	1,205	25
	B/D	26,05	5,160	25
	T/B	1,32	0,371	25
	Pf	0,53	0,172	25
	X_B	0,55	0,347	25
	E	12,08	2,834	25
2	S/B	1,20	0,097	23
	H/B	3,93	1,387	23
	B/D	27,42	5,802	23
	T/B	1,08	0,408	23
	Pf	0,61	0,279	23
	X_B	1,08	0,297	23
	E	19,06	7,219	23
3	S/B	1,19	0,093	14
	H/B	4,82	1,289	14
	B/D	26,59	5,951	14
	T/B	1,09	0,314	14
	Pf	0,73	0,290	14
	X_B	1,69	0,252	14
	E	23,37	7,755	14
Toplam	S/B	1,20	0,134	62
	H/B	3,85	1,411	62
	B/D	26,68	5,526	62
	T/B	1,18	0,386	62
	Pf	0,60	0,252	62
	X_B	1,00	0,539	62
	E	17,22	7,454	62

Bu şekilde atımlar parçalanma indeksi değerine göre 3 gruba (seviyeye) ayrıldıktan sonra, ayırma analizi yoluyla daha sonra tahmin fonksiyonları olarak kullanılacak olan ayrım fonksiyonları elde edilebilir. Bu fonksiyonlar yoluyla yeni atımların parçalanma indeksi tahmin edilecektir.

Çizelge 8.4'de varyans analizi ve Wilks' Lambda testi görülmektedir. Wilks' Lambda testine bakarak ayırma analizinde hangi parametrenin daha etkin olduğunu görmek mümkündür (Garson, 2009). Buna göre ayırma analizinde rol oynayan yani grupların birbirinden farklılığını oluşturan en önemli üç parametre X_B, E ve H/B olmuştur. Bu ayırmada kayaç özelliklerinin ön plana çıktığını görmek mümkündür.

Çizelge 8.4 : Grup ortalamalarının eşitlik testi.

Değişken	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Anlamlılık
S/B	0,997	0,096	2	59	0,908
H/B	0,814	6,753	2	59	0,002
B/D	0,988	0,360	2	59	0,699
T/B	0,908	2,997	2	59	0,058
Pf	0,906	3,053	2	59	0,055
X_B	0,319	62,871	2	59	0,000
E	0,626	17,640	2	59	0,000

Çizelge 8.5'de ayırma analizinin özet çizelgesi görülmektedir. 3 grupla ayırma analizi gerçekleştirildiği için iki ayrı ayrım fonksiyonu mevcuttur. Ayrım fonksiyonu sayısı grup sayısının bir eksiğidir. Burada görüldüğü üzere birinci denklemin kanonik korelasyonu diğerine göre daha yüksektir. 1. denklem gerçekleşen ayrımı 2. denkleme oranla daha güçlü bir şekilde ortaya koymaktadır. % Varyans değerinden görüldüğü gibi birinci fonksiyon gruplar arasındaki farklılaşmayı büyük ölçüde açıklamaktadır. Burada eigenvalue değeri de 2. denkleme göre daha büyüktür.

Çizelge 8.5 : Ayırma analizinin özeti.

Fonksiyon	Eigenvalue	% Varyans	Kümülatif %	Kanonik korelasyon
1	4,718	98,9	98,9	0,908
2	0,052	1,1	100,0	0,222

Çizelge 8.6'da ayırma analizinin özet sınıflandırma tablosu verilmiştir. Çizelgede görüldüğü üzere 1. Grup'taki 25 atımın 24'ü 1. Grup'a; bir tanesi ise ikinci gruba yerleştirilmiştir. Bu grupta sınıflandırma başarısı %96 seviyesindedir. Diğer gruplarda da atımların ezici bir çoğunlukla doğru sınıflandırıldığı görülmektedir.

Genel olarak % 90,5 oranında atımlar doğru bir şekilde sınıflandırılmıştır. Bu oran ayırma analizinin başarısı açısından oldukça yüksek bir orandır. Ek olarak bu durum, burada gerçekleştirilen parçalanma indeksine göre sınıflandırmanın da son derece yerinde ve tutarlı olduğunu göstermektedir.

Çizelge 8.6 : Sınıflandırma sonuçları.

Grup		Tahmin edilen grup üyeliği			Toplam
		1	2	3	
Sayı	1	24	1	0	25
	2	3	19	1	23
	3	0	1	13	14
%	1	96,0	4,0	0,0	100,0
	2	13,0	82,6	4,3	100,0
	3	0,0	7,1	92,9	100,0

Çizelge 8.7'de gösterilen standartlaştırılmış kanonik ayrım fonksiyonu katsayıları, çoklu regresyondaki beta ağırlık değerlerine benzemektedir. Her bir bağımsız değişkenin fonksiyona kısmi (partial) katılımını göstermektedir. Bağımlı değişkeni hesaplarken bağımsız değişkenlerin relatif olarak önemini ortaya koymak için kullanılabilirler (Garson, 2009, SPSS Base, 2008). Burada bağımlı değişken gruplardır. Genel olarak birinci fonksiyonda kayaç özellikleri ön planda iken, ikinci fonksiyonda patlatma tasarım parametreleri (özellikle B/D ve T/B) ön plana çıkmaktadır.

Çizelge 8.7 : Standartlaştırılmış kanonik ayrım fonksiyonu katsayıları.

Değişken	Fonksiyon	
	1	2
S/B	-0,620	-0,035
H/B	-0,401	0,217
B/D	-0,784	1,539
T/B	-0,220	1,636
Pf	-0,104	0,083
X_B	1,011	0,431
E	1,138	-0,524

Yapı matrisi her bir değişkenin kanonik ayrım fonksiyonuyla olan korelasyonunu göstermektedir. Ayrım fonksiyonuyla en yüksek korelasyona sahip değişkenlerin saptanması bu değişkenlerin daha yakından incelenmesi imkanını verebilmektedir. Yapı matrisindeki değişkenler her bir fonksiyonu anlamlandırmak ve adlandırmak için kullanılabilir (Perçin, 2005, SPSS Base, 2008). Çizelge 8.8'de görüldüğü üzere

1. Fonksiyonda, yerinde blok boyutunun 1. Fonksiyonla korelasyonu açık ara yüksektir. Bu fonksiyon istenirse blok boyutu fonksiyonu olarak adlandırılabilir. 2. Fonksiyonda T/B ve B/D patlatma tasarım parametreleri olarak, X_B ve E kayaç özellikleri olarak 2. Fonksiyonla yüksek korelasyona sahiptir. 2. Fonksiyon patlatma tasarım parametrelerinin nispeten daha öne çıktığı bir fonksiyon gibi gözükmektedir.

Çizelge 8.8 : Yapı Matrisi.

Değişken	Fonksiyon	
	1	2
X_B	0,671	0,405
S/B	-0,026	0,003
T/B	-0,126	0,723
B/D	0,027	-0,414
E	0,353	-0,406
H/B	0,219	0,220
Pf	0,146	0,216

Standartlaştırılmamış ayrım fonksiyonu katsayıları Çizelge 8.9'da görülmektedir. Bu katsayılar ayrım fonksiyonu yazılırken kullanılacak olan katsayılardır.

Çizelge 8.9 : Standartlaştırılmamış ayrım fonksiyonu katsayıları.

Değişken	Fonksiyon	
	1	2
S/B	-4,551	-0,254
H/B	-0,310	0,168
B/D	-0,140	0,276
T/B	-0,587	4,377
Pf	-0,427	0,341
X_B	3,264	1,393
E	0,190	-0,087
(Sabit)	4,801	-12,950

Buna göre burada kullanılacak olan lineer ayrım fonksiyonları aşağıdaki şekilde yazılır. Bu fonksiyonlar ve bölgesel harita kullanılarak yeni bir atımın hangi gruba girdiği, yani parçalanma seviyesi hesaplanacaktır.

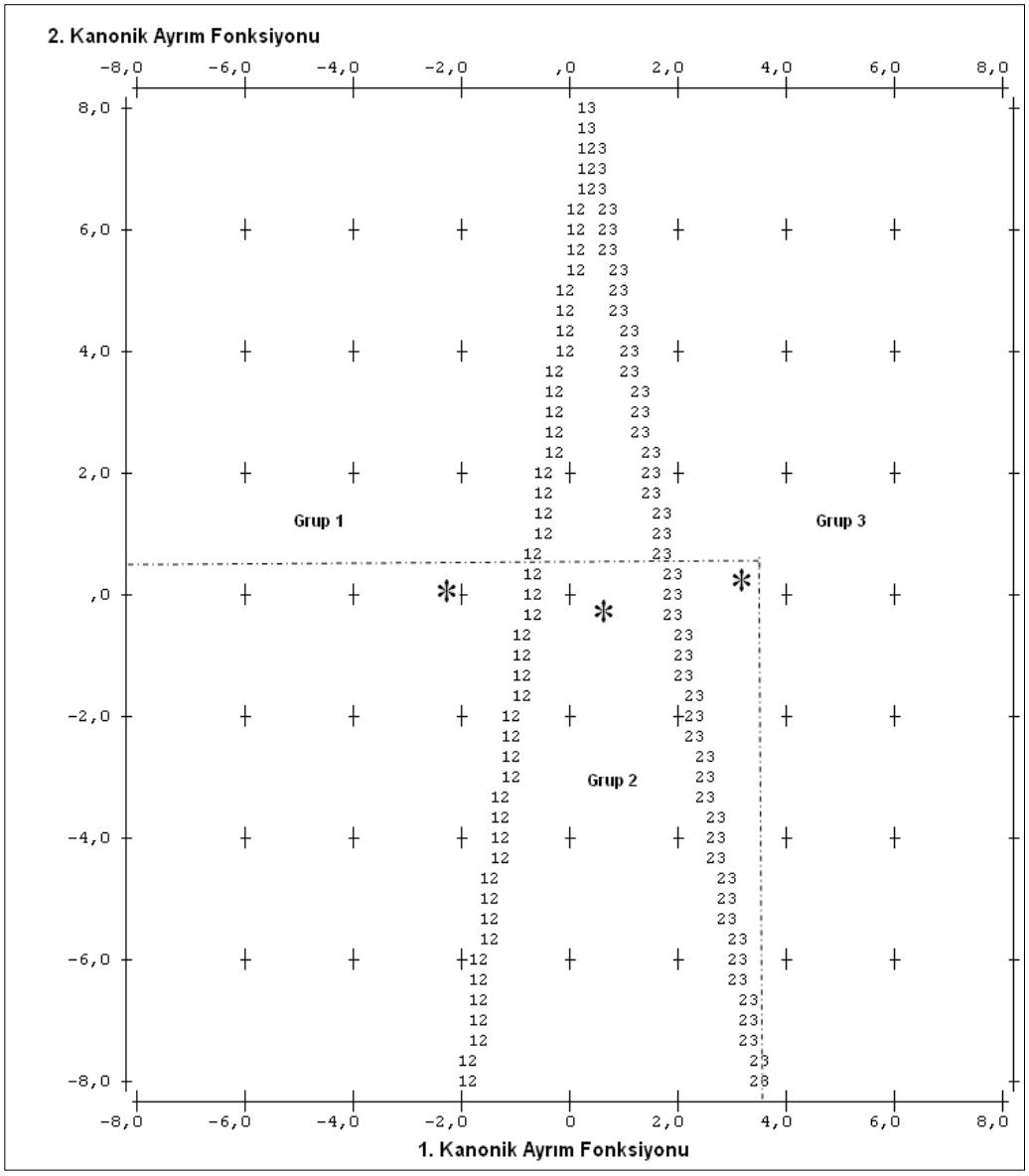
$$L_1=-4,551.(S / B) - 0,310.(H / B) - 0,140.(B / D) - 0,587.(T / B) - 0,427.(Pf) + 3,264.(X_B) + 0,190.(E) + 4,801 \quad \textbf{(8.4)}$$

$$L_2=-0,254.(S / B) + 0,168.(H / B) + 0,276.(B / D) + 4,377.(T / B) + 0,341.(Pf) + 1,393.(X_B) - 0,087.(E) - 12,950 \quad \textbf{(8.5)}$$

Grup merkezleri aşağıda Çizelge 8.10'da görülmektedir. Bu değerler Şekil 8.5'de gösterilen bölgesel haritaya da işaretlenmiştir. Bu değerler her grup için fonksiyonlardan elde edilen skorların ortalamaları olarak düşünülebilir. Merkez noktalar olarak grupların yeri hakkında bilgi vermektedir (Tabachnick ve Fidell, 2007, SPSS Base, 2008).

Çizelge 8.10 : Grup merkezleri.

Grup	Fonksiyon	
	1	2
1	-2,281	0,126
2	0,544	-0,284
3	3,179	0,241



Şekil 8.5 : Bölgesel ayrım haritası ('*' grup merkezi).

Bölgesel harita, ayırma analizi sonucunda ayrım fonksiyonu kullanılarak oluşturulan bir tür grafiktir (SPSS Base, 2008). Harita üzerinde '12' ve '23' ile gösterilen hatlar ayrım çizgileridir. Grupların bulunduğu yerler harita üzerine işlenmiştir. X ekseni 1. ayrım fonksiyonu skorlarını, Y ekseni 2. ayrım fonksiyonu skorlarını göstermektedir. Bir atımın hangi gruba ait olduğunu bulmak için birinci ve ikinci ayrım fonksiyonu atıma uygulanır. Çıkan değerler X ve Y eksenine yerleştirilir ve atımın hangi gruba ait olduğu tespit edilir. Haritada '*' işareti ile gösterilen noktalar ise grup orta noktalarıdır. Burada bir örnek olarak, Çizelge 8.11'de gösterilen atımın parçalanma seviyesini aşağıdaki gibi hesaplamak mümkündür.

Çizelge 8.11 : Parçalanma seviyesi bulunmak istenen örnek atım.

S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m^3)	X_B (m)	E (GPa)	X_{50} (m)	FI
1,23	2,50	24,72	1,14	0,566	1,98	16,9	0,21	9,43

L_1=-4,551.(1,23) - 0,310.(2,50) - 0,140.(24,72) - 0,587.(1,14) - 0,427.(0,566) + 3,264.(1,98) + 0,190.(16,9) + 4,801

L_2=- 0,254.(1,23) + 0,168.(2,50) + 0,276.(24,72) + 4,377.(1,14) + 0,341.(0,566) + 1,393.(1,98) - 0,087.(16,9) - 12,950

L_1= 3,745

L_2= 0,435 olarak bulunur.

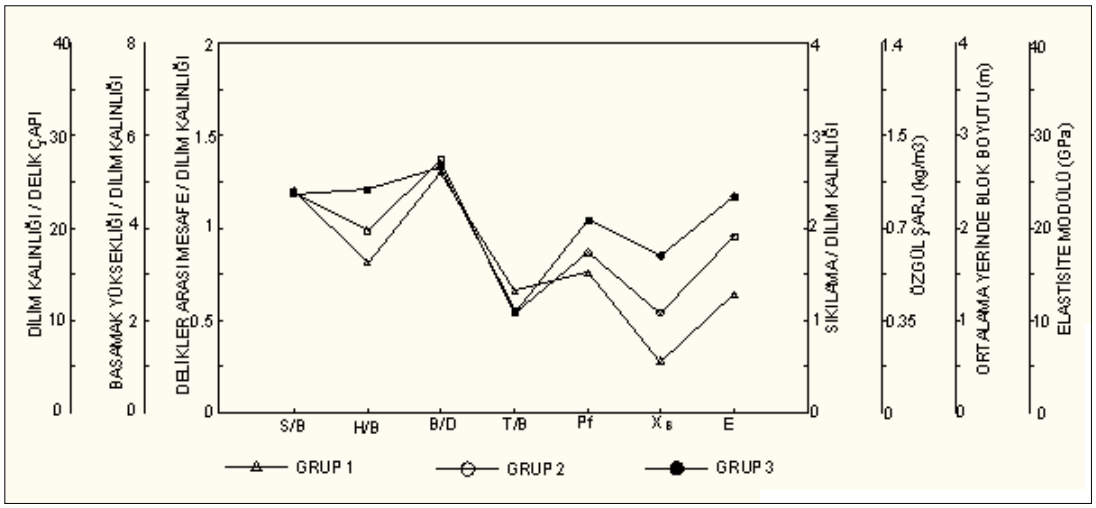
Birinci fonksiyonun skoru 'X' eksenine, ikinci fonksiyonun skoru 'Y' eksenine yerleştirilip kesiştirilirse; atımın Grup 3'ün bölgesine düştüğü görülür. Bu durum Şekil 8.5'de kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Bu atım yüksek verimlilikte parçalanmanın gerçekleşeceği bir atım olacaktır.

8.3 Parçalanma Gruplarının Analizi

Parçalanma indeksine göre oluşturulan grupların birbirleri arasındaki farkı daha rahat görmek ve yorumlayabilmek amacıyla, ortalama değişken vektörleri grafiği kullanılabilir. Şekil 8.6'da ortalama değişken vektörleri grafiği görülmektedir. Grafikte 'x' ekseni sırasıyla ayırma analizine giren patlatma parametrelerini, çoklu 'y' eksenleri ise bu parametrelerin aldığı değerleri göstermektedir. Grafikte görüldüğü üzere 3 grup arasındaki temel farklar H/B, Pf, X_B, ve E parametrelerinden

kaynaklanmaktadır. Bu dört parametrenin parçalanma indeksiyle doğru orantılı olarak değiştiği, parçalanma indeksi yükseldikçe bu dört parametrenin yükseldiği görülmektedir. S/B, B/D ve T/B'nin grup ortalamaları ise birbirine çok yakındır.

H/B oranı 'stiffnes ratio' olarak tanımlanmaktadır. Patlatma sırasında deliğin önündeki kısmın bir kiriş gibi çalıştığı düşünülebilir. (Konya ve Walter, 1990). Bu oran arttıkça patlatılacak kısmın daha kolay kırılabileceği söylenebilir. Dolayısıyla H/B'nin artışıyla parçalanma indeksinin artışının denk gelmesi mantıklı gözükebilir. H/B oranının artışıyla kayacın nispeten daha kolay parçalandığını söylemek mümkündür.



Şekil 8.6 : Ortalama değişken vektörleri grafiği.

Bu çalışmada analiz edilen atımlara ait H/B değerlerinin değişim aralığı kabul edilebilir sınırlar içindedir. H/B oranının gereğinden fazla yükselmesi patlatılacak kolunun (deliğin) aşırı yükselmesi anlamına gelmekte, dolayısıyla parçalanma negatif etkilenmektedir. Detonasyonun kolon boyunca ilerlemesinde sorunlar doğabilmektedir. Kolonda belirli noktadan sonra yanma zayıflayabilmektedir. Kimi madenlerde çok uzun deliklerde deliğin ortasına bomba (booster) adı verilen ek yemleme patlayıcı konularak sorun çözülmeye çalışılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta H/B'nin artışının parçalanmayı pozitif etkilediği kuralının belirli sınırlar dahilinde geçerli olduğudur.

Özgül şarjın artışıyla parçalanma indeksi artmaktadır. Bu parametrenin değişimi de mantık çerçevesindedir. Birim hacim başına kullanılan patlayıcı miktarı arttıkça, parçalanma verimliliği artmaktadır.

Elastisite modülünün artışı sağlamlığın artışı anlamına gelir. Elastisite modülü arttıkça kayaç patlatma kaynaklı şok dalgasına karşı daha hassas bir hale gelmektedir. Bu durum kayacı daha kırılgan, esnek olmayan, kolay parçalanır bir hale getirmektedir. Elastisite modülü yükseldikçe parçalanmanın kolaylaştığı görülmektedir. (Kulatilake, 2008, Kemeny, 2008). Jhanwar ve diğerlerinin (2000) çalışmasında da benzer sonuç görülmüştür. RMR değeri arttıkça (kayaç kalitesi arttıkça) parçalanma indeksi değerinin arttığı tespit edilmiştir.

Burada belki de beklenenden farklı olarak yerinde blok boyutu yükseldikçe parçalanmanın yükseldiği görülmektedir. Aslında bu sonuç Aler'in (1996a) bulduğu sonuçlara benzerlik göstermektedir. Aler bu sonucu çatlaklara bağlamaktadır. Yerinde blok boyutu büyüdükçe (yani çatlaklılık azaldıkça) çatlaklardan kaçan enerji azalacaktır. Enerji bloğu kırmak için kullanacaktır ve nispi olarak parçalanma daha fazla olacaktır. Burada çatlaklı kayaçta patlatma enerjisinin kayacı bloklardan ayırma yönünde hareket ettiği söylenebilir. Dolayısıyla atım sonrası yığının parça boyutu nispeten, aynadaki blok boyutuna yakın olacaktır. Masif kayada ise enerji var olan kayacı parçalamak için kullanılacaktır. Dolayısıyla nispi olarak atım sonrası yığının parça boyutu aynadaki blok boyutundan düşük olacak; yani parçalanma indeksi yükselecektir. Bir tarafta enerji kayacı kolaylıkla blok yüzeylerinden ayırırken, diğer tarafta parçalamak zorundadır.

Burada oluşturulan modelde düşük elastisite modülüne sahip kayaçlar ele alınmaktadır. Yüksek elastisite modülüne sahip kayaçlarda (E>40 GPa) bu sonuçların bir miktar değişiklik gösterebileceği göz önüne alınmalıdır. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer husus grup ortalamaları üzerinden konuşulduğudur.

8.4 Model İçin Test Atımları ve Sonuçlar

Çizelge 8.12'de modelin denenmesi için kullanılan 47 test atımı görülmektedir. Bu derece çok sayıda test atımının kullanılması, model geçerliliği testinin hassasiyetini çok artıracaktır. Her atım için ayrım fonksiyonları kullanılarak ayrım skorları elde edilmiş, bu skorlar bölgesel ayrım haritasına yerleştirilerek, atımın hangi grupta yer alması gerektiği (yani parçalanma seviyesi) tespit edilmiştir. Çizelge 8.12'de sondan ikinci sütunda atımın gerçek grubu (gerçek parçalanma seviyesi), son sütunda ise ayırma analizi yoluyla tahmin edilen parçalanma seviyesi görülmektedir.

47 atımın 8 tanesi yanlış sınıflandırılmıştır, diğerlerinde sınıflandırma doğrudur. Hatalı sınıflandırılan atımlar koyu renkli atım numarasıyla gösterilmiştir. Yani ayırma analizi kullanılarak atımların parçalanma seviyesi %83 oranında doğru olarak hesaplanabilmektedir.

Görüldüğü üzere ayırma analizi kullanılarak atımların parçalanma seviyesini kestiren alternatif bir model ortaya konmuştur. Yeni bir atımla karşılaşıldığında elde edilen iki ayrım fonksiyonu kullanılarak, bu atımın verimliliğini, yani parçalanma seviyesini belirlemek mümkündür. Aler'in ilk defa kullandığı ayırma analizi ile parçalanma kestirimi önermesi, bu tez kapsamında yapılan çalışmalarla büyük ölçüde ileri götürülmektedir. Yüksek elastisite modülüne sahip kayaçta yapılan analizde Aler toplam 34 atımı modele dahil etmiş ve iki ayrı kayaç yapısından (madenden) gelen atımları kullanmıştır (Aler ve diğ., 1996b). Buradaki atımların analiz çeşitliliği çok daha büyüktür. Toplam 6 ayrı ocaktan gelen 62 atım kullanılarak model oluşturulmuş ve 40'dan fazla atım ile test edilmiştir.

Çizelge 8.12 : Parçalanma indeksi modelinin test atımları ile denenmesi.

Atım No	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m^3)	X_B (m)	E (GPa)	x_{50} (m)	FI	L1 skor	L2 skor	Gerçek Grup	Tahmin edilen grup
Mr12	1,25	6,25	31,58	0,63	0,48	1,03	32,00	0,20	5,16	1,630	-1,949	2	2
Db10	1,15	4,35	20,00	1,75	0,89	1,00	9,57	0,35	2,86	0,528	0,876	1	2
Mi7	1,00	1,67	33,33	0,70	0,47	0,09	10,00	0,08	1,14	-1,992	-1,882	1	1
Sm8	1,25	2,50	28,57	0,83	0,42	0,50	13,25	0,18	2,78	-2,182	-1,627	1	1
1	1,25	3,50	22,47	1,25	0,76	3,11	16,90	0,22	14,14	7,187	2,113	3	3
2	1,25	3,50	22,47	1,25	0,76	2,72	16,90	0,15	18,13	5,914	1,570	3	3
3	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	2,86	16,90	0,17	16,82	6,768	1,840	3	3
4	1,23	2,50	24,72	1,14	0,57	1,85	16,90	0,21	8,81	3,321	0,254	3	3
5	1,20	4,00	28,09	1,20	0,56	1,41	16,90	0,20	7,05	1,035	1,109	2	2
6	1,12	2,80	28,09	1,20	0,49	1,48	16,90	0,23	6,43	2,034	0,998	2	3
7	1,00	2,80	28,09	1,00	0,60	1,58	16,90	0,19	8,32	2,973	0,333	3	3
8	1,20	5,20	28,09	1,60	0,61	1,62	16,90	0,21	7,71	1,096	3,367	2	2
9	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	2,72	16,90	0,23	11,83	6,311	1,645	3	3
10	1,12	2,80	28,09	1,20	0,49	0,96	16,90	0,15	6,40	0,336	0,274	2	2
11	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	0,47	16,90	0,15	3,13	-1,033	-1,489	1	1
12	1,20	2,80	28,09	1,00	0,50	1,49	16,90	0,17	8,76	1,812	0,122	3	3
13	1,12	2,40	28,09	1,00	0,50	2,70	16,90	0,20	13,50	6,249	1,761	3	3
14	1,25	3,00	22,47	1,00	0,79	0,76	16,90	0,14	5,43	-0,197	-2,326	2	2
15	1,25	2,50	22,47	1,25	0,74	0,78	16,90	0,15	5,20	-0,108	-1,300	2	2
16	1,25	3,50	22,47	1,25	0,76	0,90	16,90	0,13	6,92	-0,026	-0,965	2	2
17	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	0,98	16,90	0,14	7,00	0,632	-0,779	2	2
18	1,12	2,40	28,09	1,00	0,50	1,24	16,90	0,17	7,29	1,484	-0,273	2	2
19	1,23	3,18	24,72	1,14	0,64	0,97	16,90	0,15	6,47	0,208	-0,833	2	2

Çizelge 8.12 (devam) : Test atımları ve elde edilen sonuçlar.

Atım No	S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m^3)	X_B (m)	E (GPa)	x_{50} (m)	FI	L1 skor	L2 skor	Gerçek Grup	Tahmin edilen grup
20	1,23	2,50	24,72	1,14	0,57	2,94	16,90	0,23	12,78	6,878	1,773	3	3
21	1,12	2,80	28,09	1,00	0,54	0,91	16,90	0,13	7,00	0,267	-0,653	2	2
22	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	1,16	16,90	0,13	8,92	1,220	-0,528	3	2
23	1,20	4,00	28,09	1,20	0,56	0,62	16,90	0,12	5,17	-1,543	0,008	2	1
24	1,20	3,20	28,09	1,20	0,48	1,76	16,90	0,20	8,80	2,460	1,434	3	3
25	1,25	3,25	22,47	1,25	0,71	1,82	16,90	0,18	10,11	3,073	0,259	3	3
26	1,12	2,80	28,09	1,00	0,54	0,60	16,90	0,13	4,62	-0,744	-1,085	2	2
27	1,23	2,50	24,72	1,14	0,57	1,98	16,90	0,21	9,43	3,745	0,435	3	3
28	1,25	3,25	22,47	1,25	0,71	2,13	16,90	0,17	12,53	4,085	0,691	3	3
29	1,25	3,50	22,47	1,25	0,76	1,42	16,90	0,14	10,14	1,671	-0,241	3	2
30	1,20	4,40	28,09	1,20	0,58	1,46	16,90	0,21	6,95	1,069	1,250	2	2
31	1,11	4,44	18,95	1,67	1,25	1,63	16,90	0,21	7,76	2,733	1,265	2	3
32	1,28	3,61	18,95	1,67	0,89	0,62	16,90	0,20	3,10	-0,910	-0,447	1	1
33	1,25	3,00	22,47	1,25	0,70	0,66	16,90	0,12	5,50	-0,633	-1,401	2	2
34	1,10	3,50	21,05	1,25	0,98	1,38	16,90	0,20	6,90	2,327	-0,574	2	2
35	1,10	3,50	21,05	1,25	0,91	1,87	16,90	0,16	11,69	3,954	0,086	3	3
36	1,00	2,40	28,09	1,00	0,56	1,37	16,90	0,14	9,79	2,429	-0,041	3	3
37	1,14	3,18	24,72	1,14	0,69	1,96	16,90	0,18	10,89	3,831	0,586	3	3
38	1,25	3,00	22,47	1,25	0,70	0,98	16,90	0,13	7,54	0,412	-0,955	2	2
39	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	0,82	15,00	0,23	3,57	-0,623	-0,704	1	2
40	1,11	3,33	30,34	1,11	0,47	0,54	15,00	0,17	3,18	-1,777	0,172	1	1
41	1,20	3,20	28,09	1,20	0,48	1,90	15,00	0,24	7,92	2,556	1,794	2	3
42	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	1,65	15,00	0,20	8,25	2,086	0,452	3	3
43	1,20	2,40	28,09	1,00	0,53	2,62	15,00	0,23	11,39	5,252	1,803	3	3

8.5 Bütünleşik Değerlendirme ve Tahmini Boyut Aralığı

Burada daha önceki araştırmacıların üzerinde çalıştığı parçalanma indeksi kavramı bir adım ileri götürülecek ve atımlar için tahmini boyut aralığı bulunmaya çalışılacaktır. Parçalanma indeksi kullanılarak aslında atımların parçalanma seviyesini alt ve üst limitler halinde kestirmek mümkündür. Bu tez çalışmasında analizi yapılan atımlardan görüldüğü üzere, pratikte (ve teoride) parçalanma indeksinin alacağı en alt değer 1'dir. Bu, boyut küçültmenin gerçekleşmediği, aynadaki blokların çatlak sınırlarından ayrılarak yığın haline geldiği bir sınır koşuldur. Parçalanma indeksinin 1'e yaklaşması çok çatlaklı, parçalanmış kayaçta karşılaşılacak nadir bir durumdur.

Parçalanma indeksi modelinde kullanılan 62 atım ile 47 test atımına (Çizelge 8.11) bakılırsa, parçalanma indeksinin üst sınırının 16 olduğu görülmektedir. 47 test atımında yalnızca 2 atımın (2 ve 3) FI değeri 16'nın üzerindedir. Test atımlarına bakılırsa, parçalanma indeksinin 16'dan büyük olma ihtimali % 4,2 olarak görülmekte olup, bu durum çok düşük bir hata payına işaret etmektedir. Test atımlarına dahi bakmadan parçalanma indeksinin 16 olarak belirlenmesinde hiçbir tereddüt yoktur.

Görüldüğü üzere ölçüm yapılan taş ocakları için pratikte parçalanma indeksinin üst limiti de bellidir. Böylece daha önce ayırma analizinde ifade edilen parçalanma indeksine göre gruplandırma, aralıklar halinde de yazılabilir. Çizelge 8.13'de daha önce verilen ayırma analizinin temel tanımlama çizelgesine (Çizelge 8.2), pratik parçalanma indeksi aralıkları da eklenmiştir.

Çizelge 8.13 : Parçalanma indeksi ve pratik parçalanma indeksi aralığı.

Grup / Parçalanma seviyesi	Parçalanma İndeksi (FI)	Pratikte parçalanma indeksi aralığı (FI)	Sınıflandırma
1	$FI \leq 4$	$1 < FI \leq 4$	Yetersiz parçalanma
2	$4 < FI \leq 8$	$4 < FI \leq 8$	Orta verimlilikte parçalanma
3	> 8	$8 < FI \leq 16$	Yüksek verimlilikte parçalanma

Böylece aslında bir atımın grubu (parçalanma seviyesi) belirlendikten sonra o atımın beklenen parça boyut aralığı da kolaylıkla tespit edilebilir. Bu durum Çizelge 8.12'deki 4 No'lu atım örnek olarak alınarak açıklanabilir. 1. ve 2. ayrım fonksiyonu

kullanılarak bu atımın 3. Grup atım olduğu, yani yüksek seviyeli parçalanmaya sahip olduğu belirlenmiştir. 3. seviye bu atımın pratikte parçalanma indeksi aralığı $8 < FI < 16$'dır.Yani beklenen minimum parçalanma indeksi 8, maksimum ise 16'dır. Bu atımın yerinde blok boyutu (X_B) bilindiği için ek olarak rahatlıkla beklenen parça boyut aralığı da yazılabilir. 4 No'lu atım için X_B = 185 cm ise:

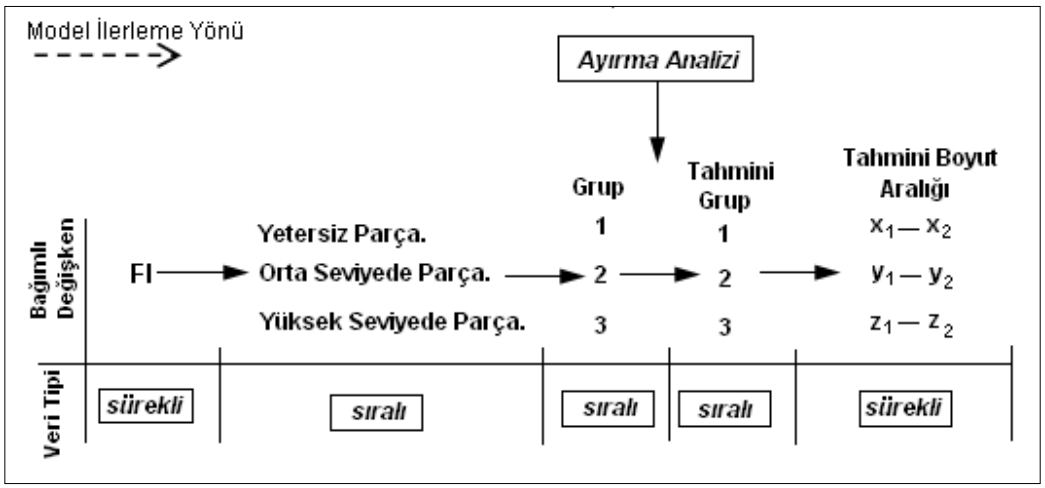
$FI = X_B / x_{50}$ ise,

$8 = 185 / x_{50}$ $\quad x_{50Max} = 23$ cm

$16 = 185 / x_{50}$ $\quad x_{50Min} = 12$ cm

$12 \text{ cm} \leq x_{50} < 23$ cm

Atım sonrası ortalama parça boyutunun 12-23 cm arasında olacağı tespit edilmiştir. Burada tahmini boyut aralıklarının oluşturulmasında izlenen yol, yani modelin adımları Şekil 8.7'de özet olarak görülmektedir.



Şekil 8.7 : Model süresince veri değişimini gösteren grafik.

Çizelge 8.14'de 47 test atımı için bir bütünleşik değerlendirme sunulmuştur. Bölüm 7'de geliştirilen ortalama parça boyutu tahmin denklemlerinin ve Kuznetsov denkleminin sonuçları ile; parçalanma indekslerine dayanılarak bu bölümde tahmin edilen parçalanma seviyelerini ve parça boyut aralığını bir arada görmek mümkündür. Çizelge 8.14'de 1. Sütun atım numaralarını, 2. Sütun atım sonrası ölçülen parça boyutunu (x_{50}), 3. Sütun parça boyutu tahmin formülüyle hesaplanan ortalama parça boyutunu (x_{50Mod}) göstermektedir. 4. Sütunda ise Kuznetsov denklemiyle hesaplanan ortalama parça boyutu (x_{50K}) yer almaktadır. Bu üç sütun birlikte incelenerek geliştirilen ortalama parça boyutu formülü ve Kuznetsov denkleminin tahmin kapasitesi birlikte izlenebilir.

Çizelgedeki son 4 sütun ise parçalanma indeksi ile ilgili verileri içermektedir. 5. Sütun atımların parçalanma indeksi değerini, 6. Sütun atımların parçalanma indeksine göre gerçek parçalanma seviyesini (grubunu), 7. Sütun ise ayırma analiziyle hesaplanan tahmini parçalanma seviyesini göstermektedir. Son sütunda ayırma analizleriyle tahmin edilen parçalanma indeksine dayanarak hesaplanan tahmini ortalama parça boyutu aralığı verilmiştir.

Burada bilinmesi gereken küçük ayrıntı; parçalanma indeksi değeri hesaplanırken kullanılan ≤' işareti nedeniyle boyut aralığının üst değerinin tahmine dahil olduğudur. Ortalama parça boyutu yukarıda açıklandığı üzere aralığın ilk değerinden büyük veya eşittir, ikinci değerinden ise küçüktür. Yani son sütundaki örneğin 0,12–0,23 değeri, beklenen ortalama parça boyutunun 0,12 cm veya daha büyük olduğunu, 0,23 cm den ise küçük olduğunu gösterir.

Parçalanma indeksi atımları değerlendirirken atım verimliliğini öne çıkaran yeni bir parçalanma parametresi olarak parça boyutu kestirim modellerine alternatif olmuştur. Son sütunda gösterilen parça boyut aralığı tahmini yöntemi, 3. ve 4. sütunda sonuçları verilen parçalanma formülleriyle parça boyutu tahmin modelleri için bir alternatiftir.

Bu iki parçalanma modelinin birbirine göre üstünlüğü olduğu düşünülmemelidir. Her iki model bir arada kullanılarak atım sonuçlarının tahmin kapasitesi artırılabilir. Her iki modelde farklı açılardan parçalanma prosesini anlamamıza yardımcı olabilir. Parçalanmayı parçalanma indeksi şeklinde bir indeks değer olarak ortaya koymak, parça boyut tahmin modelinin hatalarını ortadan kaldıracaktır.

Gerçekte ölçülen ortalama parça boyutu değerlerinin tümü son sütunda verilen tahmini parça boyut aralığı değerlerinin içindedir. Yani keskin bir sayı tahmini yerine daha güvenli olan bir boyut aralığı tahmini yapılabilir.

Çizelge 8.14 : Parça boyutu tahmin modeli ile parçalanma indeksi tahmin modeli.

Ortalama parça boyutu tahmin modeli				*Parçalanma indeksi tahmin modeli*			
Atım No	x_{50} (m)	x_{50Mod} (m)	x_{50Kuz} (m)	FI	Gerçek Parçalanma Seviyesi	Tahmini Parçalanma seviyesi	Tahmini Parça Boyut Aralığı
Mr12	0,20	0,14	0,27	5,16	2	2	0,13 − 0,26
Db10	0,35	0,32	0,09	2,86	1	2	
Mi7	0,08	0,09	0,20	1,14	1	1	0,02 − 0,09
Sm8	0,18	0,17	0,38	2,78	1	1	0,13 − 0,50
1	0,22	0,28	0,17	14,14	3	3	0,19 − 0,39
2	0,15	0,26	0,17	18,13	3	3	0,17 − 0,34
3	0,17	0,26	0,18	16,82	3	3	0,18 − 0,36
4	0,21	0,20	0,20	8,81	3	3	0,12 − 0,23
5	0,20	0,24	0,23	7,05	2	2	0,18 − 0,35
6	0,23	0,19	0,23	6,43	2	3	
7	0,19	0,19	0,20	8,32	3	3	0,10 − 0,20
8	0,21	0,28	0,23	7,71	2	2	0,20 − 0,41
9	0,23	0,25	0,18	11,83	3	3	0,17 − 0,34
10	0,15	0,16	0,23	6,40	2	2	0,12 − 0,24
11	0,15	0,12	0,18	3,13	1	1	0,12 − 0,47
12	0,17	0,21	0,23	8,76	3	3	0,09 − 0,19
13	0,20	0,24	0,22	13,50	3	3	0,17 − 0,34
14	0,14	0,14	0,16	5,43	2	2	0,10 − 0,19
15	0,15	0,13	0,17	5,20	2	2	0,10 − 0,20
16	0,13	0,15	0,17	6,92	2	2	0,11 − 0,23
17	0,14	0,16	0,18	7,00	2	2	0,12 − 0,25
18	0,17	0,17	0,22	7,29	2	2	0,16 − 0,31
19	0,15	0,17	0,19	6,47	2	2	0,12 − 0,24
20	0,23	0,24	0,20	12,78	3	3	0,18 −0,37
21	0,13	0,16	0,22	7,00	2	2	0,11 −0,23
22	0,13	0,17	0,18	8,92	3	2	
23	0,12	0,16	0,23	5,17	2	1	
24	0,20	0,23	0,24	8,80	3	3	0,11 − 0,22
25	0,18	0,21	0,17	10,11	3	3	0,11 − 0,23
26	0,13	0,13	0,22	4,62	2	2	0,08 − 0,15
27	0,21	0,20	0,19	9,43	3	3	0,12 − 0,25
28	0,17	0,23	0,17	12,53	3	3	0,13 − 0,27
29	0,14	0,20	0,17	10,14	3	2	
30	0,21	0,25	0,23	6,95	2	2	0,18 − 0,37
31	0,21	0,19	0,12	7,76	2	3	
32	0,20	0,13	0,14	3,10	1	1	0,16 − 0,62
33	0,12	0,13	0,17	5,50	2	2	0,08 − 0,17
34	0,20	0,17	0,14	6,90	2	2	0,17 − 0,35
35	0,16	0,20	0,14	11,69	3	3	0,12 − 0,23
36	0,14	0,16	0,20	9,79	3	3	0,09 − 0,17
37	0,18	0,22	0,18	10,89	3	3	0,12 − 0,23
38	0,13	0,16	0,17	7,54	2	2	0,12 − 0,25
39	0,23	0,17	0,22	3,57	1	2	
40	0,17	0,17	0,25	3,18	1	1	0,14 − 0,54
41	0,24	0,28	0,24	7,92	2	3	
42	0,20	0,22	0,22	8,25	3	3	0,10 − 0,21
43	0,23	0,28	0,22	11,39	3	3	0,16 − 0,33

Ek olarak, Çizelge 8.14'deki altı çizili atımlar boyut aralığı tahmininin avantajları açısından incelenebilir. Örneğin 12 numaralı atımın 0,17 olan parça boyutunu, geliştirilen parça boyutu tahmin denklemi ve Kuznetsov denklemi sırasıyla 0,21 ve 0,23 olarak hesaplamıştır. Oysa tahmini parça boyut aralığı 0,09−0,19 değeri ile daha mantıklı sınırlar içerisindedir. Yine 24. atımda 0,20 olan ortalama parça boyutunu modeller sırasıyla 0,23 ve 0,24 olarak hesaplarken; tahmini boyut aralığı 0,10−0,22 değerleri ile daha başarılı tahmin yapmaktadır.

Buraya kadar anlatılanlardan izlendiği üzere, bu tez kapsamında geliştirilen parça boyutu kestirim modelinin çalışma yapılan agrega ocakları için başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Bununla birlikte örnek olarak, parça boyut tahmininde 3 cm'den fazla sapma olan atımlarda parça boyutunun risk almadan boyut aralığı olarak hesaplanması düşünülebilir.

8.6 Modelin Getirdiği Yenilikler ve Üstünlükler

- Model 6 farklı madenden gelen çok sayıda atımla kurulmuş ve yine yüksek sayıda veriyle test edilmiştir. Bu durum modelin güvenilirliğini artırmaktadır.
- Bir yenilik olarak parçalama indeksi tespitinin yanı sıra parça boyut aralığı tespiti de yapılmıştır. Böylece atım sonrası beklenen parça boyutunu alt ve üst sınırlar halinde görmek mümkündür.
- Parça boyutu tahmin modeli (x_{50}) ile parçalanma indeksi tahmin modeli (FI) ilk defa birlikte oluşturulup denemiştir. Böylece patlatma sonuçlarının tahmin kapasitesi yükselecektir. Birçok durumda bu iki model kontrol amacıyla birbirine alternatif olabilir.
- Burada son olarak daha net görebilmek için parça boyutu tahmin modeli ile parçalanma indeksi tahmin modelini karşılaştırmakta fayda vardır. Çizelge 8.14 bir bakışta iki yaklaşımı karşılaştırmak için faydalıdır.

Çizelge 8.15 : İki farklı modelin karşılaştırılması.

Parça boyutu tahmin modeli (x_{50})	Parçalanma indeksi tahmin modeli (FI)
• Yığının ortalama parça boyutu belirlenir.	• Bir tür boyut küçültme oranı olarak parçalanma indeksi belirlenir.
• Farklı yerlerde yapılan atımları karşılaştırma imkanı vermez.	• Atım verimliliğini karşılaştırmak için kullanılabilir.
• Tahminde sapma yüksek olabilir.	• İndeks değer veya tahmin aralığı elde edildiği için sapma ihtimali düşüktür.
• Yığını karakterize edecek tek bir parça boyut değeri verebilir.	• Yaklaşık değer verir, keskin bir sonuç ifade etmez.

9. TEMEL PARÇALANMA KILAVUZU

Bu bölüme kadar parça boyutu kestirim modelleri ve parçalanma verimliliği kestirim modelleri üzerinde durulmuştur. Bu bölümde bu yaklaşımlara ek olarak, parçalanmanın iyileştirilmesi için pratik bir kılavuz oluşturulacaktır. Farklı kayaçlarda parçalanmanın iyileştirilmesi için dikkat edilmesi gereken patlatma parametreleri belirlenmeye çalışılacaktır. Bu amaçla çok değişkenli adım adım regresyon tekniği kullanılacaktır. Adımlar halinde gerçekleştirilen regresyon analizinde, her bir parametre belirli sırayla regresyon denklemine dahil olur. Böylece öne çıkan parametreleri görme imkanı doğmaktadır. Bu teknik yoluyla parçalanma üzerinde en etkin parametreleri tespit etmek mümkündür. Ardından parçalanmayı iyileştirmek için adım adım yapılması gerekenler belirlenebilir.

9.1 Adım Adım Regresyon (Stepwise Regresyon)

Adım adım regresyon analizinde regresyon denklemi adımlar halinde oluşturulur. İlk aşamada bağımlı değişkenle en yüksek korelasyona sahip bağımsız değişken denkleme dahil edilir. İkinci aşamada kalan değişkenler arasından bağımlı değişkenle en yüksek kısmi korelasyona sahip olan değişken, ilk bağımsız değişken kontrol edilerek denkleme dahil edilir. İşlem bu şekilde adımlar halinde devam eder. Her eklenen bağımsız değişken regresyonun R^2 değerini artırır. İşlem artık bağımsız değişken eklemenin regresyonun R^2 değerini değiştirmediği noktaya kadar veya tüm bağımsız değişkenler eklenene kadar devam eder. Bu işlem geri adımlı (backward) olarak da gerçekleştirilebilir. Önce bütün değişkenler modele dahil edilir. Sonra teker teker çıkarılır. Bağımlı değişkenin çıkarılmasının modelde R^2 değişimi yaratmadığı noktaya kadar işlem devam eder (Tabachnick ve Fidell, 2007, SPSS Base, 2008).

Burada kısmi korelasyon kavramını bir miktar açıklamakta fayda vardır. Kısmi korelasyon katsayısı (partial correlation) çok değişkenli bir regresyon modelinde, bağımlı değişkenle bağımsız bir değişken arasındaki ilişkinin ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Bu ölçüm sırasında modelde yer alan diğer bağımsız değişkenlerin etkileri sabit tutulur. Bir 'a' değişkeninin 'b_1' ve 'b_2' gibi iki değişkenle açıklanmaya

çalışıldığı bir durum örnek olarak verilebilir. Burada b_1 ile a değişkeni arasındaki kısmi korelasyon; b_2'nin hem a, hem de b_1 üzerindeki etkileri sabit tutulduğundaki b_1 ve a arasındaki ilişkinin gücünü göstermektedir. Kısmi korelasyon özellikle çok değişkenli regresyon analizinde ilave edilen her bir bağımsız değişkenin, modelde yer alan diğer bağımsız değişkenlerin etkileri ortadan kaldırılarak, sağladığı ilave açıklayıcılığının bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Yani daha çok adım adım regresyonda kullanılmaktadır (Montgomery ve diğ., 2006).

Adım adım regresyon modelinin sonuçlarının normal regresyon modelinden farklılık gösterebileceğini belirtmekte fayda vardır (Montgomery ve diğ., 2006, Garson, 2009). Adım adım regresyon ile normal regresyon arasındaki karşılaştırmalara, adım adım regresyon tekniğinin teorik yapısı üzerine çok detaylı incelemelere burada değinilmeyecektir.

9.2 Yer Bilimlerinde Adım Adım Regresyon Tekniği

Andrea ve diğerleri (1965) adım adım regresyonu kullanarak kayacın basınç dayanımını tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu çalışma adım adım regresyonun kullanıldığı öncül çalışmalardan biridir. Araştırmacılar 49 ayrı lokasyondan gelen kayaç numunelerini değerlendirmişler ve her numune için 9 ayrı mekanik ve fiziksel özellik belirlemişlerdir. Daha sonra adım adım çok değişkenli regresyon kullanarak kayacın basınç dayanımı üzerinde etkisi olan parametreleri tespit etmeye çalışmışlardır.

Jamaludin ve arkadaşları (2006) granitik kayaçta toprak kaymasını önceden tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu amaçla adım adım ayırma analizi ve regresyon analizi yöntemlerini kullanmışlardır. Kayma olan ve stabil şevleri inceleyerek konuyla ilgili parametreleri belirlemişlerdir. Şev yüksekliği, şev açısı, zemin tipi, şevin şekli, su durumu, bitkilendirme göz önüne alınan parametreler arasındadır. Daha sonra adım adım regresyon uygulayarak hangi parametrelerin kaymalarda öne çıktığını tespit etmeye çalışmışlardır. Böylece dikkat edilmesi gereken parametreleri belirlemişlerdir.

Bareither ve diğerleri (2008) adım adım regresyonu kullanarak kompakt kumların kesme dayanımı üzerinde etkisi olan jeolojik ve fiziksel faktörleri belirlemeye çalışmışlardır. Bu granül kumlar Wisconsin'de şevleri güçlendirmek ve toprak seti oluşturmak için dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Öncelikle 30 farklı

bölgeden numune alarak fiziksel özelliklerini ve kesme dayanımlarını belirlemişlerdir. Dayanım/deformasyon davranışı, fiziksel köken, jeolojik özellikler gibi temel özelliklere dayanarak kumları içsel sürtünme açılarına göre 4 gruba ayırmışlardır. Daha sonra çok değişkenli adım adım regresyon ile bağımlı değişken olan sürtünme açısı üzerinde etkili olan parametreleri tespit etmeye çalışmışlardır.

Malaki ve diğerleri (1997) olası kömür patlamalarını tahmin edebilmek için adım adım regresyondan yararlanmışlardır. 25 ayrı vaka üzerinde çalışan araştırmacılar yeraltı kömür madenlerinde kömür patlaması üzerinde etkili olan parametreleri bulmaya çalışmışlardır. 25 jeolojik, jeometrik, jeomekanik parametre göz önüne alınmıştır. Ardından, adım adım regresyon ile 25 parametreden en önemli olanları tespit edilmeye çalışılmıştır. Çatlak yoğunluğu, tabakaların mekanik özellikleri, uygulanan üretim yöntemi ve kömür damarı üzerindeki basınç dağılımı kömür patlamasına etki eden en önemli parametreler olarak bulunmuştur.

Chakraborty ve diğerleri (2004) parçalanmaya etki eden parametreleri ana hatlarıyla belirlemek için parametrik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada da adım adım regresyon analizi yöntemi kullanılmıştır. Araştırmacıların göz önüne aldığı parametreler kayaç özellikleri, patlayıcı özelikleri ve patlatma tasarım parametreleridir. Analize dahil ettikleri kayaç parametreleri basınç dayanımı, P dalga hızı, RQD, elastisite modülü ve basınç dayanımı/delik yükü oranıdır. Özgül şarj, patlayıcının ağırlıkça kuvveti ve patlayıcı yoğunluğunu patlayıcı parametreleri olarak tanımlamışlardır. S/B, H/B, B/D, T/B oranları ve delmedeki sapma ise analizi gerçekleştirirken gözönüne aldıkları patlatma tasarım parametreleridir. Bununla birlikte analiz sonunda, her kayaç sınıfında yaklaşık 5 parametreyi ön planda görmüşlerdir.

Araştırmacılar yığının parça boyut dağılımını Fragalyst yazılımıyla belirlemişlerdir. Adım adım regresyon gerçekleştirirek parçalanma üzerinde etkisi olan parametreleri ortaya çıkarmaya çalışmışlardır. Analizi çatlaklı ve masif kayaç için ayrı ayrı gerçekleştirmişlerdir. Burada çatlaklı ve masif kayaç tanımı RQD değerine göre yapılmıştır. RQD değeri 60'dan küçükse kayacı çatlaklı, 60'dan büyük ise masif kayaç olarak tanımlamışlardır. Buldukları önemli sonuçlar maddeler halinde şunlardır (Chakraborty ve diğ., 2004):

- Masif formasyonda kayaç özellikleri ön plana çıkmaktadır.

- Çatlaklı kayaçta nispeten patlatma tasarım parametreleri daha ön plandadır.
- Çatlaklı kayaçta RQD öne çıkan parametre iken, masif kayaçta basınç dayanımı öne çıkan parametredir.
- Delmedeki sapma her iki formasyonda da önemli rol oynamaktadır. Patlayıcının ağırlıkça kuvveti ön planda değilken, yoğunluğu önem arz etmektedir.
- Patlatma mühendislerinin çok önem verdikleri özgül şarj fazla ön plana çıkmamakta, parça boyutunun oluşumunda ortalama bir rol oynamaktadır.

Aşağıdaki çizelgede araştırmacıların ortaya koydukları temel önermeler tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 9.1 : Kayaç tipine göre parçalanmanın iyileştirilmesi için yapılması gerekenler (Chakraborty ve diğ., 2004).

Kayaç tipi	Parçalanmayı iyileştirmek için yapılması gerekenler
Çatlaklı Kayaç RQD<60	• Daha yoğun patlayıcı kullanılmalıdır.
	• S/B oranı artırılmalıdır.
	• Sıkılama mesafesi azaltılmalıdır.
	• Basamak yüksekliği artırılmalıdır.
Masif Kayaç RQD>60	• Daha yoğun patlayıcı kullanılmalıdır.
	• Delmedeki sapma azaltılmalıdır.
	• S/B oranı artırılmalıdır.
	• Dilim kalınlığı azaltılmalıdır.

Chakraborty ve diğerleri (2004), ölçüm yaptıkları atımları minimum, maksimum ve ortalama değerler olarak verdikleri için ölçüm yaptıkları atımları net olarak görmek mümkün değildir. Araştırmacılar toplam 35 atım ölçmüşlerdir. Ölçüm yaptıkları ocaklar Hindistan'da bulunan Jayant, Umrer ve PK OC II açık kömür işletmeleridir. İncelenen atımlar dekapaj atımlarıdır. Kayaç kumtaşı, şeyl ve kumtaşı şeyl ardalanmalarıdır. Atımlarda ve kayaç yapısında çeşitlilik düşüktür.

Ek olarak atımlar kömür açık ocaklarında incelendiği için, patlatma deliklerinin çapları geniştir. Delik çapları Jayant Madeni'nde 250, 259 ve 265 mm, Umrer'de 150-250 mm arası; PK OC II'de 250 mm'dir. Doğal olarak patlatma tasarım

büyüklükleri de delik çapıyla uyumludur. Dilim kalınlığı ve delikler arası mesafe değerleri yüksektir. Dolayısıyla geliştirilen önerilerin düşük delik çaplı atımlarda geçerliliği konusunda tereddüt mevcuttur.

Bu tür bir analiz yaklaşımını; yüksek atım sayısı, patlatma tasarım parametreleri ve kayaç çeşitliliği ile ileri götürmek mümkündür. Geliştirdiğimiz atım veritabanı her bakımdan buna uygundur.

9.3 Adım Adım Regresyon Modelinin Oluşturulması

Daha önceki bölümlerde atım veritabanını oluşturan 97 atım iki gruba ayırmıştır. 1. Grup yüksek elastisite modülüne sahip kayaçta (E>40 GPa) gerçekleştirilen atımları; 2. Grup ise düşük elastisite modülüne sahip kayaçta (E<40 GPa) gerçekleştirilen atımları içermektedir. Bu bölümde de bu gruplandırma bozulmayacaktır. Tespit edilen 40 GPa elastisite modülü değerinin, kayaçların elastisite modülü değerleri göz önüne alınırsa uygun bir orta değer olduğu görülmektedir. Nunn'a (2009) göre kayaçların elastisite modülleri genellikle 10-100 GPa arasında değişmektedir. Bir diğer örnek Kuz-Ram modelidir. Kuz-Ram modelinde kayaç için sertlik katsayısı hesaplanırken, kayaçlar elastisite modülü 50 GPa'dan yüksek olanlar ve 50 GPa'dan az olanlar şeklinde sınıflandırılmaktadır (Cunningham, 1987).

Elastisite modülüne göre iki farklı kayaç için adım adım regresyon gerçekleştirilecektir. Gerçekleştirilecek regresyonda bağımlı parametre yine ortalama parça boyutu (x_{50}) bağımsız değişkenler ise 7 adet patlatma tasarım ve kayaç parametresidir. Tüm bağımsız değişkenlerin modele katıldığı düşünülürse, çok değişkenli regresyon denklemi;

$$x_{50} = a_1(S/B) + a_2(H/B) + a_3(T/B) + a_4(B/D) + a_5(Pf) + a_6(X_B) + a_7(E) + C \qquad \textbf{(9.1)}$$

şeklinde yazılır. Böylece düşük ve yüksek elastisite modülüne sahip kayaçta gerçekleştirilen atımlarda hangi parametrelerin ön plana çıktığı tespit edilecektir. Ardından atımlarda hangi parametrelere dikkat edilmesi ve müdahale edilmesi gerektiğini ortaya koyan bir kılavuz oluşturulacaktır.

9.3.1 Düşük elastisite modülüne sahip kayaç atımları için adım adım regresyon

Aşağıdaki adım adım regresyon uygulaması daha önceki bölümlerde 2. Grup olarak adlandırılan, düşük elastisite modülüne (E<40 GPa) sahip kayaç atımları için gerçekleştirilmiştir. Bu grupta 62 atım mevcuttur. Bu gruba Mrica, Soma, Miami, Dongri−Buzurg, ve Cendere Bölgesi Ocakları'nda ölçülen atımlar girmektedir. Çizelge 9.2'de model özeti görülmektedir. R değeri korelasyon katsayısıdır. R^2 belirlilik katsayısıdır. Ayarlanmış R^2, genellikle R^2'den daha küçük bir değer almaktadır. Modellerin birbirleriyle karşılaştırılmasında veya bağımsız değişken sayısının veri sayısına oranla yüksek olduğu durumlarda tercih edilebilmektedir (Garson, 2009, Şıklar, 2000).

Çizelge 9.2 : Adım adım regresyon modelinin özeti (I).

Model	R	R^2	Ayarlanmış R^2	Tahmindeki standart hata
1	0,474	0,239	0,227	0,09866
2	0,595	0,382	0,363	0,08954
3	0,612	0,398	0,369	0,08911
4	0,679	0,433	0,397	0,08713
5	0,691	0,457	0,414	0,08594
6	0,704	0,515	0,467	0,08191
7	0,705	0,515	0,459	0,08255
1 Bağımsız değişkenler: (sabit), S/B,				
2 Bağımsız değişkenler: (sabit), S/B, T/B,				
3 Bağımsız değişkenler: (sabit), S/B, T/B, E,				
4 Bağımsız değişkenler: (sabit), S/B, T/B, E, H/B,				
5 Bağımsız değişkenler: (sabit), S/B, T/B, E, H/B, X_B,				
6 Bağımsız değişkenler: (sabit), S/B, T/B, E, H/B, X_B, Pf,				
7 Bağımsız değişkenler: (sabit), S/B, T/B, E, H/B, X_B, Pf, B/D				

Modelde 7 adet değişken olduğu için 7 aşamalı çok değişkenli regresyon gerçekleştirilmektedir. 7 farklı modele katılan bağımsız değişkenler Çizelge 9.2'nin altında verilmiştir. Değişkenler arasında bağımlı değişken ile (x_{50}) en yüksek kısmi korelasyona sahip parametre önce S/B'dir. Dolayısıyla ilk regresyon analizinde bağımsız değişken S/B olmuştur. Daha sonra kısmi korelasyonlara bakılınca T/B'nin bağımlı değişken (x_{50}) ile en yüksek ilişkili parametre olduğu görülmüş ve S/B ve T/B'nin dahil olduğu yeni bir regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Her aşamada kısmi korelasyonu en yüksek parametre (bakınız Çizelge 9.3) modele dahil olur. Kısmi korelasyonu en yüksek parametre aynı zamanda R^2 değerini en fazla yükselten parametredir (Montgomery ve diğ., 2006).

Çizelge 9.2'de R^2 değerlerinden anlaşıldığı üzere; S/B ve T/B ortalama parça boyutunun (x_{50}) değişiminin tahmininde en önemli parametrelerdir. İkincil olarak E, H/B ve X_B'nin etkisinden bahsedilebilir. B/D'nin parça boyut üzerindeki etkisi hemen hemen yok gibidir.

Aşama aşama modele dahil edilecek parametreler kısmi korelasyonlar ile belirlenmektedir. Aşağıdaki kısmi korelasyon çizelgesi bu konuda açıklayıcıdır. İlk değişken S/B modele dahil olduktan sonra, değişkenlerin x_{50} ile kısmi korelasyonuna bakınca T/B'nin 0,408 ile en yüksek kısmi korelasyon değerine sahip olduğu görülür. İkinci aşamada regresyona katılan parametre T/B olmuştur. Bu şekilde her aşamada uygun parametre seçilmektedir (Chakraborty ve diğ., 2004).

Çizelge 9.3 : Model dışı bırakılan değişkenler için kısmi korelasyonlar (I).

Model		Kısmi Korelasyon
1	T/B	0,408
	E	-0,378
	H/B	0,028
	X_B	0,039
	Pf	0,093
	B/D	-0,328
2	E	-0,179
	H/B	0,061
	X_B	0,099
	Pf	-0,171
	B/D	0,060
3	H/B	0,374
	X_B	0,210
	Pf	-0,112
	B/D	0,085
4	X_B	0,172
	Pf	-0,097
	B/D	0,051
5	Pf	-0,189
	B/D	0,172
6	B/D	0,046
1 Bağımsız değişkenler: (sabit), S/B,		
2 Bağımsız değişkenler: (sabit), S/B, T/B,		
3 Bağımsız değişkenler: (sabit), S/B, T/B, E,		
4 Bağımsız değişkenler: (sabit), S/B, T/B, E, H/B,		
5 Bağımsız değişkenler: (sabit), S/B, T/B, E, H/B, X_B,		
6 Bağımsız değişkenler: (sabit), S/B, T/B, E, H/B, X_B, Pf		

Çizelge 9.4'de yedi aşamada gerçekleşen regresyon analizi için örnek bir varyans analizi tablosu görülmektedir. 7 aşamada gerçekleştirilen regresyonun her biri aslında ayrı bir modeldir. Her model için F istatistiği uygulanmaktadır (Tabachnick ve Fidell, 2007, SPSS Base, 2008). Görüldüğü üzere kareler toplamı sütunundaki regresyonla açıklanan değer her aşamada artmaktadır.

Çizelge 9.4 : Varyans analizi.

Model		Kareler toplamı	df	Ortalama kare	F	Anlamlılık
1	Regresyon	0,178	1	0,178	17,349	0,000
	Artık	0,617	60	0,010		
	Toplam	0,796	61			
2	Regresyon	0,281	2	0,141	16,143	0,000
	Artık	0,514	59	0,009		
	Toplam	0,796	61			
3	Regresyon	0,298	3	0,099	11,566	0,000
	Artık	0,498	58	0,009		
	Toplam	0,796	61			
4	Regresyon	0,367	4	0,092	12,223	0,000
	Artık	0,428	57	0,008		
	Toplam	0,796	61			
5	Regresyon	0,380	5	0,076	10,239	0,000
	Artık	0,416	56	0,007		
	Toplam	0,796	61			
6	Regresyon	0,395	6	0,066	9,031	0,000
	Artık	0,401	55	0,007		
	Toplam	0,796	61			
7	Regresyon	0,396	7	0,057	7,632	0,000
	Artık	0,400	54	0,007		
	Toplam	0,796	61			
1 Bağımsız değişkenler: (sabit), S/B,						
2 Bağımsız değişkenler: (sabit), S/B, T/B,						
3 Bağımsız değişkenler: (sabit), S/B, T/B, E,						
4 Bağımsız değişkenler: (sabit), S/B, T/B, E, H/B,						
5 Bağımsız değişkenler: (sabit), S/B, T/B, E, H/B, X_B,						
6 Bağımsız değişkenler: (sabit), S/B, T/B, E, H/B, X_B, Pf,						
7 Bağımsız değişkenler: (sabit), S/B, T/B, E, H/B, X_B, Pf, B/D						

R^2 değerlerine göre regresyona dahil olan parametreler izlenerek, parça boyut dağılımı üzerinde en çok etkisi olan parametrelerin tespit edileceği belirtilmişti. Bu parametrelerin değerlerinin artırılması veya azaltılması ile ilgili bilgiye de, Çizelge 9.5'de bulunan standartlaştırılmamış regresyon katsayıları ile ulaşılacaktır. Parçalanma üzerinde en etkin parametrenin S/B olduğu ortaya çıkmıştır. Çizelge 9.5'de görüldüğü üzere S/B'nin katsayısı (B) pozitiftir (0,403). Yani S/B'nin artışıyla parça boyutu artmaktadır.

Çizelgede standartlaştırılmamış 'B' katsayıları regresyon denkleminin katsayılarıdır. Standartlaştırılmış beta katsayıları ise bağımlı değişken hesaplanırken, bağımsız değişkenin relatif olarak önemini ortaya koymaktadır. Beta katsayıları kendi aralarında değil, modelle karşılaştırılır. 't' testi standartlaştırılmamış katsayıların anlamlılığını test etmektedir. Burada da anlamlılık için eşik değer 0,05'dir (Montgomery ve diğ., 2006, Öztürkcan, 2009).

Çizelge 9.5 : Regresyon analizinde katsayılar (I).

Model No		Standartlaştırılmamış katsayılar		Standartlaştırılmış katsayılar	t	Anl.
		B	Std. Hata	Beta	B	Std. Hata
1	(sabit)	-0,278	0,117		-2,384	0,020
	S/B	0,403	0,097	0,474	4,165	0,000
2	(sabit)	-0,380	0,111		-3,412	0,001
	S/B	0,383	0,089	0,450	4,293	0,000
	T/B	0,107	0,031	0,360	3,437	0,001
3	(sabit)	-0,316	0,120		-2,630	0,011
	S/B	0,402	0,090	0,472	4,484	0,000
	T/B	0,074	0,039	0,250	1,900	0,062
	E	-0,003	0,002	-0,182	-1,383	0,172
4	(sabit)	-0,105	0,132		-0,799	0,428
	S/B	0,287	0,092	0,337	3,123	0,003
	T/B	0,014	0,046	0,047	0,302	0,764
	E	-0,011	0,003	-0,727	-3,345	0,001
	H/B	0,045	0,015	0,560	3,042	0,004
5	(sabit)	-0,093	0,131		-0,706	0,483
	S/B	0,275	0,092	0,323	2,996	0,004
	T/B	-0,019	0,046	-0,063	-0,404	0,688
	E	-0,012	0,003	-0,779	-3,547	0,001
	H/B	0,043	0,015	0,526	2,849	0,006
	X_B	0,031	0,024	0,148	1,305	0,197
6	(sabit)	-0,039	0,136		-0,289	0,773
	S/B	0,211	0,102	0,247	2,073	0,043
	T/B	0,028	0,056	0,095	0,498	0,620
	E	-0,011	0,003	-0,708	-3,171	0,002
	H/B	0,040	0,015	0,492	2,670	0,010
	X_B	0,047	0,026	0,222	1,794	0,078
	Pf	-0,092	0,065	-0,204	-1,428	0,159
7	(sabit)	-0,166	0,402		-0,414	0,681
	S/B	0,239	0,132	0,280	1,807	0,076
	T/B	0,045	0,076	0,152	0,593	0,556
	E	-0,011	0,004	-0,739	-3,039	0,004
	H/B	0,039	0,015	0,482	2,559	0,013
	X_B	0,051	0,028	0,239	1,779	0,081
	Pf	-0,067	0,099	-0,149	-0,682	0,498
	B/D	0,002	0,007	0,120	0,336	0,738

9.3.2 Yüksek elastisite modülüne sahip kayaç atımları için adım adım regresyon

Bu kısımda daha önceki bölümlerde 1. Grup olarak adlandırılan, yüksek elastisite modülüne sahip kayaçta gerçekleştirilmiş 35 atım için adım adım regresyon uygulanacaktır. Bu gruba Enusa, Reocin ve Reocin yeraltı ve Murgul Ocakları'nda gerçekleştirilen atımlar girmektedir. Çizelge 9.6'da patlatma parametrelerinin modele katılımı görülmektedir. En önemli parametreler Pf ve E'dir, daha sonra X_B ve H/B'den söz edilebilir. Geri kalan 3 değişkenin modele katkısı yoktur.

Çizelge 9.6 : Adım adım regresyon modelinin özeti (II).

Model	R	R^2	Ayarlanmış R^2	Tahmindeki standart hata
1	0,637	0,406	0,387	0,132182
2	0,742	0,550	0,522	0,116771
3	0,759	0,576	0,535	0,115148
4	0,780	0,608	0,556	0,112572
5	0,789	0,623	0,557	0,112355
6	0,790	0,623	0,543	0,114208
7	0,790	0,623	0,526	0,116301

1 Bağımsız değişkenler: (sabit), Pf
2 Bağımsız değişkenler: (sabit), Pf, E
3 Bağımsız değişkenler: (sabit), Pf, E, X_B
4 Bağımsız değişkenler: (sabit), Pf, E, X_B, H/B
5 Bağımsız değişkenler: (sabit), Pf, E, X_B, H/B, S/B
6 Bağımsız değişkenler: (sabit), Pf, E, X_B, H/B, S/B, B/D
7 Bağımsız değişkenler: (sabit), Pf, E, X_B, H/B, S/B, B/D, T/B

Çizelge 9.7'de her aşamada değişkenler için kısmi korelasyonlar görülmektedir. Çizelge her aşamada modele katılması gereken parametreyi bulmak için kullanılır.

Çizelge 9.7 : Model dışı bırakılan değişkenler için kısmi korelasyonlar (II).

Model		Kısmi Korelasyon
1	E	-0,493
	X_B	0,434
	H/B	0,196
	S/B	-0,312
	B/D	0,075
	T/B	0,143
2	X_B	0,241
	H/B	-0,075
	S/B	0,213
	B/D	-0,079
	T/B	-0,087
3	H/B	-0,274
	S/B	0,167
	B/D	-0,240
	T/B	-0,253
4	S/B	0,193
	B/D	-0,045
	T/B	-0,005
5	B/D	0,049
	T/B	-0,041
6	B/D	-0,007

1 Bağımsız değişkenler: (sabit), Pf
2 Bağımsız değişkenler: (sabit), Pf, E
3 Bağımsız değişkenler: (sabit), Pf, E, X_B
4 Bağımsız değişkenler: (sabit), Pf, E, X_B, H/B
5 Bağımsız değişkenler: (sabit), Pf, E, X_B, H/B, S/B
6 Bağımsız değişkenler: (sabit), Pf, E, X_B, H/B, S/B, B/D
7 Bağımsız değişkenler: (sabit), Pf, E, X_B, H/B, S/B, B/D, T/B

Çizelge 9.8'de her aşamada modellere katılan değişkenlerin katsayılarını görmek mümkündür. Örneğin ilk regresyon analizinde özgül şarjın katsayısı negatiftir.

İkinci analizde regresyona katılan elastisite modülü parametresinin katsayısı negatif olmuştur. Üçüncü modelde X_B'nin katsayısı pozitif olarak ortaya çıkmıştır.

Çizelge 9.8 : Regresyon analizinde katsayılar (II).

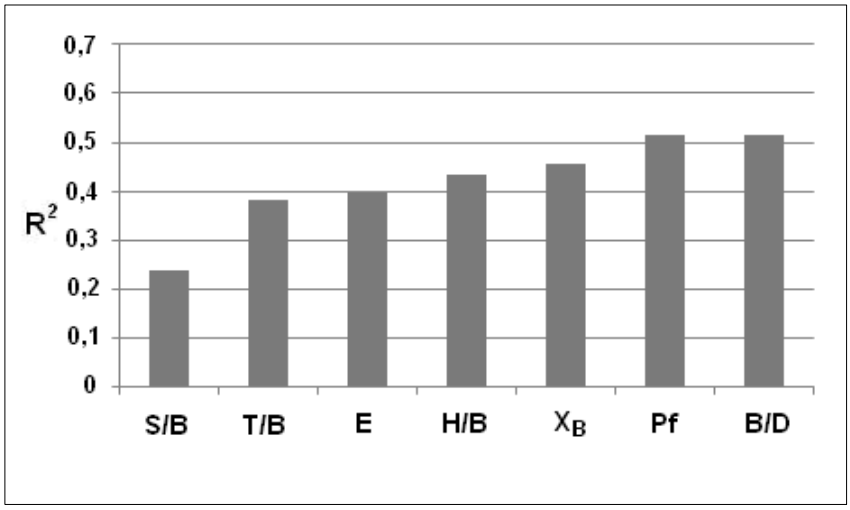
Model No		Standartlaştırılmamış katsayılar		Standartlaştı-rılmış katsayılar	t	Anl.
		B	Std. Hata	Beta	B	Std. Hata
1	(sabit)	0,803	0,073		11,073	0,000
	Pf	-0,806	0,170	-0,637	-4,744	0,000
2	(sabit)	1,256	0,155		8,101	0,000
	Pf	-0,691	0,154	-0,545	-4,473	0,000
	E	-0,010	0,003	-0,391	-3,207	0,003
3	(sabit)	0,984	0,249		3,951	0,000
	Pf	-0,583	0,171	-0,460	-3,408	0,002
	E	-0,007	0,004	-0,291	-2,072	0,047
	X_B	0,078	0,056	0,218	1,382	0,177
4	(sabit)	1,013	0,244		4,149	0,000
	Pf	-0,515	0,173	-0,407	-2,978	0,006
	E	-0,009	0,004	-0,346	-2,442	0,021
	X_B	0,139	0,068	0,391	2,059	0,048
	H/B	-0,027	0,017	-0,260	-1,560	0,129
5	(sabit)	0,383	0,644		0,595	0,557
	Pf	-0,213	0,334	-0,168	-0,638	0,529
	E	-0,014	0,006	-0,561	-2,263	0,031
	X_B	0,128	0,068	0,360	1,880	0,070
	H/B	-0,028	0,017	-0,271	-1,629	0,114
	S/B	0,682	0,646	0,306	1,056	0,300
6	(sabit)	0,236	0,869		0,271	0,788
	Pf	-0,182	0,360	-0,143	-0,504	0,618
	E	-0,015	0,007	-0,602	-2,027	0,052
	X_B	0,126	0,070	0,354	1,807	0,081
	H/B	-0,035	0,030	-0,333	-1,137	0,265
	S/B	0,769	0,737	0,345	1,043	0,306
	B/D	0,004	0,014	0,064	0,258	0,798
7	(sabit)	0,257	1,079		0,238	0,813
	Pf	-0,195	0,530	-0,154	-0,367	0,716
	E	-0,015	0,009	-0,596	-1,720	0,097
	X_B	0,126	0,071	0,354	1,764	0,089
	H/B	-0,031	0,100	-0,302	-0,314	0,756
	S/B	0,761	0,780	0,341	0,977	0,337
	B/D	0,003	0,022	0,054	0,137	0,892
	T/B	-0,004	0,118	-0,024	-0,034	0,973

9.4 Modellerinin Değerlendirilmesi ve Patlatma Kılavuzu

Düşük elastisite modülüne sahip kayaçta gerçekleştirilen atımlarda patlatma tasarım parametrelerinin ön plana çıktığı görülmektedir. Şekil 9.1'de gerçekleştirilen analizlerin sonuçları görsel olarak sunulmaya çalışılmıştır. Modelde en önemli parametre temel patlatma tasarım parametresi olan S/B oranıdır. S/B oranındaki artış parça boyut dağılımını olumsuz etkilemektedir. Parça boyutunu iyileştirmek için delikler arası mesafe daraltılabilir. Daha sonra T/B oranı ön plana çıkmaktadır.

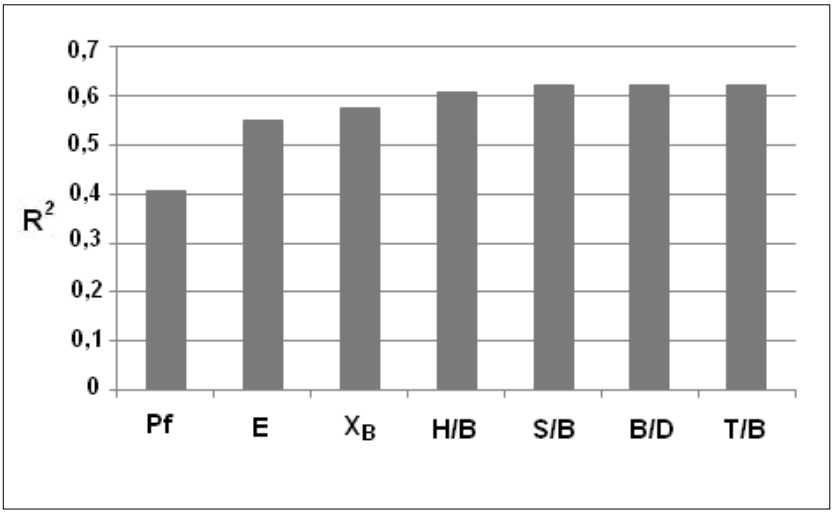
Parçalanmanın sıkılama mesafesine karşı hassas olduğu söylenebilir. Sıkılama bölgesi, yığındaki iri parçalardan sorumlu olan parametrelerden biri olarak görülmektedir. Gerektiğinde sıkılama mesafesi azaltılabilir.

Bunlardan sonra elastisite modülü parçalanmaya etki eden parametre olarak ön plana çıkmaktadır. Elastisite modülünde düşme söz konusu ise, dilim kalınlığı veya delikler arası mesafe azaltılabilir. Dördüncü derece parametre olarak H/B görülmektedir. Düşük elastisite modülüne sahip kayaçta patlayıcı enerjisinden tam olarak yararlanmak için basamak yüksekliğinin düşürülmesi düşünülebilir. Basamak yüksekliği gereğinden fazla ise yanma verimliliği için önlem alınabilir. Nispeten minör bir parametre olarak yerinde blok boyutu da izlenebilir.



Şekil 9.1 : Düşük elastisite modülüne sahip kayaç için belirlilik katsayıları.

Yüksek elastisite modülüne sahip kayaçta gerçekleştirilen atımlarda parça boyutunu belirleyen en önemli parametre özgül şarjdır (Şekil 9.2). Beklenildiği üzere nispeten sağlam, sert kayaç özgül şarja karşı çok hassastır. İkincil ve üçüncül önemli parametreler kayaç parametreleri olarak gözükmektedir. Ortalama parça boyutu elastisite modülünün değişiminden etkilenmektedir. Elastisite modülü düşerse veya aynada yerinde blok boyutu artarsa (kayaç masifleşirse), özgül şarj artırılabilir. Görüldüğü üzere patlatma tasarım parametrelerinin etkinliği nispeten düşüktür. Minor bir etki olarak H/B oranı üzerinde durulabilir. Patlatma kolonunun şekle bağlı olarak sağlamlığı parçalanmada rol oynamaktadır. Sağlam, sert kayaçta parçalanmayı kolaylaştırmak için basamak yüksekliği artırılarak deliklerin patlatacağı kolon inceltilebilir.



Şekil 9. 2 : Yüksek elastisite modülüne sahip kayaç için belirlilik katsayıları.

Bütün bu bilgiler ışığında, farklı elastisite modüllerine sahip kayaçlarda gerçekleştirilen atımlarda parçalanmayı iyileştirmek için neler yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Kısmi korelasyonlar ve katsayılar parçalanmanın iyileştirilmesi için bir patlatma kılavuzu oluşturulmasına imkan vermektedir. Çizelge 9.9'da patlatma kılavuzu görülmektedir. Kılavuzda maddeler önem derecesine göre sıralanmıştır. Her grupta ilk iki madde öncelikle üzerinde durulması gereken konudur. Patlatma mühendisinin tercihlerine göre tüm maddeler sırasıyla veya aynı anda değerlendirilebilir.

Çizelge 9.9 : Parçalanmanın iyileştirilmesi için patlatma kılavuzu.

Düşük E E<40	• S/B oranı düşürülmelidir.	Artan önem →
	• T/B oranı düşürülmelidir.	
	• Elastisite modülündeki değişim izlenebilir.	
	• H/B oranı azaltılabilir.	
Yüksek E E>40	• Özgül şarj artırılmalıdır.	Artan önem →
	• Elastisite modülündeki değişim takip edilmelidir.	
	• Aynada blok boyutunun değişimi takip edilebilir.	
	• H/B oranı artırılabilir.	

9.5 Modelin Getirdiği Yenilikler ve Üstünlükler

- Model yoluyla yaratılan temel patlatma kılavuzu arazide görev yapan patlatma mühendisleri için pratik bir başvuru kaynağı olabilir. Detaylı hesaplara girmeden parçalanmayı iyileştirmek için çabuk karar almayı sağlar. Adım adım düzeltmelerle parçalanmayı iyileştirmek mümkündür.
- Model yoluyla parçalanmada ön plana çıkan parametreler belirlenmiştir. Burada ilk defa, model 97 atımlı bir veritabanı üzerinden kurulmuştur. Atımlarda ve kayaç özelliklerinde çeşitlilik yüksektir. Bu durum geliştirilen patlatma kılavuzunun güvenilirliğini artıracaktır.
- Modelde kayaç, deformasyon özelliği (elastisite modülü) göz önüne alınarak iki gruba ayrılmış ve iki grup için ayrı ayrı önermelerde bulunulmuştur. Elastisite modülüne göre kayaçların iki gruba ayrılması daha önce gerçekleştirilen çok değişkenli analize dayandırılmıştır. Gruplandırmada araştırmacı yorumu en düşük seviyededir.
- Oluşturulan patlatma kılavuzu daha önceki bölümde geliştirilen parçalanma formülleriyle entegre olarak çalışabilir. Parçalanmayı iyileştirmek için bir karar alındığında, alınan kararın sonucu ortalama parça boyutu kestirim modelleriyle izlenebilir. Böylece atılan adımın sonucunu görmek mümkün olacaktır. Burada Cendere Bölgesi Ocakları'nda ölçülen bir atım örnek verilebilir (Çizelge 9.10).

Çizelge 9.10 : Taş ocağında ölçülen örnek bir atım.

S/B	H/B	B/D	T/B	Pf (kg/m^3)	X_B (m)	E (GPa)	X_{50} (m)
1,23	2,50	24,72	1,14	0,57	1,75	16,9	0,21

Atımın parça boyutu iyileştirilmek istenildiğinde, araştırmacı ilk olarak Çizelge 9.9'da gösterilen kılavuza bakabilir. Düşük elastisite modülüne sahip kayaçta gerçekleştirilen bu atımda, parçalanmayı iyileştirmek için öncelikle S/B oranının düşürürülmesi gerektiği tespit edilir. S/B oranı S parametresi ile oynanarak %10 düşürüldüğü zaman, parça boyutundaki değişim hemen geliştirilen ortalama parça boyutu tahmin formülüyle hesaplanarak görülebilir.

S/B = 1,23 x 0,90 = 1,107 ≅ 1,11

$x_{50} = 0{,}60.(1{,}11)^{0.547}.(2{,}50)^{0.535}.(24{,}72)^{0.427}.(1{,}14)^{-0.101}.(0{,}63)^{-0.115}.(1{,}75)^{0.434}.(16{,}9)^{-1.202}$

x_{50} = 0,18 m olarak bulunur.

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında oluşturulan modelleri geliştirmek için öncelikle bir patlatma veritabanı oluşturma gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu amaçla çok geniş bir literatür taraması gerçekleştirilmiş ve patlatma sonrası parçalanma ile ilgili olarak yapılan araştırmalar incelenmiştir. Model oluşturmak için 100'e yakın atım bir araya getirilmiştir. Atım veritabanının çeşitliliği, oluşturulan modellerin güvenilirliğini artıracak temel unsurdur. Bu amaçla 9 ayrı ocaktan gelen atım verileri bir araya getirilmiştir. Bu ocaklardan ikisi Cendere Bölgesi'nde tez kapsamında ölçüm yapılan ocaklardır. Diğer 7 ocağa ait veriler önde gelen patlatma araştırmacılarının çalışmalarından derlenmiştir. Buradaki önemli zorluk veritabanını oluştururken ortak parametreleri tespit etmektir. Veritabanı ortak patlatma tasarım parametreleri ve kayaç parametreleri göz önüne alınarak birleştirilmiştir.

Tez çalışması sırasında görüntü işleme yazılımlarının kullanılması parçalanmanın incelenmesinde büyük fayda sağlamıştır. Bu yazılımlar son yıllarda patlatmayla ilgilenen çevreler tarafından tamamıyla kabul görmüştür. Son 10 yıldaki parçalanma ile ilgili yayınların çoğunda, atım sonrası yığının parça boyut dağılımının belirlenmesi amacıyla görüntü işleme yazılımları kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan WipFrag ve benzeri yazılımların parça boyutu kestirimi konusunda yetkinliği yüksektir. Yazılımlar ölçüm tekniği ve parça boyut dağılımı hesaplama kapasitesi açısından başarılıdır. Üçüncü boyut düzeltmeleri başarıyla yapılmaktadır. Bununla beraber programlarda kimi zaman çok yüksek seviyede düzeltme amaçlı elle müdahale gereksinimi vardır. Fotoğraf üzerinden parçaların tespiti konusunda yazılımların bir miktar daha geliştirilmesi gerekmektedir. Özellikle gölgeler söz konusu olduğunda yüksek miktarda elle müdahale zorunluluğu doğmaktadır.

Tez çalışmasında kullanılan WipJoint yazılımı da, özellikle görünür blok boyutunun tespiti açısından çok faydalı olmuştur. Arazide çatlak ölçümleri ve yerinde blok boyutu tespiti, oldukça zor ve karmaşık bir işlem olarak nitelenmektedir. Görüntü işleme yoluyla kayaç yüzeylerinin değerlendirilmesi patlatma araştırmacılarına çok

büyük fayda sağlayacaktır. Halen çeşitli araştırma kurumları tarafından süreksizliklerin görüntü işleme yazılımları ile tespiti konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Bu yazılımlar da parça boyut tespit yazılımları gibi araştırmacıların güvenini kazanmakta ve literatürde sıkça görülmeye başlanmaktadır. Ancak bu yazılımlarda görüntü üzerinden çatlak izlerinin belirlenmesi konusunda bir miktar geliştirilmelidir. Gölgeler söz konusu olduğunda ve çatlak izlerinin nispeten ince olduğu durumlarda, büyük ölçüde elle müdahale zorunluluğu doğmaktadır.

İlk defa bu tez kapsamında oluşturulan ve Bölüm 7'de açıklanan üçlü çok değişkenli analiz yaklaşımı başarılı sonuçlar vermiştir. Özellikle kümeleme analizi ve ayırma analizi yetkinlik açısından kendini büyük ölçüde ispatlamıştır. Gelecekte de parçalanma ile ilgili çalışmalarda kullanılması fayda sağlayacaktır.

Eldeki patlatma verilerini anlamak, analiz etmek için kümeleme analizinin kullanılmasının son derece yararlı olduğu görülmüştür. Bu şekilde atımları gruplandırma ve elde edilen farklı gruplar için özel yaklaşımlar geliştirmek mümkün olmuştur. Atımları sınıflandırarak değerlendirmek tahmin kapasitesini yükseltmektedir. Araştırmacının yorumuyla da atımlar sınıflandırılabilir. Ancak kümeleme analiziyle yapılan ayrım, atımların, kayacın doğasından kaynaklan ayrımdır. Bu nedenle daha doğru sonuçların önünü açmaktadır.

Bölüm 7'de gerçekleştirilen kümeleme analiziyle atımlar deformasyon özellikleri ile iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup elastisite modülü yaklaşık 40 GPa'ın üstünde olan yüksek elastisite modülüne sahip kayaç atımlarından, ikinci grup ise elastisite modülü 40 GPa'ın altından olan düşük elastisite modülüne sahip kayaç atımlarından oluşmuştur. Birinci grup 35 atım, ikinci grup ise 62 atım içermektedir. Böylece farklı iki grup için farklı modeller geliştirme imkanı doğmuştur. Kayaçların deformasyon özelliğine göre ikiye ayrılarak atımların değerlendirilmesi büyük ölçüde bir yeniliktir. Özellikle bu tez çalışmasında olduğu gibi hiyerarşik kümeleme tekniğinin patlatma ve parçalanma ile ilgili çalışmalarda kullanılması önerilebilir. Dendrogramlar yoluyla sonuçları izlenen bu yöntemin yorumlanması da nispeten kolaydır.

Gruplandırılmış verilerin ayırma analizi yoluyla testi, kümeleme analiziyle yapılan sınıflandırmanın ikinci bir testi, sağlaması anlamına gelmektedir. Bölüm 7'de gerçekleştirilen ayırma analizinde başarı %100'dür. Bu durum kümeleme analiziyle

gerçekleştirilen sınıflandırmanın başarısını göstermektedir. Sınıflandırma farklı analiz yöntemleriyle kontrol edilmiştir. Bu şekilde sınıflandırılan atımlara dayanılarak geliştirilen modellerin güvenilirliğinin yüksek olması beklenmektedir.

Ek olarak elde edilen ayırma denklemi gelecekte üzerinde tereddüt olabilecek atımların hangi grupta değerlendirilmesi gerektiği konusunda bilgi vermektedir. Bölüm 7'de atım grubunun tespit edilmesi güç olan 5 atıma ayrım denklemi uygulanmış ve hangi gruba ait olarak değerlendirilmesi gerektiği kolaylıkla tespit edilmiştir. Böylece yeni atımların gruplandırılması, atım karakterinin belirlenmesi konusunda hiçbir tereddüt kalmamıştır.

Bölüm 7'de açıklanan üçüncü aşamada, çok değişkenli regresyon analizine dayanarak düşük ve yüksek elastisite modülüne sahip kayaçlar için parçalanma kestirim formülleri geliştirilmiştir. R^2 değerleri formüller için sırasıyla 0,708 ve 0,739'dur. Korelâsyon katsayıları ise sırasıyla 0,841 ve 0,859 olarak gerçekleşmiştir. Bu değerler çok değişkenli regresyon analizi için oldukça yüksek kabul edilen değerlerdir. Çok değişkenli regresyon analizi sonucunda elastisite modülü değerinin artışı ile ortalama parça boyutunun küçüldüğü görülmüştür. Elastisite modülünün artışıyla kayaç patlatma şokuna karşı daha duyarlı hale gelmekte ve daha kolay parçalanmaktadır. Elastisite modülü düştükçe, kayaç kolay deforme olmaktadır. Kayacın bu yapısıyla patlama sırasında oluşan ani şok dalgasını yuttuğu, sönümlediği düşünülmektedir.

Oluşturulan formüller patlatma ile ilgili bütün belli başlı tasarım parametrelerini içermektedir. Patlatma tasarım parametreleri, patlatma mühendisinin müdahale edebileceği temel kontrol edilebilir parametreler olduğu için önem arz etmektedir. Delikler arası mesafe, dilim kalınlığı, sıkılama, delik çapı, basamak yüksekliği formüllerde göz önüne alınmaktadır. Tüm önemli patlatma tasarım parametrelerini içeren formüllerin tahmin kapasiteleri de yüksek olacaktır.

Oluşturulan parçalanma formüllerinde tespiti güç, karmaşık kayaç parametreleri bulunmamaktadır. Belirlenmesinde tereddüt oluşabilecek sınıflama ve indeks değerler formüllerde mevcut değildir. Oluşturulan parçalanma formülleri süreksizliklerle ilişkili olarak öne çıkan bir parametre olan yerinde blok boyutunu içermektedir. Formüller pratik olarak kolaylıkla uygulanabilir yapıdadır.

Ortalama parça boyutu kestirim formülerinin yetkinliğinin denenmesi için test atımları kullanılmıştır. Formüller geliştirildikleri veritabanına dahil olmayan toplam 51 atım üzerinde denenmiştir. Geliştirilen formüllerinin kapasitesini gözlemlemek için aynı zamanda Kuznetsov denklemi de kullanılmıştır. Tez kapsamında geliştirilen parçalanma formülleri son derece başarılıdır. Geliştirilen formüller toplam 51 test atımının 28 tanesinin ortalama parça boyutunu ±3 cm hata ile tahmin etmiştir. Kuznestsov formülleriyle karşılaştırılırsa parçalanma formüllerinin toplam 51 test atımında Kuznetsov bağıntısından daha iyi tahmin ettiği atım sayısı 27'dir. Kuznetsov denkleminin parçalanma formüllerinden daha iyi hesapladığı atım sayısı ise 20'dir. İki modeli karşılaştırmak için Karekök Hata Kareleri Ortalaması (RMSE) değeri hesaplanmıştır. Düşük elastisite modülüne sahip kayaç atımlarında; geliştirilen parça boyutu tahmin formülü için RMSE değeri 0,048, Kuznetsov denkleminin hesaplanan RMSE değeri 0,068'dir. Tüm test atımları için geliştirilen parçalanma formülleri 0,051 hata değerine sahipken, Kuznetsov denklemi 0,067 hata değerine sahiptir.

8. Bölüm'de parçalanma indeksi kavramı üzerinde durulmuş ve parçalanma indeksi kestirim modeli oluşturulmaya çalışılmıştır. Parçalanma indeksi kavramı atım verimliliğini karşılaştırmak, atım sırasında yapılan işi görmek için önemlidir. Aler ve arkadaşlarının öncüsü olduğu bu kavrama dayanarak düşük elastisite modülüne sahip kayaçta yapılan atımların parçalanma indeksleri tespit edilmiş ve atımlar parçalanma indekslerine göre gruplandırılmıştır. Böylece atımları; düşük seviye parçalanmanın gerçekleştiği atımlar, orta seviye parçalanmanın gerçekleştiği atımlar ve yüksek seviye parçalanmanın gerçekleştiği atımlar olarak 3 sınıfa ayırmak mümkün olmuştur.

Atımları parçalanma seviyelerine göre sınıflandırmak nispeten yeni bir yaklaşımdır ve atım verimliliği konusunda net fikir vermektedir. Parçalanma indeksi modeli oluşturmak için kullanılan 62 atımın %40'ı düşük parçalanma seviyesine sahiptir. %37'si orta derece parçalanma seviyesine sahipken, %23'ü yüksek parçalanma seviyesine sahiptir. Bununla birlikte Cendere Bölgesi'nde ölçülen atımların parçalanma seviyesi genel olarak yüksektir. Ölçülen atımları verimli atımlar olarak nitelemek mümkündür. Tez çalışması kapsamında ölçümü gerçekleştirilerek Bölüm 6'da tümü bir arada sunulan 72 atımın yalnızca %17'sinde düşük seviyede parçalanma gerçekleşmiştir. Yüzde 47'sinde orta seviyede parçalanma söz konusu iken %30'unda yüksek seviyede parçalanma tespit edilmiştir.

Parçalanma indeksleri belirlendikten sonra Bölüm 8'de ayırma analizi yöntemi kullanılarak parçalanma indeksi kestirim modeli oluşturulmuştur. Ayırma analizinde 3 farklı gruba ayrılan atımlar ortalama %90,5 oranında doğru olarak sınıflandırılmıştır. Bu sonuç model oluştururken atımları parçalanma seviyesine göre sınıflandırmanın doğru ve tutarlı olduğunu göstermektedir. Bundan sonra oluşturulan 2 lineer ayrım denklemi yoluyla test atımlarının parçalanma seviyesi kestirilmiştir. 47 test atımının yalnızca 8 tanesinde hatalı sınıflandırma söz konusudur. Geliştirilen model, atımları %83 oranında doğru olarak sınıflandırmaktadır.

Bu tez çalışmasında parçalanma indeksi kestirim modeli bir adım ileri götürülerek atım sonrası beklenen parça boyut aralığının tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, ortalama parça boyutu tahminine oranla daha güvenli bir parça boyut tahminidir. 47 atımla gerçekleştirilen testte kimi atımlarda; geliştirilen ortalama parça boyutu kestirim modeli ve Kuznetsov denklemine oranla, parçalanma indeksi kestirimine dayalı model daha tutarlı tahminler gerçekleştirmiştir.

Parçalanma indeksi kestirim modeli ortalama parça boyut kestirim modeline alternatif olarak düşünülebilir. Bu yöntemle atımların yaklaşık parçalanma seviyeleri tespit edilebilir. Ek olarak beklenen parça boyutu aralığı ortaya konabilir. Arazide parça boyut kestirim modellerinin zayıf kaldığı şartlarda–yani parça boyutu kestirim denklemlerinin parça boyutunu yüksek sapma ile hesapladığı –durumlarda parçalanma indeksi kestirim modeli devreye alınabilir. Bu model kesin, tek bir parça boyutu değeri vermemektedir. Parçalanmayı, bir seviye değeri olarak veya boyut aralığı olarak tanımlamaktadır. Bununla birlikte bu yaklaşım hata olasılığını düşürmektedir. Hangi yöntemin kullanılacağı patlatma mühendisinin amaçları ve beklentileri ile ilgilidir. İki yöntemin birlikte kullanılması tahmin kapasitesini büyük ölçüde artıracaktır.

Ayırma analizinin indeks değerlere dayalı kestirim modellerinde kullanılabilirliği Bölüm 8'de ortaya konan modelle bir kez daha ortaya çıkmıştır. Bu analiz aşamasında veri değişimi önem kazanmaktadır. Veriler analizin başlangıcında kullanıcı yorumuyla sınıflandırılmakta, bu sınıflandırma ayırma analizi ile test edilmektedir. Burada modelleme sırasında sürekli veri ile sıralı veri tipleri arasında bir geçiş söz konusudur.

Tez kapsamında oluşturulan son model 9. Bölüm'de ortaya konan patlatma kılavuzudur. Özellikle arazideki patlatma mühendisinin rahatça kullanılabileceği bir kılavuz oluşturmak önemlidir. Böyle bir kılavuz oluşturmak için çok değişkenli adım adım regresyon tekniği kullanılmıştır. Bu çalışma aynı zamanda parçalanma prosesinde ön plana çıkan, parçalanmaya etki eden başlıca parametreleri tespit etmeyi amaçlamaktadır. Deformasyon özelliğine göre Bölüm 7'de iki gruba ayrılan atımlar ayrı ayrı adım adım regresyona tabi tutularak; yüksek ve düşük elastisite modülüne sahip kayaçlarda gerçekleştirilen atımlar için dikkat edilmesi gereken patlatma tasarım ve kayaç parametreleri ortaya konmuştur. Bu parametrelerden öne çıkanlar esas alınarak her iki kayaç tipi için bir parçalanma kılavuzu oluşturulmuştur.

Parçalanmanın iyileştirilmesini esas alan bir kılavuz oluşturmak, adım adım parçalanmayı iyileştirme imkanı vermektedir. Atım sonrası parçalanmanın iyileştirilmesi düşünülürse; öncelikle hangi parametrelere müdahale edilmesi gerektiği bilinmekte ve önem sırasına göre bu parametrelere müdahale edilmektedir. Bu tür bir kılavuz zaman ve verimlilik kaybını önlemektedir. Bölüm 9'da ortaya konan model özellikle pratik kulanım için çok faydalıdır.

Parçalanma kılavuzunu esas alarak bir değişiklik yaptıktan sonra bu değişimin sonucunu görmekte mümkündür. Kılavuz yoluyla hangi parametrelere müdahale edilmesi gerektiğini tespit eden araştırmacı, gerekli değişikliği yaptıktan sonra Bölüm 7'deki parçalanma formüllerini kullanarak yeni durumda beklenen ortalama parça boyutunu görebilir. Böylece ortalama parça boyutu tahmin denklemleriyle parçalanma kılavuzunun birbirleriyle entegre olarak çalışması sağlanabilir. Ek olarak, patlatma kılavuzu Kuznetsov denklemi veya SVEDEFO denklemiyle entegre olarak da kullanılabilir. Bu tez kapsamında ortaya konan modeller aynı zamanda bugüne kadar ortaya konan farklı teorik yaklaşımları da göz önüne almış, onları bir araya getirmiş ve karşılaştırmıştır. Bölüm 7'de ortaya konan ortalama parça boyutu kestirim modeli Kuzey ekolü olarak adlandırılabilecek Kuznetsov, Larsson gibi araştırmacıların başını çektiği ortalama parça boyutu kestirimi yaklaşımına dayanmaktadır. Bu yaklaşımdaki temel mantık, atım sonrası parçalanmayı karakterize eden bir ortalama parça boyutu tahmin denkleminin oluşturulmasıdır. Bu tür bir yaklaşıma son yıllarda Ouchterlony'nin ve Avustralya'da bulunan JKMRC kurumunun katkıları da mevcuttur.

Bölüm 8'de ortaya konan yaklaşımda ise parçalanma sonuçları indeks değerler yoluyla değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım Aler, Hamdi, Du Mouza ve Arnold gibi araştırmacıların başını çektiği Fransız (Akdeniz) ekolü tarafından ortaya konmuş ve kabul görmüştür. Araştırmacılar parçalanma verimliliğini tahmin etme düşüncesini ön plana çıkarmışlardır.

Bölüm 9'da ortaya konan patlatma kılavuzu; parçalanmaya etki eden parametreleri belirleme, belirli tasarım parametrelerinin parçalanma üzerindeki etkisini tespit etme mantığına dayanmaktadır. Birçok önde gelen araştırmacının günümüze kadar bu konuda fikir ve araştırmaları mevcuttur. Son dönemlerde Hindistan Merkezi Madencilik Araştırma Enstitüsü kökenli araştırmacılarından Chakraborty, Raina, Romulu, Jhanwar gibi araştırmacıların konu ile ilgili çalışmaları ön plana çıkmıştır.

Kuşkusuz parçalanma ile ilgili çalışmalar gelecekte de devam edecektir. Literatürde parçalanma kestirimi ve patlatılabilirlik ile ilgili birçok model olmasına rağmen problemin tam anlamıyla aydınlatıldığını söylemek güçtür. Patlatma kaynaklı parçalanma birçok parametrenin devrede olduğu önemli bir madencilik ve yer bilimleri problemidir. Oluşturulan her yeni yaklaşım yeni bir söz söylemekte, ileriye doğru bir adım atmaktadır. Bu tez kapsamında geliştirilen sıralı çok değişkenli analize dayalı parçalanma modeli, parça boyut aralığı kestiren parçalanma indeksi modeli ve temel bir patlatma kılavuzu oluşturmayı amaçlayan adım adım regresyona dayalı model; konuyu bir adım daha ileriye götürme amacındadır.

Bilimsel anlamda her modelin yetkinliği büyük ölçüde denenerek zaman içinde ortaya çıkmaktadır. Oluşturulan modeller gelecekte farklı ocaklarda gerçekleştirilen atımlar üzerinde denenecek ve sonuçlar gözlemlenecektir. Böylece geliştirilen yaklaşımların yetkinliği, farklı kayaç özellikleri ve patlatma tasarım parametreleri için sürekli olarak test edilebilecektir.

Yeni atımlar elde edildikçe modelleri oluşturmak için kullanılan patlatma veritabanı da genişleyecektir. Bu durum farklı kayaç parametrelerinin veya patlatma tasarım parametrelerinin modellere dahil edilmesi imkanını sağlayabilir. Örneğin literatürde modellerde pek yer bulamayan, burada geliştirilen modellere de dahil edilmesi mümkün olmayan patlatma tasarım parametreleri (alt delme vb.), modellere dahil edilebilir. Görüntü işleme yazılımlarındaki ilerlemenin, gelecekte parça boyut dağılımı ve süreksizlik ölçümündeki duyarlılığı artırması beklenmektedir.

Tez çalışması sırasında çok değişkenli analizin uygulanması parçalanmanın değerlendirilmesi konusunda çok başarılı sonuçlar vermiştir. Birçok parametrenin etkili olduğu patlatma kaynaklı parçalanma konusunda, bu tez kapsamında geliştirilen modellerin, gelecekteki çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektir. Aynı şekilde çok değişkenli analizin; verilerin doğasını ortaya çıkarma, verileri anlamlandırma ve sınıflandırma konusunda faydalı olduğu ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

Aler, J., Du Mouza J., 1996. Measuring fragmentation efficiency of mine blasts, *Measurement of Blast Fragmentation Fragblast 5,* Montreal, Canada, 23-24 Aug., pp. 257−263.

Aler, J., Du Mouza, J. and Arnould, M., 1996a. Measurement of the fragmentation efficiency of rock mass blasting and its mining applications, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, Vol. 33, pp. 125−139.

Aler, J., Du Mouza, J. and Arnould, M., 1996b. Evaluation of blast fragmentation efficiency and its prediction by multivariate analysis procedures, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*, Vol. 33, No:2, pp. 189−196.

Anderson, T. W., 1984. *An Introduction to Multivariate Statistical Analysis, second edition,* John Wiley and Sons Inc., New York, USA.

Andrea, D. V. D, Fischer, R.L. and Fogelson, D.E., 1965. Prediction of compressive strength from other rock properties, *Report of Investigations,* US Bureau of Mines, USA.

Arıcı, H, 1991. *İstatistik yöntemler ve uygulamalar,* Meteksan A.Ş., Ankara

Ash, R. L., 1963. The mechanics of the rock breakage (Part 1), *Pit and Quarry*, Vol.56 (2), pp. 98–100.

Ash, R. L., 1973. The influence of geological discontinuities on rock blasting, *PhD Thesis* , University of Minnesota.

Bareither, C. A., Edil, T. B., Benson, C. H. and Mickelson, D. M., 2008. Geological and physical factors affecting the friction angle of compacted sands, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 134, No. 10, pp.1476–1489.

Bhandari, S., 1997. *Engineering Rock Blasting Operations*, A.A. Balkema, Rotterdam.

Bickers, C. F., Dunbar, C. T., Lejuge, G. E. and Walker, P. A., 2002. Wall control blasting practices at BHP Billiton iron ore Mt Whaleback, *Fragblast,* Vol. 6, No. 3–4, pp. 359–380.

Bond, F. C., 1952. The third theory of commnution, *Mining Engineering*, May, pp. 484–494.

Brady, B. H. G. and Brown, H. T., 1993. *Rock Mechanics For Underground Mining*, Kluwer Academic Publishers, London.

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

Castro, J. T., Liste, A. V. and Gonzalez, A. S., 1998. Blasting index for exploitation of aggregates, *7. Mine Planning and Equipment Selection*, Calgary, Canada, Oct. 6-9, pp. 165−168.

Chakraborty, A. K., Raina, A. K., Ramulu, M., Choudhury, P. B., Haldar, A., Sahu, P., C. and Bandopadhyay, C., 2004. Parametric study to develop guidelines for blast fragmentation improvement in jointed and massive formations, *Engineering Geology*, Vol. 73, pp. 105–116.

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

Cunningham, CVB, 1983. The Kuz-Ram model for prediction of fragmentation from blasting, *1st Int. Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, Lulea, Sweden, Aug. 22−26, pp. 439−453.

Cunningham, CVB, 1987. Fragmentation estimations and Kuz-Ram model –four years on, *Proceedings of 2nd Int. Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, Keystone, Colorado, Aug. 23−26, pp. 475−487.

Dahlehielm, S., 1996. Industrial applications of image analysis-The IPACS System, *Measurement of Blast Fragmentation-Fragblast 5*, Montreal, Canada, Aug. 25–29, pp. 59-67.

Dey, K. and Phalguni, S., 2003. Concept of blastability− An update, *Indian Mining and Engineering Journal*, Vol. 42, no. 8−9, pp. 24−31.

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

Downs, D. C. and Kettunen, R, 1996. Online fragmentation measurement utilizing the CIAS system, *Measurement of Blast Fragmentation-Fragblat 5*, Montreal, Canada, Aug. 25-29, pp. 79−83.

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

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

Everitt, B. S. and Dunn, G., 1991. *Applied Multivariate Data Analysis*, Edward Arnold, London.

Everitt, B. S., 1993. *Cluster Analysis*, Hodder & Stoughton, London.

Farmer, I. W. and Mojtabai, N., 1997. *An energy-based approach to blast design***,** Trans**.** *Instn. Min. Metall. Sect. A: Min. Industry,* Vol. 106, pp. 179−183.

Gama, C. D., 1996. The concept of rock mass fragmentability, *Fragblast 5, Workshop on Measurement of Blast Fragmentation,* Montreal, Canada, Aug. 23−24, pp. 209−214.

Garson, G. D., 2009. *Statnotes: Topics in Multivariate Analysis,* http://www2.chass.ncsu.edu/garson/pa765/statnote.htm.

Ghose, A. K., 1988. Design of drilling and blasting subsystems – A rockmass classification approach, *Mine Planning and Equipment Selection*, Calgary, Canada, Nov. 3-4.

Girdner, K. K., Kemeny, J. M., Srikant, A. and McGill, R., 1996. The Split System for analyzing the size distribution of fragmented rock, *Fragblast 5, Workshop on Measurement of Blast Fragmentation*, Montreal, Canada, Aug. 23-24, pp. 101−108.

Gong, F. Q., LI, X. B. and Zhang, W., 2008. Over-excavation forecast of underground opening by using Bayes discriminant analysis method, *Journal of Central South University of Technology*, Vol. 15, pp 498−502.

Grima, M. A. and Babuska, R., 1999. Fuzzy model for the prediction of unconfined compressive strength of rock samples, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 36, pp. 339–349.

Grundstrom, C., Kanchibotla, S. S., Jankovich, A. and Thornton, D., 2001. Blast fragmentation for maximising the sag mill throughput at Porgera Gold Mine, *Proceedings of the 27th Annual Conference on Explosives and Blasting Technique, Volume I*, Orlando, Florida, Jan. 28-31, pp. 383-399.

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

Gustafsson, R., 1997. *Swedish Blasting Technique*, SPI Publishing, Gothenburg.

Hadjigeorgiou, J., Lemy, F., Cote, P. and Maldague, X., 2003. Evaluation of image analysis algorithms for constructing discontinuity trace maps, *Rock Mech. Rock Engng.*, Vol. 36 (2), pp. 163–179.

Hagan, T. N., 1983. The influence of controllable blast parameters on fragmentation and mining cost, *First International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, Lulea, Sweden, Aug., pp. 31–41.

Hall, J. and Brunton, I., 2002. Critical comparison of Julius Kruttschnitt Mineral Research Center (JKMRC) blast fragmentation models, *Fragblast*, Vol. 6, No. 2, pp. 207−220.

Hamdi, E. and Du Mouza, J., 2005. A methodology for rock mass characterization and classification to improve blast results, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Vol. 42, pp. 177−194.

Hamdi, E., Du Mouza, J. and Fleurisson, J. A., 2001. Evaluation of the part of blasting energy used for rock mass fragmentation, *Fragblast*, Vol.5, No.3, pp. 180−193.

Han, J., Weiya, X. and Shouyi, X., 2000. Artificial neural network method of rock mass blastability classification, *Proceedings of the 5th International Conference on GeoComputation*, University of Greenwich, 23-25 Aug., United Kingdom.

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

Havermann, A. and Vogt, V., 1996. TUCIPS-A system for estimation of fragmentation after production blasting, *Measurement of blast fragmentation-Fragblat 5*, Montreal, Canada, Aug. 25-29, pp. 67−73.

Hemphill, G. B., 1980. *Blasting Operations*, McGraw-Hill Inc.,USA.

Holmberg, R., Maki, K., Hustrulid, W. and Sellden, H., 1983. Blast damage and stress measurement at LKAB – Malmberget Fabian orebody, *Proc. 5th Congr., Int. Soc. Rock Mech.*, Melbourne, 2: pp. 231–38.

Huberty, C. J. and Olejnik, S., 2006. *Applied MANOVA and Discriminant Analysis, second edition,* JohnWiley & Sons, New Jersey, USA.

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

Hüdaverdi, T., 2004. KBİ Karadeniz Bakır İşletmesi Murgul Ocakları için patlatma faaliyetlerindeki büyük atımların optimum çalışma şartlarının araştırılması, *Yüksek lisans tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Jamaludin, S., Huat, B. B. K. and Omar, H., 2006. Evaluation and development of cut-slope assessment systems for peninsular Malaysia in predicting landslides in granitic formation, *Jurnal Teknologi*, *Vol.* 44(B) Jun, pp. 31–46.

Jhanwar, J. C., Jethwa, J. L. and Reddy, A. H., 2000. Influence of air-deck blasting on fragmentation in jointed rocks in an open-pit manganese mine, *Engineering Geology*, Vol. 57, pp. 13–29.

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

Johnson, R. A. and Wichern, D. W. 1988. *Applied Multivariate Statistical Analysis*, 2nd edition, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

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

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

Kaufman, L. and Rousseeuw, P. J., 1990. *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc.

Kemeny, J., 2008. *Kişisel Görüşme.*

Kemeny, J., Norton, B. and Turner, K., 2006. Rock slope stability analysis utilizing ground-based lidar and digital image processing, *Felsbau – Rock and Soil Engineering*, Nr. 3/06, pp. 8−15.

Kendall, M., 1980. *Multivariate Analysis*, Charles Griffin & Co Ltd., London, UK.

Ketin, İ. and Güner, G., 1988. İstanbul Bölgesi'nde karbonifer yaşlı Trakya formasyonunun yapısal özelliği, *Erguvanlı Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu*, İstanbul, 29-30 Eylül, s. 13−17.

Klecka, W. R.,1980. *Discriminant Analysis*, Sage publications, Newbury Park, USA.

Kleine, T. H. and Cameron, A. R., 1996. Blast Fragmentation measurement using Goldsize, *Measurement of Blast Fragmentation-Fragblast 5*, Aug. 25−29, Montreal, Canada pp. 83-96.

Koçal, A., 2004. A methodology for detection and evaluation of lineaments, from satellite imagery, *Yüksek lisans tezi*, Maden Mühendisliği Bölümü, ODTÜ.

Konya, C. J. and Walter, E. J., 1990. *Surface Blast Design*, Prentice Hall, New Jersey, USA.

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

Kulatilake, H. S. W. P., 2008. *Kişisel Görüşme.*

Kulatilake, H. S. W. P., Park, J., Balasingam, P. and Mckenna S. A., 2007. Hierarchical probabilistic regionalization of volcanism for Sengan Region Japan, *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol. 25, pp. 79−109.

Kuznetsov, V. M., 1973. Mean diameter of fragments formed by blasting rock, *Soviet Mining Science*, 9(2), pp. 144−148.

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

Kwangmin, K., 2006. Blasting Design Using Fracture Toughness and Image Analysis of the Bench Face and Muckpile, *MSc. Thesis*, Virginia Polytechnic Institute.

Langefors, U. and Kihlstrom, B., 1978. *The Modern Technique of Rock Blasting*, John Wiley & Sons Inc, New York.

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

Latham, J.-P., Kemeny, J., Maerz, N., Noy M., Schleifer, J. and Tose, S., 2003. A blind comparison between results of four image analysis systems using a photo-library of piles of sieved fragments, *Fragblast, The International Journal For Blasting and Fragmentation*, Vol. 7, No. 2, pp. 105−133.

Lilly, P. A., 1986. An Emprical method of assessing rock mass blastability, *AusIMM Large Open Pit Mining Conference*, Melbourne, pp. 89−92.

Maerz, N. H. and Palangio, T. C. and Franklin, C. A., 1996. WipFrag image based granulometry system, *Fragblast 5, Workshop on Measurement of Blast Fragmentation*, Canada, Aug. 25-29, pp. 91−99.

Maerz, N. H. and Zhou, W., 1998. Optical digital fragmentation measuring systems - inherent sources of error, *Fragblast, The International Journal for Blasting and Fragmentation*, Vol. 2, No. 4, pp. 415−431.

Maerz, N. H., 1996a. Reconstructing 3-D block size distributions from 2-D measurements on sections, *Fragblast 5, Workshop on Measurement of Blast Fragmentation*, Canada, Aug. 25-29, pp. 39−43.

Maerz, N. H., 1996b. Image sampling techniques and requirements for automated image analysis of rock fragmentation, *Fragblast 5, Workshop on Measurement of Blast Fragmentation*, Canada, Aug. 25-29, pp. 115−120.

Maerz, N. H., and Zhou, W., 2000. Calibration of optical digital fragmentation measuring systems, *Fragblast, The International Journal For Blasting and Fragmentation*, Vol. 4, No. 2, pp. 126−138.

Maerz, N. H., 1990. Photoanalysis of Rock Fabric, *Ph.D. thesis*, University of Waterloo, Canada

Maleki, H., Zahl, E. G. and Dunford, J. P., 1997. Development of a statistical-analytical approach for assessing coal bump potential, *16th Intl. Conf. on Ground Control in Mining*, West Virginia University, pp. 304−310.

Manly, B. F. J., 2000. *Multivariate Statistical Methods: A primer, third edition*, Chapman & Hall, London.

Mardia, K. V, Kent, J. T. and Bibby, J. M., 1997. *Multivariate Analysis*, Sixth Edition, Academic Press, London.

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

Mclachlan, G. J., 2004. *Discriminant Analysis and Statistical Patern Recognition*, John Wiley And Sons., New Jersey.

Mojtabai, N., **Farmer, I. and Savely, J.P.,** 1990. Optimization of rock fragmentation in bench blasting, *The 31th U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS)*, Golden, Colorado, June 18−20, pp. 897−904.

Montgomery, D. C., Peck, E. A. and Vining, G. G., 2006. *Introduction to Linear Regression Analysis*, John Wiley & Sons Inc, New Jersey, USA.

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

Naapuri, J., 1990. *Surface Drilling and Blasting*, Tamrock, Sweden.

Nunn, A., 2009. *Geology Lecture Notes*, http://www.geol.lsu.edu /Faculty /Nunn /gl7065/Chp3_notes.html

Olofsson, S. O., 1988. *Applied Explosives Technology for Construction and Mining*, Applex, Sweden.

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

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

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

Ouchterlony, F., Niklasson, B. and Abrahamsson, S., 1990. Fragmentation monitoring of production blasts at Mrica, *3. International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, FragBlast 3,* Brisbane, Australia, Aug. 26–31, pp. 283−289.

Özçelik, Y., 1998. Effect of discontinuities on fragment size distribution in open-pit blasting −a case study, *Trans. Instn Min. Metall. Sect. A: Min. industry*, Vol. 107, pp. 146−150.

Öztürkcan, M, 2009. *Regresyon Analizi*, Maltepe Üniversitesi Yayını, İstanbul.

Pal Roy, P., 1995. Breakage assessment through cluster analysis of joint set orientations of exposed benches of opencast mines, *Geotechnical and Geological Engineering,* Vol. 13, pp. 79−92.

Palangio, T. C., 2000. Using WipFrag to measure, record and predict blast results, *13th Aggregate and Ready-Mixed Concrete Conference, Chiclana*, Spain, pp. 1−22.

Perçin, S., 2005. İhracat performansını etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve firmaların ihracat performans ölçülerine göre sınıflandırılmasındaki rolü: ISO 1000 Sanayi firmaları uygulaması, *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Vol. 9, 1 s. 139−155.

Persson, P. A., Holmberg, R. and Jaimin, L., 1994. *Rock Blasting and Explosive Engineering*, CRC Press LLC, Florida, USA.

Reida, T. R. and Harrison, J. P., 2000. A semi-automated methodology for discontinuity trace detection in digital images of rock mass exposures, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences,* Vol. 37, pp. 1073−1089.

Reina, A. K., Romulu, M., Choudhury, P. B., Dunhankar, A. and Chakraborty, A. K. 2003. Fragmentation prediction in different rock masses characterized by drilling index, *7th Int. Symposium on rock fragmentation by blasting,* 11-15 Aug., Beijing, pp. 117−121.

Schleifer, J. and Tessier, B., 1996. Fragscan: A tool to measure fragmentation of blasted rock, *Measurement of blast fragmentation-Fragblast 5*, Montreal, Canada, Aug. 25-29, pp. 73−79.

Scott, A., 1996. Blastability and blast design, *Rock Fragmentation by Blasting, Fragblast 5*, Montreal, Canada, Aug. 25-29, pp. 27−36.

Sen, G. C., 1995. *Blasting Technology for Mining and Civil Engineers,* UNSW Press, Sydney, Australia.

Singh, B. and Goel, R. K., 1999. *Rock Mass Classification,* Elsevier, Oxford, UK.

Split Fx Brochure, 2008. *www.spliteng.com.*

SPSS Base, 2008. *SPSS Inc.*, Chicago, USA.

Stagg, M. S. and Rholl, S. A., 1987. Effects of accurate delays on fragmentation for single-row blasting in a 6.7 m (22-ft) bench. *Second International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, Keystone, Colorado, Aug. 23-26, pp. 210–223.

Strelec, S., Bozic, B. and Gotic, I., 2000. Optimization and control of blast fragmentation, *1st World Conference on Explosives & Blasting Technique*, Munich, Germany, Sep. 6-8, pp. 313−319.

Şıklar, E., 2000. *Regresyon Analizine Giriş*, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.

Tabachnick, B. G. and Fidell, L. S., 2007. *Using Multivariate Statistics, Fifth Edition*, Pearson International, USA.

Taylor, S. N., 1976. Burden-rock stiffness and its effects on fragmentation in bench blasting, *Doktora Tezi*, University of Missouri Rolla, USA.

Teknomo, K., 2009. *http://people.revoledu.com /kardi/tutorial /Similarity /City Block Distance.html.*

Thornton, D., Kanchibotla, S. S. and Brunton, I., 2002. Modeling the impact of rockmass and blast design variation on blast fragmentation, *Fragblast*, Vol. 6, No.2, pp. 169−188.

Thornton, D., Kanchibotla, S. S. and Esterle, J. S., 2001. A fragmentation model to estimate ROM size distribution of soft rock types, *27th Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*, Orlando, Florida, Jan. 28-31, pp. 41−53.

Tunçdemir, H., Hüdaverdi, T. ve Bayram, O., 2009. Akçansa Çimento Sanayi ve Ticaret AŞ'ye ait kayaç numunelerinin tek eksenli basınç dayanımlarının belirlenmesi, *İTÜ Araştırma raporu,* İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü.

Ulusay, R. ve Sönmez H., 2007. *Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri,* Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.

Uz, B., Bacak, G. ve Yılmaz, M., 2003. İstanbul civarı agregaların petrografik özellikleri ve beton dayanımına etkileri, *3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul. 3-4 Aralık, 121−131.

Uz, B. ve diğerleri, 2007. Akdağlar Madencilik A.Ş.'nin Ayazağa Köyü Cendere mevkiinde yeralan kırmataş ocak ve malzemenin jeolojik/yapısal, minerolojik, petrografik ve fizikomekanik özelliklerinin etüd ve değerlendirme raporu, *İTÜ Araştırma Raporu,* İTÜ Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendiliği Böl, Mineraloji Petrografi Anabilim Dalı.

Vardar, M. ve diğerleri, 2007. İstanbul ili, Şişli ilçesi, Ayazağa Köyü Kapıcıoğlu Er İnşaat ve Madencilik San ve Tic Ltd. Sti. İR: 73194 ve İR: 3694 no'lu ruhsat alanlarının jeolojik ve agrega kalitesi yönünden araştırılması, *İTÜ Araştırma Raporu,* İTÜ Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendiliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı.

Vasques, G. M., Grunwald., S. and Sickman, J. O., 2008. Comparison of multivariate methods for inferential modeling of soil carbon using visible/near-infrared spectra, *Geoderma,* Vol. 146, No. 1-2, pp.14–25.

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

WipFrag 2.6 Manual, 2007. *Wipware Inc.*, Ontario, Canada.

Zhou, W. and Maerz, N. H., 2001. Rock mechanics in the national interest, *Proceedings of the 38. U.S. Rock Mechanics Symposium*, Washington D.C., July 7−10, pp. 861−868.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Türker HÜDAVERDİ

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 06.02.1976

Adres: Emniyet Evleri Mah. Güvercin Sok. No: 6/5
4. Levent / İstanbul

Lisans Üniversite: İTÜ Maden Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans: İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

Yayın Listesi:

Kuzu, C., **Hüdaverdi T.** ve Öztürk, Ö., 2003. Patlatma Kaynaklı Titreşimlerde OSMRE Çözümleri–II Istanbul Büyükçekmece Gölü Batısı Taş Ocakları Uygulama Örneği, *3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, s. 257–265, 3–4 Ara., İstanbul.

Hüdaverdi, T. ve Kuzu, C., 2005. KBİ Murgul Ocağında Çok Sıralı Patlatmaların İncelenmesi, *Madencilik Teknolojisinde Yeni Gelişmeler Sempozyumu*, s. 89–99, 21–22 Nis., İstanbul.

Hüdaverdi, T. ve Kuzu, C., 2005. Madencilik Faaliyetlerinde Patlatma Kaynaklı Çevresel Etkilerin Ölçülmesi ve Analizi, Madencilik ve Çevre Sempozyumu, s. 135–141, 5–6 May., Ankara.

Kuzu, C. ve **Hüdaverdi, T.,** 2005. Evaluation of Blast Induced Vibrations: A Case Study of Istanbul Cendere Region, The *3rd EFEE World Conference on Explosives and Blasting*, 13–16 Sep., Brighton, England.

Kuzu, C., Nasuf, E. ve **Hüdaverdi, T.,** 2005. An Investigation into The Environmental Effect of Blast Induced Vibrations in The Limestone and Schist Quarries Nearby The Water Supply Reservoir of Catalca-Istanbul, Turkey, *20th World Mining Congress*, pp.111–115, 7–11 Nov., Tehran, Iran

Hüdaverdi, T. ve Kuzu, C., 2005. Drill, Blast Practices to Improve Blasting Efficiency at Murgul Copper Mine, *20th World Mining Congress*, pp.243–249, 7–11 Nov.,Tehran, Iran

Kuzu, C., Ergin, H., Sözen, M. A. ve **Hüdaverdi, T**., 2005. Performance Investigation of Aluminised Anfo in Limestone Blasting Operations, *Trans. Inst. Min. Metall. A*, Vol. 114, pp.194-198.

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

Hüdaverdi, T. ve Kuzu, C., 2006. Monitoring and Evaluation of Airblast Levels from Quarry Blasting Operations, *2nd International Conference on: "Advances in Mineral Resources Management and Environmental Geotechnology"*, pp.653–659, 25–27 Sep., Hania, Greece.

Fisne, A., Okten, G. ve **Hüdaverdi, T.**, 2006. Yeraltı Madenciliğinde Ani Gaz ve Kayaç Püskürmesine Eğilimli Zonların Belirlenmesi, *8. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu*, s. 395–403, 2–3 Kas., İstanbul.

Hüdaverdi, T., Kuzu, C. ve Fisne, A., 2006. Melen Projesi Osmankuyu Tünelinde Gerçekleştirilen Atımların Değerlendirilmesi, *8. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu*, s. 403–409, 2–3 Kas., İstanbul.

Hüdaverdi, T., Kuzu, C., Fisne, A. ve Okten, G., 2007. Prediction and Prevention of Airblast Levels, *36th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (INTER-NOISE 2007)*, 28–31 Aug., Istanbul.

Hüdaverdi, T. ve Kuzu, C., Fisne A., 2007. Analysis of Blast Induced Vibrations in Aggregate Mining, *36th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (INTER-NOISE 2007)*, 28–31 Aug., Istanbul.

Fisne, A., **Hüdaverdi, T.** ve Kuzu, C., 2007. Assesment of Noise Levels in Istanbul Metro Tunnel Derivage, *36th Interational Congress and Exposition on Noise Control Engineering (INTER-NOISE 2007)*, 28–31 Aug., Istanbul

Fisne, A., Okten, G., **Hüdaverdi, T.** ve Kuzu, C., 2007. Investigation of Noise Exposure Levels For Mechanized Coal Mine Workers in Turkey, *36th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (INTER-NOISE 2007)*, 28–31 Aug., Istanbul

Guclu, E., Onsel, İ. E., **Hüdaverdi, T.,** Kuzu, C., Onal, G. ve Okten, G., 2008. The Experimental Pit Project of the Faculty of Mines at Istanbul Technical University, *21st World Mining Congress & Expo 2008*, pp. 181–187,7–11 Sep., Poland, Krakow

Hüdaverdi, T., Guclu, E. ve Kuzu C., 2009. Application of Heavy ANFO Explosives in Quarries nearby Istanbul, *9th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Fragblast 2009*, pp. 11−116, 13−17 Sep., Granada, Spain.